

NCDT 2024

THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

CONFERENCE PROCEEDINGS

" เทคโนโลยีป้องกันประเทศสู่การพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน "
Defense Technologies for Sustainable Self-reliance

September 9 - 11, 2024

Greenery resort Khao Yai , Nakhon Ratchasima

ORGANIZED BY



เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
The 1st National Conference on Defense Technology

หัวข้อ

สาขาวิศวกรรมเพื่อการป้องกันประเทศ

- วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมสนามบิน วิศวกรรมแหล่งน้ำ วิศวกรรมสำรวจ และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- วิศวกรรมไฟฟ้า การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล และอิเล็กทรอนิกส์
- วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมหุ่นยนต์และปัญญาประดิษฐ์
- วิศวกรรมการบินและอวกาศ
- วิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการการบิน

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการป้องกันประเทศ

- นิวเคลียร์ ชีวะ เคมี เคมีวัตถุระเบิด และวิทยาศาสตร์ทางการทหาร
- วัสดุศาสตร์ทางการทหารและอากาศยาน
- ความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์
- ความมั่นคงทางทะเล
- การจัดการสิ่งแวดล้อม และการจัดการด้านพลังงาน

สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านมั่นคงและการป้องกันประเทศ

- รัฐประศาสนศาสตร์ จิตวิทยาชุมชน บริหารและพัฒนาสังคม สังคมวิทยาและมานุษยวิทยาประยุกต์
- หลักนิยม ยุทธศาสตร์ และความมั่นคง
- การพัฒนาการเรียนการสอนด้านความมั่นคง

9-11 กันยายน 2567

ณ เดอะกรีนเนอร์รี่ รีสอร์ท เขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา

จัดทำโดย

❖ สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ร่วมกับ

❖ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

หอสมุดแห่งชาติ
ถนนสามเสน ดุสิต กรุงเทพฯ 10300
โทรศัพท์ : 02-2809846
โทรสาร : 02-2809846

วันที่อนุมัติ 18 มีนาคม 2568

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
The 1st National Conference on Defense Technology.-- กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีต
แห่งประเทศไทย(สคท.), 2568.
453 หน้า.

1. ไทย -- การป้องกันประเทศ. 2. การทหาร -- วิจัย. 3. เทคโนโลยี -- การป้องกันประเทศ.
I. ชื่อเรื่อง.

355.5

ISBN 978-616-94785-0-8



คำนำจาก ผู้บัญชาการทหารอากาศ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ ๑ ภายใต้หัวข้อ “เทคโนโลยีป้องกันประเทศสู่ การพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน” หรือ “Defense Technologies for Sustainable Self-reliance” ในครั้งนี้ นับ เป็นโอกาสอันดีสำหรับผู้เชี่ยวชาญ นักวิจัย และผู้ที่สนใจเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ที่จะได้มีโอกาสแลกเปลี่ยน ความรู้แนวคิดประสบการณ์ตลอดจนนวัตกรรมต่างๆด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ในยุคที่โลกกำลังเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สถานการณ์ความมั่นคงของประเทศ ต้องเผชิญกับความ ท้าทายที่ซับซ้อน และหลากหลายมากยิ่งขึ้นไม่ว่าจะเป็นความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงทางการ เมืองระหว่างประเทศ และการเพิ่มขึ้นของภัยคุกคามทางไซเบอร์ รวมถึงความไม่แน่นอนทางเศรษฐกิจ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ ล้วนส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของประเทศทั้งสิ้น

โดยในบริบทดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการพึ่งพาตนเองด้านเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งการวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศในปัจจุบันไม่ ได้จำกัดอยู่แค่เพียงการสร้างอาวุธ หรือระบบป้องกันเท่านั้นหากแต่ยังต้องครอบคลุมถึงการสร้างความมั่นคงใน ทุกมิติ ตั้งแต่พลังงาน การสื่อสาร ตลอดจนการรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์

ทั้งนี้ ประโยชน์จากการประชุมที่ได้รับจะไม่จำกัดอยู่เพียงแคในท้องประชุมเท่านั้น แต่จะขยาย ไปสู่การสร้างเครือข่ายความร่วมมืออย่างเข้มแข็ง อันจะทำให้การพัฒนาอุตสาหกรรมเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น และผมเชื่อมั่นว่าทุกท่านจะได้รับความรู้ และแรงบันดาลใจ ในการพัฒนางานวิจัย และเทคโนโลยีป้องกันประเทศอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำไปสู่ การพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน

ในฐานะเป็นที่ปรึกษา คณะกรรมการอำนวยการและประธานในการเปิดประชุมวิชาการในครั้งนี้ ขอขอบคุณ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช หน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงผู้มีส่วน ร่วมทุกท่านที่ได้ร่วมมือและสนับสนุน การจัดประชุมวิชาการอันเป็นประโยชน์ในครั้งนี้ และขอให้การประชุม วิชาการบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

พล.อ.อ. นพพร

พลอากาศเอก พันธุ์ภักดี พัฒนกุล
ผู้บัญชาการทหารอากาศ



คำนำจาก ผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

ความมั่นคงของชาติเป็นรากฐานสำคัญที่ทำให้ประเทศชาติเจริญก้าวหน้า และประชาชนอยู่ดีมีสุข ภัยคุกคามความมั่นคงเป็นหนึ่งในความท้าทายของประชาคมโลก หน่วยงานภาครัฐ ตลอดจนนักวิชาการ ได้ระดมสมองและทรัพยากร เพื่อหาหนทางในการรับมือจากภัยคุกคามที่เกิดขึ้น

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ตระหนักถึงความจำเป็นที่สำคัญจึงได้ร่วมมือกับสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย จัดการประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ ๑ ภายใต้หัวข้อ “เทคโนโลยีป้องกันประเทศสู่การพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน” หรือ Defense Technologies for Sustainable Self-reliance มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้งานวิจัยและงานวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ รวมถึงด้านความมั่นคงของสถาบันการศึกษาทางทหารและพลเรือน นอกจากนี้ ยังเพื่อส่งเสริมและพัฒนาการเรียนการสอน หลักสูตรเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของสถาบันการศึกษาภายในประเทศ ตลอดจนเพื่อพัฒนางานวิจัยด้านเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศสู่การพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน

การประชุมวิชาการในครั้งนี้ นอกจากเป็นความร่วมมือระหว่าง โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชกับสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทยแล้ว ยังได้รับความร่วมมือจาก โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า โรงเรียนนายเรือ และโรงเรียนนายร้อยตำรวจ รวมทั้ง ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม และบริษัทอุตสาหกรรมการบิน จำกัด

สำหรับผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการ ประกอบด้วย คณาจารย์ นักวิชาการ ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ นักศึกษา นักเรียนนายร้อย นักเรียนนายเรือ นักเรียนนายเรืออากาศ นักเรียนนายร้อยตำรวจ ตลอดจนผู้สนใจทั่วไปที่มาพร้อมกันแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็นและประสบการณ์ รวมทั้งนำเสนอบทความวิจัย เพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมทางเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ถือเป็นก้าวแรกของการสร้างเครือข่าย และความร่วมมือที่จะนำไปสู่การพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ในการสร้างความมั่นคงที่ยั่งยืนให้แก่ประเทศ

ในนามของคณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกท่านจะได้ประโยชน์ในการนำความรู้ที่ได้รับจากการประชุมวิชาการ ไปพัฒนาต่อยอดและสร้างสรรค์เทคโนโลยีป้องกันประเทศที่ตอบสนองความต้องการของประเทศชาติได้อย่างแท้จริง

พล.อ.ท.

พล.อ.ท.ธัชชัย อัจฉริยาการุณ

ผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

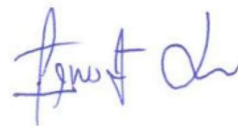


สารจากนายกสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

“ การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1 ” เป็นความร่วมมือทางวิชาการระหว่างสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.) ร่วมกับ ร่วมกับโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช จัดขึ้น ระหว่างวันที่ 9-11 กันยายน 2567 ณ เดอะกรีนเนอร์รี่ รีสอร์ท เขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา ภายใต้หัวข้อ “เทคโนโลยีป้องกันประเทศสู่การพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน” โดยมีวัตถุประสงค์มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวที แลกเปลี่ยนเรียนรู้งานวิจัย และงานวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ รวมทั้งด้านความมั่นคงของ สถาบันการศึกษาทางทหารและพลเรือน

ในการประชุมครั้งนี้สมาคม ฯ ได้รับเกียรติวิทยากรจากหน่วยงานภาครัฐ บริษัทเอกชน และบริษัทก่อสร้างที่สำคัญ ภายในประเทศที่มีการทำงานเกี่ยวข้องกับงานด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศซึ่งเชื่อว่าผู้เข้าร่วมประชุมจะได้รับประโยชน์จากการประชุมครั้งนี้อย่างมาก

ในฐานะของคณะผู้จัดการประชุมครั้งนี้ ขอขอบคุณ องค์ปาฐกรับเชิญวิทยากรรับเชิญ ผู้เขียนบทความ ผู้นำเสนอ บทความ ผู้เข้าร่วมประชุม บริษัทและห้างร้านต่าง ๆ ที่ได้สนับสนุนการประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1 เป็นอย่างยิ่ง ทำให้การประชุมครั้งนี้ ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้



(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช)
นายกสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย
วาระประจำปี 2567 - 2568

คณะกรรมการที่ปรึกษา วาระประจำปี 2567-2568

รศ.ดร.พิชัย	นิมิตยงสกุล	อดีตนายกสมาคมฯ
ศ.ดร.สมนึก	ตั้งเต็มสิริกุล	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
ศ.ดร.ชัย	จาดุรพิทักษ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.เอกสิทธิ์	ลิ้มสุวรรณ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คุณอนุชิต	เจริญศุภกุล	บริษัท สยามอรรณ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร เหนือ
รศ.ดร.สมิตร	สงพิริยะกิจ	บริษัท ชิโน-ไทย เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอน สตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)
คุณวรัช	กุศลมนมัย	บริษัท เอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด
คุณชนะ	ภูมิ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.ปริญญา	จินดาประเสริฐ	บริษัท เค.ซี.เอส แอนด์ แอสโซซิเอทส์ จำกัด
ดร.การุณ	จันทรางศุ	บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด
คุณสุเมธ	สุรบถโสภณ	บริษัท ซีพีแอนด์ จำกัด(มหาชน)
คุณณรงค์	ทัศนนิพันธ์	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
ศ.ดร.เป็นหนึ่ง	วานิชชัย	

คณะกรรมการอำนวยการ วาระประจำปี 2567-2568

น.อ.ศ.ดร.ธนากร	พีระพันธุ์	ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์นายกสมาคมฯด้านกิจการ ต่างประเทศ
รศ.ดร.ณัฐพงศ์	มกระธัช	นายกสมาคม
ผศ.ดร.ชูชัย	สุจิรวงศ์	อุปนายก ฝ่ายวิชาการ
คุณบุญรอด	คุปติทัฬหิ	อุปนายก ฝ่ายวิชาชีพ และ เทรนด์
ดร.ยุทธ	ปณิธานวงศ์	อุปนายก ฝ่ายภาพลักษณ์และสื่อสารองค์กร
น.อ.ณัฐ	ลิ้มสุวรรณ	เลขาธิการ
คุณนรินทร์	สายันต์วิสุทธิคาม	ปฎิคม
คุณปกรณ์	สุทธิวาริ	ประชาสัมพันธ์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ท.ประกาศิต	จันทนะลิขิต	นายทะเบียน
รศ.ดร.ภาณุวัฒน์	จ้อยกัถ	สาราณียกร
คุณธิตี	ศรีรัตนา	กรรมการกลาง

คณะกรรมการอำนวยการ วาระประจำปี 2567-2568 (ต่อ)

ดร.นนท์พัฒน์	นิมิตยงสกุล	กรรมการกลาง
คุณธรรมรัตน์	บุญเสนอ	กรรมการกลาง
คุณสุวิทย์ชัย	ภูวพัฒนชาติ	กรรมการกลาง
คุณปิยนันท์	ชูฤทธิ์	กรรมการกลาง
คุณมนสิช	สาริกะภูติ	กรรมการกลาง
คุณสุเมธ	เกียรติเมธา	กรรมการกลาง
ดร.เมธี	เชี่ยวชาญนิชย์กร	ประธานกรรมการวิชาการ สาขาโครงสร้าง คอนกรีต
รศ.ดร.พงษ์ธร	จุฬพันธ์ทอง	ประธานกรรมการวิชาการ สาขาคอนกรีต วัสดุ และการก่อสร้าง
ผศ.ดร.จักรพันธ์	เทือกตะ	ประธานกรรมการวิชาการ สาขาบำรุงรักษาฯ

สาขาบำรุงรักษาซ่อมแซมและเสริมกำลังคอนกรีต วาระประจำปี 2567-2568

รศ.ดร.พิชัย	นิมิตยงสกุล	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.สมนึก	ตั้งเต็มสิริกุล	ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.ธเนศ	วีระศิริ	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.สุวิมล	สัจจวาณิชย์	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.บุญไชย	สถิตมั่นในธรรม	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.วันชัย	ยอดสุดใจ	ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.จักรพันธ์	เทือกตะ	ประธานฯ
คุณธรรมชาติ	กุลประภา	รองประธานฯ
คุณกীরติ	นิติโชติ	กรรมการวิชาการ
รศ.ดร.ชยานนท์	หรรษภิญโญ	กรรมการวิชาการ
คุณชาติรี	พานิชอุดม	กรรมการวิชาการ
คุณณเดช	ทักษพาณิชย์	กรรมการวิชาการ
คุณณัฐมนต์	กัมปนาพันธ์	กรรมการวิชาการ
ดร.ณัฐวัฒน์	จุฑารัตน์	กรรมการวิชาการ
รศ.ดร.ทวิช	พูลเงิน	กรรมการวิชาการ
คุณธนวรรณ	มาประจง	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.ธัชวีร์	ลีละวัฒน์	กรรมการวิชาการ

สาขาบำรุงรักษาซ่อมแซมและเสริมกำลังคอนกรีต วาระประจำปี 2567-2568 (ต่อ)

คุณนนทฉัตร	กุลประภา	กรรมการวิชาการ
ดร.นรินทร์	เผ่าวณิช	กรรมการวิชาการ
รศ.ดร.นันทวัฒน์	ชมหวาน	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.ปัญญาวุธ	จิรติลก	กรรมการวิชาการ
ดร.พุทธิพงศ์	หะสิทธิ์รัตนวัฒนา	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.ฟองจันทร์	จิราสิต	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.ภักดิ์วัฒน์	แสนเจริญ	กรรมการวิชาการ
ดร.เมธี	เขี้ยววณิชย์กร	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.รักติพงษ์	สหมิตรมงคล	กรรมการวิชาการ
อ.ดร.ศุภศิษฏ์	ศรีวรานันท์	กรรมการวิชาการ
คุณสดสวย	สุจิตธรรมกุล	กรรมการวิชาการ
ดร.สนธยา	ทองอรุณศรี	กรรมการวิชาการ
คุณสมหมาย	คำมีวงศ์	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.สรณ์กร	เหมะวิบูลย์	กรรมการวิชาการ

สาขาโครงสร้างคอนกรีต วาระประจำปี 2567-2568

คุณอนุชิต	เจริญศุภกุล	ประธานที่ปรึกษา
ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์	แก้วกุลชัย	ที่ปรึกษา
คุณคมกฤษ	สุทธิไวยกิจ	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ชยานนท์	หรรษภิญโญ	ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.ชูชัย	สุจิตร์กุล	ที่ปรึกษา
ดร.ทรงเกียรติ	มธุพนธ์	ที่ปรึกษา
ดร.ประวีณ	ชมปรีดา	ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.วิรัช	เลิศไพฑูรย์พันธ์	ที่ปรึกษา
คุณศิริชัย	วรรณบูรณ์	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.สุชาติ	ลิมกตัญญู	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สุทัศน์	ลีลาทวิวัฒน์	ที่ปรึกษา

สาขาโครงสร้างคอนกรีต วาระประจำปี 2567-2568 (ต่อ)

คุณอรุณสิทธิ์	ศิริสนธิ	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.เอกสิทธิ์	ลี้มสุวรรณ	ที่ปรึกษา
ดร.เมธี	เชี่ยวชาญชัยกร	ประธานกรรมการ
ดร.วรศักดิ์	จักราปิยะนันท์	รองประธานกรรมการ
น.อ.ณัฐ	ลี้มสุวรรณ	รองประธานกรรมการ
ดร.ฉัตร	สุจินดา	กรรมการ
รศ.ดร.ทงศักดิ์	อิมใจ	กรรมการ
รศ.ดร.ธิดารัตน์	จิระวัฒนาสมกุล	กรรมการ
ดร.ธีระวุฒิ	มูฮำหมัด	กรรมการ
คุณปรีดี	งามสันติกุล	กรรมการ
ดร.ปิ่นเจตน์	ธรรมรักษ์	กรรมการ
รศ.ดร.พงษ์ธร	จุฬพันธ์ทอง	กรรมการ
ผศ.ดร.มนเทียร	เสรีจกิจ	กรรมการ
ดร.วงศา	วรารักษ์สัจจะ	กรรมการ
คุณวิเชียร	แก้วคำปา	กรรมการ
ดร.สุกิจ	ยินดีสุข	กรรมการ
รศ.ดร.สุนิติ	สุภาพ	กรรมการ
คุณสุเมธ	เกียรติเมธา	กรรมการ
อ.ดร.เอกชัย	อยู่ประเสริฐชัย	กรรมการ
รศ.ดร.กริสัน	ชัยมูล	กรรมการสมทบ
รศ.ดร.ณัฐพงษ์	อารีมิตร	กรรมการสมทบ
รศ.ดร.นันทวัฒน์	ชมหวาน	กรรมการสมทบ
รศ.ดร.ปณัสชัย	เชษฐโชติศักดิ์	กรรมการสมทบ
รศ.ดร.ปรีดา	ไชยมหาวัน	กรรมการสมทบ
อ.ดร.วาทพ	แช่ล่อง	กรรมการสมทบ
ผศ.ดร.วัจน์วงศ์	กรีพละ	กรรมการสมทบ

สาขาคอนกรีต วัสดุและการก่อสร้าง วาระประจำปี 2567-2568

รศ.ดร.พิชัย	นิมิตยงสกุล	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.สมนึก	ตั้งเต็มสิริกุล	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.ชัย	จาคูรพิทักษ์กุล	ที่ปรึกษา
น.อ.ศ.ดร.ธนากร	พีระพันธุ์	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สมิตร	สงพิริยะกิจ	ที่ปรึกษา
คุณบุญรอด	คุปติทัฬหี	ที่ปรึกษา
คุณนรินทร์	สายันต์วิสุทธิคาม	ที่ปรึกษา
คุณอรรถสิทธิ์	ศิริสนธิ	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.พงษ์ธร	จุฬพันธ์ทอง	ประธานกรรมการวิชาการ
อ.ดร.เพ็ญพิชชา	สนิทอินทร์	รองประธานกรรมการวิชาการ
คุณกฤษณะ	เลขานุกิจ	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.เกียรติสุดา	สมนา	กรรมการวิชาการ
คุณเฉลิมวุฒิ	สงวนญาติ	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.ชนะชัย	ทองโถม	กรรมการวิชาการ
คุณณรงค์เดช	เรืองบ้านโคน	กรรมการวิชาการ
รศ.ดร.ทวีชัย	สำราญวานิช	กรรมการวิชาการ
คุณธนพล	ไคร้งาม	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.ปิยพงษ์	สุวรรณมณีโชติ	กรรมการวิชาการ
ดร.ภาควัต	พร้อมมูล	กรรมการวิชาการ
รศ.ดร.วีระชาติ	ตั้งจิรภัทร	กรรมการวิชาการ
คุณศุภกร	เมาสีกุล	กรรมการวิชาการ
คุณสุบรรณ	สนิทอินทร์	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.อรรคเดช	อับดุลมาติน	กรรมการวิชาการ
คุณอัครพงศ์	ทัพใหญ่	กรรมการวิชาการ
ผศ.ดร.อำพล	วงศ์ษา	กรรมการวิชาการ
คุณปาณิสดา	แสงแก้ว	กรรมการวิชาการและเลขานุการ
คุณจุฑารัตน์	ทรัพย์ปฐวี	กรรมการวิชาการสมทบ
คุณปราณปริยา	พุทธเนตร	กรรมการวิชาการสมทบ
คุณชกะ	ฉานรานนท์	กรรมการวิชาการสมทบ

คณะกรรมการอำนวยการประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1

ผู้บัญชาการทหารอากาศ	ที่ปรึกษา
ผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	ประธานกรรมการ
รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (สายงานบริหาร)	รองประธานกรรมการ
รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (สายงานการศึกษา)	รองประธานกรรมการ
เสนาธิการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	กรรมการ
ผู้อำนวยการกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	กรรมการ
ผู้อำนวยการสำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	กรรมการ
รองเสนาธิการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (สายงานบริหาร)	กรรมการ
รองเสนาธิการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (สายงานการศึกษา)	กรรมการ
รองผู้อำนวยการกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (สายงานบริหาร)	กรรมการ
รองผู้อำนวยการกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (สายงานการศึกษา)	กรรมการ
รองผู้อำนวยการกองบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	กรรมการและเลขานุการ
น.อ.หญิง ผศ.สัณสนีย์ เหมาคม	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
น.อ. ศ.ประสาทพร วงษ์คำซ่าง	กรรมการ
น.อ. รศ.เจนวิทย์ คำพูล	กรรมการ
น.อ. ผศ.สุคนธ์ พันธุ์เนร	กรรมการ
หัวหน้าหน่วยขึ้นตรง โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	กรรมการ
หัวหน้าหน่วยขึ้นตรง กองบัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	กรรมการ

คณะกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1

รองผู้อำนวยการโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (สายงานการศึกษา)	ประธานที่ปรึกษา
ผู้อำนวยการกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	ที่ปรึกษา
ผู้อำนวยการสำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	ที่ปรึกษา
น.อ. ศ.ธนากร พิระพันธ์ุ	ประธานกรรมการ
น.อ. รศ.เฉลิมชัย ชูชาติพงษ์	รองประธานกรรมการ
น.อ. รศ.สุทธิ ศรีบูรพา	กรรมการ
น.อ.หญิง ผศ.สันสนีย์ เหมาคม	กรรมการและเลขานุการ
น.อ. รศ.เทวา กาญจนชม	กรรมการ
น.อ. รศ.ปัญญารักษ์ โกศลวัฒน์	กรรมการ
น.อ. ผศ.วรวิภา ประทุมชาติ	กรรมการ
น.อ.ศ.ประสาทพร วงษ์คำข้าง	กรรมการ
น.อ. รศ.เจนวิทย์ คำพูล	กรรมการ
น.อ. รศ.เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ	กรรมการ
น.อ. ผศ.ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง	กรรมการ
น.อ. ผศ.สุเมธ สุทธารักษ์	กรรมการ
น.อ. ผศ.สุคนธ์ พันธุ์เนร	กรรมการ
น.อ.หญิง รศ.หฤทัยทิพย์ ตัณฑเทศ	กรรมการ
น.อ. รศ.อิทธิ ยุทยานนท์	กรรมการ
น.อ. รศ.วราภรณ์ พูลจันทร์	กรรมการ
น.อ. รศ.เทียนสิริ เหลืองวิไล	กรรมการ
น.อ. รศ.วันชัย เจียจันทร์	กรรมการ
น.ท. รศ.โชคชัย แจ่มอำพร	กรรมการ
ร.อ. หญิง พิษณุธดา จิตตมาโร	กรรมการ
ร.อ.ณัฐพล เกษางาม	กรรมการ
ร.ท.ปธิกร อันชื่น	กรรมการ
ร.ท.ลิขิต ตีร์รักษา	กรรมการ
ร.ท.ฐณวัฒน์ รองวัง	กรรมการ
ร.ต.หญิง กุลปรียา ชังอิน	กรรมการ
พ.อ.อ.จีระศักดิ์ ศรีจันทร์	เจ้าหน้าที่
จ.ท.หญิง กมลรัตน์ พุทธกุล	เจ้าหน้าที่

คณะกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1 (ต่อ)

จ.ต.หญิง กนกวรรณ บุญฤทธิ	เจ้าหน้าที่
จ.ต.หญิง เกศกานดา สนั่นเล็ก	เจ้าหน้าที่
นายทรงกลด ตันรัตน์	เจ้าหน้าที่
นางสาวอชิรญา ชาตียนนท์	เจ้าหน้าที่
นางสาวปลายฟ้า คำงาม	เจ้าหน้าที่
นางสาวศิริพร พลายเลื่อน	เจ้าหน้าที่

คณะกรรมการผู้พิจารณาบทความ การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1

น.อ.ศ.ดร.วันชัย	เจ็ยจันท์	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.ศ.ดร.ประสาทพร	วงษ์คำข้าง	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.ศ.ดร.ธนากร	พีระพันธุ์	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.รศ.อิทธิ	ยุทธยานนท์	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.รศ.ดร.เทียนสิริ	เหลืองวิล	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.รศ.ดร.ฐาปนต์	บัวภิบาล	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.รศ.ดร.เจนวิทย์	คำพูล	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.รศ.ดร.เกียรติกุลไชย	จิตต์เอื้อ	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.หญิง รศ.หญทัยทิพย์	ตัญเทศ	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.หญิง ผศ.เอมรัตน์	ยิ่งพิสุทธิ์	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.หญิง ผศ.ศรียรรณ	อุดมโภชน	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.ผศ.สุเมธ	สุทธารักษ์	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.ผศ.ภูมิพัฒน์	ดวงกลาง	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.อ.ผศ.ดร.สุคนธ์	พันธุ์เณร	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.ท.รศ.ดร.พายัพ	ศิรินาม	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.ท.รศ.โชคชัย	แจ่มอำพร	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
น.ท.ผศ.ดร.วัชรพงศ์	เกตุดาน	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ร.อ.หญิง ผศ.พลอยบุษรา	บุญญาพิทักษ์	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ร.อ.ผศ.ภูมินันท์	บัวงาม	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ร.อ.ผศ.ดร.วิศรุต	คล้ายแจ้	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ร.อ.ดร.อริสมันต์	แสงธทอง	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ร.ท.อัคพงษ์	สิทธิวงศ์	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ร.ท.ดร.ปธิกร	อันซีน	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ร.ท.ดร.นันทิพัฒน์	พิศุทธางกูร	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
พ.อ.หญิง ศ.ดร.สุวิมล	เสนีนวงศ์ ณ อยุธยา	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.หญิง รศ.เยาวภา	ทองอร่าม	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.หญิง รศ.ดร.อารีย์วรรณ	สุทธิพงศ์พันธ์	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.รศ.ดร.ผเดิม	หนังสือ	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.รศ.ดร.การุณย์	ชัยวนิชย์	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

คณะกรรมการผู้พิจารณาบทความ การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1 (ต่อ)

พ.อ.หญิง ผศ.สาธนี	แก้วสีบ	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.หญิง ผศ.ดร.กฤตยาภรณ์	เจริญผล	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.หญิง ผศ.ณัฐมณีน	สมราชลีจันดา	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.ผศ.พิชณู	พวงสุนทร	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.ผศ.พงศ์กฤษณ์	รุ่งสุข	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.ดร.นวพงศ์	อันสุรีย์	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ท.หญิง ผศ.ณททัย	สระกบแก้ว	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ท.ผศ.ดร.อภิเชก	มนเทียรวิเชียรฉาย	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ท.ผศ.ดร.ธนิตเชษฐ์	ดวงโสมมา	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ท.ดร.ภัทรพล	คงสุข	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ท.ดร.พิสิฐ	เจือไทย	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ท.ดร.เปนไท	ปิ่นม่วง	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ต.หญิง ผศ.อำภา	ช่างเกวียน	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ต.ผศ.ดร.ปริญญา	เกียรติภาชัย	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ต.ดร.ฐิติพงษ์	กาวิชัย	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.อ.ดร.เจน	สุขศรีทอง	โรงเรียนเสนาธิการทหารบก
รศ.ดร.สุนิติ	สุภาพ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.ภาณุวัฒน์	จ้อยกัณฑ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.พงษ์ธร	จุฬพันธ์ทอง	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร.ณัฐพงศ์	มกระธัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.นันทวัฒน์	ชมหวาน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.ชณิชา	หมอยาดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทความรับเชิญ (Invited Papers)	1
วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 10:30-12:00 Hall B		
INV-001	ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE: PIONEERING SUSTAINABLE CONSTRUCTION	2
INV-002	การสำรวจและออกแบบการก่อสร้างซ่อมแซมพื้นผิวทางอากาศยานท่าอากาศยานสุวรรณภูมิด้วยวัสดุพอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต	6
วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 13:00-15:00 Hall A		
INV-003	Srisangthum Microgrids Model, Performance Outcomes, and Feedback from User Experience of Application Technologies Implementation for Energy Regulatory Sandbox (ERC Sandbox) at Srisangthum Model in Thailand: A Review	12
วันพุธที่ 11 กันยายน 67 เวลา 08:30-12:00 Hall A		
INV-004	การสำรวจรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ: CPAC Drone Solution	18
INV-005	Advanced Sustainable Construction: The Role of 3D Printing in Reducing Carbon Emissions and Enhancing Efficiency	21
INV-006	การออกแบบพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ปีงบประมาณ 2554 – 2560) เพื่อให้สามารถรองรับผู้โดยสารได้ถึง 60 ล้านคนต่อปี	24

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทความทางด้านเทคโนโลยีโลกเสมือนและปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence and Simulation)	
	วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 08:30-10:00 Hall A	
AIS-001	ระบบการตรวจจับและจดจำแผ่นป้ายทะเบียนเพื่อการรักษาความปลอดภัย โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทราชตรียาธิราช	31
AIS-002	การตรวจจับพฤติกรรม ลักษณะ และรูปร่างของมนุษย์เพื่อคัดกรอง ผู้ต้องสงสัย ในการกระทำความผิดโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์	43
AIS-003	การพัฒนากระบวนการรักษาความปลอดภัยด้วยเทคโนโลยีจดจำใบหน้า ในกรณีการสวมใส่หน้ากากอนามัย	48
AIS-004	ต้นแบบระบบตรวจจับอารมณ์บนใบหน้าโดยอัตโนมัติโดยใช้ OpenCV และ DeepFace	54
AIS-005	ระบบรู้จำใบหน้าบุคคลแบบเรียลไทม์โดยใช้อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ LBPH	67
AIS-006	การศึกษาประสิทธิภาพการตรวจจับและนับจำนวนบุคคลในภาพโดยใช้ อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier กับ YOLO	78
AIS-007	การใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนในการฝึกนักบิน T-6 ของกองทัพอากาศไทย	87
AIS-008	การนำระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ เพื่อจำลองการฝึกซ้อมการใช้ กำลังทางทหาร	93
AIS-009	การสร้างอาคารกอบกู้สุขภาพการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าในโลกเสมือน	100

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทความทางด้านการเฝ้าระวังทางไซเบอร์ การพัฒนาโปรแกรม และแบบจำลอง (Cyber security, programming and model)	
	วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 10:30-12:00 Hall A	
CSM-001	Damage Prediction of Terrorist Attacks in Thailand Using Tree-Based Ensemble Learning Models	107
CSM-002	การประยุกต์ใช้เทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมการสร้างข้อความในการออกแบบและพัฒนา โมเดลประมวลภาษาธรรมชาติสำหรับช่วยเหลือพนักงานสอบสวนในความผิดทางไซเบอร์	116
CSM-003	โมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ	122
CSM-004	การวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์โจมตีทางไซเบอร์แบบเรียลไทม์โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ในองค์กร	129
CSM-005	การทำนายการบุกรุกทางไซเบอร์โดยอิงข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก	136
CSM-006	การเปรียบเทียบผลความแม่นยำของการทำนายพื้นที่อุทกภัยด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ผ่านระบบภูมิสารสนเทศทางภูมิศาสตร์	141
CSM-007	แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ทางอากาศของกองทัพอากาศกรณีสึกษาเครื่องบินลำเลียง C-130H	146
CSM-008	การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศแผนที่นิกสำหรับการจัดการด้านนินภัยการบินของกองทัพอากาศ	151
CSM-009	การประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลด้วย K-means Clustering เพื่อประเมินความเสี่ยงจากเหตุการณ์วางระเบิดสำหรับการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้	157

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทความทางด้านการสร้างระบบ โปรแกรม แอปพลิเคชัน และอื่น ๆ (System program application and etc.)	162
วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 13:00-15:00 Hall A		
SPA-001	การจัดเก็บและการตรวจนับพัสดุในคลังพัสดุด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก	163
SPA-002	กระบวนการรีเลย์สัญญาณ ด้วยเทคนิคการชักสัญญาณแบบเลเวลครอสซิง	170
SPA-003	ระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊ก	176
SPA-004	การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับค้นหาสถานที่และเส้นทางภายใน ของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ณ ที่ตั้ง อ.มวกเหล็ก จว.สระบุรี	181
SPA-005	กรอบแนวคิดในการควบคุมและกำกับดูแลระบบจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูล ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับองค์กร	188
SPA-006	การประยุกต์ใช้เว็บเซอร์วิสสำหรับส่งข้อมูลรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย REST API	192
SPA-007	การวิเคราะห์การใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพโดยการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ต ของสรรพสิ่ง	197
SPA-008	การวิเคราะห์และพัฒนารูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัลที่มีความปลอดภัย โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน	202
SPA-009	สถาปัตยกรรมแพลตฟอร์มประเมินประสิทธิภาพการทำนายผลล่วงหน้าอาการเสีย ของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ประเภทปรับสารทำความเย็นแปรผัน โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง	210
SPA-010	การพัฒนาดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันการแพร่ระบาดของ โรคโควิด-19 สำหรับกลุ่มนักเรียนทหารในสังกัดกองทัพอากาศ	216

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทความทางด้านเทคโนโลยีอากาศยานและโดรน (Aircraft and drone)	225
	วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 08:30-10:00 Hall B	
ACD-001	การออกแบบและพัฒนาฮาร์ดแวร์สำหรับพารามอเตอร์ไร้คนขับ	226
ACD-002	การวิเคราะห์คุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของอากาศยานไร้คนขับ เพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม	233
ACD-003	การตรวจสอบไฟ PAPI ด้วยอากาศยานไร้คนขับ	241
ACD-004	การวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์ของอากาศยาน ไร้คนขับสมรรถนะสูงเพดานบินต่ำพลังงานแสงอาทิตย์ M Solar-X แบบโจมตี	249
ACD-005	การนำอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิดปีกตรึงจอดด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute	259
ACD-006	การควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด ด้วย Fuzzy Logic Control	264
ACD-007	การประมาณค่าคุณภาพการบินแบบวงจรเปิดของอากาศยานไร้คนขับ พลังงานแสงอาทิตย์	269
ACD-008	การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	275
ACD-009	การศึกษาและออกแบบเหล็กครอบหัวฉีดเพื่อใช้กับรถถังหลัก	280

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทความทางด้านวัสดุและการก่อสร้าง (Material and Construction)	294
วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 10:30-12:00 Hall B		
MAT-001	การทดลองและการพัฒนาแบบจำลองของถังเก็บก๊วตลูระเบิด	295
MAT-002	EXPERIMENTAL AND MODELLING EVALUATION ON THE PROTECTIVE PERFORMANCE OF BULLETPROOF PLATE COMPOSITES FOR BUILDING PROTECTION	303
MAT-003	CONCEPTUAL DESIGN AND FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR BLAST-RESISTANT GATE TO PREVENT TERRORISM	310
MAT-005	EFFECT OF CARBON FIBER PATTERNS APPLIED ON ALUMINUM SUBSTRATE TO REDUCE RADAR REFLECTION	319
MAT-006	การประเมินคอนกรีตผสมขยะผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน	325
MAT-007	Evaluating designed biochar kilns-based 3D model for circular economy	331

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทความทางด้านเทคโนโลยี วิจัย นวัตกรรมและการจัดการ (Technology, research, innovation and management)	336
วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 13:00-15:00 Hall B		
TRM-001	แนวทางการพัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการ ของกองทัพอากาศ	337
TRM-002	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมาร์ตกริดและการจัดการพลังงานกับการปฏิบัติการ หลายมิติของกองทัพอากาศ	348
TRM-003	การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วปนเปื้อนในดินบริเวณสนามยิงปืนโรงเรียนนายร้อย พระจุลจอมเกล้าด้วยเครื่องอะตอมมิคแอนบอร์พชั่นสเปกโตรมิเตอร์	360
TRM-004	กรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตจากชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองกับฤทธิ์การยับยั้ง แบคทีเรียเบื้องต้น	364
TRM-005	อาหารบรรจุจุลินทรีย์พร้อมทานจากผลผลิตทางการเกษตร โครงการทหารพันธุ์ดี	369
TRM-006	การศึกษาการกรองอนุภาคด้วยโพลีเอทิลีนโดยหลักการไฟฟ้าสถิต	375
TRM-007	การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธจากอากาศยานไร้คนขับ ขนาดเล็ก โดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน	379
TRM-008	การศึกษาแมลงศัตรูพืชตามฤดูกาลที่พบในพื้นที่ทหารพันธุ์ดี กองพันทหารราบ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	385
TRM-009	ความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงในพื้นที่นาข้าวอินทรีย์ แปลงนาสาธิต โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	393
TRM-010	ความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงวัย ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและ ใช้ชีวิตรูปแบบวิถีใหม่ ของผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช	398
TRM-011	การวัดขนาดสัดส่วนตามหลักการยศาสตร์ กรณีศึกษา สัดส่วนมือของ นักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	401

สารบัญ

	หัวข้อ	หน้า
	บทความนำเสนอแบบโปสเตอร์ (Poster Presentation)	409
วันอังคารที่ 10 กันยายน 67 เวลา 15:30-16:00 Hall C		
POS-001	ระบบแจ้งเตือนแสดงผลสภาพอากาศ สำหรับการฝึกนักเรียนนายเรืออากาศ โดยใช้ระบบ IoT	410
POS-002	การพัฒนากระบวนการตรวจสอบท่าทางการตั้งข้อของนักเรียนนายเรืออากาศ โดยใช้ MediaPipe และ OpenCV	411
POS-003	แนวทางการพัฒนาทักษะดิจิทัลของกำลังพลกองทัพอากาศ	412
POS-004	แนวทางการพัฒนาความร่วมมือทางทหารระดับทวิภาคีระหว่างไทยกับสหรัฐอเมริกาและสาธารณรัฐประชาชนจีนในบริบทของการแข่งขันระหว่างประเทศทั้งสอง	413
POS-005	แนวทางสร้างแรงจูงใจให้ทหารกองเกินสมัครเข้ารับราชการทหารกองประจำการ โดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ในส่วนของกองทัพอากาศ	414
POS-006	แนวทางการพัฒนารูปแบบการฝึกปฏิบัติกิจกรรมในสนามหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงเพื่อพัฒนาสมรรถนะผู้นำขั้นต้นของกองทัพอากาศรองรับการศึกษาในศตวรรษที่ ๒๑	415
POS-007	วิเคราะห์พฤติกรรมของความเค้นที่กระทำต่อสะพานหนูนม้นชั้นการรับน้ำหนัก 30 และ 60 ตัน ด้วยระเบียบวิธีขอบเขตจำกัดมูลฐาน	416
POS-008	Flexural Properties of Carbon Black Particle Reinforced Epoxy Resin Composites	417
POS-009	การใช้ประโยชน์และการปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าข้าวโพดเพื่อพัฒนาคอนกรีตที่ยั่งยืน	418
	ผู้สนับสนุนการจัดงาน (Sponsors)	419

บทความรับเชิญ
(Invited Paper)

ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE: PIONEERING SUSTAINABLE CONSTRUCTION

Kritsada Sisomphon¹
Chalermwut Snguanyat¹

¹Innovation and Technology, Cement and Green Solution Business, SCG Cement

ABSTRACT: Carbon emissions and environmental sustainability are increasingly regarded as matters of national security. Traditional construction methods, such as those utilizing steel and reinforced concrete (RC) structures, contribute significantly to carbon emissions. The production of cement, a major component of concrete, is particularly energy-intensive and a major source of CO₂ emissions. Similarly, steel manufacturing involves processes that release large amounts of carbon dioxide. These emissions contribute to climate change and environmental degradation. Ultra-high performance concrete (UHPC) presents a promising solution to this problem. The superior strength and durability of UHPC mean that less material is required to achieve similar structural performances, reducing the overall carbon footprint. Additionally, its extended service-life and reduced maintenance requirements further lower CO₂ emissions over the life cycle of structures, making UHPC a more sustainable alternative in the construction industry. In this paper, various instances of UHPC utilization and projects from the past five years will be introduced and presented.

KEYWORDS: Durability, Embodied Carbon, Service-life, Sustainability, UHPC

1. Introduction

Ultra-High Performance Concrete (UHPC) or Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete (UHPFRC) is an advanced composite material characterized by its superior mechanical properties and durability compared to conventional concrete. Composed of an extremely dense matrix with particle packing design concept, and usually reinforced with steel fibers, UHPC exhibits exceptional compressive strength typically exceeding 150 MPa and impressive tensile strength, 15-40 MPa. In addition, this enhanced performance reduced porosity, resulting in a denser, more penetration resistance (Fig. 1). This particular performance makes it highly resistant to environmental degradation, including chloride penetration, chemical attacks and migration of other undesirable substances, thereby extending the service life of structures.

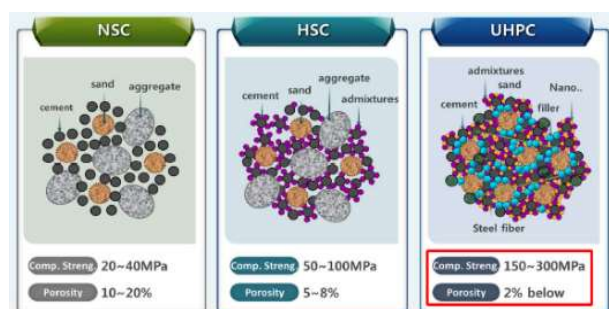


Fig.1. Comparison between normal strength concrete (NSC), high strength concrete (HSC) and UHPC [1]

Due to the superior performance, its applications are diverse, ranging from structural components and architectural elements to high-performance infrastructure projects, where longevity and reduced maintenance are crucial. Specific applications include pedestrian and vehicle bridges, prefabricated building panels, blast and impact-resistant structures, and complex architectural forms. UHPC represents a solution that transcends the limitations of traditional reinforced concrete (RC), offering superior performance and extended durability. Additionally, UHPC contributes to low carbon construction by enabling the design of thinner, lighter structures, reducing material consumption and associated environmental impacts, and enhancing the overall sustainability of construction projects. With these superior performances

mentioned, UHPC offers the next breakthrough technology in the construction industry. Various applications of UHPC conducted by SCG from the past five years will be reviewed and described in this paper.

2. Application of UHPC

2.1 SCG-UHPC Bridges

In 2021, the first post-tensioned UHPC bridge in Thailand has been erected at the SCG Headquarter, Bangkok (Fig. 2). The concept of architectural design was a low arch-shape with a limited height at mid-span to not larger than about 1.25 m, while the span length was approximately 28 m. Owing to a small height-to-span ratio, the foundation on both sides has to be encountered to extremely high lateral forces from arching action. To overcome both architectural and engineering challenges, the bridge was re-designed by using two cantilever curved girders extending horizontally from each side of abutment. Therefore, the horizontal forces acting on both abutments has been totally eliminated. However, as such long cantilever beams with a designed live load of 500 kgf/m², both girders have to resist high bending moment. To maximize the moment capacity, SCG-UHPC material which has a 150 MPa compressive strength, with a capability to resist high tensile and shear stresses, was used for manufacturing the girders. Due to a high flexural strength and a tensile hardening behavior of UHPC, none of rebar was used in thin slab decks which had a thickness between 25-75 mm.

Notably, this project won the ACI Excellence in Concrete Construction Award (First Prize in the Infrastructure) from the American Concrete Institute (ACI) in 2022 [2].



Fig.2. SCG-UHPC bridge at SCG Headquarter

In 2022, the second UHPC bridge in SCG was erected to replace the old steel bridge (at STS Cement Plant Thung-song, Nakhon si Thammarat) which had deteriorated over time due to saltwater exposure (Fig. 3a). In the planning phase, a reinforced concrete structure was considered as it would be more durable and last longer than the original steel structure in this saline environment. Nevertheless, concrete structure was much heavier than the steel, and exceeded the bearing capacity of the existing foundation. As seen in Fig. 3a, owing to limited site access, construction of a new foundation presented significant challenges. Therefore, the bridge has been re-designed and constructed by using UHPC technology. Its slimmer and lightweight allows the UHPC beams to be replaced on the existing foundation without any strengthening or additional piling required (Fig. 3b & 3c). Moreover, UHPC offers substantial benefits in term of durability under aggressive environments as mentioned earlier.

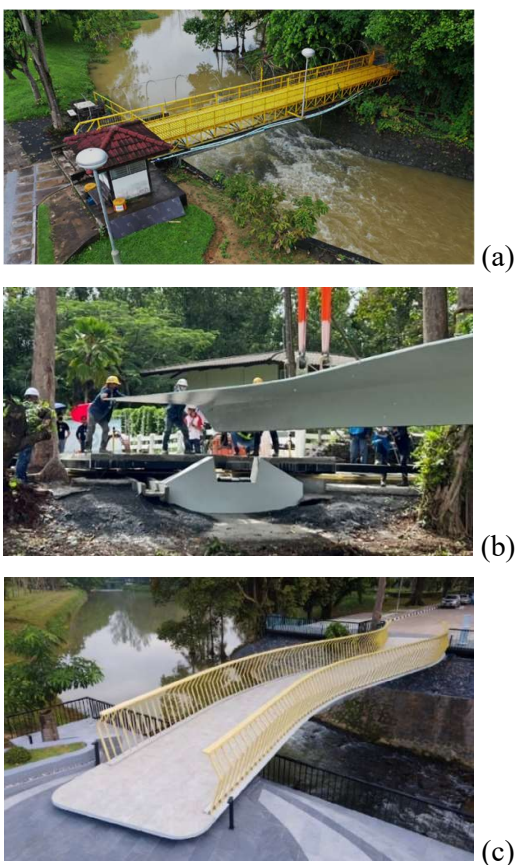


Fig.3. SCG-UHPC bridge at SCG Thung-song

2.2 High Performance joints for precast

The traditional non-emulative joint design in precast concrete structures can initiate several problems, particularly in earthquake-prone regions. The characteristics of weak joint lead to several engineering issues, for instance, lacking ductility, connection vulnerability, low redundancy and limited energy dissipation from vibration. Emulative detailing is defined as designing connection systems in a precast concrete structure, so that its structural performance is equivalent to that of a conventionally designed, cast-in-place, monolithic concrete structure [3]. Emulative detailing is different than jointed design where precast elements are separated from each other but are connected with “special jointing details” like welded, couplers or bolted plates, which requires expert installation. It has to be noted that UHPC high performance joint has typical details more or less similar to the conventional connections using conventional grouting material (Fig. 4). Hence, the working method will be more user-friendly compared to other emulative connections. However, due to a high bond strength to rebars of UHPC, the embedded length of at least 10 times of bar diameter is sufficient to overcome the slippage, even up to the rupture strength of rebar. The load-deflection of the beams in Fig. 4 shows ductility which is similar to that monolithic frame as demonstrated in Fig. 5.

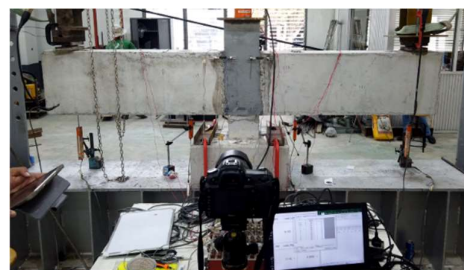


Fig.4. Precast elements connected by UHPC grout

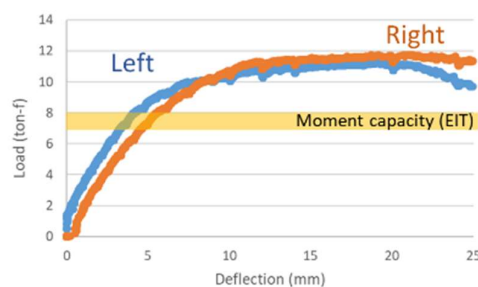


Fig.5. Load- deflection of beams with UHPC joint

2.3 UHPC elements substituting steel structures

Fig. 6 shows the prototype project of using UHPC beam-column substituting steel structure. The dimension of the warehouse was 18 m wide and 40 m long. The original design was a built-up steel structure, where the total mass of steel required was about 32,680 kg. The total embodied carbon was approximately 56 ton-CO₂. Eventually, the structure was re-designed to be a prestressed UHPC structure, where the total volume of UHPC was 27 m³. Considering the total embodied carbon of UHPC structures, including UHPC materials, prestressing strands and other emission from manufacturing, the total carbon was approximately 40 ton-CO₂, which is only about 70% of that original steel structure. With a high bearing capacity of UHPC elements, it is clearly seen that the concept of substituting steel structure by UHPC would be a promising approach to achieve the low carbon construction.

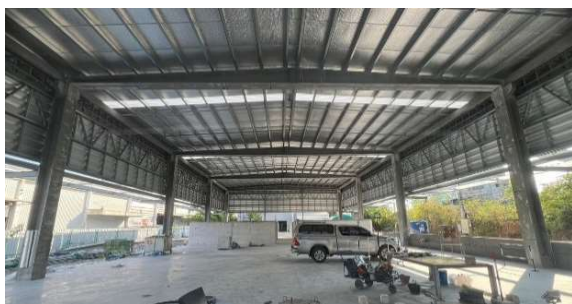


Fig.6. UHPC substituting steel structures

2.4 Decorative application

Due to its superior mechanical properties and durability, UHPC has been widely used for the design of various types of structures. However, UHPC is also suitable for decorative facades because of its exceptional strength, durability, and aesthetic versatility. The high compressive and tensile strength of UHPC allows the creation of thinner and more intricate panels compared to conventional reinforced concrete. Additionally, UHPC can be molded and fabricated into a variety of complex shapes and high-quality surface finishes due to its self-flow property. The durability of UHPC ensures that the façade elements maintain the appearance and structural integrity over time, even in harsh environmental exposures. Fig. 7 demonstrates some examples of UHPC for decorative application.

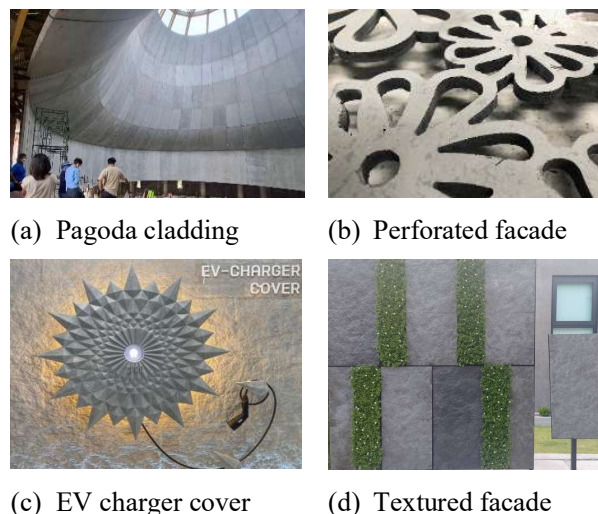


Fig.7. UHPC for decorative application by SCG

3. Conclusions

The exceptional performance of UHPC can significantly reduce the amount of material needed for construction. By enabling the design of slimmer and lighter structures, UHPC not only conserves natural resources but also reduces CO₂ emissions associated with the production and transportation of construction materials. This efficiency contributes to low carbon construction, enhancing the overall sustainability of the construction industry. UHPC represents a solution that transcends the limitations of traditional reinforced concrete (RC) or steel structures, offering superior performance and extended service-life. As the construction industry seeks more sustainable and efficient materials, UHPC stands out as the future of construction, offering significant environmental benefits and superior structural performance.

References

- [1] O.V. Aleksandrova, et al. The effect of mineral admixtures and fine aggregates on the characteristics of high-strength fiber-reinforced concrete. *Materials*, 15 (2022), p. 8851.
- [2] www.youtube.com/watch?v=NauLU_aRpBE.
- [3] Ericson, A. C., and Warnes, C. E., 1990, "Seismic Technology for Precast Concrete Systems," *Concrete Industry Bulletin*, Concrete Industry Board, Inc., Spring.

การสำรวจและออกแบบการก่อสร้างซ่อมแซมพื้นผิวทางอากาศยาน ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ
ด้วยวัสดุพอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

SURVEY AND DETAILED DESIGN FOR REPAIR OF SUVARNABHUMI AIRPORT'S AIRFIELD PAVEMENT BY PORTLAND CEMENT CONCRETE

ทัศนะ นิลวาศ¹ (Tatsana Nilaward), ธนากร พีระพันธุ์² (Thanakorn Pheeraphan)

¹วิศวกร บริษัท ไวส โพรเจ็ค คอนซัลติง จำกัด

²วิศวกรโครงสร้างอาวุโส/รองผู้อำนวยการสำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

บทคัดย่อ: ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเริ่มก่อสร้างเมื่อ พ.ศ.2546 และดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จ พ.ศ.2548 โดยมีพื้นที่ทางวิ่งประมาณ 5 แสนตารางเมตร พื้นที่ทางขับประมาณ 1.5 ล้านตารางเมตร และพื้นที่ลานจอดอากาศยานประมาณ 1 ล้านตารางเมตร ก่อสร้างบนชั้นทรายถมที่มีความหนาประมาณ 150-180 ซม. ซึ่งภายหลังการเปิดใช้งานพบความเสียหายเรื่อยมา เช่น การเสียรูปที่บริเวณพื้นผิวที่อยู่ในแนวล้อของอากาศยาน ขับเคลื่อนผ่าน (Rutting) บนทางขับเข้าสู่หลุมจอดอากาศยาน (Taxilane) รวมถึงความเสียหายในลักษณะรอยแตกจากการเสียรูป (Rutting Cracks) หรือจากการเฉือน (Shearing) โดยเฉพาะในพื้นที่ทางวิ่ง และทางขับ ซึ่งเป็นชั้นดินผิวยางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 33 ซม. ชั้นฐานหินคลุกผสมซีเมนต์หนา 72 ซม. โดยบทความนี้จะทำการศึกษาผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายดังกล่าว และพิจารณาแนวทางการแก้ไขเพื่อให้พื้นผิวอากาศยานมีความแข็งแรง และมีอายุการใช้งานที่มากขึ้น และเพื่อเป็นแนวทางการพิจารณาปรับปรุงพื้นผิวทางอากาศยานอื่นได้ต่อไป

คำสำคัญ: ทางวิ่ง (Runway), ทางขับ (Taxiway), ขับเข้าสู่หลุมจอดอากาศยาน (Taxilane), การเสียรูป, วัสดุพอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต (PCC)

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

1. บทนำ

การก่อสร้างพื้นผิวทางอากาศยาน (Airfield Pavement) ทำอากาศยานสุวรรณภูมิ เริ่มก่อสร้างเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2546 ซึ่งมีพื้นที่ทางวิ่งประมาณ 5 แสนตารางเมตร พื้นที่ทางขับประมาณ 1.5 ล้านตารางเมตร ประกอบด้วยโครงสร้างชั้นดินผิวยางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 33 ซม. ชั้นฐานหินคลุกผสมซีเมนต์หนา 72 ซม. และพื้นที่ลานจอดอากาศยานประมาณ 1 ล้านตารางเมตร ประกอบด้วยชั้นผิวคอนกรีตหนา 45 ซม. ชั้นฐานหินคลุกผสมซีเมนต์หนา 30 ซม. และชั้นรองฐานหินคลุกหนา 20 ซม. ก่อสร้างบนชั้นทรายถมที่มีความหนาประมาณ 150-180 ซม. โดยดำเนินการแล้วเสร็จและส่งมอบวันที่ 2 สิงหาคม 2548

ภายหลังประมาณ 2 สัปดาห์หลังการเปิดให้บริการเชิงพาณิชย์อย่างเป็นทางการ (วันที่ 28 กันยายน 2549) ความเสียหายอย่างผิดปกติแห่งแรกได้ปรากฏขึ้น เป็นการเสียหายที่บริเวณพื้นผิวที่อยู่ภายในแนวล้อของอากาศยานขับเคลื่อนผ่าน (Rutting) บนทางขับ (Taxilane) T13 และในเวลาต่อมา นอกจากจะพบความเสียหายในลักษณะดังกล่าวแล้ว ความเสียหายในลักษณะรอยแตกจากการเสียหายรูป (Rutting Cracks) หรือจากการเฉือน (Shearing) ในบริเวณที่อากาศยานขับเคลื่อนผ่านได้ตรวจพบในบริเวณอื่นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะบริเวณทางขับที่ใกล้กับอาคารเทียบอากาศยาน และในเวลาเดียวกันนี้ความเสียหายลักษณะเลื่อนหลุด (Slippage) ได้ตรวจพบในบริเวณพื้นที่อากาศยานรอกทำการบินขึ้น (Tack off) บนทางวิ่ง (Runway) ทั้ง 2 เส้น ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเสียหายที่บริเวณพื้นผิวที่อยู่ภายในแนวล้อของอากาศยานขับเคลื่อนผ่าน (Rutting)

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นแนวทางการประเมินสภาพความเสียหายของพื้นผิวทางอากาศยาน และกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การปรับปรุงซ่อมแซม

3. ขอบเขตการดำเนินงาน

3.1 การรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการรวบรวมข้อมูล และศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน ทั้งจากหน่วยงานภายในและภายนอก เช่น สถิติปริมาณการขนส่งทางอากาศ ปริมาณน้ำฝน สภาพะดินฟ้าอากาศ อุทกศาสตร์ ประวัติการซ่อมบำรุง และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องที่จะทำให้ทราบปัญหาที่สำคัญที่ต้องการพัฒนาปรับปรุง และแก้ไข เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ และยืนยันสภาพปัญหาที่สำคัญ

3.2 สำรวจสภาพทางกายภาพ

3.2.1 ตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่อง ความชำรุดเสียหายของพื้นผิวทาง (Pavement) ด้วยสายตา (Visual Inspection) โดยกำหนดค่าความเสียหายตาม AC 150/5320-17A^[1] ที่แบ่งค่าระดับความเสียหายออกเป็น 5 ระดับจากระดับความเสียหาย 5 คือดีมาก (Excellent) ถึงระดับ 1 คือต้องก่อสร้างใหม่ (Failed) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความเสียหายตามมาตรฐาน AC 150/5320-17A

Rating system		
Surface rating	Visible distress*	General condition/treatment measures
5 Excellent	None, or initial thermal cracks, all narrow (less than 1/8")	New pavement less than 5 years old. No maintenance or isolated crack sealing required.
4 Good	Additional thermal cracking. Cracks generally spaced more than 50' apart. Less than 10% of cracks and joints need sealing. Minimal or slight raveling. No distortion. Patches in good condition.	Recent sealcoat or pavement over 5 years old. Seal open cracks or joints and replace sealant where needed.
3 Fair	Moderate raveling. Thermal cracks and joints generally spaced less than 50' apart. Crack sealing or repair of sealant needed on 10%-25% of cracks or joints. Edge cracks along 10% or less of pavement edges. Block crack pattern with cracks 6'-10' apart. Isolated alligator cracking and poor patches. Minor distortion or crack settlement less than 1".	Seal open cracks and joints. Replace failed sealant. Apply new surface treatment or thin overlay. Minor patching and joint repair.
2 Poor	Frequent thermal cracks. Wide cracks and joints with raveling in cracks. Deterioration along more than 25% of cracks. Edge cracks on up to 25% of pavement edges. Block cracks spaced 5' apart or less. Alligator cracking or poor patches cover up to 20% of surface area. Distortion or settlement 1"-2".	Needs significant crack sealing plus patching and repair on up to 25% of pavement surface. Overlay entire area with structural overlay.
1 Failed	Widespread, severe cracking with raveling and deterioration. Alligator cracking and potholes over 20% of the area. Distortion over 2".	Condition may be limiting service. Needs reconstruction.

* A given pavement segment may only have one or two types of distress rather than all of the types listed for a particular rating.

3.2.2 สำรวจสภาพภูมิประเทศ (Topographic Survey) เพื่อตรวจสอบค่าระดับการทรุดตัว และตรวจสอบ Transverse Section และ Longitudinal Profile ของพื้นผิวทาง

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

อากาศยาน และเพื่อเปรียบเทียบกับแบบรายละเอียดการก่อสร้าง และเป็นไปตามมาตรฐาน ICAO Annex14 AERODROME STANDARDS: AERODROME DESIGN AND OPERATIONS ในเรื่อง Slope On Runways, Slope On Taxiways และ Slope On Aprons. [2]

3.2.3 ตรวจสอบลักษณะและสภาพการระบายน้ำ (Drainage Conditions)

ทำการตรวจสอบลักษณะและสภาพการระบายน้ำ (Drainage Conditions) และความพอเพียงของสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการระบายน้ำ (Drainage Structures) ทั้งน้ำผิวดินและใต้ผิวดินที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของพื้นที่ผิวทางวิ่ง ทางขับ

3.3 สำรวจดิน (Soil Investigation)

ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil Boring) ทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินด้วยวิธี Plate Bearing Test (PBT) และทดสอบประเมินคุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างทางด้วยวิธี Field CBR Test (CBR) ให้ได้ข้อมูลอย่างพอเพียงสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบโครงสร้างทางวิ่ง ทางขับ

3.4 ทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติและความแข็งแรงของวัสดุ

ทำการทดสอบ วิเคราะห์ ประเมิน คุณสมบัติของวัสดุ ความสมบูรณ์ และความแข็งแรงของโครงสร้างทางของพื้นผิวทางวิ่ง ทางขับ รวมถึงพื้นดินเดิม ในพื้นที่บางส่วนซึ่งเป็นที่ที่มีการใช้งานประจำและปรากฏปัญหาความเสียหาย ด้วยวิธีทดสอบต่างๆ ดังนี้

- Heavy Falling Weight Deflectometer (HWD)
- Ground Penetration Radar (GPR) และ Coring

การกำหนดจุดทดสอบบนผิวทางวิ่ง ทางขับในสนามบิน จะขึ้นอยู่กับชนิดของผิวทาง ปริมาณพื้นที่ที่ทำการทดสอบ และวัตถุประสงค์ในการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปใช้ ซึ่ง FAA ได้แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

- ระดับโปรเจ็ค (Project Level) มีวัตถุประสงค์ในการนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์หาคุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างทางเพื่อการออกแบบซ่อมบำรุง ออกแบบเสริมความแข็งแรง หรือออกแบบสร้างผิวทางใหม่ การทดสอบในระดับนี้ มักจะทำ

เพียงบางส่วนของพื้นที่ หรือเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ หรือเสียหายเท่านั้น

- ระดับเน็ตเวิร์ค (Network Level) มีวัตถุประสงค์ในการนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงข้อมูลการบริหารจัดการผิวทางวิ่งทางขับ หรือเพื่อหาค่า ACN/PCN ของท่าอากาศยาน การทดสอบในระดับนี้มักจะทำการทดสอบทั้งหมดของพื้นที่ Airside และ Landside

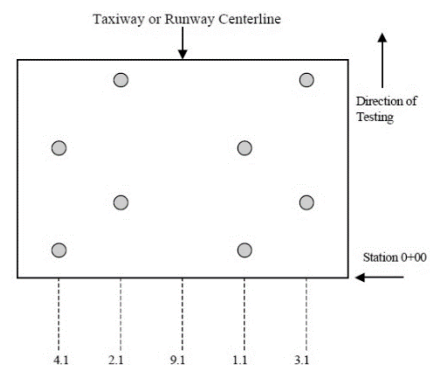
ซึ่งจุดทดสอบและความถี่ในการทดสอบ FAA ได้ให้คำแนะนำในการกำหนดตำแหน่งและระยะต่างๆ ตามระดับการทดสอบรวมถึงชนิดของผิวทางที่จะทำการทดสอบ ไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 TYPICAL RUNWAY AND TAXIWAY TEST LOCATIONS AND SPACING, FEET (m)

Test type	Jointed PCC and HMA overlaid PCC				HMA			
	Project level		Network level		Project level		Network level	
	Offset, ft. (m)	Spacing, ft. (m)	Offset, ft. (m)	Spacing, ft. (m)	Offset, ft. (m)	Spacing, ft. (m)	Offset, ft. (m)	Spacing, ft. (m)
Center	10 (3) 30 (9) 65 (20)	100 (30) 100-200 (30-60) 400 (120)	10 (3)	200-400 (60-120)	10 (3) 20 (6) 65 (20)	100 (30) 100-200 (30-60) 200-400 (60-120)	10 (3)	200-400 (60-120)
Transverse Joint	10 (3) 30 (9) 65 (20)	100-200 (30-60) 200-400 (60-120) 400 (120)	10 (3)	400 (120)				
Longitudinal Joint	20 (6) 40 (12) 60 (18)	200 (60) 400 (120) 400 (120)						
Corner	20 (6) 40 (12) 60 (18)	200 (60) 400 (120) 400 (120)						

NOTE: For each centerline offset, there are two NDT passes, one to the left and one to the right; spacing is staggered between adjacent NDT passes; and a minimum of two NDT tests should be conducted per pavement section.

ตามตำแหน่งและระยะต่างๆ สำหรับผิวทางวิ่งทางขับที่ FAA แนะนำแล้ว ยังรวมถึงระบบการตั้งชื่อจุดทดสอบด้วย เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปใช้วิเคราะห์หรือบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังตัวอย่างในรูปที่ 2



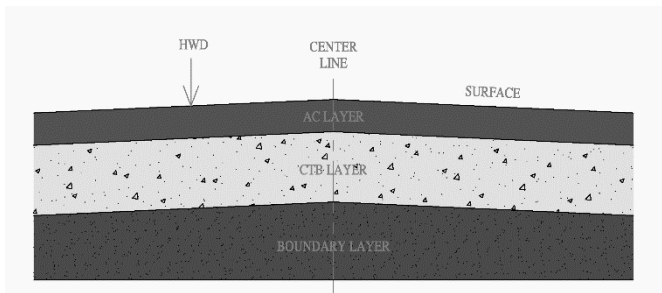
NOTE: First number indicates HMA lane number, second number indicates a "center" test for HMA pavements.

รูปที่ 2 EXAMPLE RUNWAY OR TAXIWAY SKETCH FOR HMA PAVEMENTS

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

โดยจำนวนแนวในการทดสอบแบ่งไว้ 5 แนว (5 Line) คือ 9.1, 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 จะเห็นได้ว่าการกำหนดจุดทดสอบบนแนวทดสอบจะเอียงกัน เพื่อต้องการให้จุดทดสอบครอบคลุมพื้นที่ทำการทดสอบมากที่สุด ส่วนความหมายของการตั้งชื่อจุดทดสอบ คือหมายเลขตัวแรกคือชื่อของเลนหรือแนวที่ทดสอบ (9 คือแนวศูนย์กลางทาง 1-4 คือแนวทดสอบที่ 1-4) หมายเลขตัวที่สองคือชื่อของตำแหน่งการทดสอบ (1 คือการทดสอบในตำแหน่ง “Center”, 2 คือการทดสอบในตำแหน่ง “Joint” หรือ “Corner” ซึ่งจะมีใช้กับผิวทางที่เป็น PCC และ HMA Overlaid PCC เท่านั้น)

จากการทดสอบ HWD จะได้ข้อมูลที่สำคัญ คือ ค่า Deflection Bowl ที่ได้จากการแอนตัวของพื้นผิวของ Geophone ทั้ง 9 ตัว ซึ่งจากข้อมูลจะถูกนำไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ELMOD โดย Deflection Bowl และจากค่าความหนาของชั้นทางที่ทราบจาก GPR และ Coring และคุณสมบัติของวัสดุจะถูกคำนวณย้อนกลับ (Back calculation) โดยโปรแกรม ELMOD เพื่อหาค่ามอดุลัสของชั้น AC layer, CTB layer และ Boundary Layer ของโครงสร้างพื้นทางดังแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงชั้นโครงสร้างพื้นทางในการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบ HWD และ GPR

ตาม AC 150/5320-6 กำหนดให้กลุ่มข้อมูลที่น่ามาพิจารณาจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation, CV) ของข้อมูลที่ไม่เกิน 20% โดยค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, STDEV) และค่าเฉลี่ย (Avg) ดังสมการ (1)

$$CV = \frac{STDEV}{Avg} \times 100 \leq 20\% \quad (1)$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation, CV) ของกลุ่มข้อมูลมีค่าเกินกว่า 20% จะต้องพิจารณาตัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติจากกลุ่มข้อมูลออกแล้วนำข้อมูลไปคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) และค่าเฉลี่ย (Avg) ใหม่จนกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation, CV) ที่ได้จะมีค่าไม่เกิน 20%

จากกลุ่มข้อมูลที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation, CV) ไม่เกิน 20% สามารถคำนวณค่ามอดุลัส (E) และความหนา (Thk.) ตาม AC 150/5320-6 ได้ดังสมการ (2)

$$(E, Thk.) = Avg - STDEV \quad (2)$$

ค่าต่างๆ ที่ได้จากคำนวณย้อนกลับ (Back calculation) ดังนี้

- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E (Elastic Modulus) ของแต่ละชั้นพื้นทาง
- ค่าโมดูลัสการต้านแรงของดินคั่นทาง K (Modulus of Subgrade Reaction)
- ค่าความแตกต่างของการแอนตัว Differential deflection

หลังจากที่ทราบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E (Elastic Modulus) ของแต่ละชั้นพื้นทางจากขั้นตอนของ Back-calculation แล้วนั้น (ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม BAKFAA ของ FAA ได้เช่นกัน) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นดังกล่าวนี้จะได้รับการนำไปใช้ต่อไปในขั้นตอนของการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างของพื้นผิวทางอากาศยาน ดังนั้นเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลดังกล่าวนี้ จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบข้อมูลค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแต่ละชั้นพื้นทางด้วยการใช้วิธีทดสอบ Dynamic Cone Penetrometer (DCP) ตาม ASTM D6951 ในขั้นตอนของการทำ Coring พร้อมกันเพื่อหาค่า Stiffness ของทั้ง Base, subbase และ subgrade (ในกรณีที่สามารทำได้) ตามคำแนะนำที่ได้ระบุไว้ใน AC 150/5320-11B “Use of Nondestructive Testing in the Evaluation of Airport Pavements” [3] นั้น

3.5 การวิเคราะห์ Impulse Stiffness Modulus (ISM) ตาม AC 150/5320-6F^[4] ข้อมูลโหลดผลตอบสนอง (Load Response) ที่ได้จากการทดสอบในสนามด้วยอุปกรณ์ทดสอบแบบไม่ทำลายนั้น จัดให้มีข้อมูลที่มีประโยชน์มากในเรื่องของความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง แม้ว่าข้อมูลดังกล่าวนี้ จะไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งแรงของแต่ละชั้นทาง แต่ข้อมูลนี้จะให้ผลการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางที่รวดเร็ว

Pavement Stiffness ได้รับการนิยามเป็นแรงพลวัตหารด้วยการแอนตัวของพื้นทางที่จุดศูนย์กลางของแผ่นโหลด ในที่นี้ การคำนวณค่า สำหรับอุปกรณ์แบบอิมพัลส์ Stiffness หาได้จากโหลดหารด้วยการแอนตัวที่มากที่สุดภายใต้แผ่นโหลดนี้ ในที่นี้ Impulse Stiffness Modulus (ISM) ได้รับการนิยามไว้ดังสมการที่ (3)

$$ISM = (L/d_o) \quad (3)$$

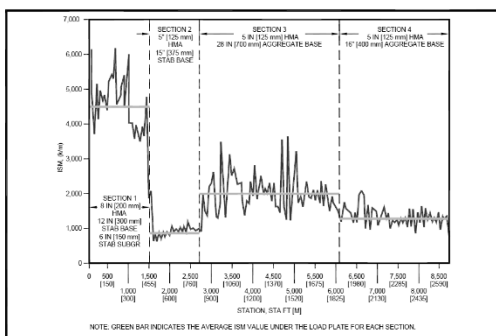
เมื่อ ISM = Impulse Stiffness Modulus (kips/in)

L = โหลดที่ใช้ (kips)

d_o = การแอนตัวที่มากที่สุดภายใต้แผ่นโหลดนี้ (inch)

การวิเคราะห์ในเบื้องต้นของข้อมูลการแอนตัวที่จุดศูนย์กลางนี้สามารถพิจารณาได้จากการวาดกราฟ ISM ตามความยาวของทางวิ่ง และทางขับได้ เมื่อพิจารณาจากตัวอย่างกราฟ ISM ดังรูปที่ 4 พบว่าค่า ISM ภายใต้แผ่นโหลดนี้จัดให้มีตัวบ่งบอกของความแข็งแรงทั้งหมดของโครงสร้างชั้นทางทั้งหมดของแต่ละตำแหน่งทดสอบของโครงสร้างชั้นทาง

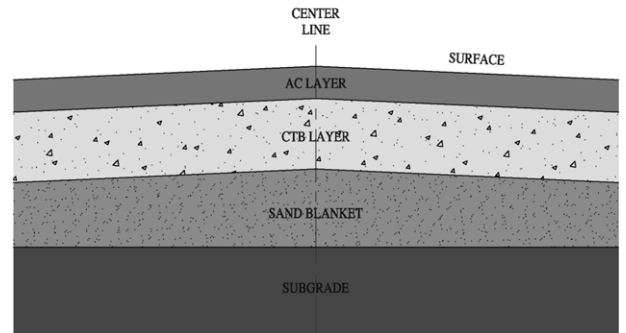
Figure C-3. ISM Plot Identifying Pavement Section Limits



รูปที่ 4 ตัวอย่างกราฟ ISM ที่แสดงความแข็งแรงของแต่ละโครงสร้างชั้นทาง (ข้อมูลจาก AC 150/5320-6F)

3.6 การคำนวณอายุการใช้งานคงเหลือ

ในการคำนวณอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของโครงสร้างชั้นทางโดยใช้โปรแกรม FAARFIELD 1.4^[5] จะทำการวิเคราะห์อายุคงเหลือของผิวทางโดยพิจารณาถึงโครงสร้างชั้นทางและความหนาตามพื้นที่จริง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงรูปตัดชั้นโครงสร้างทางสำหรับวิเคราะห์อายุคงเหลือ

โดยพิจารณาเลือกจากค่ามอดุลัสและความหนาของแต่ละชั้นทางที่ได้จากการทำ Back calculation จากการวิเคราะห์ผลทดสอบ HWD และ GPR ผลทดสอบค่ามอดุลัสของ CTB และค่าที่ได้จากผลเจาะสำรวจและทดสอบดิน ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่ามอดุลัสและความหนาเพื่อคำนวณอายุการใช้งานคงเหลือ

ชั้นทาง	ค่ามอดุลัส	ความหนา	ที่มา
ชั้น AC	25%*	จาก GPR	ค่ามอดุลัสจากการทำ Back calculation
ชั้น CTB	100%	จาก GPR	ค่ามอดุลัสจากการทำ Back calculation
ชั้น Sand Blanket	11% (110 MPa)	จากการเจาะทดสอบ	ค่ามอดุลัสต่ำสุดจากการทดสอบ Field CBR ในภาคสนาม
ชั้น Subgrade	3% (30 MPa)	ค่าอนันต์ (∞)	ค่ามอดุลัสจากการเจาะทดสอบดินจาก IEC ^[6] /ค่าสมมติฐานของ FAARFIELD

*เนื่องจากค่ามอดุลัสของชั้นแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (AC) จะมีค่าลดลงประมาณ 75% ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

3.7 การกำหนดพื้นที่ซ่อม

กำหนดเกณฑ์การประเมิน เพื่อกำหนดพื้นที่ซ่อมจากข้อมูลที่ได้ศึกษารวบรวมและผลการทดสอบต่างๆ ที่บ่งบอกถึงความเสียหายที่อาจเกิดได้จากความเสียหายอย่างหนึ่งอย่างใดตามผลการสำรวจหรือการทดสอบนั้น เป็นพื้นที่ที่สมควรได้รับการซ่อม ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เกณฑ์ระบุพื้นที่ที่มีความเสียหาย

ลำดับ	การสำรวจ/ ทดสอบ	เกณฑ์ระบุพื้นที่ที่มีความเสียหาย
1	ผลการสำรวจลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างทางวิ่งทางขับตาม	การประเมินตาม AC 150/5320-17A เท่ากับ 1 (วิบัติ)
		ผลความลาดชันตามขวาง (Transverse Slope) < 1%
		ระยะลึกของร่องล้อ > 25 มม.
2	ข้อมูลบันทึกการซ่อม	พื้นที่ซ่อมระยะสั้นในช่วง >100 ครั้ง
		พื้นที่ที่มีการซ่อมระยะกลาง
3	การวิเคราะห์ค่า Impulse Stiffness Modulus (ISM)	ค่าเฉลี่ย ISM < 3,000 kips/in
4	การทำนายอายุการใช้งานคงเหลือ	อายุการใช้งาน < 20 ปี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Federal Aviation Administration, and Office of Airport Safety and Standards. "Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals." Advisory Circular AC 150/5320-17A, 2014.
- [2] International Standards and Recommended Practices (ICAO), Annex14, AERODROMES STANDARDS, "AERODROME DESIGN AND OPERATIONS." July 2018
- [3] AC 15025370-11B, "Use of Nondestructive Testing in the Evaluation of Airport Pavements"
- [4] Federal Aviation Administration, and Office of Airport Safety and Standards. "Airport Pavement Design and Evaluation." Advisory Circular AC 150/5320-6F, 2016.
- [5] Federal Aviation Administration, and William J. Hughes. "Pass-to-Coverage Computation for Arbitrary Gear Configurations in the FAARFIELD Program." December, 2012.
- [6] IJK Consortium, "Independent Engineering Consultant Services for Study of Airfield Pavement Failures and Remedial Measures for Suvarnabhumi Airport", 2008.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) และ บริษัท ไวส์ โพรเจ็ค คอนซัลติ้ง จำกัด (ที่ปรึกษางานสำรวจและออกแบบฯ) ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลจากงานสำรวจและออกแบบการก่อสร้างซ่อมแซมพื้นผิวทางอากาศยานท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ด้วยวัสดุพอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต พ.ศ.2559 เพื่อประกอบเป็นบทความในครั้งนี้

Srisangthum Microgrids Model, Performance Outcomes, and Feedback from User Experience of Application Technologies Implementation for Energy Regulatory Sandbox (ERC Sandbox) at Srisangthum Model in Thailand: A Review

**W.Srithiam,
Electricity Generating Authority of Thailand**

Thailand

SUMMARY

The emerging use of microgrid technologies in Thailand nowadays is the digital platform combined with renewable energy sources. The Energy Regulatory Commission (ERC) introduced the ERC Sandbox project in July 2020 to invite Thai utilities and power generating businesses to test their innovations. Subsequently, starting in April 2021, the Energy Regulatory Commission (ERC Sandbox) invited the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) to participate for two years in testing out innovative microgrid applications on the digital platform. In the northeastern region of Thailand, in Ubon Rachathani, the EGAT microgrid's rural component was launched. The consumers' main complaints in this area are the frequent power outages and poor power quality caused by the lengthy distribution network.

The microgrid energy management system would be put to the test using a battery energy storage system (BESS) for islanding in order to increase the reliability of the power supply. Digital platforms are established to test with local people how they use their solar energy when excess energy occasionally happens during the day in order to create the market place for renewable energy sharing from prosumers and consumers, such as solar rooftops, in each region. The challenge of rural area is not only the technical term but also non-technical term needs to be supported with local people. Therefore, EGAT had deployed the solar rooftops, BESS, microgrid system with digital platforms namely, peer to peer energy trading platform, energy management system in building with IoTs, the radio frequency smart grid band 442/447 Mhz. The paper will present an overview of the Srisangthum microgrid with digital platform testing. The microgrid's total energy, which was over 50% in October, 60% in November, and 58% in December 2021, was shared by the solar rooftop with BESS. This article will present data on the distribution of solar rooftop and BESS in 2022. The results of net metering, net billing, and peer to peer using are reviewed in comparison with the current electricity tariff in Thailand during the year 2022. The results of BESS islanding mode application are used for six times during the year because of many reasons, namely, an external distribution system outage, a malfunction of the system curtailing the solar microgrid, and a malfunction of the automatic transfer switch (ATS). However, there are many experiences for trouble system how to trouble shooting which will present on this paper.

KEYWORDS

Battery Energy Storage System, Peer to Peer energy trading, Srisangthum, ERC Sandbox

1. Introduction

Microgrid, initially, have been established from self healing concept relied on demand and supply in domestic areas. As the entire world embraces the renewable energy resources by means of utilizing clean energy and promotes the sustainability concept by using the energy produced in community instead of construction the transmission line supplying that from external grid. Following that, EGAT has planned to develop Smart Grid Pilot Project in Srisangthum to deploy renewable energy such as: solar power and battery energy storage system contributed to green aspects. Although solar energy technology will be added into the microgrid, it can only generate power for day time; meanwhile, the electricity from the main grid is supplied by the 22 kV long distance distribution systems. During rainy season, the trees are felled by storms and they may impact on the interruption of power supply causing the lowest electric reliability of this province. So, the BESS, Mtcrogrid technology shall be used for this pilot project in order to cover the power imbalance between the supply and demand in Srisangthum ERC Sandbox by storing the excess energy and supplying that to the system in case of the power shortage. Moreover, Peer to Peer application can support for prosumers to create energy exchange activities to make people awareness for their green energy from solar rooftop.

2 Overview of Srisangthum Pilot Project of ERC Sandbox

In present, the power supply in Srisangthum pilot project is called by independent power supply (IPS) with four areas in this area, i.e. the Srisangthum temple, Srisangthum school, Ban Dong Dip School, and Chilhood School. The supply area of IPS is located in each area.



Figure 1 location of Srisangthum pilot project in ERC Snadbox

Figure 1a Srisangthum pilot project, there were five technologies which was implemented in 2020 namely 1. Peer to Peer energy trading platform, 2. Net Metering and Net Billing, 3. Energy Storage System, 4. Microgrid and 5. Supply and Load Aggregator. Apart from that, Solar Rooftop, BESS, IoT equipment and Energy Management System (EMS) are ultimately four of several plans convinced they are noticeably outweighed by the advantages. Therefore, it will be predominant technologies asserted in the first period of the pilot project. The BESS technology and micro-EMS, shown in Figure 2, are applied when the system is instability. The technical characteristics of the microgrid used in this analysis are extracted and are shown in Table 1.

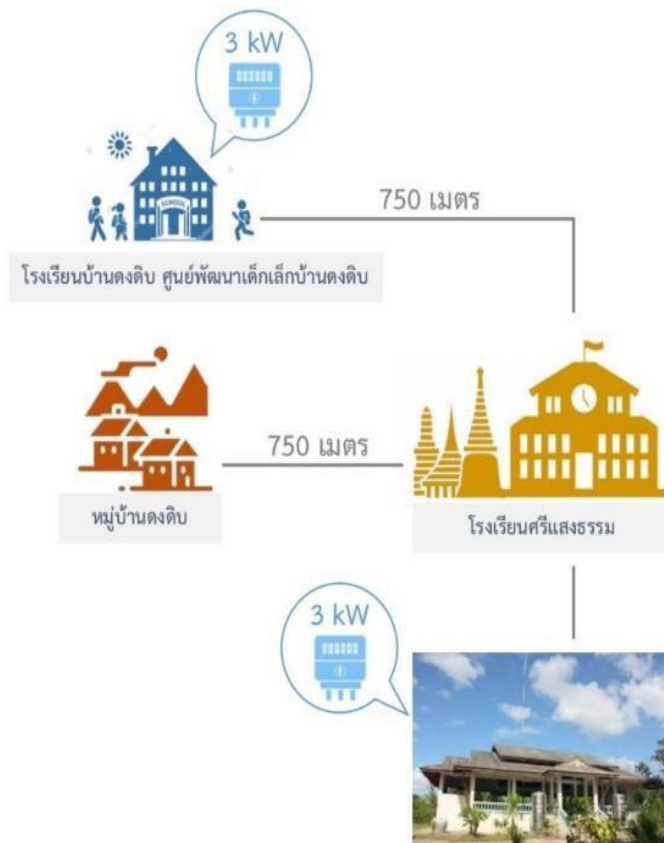


Figure 2, Five technologies P2P, Net metering, Net billing, Battery energy storage, Microgrid and Supply and Load aggregate in this for four prosumers

Srisangthum School	Srisangthum Temple	Ban Dong Dip School	Childhood School
Solar 40 kW Demand 15 kW Hybrid BESS 150 kWh	Solar 30 kW BESS 50 kWh Demand 10 kW	Solar 5 kW Demand 3 kW	Solar 5 kW Demand 3 kW
Islanding Mode only for Srisangthum School			

Table.1 The renewable capacity in Srisangthum Pilot Project

3 Power System Model

In this paper, community load and solar data are assumed to be deterministic at peak set. The impacts of energy storage sizing, load forecasting and solar data involved in accuracy are out of the scope. The five

technologies were implemented in four areas which concluded solar rooftop, BESS, EMS, P2P and Supply/Load aggregator into single line diagram (SLD). The composite models in BESS was deployed into 2 functional concepts, Lead for energy application (50/100 kWh) and Lithium Ion for power application (50kW/50 kWh) as follow:

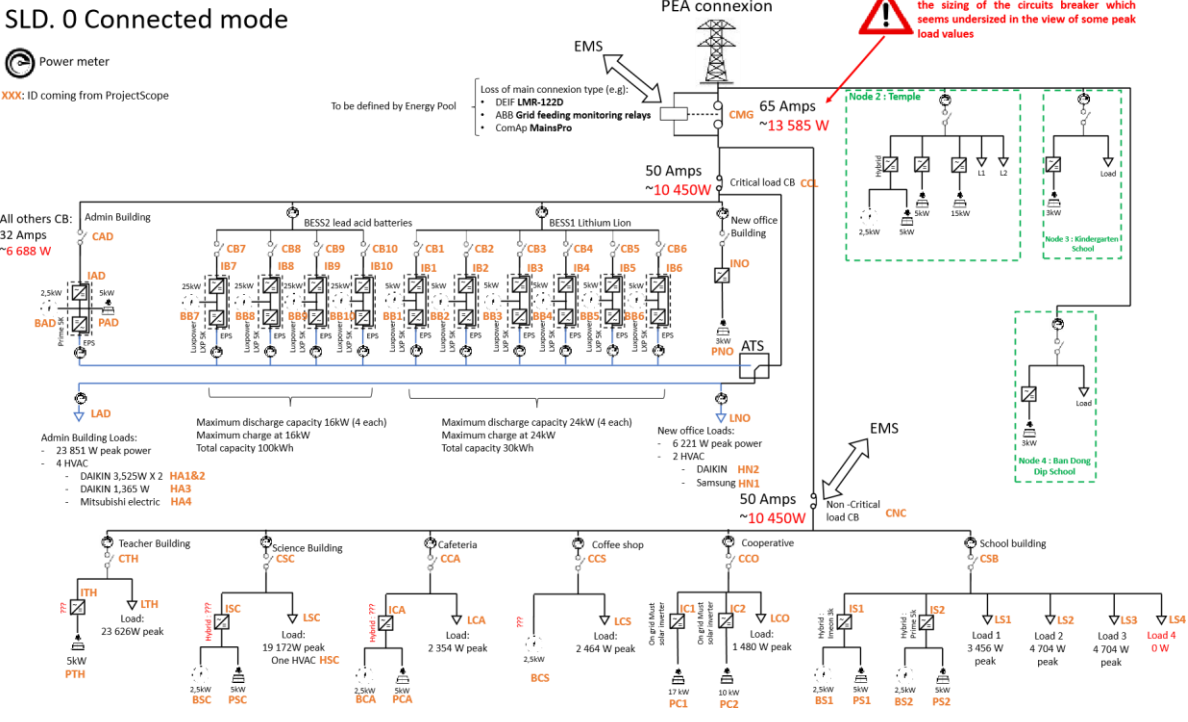


Figure 2 Single Line Diagram of renewable energy, BESS Technology

Regarding P2P application models, there were four prosumers for this pilot project. The application of P2P was used namely PUNFAI application which supported for energy trading in 4 hours ahead for the short period and day ahead energy trading. Besides, the platform set up bid to purchase/offer to sell their energy, set up price (Bath/kWh) and quantity (kWh), select time period to settle the energy (Hourly basis). There are two matching procedures

Regarding Net metering and Net billing, the EMS could inform into four prosumers which can acknowledge the price of energy. However, P2P and Net billing cannot use in the same time.

Regarding EMS models, the EMS was mainly connected with IoTs of air conditioner, smart lighting and smart plug. The EMS could control not only IoTs but also solar rooftop and hybrid BESS could be controlled for power and energy control.



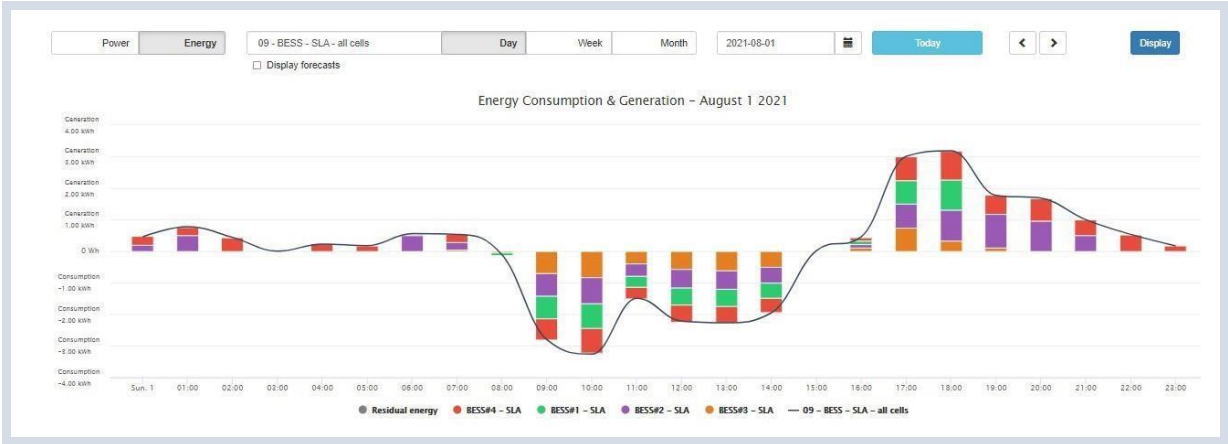
Figure 3 IoTs connection with EMS

Regarding the hybrid BESS, Lead acid was the energy application for this pilot project. Lithium Ion was the power application. So, Litium Ion was the first priority when the miss operation occurred.

Regarding supply and load aggregators, the EMS could be control both generation part and consumption part. This leads to supply and load aggregator for this area.

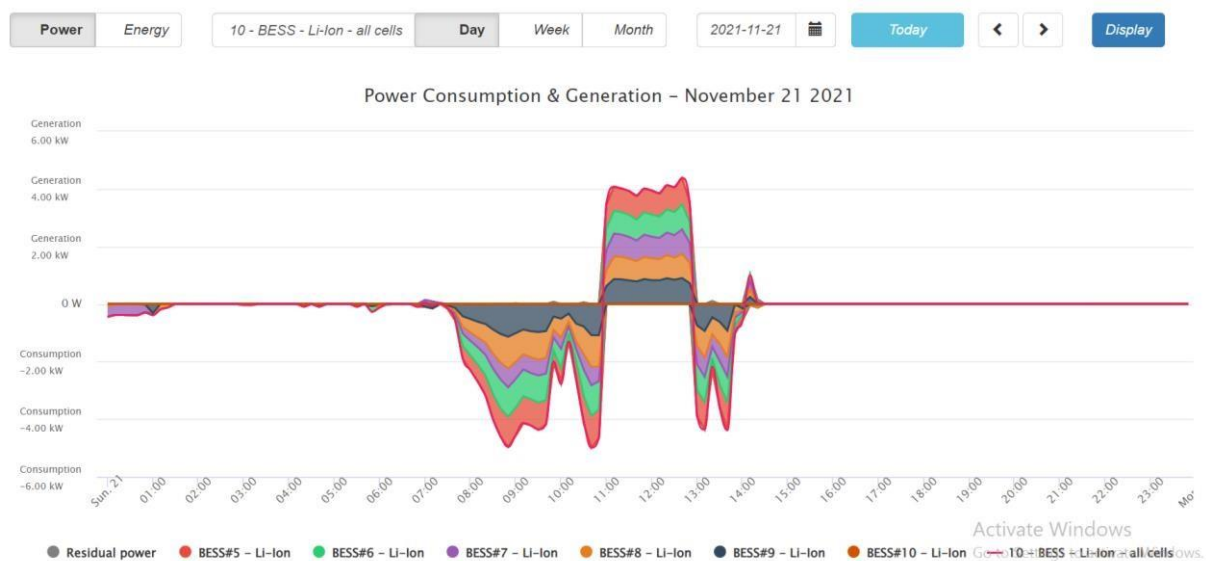
4 Results

4.1 Microgrid operation during normal situation



In terms of Srisangthum, the BESS scenario was used to store during the day time when the power excess occurred from solar generation. In evening until the night time, BESS from lead acid was discharged to the Srisangthum school for the night time. So, this leads to save energy consumption for this school.

4.2 Microgrid operation during Islanding situation



Regarding BESS, there are myriad advantages for the system which it feed instantly the power to the microgrid so as to mitigate the negative impact in terms of frequency. As can be seen red graph as the frequency, the results show that it suddenly drops after a fault occurs. Afterward, it is an upward trend over the period, to serve the load on time. So, the transition of the AC coupling was seamless from interruption form the switching process even the equipment was installed in AC coupling terms.

5 Conclusion

Having analyzed the issue of Microgrid, BESS and Solar generation involvement, it is noticeable that BESS can mainly be a key function to solve these problems which leads to recovery of the system. Not only do BESS contribute the advantages to the system but also EMS put in a final justification. Nevertheless, should EMS application does not be used to this it will not be able to manage the load appropriate way to the best operation under the constraints.

7. References

- [1] John P. Barton and David G. Infield, "Energy storage and its use with intermittent renewable energy" IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.19, pp. 441-448 No.2, June 2004.
- [2] M.Rose, R.Hidalgo, C.Abbey, G.Joos, "energy storage system scheduling for an isolated microgrid" in IET renewable power generation,
- [3] Hristiyan Kanchev, Di Lu, Frederic Colas, Vladimir Lazanov, Brono Francois, "Energy management and operation planning of a microgrid with a PV-Based active generator for smart grid application" IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.58,No.10, October 2011.
- [4] Haihua Zhou, Tanmoy Bhattacharya, Duong Tran, Tuck Sing Terence Siew, and Ashwin M. Khambadkone, "Composite energy storage system involving battery and ultracapacitor with dynamic energy management in microgrid applications" IEEE Transactions on Power Electronics, vol.26,pp. 923-929 No.3, March 2011

UNMANNED AERIAL VEHICLE SUEVEY: CPAC DRONE SOLUTION

Papart Puthom

Smart and Green Mining Assistant Manager, SCG Cement Co., Ltd., papartpu@scg.com

บทคัดย่อ: การใช้งานยานพาหนะทางอากาศไร้คนขับ (UAVs) หรือโดรน เป็นวิธีการสำรวจทางเลือกที่ดีกว่าการสำรวจแบบดั้งเดิม ในปัจจุบันโดรนมีความสามารถในการทำงานได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น ช่วยลดเวลา ค่าใช้จ่าย และแรงงานได้ถึง 50-70% เมื่อเทียบกับวิธีการสำรวจแบบเดิม โดย CPAC Drone Solution เป็นตัวอย่างหนึ่งที่ทำให้บริการสำรวจทางอากาศสำหรับโครงการก่อสร้าง เช่น การทำแผนที่ภูมิประเทศ การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ การประเมินพื้นที่ขุด และการวัดปริมาณวัสดุในกอง ซึ่งใช้ได้หลายอุตสาหกรรม เช่น การก่อสร้าง การทำเหมืองพลังงานหมุนเวียนและการจัดการน้ำ ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กล้องความละเอียดสูงและอุปกรณ์ที่ใช้แสงในการวัดระยะ LiDAR เข้ามาใช้ในการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบภูมิสารสนเทศ สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในการทำแผนที่ , การเก็บข้อมูลในการทำเหมืองแร่, การวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำหรือแม้กระทั่งทำนายพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดน้ำท่วมเพื่อเตรียมการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น การศึกษานี้ใช้เทคโนโลยีโดรนเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ

คำสำคัญ: CPAC , UAV , โดรน , การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

1. รายละเอียดทั่วไป

เทคโนโลยีในการสำรวจปัจจุบันมีการนำอากาศยานไร้คนขับหรือ Unmanned Aerial Vehicle(UAV) นำมาใช้ในการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ

(Aerial Photogrammetry) ทดแทนในการสำรวจด้วยวิธีดั้งเดิม ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานต่อที่หลากหลาย โดย CPAC Drone Solution มีแนวคิดที่จะนำภาพถ่ายทางอากาศและผลผลิตของภาพถ่ายทางอากาศ มาใช้ประโยชน์เพิ่มเติม

ในรายละเอียดจะกล่าวถึงการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศนำมาวิเคราะห์การไหลของน้ำในพื้นที่ โดยพื้นที่ที่ใช้ในการสำรวจคือ ลุ่มน้ำแม่สา อำเภอมะริม จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ในการสำรวจ 10 ตารางกิโลเมตร เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับมาวิเคราะห์การไหลของน้ำในพื้นที่ว่าสอดคล้องกับข้อมูลทิวเขาระหว่างปีในอดีตหรือไม่ รวมถึงการสำรวจทางอากาศในแหล่งชุมชนหรือพื้นที่สำคัญทางเศรษฐกิจ จะช่วยวางแผนไม่ให้เกิดความเสียหายและป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นได้

2. ขั้นตอนการทำงาน

1.1 วิธีการสำรวจ

ใช้อากาศยานไร้คนขับเข้าสำรวจระยะไกลด้วยวิธีการสำรวจแบบ Aerial Photogrammetry คือการรังวัดบนภาพถ่ายและนำไปแปลภาพเพื่อให้ได้ลายเส้น [1]

อากาศยานไร้คนขับ DJI รุ่น Matrice 350 โดยกล้องถ่ายภาพที่เป็นมาตรฐานในงานสำรวจ (Survey Grade) [2] ขนาดเซนเซอร์มากกว่า 1 นิ้ว มีความละเอียดจุดภาพ 45 ล้านพิกเซล และวางแผนการบินให้มีส่วนซ้อนของภาพร้อยละ 85 และส่วนเกยของภาพร้อยละ 75 และรูปแบบการบินเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากครอบคลุมพื้นที่ 10 ตารางกิโลเมตร

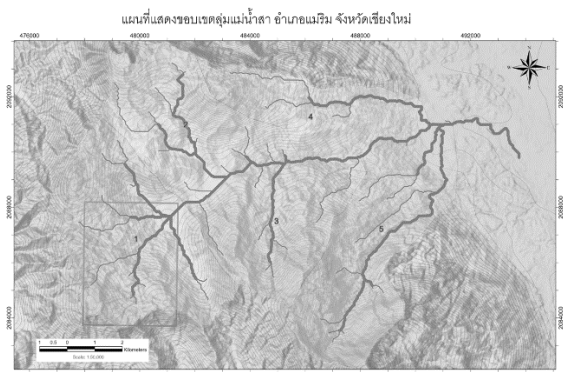
งานภาคสนามใช้ระยะเวลาในการถ่ายภาพจากอากาศยานไร้คนขับ 25 นาทีต่อเที่ยวการบิน โดยใช้การบินทั้งหมด 4 เที่ยวบิน รวมระยะเวลาในการทำงานพื้นที่ 10 ตารางกิโลเมตร จำนวน 2 วัน

1.2 การประมวลผล

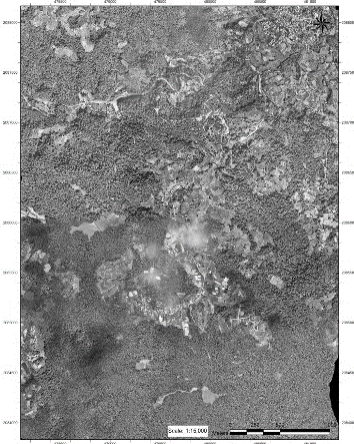
หลังจากได้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ จะนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลด้วยโปรแกรมที่ใช้ในการสำรวจแบบ Photogrammetry ใช้ระยะเวลาในการประมวลผล 1 วัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบผลผลิตในแผนที่และลายเส้นแผนที่ สุดท้ายและนำผลลัพธ์ที่ได้มาประมวลต่อในรูปแบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ

1.3 การวิเคราะห์การไหลของน้ำ

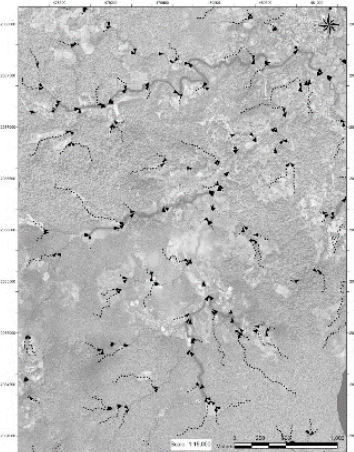
ข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศนำมาประมวลผลต่อกับโปรแกรมเฉพาะทางภูมิศาสตร์สารสนเทศและวิเคราะห์ทิศทาง การไหลของน้ำตามแผนที่ภูมิประเทศ



ภาพที่ 1 ขอบเขตการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ



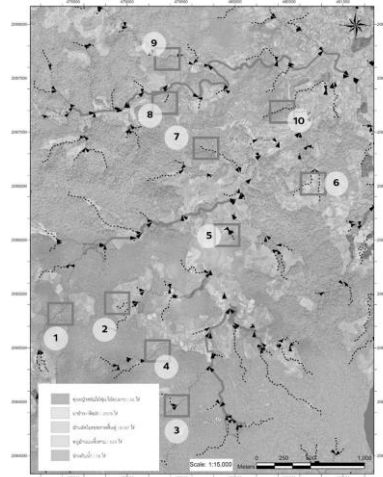
ภาพที่ 2 ข้อมูลจากการสำรวจแบบ Photogrammetry และจัดทำในรูปแบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ



ภาพที่ 3 ข้อมูลจากวิเคราะห์การไหลของน้ำในพื้นที่

3. สรุปผลในการทำงานและข้อเสนอแนะ

จากที่นำข้อมูลจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับเข้ามาสำรวจการไหลของน้ำในพื้นที่ที่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานต่อในอนาคต อาทิ ตำแหน่งสำหรับขุดบ่อกักเก็บน้ำ หรือตำแหน่งการทำฝายชะลอน้ำเพื่อนำน้ำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และสามารถลดระยะเวลาในการสำรวจพื้นที่ทั้งหมด 10 ตารางกิโลเมตรโดยไม่จำเป็นต้องลงพื้นที่ทั้งหมดแต่สามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศและการวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์สารสนเทศมาใช้เป็นแนวทางในการสำรวจภาคพื้นดินเพื่อลดการใช้ทรัพยากรคนและเวลา



ภาพที่ 4 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการทำบ่อกักเก็บน้ำในพื้นที่

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณที่ว่าการอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเริ่มต้นในการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักวิศวกรรมการบินเมือง, 2564. การสำรวจและจัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ. พิมพ์ครั้งที่ 1 พิมพ์ที่ บริษัท แอคทีฟ 888 จำกัด
- [2] คณะอนุกรรมการมาตรฐานงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2565. มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1 พิมพ์ที่ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

Advancing Sustainable Construction: The Role of 3D Printing in Reducing Carbon Emissions and Enhancing Efficiency

Passarin Jongvisuttisun¹
Chalermwut Snguanyat¹

¹Innovation and Technology, Cement and Green Solution Business, SCG Cement

ABSTRACT: Major challenges that the worldwide construction industry faces include carbon emissions, environmental sustainability, labor shortages, safety concerns, environmental impact, and long lead times. Several construction technologies have emerged to address these issues, with 3D Construction Printing being one of the most promising. The precision and efficiency of digital fabrication allow for the construction of structures with significantly less waste and material usage, thus reducing the overall carbon footprint. Additionally, 3D printing enables the incorporation of innovative materials, such as construction demolition wastes and bio-based materials for low-carbon 3D printing mortar, and the use of designs that enhance sustainability. Its ability to produce complex geometries with high accuracy minimizes the need for additional support structures, further reducing waste.

Furthermore, 3D Construction Printing offers unparalleled design flexibility, allowing architects and engineers to create complex, bespoke structures that were previously unfeasible with traditional construction methods. This technology is in the early stages of the S-curve of adoption in many countries, indicating significant growth potential and increasing acceptance within the industry.

This paper presents various of 3D printing construction projects from CPAC 3D printing, highlighting the environmental benefits and advancements in digital fabrication technology. By leveraging 3D printing, the construction industry can achieve greater sustainability and efficiency, paving the way for a more environmentally friendly future.

KEYWORDS: 3D Printing, Digital Fabrication, Embodied Carbon, Sustainability

Introduction

The global construction industry grapples with significant challenges, including escalating carbon emissions, labor shortages, safety concerns, and the urgent need for sustainable practices. 3D Concrete Printing (3DCP) has emerged as a transformative technology, offering potential solutions to these pressing issues. In Thailand, research and development efforts, coupled with the successful implementation of pilot projects, are showcasing the capabilities of 3DCP in revolutionizing the construction landscape.

Research and Development: Understanding 3D Printed Concrete

Thai researchers are actively investigating the unique behavior of 3D printed concrete, recognizing its distinction from traditional cast concrete due to its layer-by-layer construction process. The interface strength between these layers plays a crucial role in determining the structural integrity of 3D printed elements. Extensive testing has been conducted to evaluate the compressive, tensile, and interface strengths of 3D printed mortar, revealing its anisotropic properties and the impact of printing parameters on its performance [2, 3].

To accurately predict the behavior and load-carrying capacity of 3D printed structures, researchers have developed analysis concepts such as layered models that incorporate interface strength [3]. Experimental studies on small-scale beams and large-scale walls have further elucidated various failure modes, including bending failure with interface bond failure, shear failure, and brittle spalling [2, 3]. These valuable insights contribute to the formulation of design guidelines and safety standards, ensuring the structural safety of 3D printed concrete constructions.

Pilot Projects: Demonstrating Real-World Applications

Thailand has witnessed the successful execution of several pilot 3DCP projects, highlighting the technology's adaptability and potential across diverse applications. Two coffee shops, a health center, and a co-working space have been constructed using 3D printed concrete, employing both on-site and off-site printing methods [2, 3, 6, 7]. These projects serve as tangible proof of 3DCP's advantages in terms of design flexibility, construction speed, waste reduction, and minimized carbon emissions.

The coffee shops, featuring non-load-bearing 3D printed walls integrated with conventional beam-column frames, exemplify the aesthetic possibilities and construction efficiency offered by 3DCP [3]. The health center, incorporating both load-bearing and non-load-bearing 3D printed walls, further demonstrates the technology's structural capabilities and

potential for wider adoption in the construction sector [3]. The co-working space, with its unique, parametrically designed textured wall surface, showcases the design freedom and aesthetic potential of 3DCP [6].

Material Innovation: Lightweight and Low-Carbon Mortars

A significant stride towards sustainable construction lies in the development of lightweight and low-carbon 3D printing mortars. By incorporating materials like biochar, a byproduct of the pyrolysis process, the embodied carbon of 3D printed structures can be substantially reduced [1]. Biochar not only contributes to lightweighting but also acts as a carbon sink, sequestering carbon dioxide within the mortar matrix. The second 3D-printed PPVC building in Thailand successfully utilized such a lightweight, low-carbon mortar, resulting in a 51% reduction in carbon emissions compared to normal-weight mortar [1].

Construction Efficiency: PPVC and 3DP Integration

The integration of 3D printing with Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC) represents another avenue for enhancing construction efficiency and sustainability. PPVC involves the off-site fabrication of building modules complete with finishes and MEP (Mechanical, Electrical, and Plumbing) systems, which are then transported and assembled on-site. This approach minimizes on-site construction activities, reduces waste generation, and accelerates project timelines.

The synergy between 3DCP and PPVC, referred to as PP3DVC, amplifies the benefits of both technologies. 3D printing enhances the production process of PPVC modules by enabling the creation of complex shapes and customized features, while PPVC's off-site manufacturing approach complements 3DCP's efficiency and waste reduction capabilities.

Case Studies: Showcasing PP3DVC's Potential

- The Second 3D-Printed PPVC Building in Thailand:** This two-story commercial building exemplifies the successful integration of 3DCP and PPVC. The project utilized lightweight, low-carbon 3D printed mortar and a lightweight floor system, resulting in modules that were easy to transport and assemble [1]. The construction process was remarkably efficient, with assembly completed in just 5.5 hours and the total project duration reduced by 51% compared to traditional methods [1]. The project also achieved a 97% reduction in waste generation, underscoring the environmental benefits of PP3DVC [1].

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

- **The First 3D Printed Medical Center:** Thailand's first 3D printed medical center showcases the technology's ability to create complex, free-form designs that were previously unattainable with conventional methods [4]. This two-story structure serves as a testament to the potential of 3DCP in diverse sectors beyond residential housing.
 - **SCG's 3D Printed Co-Working Space:** This project integrated 3D printed walls into a modular construction approach, resulting in a 35% faster construction time and a 70% reduction in waste compared to conventional methods [7]. The building's unique, free-form design, achieved through parametric modeling, highlights the aesthetic possibilities and design freedom offered by 3DCP [6, 7].
 - **The First Two-Story 3D Printed PPVC Building:** This groundbreaking project pushed the boundaries of 3DCP and PPVC by constructing a two-story residential building with a total area of 68 square meters. The building was divided into four modules with different wall textures, demonstrating the design flexibility of 3DCP. The project successfully reduced construction time and waste, and also improved embodied carbon compared to conventional construction.
3. S. Seepim et al., "Current research on 3D concrete printing technology and pilot construction projects in Thailand," in Concrete 2023 - Resilient & Sustainable Concrete: Breaking Down Barriers, Perth, Australia, 2023.
 4. SCG, Siam Cement Group, has completed the first 3D printed medical center in the world using a BOD2 printer from COBOD.
 5. CPAC-PP3DVC Building: the first 2-story 3D printed prefabricated prefinished volumetric construction in the world.
 6. Thailand's SCG 3D Prints Co-Working Building Designed by Parametric Modeling. 3D Printing Industry. [Online] Available at: <https://3dprintingindustry.com/news/thailands-scg-3d-prints-co-working-building-designed-by-parametric-modeling-184368/> [Accessed 07 September 2024]
 7. SCG 3D printing solution had accomplished the first 3D print commercial building in South East Asia.
 8. K. Pongpaisanseree^{1*}, P. Jongvisuttisun², P. Jiramarootapong³, K. Meemuk⁴, P. Chaiyapoom⁵ and C. Snguanyat⁶, "3D Printed Prefabricated Prefinished Volumetric Construction for Sustainable Construction"

Future Outlook: A Pathway to Sustainable Construction

The advancements in 3D concrete printing research and the successful implementation of pilot projects in Thailand signify a promising future for this technology. As 3DCP continues to evolve and design standards are established, it is poised to play a pivotal role in addressing the challenges faced by the construction industry. The ability to create intricate geometries, expedite construction processes, minimize waste, and utilize sustainable materials positions 3DCP as a key enabler of a more efficient, resilient, and environmentally responsible built environment. The integration of 3DCP with PPVC further amplifies these benefits, offering a holistic approach to sustainable construction.

References

1. P. Jongvisuttisun et al., "The Second 3D-Printed Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Building in Thailand: A New Sustainable and Efficient Approach for a Low-rise Prefab Modular Building," 2023.
2. P. Jiramarootapong et al., "Load carrying capacity and failure mode of 3D printing mortar wall panel under axial compression loading," in Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication, 2020.

การออกแบบพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ปีงบประมาณ 2554 – 2560)
เพื่อให้สามารถรองรับผู้โดยสารได้ถึง 60 ล้านคนต่อปี

SUVARNABHUMI AIRPORT DEVELOPMENT DESIGN (FISCAL YEAR 2011 - 2017) TO BE ABLE TO ACCOMMODATE UP TO 60 MILLION PASSENGERS PER YEAR.

ทัศนะ นิลาวาศ¹ (Tatsana Nilaward), ธนากร พิระพันธุ์² (Thanakorn Pheeraphan)

¹วิศวกร บริษัท ไวส โปรเจ็ค คอนซัลติง จำกัด

²วิศวกรโครงสร้างอาวุโส/รองผู้อำนวยการสำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

บทคัดย่อ: บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (ทอท.) มีโครงการพัฒนาท่าอากาศยานในความรับผิดชอบอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่ง ทอท. ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ขีดความสามารถของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ทสภ.) และวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณการจราจรทางอากาศของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิในปัจจุบัน พบว่าปริมาณการจราจรทางอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งขีดความสามารถของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิในปัจจุบันสามารถรองรับผู้โดยสารได้ 45 ล้านคนต่อปี โดยที่ปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการท่าอากาศยานสุวรรณภูมิในปี พ.ศ. 2554 ที่ผ่านมานั้น สูงถึง 48 ล้านคน และคาดว่าในปี พ.ศ. 2555 จะมีปริมาณผู้โดยสารเพิ่มขึ้นเป็น 51 ล้านคน ซึ่งทำให้เกิดความแออัดคับคั่งทำให้เกิดความไม่สะดวกสบายแก่ผู้โดยสารและผู้ให้บริการท่าอากาศยาน ดังนั้น ทอท. จึงได้ทำการศึกษาและวางแผนพัฒนาองค์ประกอบต่างๆ ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยยึดแนวทางการพัฒนาภายในพื้นที่ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิปัจจุบันและใช้ระบบทางวิ่งทางขับในสภาพปัจจุบัน เพื่อให้รองรับปริมาณการจราจรทางอากาศและผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้นได้อย่างปลอดภัยสะดวกรวดเร็ว และได้มาตรฐานสากล โดยดำเนินการโครงการพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ปีงบประมาณ 2554 – 2560) เพื่อให้สามารถรองรับผู้โดยสารได้ถึง 60 ล้านคนต่อปี

คำสำคัญ: ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ, SAT-1, ระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM), อุโมงค์ด้านทิศใต้, ลานจอดเครื่องบิน

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

1. บทนำ

ในการพัฒนาระยะแรกนั้น ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ทสภ.) มีขีดความสามารถในการรองรับผู้โดยสารได้ 45 ล้านคนต่อปี แต่ในปี 2554 มีผู้โดยสารมาใช้บริการรวม 47.8 ล้านคนต่อปี (เป็นผู้โดยสารเที่ยวบินต่างประเทศ 37.8 ล้านคนต่อปี และผู้โดยสารเที่ยวบินในประเทศ 10 ล้านคนต่อปี) ซึ่งไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ทสภ. จึงได้กำหนดให้มีโครงการพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ปีงบประมาณ 2554-2560) เพื่อให้ ทสภ. สามารถรองรับปริมาณผู้โดยสารเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 60 ล้านคนต่อปี (เป็นผู้โดยสารเที่ยวบินต่างประเทศ 50 ล้านคนต่อปี และผู้โดยสารเที่ยวบินในประเทศ 10 ล้านคนต่อปี) โดยจากการคาดการณ์คาดว่าในปี พ.ศ. 2560 จะมีเที่ยวบินรวม 335,418 เที่ยวบิน และผู้โดยสารรวม 62.1 ล้านคน ทั้งนี้ เพื่อให้ประเทศไทยสามารถรักษาความเป็นศูนย์กลาง ด้านการบินในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้น งานโครงการพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ปีงบประมาณ 2554-2560) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับผู้โดยสารได้เพิ่มขึ้นอีก 15 ล้านคนต่อปี เพื่อให้ท่าอากาศยานแห่งนี้ มีความพร้อมซึ่งสถานที่ และระบบสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ที่ครบถ้วน สามารถที่จะรองรับปริมาณผู้โดยสารที่จะเพิ่มขึ้นได้ในอนาคต

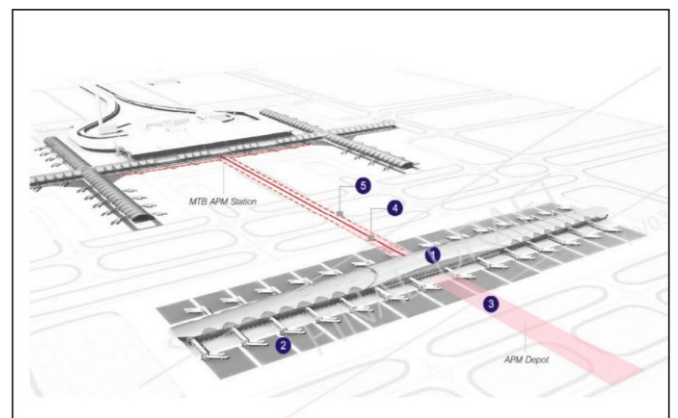
การต่อขยายในโครงการนี้ ประกอบด้วยงานก่อสร้างขยายอาคารผู้โดยสารด้านทิศตะวันออก งานก่อสร้างอาคารสำนักงานสายการบินและที่จอดรถด้านทิศตะวันออก งานก่อสร้างอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT-1) งานก่อสร้างลานจอดอากาศยานประชิดอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT-1) งานก่อสร้างทางขับเชื่อม (Cross Taxiways) จุดที่ 2 ซึ่งอยู่ด้านทิศใต้ของอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT-1) งานก่อสร้างส่วนต่อขยายอุโมงค์ด้านทิศใต้ เพื่อให้สามารถติดตั้งระบบสายพานลำเลียงกระเป๋าสัมภาระผู้โดยสาร (BHS) กับระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM) งานถนนเชื่อมในเขตการบิน และการติดตั้งระบบสาธารณูปโภคการต่อขยายระบบ BHS ที่มีอยู่เดิม การก่อสร้างระบบ APM ซึ่งจะเชื่อมต่อระหว่างอาคารผู้โดยสารเดิม กับอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT-1) และงานติดตั้งระบบสาธารณูปโภค โดยการต่อขยายจากระบบเดิมที่มีอยู่ ร่วมกับการติดตั้งระบบใหม่เพิ่มเติมด้วย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาการออกแบบ งานอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT-1) งานส่วนต่อเชื่อมอุโมงค์ด้านทิศใต้ และระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM) ในโครงการพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ปีงบประมาณ 2554 – 2560)

3. ขอบเขตการดำเนินงาน

งานออกแบบอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT-1) งานส่วนต่อเชื่อมอุโมงค์ด้านทิศใต้ และระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM) นั้น ดำเนินการโดยกลุ่มที่ปรึกษา DC-1 โดยการร่วมกันของบริษัทที่ปรึกษาไทยและที่ปรึกษานานาชาติ ประกอบด้วย บริษัท เอ็ม เอ เอ คอนซัลแตนท์ จำกัด (บริษัทนำ) บริษัท ดีไซน์ 103 อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด HOK, Inc., NACO, Netherlands Airport Consultants B.V., BNP Associates, Inc. และบริษัท ไวส โปรเจ็ค คอนซัลตติ้ง จำกัด รวม 6 บริษัท เพื่อร่วมออกแบบอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 ทบทวน แก๊ว และปรับปรุงแบบลานจอดอากาศยานประชิดอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 และออกแบบและก่อสร้างส่วนต่อเชื่อมอุโมงค์ด้านทิศใต้ และระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM) โดยภาพจำลองขอบเขตการออกแบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพจำลองการพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิระยะที่ 2 โครงการพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ปีงบประมาณ 2554 – 2560)

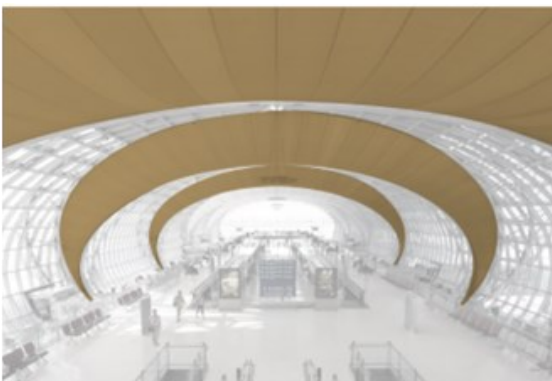
ตามรูปหมายเลข 1 แสดงส่วนของอาคาร SAT-1 หมายเลข 2 เป็นส่วนของลานจอดประชิดอาคาร SAT-1 หมายเลข 3 และ 4 เป็นอุโมงค์ส่วนต่อขยายใหม่ และศูนย์ซ่อมบำรุง APM และหมายเลข 5 คืออุโมงค์ด้านทิศใต้เดิม

4. การออกแบบ

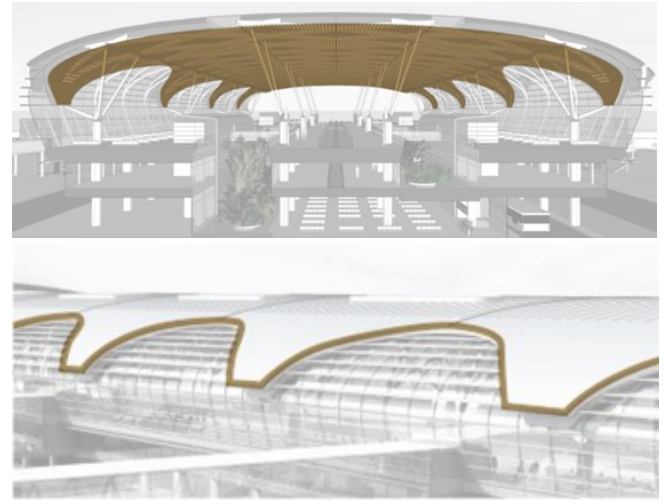
4.1 การออกแบบอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1

อาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT-1) เป็นอาคารสูง 4 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นเสมอพื้นลานจอด ชั้นผู้โดยสารขาเข้า ชั้นผู้โดยสารขาออก ชั้นบริการผู้โดยสารพิเศษ ชั้นใต้ดิน 2 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นพื้นที่ระบบลำเลียงกระเป๋าสัมภาระ ชั้นสถานีระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM) มีพื้นที่รวมประมาณ 216,000 ตารางเมตร และสิ่งอำนวยความสะดวกภายในอาคาร ได้แก่ ระบบไฟฟ้าเครื่องกลสำหรับอาคาร ระบบลำเลียงกระเป๋าสัมภาระ สะพานเทียบเครื่องบินสำหรับผู้โดยสาร ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อสาร เป็นต้น

ตัวอาคาร ออกแบบให้เกิดความกลมกลืนกับอาคารหลังเดิมอย่างเป็นธรรมชาติ โดยอาคารเดิมมีจุดเด่นตรงการโชว์โครง *Truss* โค้ง และใช้วัสดุผ้าใบ *PTFE* สลับกับผนังกระจก *Low-E* ซึ่งผลของการใช้กระจกสลับกับผ้าใบไปมาเช่นนี้ จะช่วยในการลดทอนสัดส่วนขนาดใหญ่ของอาคารผู้โดยสาร ปัจจุบันได้อย่างดี การออกแบบอาคารหลังใหม่นี้ จึงใช้การเปิดช่องแสงลักษณะเป็นช่องรูปตัดโค้งมน สลับกับผนังทึบเป็นช่วงๆ ทำให้มีบรรยากาศที่คล้ายคลึงกลมกลืนกับอาคารในปัจจุบัน ที่ใช้วิธีการลดทอนสัดส่วนของอาคารที่ใหญ่โตให้เหมาะสมกับสัดส่วนของคน (*Human Scale*) แบบเดียวกัน

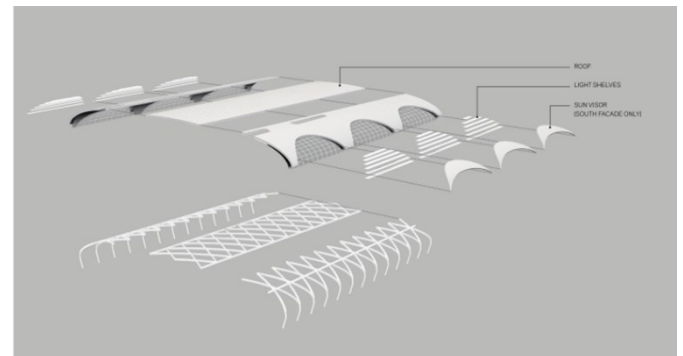
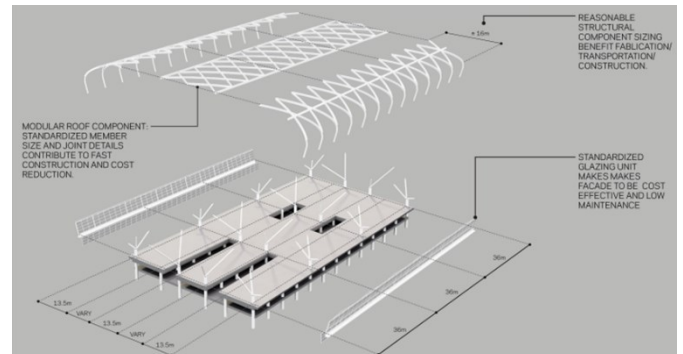


รูปที่ 2 ภาพอาคารผู้โดยสารเดิม



รูปที่ 3 ภาพอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1

ใช้การแทนที่ผ้าใบซึ่งและโครง *Truss* โค้งที่ใช้ในอาคารเดิมด้วยหลังคาโลหะ (*Metal clad standing seam roof*) ที่รองรับด้วยเสาโครงสร้างแบบต้นไม้ (*Tree column*) ทำให้อาคารเทียบเครื่องบินหลังใหม่นี้ก่อสร้างได้อย่างประหยัด ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (*Energy Efficient*) และต้องการการบำรุงรักษาต่ำ (*Easy to Maintain*)

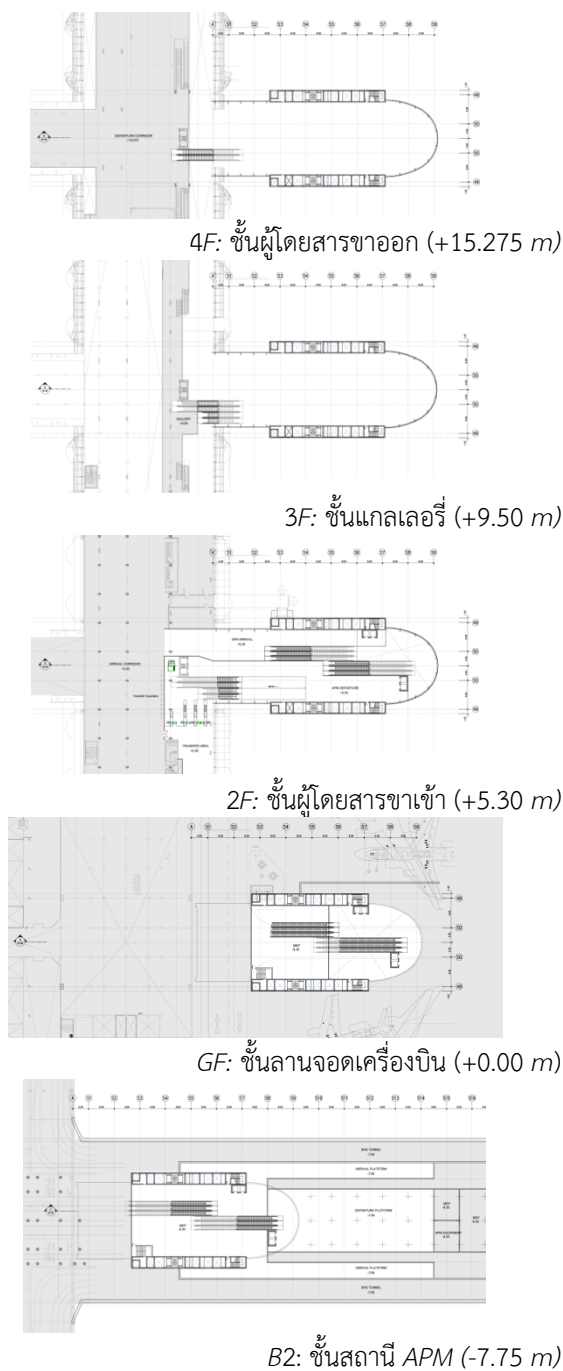


รูปที่ 4 ภาพโครงสร้างเสาและหลังคาอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

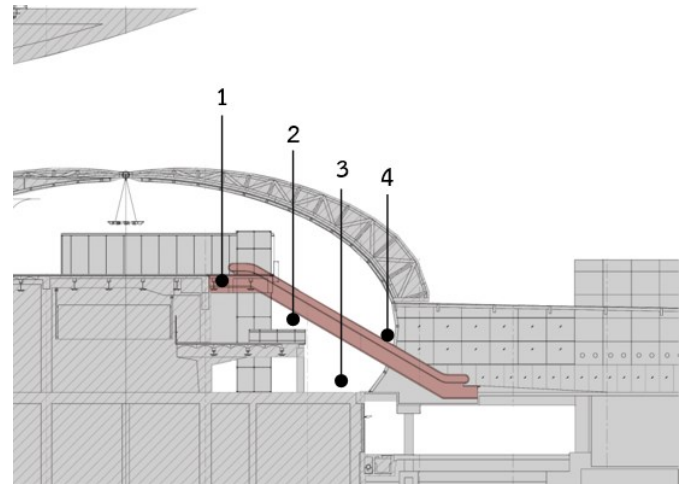
4.2 การออกแบบส่วนต่อขยายของอุโมงค์ด้านทิศใต้ และระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM)

โครงการพัฒนาระยะแรกได้จัดสรรพื้นที่ไว้ให้ เพื่อรองรับระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM) บริเวณ Concourse D ซึ่งมีการจัดเตรียมลิฟท์ และโครงสร้างสำหรับบันไดเลื่อน สำหรับส่วนต่อขยายไว้แล้ว ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพการวางตำแหน่งบันไดเลื่อนให้สอดคล้องกับโครงสร้างเดิม

งานปรับปรุงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องบริเวณ Concourse D (Modification to Concourse D Area) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ภาพแสดงงานปรับปรุงพื้นที่บริเวณ Concourse D

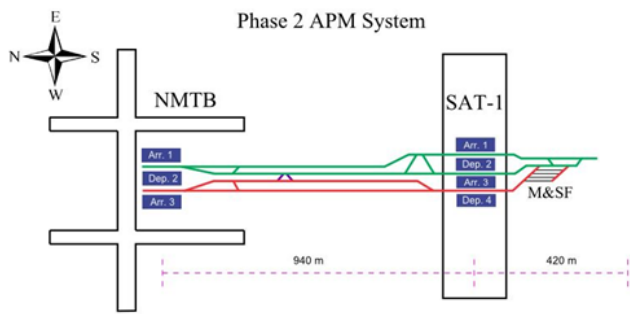
คำอธิบาย หมายเลข 1 ทบพื้นที่บริเวณชั้น 4 ออกเพื่อวางบันไดเลื่อน หมายเลข 2. ติดตั้งบันไดเลื่อนที่ชั้นผู้โดยสารขาออก (ชั้น 4F) และชั้นแกลเลอรี (ชั้น 3F) หมายเลข 3 ปรับปรุงบริเวณส่วนที่นึ่งพักคอย Gate D5 ให้เป็นจุดตรวจผู้โดยสารเปลี่ยนเครื่อง (SAT-1-MTB) และหมายเลข 4 ตัดโครงสร้าง Curtain Wall เพื่อเปิดช่องทางให้ผู้โดยสารผ่านไปยังสถานี APM

ระบบขนส่งผู้โดยสาร (APM) จะเชื่อมระหว่างอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT-1) ทางด้านทิศใต้ของอาคารผู้โดยสารปัจจุบัน (NMTB) ดังรูปที่ 7



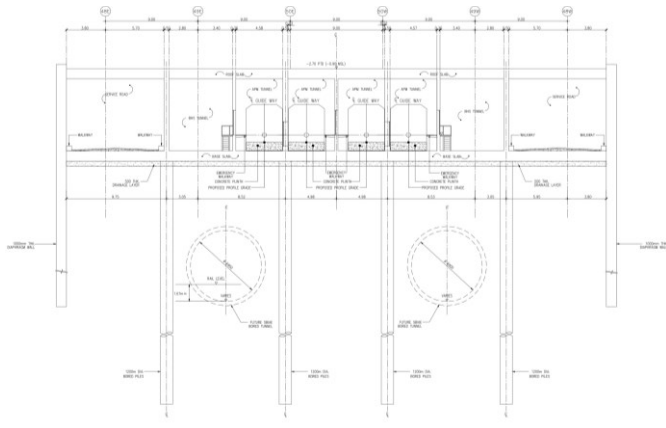
รูปที่ 7 รูปจำลองของระบบ APM ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิระยะที่ 2

ทางวิ่งรถของระบบ APM จะมี 4 ช่องทางวิ่ง (Guideway) ซึ่งถูกกำหนดไว้แล้วภายในอุโมงค์ด้านทิศใต้ของ NMTB ที่ Concourse D มุ่งหน้าสู่ SAT-1 โดยจะมีวงรอบในการเดินรถเป็นวงรอบแบบ Pinched Loops อยู่ 2 วงรอบ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังของระบบ APM สำหรับโครงการพัฒนาฯ ระยะที่ 2

สำหรับโครงสร้างอุโมงค์ส่วนต่อขยาย กำแพงด้านนอก จะออกแบบเป็น Diaphragm Wall และมีการแบ่งกำแพง ภายในอุโมงค์สำหรับ APM BHS และ Airside Spine Road ดังรูปที่ 9 โดยเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ จะมีความยาวทั้งหมด ประมาณ 1,360 เมตร กว้างประมาณ 55 เมตร สูงประมาณ 9 เมตร

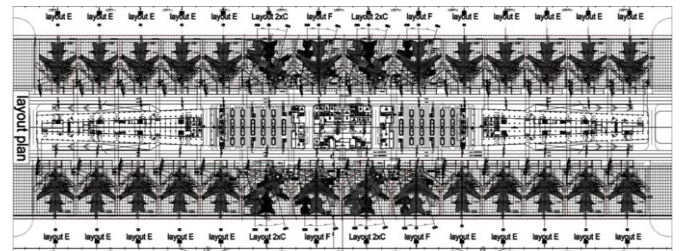


รูปที่ 9 รูปตัดทั่วไปของอุโมงค์ด้านทิศใต้ช่วงอาคารเดิม ถึง อาคาร SAT-1

4.3 การปรับปรุงแบบลานจอดอากาศยาน ทางขับเชื่อม และถนนต่อเชื่อม (Apron & Taxiway)

แบบลานจอดอากาศยาน และทางขับเชื่อมฯ ได้มีการ ออกแบบไว้แล้วในโครงการพัฒนา ทสภ. ระยะที่ 1 และเพื่อให้สอดคล้องเหมาะสมกับการใช้งานหรือการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน จึงมีการตรวจสอบทบทวนแบบอีกครั้ง

การทบทวนการจัดหลุมจอด (Aircraft Stand Review) ตามที่ได้ออกแบบไว้ มีหลุมจอดอากาศยานทั้งหมด 28 หลุม สามารถจอดอากาศยาน Code F ได้ 8 หลุม และ Code E ได้ 20 หลุม หลุมจอดอากาศยาน Code F จะอยู่ตรงกลางของอาคาร และเป็นหลุมแบบ Multiple Aircraft Ramp System (MARS) ทั้งหมด ส่วน Code E จะอยู่ถัดมาทั้งสองด้าน โดยการทบทวนผังการจัดตำแหน่งหลุมจอดได้ปรับการใช้งานหลุมจอดแบบ MARS ทั้ง 8 หลุม ให้สามารถจอดอากาศยาน Code F และ Code C ได้ และ Code E จำนวน 20 หลุมเช่นเดิม ช่องว่างระหว่างหลุมจอดมีความกว้าง 7.5 เมตร ตามมาตรฐาน ICAO Annex 14^[1] ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แบบแปลนแสดงการจัดหลุมจอด

การทบทวนโครงสร้างชั้นทาง (Structural Design for Pavement Review) โดยใช้โปรแกรม LEDFAA Version 1.3^[2] เช่นเดียวกันกับวิธีที่ TRDG ใช้ในการออกแบบ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบที่ได้จากการสำรวจทดสอบในปัจจุบัน ผลการทบทวนได้แสดงดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3

ตารางที่ 1 การทบทวนการออกแบบชั้นทางลาดยางของสนามบิน

DESIGN APPROACHES	DESIGN TRAFFIC	LAYER THICKNESSES (mm)		
		ASPHALT	CTB	SAND
LEDFAA	40% Annual Departures in the Year 2005 with 3 % Growth Rates	330	479.8	800
FAA Design Standard	67,930/69,020 (Departures)	330	712	800
ADG		330	720	800
TRDG Recommended		330*	720*	800*
LEDFAA โดย DC-1	ปริมาณการจราจรในช่วงปี 2017-2037 ที่อ้างอิงจาก TRDG และ growth rate เท่ากับ 3%	330	559.4	ไม่ได้ระบุ
LEDFAA โดย DC-1	ปริมาณการจราจรในช่วงปี 2017-2037 จากค่าที่คาดการณ์ได้จากข้อมูลของ AOT และ growth rate เท่ากับ 3%	330	483.5	ไม่ได้ระบุ
DC-1 Recommended		330	720	800

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

โครงสร้างชั้นทางลาดยางของสนามบินที่ได้ เหมือนกันกับ โครงสร้างชั้นทางลาดยางของสนามบินตามรายการคำนวณ ของ TRDG แต่ทั้งนี้ โครงสร้างของชั้นทางลาดยางนี้ ต้อง ปราสจากน้ำ เนื่องจากน้ำสามารถทำให้ความแข็งแรงของ โครงสร้างชั้นทางลดลง

ตารางที่ 2 การทบทวนการออกแบบชั้นทางคอนกรีตของ สนามบิน

DESIGN APPROACHES	DESIGN TRAFFIC	LAYER THICKNESSES (mm)		
		PQC	CTB	SAND
LEDFAA	Average annual departures 2920 and total departures 87,600 in 30 years	414	300	600
FAA Design Standard	2920	356-381	300	600
ADG		450	300	600
TRDG Recommended		450*	300*	600*
LEDFAA โดย DC-1	Average annual departures ของ MD-11 เท่ากับ 2920 และ total departures 87,600 in 30 years	432	300	ไม่ได้ระบุ
LEDFAA โดย DC-1	Average annual departures ของ A380-800 เท่ากับ 2920 และ total departures 87,600 in 30 years	430	300	ไม่ได้ระบุ
DC-1 Recommended		450	300	600

* Layer Thickness proposed to be used in the 1st Midfield Satellite Aprons

โครงสร้างชั้นทางคอนกรีตของสนามบินที่ได้เหมือนกันกับ โครงสร้างชั้นทางคอนกรีตของสนามบินตามรายการคำนวณ ของ TRDG แต่ทั้งนี้โครงสร้างของชั้นทางคอนกรีตนี้ต้อง ปราสจากน้ำ เนื่องจากน้ำสามารถทำให้ความแข็งแรงของ โครงสร้างชั้นทางลดลงได้

ตารางที่ 3 การทบทวนการออกแบบชั้นทางลาดยางสำหรับ ถนนภายในลานจอด

DESIGN APPROACHES	DESIGN TRAFFIC	LAYER THICKNESSES (mm)		
		ASPHALT	CTB	BASE
TRDG Recommended		330	550	200
LEDFAA โดย DC-1		330	153.1	ไม่ได้ระบุ
DC-1 Recommended		330	550	200

โครงสร้างชั้นทางลาดยางของระบบถนนภายในลานจอด ที่ได้เหมือนกันกับโครงสร้างชั้นทางลาดยางของระบบถนน ภายในลานจอด ตามรายการคำนวณของ TRDG

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) และ กลุ่มบริษัทที่ปรึกษา เอ็ม เอ เอ 103 กรุ๊ป ซึ่งประกอบด้วย บริษัท เอ็ม เอ เอ คอนซัลแตนท์ จำกัด (บริษัทหน้า) บริษัท ดีไซน์ 103 อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด HOK, Inc., NACO, Netherlands Airport Consultants B.V., BNP Associates, Inc. และ บริษัท ไวส์ โปรเจ็ค คอนซัลติ้ง จำกัด (ที่ปรึกษางานสำรวจและออกแบบฯ) ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูล จากงานจ้างที่ปรึกษาออกแบบ งานอาคารเทียบเครื่องบินรอง หลังที่ 1 งานส่วนต่อเชื่อมอุโมงค์ด้านทิศใต้ และระบบขนส่ง ผู้โดยสาร (APM) พ.ศ.2556 เพื่อประกอบเป็นบทความใน ครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] International Standards and Recommended Practices, Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes Volume I Aerodrome Design and Operations, Fifth Edition July 2009, International Civil Aviation Organization (ICAO).
- [2] Federal Aviation Administration, “LEDFAA (version 1.3) Program.”, May, 2004.

บทความทางด้านเทคโนโลยีโลกเสมือน
และปัญญาประดิษฐ์
(Artificial Intelligence and Simulation)

ระบบการตรวจจับและจดจำป้ายทะเบียนเพื่อการรักษาความปลอดภัย
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

**AUTOMATIC LICENSE PLATE DETECTION AND RECOGNITION
: APPLICATION FOR NKRAFA'S SECURITY SYSTEM**

จิรศักดิ์ หมวดโพธิ์กลาง¹ (Jeerasak Moudpoklang)¹

จินตสิทธิ์ ประวิตร ณ อยุธยา² (Jintasit Pravitra)²

กฤตภูมิ กาลเขว้า³ (Kittapoom Kankhwao)³

พลท โพธิ์วัฒน์⁴ (Phalot Phowat)⁴

ปราชนัญ บุตรเจริญไพศาล⁵ (Prach Budcharoenpaisal)⁵

¹⁻²อาจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

³⁻⁵นักเรียนนายเรืออากาศ ภาควิศวกรรมเครื่องกล กองวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม
กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

บทคัดย่อ: ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI: Artificial Intelligence) มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์กับระบบการจดจำแผ่นป้ายทะเบียนเพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจสอบยานพาหนะ ระบบรักษาความปลอดภัยในอนาคตต้องการความถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็วเพื่อป้องกันเหตุร้ายที่อาจเกิดขึ้น การพัฒนาระบบ จดจำแผ่นป้ายทะเบียนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ แต่ยังมีข้อจำกัด เช่น การใช้งานในบริเวณที่มีแสงสะท้อน ซึ่งลดประสิทธิภาพการตรวจจับแผ่นป้ายทะเบียน งานวิจัยของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ได้ทำการวิจัยและพัฒนาการประยุกต์เทคโนโลยีการภาพและการตรวจจับป้ายทะเบียนรถอย่างไรก็ตาม การอ่านและจดจำจังหวัดจากป้ายทะเบียนยังไม่แม่นยำเพียงพอ ดังนั้น บทความนี้ศึกษาวิธีการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับและจดจำแผ่นป้ายทะเบียนรถด้วยการฝึกฝนโมเดล (Train model) เพื่อให้โปรแกรมสามารถตรวจจับและอ่านจังหวัดจากป้ายทะเบียนได้ดียิ่งขึ้น มีการปรับปรุง 2 แนวทาง คือ แนวทางแรก แยกตำแหน่งของเลขทะเบียนกับชื่อจังหวัดด้วยอัลกอริทึม YOLOv4 จากนั้นเข้าสู่กระบวนการแปลงข้อความจากภาพให้เป็นข้อความที่แก้ไขได้ด้วยคอมพิวเตอร์ (OCR: Optical Character Recognition) แนวทางที่สอง ฝึกฝนโมเดลเฉพาะส่วนของชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนโดยไม่เข้าสู่กระบวนการ OCR ผลลัพธ์ที่ได้คือ แนวทางแรกมีความแม่นยำในการอ่านเลขทะเบียนและชื่อจังหวัดมากกว่าแนวทางที่สองและวิธีการจากงานวิจัยเดิม

คำสำคัญ: กระบวนการฝึกฝนโมเดล, การจดจำแผ่นป้ายทะเบียน, กระบวนการแปลงข้อความจากภาพ, เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ABSTRACT: Artificial Intelligence (AI) technology plays a significant role today. One example is the application of AI in license plate recognition systems to facilitate vehicle verification. Future security systems require accuracy, precision, and speed to prevent potential incidents. Developing license plate recognition systems is beneficial, but current systems face limitations, such as reduced efficiency in areas with reflective light. Previous research at Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Thai Air Force Academy (NKRAFA) has investigated the application of imaging technology and license plate recognition. However, the accuracy of reading and recognizing provinces from license plates remains insufficient. This article explores methods to improve the accuracy of detecting and recognizing license plates by training models to enhance the program's ability to read and detect provinces from license plates more effectively. Two approaches were developed: the first approach separates the license plate number and province name using the YoloV4 algorithm, followed by converting the text from the image to editable text using Optical Character Recognition (OCR); the second approach involves training a model specifically for province names without using OCR. The results show that the first approach is more accurate in reading both the license plate number and the province name compared to the second approach and previous research methods.

KEYWORD: Train model, Automatic Number Plate Recognition (ANPR), Optical Character Recognition (OCR), Artificial Intelligence (AI)

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI: Artificial Intelligence) เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ากับระบบการตรวจจับแผ่นดินไหวและภัยพิบัติ ซึ่งความสามารถของระบบการตรวจจับแผ่นดินไหวและภัยพิบัติมีการพัฒนาจนมีความน่าเชื่อถือสามารถระบุข้อมูลของยานพาหนะ เช่น เลขทะเบียนของรถยนต์ สีของรถยนต์ ยี่ห้อรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งสามารถลดภาระของบุคลากรในการปฏิบัติหน้าที่รักษาความปลอดภัย ตามหลักยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ.2560 - 2580) [1] ในด้านความมั่นคงมีคำกล่าวที่ว่า “เพื่อปรับสภาพแวดล้อมด้านความมั่นคงให้ประเทศ มีความสงบเรียบร้อย และสันติสุขในขณะเดียวกันก็ต้องมีการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่มีผลกระทบต่อ ความมั่นคงที่มีอยู่ในปัจจุบัน” ซึ่งระบบการตรวจจับแผ่นดินไหวและภัยพิบัติมีความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ [2] ด้านความมั่นคง กล่าวว่าการติดตามเฝ้าระวังป้องกันเพื่อให้ทราบ สถานการณ์ล่วงหน้าสามารถแก้ไขปัญหาและภัยคุกคามในอนาคตได้ทันท่วงทีก่อนที่จะลุกลามต่อไป รวมทั้งป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการบริหารและพัฒนาประเทศ โดยเสริมสร้างศักยภาพและความพร้อมในทุกด้าน ทั้งคน เครื่องมือ ยุทธโธปกรณ์ แผนงบประมาณ ระบบควบคุมบังคับบัญชา ระบบงานด้านการข่าวกรอง เทคโนโลยีข้อมูลขนาดใหญ่ ระบบเฝ้าตรวจและแจ้งเตือนต่าง ๆ ของหน่วยงานหลัก หน่วยงานรอง

ปัจจุบันโรงเรียนมีการย้ายที่ตั้งจากตอนเมืองมายัง อำเภอมวกเหล็ก ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าที่ตั้งเดิม ระบบการรักษาความปลอดภัยใช้บุคลากรของกองร้อยทหารอากาศโยธินและกองร้อยสารวัตรทหาร ซึ่งได้ใช้บุคลากรมากขึ้นในการเข้าเวรรักษาการณ์บริเวณทาง เข้า-ออก จึงจำเป็นต้องมีระบบการตรวจจับแผ่นดินไหวและภัยพิบัติ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ และแบ่งเบาภาระหน้าที่ของผู้ปฏิบัติหน้าที่

รักษาความปลอดภัย รวมทั้งเป็นการประหยัดงบประมาณที่จะต้องจัดหาระบบการจดจำแผ่นดินไหวและภัยพิบัติบริษัทเอกชน

โครงการวิจัยและพัฒนาการประยุกต์เทคโนโลยีการภาพและการตรวจจับแผ่นดินไหวและภัยพิบัติกับระบบการประมวลผลภาพ (Image Processing) [3] เป็นโครงการที่ตอบโจทย์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรักษาความปลอดภัยที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการตรวจจับและจดจำแผ่นดินไหวและภัยพิบัติ เพื่อการรักษาความปลอดภัย โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ผ่านอัลกอริทึมของ Yolo V4 [4] ซึ่งเป็นอัลกอริทึม ที่ใช้สำหรับการตรวจจับตำแหน่งแผ่นดินไหว ซึ่งคุณสมบัติที่เน้นความแม่นยำและความเร็วในการตรวจจับวัตถุ จากนั้นเมื่อทราบตำแหน่งของแผ่นดินไหวแล้ว จะทำการปรับแต่งภาพด้วยกระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) [13] ผ่านไลบรารีของ OpenCV (Open Source Computer Vision Library) [5] ซึ่งเป็นไลบรารีโอเพ่นซอร์สที่เน้นการประมวลผลภาพมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุดก่อนเข้าสู่การเริ่มทำการประมวลผลการตัดแยกตัวอักษรจากภาพ (OCR Segmentation) [7] ขั้นตอนสุดท้ายทำการตัดแยกตัวอักษรจากภาพผ่าน อัลกอริทึม OCR โดยใช้ไลบรารีของ Tesseract OCR [8] มาช่วยในการตัดแยกตัวอักษรซึ่ง Tesseract OCR เป็นเครื่องมือในการทำ OCR ซึ่งเป็นโอเพ่นซอร์สที่สนับสนุนภาษาไทย สามารถติดตั้ง Tesseract OCR และใช้งานไลบรารีที่เกี่ยวข้องเพื่อรับรู้ และแปลงภาพเป็นข้อความภาษาไทยได้ ผลลัพธ์การทดสอบความแม่นยำของงานวิจัยนี้ คือ สามารถอ่านตัวอักษรแผ่นดินไหวได้ถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 และ อ่านชื่อจังหวัดได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 67 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความแม่นยำ ในการอ่านตัวอักษรแผ่นดินไหว และชื่อจังหวัดยังแม่นยำไม่เพียงพอเนื่องจากขนาดตัวอักษรของชื่อจังหวัดนั้นมีขนาดเล็กซึ่งยาก

ต่อการอ่าน ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อพัฒนาระบบการตรวจจับและจดจำป้ายทะเบียนให้มีความแม่นยำในการอ่านเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด ที่มากขึ้น

2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ระบบการตรวจจับและจดจำป้ายทะเบียน พบว่ามีงานวิจัยจำนวนมาก มีขั้นตอนที่จำเป็นในการสร้างโปรแกรมประยุกต์สำหรับการจดจำป้ายทะเบียนอัตโนมัติ [10] ที่คล้ายกัน แต่อาจจะมีวิธีการและเทคนิคที่แตกต่างกันปัญหาที่แตกต่างกัน เช่น วิธีการฝึกและรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ไทย [9] ขั้นแรกคือ การแบ่งส่วนสามบรรทัดของป้ายทะเบียนโดยใช้ SSD และฝึกฝนโมเดลโดยใช้อัลกอริทึม Inception-v3 และ MobileNets และขั้นที่สองคือการแบ่งส่วนตัวอักษรบนป้ายทะเบียนและฝึกฝนโมเดลด้วยวิธีการเดียวกัน โมเดลที่ได้จากขั้นตอนการฝึกฝนถูกนำมาทดสอบกับภาพป้ายทะเบียนทั้งหมด และอัตราความแม่นยำในการรู้จำบรรทัดและตัวอักษรอยู่ที่ 96.94% และ 91.76% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการฝึกและรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ไทยของงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้นยังมีขีดจำกัดด้านความเร็วในการตรวจจับ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาโมเดลระบบการรู้จำป้ายทะเบียนอัตโนมัติ รวมถึงการรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียน โดยได้พัฒนาโมเดล และใช้ข้อมูลภาพทะเบียนรถจากหลายประเทศ ชุดข้อมูลรูปภาพถูกฝึกฝนโดยใช้ อัลกอริทึม YOLO V4 [4] ซึ่งมีการนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบ CNN [11] มาประยุกต์ใช้ และการรู้จำตัวอักษรได้ผ่านการใช้อัลกอริทึม Tesseract OCR [8] ซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความเร็วและความแม่นยำในการตรวจจับมากขึ้น ดังนั้นเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือในการพัฒนาระบบการตรวจจับและจดจำป้ายทะเบียน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบแนวทางในการพัฒนาให้ระบบการตรวจจับและจดจำป้ายทะเบียน มีความแม่นยำและรวดเร็วได้เกือบเรียลไทม์ ใช้งานได้กับแผ่นป้ายรถยนต์ของ

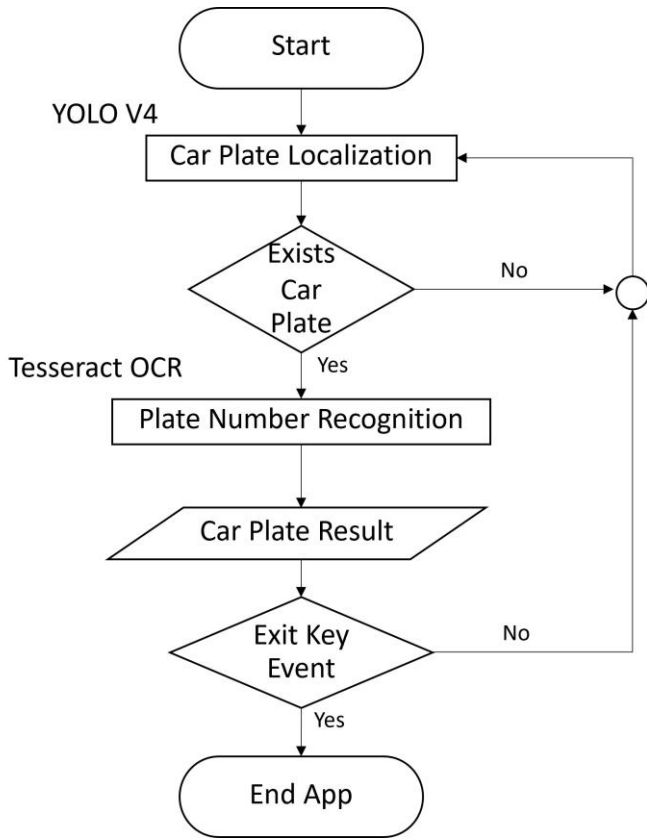
ประเทศไทย วิเคราะห์และทดสอบหาค่าความแม่นยำด้วยวิธีการ Confusion matrix [12]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

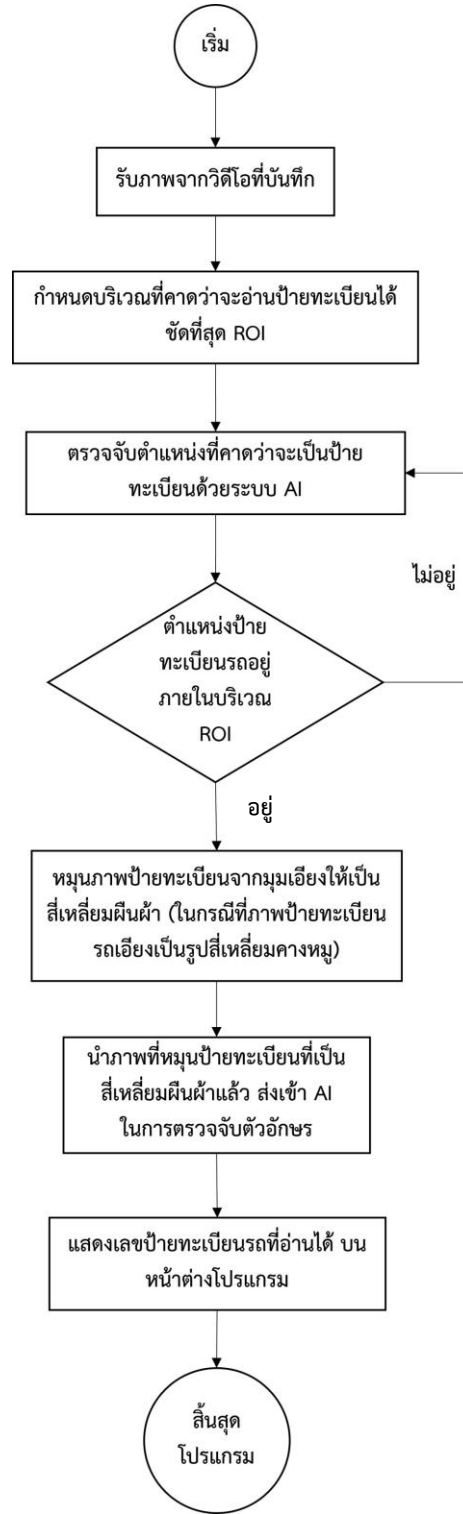
3.1 ดำเนินพัฒนาโปรแกรมจดจำป้ายทะเบียน

3.1.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจดจำป้ายทะเบียน

ขั้นตอนการตรวจจับ และอ่านป้ายทะเบียนดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงลำดับขั้นตอนในการตรวจจับ และการอ่านป้ายทะเบียนโดยเมื่อรับภาพรถที่ ผ่านช่องทางเข้า-ออกโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ระบบจะทำการหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกผ่านอัลกอริทึมของ YOLO V4 [4] ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการตรวจจับวัตถุ (Object detection) ในภาพเพื่อระบุตำแหน่งและชนิดของวัตถุที่ถูกตรวจพบภายในภาพ มีการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ CNN [11] เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วได้เกือบเรียลไทม์ และสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุที่พบได้ในรูปแบบของกรอบสี่เหลี่ยม (Bounding box) พร้อมกับการจำแนกหมวดหมู่ของวัตถุ และมีการใช้เทคนิคที่สามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือมีรายละเอียดที่ซับซ้อนได้ จากนั้นเมื่อทราบตำแหน่งของป้ายทะเบียนแล้วจะทำการปรับแต่งภาพด้วยกระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) [13] ผ่านไลบรารีของ OpenCV (Open Source Computer Vision Library) [5] ซึ่งปรับปรุงภาพเพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุดก่อนเข้าสู่กระบวนการสกัดตัวอักษรจากภาพ (OCR Segmentation) [7] ขั้นตอนสุดท้ายทำการคัดแยกตัวอักษรจากภาพผ่านอัลกอริทึมของ OCR โดยใช้ไลบรารี ของ Tesseract OCR มาช่วยในการสกัดตัวอักษรซึ่ง Tesseract OCR เป็นโอเพ่นซอร์สที่มีการสนับสนุนภาษาไทย



ทำการแสดงสถานะของรถยนต์ จากนั้นทำการบันทึกประวัติ และรูปภาพของรถที่ถูกบันทึก

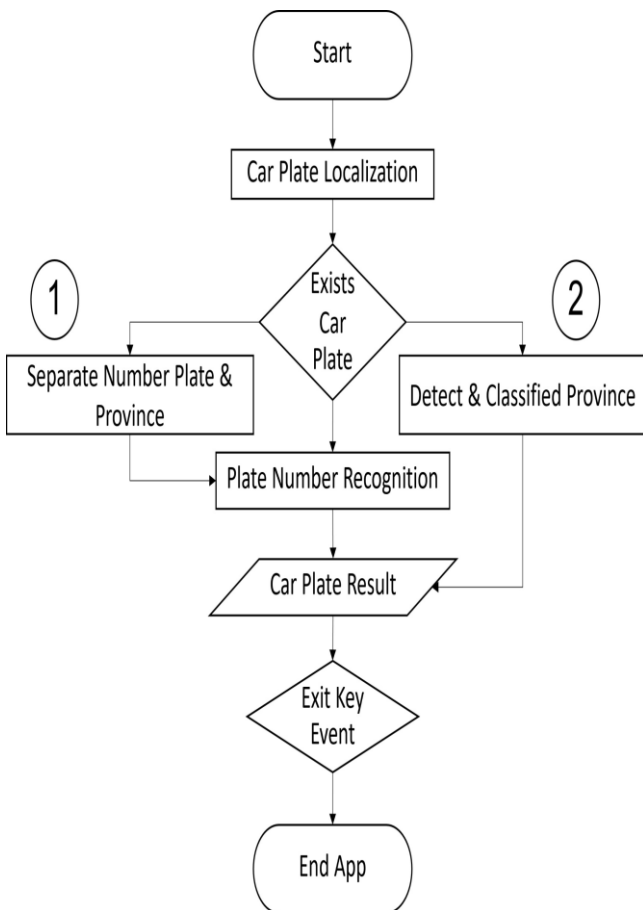


รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตรวจจับ และอ่านป้ายทะเบียน

รูปที่ 2 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมระบบจดจำป้ายทะเบียนโดยเริ่มจากการรับภาพจากกล้อง จากนั้นกำหนดบริเวณที่คาดว่าจะสามารถอ่านป้ายทะเบียนได้ชัดที่สุดโดยการตีกรอบ ROI (Region of Interest) และกำหนดบริเวณที่ คาดว่าจะเป็นสี่ตัวรถผ่านการตีกรอบ ROI เช่นกัน จากนั้นทำการตรวจจับตำแหน่งที่คาดว่าจะป็นป้ายทะเบียนรถผ่าน YOLO V4 [4] เมื่อตรวจพบเจอตำแหน่งของป้ายทะเบียนจะทำการหมุนป้ายทะเบียนจากมุมเอียงให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วนำส่วนที่ได้เข้าสู่กระบวนการ OCR [7] ด้วยอัลกอริทึม Tesseract OCR [8] จากนั้นระบบจะเข้าสู่ขั้นตอนของการแสดงผลข้อมูลป้ายทะเบียนที่อ่านได้ และสีรถที่ตรวจพบผ่านหน้าจอแสดงผล (GUI) ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำข้อมูลป้ายทะเบียนสีรถ และยี่ห้อรถที่อ่านได้มาเปรียบกับชุดข้อมูลที่มีอยู่เพื่อ

รูปที่ 2 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตรวจจับ และอ่านป้ายทะเบียน

ซึ่งอัลกอริทึมเดิมมีปัญหาด้านความแม่นยำในการอ่านชื่อจังหวัดเนื่องจากมีความแม่นยำไม่เพียงพอ ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมี แนวทางการแก้ไขเพื่อที่จะทำให้การอ่านจังหวัดเกิดความแม่นยำมากขึ้นจำนวน 2 แนวทางคือ แนวทางแรก ทำการแยกเฉพาะตำแหน่งของเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด โดยกระบวนการตรวจจับตำแหน่งของเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด ด้วยอัลกอริทึม YOLO V4 [4] จากนั้นนำตำแหน่งของเลขทะเบียนและชื่อจังหวัดเข้ากระบวนการ OCR [7] แนวทางที่สอง คือการนำในส่วนชื่อจังหวัดจากป้ายทะเบียนไปฝึกฝนด้วยอัลกอริทึม YOLO V4 [4] เพื่อระบุชื่อจังหวัดที่ตรวจพบคือจังหวัดใด ซึ่งจะแสดงผลโดยไม่ผ่านกระบวนการ OCR โดยมีลำดับขั้นตอนดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แนวทางการแก้ไขโปรแกรมเดิม

3.1.2 ดำเนินการสร้างชุดข้อมูลภาพสำหรับสร้างแบบจำลอง YOLO V4

การเตรียมข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง YOLO V4 ประกอบด้วย 8 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมข้อมูลภาพป้ายทะเบียนสำหรับการฝึกฝน (Dataset Collection) โดยชุดข้อมูลสำหรับการแบ่งตำแหน่งของเลขทะเบียนและชื่อจังหวัดมีจำนวน 271 ภาพ และภาพสำหรับแยกเฉพาะในส่วนชื่อจังหวัดมีจำนวน 871 ภาพ

ขั้นตอนที่ 2 Data Augmentation เป็นกระบวนการปรับแต่งชุดข้อมูลก่อนทำการฝึกฝน (training data) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของโมเดลที่กำลังฝึกฝน โดยการเพิ่มความหลากหลายให้กับชุดข้อมูลที่จะฝึกฝน เพื่อให้โมเดลสามารถแยกแยะวัตถุได้ดีขึ้นในสถานะที่แตกต่างกัน เช่น การปรับความสว่างและความเข้มของภาพ (Brightness and Contrast Adjustment) [13] การเบลอภาพ (Blur) [13] เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 ทำการระบุตำแหน่ง (Data Annotation) ของเลขทะเบียน กับชื่อจังหวัด และการระบุเฉพาะชื่อจังหวัด โดยทำการระบุตำแหน่งโดยการวาดกรอบ (Bounding box) ดังรูปที่ 4 โดยการทำให้ Bounding Box สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Roboflow [6] ซึ่งผลการทำ Bounding box จะถูกบันทึกออกมาในรูปแบบดั่งสมการที่ (1) และบันทึกเป็นไฟล์ (.txt) ดังรูปที่ 6 เพื่อเตรียมสำหรับการฝึกฝน (Train model) ต่อไป

$$\langle class\ id \rangle \langle \frac{X_0}{X} \rangle \langle \frac{Y_0}{Y} \rangle \langle \frac{W}{X} \rangle \langle \frac{H}{Y} \rangle \quad (1)$$

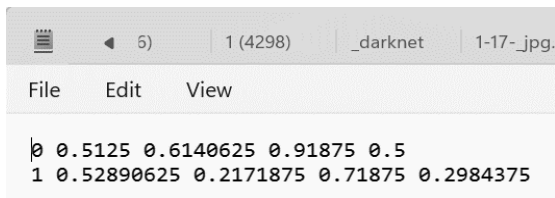
โดย $\langle class\ id \rangle$ คือ index ของวัตถุที่เราต้องการโดยเริ่ม index แรกที่ 0, X_0 คือ ค่าแกน X ของจุดกึ่งกลางของ bounding box, Y_0 คือ ค่าแกน Y ของจุดกึ่งกลางของ bounding box, W คือ ความกว้างของ bounding box,

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

H คือ ความสูงของ bounding box, X คือ ความกว้าง
ของรูป Y คือ ความสูงของรูป



รูปที่ 4 การระบุตำแหน่งกรอบ (bounding box)



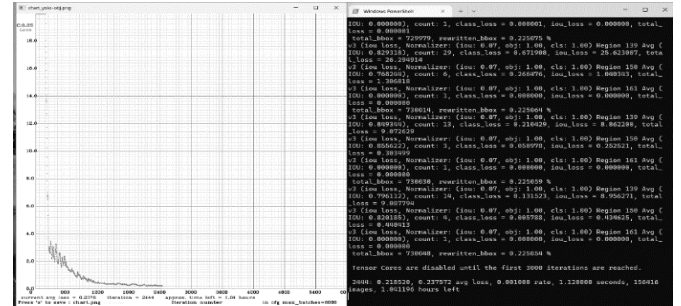
รูปที่ 5 ข้อมูลตำแหน่งของวัตถุที่ถูกบันทึกหลังจากการระบุ
ตำแหน่งด้วยเครื่องมือ Roboflow

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าการฝึกฝน ทำการตั้ง
ค่าพารามิเตอร์ ที่ระบุโมเดล YOLO V4 [4] ที่จะใช้รวมถึง
ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น จำนวนชั้น (layers)
ของโมเดล ขนาดของรูปภาพเข้าสู่โมเดล, อัตราการเรียนรู้
และค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการฝึกฝน

ขั้นตอนที่ 5 ดาวน์โหลด pre-trained weights:
ดาวน์โหลดน้ำหนัก (weights) ของโมเดล YOLO V4 [4]
ที่ฝึกฝนมาก่อนหน้านี้โดยใช้ชุดข้อมูลอื่น ๆ เพื่อเป็น
จุดเริ่มต้นในการฝึกฝนโมเดลใหม่

ขั้นตอนที่ 6 ทำการฝึกฝนโมเดล (Train Augmented
Model) ด้วย CNN [11] โดยใช้ชุดข้อมูลและไฟล์ .cfg ที่
เตรียมไว้เพื่อฝึกฝนโมเดล YOLO V4 โดยใช้เทคนิค

การปรับแต่งค่าน้ำหนัก (fine-tuning) ซึ่งประกอบไปด้วยการ
รันการฝึกฝนผ่านการอัปเดตค่าน้ำหนักบนชุดข้อมูลป้าย
ทะเบียนดังแสดงใน รูปที่ 6



รูปที่ 6 การ Train Augmented Model ด้วย
Convolution Neural Networks

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผลปรับปรุงและทำการทดสอบ
โมเดลที่ฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลทดสอบ ดังรูปที่ 7 เพื่อวัด
ประสิทธิภาพของโมเดลในการตรวจจับป้ายทะเบียน และ
ปรับแต่งโมเดลหรือการฝึกฝนเพิ่มเติมตามผลการประเมิน



รูปที่ 7 การทดสอบชุดโมเดลที่ฝึกฝนแล้วกับชุดข้อมูลใหม่
สำหรับใช้ทดสอบภาพโดยเฉพาะ

ขั้นตอนสุดท้าย ทดสอบและใช้งานโมเดลที่ฝึกฝน
แล้วกับชุดข้อมูลใหม่หรือที่สภาวะการใช้งานจริง เพื่อ
ตรวจจับและอ่านป้ายทะเบียนในภาพหรือวิดีโอดังแสดงใน
รูปที่ 8

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



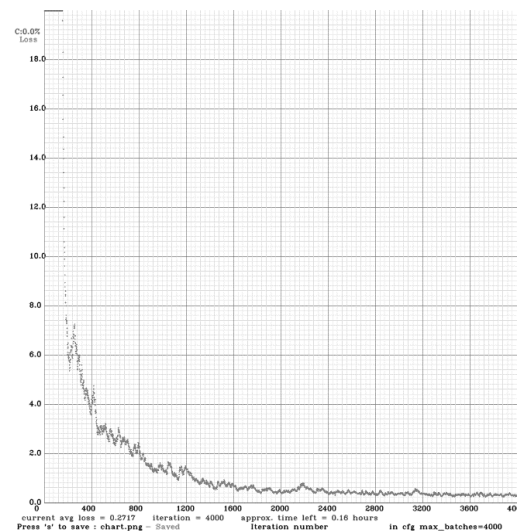
รูปที่ 8 นำโมเดลที่ฝึกฝนแล้วไปทดสอบกับโปรแกรมจริง

4. ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบโปรแกรมระบบจดจำป้ายทะเบียนเดิม ซึ่งหลังจากที่ได้พบข้อบกพร่องและได้ทำการแก้ไขโดยดำเนินการสำรวจ และเก็บชุดข้อมูลป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ผ่านเข้า-ออก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเข้ากระบวนการปรับแต่งภาพเพื่อเพิ่มความหลากหลายของภาพแผ่นป้ายทะเบียน และได้ประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งประกอบด้วย การฝึกฝน (Training) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับให้มีความแม่นยำมากขึ้น และนำระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบไปทดสอบการใช้งาน โดยทดสอบการตรวจจับแผ่นป้ายทะเบียน ทดสอบการระบุตำแหน่งเลขทะเบียนและจังหวัด ทดสอบการระบุชื่อจังหวัด หลังจากนั้นจึงทำการอ่านอักขระบนป้ายทะเบียน และชื่อจังหวัด ซึ่งได้ผลลัพธ์ และการวิเคราะห์โดยวิธีการประเมินประสิทธิภาพ (Confusion Matrix) [12]

4.1 ผลจากการ Train Augmented Model ตำแหน่งเลขทะเบียน และ จังหวัด

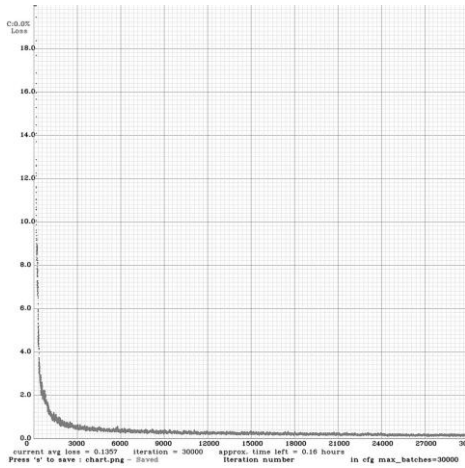
รูปที่ 9 แสดงผลจากการ Train Augmented Model ด้วย CNNs เปรียบเทียบค่า Current Average Loss ที่เปลี่ยนไปในแต่ละ iteration ที่เพิ่มขึ้น จากกราฟแสดงผลของขั้นตอนนี้ได้ค่า Current Average Loss อยู่ที่ 0.2717 และใช้เวลาในการ Train Augmented Model ทั้งสิ้น 28 ชั่วโมง



รูปที่ 9 ผลลัพธ์จากการ Train Augmented Model ตำแหน่งของเลขทะเบียนและจังหวัด

4.2 ผลจากการ Train Augmented Model เฉพาะชื่อจังหวัด

รูปที่ 10 แสดงผลจากการฝึกฝนโมเดล ด้วย CNN [11] เปรียบเทียบค่า Current Average Loss ที่เปลี่ยนไปในแต่ละ iteration ที่เพิ่มขึ้น จากกราฟแสดงผลของขั้นตอนนี้ได้ค่า Current Average Loss อยู่ที่ 0.1357 และใช้เวลาในการ Train Augmented Model ทั้งสิ้น 71 ชั่วโมง



รูปที่ 10 ผลลัพธ์จากการ Train Augmented Model เฉพาะชื่อจังหวัด

4.3 ผลการทดสอบความแม่นยำการอ่านเลขทะเบียนและชื่อจังหวัดด้วยโปรแกรมตรวจจับป้ายทะเบียนหลังจากการพัฒนา

เมื่อได้ผลลัพธ์จากการ ฝึกฝนโมเดล หรือน้ำหนัก (weight) แล้วคณะผู้วิจัยจึงได้นำ weight ที่ได้ไปใช้ในการทดสอบการอ่านเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด ด้วยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมา เพื่อค้นหาความแม่นยำของระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถที่ได้พัฒนาขึ้นมา คณะผู้วิจัยจึงได้นำความรู้ในเรื่องตารางการประเมินประสิทธิภาพ (Confusion Matrix) [12] มาใช้เพื่อหาความแม่นยำของโมเดลที่ได้ฝึกฝน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการอ่านเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด

	Positive	Negative
Positive	81	4
Negative	6	9

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการอ่านชื่อจังหวัด

	Positive	Negative
Positive	60	8
Negative	27	5

ตารางที่ 3 ตารางสรุปผลการทดสอบความแม่นยำของการอ่านเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด

ผลการทดสอบ	ความแม่นยำ
ผลการทดสอบการอ่านเลขทะเบียนและชื่อจังหวัด (ตารางที่ 1)	90%
ผลการอ่านชื่อจังหวัด (ตารางที่ 2)	65%

จากการทดสอบการอ่านป้ายทะเบียนและชื่อจังหวัดพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถอ่านป้ายทะเบียนและชื่อจังหวัดได้ โดยการทดสอบกับป้ายทะเบียนรถ 87 ป้าย และไม่ใช่ป้ายทะเบียนรถยนต์ 13 ป้าย โดยใช้การฝึกฝนโมเดลในการแยกเฉพาะตำแหน่งของเลขทะเบียนและจังหวัด ซึ่งโปรแกรมสามารถทำการอ่านเลขทะเบียนโดยมีความแม่นยำอยู่ที่ ร้อยละ 90 และการอ่านชื่อจังหวัดมีความแม่นยำอยู่ที่ ร้อยละ 90 และการฝึกฝนโมเดลในส่วนเฉพาะจังหวัดมีความแม่นยำในการอ่านชื่อจังหวัดอยู่ที่ ร้อยละ 65 ดังแสดงในตารางที่ 3 ในการทดสอบแสดงให้เห็นว่า โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกฝึกฝนมาใช้งานจากการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นในส่วนของ การตรวจจับ ตำแหน่งของเลขทะเบียนและจังหวัด นั้นช่วยเพิ่มความแม่นยำในการอ่านเลขทะเบียนได้เป็นอย่างดี และในส่วนที่แยกเฉพาะชื่อจังหวัดยังอ่านไม่แม่นยำพอ สาเหตุเนื่องจากจำนวนชุดข้อมูลที่นำมาฝึกฝน ยังมีจำนวนชุดข้อมูลที่น้อย รวมทั้ง

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ขนาดตัวอักษรของจังหวัดที่มีขนาดเล็ก สาเหตุจากสภาพแวดล้อมและการติดตั้งกล้อง ซึ่งคณะผู้วิจัยพบว่าการติดตั้งกล้องในมุมก้มทำมุม 30 องศา สามารถระบุยี่ห้อและสีรถยนต์ได้ดี รวมถึงติดตั้งในระยะเกินกว่า 4 เมตรนั้นสามารถระบุตำแหน่งทะเบียน อ่านเลขทะเบียนและจังหวัดได้ดี

เมื่อผ่านการทดสอบในขั้นตอนข้างต้นแล้วจึงดำเนินการทดสอบการแจ้งเตือนรถที่เข้า-ออก บริเวณช่องทางต่าง ๆ โดยนำข้อมูล เลขทะเบียน ชื่อจังหวัด สีรถ และยี่ห้อรถ ที่อ่านได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม และแสดงสถานะทั้งสามสถานะ ดังรูปที่ 11-13



รูปที่ 11 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมการจดจำป้ายทะเบียนรถ สีรถและยี่ห้อรถยนต์ หลังจากการพัฒนาซึ่งเป็นรถที่มีอยู่ในฐานข้อมูลแสดงสถานะสีเขียวและขึ้นข้อความ “PASS”



รูปที่ 12 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมการจดจำป้ายทะเบียนรถ สีรถและยี่ห้อรถยนต์ หลังจากการพัฒนาซึ่งเป็นรถที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลแสดงสถานะสีเหลืองและขึ้นข้อความ “UNKNOWN”



รูปที่ 13 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมการจดจำป้ายทะเบียนรถ สีรถและยี่ห้อรถยนต์ หลังจากการพัฒนาซึ่งเป็นรถที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเฝ้าระวัง หรือต้องสงสัยแสดงสถานะสีแดง และขึ้นข้อความ “BLACK LIST”

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการทำงานของระบบจดจำป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยทำการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เช่น ระบบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม การประมวลผลภาพ การตรวจจับวัตถุ และการจดจำตัวอักษรด้วยการเรียนรู้เชิงลึก ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์ด้วยอัลกอริทึม YOLO ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ จนเกิดความเข้าใจและสามารถนำอัลกอริทึมดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับระบบการจดจำแผ่นป้ายทะเบียน รวมทั้งแสดงผลที่ได้บนหน้าจอแสดงผล ซึ่งพัฒนาด้วยภาษา C++ โดยระบบสามารถตรวจจับป้ายทะเบียนอ่านเลขทะเบียน สี และยี่ห้อรถนำไปสู่การแสดงในส่วนสถานะของยานพาหนะดังกล่าวได้ว่าเป็นประเภทใด

ผลการทดสอบพบว่า ระบบสามารถตรวจจับป้ายทะเบียนของรถยนต์ที่ผ่านช่องทางเข้า-ออกได้เป็นอย่างดี และมีการตรวจจับข้อมูลจากป้ายทะเบียนได้เร็วกว่าโปรแกรมเดิม โดยใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาแบบระบุตำแหน่งของเลขทะเบียนและจังหวัด มีความแม่นยำการอ่านเลขทะเบียนอยู่ที่ 90% มีความแม่นยำในการอ่านจังหวัดอยู่ที่

90% จากเดิมระบบมีประสิทธิภาพในการอ่านจังหวัดอยู่ที่ 65% ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจุบันมีความแม่นยำมากขึ้นจากเดิมนอกจากนี้ ระบบยังสามารถนำข้อมูลทุกส่วนมาบูรณาการเพื่อแยกกลุ่มของยานพาหนะได้ 3 กลุ่ม คือ รถที่ลงทะเบียน รถที่ไม่ได้ลงทะเบียนและรถต้องสงสัย รวมทั้งสามารถบันทึกประวัติรถยนต์ที่ได้เข้า-ออก เป็นข้อมูลทั้งตัวอักษร และภาพนิ่ง รวมถึงสามารถนำโปรแกรมมาใช้งานได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งจะเป็นต้นแบบเพื่อประยุกต์ใช้งานกับระบบรักษาความปลอดภัยต่อไป

6. ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต

1. ควรทำการฝึกฝนโมเดลในส่วนของการจดจำในแต่ละตัวอักษร เพื่อพัฒนาการตรวจจับให้แม่นยำมากขึ้น แต่ต้องใช้เวลาในการ train และสร้าง model เพิ่มขึ้น
2. พัฒนาการตรวจจับสีโดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับสีให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กองทัพอากาศ. (2016). ยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ.2560-2579).
- [2] สำนักงานเลขานุการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2017). ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. (2561-2580)
- [3] โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทราชภัฏวชิราวุธวิทยาลัย. (2022). โครงการวิจัยและพัฒนาการประยุกต์เทคโนโลยีการภาพและการตรวจจับป้ายทะเบียนรถกับระบบ รปภ.กกล.ทอ. ฉก.๙
- [4] Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang Institute of Information Science Academia Sinica, Taiwan, Hong-Yuan Mark Liao Institute of Information Science Academia Sinica, Taiwan. (2015). YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection.

- [5] M. Naveenkumar, A. Vadivel. Department of Computer Applications National Institute of Technology Trichy Tamilnadu. (2015). OpenCV for Computer Vision Applications .
- [6] Sonya Alexandrova, Zachary Tatlock and Maya Cakmak (2016). RoboFlow: A Flow-based Visual Programming Language for Mobile Manipulation Tasks
- [7] Dr. V. Geetha, Ch V V Sudheer, A V Saikumar, Dr C K Gomathy. (2022). OPTICAL CHARACTER RECOGNITION.
- [8] Adarsh Sai Daivansh Sham, Paritosh Pandey, Sambhav Jain and Dr. S. Kalaivani. (2021). AUTOMATIC LICENSE PLATE RECOGNITION USING YOLOV4 AND TESSERACT OCR.
- [9] Wichai Puarungroj. (2018). Thai License Plate Recognition Based on Deep Learning.
- [10] David Millán Escrivá, Prateek Joshi, Vinícius G. Mendonça, Roy Shilkrot. (2019). Learning Path Building Computer Vision Projects with OpenCV 4 and C++.
- [11] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi. (2020). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection.
- [12] Sofia Visa, Brian Ramsay, Anca Ralescu, Esther van der Knaap. (2011). Confusion Matrix-based Feature Selection.
- [13] Neetu Rani. (2017). Image Processing Techniques.
- [14] Pingan He, Zhixin Tie. (2024). A Real-Time License Plate Detection and Recognition Model in Unconstrained Scenarios. Sensors.

- [15] Jude Hemanth, Epameinondas Kapetanios. (2022). An End-to-End Automated License Plate Recognition System Using YOLO Based Vehicle and License Plate Detection.
- [16] S. Silva, C. Jung. (2017). License Plate Detection and Recognition in Unconstrained Scenarios. 2018 European Conference on Computer Vision
- [17] Usama X, Alexia Maria. (2022). Vehicle and License Plate Recognition with Novel Dataset for Toll Collection Using YOLOv4.
- [18] N. Ahmed, S. Javed. (2020). Real-Time License Plate Detection using Convolutional Neural Networks. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
- [19] A. Afshan, R. Khan. (2021). License Plate Recognition using YOLO and LSTM. Journal of Computational Vision and Image Processing.
- [20] W. Zhao, P. Su. (2019). Towards End-to-End License Plate Detection and Recognition: A Large Dataset and Baseline. ECCV Conference, 2019.
- [21] Laroca, R., Zanlorensi, L.A., Gonçalves, G.R., Todt, E., Schwartz, W.R., & Menotti, D. (2021). An efficient and layout-independent automatic license plate recognition system based on the YOLO detector. IET Intelligent Transport Systems
- [22] N. Matsunaga, A. Hirakawa. (2023). Vehicle Identification and License Plate Recognition Using YOLO and OCR. Machine Learning for Intelligent Transportation.
- [23] F. Almeida, S. Ramos. (2021). License Plate Detection under Challenging Environmental Conditions using Deep Learning. 2021 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- [24] Kumari, P.L., Tharuni, R., Vasanth, I.S., Kumar, M.V. (2022). Automatic License Plate Detection Using KNN and Convolutional Neural Network. 2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)
- [25] Awalgaonkar, N., Bartakke, P., Chaugule, R. (2021). Automatic License Plate Recognition System Using SSD. 2021 International Symposium of Asian Control Association on Intelligent Robotics and Industrial Automation (IRIA)
- [26] Laroca, R., et al. (2018). A Robust Real-Time Automatic License Plate Recognition Based on the YOLO Detector. 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN),
- [27] Montazzolli, S., Jung, C. (2017). Real-Time Brazilian License Plate Detection and Recognition Using Deep Convolutional Neural Networks. 2017 30th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI).
- [28] Riaz, W., Azeem, A., Chenqiang, G., Yuxi, Z., Khalid, W., et al. (2020). YOLO-Based Recognition Method for Automatic License Plate Recognition. 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA).
- [29] Kim, T., Kang, C., Kim, Y., Yang, S. (2022). AI Camera: Real-Time License Plate Number Recognition on Device. 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE).

การตรวจจับพฤติกรรม ลักษณะ และรูปร่างของมนุษย์เพื่อคัดกรองผู้ต้องสงสัย
ในการกระทำความผิดโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

**Detection of Human Behavior, Characteristics, and
Appearance for Suspect Screening Using Artificial Intelligence**

อภิสิทธิ์ ศीलส์ตย์¹ (Apisit Seelsat)¹

ประสงค์ ปราณิตพลกรัง² (Prasong Praneetpolgrang)²

พายัพ ศิรินาม³ (Payap Sirinam)³

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: apisit.digital@gmail.com

²สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: prasongspu@gmail.com

³สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: p.sirinam@gmail.com

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับพฤติกรรมทางกายภาพของมนุษย์โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ ทั้งนี้จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำในการใช้ OpenPose ในการตรวจจับพฤติกรรม ลักษณะ และรูปร่างของมนุษย์เพื่อคัดกรองผู้ต้องสงสัยในการกระทำความผิดในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบ Convolutional Neural Networks และ Part Affinity Fields ในการตรวจจับจุดสำคัญบนร่างกายมนุษย์ โดยช่วยให้สามารถตรวจจับท่าทางของมนุษย์ได้แบบเรียลไทม์และแม่นยำ นอกจากนี้ ยังใช้ Long Short-Term Memory (LSTM) เพื่อวิเคราะห์และจำแนกพฤติกรรมจากข้อมูลลำดับเวลา ซึ่ง LSTM ได้ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับและจำแนกพฤติกรรมของมนุษย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิจัยที่ใช้ข้อมูลภาพและวิดีโอท่าทางของมนุษย์ในสถานการณ์ต่าง ๆ พบว่า จากการใช้ OpenPose และ LSTM ร่วมกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำในการตรวจจับพฤติกรรม ลักษณะ และรูปร่างของมนุษย์ได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ : การตรวจจับพฤติกรรมทางกายภาพ, การตรวจจับการเคลื่อนไหว, ปัญญาประดิษฐ์

Abstract : This research aims to develop a system for detecting human physical behavior using artificial intelligence. This will test its effectiveness in detecting human physical behavior with OpenPose in detecting behavior characteristics and human characteristics to screen out suspects in various situations. Researchers use techniques in neural networks such as Convolutional Neural Networks and Part Affinity Fields to detect keypoints on the human body. It allows for real-time and accurate detection of human gestures. In addition, it uses Long Short-Term Memory (LSTM) to analyze and classify behavior from time series data. Together with LSTM, it can increase the accuracy of detection and classification human behavior has significance.

Research results with using image and video data of human postures in various situations found that using OpenPose and LSTM together can increase the efficiency and accuracy of detecting human behavior, characteristics, and appearance to screen out suspects.

Keywords : Physical Behavior Detection, Motion Detection, Artificial Intelligence

1. บทนำ

ในระบบการรักษาความปลอดภัย การตรวจจับพฤติกรรมทางกายภาพที่ผิดปกติหรือมีความเสี่ยง ไม่ว่าจะเป็น การล้ม การชกต่อย หรือการเคลื่อนไหวที่ไม่ปกติ นั้นสามารถช่วยป้องกันอุบัติเหตุและลดความเสี่ยงในการเกิด

เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ได้ กล่าวคือ การตรวจจับการล้มในผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่คนเดียว ระบบจะแจ้งเตือนให้เจ้าหน้าที่หรือผู้ดูแลเข้ามาช่วยเหลือได้ทันที นอกจากนี้ยังใช้ในระบบการรักษาความปลอดภัยในพื้นที่สาธารณะได้ด้วย

ยกตัวอย่างเช่น การตรวจจับการทะเลาะวิวาทหรือการเคลื่อนไหวที่เป็นภัยในสนามบินหรือสถานีรถไฟ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบตรวจจับท่าทางมนุษย์แบบเรียลไทม์

OpenPose คือระบบตรวจจับท่าทางมนุษย์แบบเรียลไทม์ที่พัฒนาโดยทีมนักวิจัยที่ห้องทดลองคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของมหาวิทยาลัย Carnegie Mellon (CMU) ระบบนี้สามารถตรวจจับจุดสำคัญบนร่างกายมนุษย์หลายจุดในภาพนิ่งหรือวิดีโอ ซึ่งรวมถึงจุดสำคัญต่าง ๆ บนร่างกาย เช่น แขน ขา และใบหน้า ระบบนี้ใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อประมวลผลข้อมูลภาพและระบุตำแหน่งของจุดสำคัญเหล่านี้ได้อย่างแม่นยำ [1]

2.2 การตรวจจับท่าทางมนุษย์

Part Affinity Fields (PAF) คือเทคนิคที่ใช้ในการตรวจจับท่าทางของมนุษย์ในภาพนิ่งหรือวิดีโอ โดยถูกพัฒนาขึ้นเพื่อระบุตำแหน่งและการเชื่อมต่อระหว่างจุดสำคัญบนร่างกายมนุษย์ (Keypoint) ในหลายบุคคลในภาพเดียวกัน เทคนิคนี้ได้นำมาใช้ในระบบ OpenPose ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการตรวจจับท่าทางมนุษย์แบบเรียลไทม์ [2] PAF ใช้แนวคิดการสร้างแผนที่ความสัมพันธ์ (Affinity Maps) ระหว่างจุดสำคัญต่าง ๆ บนร่างกายมนุษย์ ซึ่งแผนที่เหล่านี้ช่วยในการระบุและเชื่อมโยงจุดสำคัญที่เกี่ยวข้องกัน

2.3 Convolutional Neural Networks (CNN)

CNN เป็นสถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบมาเฉพาะเพื่อการประมวลผลข้อมูลภาพและวิดีโอ โดยมีความสามารถในการเรียนรู้คุณลักษณะ (Features) จากข้อมูลภาพอย่างมีประสิทธิภาพ CNN ถูกนำมาใช้ในงานที่หลากหลาย เช่น การรู้จำภาพ การประมวลผลภาษาธรรมชาติ และการรู้จำวัตถุ [3]

2.4 Long Short-Term Memory (LSTM)

LSTM เป็นรูปแบบหนึ่งของ Recurrent Neural Networks (RNN) ที่ออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาการเรียนรู้ลำดับข้อมูล ที่ยาวและซับซ้อน RNN แบบดั้งเดิม มีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลระยะยาว เนื่องจากมีปัญหาการหายไปของกราดีเอนต์ (Vanishing Gradient Problem) อย่างไรก็ตาม LSTM ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ โดยใช้

โครงสร้างเซลล์พิเศษที่สามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้ยาวนานมากขึ้น LSTM ใช้เกิดในการควบคุม อัปเดตและการส่งข้อมูลภายในเซลล์ ความสามารถในการเก็บข้อมูลระยะยาวทำให้ LSTM เหมาะสมในการทำงานที่ต้องใช้ลำดับข้อมูล เช่น การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การทำนายอนุกรมเวลา และการรู้จำเสียง [4]

2.5 Recurrent Neural Networks (RNN)

RNN เป็นสถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบมาเพื่อประมวลผลข้อมูลแบบลำดับหรืออนุกรมเวลา (Sequential Data) ซึ่งต่างจากเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟีดฟอร์เวิร์ด (Feedforward Neural Networks) ที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลจากขั้นตอนก่อนหน้าได้ RNN สามารถใช้ข้อมูลจากสถานะก่อนหน้าในการคำนวณสถานะปัจจุบันได้ ทำให้มีความเหมาะสมในการประมวลผลข้อมูลที่มีลำดับเชิงเวลา [5]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การตรวจจับพฤติกรรม ลักษณะ และรูปพรรณของมนุษย์เพื่อคัดกรองผู้ต้องสงสัยในการกระทำความผิด มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 การเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยนี้จะใช้ชุดข้อมูลมาตรฐานหลายชุดที่ประกอบด้วยวิดีโอของกิจกรรมต่าง ๆ เช่น

3.1.1 KTH Dataset : ประกอบด้วยวิดีโอของกิจกรรม : เดิน, วิ่ง, กระโดด, กระโดดเชือก, ตบมือ, และชกต่อย

3.1.2 MPII Human Pose Dataset : ประกอบด้วยภาพและวิดีโอที่มีการระบุจุดสำคัญบนร่างกายมนุษย์สำหรับกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดิน, การวิ่ง, การนั่ง, การทำงาน, และกิจกรรมกีฬา

3.2 การติดตั้งและการตั้งค่า OpenPose

3.2.1 ติดตั้ง Dependencies : ติดตั้งไลบรารีและเครื่องมือที่จำเป็น เช่น CMake, CUDA, cuDNN (สำหรับ GPU), OpenCV, และอื่น ๆ ตามที่ระบุในเอกสารของ OpenPose

3.2.2 ดาวน์โหลดและคอมไพล์ OpenPose : ทำการ Clone โค้ดของ OpenPose จาก GitHub และคอมไพล์โค้ดด้วย CMake

3.3 การสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction)

ในการสกัดคุณลักษณะจากจุดสำคัญ (Keypoint) ที่ได้จาก OpenPose สามารถใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การคำนวณมุมของข้อต่อ การคำนวณระยะห่างระหว่างจุดสำคัญ และการสร้างเวกเตอร์การเคลื่อนไหว ดังนี้

3.3.1 การคำนวณมุมของข้อต่อ (Joint Angles) ในการคำนวณมุมของข้อต่อ สามารถใช้ตำแหน่งของจุดสำคัญ (Keypoint) บนร่างกายมนุษย์ได้ เช่น มุมระหว่างหัวไหล่ ข้อศอก และข้อมือ การคำนวณมุมนี้สามารถทำได้โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณมุมระหว่างเวกเตอร์สองเส้น

สมการสำหรับการคำนวณมุม : หากมีจุดสำคัญสามจุด คือ $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$, $C(x_3, y_3)$ ตามสมการ (1)

$$\text{Angel} = \arccos\left(\frac{(A-B) \cdot (C-B)}{|A-B||C-B|}\right) \quad (1)$$

อธิบายตัวแปร

- $A(x_1, y_1)$: จุดสำคัญที่ 1 ตำแหน่งของหัวไหล่
- $B(x_2, y_2)$: จุดสำคัญที่ 2 ตำแหน่งของข้อศอก
- $C(x_3, y_3)$: จุดสำคัญที่ 3 ตำแหน่งของข้อมือ

3.3.2 การคำนวณระยะห่างระหว่างจุดสำคัญ (Distance Between Keypoint) การคำนวณระยะห่างระหว่างจุดสำคัญสามารถทำได้โดยใช้ระยะทางยูคลิด (Euclidean Distance) ซึ่งเป็นระยะทางตรงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในพื้นที่สองมิติ (2D Space) สมการนี้เป็นสมการพื้นฐานในวิชาเรขาคณิตเชิงวิเคราะห์ สมการสำหรับคำนวณระยะทางหากมีจุดสำคัญสองจุด ดังสมการ (2)

$$\text{Distance} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

อธิบายตัวแปร

- $A(x_1, y_1)$: จุดสำคัญที่ 1 เช่น ตำแหน่งของหัวไหล่
- $B(x_2, y_2)$: จุดสำคัญที่ 2 เช่น ตำแหน่งของข้อศอก
- $(x_2 - x_1)$: ความแตกต่างของพิกัด x ระหว่างจุด A และ B
- $(y_2 - y_1)$: ความแตกต่างของพิกัด y ระหว่างจุด A และ B

$(x_2 - x_1)^2$: การยกกำลังสองของความแตกต่างของพิกัด x เพื่อกำจัดค่าลบ

$(y_2 - y_1)^2$: การยกกำลังสองของความแตกต่างของพิกัด y เพื่อกำจัดค่าลบ

$\sqrt{\dots}$: การหารากที่สองของผลรวมของค่าที่ได้จากการยกกำลังสองของความแตกต่างของพิกัด x และ y

3.3.3 การสร้างเวกเตอร์การเคลื่อนไหว (Motion Vector) การสร้างเวกเตอร์การเคลื่อนไหวจะใช้การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดสำคัญ (Keypoint) ระหว่างเฟรมเพื่อคำนวณทิศทางและความเร็วของการเคลื่อนไหว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์

สมการสำหรับคำนวณเวกเตอร์การเคลื่อนไหวระหว่างจุดสำคัญในเฟรมก่อนหน้าและเฟรมถัดไป คือ $A_t(x_1, y_1)$ และเฟรมถัดไป $A_{t+1}(x_2, y_2)$ ดังสมการ (3)

$$\text{Motion Vector} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1) \quad (3)$$

$(x_2 - x_1)$: ความแตกต่างของพิกัด x ระหว่างจุดสำคัญในเฟรมก่อนหน้าและเฟรมถัดไป

$(y_2 - y_1)$: ความแตกต่างของพิกัด y ระหว่างจุดสำคัญในเฟรมก่อนหน้าและเฟรมถัดไป

เวกเตอร์การเคลื่อนไหวที่ได้จะมีทิศทางและขนาดที่แสดงถึงการเคลื่อนไหวของจุดสำคัญนั้น ๆ

3.3.4 การสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) สำหรับท่าทางต่าง ๆ จำนวน 500 เฟรม

ขั้นตอนการคำนวณ

1) มุมของข้อต่อ (Joint Angles) : ใช้สมการในการคำนวณมุมระหว่างจุดสำคัญ เช่น มุมระหว่างหัวไหล่, ข้อศอก, ข้อมือ และมุมระหว่างสะโพก, เข่า, ข้อเท้า และความเร็วการเคลื่อนไหว

2) ระยะห่างระหว่างจุดสำคัญ (Distance Between Keypoint) : คำนวณระยะทางยูคลิดระหว่างจุดสำคัญ เช่น ข้อเท้าและเข่า ในแต่ละเฟรม

3) เวกเตอร์การเคลื่อนไหว (Motion Vector) : คำนวณการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดสำคัญระหว่างเฟรมต่อเฟรมเพื่อสร้างเวกเตอร์การเคลื่อนไหว

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Long Short-Term Memory (LSTM) สำหรับการจำแนกพฤติกรรมมนุษย์เนื่องจาก LSTM สามารถเก็บรักษาข้อมูลระยะยาวและประมวลผลลำดับข้อมูลได้ดี โดยใช้ข้อมูลที่สกัดได้จาก KTH Dataset และ MPII Human Pose Dataset เป็นข้อมูลนำเข้าในการฝึกโมเดล LSTM ดังแสดงในตารางที่ 1- 2

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การจำแนกพฤติกรรมจาก KTH Dataset

พฤติกรรม	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
เดิน	95%	94%	93%	93.5%
วิ่ง	94%	93%	92%	92.5%
ยืน	96%	95%	94%	94.5%
นั่ง	93%	92%	91%	91.5%
ล้ม	91%	90%	89%	89.5%
ชกต่อย	90%	89%	88%	88.5%

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การจำแนกพฤติกรรมจาก MPII Human Pose Dataset

พฤติกรรม	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
เดิน	94%	93%	92%	92.5%
วิ่ง	93%	92%	91%	91.5%
ยืน	95%	94%	93%	93.5%
นั่ง	92%	91%	90%	90.5%
ล้ม	90%	89%	88%	88.5%
ชกต่อย	89%	88%	87%	87.5%

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 และ 2 จะแสดงประเด็นรายละเอียดได้ในหัวข้อ ดังต่อไปนี้

4.1 ความแม่นยำของ OpenPose

OpenPose นั้น มีความแม่นยำในการตรวจจับพฤติกรรมที่มีการเคลื่อนไหวน้อยหรือคงที่ เช่น การยืน การนั่ง และการเดิน ซึ่งผลการประเมินจาก KTH Dataset และ

MPII Human Pose Dataset ได้แสดงให้เห็นถึงค่า Accuracy, Precision, Recall, และ F1-Score ที่สูง

4.2 ข้อจำกัด

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า OpenPose มีข้อจำกัดในการตรวจจับพฤติกรรมที่มีการเคลื่อนไหวเร็วหรือซับซ้อน เช่น การวิ่ง การล้ม และการชกต่อย ซึ่งอาจมีความผิดพลาดจากการที่จุดสำคัญบนร่างกายมีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ทำให้การตรวจจับไม่แม่นยำ

4.3 การปรับปรุง

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับพฤติกรรมที่มีการเคลื่อนไหวเร็วหรือซับซ้อน อาจต้องใช้เทคนิคการประมวลผลเพิ่มเติม เช่น การใช้เซนเซอร์อื่น ๆ ร่วมกับ OpenPose หรือการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น Temporal Convolutional Networks (TCNs) หรือ Graph Convolutional Networks (GCNs) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเชิงเวลาและเชิงโครงสร้างได้ดีขึ้น

4.4 ความท้าทายในการประมวลผล

การตรวจจับพฤติกรรมในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนต้องเผชิญกับความท้าทายหลายประการ เช่น ความแตกต่างในมุมมอง การบิดเบือนของร่างกาย และการเกิดจุดทับซ้อนระหว่างบุคคลในภาพ นอกจากนี้ ความหลากหลายของพฤติกรรมมนุษย์ในชีวิตประจำวันยังเป็นปัจจัยที่ทำให้การจำแนกพฤติกรรมยากขึ้น

4.5 ความสำคัญของข้อมูลฝึก

การมีข้อมูลที่ฝึกที่หลากหลายและครอบคลุมพฤติกรรมที่ต้องการตรวจจับจะช่วยให้โมเดลสามารถเรียนรู้และปรับตัวได้ดีขึ้น การใช้ชุดข้อมูลขนาดใหญ่และหลากหลาย เช่น KTH Dataset, MPII Human Pose Dataset และอื่น ๆ จะช่วยให้โมเดลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

OpenPose เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและจำแนกพฤติกรรมของมนุษย์ในสถานการณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพฤติกรรมที่มีการเคลื่อนไหวน้อยหรือคงที่ อย่างไรก็ตาม มีข้อจำกัดในการตรวจจับพฤติกรรมที่มีการเคลื่อนไหวเร็วหรือซับซ้อน การปรับปรุงเทคนิคการประมวลผลเพิ่มเติมอาจช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการตรวจจับพฤติกรรมในอนาคต

นอกจากนี้ การใช้ชุดข้อมูลที่หลากหลายและการปรับแต่งโมเดลอย่างต่อเนื่องจะช่วยให้สามารถสร้างระบบที่มีความแม่นยำสูงและตอบสนองต่อความต้องการในการใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้ OpenPose และ LSTM ในการตรวจจับและจำแนกพฤติกรรมมนุษย์ในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายสาขา เช่น การรักษาความปลอดภัย การดูแลสุขภาพ และการเฝ้าระวัง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทาง สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ที่กรุณาให้ทุนการศึกษา ขอกราบขอบคุณ ท่าน พลอากาศตรี ศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ปราณีตพลกรัง ท่าน นาวาอากาศโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พ่ายพ์ ศิรินาม อาจารย์ที่ปรึกษา สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และท่านสมชาย ประจักษ์สูตร กรรมการผู้จัดการ บริษัท ดิจิตอลโฟกัส จำกัด ที่ได้ให้เวลาให้โอกาส ให้คำปรึกษา ส่งเสริมสนับสนุนในทุกด้าน ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยอย่างมาก จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Andriluka, L. Pishchulin, P. Gehler & B. Schiele, "2D Human Pose Estimation: New Benchmark and State of the Art Analysis," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2014.
- [2] Z. Cao, G. Hidalgo, T. Simon, S. E. Wei & Y. Sheikh, "OpenPose: Realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 43(1), 172-186, 2019.
- [3] Z. Cao, T. Simon, S. E. Wei & Y. Sheikh, "Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields," *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 7291-7299, 2017.
- [4] L. Chuankun, et al., "Cascading pose features with CNN-LSTM for multiview human action recognition," *IEEE ICMEW*, 2017.
- [5] A. Jitpattanukul, "STM networks using smartphone data for sensor-based human activity recognition in smart homes," *MDPI AG*, 2021.
- [6] S. W. Pienaar & R. Malekian, "Human activity recognition using LSTM-RNN deep neural network," *2019 IEEE 2nd Wireless Africa Conference*, Pretoria, South Africa, 2019.
- [7] T. Simon, H. Joo, I. Matthews & Y. Sheikh, "Hand Keypoint Detection in Single Images using Multiview Bootstrapping," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017.
- [8] A. Bharathi, R. Sanku, M. Sridevi, et al. "Real-time human action prediction using pose estimation with attention-based LSTM network," *Signal, Image and Video Processing*, 18(4), pp. 3255-3264, 2024.
- [9] C. Ding, Y. Jia, G. Cui, C.Chen, X.Zhong & Y.Guo, "Continuous human activity recognition through parallelism LSTM with multi-frequency spectrograms," *Remote Sensing*, 13(21), pp.4264, 2021.

การพัฒนาระบบการรักษาความปลอดภัยด้วยเทคโนโลยีจดจำใบหน้า
ในกรณีการสวมใส่หน้ากากอนามัย

**IOT-BASED SECURITY SYSTEM USING FACIAL RECOGNITION
WITH MASK-WEARING FACE**

เฉลิมขวัญ ศิริพันธ์ (Chalermkwan Siripanth)

อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช chalermkwan_s@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาระบบการรักษาความปลอดภัยด้วยเทคโนโลยีจดจำใบหน้าในกรณีการสวมใส่หน้ากากอนามัย ซึ่งเป็นการตอบโต้ภัยคุกคามที่เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์มลพิษทางอากาศและโรคระบาด COVID-19 โดยมีการประยุกต์ใช้ AI, Big Data, และ Machine Learning ร่วมกับเทคโนโลยี IoT อย่าง Raspberry Pi จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการจดจำใบหน้า การพัฒนาอัลกอริทึมการตรวจจับและจดจำใบหน้ามีหลากหลายรูปแบบ ผู้วิจัยเลือกใช้ Haar Cascades สำหรับการตรวจจับใบหน้า เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และใช้ Support Vector Machine (SVM) สำหรับการจดจำใบหน้า เนื่องจาก SVM เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพและมีความยืดหยุ่นสูงในการจัดการกับปัญหาการจัดประเภท (Classification) และการถดถอย (Regression) อย่างไรก็ตามการเลือก Kernel ให้เหมาะสมเป็นประเด็นที่ต้องใช้การทดลอง ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบ Kernel ต่างๆ ได้แก่ Linear kernel, Polynomial kernel และ Gaussian RBF kernel ผลการวิจัยพบว่า Polynomial kernel มีความเหมาะสมที่สุดในการสร้างโมเดลจดจำใบหน้ากับฐานข้อมูล Real-World Masked Face Dataset (RMFRD) โดยให้ค่าความถูกต้องสูงสุดและใช้เวลาน้อยกว่า kernel อื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนใบหน้าปกติต่อใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความถูกต้องของการทำนายใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไปต่อยอด ผู้วิจัยได้เชื่อมต่อบนจดจำใบหน้าเข้ากับการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify พร้อมเสนอแนะแนวทางการพัฒนาต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยในกองทัพอากาศและการทำงานในระบบอื่น ๆ เช่น ระบบลงทะเบียน และการใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมด้วย

คำสำคัญ: ระบบการรักษาความปลอดภัยด้วยเทคโนโลยีจดจำใบหน้า, การตรวจจับใบหน้าที่สวมหน้ากาก, Support Vector Machine (SVM), Raspberry Pi

1. บทนำ

ด้วยกองทัพอากาศต้องการพัฒนาให้เท่าทันต่อโลก และเป็นกองทัพอากาศชั้นนำในภูมิภาค ตามวิสัยทัศน์ “*One of The best air forces in ASEAN*” จากยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ.2561 - 2580) กลยุทธ์ที่ 2.10 พัฒนาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กลยุทธ์ย่อยที่ 2.10.2 ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสมัยใหม่ เช่น *Artificial Intelligence (AI)*, *Big Data*, *Blockchain*, *Cloud Computing*, *Cyber Security*, *Internet of Thing (IoT)* และ *Machine Learning (ML)* กับระบบสารสนเทศของกองทัพอากาศโดยเฉพาะระบบสารสนเทศที่มีความสำคัญ ให้มีขีดความสามารถที่เป็นระบบงานที่ชาญฉลาด (*Smart IS*) รวมทั้งบูรณาการข้อมูลข่าวสาร (*Information Integration*) ของแต่ละระบบงานให้สามารถเชื่อมโยงแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร (*Information Sharing*) ได้อย่างสมบูรณ์แบบ

ถึงแม้สถานการณ์โรคระบาด *COVID-19* จะบรรเทาลง แต่สถานการณ์มลพิษทางอากาศกลับเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ยังคงมีการใช้หน้ากากอนามัยในชีวิตประจำวัน อันเป็นผลกระทบต่อ การตรวจจับและจดจำใบหน้า

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่า การพัฒนาระบบการรักษาความปลอดภัยด้วยเทคโนโลยีจดจำใบหน้าในกรณีการสวมใส่หน้ากากอนามัย ยังคงเป็นการตอบโจทยความท้าทายดังกล่าว และเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโดยการประยุกต์ใช้ *AI* อีกทั้งสอดคล้องกับกลยุทธ์ที่

2.11 วิจัยและพัฒนานวัตกรรมภายในกองทัพอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของเทคโนโลยีจดจำใบหน้าบนระบบการรักษาความปลอดภัยในกรณีสวมใส่หน้ากากอนามัย หรือมีสิ่งปกปิดใบหน้าบางส่วน

2.2 เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบการรักษาความปลอดภัยด้วยเทคโนโลยีจดจำใบหน้า

3. สมมติฐานของงานวิจัย

ระบบมีความถูกต้องในการตรวจจับ และจดจำใบหน้าในกรณีไม่สวมใส่หน้ากากอนามัยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และกรณีสวมใส่หน้ากากอนามัยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 โดยคำนวณจาก *Recognition Rate* (ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่ถูกต้องกับจำนวนข้อมูลทั้งหมด)

4. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูล *Real-World Masked Face Dataset (RMFRD)* จำนวนภาพจาก 230 คน ประกอบด้วยกรณีสวมใส่หน้ากากอนามัยและไม่สวมในปริมาณข้อมูลที่ละจำนวน

5. วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 ศึกษาข้อมูล งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง “การพัฒนากระบวนการรักษาความปลอดภัยด้วยเทคโนโลยีจดจำใบหน้าในกรณีการสวมใส่หน้ากากอนามัย” ผู้วิจัยได้ศึกษา แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยออกเป็น 2 หัวข้อหลัก ได้แก่ การพัฒนาการระบบการตรวจจับและจดจำใบหน้า และการนำการตรวจจับและจดจำใบหน้าไปประยุกต์ใช้บน *Raspberry PI*

พัฒนาการของระบบการตรวจจับและจดจำใบหน้าเริ่มต้นตั้งแต่ทศวรรษ 1970 โดยใช้เทคนิคฮิวริสติกและมานุษยวิทยาอย่างง่าย ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการพัฒนางานวิจัยที่สำคัญครอบคลุมหลายแง่มุมของการตรวจจับใบหน้า โดยแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ *Feature-Based Approach* และ *Image-Based Approach* สำหรับ *Feature-Based Approach* จะใช้คุณสมบัติที่ชัดเจนของใบหน้า เทคนิคในรูปแบบนี้ถือว่ามีประสิทธิภาพสูง แต่ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้คุณสมบัติที่เหมาะสม ในส่วนของ *Image-Based Approach* จะไม่ต้องกำหนดคุณสมบัติล่วงหน้า ทำให้กระบวนการจัดการภาพทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น เหมาะสมกับข้อมูลภาพที่มีความหลากหลาย ทั้งสองประเภนี้ ต่างมีการวิจัยและพัฒนาอัลกอริทึมที่หลากหลาย โดย *Haar cascade* ถือเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมของ *Feature-Based Approach* ที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

โดยใช้คุณสมบัติของ histogram ของภาพขาวดำในการจำแนก และเรียนรู้ภาพใบหน้า สำหรับ Image-Based Approach การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) ในโมเดล Facenet ก็ถือเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูง

เนื่องจากวิวัฒนาการเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ผู้สนใจในงานวิจัยนี้ นอกจากจะวิจัยและพัฒนาอัลกอริทึมแล้ว ยังมุ่งเน้นไปที่ชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และหลากหลายมากขึ้น รวมถึงการปกปิดใบหน้า จากการรวบรวมข้อมูล ชุดข้อมูลภาพใบหน้า สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูล Masked Face Detection Dataset (MFDD), Real-world Masked Face Recognition (RMFRD) และ Synthetic Masked Face Recognition Dataset (SMFRD) ทั้งนี้ ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกใช้ฐานข้อมูลประเภท RMFRD เนื่องจากเป็นฐานข้อมูลใบหน้าที่ได้ทำการตัดเฉพาะส่วนใบหน้าที่มีความหลากหลายพอสมควรในเรื่องมุมหน้า และเฉดสีของภาพ นอกจากนี้ยังกำกับชื่อบุคคลไว้แล้วในรูปแบบไฟล์เดอร์ ทำให้สามารถทำไปใช้สร้างโมเดลการเรียนรู้ และตรวจสอบความถูกต้องได้ง่าย ลดความผิดพลาดในการตรวจสอบกระบวนการก่อนการเรียนรู้ (Pre-processing)

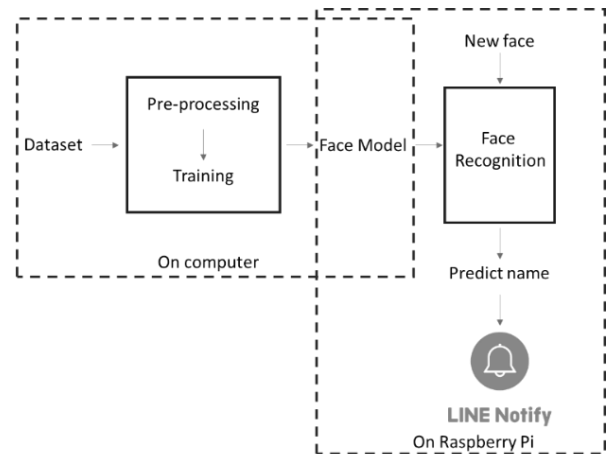
Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยแคมบริดจ์ในปี 2012 มีหน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม ARM และหน่วยประมวลผลภาพ 3 มิติ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปในแต่ละรุ่น เนื่องจากขนาดที่เล็กแต่ยังคงประสิทธิภาพเสมือนคอมพิวเตอร์ทำให้ Raspberry Pi ได้รับความนิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมระบบโครงข่ายอัจฉริยะ โดยทำงานบนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย โดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบ Linux (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ประกอบของ Raspberry Pi

5.2 ออกแบบและพัฒนาระบบ

ภาพรวมระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การเทรนโมเดลบนคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง (Model Training) และการนำไปใช้บน Raspberry Pi ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพรวมระบบ

ฐานข้อมูลประเภท RMFRD เป็นฐานข้อมูลภาพใบหน้าบุคคล ภายในประกอบด้วย 2 แฟ้มหลักคือ ภาพใบหน้าที่ไม่มีการปกปิด และภาพใบหน้าที่มีการปกปิด ขนาดไฟล์ที่บีบอัดแล้วอยู่ที่ประมาณ 600 MB แฟ้มใบหน้าที่ไม่มีการปกปิดมีข้อมูลจำนวน 460 แฟ้ม แต่ละแฟ้มมีจำนวนภาพไม่แน่นอนตั้งแต่ 9 ภาพ และมากที่สุดคือ 333 ภาพ ในส่วนของแฟ้มใบหน้าที่มีการปกปิดมีข้อมูลจำนวน 377 แฟ้ม แต่ละแฟ้มมีจำนวนภาพไม่แน่นอนตั้งแต่ 1 ภาพ จนถึง 25 ภาพ จะเห็นได้ว่ามีแฟ้มภาพบุคคลบางคนที่ไม่มีความรู้พื้นฐานข้อมูลใบหน้าที่มีการปกปิดที่ฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่ และมีความหลากหลายเช่นนี้ส่งผลต่อการเรียนรู้ของระบบ จึงจำเป็นต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อจัดการข้อมูลให้เหมาะสม โดยสรุป ภาพใบหน้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงนำมาจากจำนวนคนที่มีความรู้พื้นฐานข้อมูลตั้งแต่ 99 ภาพขึ้นไป และมีภาพใบหน้าที่มีการปกปิดตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบแฟ้มข้อมูล ก่อน-หลังการจัดการ

	จำนวนแฟ้มข้อมูล	จำนวนภาพ	ใบหน้าที่ใส่หน้ากาก
ก่อน	460	9 - 333	1-25
หลัง	230	99-333	2-25

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

จากภาพที่ 2 ภาพรวมระบบ ฐานข้อมูลที่ได้รับการจัดระเบียบแล้วจะถูกนำไปตรวจจับและแยกคุณสมบัติของใบหน้าโดยใช้โมเดล Facenet เพื่อใช้ในการสร้างโมเดลการรู้จำใบหน้าในขั้นตอนถัดไป ผู้วิจัยแบ่งข้อมูลภาพใบหน้าปกติเป็น 20 ชุดย่อย และ 1 ชุดสำหรับใบหน้าที่สวมหน้ากาก วิธีการดังกล่าวช่วยลดภาระการประมวลผลในการสร้างโมเดล และเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนขนาดข้อมูล ในกรณีที่ต้องการสร้างโมเดลด้วยอัลกอริทึมแบบใหม่หรือปรับเปลี่ยน Kernel ของอัลกอริทึมนี้

ผู้วิจัยได้เลือกใช้ Support Vector Machine (SVM) ในการพัฒนาโมเดลสำหรับการรู้จำใบหน้า โดยมีการปรับเปลี่ยน Kernel ของอัลกอริทึม ได้แก่ Linear Kernel, Polynomial Kernel และ Gaussian Radial Basis Function Kernel เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการรู้จำใบหน้าในแต่ละกรณี

ในการตรวจสอบโมเดล (Model Validation) ผู้วิจัยใช้การตรวจสอบ 3 รูปแบบ ได้แก่ ตรวจสอบภายใน (In-sample validation) ตรวจสอบแบบ leave one out ในกรณีสร้างโมเดลแบบไม่มีเงื่อนไข และตรวจสอบแบบ leave one out ในกรณีสร้างโมเดลไม่รวมใบหน้าสวมหน้ากาก

โมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะถูกนำไปใช้บน Raspberry Pi ที่มีการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายและส่งแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ผ่าน Line Notify

6. ผลการวิจัย

จากการตรวจสอบโมเดล 3 รูปแบบ ได้แก่ (ก) ตรวจสอบภายใน (In-sample validation) โมเดลจะถูกสร้างจากชุดข้อมูลทั้งหมด (รวม 21 ชุด) ค่าความถูกต้องคำนวณจากค่าเฉลี่ยของการนำข้อมูล 1 ชุดมาทดสอบ (ข) ตรวจสอบแบบ leave one out ในกรณีสร้างโมเดลแบบไม่มีเงื่อนไข ชุดข้อมูลทั้งหมด 21 ชุดจะถูกแบ่งออกเป็น 20 ชุดสำหรับการสร้างโมเดล และ 1 ชุดสำหรับการทดสอบ โดยกระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำ 21 รอบ เพื่อให้แต่ละชุดข้อมูลได้ถูกใช้เป็นชุดทดสอบอย่างน้อยหนึ่งครั้ง หลังจากนั้นจะคำนวณค่าเฉลี่ย

ความถูกต้องของโมเดล เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของโมเดลอย่างครอบคลุม (ค) ตรวจสอบแบบ leave one out ในกรณีสร้างโมเดลไม่รวมใบหน้าสวมหน้ากาก ชุดข้อมูลทั้งหมด 20 ชุด (จากภาพใบหน้าปกติ) จะถูกแบ่งออกเป็น 19 ชุดสำหรับการสร้างโมเดล และ 1 ชุดสำหรับการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า Linear Kernel ของ SVM มีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่คาดหมาย ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลโดยใช้ Polynomial Kernel และ Gaussian RBF Kernel เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมและแม่นยำมากขึ้นในการจำแนกข้อมูล ดังแสดงผลในตารางที่ 2, 3 และ 4

ตารางที่ 2 ความถูกต้องของการรู้จำใบหน้า เมื่อใช้ Linear kernel

ชุดข้อมูลที่ทดสอบ	รูปแบบการตรวจสอบโมเดล		
	ก	ข	ค
ใบหน้าปกติ (เฉลี่ย 20 ชุด)	92.66 %	89.50 %	92.87 %
ใบหน้าที่สวมใส่หน้ากาก (1 ชุด)	53.22 %	22.47 %	22.47 %
ภาพรวมเฉลี่ย (21 ชุด)	90.78 %	86.31 %	89.52 %

ตารางที่ 3 ความถูกต้องของการรู้จำใบหน้า เมื่อใช้ Polynomial

ชุดข้อมูลที่ทดสอบ	รูปแบบการตรวจสอบโมเดล		
	ก	ข	ค
ใบหน้าปกติ (เฉลี่ย 20 ชุด)	97.45 %	90.85 %	97.50 %
ใบหน้าที่สวมใส่หน้ากาก (1 ชุด)	84.46 %	21.39 %	21.39 %
ภาพรวมเฉลี่ย (21 ชุด)	96.83 %	87.54 %	93.88 %

ตารางที่ 4 ความถูกต้องของการรู้จำใบหน้า เมื่อใช้ Gaussian RBF

ชุดข้อมูลที่ทดสอบ	รูปแบบการตรวจสอบโมเดล		
	ก	ข	ค
ใบหน้าปกติ (เฉลี่ย 20 ชุด)	95.75 %	90.47 %	95.83 %
ใบหน้าที่สวมใส่หน้ากาก (1 ชุด)	71.51 %	21.89 %	21.89 %
ภาพรวมเฉลี่ย (21 ชุด)	94.60 %	87.21 %	92.31 %

อัลกอริทึมในการแบ่งข้อมูลมีผลต่อเวลาในการสร้างโมเดลอย่างมีนัยสำคัญ โดย Linear kernel จะใช้เวลาน้อยสุด และ Gaussian RBF จะใช้เวลามากที่สุด ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบเวลาการสร้างโมเดล

Kernel	Linear	Polynomial	Gaussian RBF
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	75	128	159

จากการทดลองพบว่า ความถูกต้องของโมเดลในการทำนายใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์สาเหตุแล้วพบว่าสัดส่วนของใบหน้าปกติดต่อบริเวณที่สวมใส่หน้ากากที่ใช้ในการสร้างโมเดลมีความไม่สมดุล โดยมีอัตราส่วนประมาณ 40 ต่อ 1 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของโมเดล ผู้วิจัยได้ทำการปรับอัตราส่วนดังกล่าวโดยการสุ่มลดจำนวนข้อมูลใบหน้าปกติ เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างใบหน้าปกติดกับใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากอยู่ที่ประมาณ 4 ต่อ 1

ผลการทดสอบความถูกต้องในกรณี ที่เลือกใช้ Polynomial Kernel ในการสร้างโมเดล และตรวจสอบแบบ Leave-One-Out ในกรณีการสร้างโมเดลแบบไม่มีเงื่อนไข (รูปแบบ ข) แสดงผลตามตารางที่ 6 ซึ่งสังเกตได้ว่า ค่าความถูกต้องในการทำนายใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากเพิ่มขึ้น กลับส่งผลให้ค่าความถูกต้องของการทำนายใบหน้าปกติและค่าความถูกต้องเฉลี่ยของภาพรวมลดลง ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับอัตราส่วนของข้อมูลให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของระบบ เพื่อให้โมเดลมีความสมดุลและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกกลุ่มข้อมูล

ตารางที่ 6 ความถูกต้องของการรู้จำใบหน้าก่อน-หลังปรับปรุงสัดส่วนจำนวนภาพ

ค่าความถูกต้อง	ใบหน้าปกติ	ใบหน้าที่สวมใส่หน้ากาก	ภาพรวมเฉลี่ย
ก่อน	90.85 %	21.39 %	87.54 %
หลัง	87.00 %	89.39 %	87.12 %

หลังจากสร้างโมเดลการรู้จำใบหน้าเสร็จสมบูรณ์แล้ว ผู้วิจัยได้นำโมเดลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้และเชื่อมต่อกับระบบการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify โดยมีการกำหนด

เงื่อนไขในการส่งการแจ้งเตือนคือ ผลลัพธ์จากการทำนายใบหน้าจะต้องตรงกับบุคคลคนเดียวกันอย่างน้อย 3 ครั้ง ภายในระยะเวลา 3 วินาที และหากมีการส่งแจ้งเตือนสำเร็จแล้ว จะไม่มีการส่งซ้ำอีกในระยะเวลาต่อเนื่อง จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถตรวจจับและจดจำใบหน้าได้ทั้งในกรณีปกติและในกรณีที่สวมใส่หน้ากากอนามัย และสามารถส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านระบบ Line Notify ได้อย่างถูกต้องและสำเร็จ



Face: wang was trying to log-in @ 13/03/2024 10:34:42 10:34 AM



Face: wang was trying to log-in @ 13/03/2024 10:36:02 10:36 AM

ภาพที่ 3 การแสดงผลการตรวจจับและจดจำใบหน้า

7. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้ SVM ในการสร้างโมเดลการจดจำใบหน้าด้วย Kernel ที่แตกต่างกัน ได้แก่ Polynomial, Gaussian RBF, และ Linear และพบว่า Polynomial ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด รองลงมาคือ Gaussian RBF และ Linear ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะและวิธีการใช้งานของแต่ละ kernel อันได้แก่ Polynomial เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีรูปทรงไม่เป็นเส้นตรง ขณะที่ Gaussian RBF เหมาะกับข้อมูลที่ซับซ้อนและไม่เป็นเส้นตรง ส่วน Linear เหมาะกับข้อมูลที่ เป็นเส้นตรงหรือใกล้เคียงเส้นตรง นอกจากนี้ Polynomial Kernel ใช้เวลาเฉลี่ย

128 วินาทีในการสร้างโมเดล ซึ่งน้อยกว่า Gaussian RBF ที่ใช้เวลาเฉลี่ย 159 วินาที ดังนั้น Polynomial Kernel เหมาะสมที่สุดสำหรับการสร้างโมเดลรู้จำใบหน้ากับฐานข้อมูล RMFRD นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนใบหน้าที่สวมใส่หน้ากาก ช่วยเพิ่มค่าความถูกต้องในการทำนายใบหน้าอีกด้วย

8. ข้อเสนอแนะ

หากต้องการนำระบบการรู้จำใบหน้าไปประยุกต์ใช้กับฐานข้อมูลของกำลังพลในโรงเรียนหรือกองทัพอากาศ และต้องการเชื่อมต่อเข้ากับระบบงานอื่น ๆ มีประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาได้แก่ จำนวนภาพที่เพียงพอและหลากหลายทั้งกรณีสวมใส่หน้ากากและใบหน้าปกติ หากไม่สามารถเก็บภาพใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากได้โดยตรง สามารถใช้โมเดลจำลองการใส่หน้ากาก เพื่อช่วยให้ระบบมีข้อมูลที่หลากหลายในการทดสอบและเรียนรู้การรู้จำในกรณีต่าง ๆ นอกเหนือจากนี้ การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างภาพใบหน้าปกติกับภาพใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากก็เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากอัตราส่วนที่ไม่สมดุลอาจทำให้โมเดลมีความแม่นยำในการรู้จำใบหน้าไม่เพียงพอ โดยทั่วไป ควรปรับอัตราส่วนให้ครอบคลุมการใช้งานในสภาพจริง เช่น การปรับให้มีใบหน้าที่สวมใส่หน้ากากประมาณ 25-50% ของฐานข้อมูล เพื่อให้รองรับกรณีที่กำลังพลส่วนใหญ่สวมใส่หน้ากาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2564). การพัฒนาเครื่องมือช่วยเช็คชื่อนักศึกษาเข้าชั้นเรียนด้วยเทคนิคการตรวจจับใบหน้า โดยใช้ Raspberry Pi Development of a Student Attendance System using Face Detection Technique on Raspberry Pi. สืบค้น 3 มิถุนายน 2566 จาก [tressct64089_64_full.pdf](https://www.cmu.ac.th/~tressct64089_64_full.pdf) (cmu.ac.th)
- [2] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง. (2561). การพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียนด้วยการตรวจจับ และรู้จำใบหน้า. สืบค้น 16 มิถุนายน 2566 จาก https://www.it.kmitl.ac.th/~journal/index.php/main_journal/article/viewFile/84/40

[kmitl.ac.th/~journal/index.php/main_journal/article/viewFile/84/40](https://www.it.kmitl.ac.th/~journal/index.php/main_journal/article/viewFile/84/40)

- [3] Zhongyuan W. (2023). Masked Face Recognition Dataset and Application. สืบค้น 23 มีนาคม 2566, <https://arxiv.org/abs/2003.09093>
- [4] Ishita Gupta. (2016). Face Detection and Recognition using Raspberry Pi. สืบค้น 10 เมษายน 2566, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8009092>
- [5] M. Taskiran et al., Face recognition: Past, present and future (a review), Digit. Signal Process. (2020), 102809, doi:<https://doi.org/10.1016/j.dsp.2020.102809>.
- [6] Dr. Saminathan V., Kumaran C. S., Kishore R., Kamalesh S., Veerasathish A. (2021). Face Mask Detection Using Raspberry Pi, Annals of the Romanian Society for Cell Biology.
- [7] Ibrahim M., Mustafa Z. (2021). Face Recognition using PCA Implemented on Raspberry Pi. สืบค้น 10 เมษายน 2566, https://www.researchgate.net/publication/342784297_Face_Recognition_Using_PCA_Implemented_on_Raspberry_Pi

ต้นแบบระบบตรวจจับอารมณ์บนใบหน้าโดยอัตโนมัติโดยใช้ OpenCV และ DeepFace

Prototype of an Automatic Facial Emotion Detection System Using OpenCV and DeepFace

น.นร.พงศกร วโรรส¹ (NC.Pongsakon Waroros)¹

น.นร.สิทธา มรรคผล² (NC.Sittha Markpol)²

น.นร.กรณ์ฐ ธนจิรกรณ์³ (NC.Koranat Tanajirakorn)³

น.นร.ณัฐภัทร ยศพลเสนีย์⁴ (NC.Nathaphat Yodsapolsenee)⁴

น.นร.วีรภัทร แป้นถึง⁵ (NC.Weeraphat Panthueng)⁵

น.ท.ผศ.พิศณุ คูมีชัย⁶ (Cdr. Asst. Prof. Pisanu Kumeechai, RTN.)⁶

¹นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270 และ Pongsakon6381@gmail.com

²นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270 และ Boom55sittha@gmail.com

³นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270 และ koranat.tanajirakorn@gmail.com

⁴นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270 และ outlawdeadlym19@gmail.com

⁵นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270 และ ninefear1112@gmail.com

⁶อาจารย์ที่ปรึกษา กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, pisanu41984198@hotmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เสนอระบบตรวจจับและวิเคราะห์อารมณ์แบบเรียลไทม์โดยใช้ Haar Cascade Classifier และ DeepFace ระบบนี้สามารถตรวจจับใบหน้าในภาพหรือวิดีโอและวิเคราะห์อารมณ์ของบุคคลในภาพหรือวิดีโอ ระบบนี้ใช้ Haar Cascade Classifier สำหรับการตรวจจับใบหน้า และ DeepFace สำหรับการวิเคราะห์อารมณ์ ผลการทดสอบบนชุดข้อมูลภาพใบหน้า 150 ภาพ แบ่งออกเป็น 6 อารมณ์ ดังนี้ ตีใจ 25 ภาพ เสียใจ 25 ภาพ โกรธ 25 ภาพ กลัว 25 ภาพ ประหลาดใจ 25 ภาพ และปกติ 25 ภาพ วัดประสิทธิภาพโดยใช้ค่าความถูกต้องในการตรวจจับใบหน้า และการวิเคราะห์อารมณ์ ผลการทดลองการตรวจจับใบหน้าภาพต้นฉบับ ระบบสามารถตรวจจับใบหน้าได้อย่างถูกต้อง 80% และภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบพริกไทย ระบบสามารถตรวจจับใบหน้าได้อย่างถูกต้อง 60% ประสิทธิภาพการวิเคราะห์อารมณ์ ภาพต้นฉบับ ระบบสามารถวิเคราะห์อารมณ์ได้อย่างถูกต้อง 50.9% และภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบพริกไทย ระบบสามารถวิเคราะห์อารมณ์ได้อย่างถูกต้อง 24.5% ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบนี้สามารถนำไปใช้สำหรับการตรวจจับและวิเคราะห์อารมณ์แบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะมีสัญญาณรบกวนในภาพ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

คำสำคัญ: การตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์, การวิเคราะห์อารมณ์แบบเรียลไทม์, Haar Cascade Classifier, DeepFace, การประมวลผลภาพแบบมีสัญญาณรบกวน

1. ความเป็นมา

ในปัจจุบันการสื่อสารเป็นเรื่องสำคัญของมนุษย์ ซึ่งในส่วนใหญ่มนุษย์มักแสดงอารมณ์และความรู้สึกออกทางสีหน้าเป็นส่วนสำคัญ ในการแสดงอารมณ์และความรู้สึกออกทางสีหน้าเป็นการสื่อสารในรูปแบบอวัจนภาษา ซึ่งทำให้สามารถตีความได้เร็วกว่าการสื่อสารในรูปแบบอวัจนภาษาหรือทางวาจาและสามารถตรวจสอบอารมณ์ของมนุษย์ได้จากการแสดงออกทางสีหน้าในระหว่างการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ทำให้ทราบถึงอารมณ์ของผู้ร่วมสนทนา คำนิยามการแสดงออกทางสีหน้าที่มีชื่อเสียงและใช้กันอย่างแพร่หลายถูกกำหนดไว้ใน (M. Harinathapiti, 2017) ที่เรียกว่า FACS (Facial Action Coding System) ซึ่งใน FACS ได้กำหนดกลุ่มของการแสดงออกทางสีหน้า 6 กลุ่ม ได้แก่ ความสุข (Happiness), เศร้า (Sad), ความโกรธ (Anger), ความกลัว (Fear), ความแปลกใจ (Surprise) และ ปกติ (Neutral) ซึ่งวิธีการอัตโนมัติในการจดจำการแสดงออกทางสีหน้าเหล่านี้เป็นมิติใหม่สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของแอปพลิเคชันดังกล่าวคือ ความพอใจของผู้ที่เข้ารับบริการโรงพยาบาลในระหว่างการรับบริการ

ปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือหรือระบบที่สามารถตรวจสอบความพึงพอใจจากใบหน้าได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเครื่องมือหรือระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันมักมีราคาแพงและใช้งานยาก ซึ่งก็มีสาเหตุเบื้องต้นมาจากการตรวจสอบความพึงพอใจจากใบหน้าเป็นงานที่ซับซ้อน เนื่องจากต้องอาศัยการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากและการวิเคราะห์เชิงลึก และเทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัลยังอยู่ระหว่างการพัฒนา จึงยังไม่สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ จากปัญหาและสาเหตุข้างต้น จึงเป็น

ที่มาของงานวิจัย "ต้นแบบการตรวจสอบความพึงพอใจจากใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล" ซึ่งมุ่งหวังที่จะพัฒนาต้นแบบระบบที่สามารถตรวจสอบความพึงพอใจจากใบหน้าได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัล

แนวทางการแก้ปัญหาคือพัฒนาต้นแบบระบบที่สามารถตรวจสอบความพึงพอใจจากใบหน้าได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ พัฒนาต้นแบบระบบที่มีราคาไม่แพงและใช้งานง่าย พัฒนาอัลกอริทึมการตรวจสอบความพึงพอใจจากใบหน้าที่สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากและวิเคราะห์เชิงลึกได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ และพัฒนาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาต้นแบบระบบที่สามารถแก้ไขปัญหาที่มีอยู่ในปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับและวิเคราะห์อารมณ์แบบเรียลไทม์ โดยใช้ Haar Cascade Classifier และ DeepFace

2.2 เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับใบหน้าและวิเคราะห์อารมณ์ ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ภาพต้นฉบับ และภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบพริกไทย (pepper noise)

2.3 ทดสอบระบบบนชุดข้อมูลภาพใบหน้า 150 ภาพที่แบ่งออกเป็น 6 อารมณ์ คือ ดีใจ เสียใจ โกรธ กลัว ประหลาดใจ และปกติ อย่างละ 25 ภาพ เพื่อวัดประสิทธิภาพ

3. แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล คือ กระบวนการที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลภาพหรือภาพถ่ายดิจิทัล เพื่อแก้ไขภาพหรือด้านการปรับแต่งภาพ เพิ่มความชัดเจน เปลี่ยนแปลงสี หรือทำภาพให้ดูมีคุณภาพมากขึ้น หรือสร้างภาพที่มนุษย์ไม่สามารถสร้างได้ด้วยตนเองได้ การประมวลผลภาพดิจิทัลมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านวิทยาศาสตร์ การแพทย์ การศึกษา งานภาพยนตร์ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ วัตถุประสงค์หลักในการประมวลผลภาพมีอยู่ 2 ข้อคือ

3.1.1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ

3.1.1.1 การลบสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)

การลบสัญญาณรบกวนเป็นกระบวนการที่ใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อลดการสังเกตของสัญญาณรบกวนในภาพ เช่น การใช้ฟิลเตอร์การเคลื่อนเพื่อลบเสียงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพในสภาพแสงน้อยหรือการสั่นของกล้อง

3.1.1.2 การปรับความสว่างและความคมชัด (Brightness and Contrast Adjustment) การปรับความสว่างและความคมชัดเป็นกระบวนการที่ใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อปรับแต่งระดับความสว่างและความคมชัดในภาพ ทำให้ภาพดูสมดุและมีความเข้มข้นที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การปรับความสว่างของภาพ

3.1.1.3 การปรับแต่งสี (Color Adjustment) การปรับแต่งสีเป็นกระบวนการที่ใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อปรับแต่งระดับสีและความเข้มข้นของสีในภาพ เพื่อให้สีดูสมดุและตรงตามความเป็นจริง ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การปรับแต่งสีของภาพ

3.1.2 เพื่อเปลี่ยนแปลงภาพให้เหมาะสมต่อการประมวลผลภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

เพื่อเปลี่ยนแปลงภาพให้เหมาะสมต่อการประมวลผลภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถใช้เทคนิคการขยายความ (image rescaling) เพื่อปรับขนาดภาพให้เหมาะสมกับการประมวลผลที่ต้องการ เมื่อต้องการปรับขนาดภาพ มีวิธีการที่สามารถใช้ได้คือ

3.1.2.1 การลดขนาดภาพ (Down sampling) วิธีนี้ใช้ในกรณีที่ต้องการลดขนาดภาพให้เล็กลงเพื่อลดการใช้ทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจทำให้สูญเสียข้อมูลและความละเอียดของภาพเล็กน้อยไป วิธีนี้มักใช้ในการลดขนาดภาพในระหว่างกระบวนการประมวลผลภาพที่มีความซับซ้อนมาก เช่น การจำแนกวัตถุ (object detection) หรือ การทำการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) เมื่อขนาดภาพที่ใช้ในการฝึกสอนไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่เกินไป

3.1.2.2 การขยายขนาดภาพ (Up sampling) วิธีนี้ใช้ในกรณีที่ต้องการขยายขนาดภาพให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการประมวลผลที่ต้องการ เช่น การตรวจจับวัตถุ (object

detection) หรือการทำซูมภาพ (image zoom) ในกรณีนี้ การขยายขนาดภาพอาจใช้วิธีการอัลกอริทึมต่าง ๆ เช่น การใช้การซูมภาพแบบโดยรอบ (bilinear interpolation) หรือ การใช้การขยายภาพแบบต่อเติม (image inpainting)

โดยทั่วไปแล้วการประมวลผลภาพเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ทั้งสองข้อไปพร้อม ๆ กันนั้นทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะภาพที่ต้องการจากขบวนการทั้งสองมักจะขัดแย้งกัน โดยทั่วไปขบวนการการเปลี่ยนแปลงภาพให้เหมาะสมต่อการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ มักต้องการให้ภาพที่ได้หลังการประมวลผลมีขนาดเล็ก มีจำนวนข้อมูลน้อย ไม่ซับซ้อน เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ภาพส่วนใหญ่ที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นและตีความได้ดีมักเป็นภาพที่มีข้อมูลหลากหลาย มีขนาดใหญ่ เช่น มีสีต่าง ๆ มีลักษณะพื้นผิวที่เฉพาะและแตกต่างกันไปภายในภาพ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การลดและขยายขนาดของภาพ

ซึ่งก็คือสัญญาณ 3 มิติ เมื่อนับเวลาเป็นมิติที่ 3 หรืออาจจะครอบคลุมถึงสัญญาณ 3 มิติอื่น ๆ เช่น ภาพ 3 มิติทางการแพทย์ หรือ อาจจะมากกว่านั้น เช่น ภาพ 3 มิติ และ หลายชนิด (multimodal image)

3.2 การตรวจจับใบหน้า (Face detection camera)

ด้วย The Haar-like features

อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier[1] เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุในภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใบหน้า ซึ่ง

เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เนื่องจากความเร็วและประสิทธิภาพในการทำงาน มีหลักการทำงานเบื้องต้นดังนี้

Haar-like Features อัลกอริทึมนี้ใช้พีเจอร์ที่เรียกว่า Haar-like features ซึ่งเป็นการรวมกันของสีเหลี่ยมผืนผ้าสีขาวและสีดำในรูปแบบต่างๆ เพื่อจับลักษณะเฉพาะของวัตถุ เช่น ดวงตา จมูก ปาก เป็นต้น

Integral Image เพื่อเพิ่มความเร็วในการคำนวณค่าของ Haar-like features ทุกตำแหน่งในภาพ จะมีการสร้าง Integral Image ขึ้นมา ซึ่งเป็นภาพที่แต่ละพิกเซลมีค่าเท่ากับผลรวมของพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ด้านบนและด้านซ้ายของมัน ทำให้การคำนวณค่าของ Haar-like features สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

Adaboost เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบ ensemble ที่ใช้ในการรวม Haar-like features หลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน เพื่อสร้าง classifier ที่มีความแม่นยำสูง

Cascade of Classifiers เพื่อเพิ่มความเร็วในการตรวจจับ จะมีการสร้าง cascade ของ classifiers โดยแต่ละชั้นจะทำหน้าที่กรองภาพที่ไม่น่าสนใจออกไป ทำให้เหลือเพียงภาพที่มีโอกาสที่จะมีวัตถุที่ต้องการเท่านั้นที่จะถูกส่งต่อไปยังขั้นถัดไป

สมการ Harr like Feature สามารถพิจารณาได้จาก

$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

โดยที่ $h_j(x)$ คือ สมการ Haar like Feature

$f_j(x)$ คือ ฟังก์ชัน Haar like Feature

x คือ mask

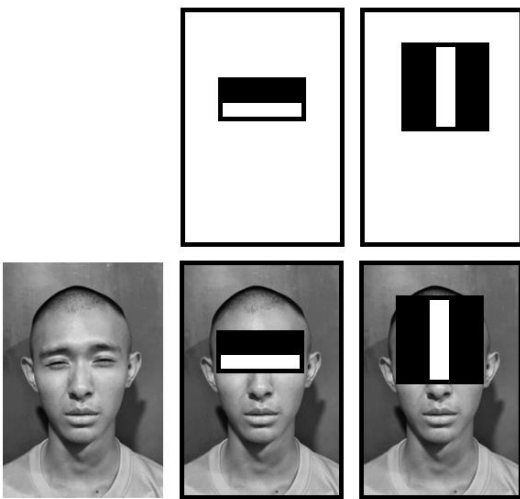
θ_j คือ ค่า threshold

p_j คือ เครื่องหมายบวกหรือลบ ไว้กำหนด

ทิศทาง

$f_j(x)$ คือ ค่าความแตกต่างของผลรวมพิกเซลในพื้นที่ขาว และดำของ Haar-like feature มีค่าตามสมการที่ 2

$$f(x) = \text{Sum}_{(Black)} - \text{Sum}_{(White)} \quad (2)$$



ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างของตัวจำแนกแบบแข็งแกร่งที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้ด้วย Adaboost

3.3 Neural Network

Neural Network [2,3] หรือ เครือข่ายประสาทเทียม คือ โมเดลคณิตศาสตร์ที่เลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์ โดยประกอบด้วยหน่วยประมวลผลจำนวนมากที่เชื่อมต่อกันเป็นชั้น ๆ เพื่อทำการเรียนรู้และทำนายผลลัพธ์จากข้อมูลป้อนเข้าหลักการทำงานเบื้องต้นมีดังนี้

ข้อมูลป้อนเข้า เป็นข้อมูลที่นำเข้าสู่เครือข่าย เช่น ภาพ เสียง หรือตัวเลข

ชั้นซ่อน เป็นชั้นที่ทำการประมวลผลข้อมูล โดยแต่ละหน่วยประมวลผลจะรับค่าจากหน่วยประมวลผลในชั้นก่อนหน้า ทำการคำนวณ และส่งผลลัพธ์ไปยังชั้นถัดไป

ชั้นเอาต์พุต เป็นชั้นสุดท้ายที่ให้ผลลัพธ์ของการประมวลผล เช่น คลาสที่ถูกทำนาย หรือค่าความน่าจะเป็น ขั้นตอนการตรวจจับและรู้จำความรู้สึบบนใบหน้าด้วย Neural Network

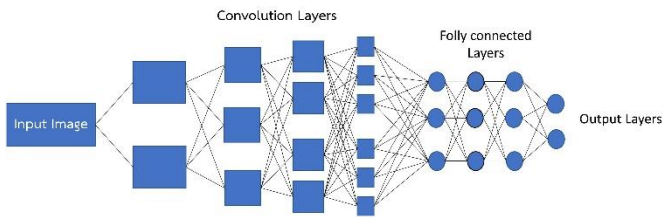
1) เตรียมข้อมูล รวบรวมภาพใบหน้า เก็บรวบรวมภาพใบหน้าจำนวนมากที่มีความหลากหลาย เช่น มุมกล้อง แสง สีผิว เพื่อให้โมเดลเรียนรู้ได้อย่างครอบคลุม ป้ายชื่อข้อมูล กำหนดป้ายชื่อให้กับแต่ละภาพว่าเป็นภาพของใครและปรับขนาดและจัดรูปแบบ ปรับขนาดภาพให้เป็นขนาดเดียวกัน และจัดรูปแบบข้อมูลให้เหมาะสมกับการป้อนเข้าสู่เครือข่ายประสาทเทียม

2) สร้างโมเดล เลือกสถาปัตยกรรม เลือกสถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมกับงาน เช่น Convolutional Neural Network (CNN) ซึ่งเหมาะสำหรับการประมวลผลภาพ และกำหนดพารามิเตอร์ กำหนดจำนวนชั้น จำนวนหน่วยประมวลผลในแต่ละชั้น ฟังก์ชันการกระตุ้น และอัลกอริทึมการเรียนรู้

3) ฝึกสอนโมเดล ป้อนข้อมูล ป้อนภาพใบหน้าและป้ายชื่อที่เตรียมไว้ให้กับโมเดล ปรับพารามิเตอร์ โมเดลจะทำการปรับพารามิเตอร์ภายในตัวเองเพื่อให้สามารถทำนายผลลัพธ์ได้ตรงกับป้ายชื่อที่กำหนดไว้ และวัดประสิทธิภาพ ประเมินประสิทธิภาพของโมเดลโดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบ

4) ทดสอบโมเดล ป้อนภาพใหม่ นำภาพใบหน้าที่ไม่เคยเห็นมาก่อนมาทดสอบ และประเมินผลตรวจสอบว่าโมเดลสามารถทำนายใบหน้าที่ต้องการได้หรือไม่

ดังแสดงสถาปัตยกรรมของ Convolutional Neural Network (CNN) สำหรับการตรวจจับใบหน้าที่ถูกตัดภาพที่ 5



ภาพที่ 5 สถาปัตยกรรมของ Convolutional Neural Network (CNN)

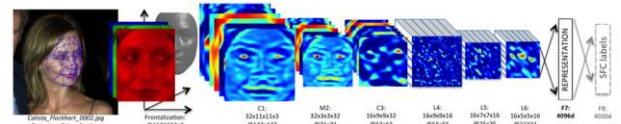
3.4 DeepFace

DeepFace [4,5] เป็นโมเดลการระบุใบหน้าที่ถูกพัฒนาโดย Facebook AI Research (FAIR) ในปี ค.ศ. 2014 เพื่อระบุและจดจำใบหน้าของบุคคลในภาพด้วยความแม่นยำใกล้เคียงกับมนุษย์ โมเดลนี้ได้รับความสนใจจากชุมชนวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และมีการประยุกต์ใช้ในหลายงาน เช่น การจดจำใบหน้าในระบบตรวจจับอายุหรือเพศ การตรวจจับใบหน้าในวิดีโอหรือภาพนิ่ง เป็นต้น

หลักการการทำงานของ DeepFace ใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบ Convolutional Neural Network (CNN) ในการสกัด feature หรือลักษณะเฉพาะของใบหน้า เช่น รูปทรงดวงตา จมูก ปาก และโครงสร้างใบหน้า โดย CNN จะทำการเรียนรู้จากฐานข้อมูลภาพใบหน้าจำนวนมากเพื่อสร้าง model ที่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างใบหน้าของบุคคลแต่ละคนได้อย่างแม่นยำ มีขั้นตอนการทำงานโดยสรุปดังนี้

- 1) การเตรียมข้อมูล รวบรวมภาพใบหน้าจำนวนมากที่มีป้ายกำกับ (label) ว่าเป็นภาพของใคร
- 2) สร้างโมเดล ออกแบบสถาปัตยกรรม CNN โดยกำหนดจำนวนชั้น ขนาดของ filter และฟังก์ชันการกระตุ้น
- 3) ฝึกสอนโมเดล ป้อนข้อมูลภาพใบหน้าเข้าสู่โมเดล และปรับพารามิเตอร์ของโมเดลให้สามารถทำนายได้ถูกต้อง
- 4) ทดสอบโมเดล นำภาพใบหน้าที่ไม่เคยเห็นมาก่อนมาทดสอบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพ

5) เปรียบเทียบใบหน้า เมื่อต้องการตรวจสอบว่าสองภาพเป็นภาพของคนเดียวกันหรือไม่ ระบบจะนำทั้งสองภาพไปผ่านโมเดล และเปรียบเทียบ feature ที่สกัดได้



ภาพที่ 6 แสดงถึงแผนผังคุณลักษณะที่สร้างขึ้นในแต่ละเลเยอร์ [5]

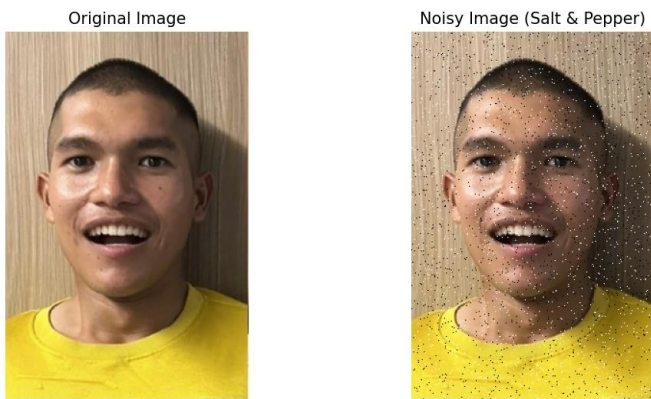
3.5 สัญญาณรบกวนแบบพริกไทย (Salt and Pepper Noise)

สัญญาณรบกวนแบบพริกไทย[6] เป็นรูปแบบหนึ่งของสัญญาณรบกวนในภาพดิจิทัลที่ทำให้เกิดจุดสีดำ (พริกไทย) และจุดสีขาว (เกลือ) กระจายอยู่ทั่วภาพ สัญญาณรบกวนชนิดนี้มักเกิดจากความผิดพลาดในการถ่ายภาพ เช่น เซอร์กล้องเสียหาย หรือการบีบอัดข้อมูลภาพที่มากเกินไป

โดยมีลักษณะเด่นของสัญญาณรบกวนแบบพริกไทยดังนี้ จุดสีดำและสีขาว จุดรบกวนจะมีค่าสีที่แตกต่างจากบริเวณโดยรอบอย่างชัดเจน โดยจุดสีดำจะมีค่าสีต่ำสุด และจุดสีขาวจะมีค่าสีสูงสุด การกระจายตัว จุดรบกวนจะกระจายตัวแบบสุ่มทั่วภาพ โดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และขนาดของจุดขนาดของจุดรบกวนอาจแตกต่างกันไป แต่โดยทั่วไปจะเป็นจุดที่มีขนาดเล็ก

ภาพที่มักพบสัญญาณรบกวนแบบพริกไทย อาทิเช่น ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล โดยเฉพาะภาพถ่ายที่ถ่ายในสภาพแสงน้อย หรือภาพที่ถูกบีบอัดข้อมูลภาพในระดับสูง และภาพที่ได้รับการประมวลผล เช่น ภาพที่ผ่านการกรอง หรือการปรับเปลี่ยนค่าสี ดังแสดงดังภาพที่ 7

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



ภาพที่ 7 แสดงภาพ Original image และภาพ Noisy Image

เหตุผลที่สัญญาณรบกวนแบบพริกไทยมีความสำคัญในงานวิจัยนี้ เนื่องจาก สัญญาณรบกวนแบบพริกไทยมักเกิดขึ้นในภาพดิจิทัลจากหลายสาเหตุ เช่น ความผิดพลาดของเซ็นเซอร์กล้อง การบีบอัดข้อมูลภาพ หรือสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบพริกไทยลงในภาพจึงเป็นการจำลองสภาวะที่ระบบอาจต้องเผชิญในโลกจริง การทดสอบระบบภายใต้สภาวะที่มีสัญญาณรบกวน ช่วยให้เราประเมินได้ว่าระบบมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากน้อยเพียงใด และสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำในสภาวะที่ไม่สมบูรณ์แบบหรือมีข้อมูลไม่สมบูรณ์ ผลการทดสอบกับภาพที่มีสัญญาณรบกวน ช่วยให้เราระบุจุดอ่อนของระบบ เช่น การลดลงของประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าและวิเคราะห์อารมณ์เมื่อมีสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้น และสุดท้ายคือการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่มีสัญญาณรบกวน ช่วยให้เราประเมินประสิทธิภาพของระบบภายใต้สภาวะต่างๆ และสามารถนำผลลัพธ์ไปเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ ได้

3.6 ลักษณะการแยกแยะอารมณ์จากใบหน้า

การแยกแยะอารมณ์จากใบหน้าของบุคคลสามารถทำได้โดยพิจารณาลักษณะเฉพาะที่แสดงออกในแต่ละอารมณ์

ลักษณะเหล่านี้สามารถสังเกตได้จากการเคลื่อนไหวของส่วนต่าง ๆ บนใบหน้า เช่น ดวงตา ปาก และหน้าผาก ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) อารมณ์ดีใจ (Happiness)

มุมปากยกขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เป็นรอยยิ้มที่มักจะทำให้แก้มยกขึ้นตามไปด้วย ดวงตาจะหริ่งเล็กน้อย มีรอยย่นเล็กๆ รอบดวงตา และหน้าผากผ่อนคลาย ไม่มีรอยย่น

2) อารมณ์เสียใจ (Sadness)

มุมปากตกลงหรือปากอาจเป็นเส้นตรง ริมฝีปากอาจสั้นเล็กน้อย ดวงตามักจะดูเศร้าหรือเหม่อลอย ไม่มีการเคลื่อนไหวมากนัก และหน้าผากอาจมีรอยย่นบริเวณกลางหน้าผาก แสดงถึงความกังวลหรือความทุกข์ใจ

3) อารมณ์โกรธ (Anger)

ปาก ริมฝีปากแน่นหรือเสยะ ปากอาจถูกดึงเข้าหากันอย่างแรง ดวงตาหริ่งและมองตรงไปข้างหน้า ขมวดคิ้วลงต่ำใกล้ตา และหน้าผากขมวด มีรอยย่นที่ชัดเจนบริเวณระหว่างคิ้ว

4) อารมณ์กลัว (Fear)

ปาก ปากอาจอ้ากว้างหรือริมฝีปากดึงกลับไปตามฟัน ดวงตาเบิกกว้างและคิ้วยกขึ้นสูง แสดงถึงความตื่นตระหนก และหน้าผากย่น คิ้วขมวดเข้าหากันหรือยกขึ้นสูง

5) อารมณ์ประหลาดใจ (Surprise)

ปากอาจอ้ากว้างในลักษณะที่ไม่ได้ตั้งใจ ดวงตาเบิกกว้าง คิ้วยกสูงขึ้นมา และหน้าผากยกสูง รอยย่นเกิดขึ้นตามแนวขวาง

6) อารมณ์ปกติ (Neutral)

ริมฝีปากอยู่ในตำแหน่งปกติ ไม่มีการยกหรือตกลง ดวงตาอยู่ในท่าทางปกติ ไม่มีการเบิกกว้างหรือหริ่ง และหน้าผากผ่อนคลาย ไม่มีรอยย่นหรือการขมวดคิ้ว

การแยกแยะอารมณ์เหล่านี้จากภาพใบหน้าจึงอาศัยการวิเคราะห์ลักษณะเด่นเหล่านี้เพื่อตรวจจับและจำแนกอารมณ์ได้อย่างแม่นยำ โดยแต่ละลักษณะจะถูกนำมาใช้ในการฝึก

โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อให้สามารถแยกแยะอารมณ์จากใบหน้าได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

3.7 งานวิจัยที่น่าสนใจเกี่ยวกับการตรวจจับอารมณ์บนใบหน้า

การตรวจจับอารมณ์บนใบหน้าเป็นหัวข้อที่น่าสนใจและมีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเทคโนโลยี Deep Learning ที่ก้าวหน้าขึ้น มีงานวิจัยที่น่าสนใจหลายผลงานอาทิเช่น Taigman, Y. และคณะ[7] ได้นำเสนอระบบ DeepFace ซึ่งมีความแม่นยำในการจดจำใบหน้าเทียบเท่ากับมนุษย์ โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบ Convolutional Neural Network (CNN) ที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ Deep Learning ในการแก้ปัญหาการจดจำใบหน้า และเป็นแรงบันดาลใจให้เกิดงานวิจัยอื่น ๆ อีกมากมาย Kim, M. และคณะ[8] ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ CNN ต่าง ๆ ในการตรวจจับอารมณ์บนใบหน้า โดยพบว่า CNN สามารถเรียนรู้ feature ที่ซับซ้อนของใบหน้าได้ดี และให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเทคนิคดั้งเดิม Mollahosseini, A. . และคณะ[9] ได้สร้างชุดข้อมูลขนาดใหญ่ที่ชื่อ AffectNet ซึ่งประกอบด้วยภาพใบหน้าที่มีป้ายกำกับอารมณ์หลากหลาย โดยชุดข้อมูลนี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการพัฒนาและประเมินผลของโมเดลการตรวจจับอารมณ์ AffectNet เป็นชุดข้อมูลมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง และถูกนำไปใช้ในการวิจัยและพัฒนาระบบตรวจจับอารมณ์จำนวนมาก Liu, M. และคณะ [10] ได้พัฒนาระบบตรวจจับอารมณ์แบบเรียลไทม์ โดยใช้ CNN ที่มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูง ทำให้สามารถทำงานได้บนอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด งานวิจัยนี้มีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์พกพา เช่น สมาร์ทโฟน หรือหุ่นยนต์ Zhao, G. และคณะ [11] เสนอวิธีการใหม่ในการสกัด feature ของใบหน้าโดยใช้ Local Binary Patterns Histograms (LBPH) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการวิเคราะห์ texture งานวิจัยนี้

แสดงให้เห็นว่า LBPH สามารถจับลักษณะเฉพาะของใบหน้าได้ดี และสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับอารมณ์

จากการศึกษาวรรณกรรมพบว่า เทคโนโลยี Deep Learning โดยเฉพาะ Convolutional Neural Network (CNN) ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่โดดเด่นในการวิเคราะห์ใบหน้าและตรวจจับอารมณ์ได้อย่างแม่นยำสูง ชุดข้อมูลอย่าง AffectNet เป็นตัวอย่างที่ดีในการแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของข้อมูลที่มีป้ายกำกับอย่างถูกต้องและหลากหลายในการพัฒนาโมเดล ด้วยการพัฒนาของฮาร์ดแวร์และเทคนิคการลดขนาดโมเดล ทำให้การตรวจจับอารมณ์แบบเรียลไทม์บนอุปกรณ์พกพาเป็นไปได้ และนอกจาก CNN แล้ว ยังมีเทคนิคอื่น ๆ เช่น Local Binary Patterns Histograms (LBPH) ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสกัด feature ของใบหน้าได้เช่นกัน

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบต้นแบบการตรวจสอบความพึงพอใจจากใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการตรวจจับใบหน้า โดยได้นำเอาความรู้ในหลายสาขาวิชาที่ได้ทำการศึกษาขณะที่เรียน ประกอบกับการค้นคว้าเอกสารวิจัย และงานวิชาการที่มีความเกี่ยวข้องมาทำการประยุกต์แนวคิดและออกแบบ โดยจะเริ่มกระบวนการแต่ละขั้นตอนดังนี้

4.1 รวบรวมชุดข้อมูลภาพ

จะเริ่มจากการรวบรวมชุดข้อมูลภาพใบหน้าที่มีป้ายกำกับอารมณ์ (labeled emotion face dataset) ซึ่งชุดข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการสอนแบบจำลองให้สามารถตรวจจับอารมณ์จากใบหน้าได้ ประกอบไปด้วยหน้า “ปกติ (Neutral)” “มีความสุข (Happy)” “ประหลาดใจ (Surprised)” “โกรธ (Angry)” “เศร้า (Sad)” และ “กลัว (Fear)” ดังแสดงภาพตัวอย่างดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัย

4.2 รับภาพ

เมื่อชุดข้อมูลพร้อมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการรับภาพใบหน้าที่ต้องตรวจสอบอารมณ์ ภาพที่รับมาได้อาจเป็นภาพจากกล้องวงจรปิด ภาพจากกล้องเว็บแคม หรือภาพจากวิดีโอ ดังแสดงภาพตัวอย่างดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัย

4.3 เตรียมภาพ

ก่อนที่จะนำไปให้แบบจำลองตรวจสอบอารมณ์ ภาพที่รับมาจะต้องผ่านกระบวนการเตรียมภาพ (image pre-

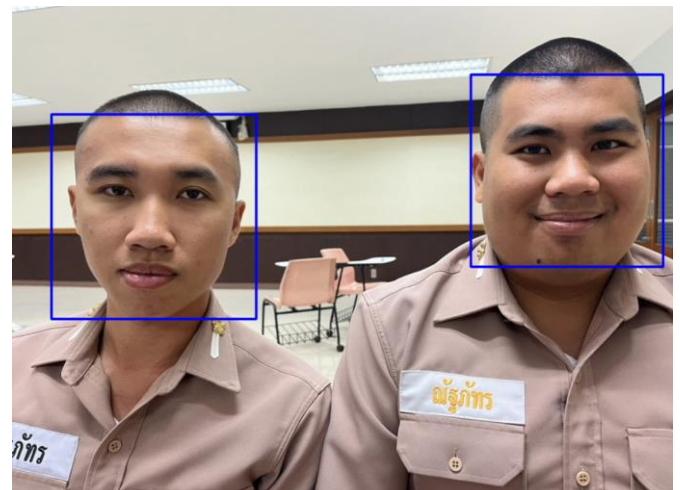
processing) เสียก่อนโดยกระบวนการเตรียมภาพนี้อาจรวมถึงการแปลงภาพให้เป็นขนาดมาตรฐานให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น การลบพื้นหลัง หรือการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ดังแสดงภาพตัวอย่างดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ภาพที่ทำปรับเป็นขนาดมาตรฐาน

4.4 ตรวจสอบใบหน้า

ขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบใบหน้า (face detection) โดยขั้นตอนนี้จะใช้อัลกอริทึมการตรวจจับใบหน้า (face detection algorithm) ในการระบุตำแหน่งใบหน้าในภาพ โดยอัลกอริทึมการตรวจจับใบหน้าที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ Haar Cascades, LBP (Local Binary Patterns), และ CNN (Convolutional Neural Network) ดังแสดงภาพตัวอย่างดังภาพที่ 11



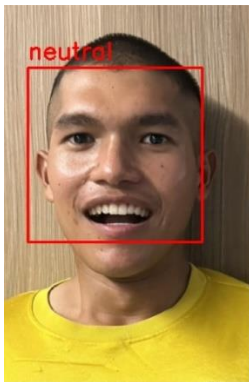
ภาพที่ 11 ภาพการตรวจจับใบหน้า

4.5 แยกใบหน้า

เมื่อตรวจพบใบหน้าแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือแยกใบหน้าออกจากภาพ โดยขั้นตอนนี้จะใช้อัลกอริทึมแยกวัตถุ (object segmentation algorithm) ในการแยกใบหน้าออกจากภาพ อัลกอริทึมแยกวัตถุที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ Thresholding, Connected Component Analysis, และ GrabCut

4.6 ตรวจจ็ับอารมณ์

ขั้นตอนสุดท้ายคือการตรวจจ็ับอารมณ์จากใบหน้า โดยขั้นตอนนี้จะใช้แบบจำลองตรวจจ็ับอารมณ์ (emotion recognition model) ในการระบุอารมณ์จากใบหน้า แบบจำลองตรวจจ็ับอารมณ์ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ Support Vector Machine (SVM), Random Forest, และ Deep Learning ดังแสดงภาพตัวอย่างดังภาพที่ 12

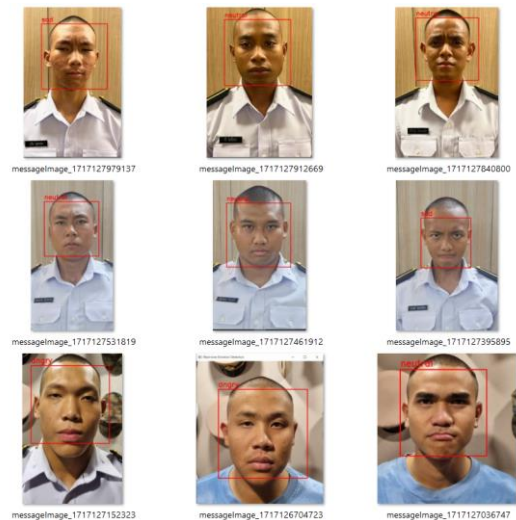


ภาพที่ 12 ภาพการตรวจจ็ับอารมณ์

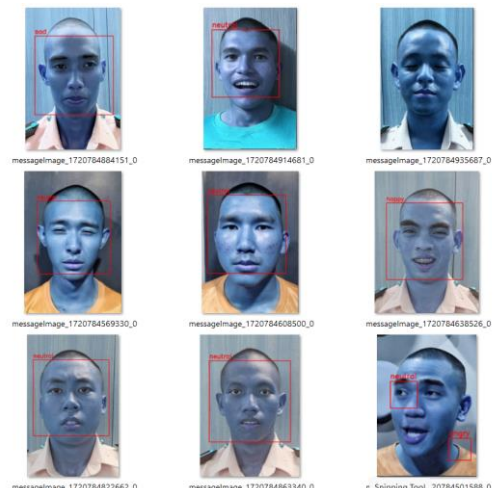
5. ผลการทดลอง

ระบบนี้สามารถตรวจจับใบหน้าในภาพหรือวิดีโอและวิเคราะห์อารมณ์ของบุคคลในภาพหรือวิดีโอ ระบบนี้ใช้ Haar Cascade Classifier สำหรับการตรวจจับใบหน้าและ

DeepFace สำหรับการวิเคราะห์อารมณ์ ผลการทดสอบบนชุดข้อมูลภาพใบหน้า 150 ภาพ แบ่งออกเป็น 6 อารมณ์ ดังนี้ ดีใจ 25 ภาพ เสียใจ 25 ภาพ โกรธ 25 ภาพ กลัว 25 ภาพ ประหลาดใจ 25 ภาพ และปกติ 25 ภาพ วัดประสิทธิภาพโดยใช้ค่าความถูกต้องในการตรวจจับใบหน้าและการวิเคราะห์อารมณ์ ผลการทดลองการตรวจจับใบหน้าภาพต้นฉบับ และภาพสัญญาณรบกวนพริกไทยที่ 0.2% ได้ดังแสดงดังตารางที่ 1 ผลการทดลอง และแสดงภาพตัวอย่างที่ใช้แบบปกติและแบบเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบพริกไทยดังภาพที่ 13 และ 14 ตามลำดับ



ภาพที่ 13 ภาพผลการทดลองแบบปกติ



การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ภาพที่ 14 ภาพผลการทดลองสัญญาณรบกวนพริกไทย

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

อารมณ์ (Emotions)	ความแม่นยำ (Accuracy)	
	ภาพปกติ	ภาพพริกไทย
ปกติ (Neutral)	80%	60%
ความสุข (Happiness)	70%	66.67%
เศร้า (Sad)	17.7%	10%
โกรธ (Anger)	5%	0%
กลัว (Fear)	0%	0%
ประหลาดใจ (Surprise)	9.1%	0%
ผลรวมเฉลี่ย	50.9%	24.5%

6. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองการตรวจจับใบหน้าภาพต้นฉบับ ระบบสามารถตรวจจับใบหน้าได้อย่างถูกต้อง 80% และภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบพริกไทย ระบบสามารถตรวจจับใบหน้าได้อย่างถูกต้อง 60% ประสิทธิภาพการวิเคราะห์อารมณ์ ภาพต้นฉบับ ระบบสามารถวิเคราะห์อารมณ์ได้อย่างถูกต้อง 50.9% และภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบพริกไทย ระบบสามารถวิเคราะห์อารมณ์ได้อย่างถูกต้อง 24.5% จากผลลัพธ์แสดงถึงระบบการวิเคราะห์อารมณ์

พบว่าระบบมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไปตามแต่ละกรณี ดังนี้

1) กรณีที่ระบบทำงานได้ดี

อารมณ์ที่ตรวจจับได้แม่นยำ ระบบมีความแม่นยำสูงในการตรวจจับอารมณ์ที่มีลักษณะเด่นชัด เช่น "ดีใจ" (70%) และ "ปกติ" (80%) โดยเฉพาะในภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการวิเคราะห์อารมณ์เหล่านี้ได้ดีเมื่อเงื่อนไขภาพเป็นปกติ

2) กรณีที่ระบบทำงานได้ไม่ดี

อารมณ์ที่ตรวจจับได้แม่นยำน้อย ในกรณีของอารมณ์ที่มีลักษณะใบหน้าใกล้เคียงกับอารมณ์อื่น หรือมีการแสดงออกที่ไม่เด่นชัด เช่น "เศร้า" (17.7%), "โกรธ" (5%), "กลัว" (0%) และ "ประหลาดใจ" (9.1%) ระบบมีความแม่นยำต่ำมาก โดยเฉพาะเมื่อมีสัญญาณรบกวนในภาพ ความแม่นยำของระบบจะลดลงจนแทบไม่สามารถวิเคราะห์ได้

ผลกระทบจากสัญญาณรบกวน ระบบยังมีข้อจำกัดอย่างมากในการทำงานกับภาพที่มีสัญญาณรบกวน เช่น สัญญาณรบกวนแบบพริกไทย ซึ่งส่งผลให้ความแม่นยำลดลงอย่างมาก โดยในกรณีของอารมณ์ "โกรธ", "กลัว" และ "ประหลาดใจ" ในภาพที่มีสัญญาณรบกวน ระบบไม่สามารถวิเคราะห์ได้เลย (ความแม่นยำ 0%)

แม้ว่าระบบจะสามารถวิเคราะห์อารมณ์บางอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระบบยังมีข้อจำกัดในหลายกรณี โดยเฉพาะในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนหรือการแสดงอารมณ์ที่ไม่ชัดเจน ความแม่นยำต่ำกว่า 10% ในหลายๆ กรณีเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ การพัฒนาระบบในอนาคตควรเน้นไปที่การปรับปรุงอัลกอริทึมเพื่อเพิ่มความทนทานต่อสัญญาณรบกวน และเพิ่มความแม่นยำในการแยกแยะอารมณ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ การใช้ชุดข้อมูลที่ใหญ่ขึ้นและหลากหลายมากขึ้นอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการวิเคราะห์อารมณ์ได้ในอนาคต

6.1 การอภิปรายผล

1) สัญญาณรบกวนเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบทั้งในการตรวจจับใบหน้าและการวิเคราะห์อารมณ์ นอกจากนี้ ปริมาณและความหลากหลายของชุดข้อมูลฝึกสอนก็มีผลต่อความแม่นยำของระบบเช่นกัน

2) Haar Cascade Classifier อาจไม่เหมาะสมกับการตรวจจับใบหน้าในสถานะที่ซับซ้อน เช่น ใบหน้าที่บดบังหรือใบหน้าที่มีการหมุน

3) DeepFace อาจไม่สามารถแยกแยะอารมณ์ที่ละเอียดอ่อนได้ เช่น ความแตกต่างระหว่างความประหลาดใจและความกลัว

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1) การใช้ชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความหลากหลายในด้านอารมณ์ ใบหน้า และสภาพแวดล้อม จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบได้

2) สามารถพัฒนาวิธีการ pre-processing ภาพ เพื่อลดสัญญาณรบกวนก่อนนำเข้าสู่ระบบ หรือใช้เทคนิค deep learning ที่มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวน เช่น convolutional neural network ที่มีการเพิ่ม layer สำหรับการลด noise

3) สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Haar Cascade Classifier และ DeepFace กับเทคนิคอื่น ๆ เช่น HOG, LBP หรือ CNN ที่มีสถาปัตยกรรมที่แตกต่างกัน

4) สามารถเพิ่มจำนวน class ของอารมณ์ หรือใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกที่ซับซ้อนมากขึ้น เพื่อให้ระบบสามารถแยกแยะอารมณ์ที่ใกล้เคียงกันได้

5) สามารถลดขนาดของโมเดล หรือใช้เทคนิค quantization เพื่อให้ระบบทำงานได้เร็วขึ้นและใช้ทรัพยากรน้อยลง

7. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการโครงการการตรวจสอบความพึงพอใจจากใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้ความกรุณาจากการได้รับคำแนะนำจาก น.ท.ยศ.ดร. พิศณุ คูมีชัย อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนชี้แนะแนวทางต่าง ๆ ในการดำเนินโครงการ อีกทั้งยังช่วยอนุเคราะห์อุปกรณ์การทำงานพร้อมทั้งสถานที่ในการจัดทำโครงการในครั้งนี้ และประสบการณ์ดี ๆ ที่ท่านได้แนะนำระหว่างการจัดทำโครงการ รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานและเอกสารประกอบโครงการ ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ถ่ายทอดความรู้ เทคนิควิธีประสบการณ์ ความห่วงใยและให้กำลังใจคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา คอยส่งเสริมให้กำลังใจเป็นที่ปรึกษาที่ดี ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Viola, P., & Jones, M. J. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1, 511-518.
- [2] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press, pp. 1-775.
- [3] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Advances in Neural Information Processing Systems, 25, 1097-1105.
- [4] Taigman, Y., Yang, M., Ranzato, M. A., & Wolf, L. (2014). DeepFace: Closing the gap to human-level performance in face verification. In

- Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1701-1708).
- [5] Sun, Q. (2020). Knock Knock, Who's There: Facial Recognition using CNN-Based Classifiers. Proceedings of the 2020 Central European Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, and Image Processing, 34-42.
- [6] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital image processing (4th ed.). Prentice Hall.
- [7] Taigman, Y., Yang, M., Ranzato, M. A., & Wolf, L. (2014). DeepFace: Closing the gap to human-level performance in face verification. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1701-1708).
- [8] Kim, M., Chulhee, P., & Oh, H. (2016). Facial expression recognition using convolutional neural networks. In 2016 13th international conference on ubiquitous computing and communication (IUCC) (pp. 309-314).
- [9] Mollahosseini, A., Hasani, B., and Mahoor, M. H. (2017). AffectNet: An annotated dataset for emotion recognition. arXiv preprint arXiv:1708.03999.
- [10] Liu, M., Li, S., Shan, S., & Chen, X. (2018). Real-time convolutional neural networks for emotion recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 970-979).
- [11] Zhao, G., Pietikäinen, M., & Hadid, A. (2007). Face recognition with local binary patterns: Applications to near-infrared images. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 29(10), 1825-1838.

ระบบรู้จำใบหน้าบุคคลแบบเรียลไทม์โดยใช้อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ LBPH

Real-Time Face Recognition System Using Algorithms Haar Cascade Classifier and LBPH

น.ร.สรอรรถ เสมาว์วัฒนกิจ¹ (NC. Sorraut Semawattanakij)¹

น.ร.จกกาย หล่อยตา² (NC. Jakguy Loida)²

น.ร.พงศกร อสีพงษ์³ (NC. Phongsakorn Asipong)³

น.ร.เปรม อุดมวงษ์⁴ (NC. Prem Udomwong)⁴

พล.ร.ต.สุวิทย์ พูลทัตฐาน⁵ (RAdm. Suwit Pooltasthan)⁵

น.ท.ผศ.พิศณุ คุมิชัย⁶ (Cdr. Asst. Prof. Pisanu Kumeechai, RTN.)⁶

¹นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, ssoraut124816@gmail.com

²นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, guy11869@hotmail.com

³นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, Phongsakorn087@gmail.com

⁴นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, Premudw@gmail.com

⁵อาจารย์ที่ปรึกษา กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270

⁶อาจารย์ที่ปรึกษา กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, pisanu41984198@hotmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบตรวจสอบบุคคลแบบเรียลไทม์โดยใช้อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ LBPH ระบบนี้ใช้กล้องวิดีโอเพื่อจับภาพบุคคล และอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier จะถูกใช้เพื่อตรวจจับใบหน้าในภาพ จากนั้นอัลกอริทึม LBPH จะถูกใช้เพื่อจดจำใบหน้าที่ตรวจพบ โดยจะเปรียบเทียบกับใบหน้าในฐานข้อมูลเพื่อระบุตัวตนของใบหน้านั้น วิธีการจะมีขั้นตอนดังนี้ เก็บรวบรวมภาพถ่ายใบหน้าของบุคคลจำนวน 30 คน ฝึกโมเดล LBPH โดยใช้ภาพถ่ายใบหน้าทั้งหมดไว้ พัฒนาระบบโดยใช้อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ LBPH โดยใช้การปรับแสง (Histogram Equalization) ในส่วนของระดับความสว่างและความมืดของภาพเพื่อเพิ่มความคมชัด การลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) และปรับค่าของ hyperparameters ของ Haar Cascade Classifier และ LBPH และทดสอบประสิทธิภาพของระบบด้วยค่าความถูกต้อง จากการทดสอบพบว่า ผลลัพธ์สามารถรู้จำใบหน้ามีความถูกต้อง 70.50% และภายหลังปรับปรุงค่ามีผลลัพธ์สามารถรู้จำใบหน้ามีความถูกต้อง 77.20% ข้อเสนอจากงานวิจัยนี้พบว่าระบบตรวจจับและรู้จำใบหน้าบุคคลแบบเรียลไทม์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้จริงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานที่ต่าง ๆ เช่น ห้างสรรพสินค้า สถานีรถไฟฯ สนามบิน และสถานที่ราชการที่สำคัญได้

คำสำคัญ: : Haar Cascade Classifier, LBPH, ตรวจสอบบุคคล, เรียลไทม์, พัฒนาระบบ

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ระบบรักษาความปลอดภัยมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อสถานที่ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นบ้าน ร้านค้า หรือสถานที่สาธารณะ การใช้ระบบตรวจสอบใบหน้าบุคคลด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นหนึ่งในวิธีการรักษาความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดบางประการของระบบตรวจสอบใบหน้าบุคคลด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลที่มีอยู่ปัจจุบัน ปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ ความแม่นยำ ระบบตรวจสอบใบหน้าบุคคลบางระบบอาจมีประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าได้ไม่แม่นยำเพียงพอ โดยเฉพาะในกรณีที่มีแสงสว่างน้อย มุมกล้องที่ผิด หรือใบหน้าที่ถูกบดบัง ความเร็ว การประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อตรวจจับใบหน้าบุคคลอาจใช้เวลานาน ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการความรวดเร็ว และความเป็นส่วนตัว การเก็บข้อมูลใบหน้าบุคคลอาจก่อให้เกิดความกังวลด้านความเป็นส่วนตัว

การลักลอบเข้ามาในหน่วยงานทางทหาร ถือเป็นปัญหาร้ายแรงที่อาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงปลอดภัยของประเทศ โดยมีสาเหตุหลายประการ ดังนี้

- 1) ความเสี่ยงต่อความมั่นคง บุคคลที่ลักลอบเข้ามาในหน่วยงานทางทหารอาจมีเจตนาไม่ดี เช่น วางแผนก่อการร้าย ขโมยอาวุธ หรือทำลายสถานที่สำคัญ
- 2) ความเสี่ยงต่อบุคคลบุคคลที่ลักลอบเข้ามาในหน่วยงานทางทหารอาจเป็นอันตรายต่อบุคคลในหน่วยงาน
- 3) ความเสียหายต่อทรัพย์สิน บุคคลที่ลักลอบเข้ามาในหน่วยงานทางทหารอาจขโมยหรือทำลายทรัพย์สินของทางราชการ
- 4) ปัญหาภาพลักษณ์ การลักลอบเข้ามาในหน่วยงานทางทหารอาจส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของกองทัพ

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อสร้างระบบตรวจสอบบุคคล ระบบนี้จะทำการตรวจสอบว่าบุคคลที่ปรากฏในภาพหรือวิดีโอคือใคร โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลใบหน้าที่เก็บไว้
- 2.2 เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบที่สามารถตรวจสอบใบหน้าบุคคลได้
- 2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของซอฟต์แวร์ต้นแบบที่สามารถตรวจสอบใบหน้าบุคคลได้

3. แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier

Haar Cascade Classifier [1,2] อัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจหาลักษณะเฉพาะของใบหน้า เช่น ตา จมูก ปาก โดยการสร้างชุดของพีเจอร์ที่เรียกว่า Haar-like features และใช้เทคนิคของ AdaBoost เพื่อสร้าง classifier มีขั้นตอนหลักดังนี้

1) สร้าง Haar-like Features

ขั้นตอนหลักของ Haar Cascade Classifier Viola และ Jones [1] ได้เสนอชุดของพีเจอร์ที่ง่ายต่อการคำนวณ ซึ่งประกอบด้วยสี่เหลี่ยมผืนผ้าสีขาวและดำที่เรียงกันในรูปแบบต่างๆ พีเจอร์เหล่านี้จะถูกใช้เพื่อจับลักษณะเฉพาะของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ เช่น ตา จมูก ปาก Lienhart และ Maydt [2] ได้ขยายชุดของพีเจอร์ให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยเพิ่มรูปแบบของพีเจอร์ที่ซับซ้อนขึ้น เพื่อให้สามารถจับลักษณะเฉพาะของวัตถุได้ละเอียดมากขึ้น

2) สร้าง Classifier

ใช้เทคนิค AdaBoost ในการสร้าง classifier โดยเริ่มจากการสร้าง classifier ที่อ่อน (weak classifier) หลายๆ ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะทำการตัดสินใจว่า pixel ในภาพเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุหรือไม่ การรวม Classifier ที่อ่อนเหล่านี้จะถูกนำมารวมกันเป็น classifier ที่แข็งแกร่ง (strong classifier)

โดยให้ความสำคัญกับ classifier ที่อ่อนที่มีความแม่นยำสูงกว่า

3) สร้าง Cascade of Classifiers

Classifier ที่แข็งแกร่งจะถูกเรียงลำดับตามความซับซ้อนและความแม่นยำ โดย classifier ที่ง่ายและรวดเร็วจะถูกนำมาใช้ก่อน ถ้าภาพผ่านการตรวจสอบของ classifier ตัวแรกแล้ว ก็จะถูกส่งต่อไปยัง classifier ตัวถัดไป การใช้ cascade of classifiers ช่วยลดจำนวนการคำนวณที่ไม่จำเป็น เนื่องจากภาพส่วนใหญ่จะถูกปฏิเสธออกไปตั้งแต่ขั้นตอนแรก

4) การฝึกโมเดล

Positive and Negative Samples ใช้ภาพที่มีวัตถุที่ต้องการตรวจจับ (positive samples) และภาพที่ไม่มีวัตถุ (negative samples) เพื่อฝึกโมเดลปรับพารามิเตอร์ของ classifier เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

สมการ Harr like Feature สามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ (1)

$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

โดยที่ $h_j(x)$ คือ สมการ Haar like Feature

$f_j(x)$ คือ ฟังก์ชัน Haar like Feature

x คือ mask

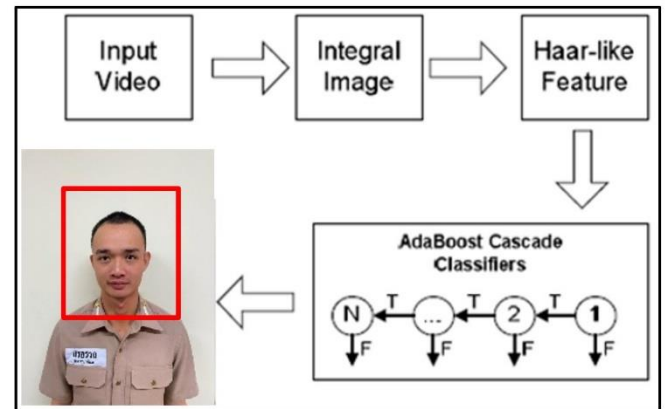
θ_j คือ ค่า threshold

p_j คือ เครื่องหมายบวกหรือลบ ไว้กำหนดทิศทาง

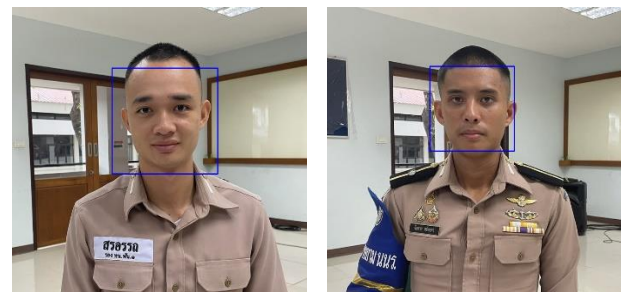
$f_j(x)$ คือ ค่าความแตกต่างของผลรวมพิกเซลในพื้นที่ขาว และดำของ Haar-like feature มีค่าตามสมการที่ (2)

$$f(x) = \text{Sum}_{(\text{Black})} - \text{Sum}_{(\text{White})} \quad (2)$$

โดยที่ x คือ ภาพตัวอย่าง และ Sum คือ ผลรวมของภาพอินทิกรัลในบริเวณพื้นที่สีขาวและดำของ x ดังแสดงดังภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 แบบแผนการตรวจจับวัตถุของ Viola และ Jones



ภาพที่ 2 การตรวจจับใบหน้า ด้วยอัลกอริทึม

HaarCascade

3.2 Local Binary Patterns Histograms (LBPH)

LBPH (Local Binary Patterns Histograms) [3] เป็นเทคนิคที่ใช้ในการสกัดลักษณะเฉพาะของภาพ (feature extraction) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการจดจำใบหน้า (face recognition) วิธีการนี้มีประสิทธิภาพสูงและง่ายต่อการนำไปใช้งาน ทำให้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

ขั้นตอนการทำงานของ LBPH ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) แบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อย (Cells) ภาพใบหน้าจะถูกแบ่งออกเป็นเซลล์ย่อย ๆ ขนาดเล็กจำนวนมาก โดยแต่ละเซลล์จะแทนพื้นที่เล็ก ๆ บนใบหน้า

2) คำนวณ Local Binary Patterns (LBP) สำหรับแต่ละพิกเซลในเซลล์ย่อย จะนำค่าความเข้มของพิกเซลนั้นมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มของพิกเซลเพื่อนบ้านรอบ ๆ หากค่าความเข้มของพิกเซลเพื่อนบ้านมากกว่าพิกเซลกลางจะให้ค่าเป็น 1 มิฉะนั้นให้ค่าเป็น 0 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่า binary number ซึ่งแทนลักษณะเฉพาะของพื้นที่บริเวณนั้น

การคำนวณ Local Binary Patterns (LBP) [4,5] สำหรับพิกเซลแต่ละตัว P ในภาพ I มีค่าความเข้ม $I(P)$ สามารถเปรียบเทียบค่าความเข้มของพิกเซลรอบข้าง (neighbors) โดยใช้สมการที่ (3)

$$LBP(P) = \sum_{n=0}^{N-1} s(I_n - I(P)) \cdot 2^n \quad (3)$$

โดย

I_n คือ ค่าความเข้มของพิกเซลรอบข้างที่ตำแหน่ง

n

$s(x)$ เป็นฟังก์ชันขั้น (step function) ที่กำหนดให้

$$s(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

3) สร้างฮิสโตแกรม สำหรับแต่ละเซลล์ย่อย จะสร้างฮิสโตแกรมของค่า LBP ที่ได้จากทุกพิกเซลในเซลล์นั้น ฮิสโตแกรมนี้จะแสดงถึงการกระจายของค่า LBP ต่าง ๆ ในเซลล์นั้น ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะพื้นผิว (texture) ของบริเวณนั้น หลังจากทีคำนวณค่า LBP สำหรับทุกพิกเซลในภาพแล้ว จะสร้างฮิสโตแกรมของค่าที่ได้ [4,5] ตามสมการที่ (4)

$$H(k) = \sum_p \vartheta(LBP(P) - k) \quad (4)$$

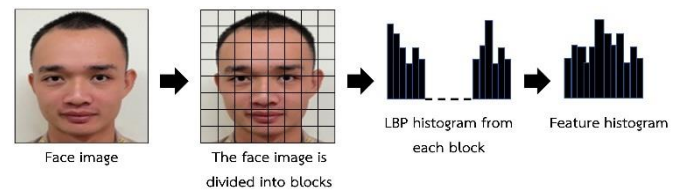
โดย

$H(k)$ คือ ความถี่ของค่า LBP ที่เท่ากับ k

$\vartheta(x)$ คือ ฟังก์ชันเดลตาของ Kronecker

$$\vartheta(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x = 0 \\ 0 & \text{if } x \neq 0 \end{cases}$$

4) รวมฮิสโตแกรม ฮิสโตแกรมของทุกเซลล์ย่อยจะถูกนำมารวมกันเป็นเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (feature vector) ของภาพใบหน้าทั้งหมด เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะนี้จะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพใบหน้าอื่น ๆ เพื่อหาความคล้ายคลึงกัน ดังแสดงขั้นตอนการอธิบายใบหน้าด้วย Local Binary Patterns (LBP) ดังภาพที่ (3)



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการอธิบายใบหน้าด้วย Local Binary Patterns (LBP)

ข้อดีของ LBPH มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของแสง เนื่องจาก LBPH พิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของพิกเซล จึงไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของแสง มีการคำนวณที่รวดเร็ว อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพสูง ทำให้สามารถประมวลผลภาพได้จำนวนมากในเวลาอันสั้น และความง่ายในการนำไปใช้งาน สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายและมีไลบรารีต่าง ๆ รองรับ

ข้อเสียของ LBPH แม้ว่า LBPH จะเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมและมีประสิทธิภาพในการจดจำใบหน้า แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ ดังนี้ ความไวต่อการหมุน LBPH อาจมีความไวต่อการหมุนของใบหน้า หากใบหน้าในภาพทดสอบถูกหมุนไปจากภาพที่ใช้ในการฝึกสอน ระบบอาจจดจำ

ใบหน้าได้ไม่ถูกต้อง ไม่สามารถจับรายละเอียดปลีกย่อยได้ดี LBPH เน้นการจับลักษณะพื้นผิว (texture) ของภาพมากกว่ารายละเอียดปลีกย่อย เช่น รูปร่างของดวงตา จมูก หรือปาก ทำให้ไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูงในการระบุรายละเอียดเล็ก ๆ น้อย ๆ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของแสง แม้ว่า LBPH จะทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงได้ดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ แต่การเปลี่ยนแปลงของแสงที่รุนแรงก็ยังสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบได้ และไม่สามารถจับการแสดงออกทางสีหน้าได้ดี LBPH อาจไม่สามารถจับการเปลี่ยนแปลงของการแสดงออกทางสีหน้าได้อย่างละเอียด เนื่องจากเน้นการจับลักษณะพื้นผิวมากกว่า

3.3 งานวิจัยที่น่าสนใจเกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุ

Turk, M., และ Pentland, A. [6] เสนอวิธีการจดจำใบหน้าโดยใช้อัลกอริทึม Eigenfaces ซึ่ง Eigenfaces เป็นชุดของเวกเตอร์ภาพที่แสดงถึงรูปแบบใบหน้าทั่วไป วิธีการนี้ใช้ภาพใบหน้าหลายภาพเพื่อคำนวณ Eigenfaces จากนั้น Eigenfaces จะใช้เพื่อแปลงภาพใบหน้าใหม่ให้เป็นเวกเตอร์ เวกเตอร์นี้จะถูกเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ของใบหน้าที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล ใบหน้าที่ตรงกันมากที่สุดจะถูกระบุว่าเป็นใบหน้าที่ตรงกัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการ Eigenfaces สามารถจดจำใบหน้าได้อย่างแม่นยำแม้ในสภาพแสงสว่างและมุมกล้องที่แตกต่างกัน

Martinez, A. M., และ Ben-Youssef, A. [7] เสนอวิธีการติดตามและจดจำใบหน้าในวิดีโอโดยใช้อัลกอริทึม Hidden Markov Model (HMM) HMM เป็นโมเดลทางสถิติที่ใช้เพื่อจำลองลำดับเหตุการณ์ วิธีการนี้ใช้ HMM สองตัว ตัวแรกสำหรับติดตามใบหน้าในวิดีโอ และตัวที่สองสำหรับจดจำใบหน้าที่ติดตามได้ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการ HMM สามารถติดตามและจดจำใบหน้าได้อย่างแม่นยำแม้ในวิดีโอที่มีแสงสว่างน้อยหรือมีการเคลื่อนไหวของกล้อง

Lu, J., และ Tan, Y. P. [8] เสนอวิธีการจดจำใบหน้าโดยใช้ Kernel-based Discriminant Analysis (KDA) KDA เป็นอัลกอริทึมการจำแนกประเภทที่ใช้ฟังก์ชันเคอร์เนลเพื่อแยกข้อมูล วิธีการนี้แปลงข้อมูลใบหน้าให้เป็นมิติที่สูงขึ้นโดยใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล จากนั้น KDA จะใช้ข้อมูลที่แปลงแล้วเพื่อจำแนกใบหน้าใหม่ให้เป็นหนึ่งในคลาสที่มีอยู่ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการ KDA สามารถจดจำใบหน้าได้อย่างแม่นยำกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม เช่น Linear Discriminant Analysis (LDA)

Shan, C., และ Qi, X. [9] เสนอวิธีการตรวจจับใบหน้าโดยใช้ Local Binary Patterns (LBP) LBP เป็นเทคนิคการดึงคุณลักษณะที่ใช้เพื่ออธิบายพื้นผิวของภาพ วิธีการนี้แบ่งภาพออกเป็นบล็อกย่อย จากนั้นคำนวณ LBP สำหรับแต่ละบล็อกย่อย LBP จะถูกนำมารวมกันเพื่อสร้างเวกเตอร์คุณลักษณะสำหรับภาพ โมเดลการตรวจจับใบหน้าจะถูกเรียนรู้จากชุดข้อมูลภาพที่มีใบหน้าและไม่มีใบหน้า โมเดลนี้ใช้เวกเตอร์คุณลักษณะเพื่อจำแนกภาพใหม่ว่าเป็นภาพที่มีใบหน้าหรือไม่ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการ LBP สามารถตรวจจับใบหน้าได้อย่างแม่นยำกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม เช่น Haar Cascade

Wang, J., และ Zhang, X. [10] เสนอวิธีการจดจำใบหน้าโดยใช้ Compressed Fisher Vectors (CFV) CFV เป็นเทคนิคการดึงคุณลักษณะที่ใช้เพื่ออธิบายใบหน้า วิธีการนี้แปลงภาพใบหน้าให้เป็นเวกเตอร์โดยใช้ Fisher Vectors จากนั้น Fisher Vectors จะถูกบีบอัดเพื่อลดขนาด โมเดลการจดจำใบหน้าจะถูกเรียนรู้จากชุดข้อมูลภาพที่มีใบหน้าและไม่มีใบหน้า โมเดลนี้ใช้เวกเตอร์ CFV บีบอัดเพื่อจำแนกใบหน้าใหม่ว่าเป็นใคร งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการ CFV สามารถจดจำใบหน้าได้อย่างแม่นยำกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม เช่น Eigenfaces และ Sparse Fisher Vectors

Parkhi, S., และ Kandola, A. [11] เสนอวิธีการวิเคราะห์ภาพใบหน้าโดยใช้ Facenet ซึ่ง Facenet เป็นระบบ deep

learning ที่ออกแบบมาเพื่อเรียนรู้คุณลักษณะใบหน้าจากภาพจำนวนมาก Facenet เรียนรู้โดยใช้ Siamese network architecture Siamese network เป็นโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบภาพสองภาพ Facenet สามารถใช้สำหรับงานต่าง ๆ เช่น การจดจำใบหน้า, การตรวจจับใบหน้า, และการตรวจสอบอารมณ์ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า Facenet สามารถทำผลงานได้ดีกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมสำหรับงานการวิเคราะห์ภาพใบหน้า

Schroff, F., Kalenichenko, D., และ Philbin, J. [12] เสนอ FaceNet เครือข่ายประสาทเทียมแบบ Convolutional สำหรับการจดจำใบหน้า FaceNet เรียนรู้โดยใช้ convolutional neural network (CNN) CNN เป็นประเภทหนึ่งของ deep learning network ที่ใช้สำหรับการจัดการกับข้อมูลภาพ FaceNet เรียนรู้จากภาพใบหน้าจำนวนมาก โดยใช้ Siamese network architecture Siamese network เปรียบเทียบภาพสองภาพเพื่อเรียนรู้ความเหมือนหรือความต่าง FaceNet สามารถจดจำใบหน้าได้อย่างแม่นยำ และทำงานได้ดีกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม เช่น Eigenfaces และ Fisherfaces

Tahir, A. B., และ Shafique, M. [13] งานวิจัยนี้สำรวจเทคนิคการจดจำใบหน้าที่หลากหลาย โดยนำเสนอภาพรวมเชิงลึกตั้งแต่ขั้นตอนการดึงคุณลักษณะจนถึงการจำแนกประเภท โดยแบ่งเทคนิคการจดจำใบหน้าออกเป็นสองประเภทหลักคือ เทคนิคแบบดั้งเดิม เทคนิคเหล่านี้ใช้การดึงคุณลักษณะด้วยมือ ตัวอย่างเช่น Eigenfaces, Fisherfaces และ Local Binary Patterns (LBP) เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก เทคนิคเหล่านี้ใช้ deep learning networks ตัวอย่างเช่น Convolutional Neural Networks (CNNs) และ Recurrent Neural Networks (RNNs) งานวิจัยนี้เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเทคนิคทั้งสองประเภท และแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมักมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคนิคแบบดั้งเดิม งานวิจัยนี้ยังกล่าวถึงประเด็น

สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการจดจำใบหน้า เช่น ความท้าทายในการเปลี่ยนแปลงแสง, ท่าทาง, และอายุ

จากการศึกษาเอกสารวิจัยพบว่าการพัฒนาวิวัฒนาการของเทคนิคการจดจำใบหน้าแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1) เทคนิคดั้งเดิม เริ่มต้นจากการใช้ Eigenfaces ซึ่งเป็นวิธีการที่เรียบง่ายแต่มีประสิทธิภาพในการจับลักษณะทั่วไปของใบหน้า ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคอื่นๆ เช่น Fisherfaces, LBP, และ KDA เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและแก้ไขข้อจำกัดของ Eigenfaces

2) เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ในช่วงหลัง ๆ มีการนำเทคนิค Deep Learning มาประยุกต์ใช้ในการจดจำใบหน้า โดยเฉพาะ Convolutional Neural Networks (CNNs) ซึ่งสามารถเรียนรู้ลักษณะเฉพาะของใบหน้าได้อย่างซับซ้อนและแม่นยำกว่าเทคนิคดั้งเดิม

แม้ว่า Deep Learning โดยเฉพาะ CNNs จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าในการจดจำใบหน้า แต่ก็ยังมีเหตุผลหลายประการที่ทำให้การพัฒนาเทคนิคดั้งเดิมยังคงมีความน่าสนใจและมีความเกี่ยวข้องในบางสถานการณ์ เช่น ทรัพยากรที่จำกัด และความต้องการเวลาจริงเพราะระบบฝังตัวมักต้องการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ ซึ่งเทคนิคดั้งเดิมอาจเหมาะสมกว่าเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยกว่า ซึ่ง LBPH ที่เป็นเทคนิคดั้งเดิมจะมีคำนวณเร็ว ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของแสง และง่ายต่อการใช้งานมีไลบรารีต่าง ๆ รองรับ ทำให้นำไปใช้งานได้ง่าย จึงได้เลือก LBPH มาใช้ในงานวิจัยนี้

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอนประกอบไปด้วย 1) เก็บรวบรวมภาพถ่ายใบหน้าของบุคคล 2) ฝึกโมเดล LBPH โดยใช้ภาพถ่ายใบหน้าที่รวบรวมไว้ 3) พัฒนาระบบนับจำนวนบุคคลโดยใช้อัลกอริทึม Haar

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

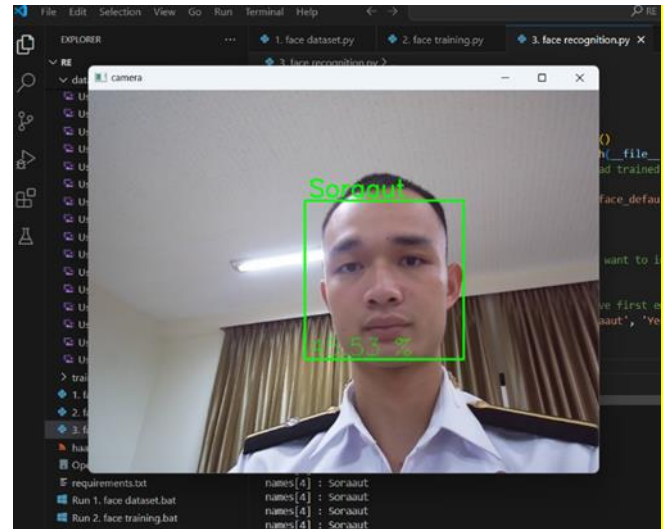
Cascade Classifier และ LBPH และ 4) ทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ภาพวิดีโอที่มีบุคคลจำนวนต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพบุคคลในการทดสอบจำนวน 30 คนเก็บภาพในลักษณะหน้าตรง ภายในอาคารมีความสว่างประมาณ 100 ถึง 500 ลักซ์ ภาพที่เก็บมีขนาด 120 คูณ 120 พิกเซล วัดประสิทธิภาพโดยใช้ค่าความถูกต้อง Accuracy (%) โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง มีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

4.1 เก็บรวบรวมภาพถ่ายใบหน้าของบุคคล เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายใบหน้าของบุคคลเพื่อนำมาใช้ในการฝึกและทดสอบโมเดล LBPH จำนวน 30 คน ดังแสดงดังภาพที่ 4

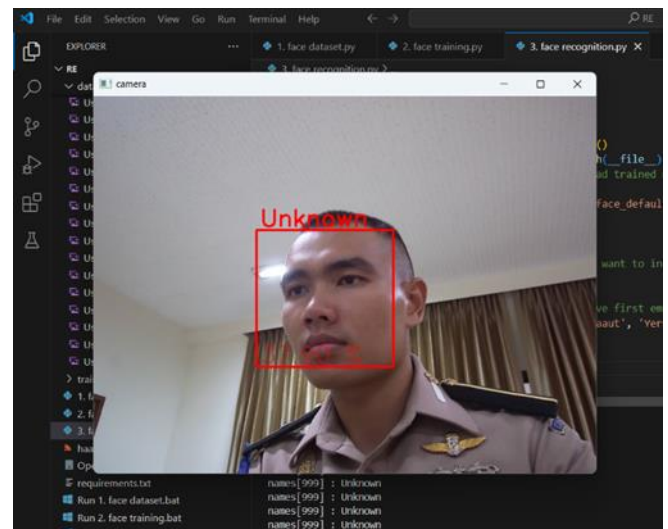


ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพที่บันทึกใน dataset

4.2 ฝึกโมเดล LBPH โดยใช้ภาพถ่ายใบหน้าทีรวบรวมไว้ การใช้ภาพถ่ายใบหน้าทีเก็บรวบรวมมาในการฝึกโมเดล LBPH เพื่อสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลในฐานข้อมูล ดังแสดงผลลัพธ์ที่ระบุได้ถูกต้องดังภาพที่ 5 และผลลัพธ์ที่ไม่สามารถระบุได้ดังภาพที่ 6 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์ที่ระบุได้ถูกต้อง



ภาพที่ 6 ผลลัพธ์ที่ไม่สามารถระบุได้

ภาพที่ 5 มีตัวเลขเปอร์เซ็นต์ความมั่นใจ (confidence) หรือค่าความเหมือนของใบหน้าทีได้จากการเปรียบเทียบค่า eigenfaces ใบหน้าทีอ่านจากเฟรมกล้องกับใบหน้าทีได้จากขั้นตอนการ raining ซึ่งหากไม่มีความเหมือนหรือความเหมือนน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0 จะแสดงผลเป็นไม่ทราบหรือ Unknown ออกมาดังแสดงดังภาพที่ 6

4.3 พัฒนาระบบนับจำนวนบุคคลโดยใช้อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ LBPH โดยการพัฒนาระบบที่รวมอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ LBPH เพื่อทำการตรวจจับและรู้จำใบหน้าของบุคคลในภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์ Haar Cascade Classifier จะใช้สำหรับการตรวจจับใบหน้าในภาพ LBPH จะใช้ในการรู้จำใบหน้าและเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อระบุตัวตน

4.3.1 ปรับปรุงคุณภาพของภาพ โดยการใช้การปรับแสง (Histogram Equalization) ปรับในส่วนของระดับความสว่างและความมืดของภาพเพื่อเพิ่มความคมชัด การลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) ใช้เทคนิคการกรอง เช่น Gaussian Blur เพื่อลดสัญญาณรบกวนในภาพ ดังแสดงดังภาพที่ (7)

```
# ฟังก์ชันปรับปรุงคุณภาพของภาพ
def preprocess_image(img):
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    gray = cv2.equalizeHist(gray)
    gray = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
    return gray
```

ภาพที่ 7 ตัวอย่างโปรแกรมปรับปรุงคุณภาพของภาพ

4.3.2 ปรับค่าของ hyperparameters โดยอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ LBPH ได้ปรับค่าของ hyperparameters เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยปรับปรุงความแม่นยำในการตรวจจับใบหน้า โดยปรับ Scale Factor (scaleFactor) ที่ 1.1 เพราะเป็นค่าที่เล็กพอที่จะรักษารายละเอียดและความแม่นยำในการตรวจจับใบหน้าได้ดี Min Neighbors (minNeighbors) ที่ 5 ช่วยลด false positives โดยกำหนดให้มีการตรวจจับหลายครั้งในบริเวณเดียวกัน Min Size (minSize) ที่ (30, 30) เพราะเป็นขนาดเล็กสุดของใบหน้าที่ต้องการตรวจจับในภาพ ซึ่งช่วยในการ

ตรวจจับใบหน้าที่เล็กที่สุดที่สนใจ Max Size (maxSize) ปรับตามขนาดสูงสุดของใบหน้าคาดว่าจะพบในภาพ แต่ไม่เกิน 300x300 พิกเซล ดังแสดงตัวอย่างการปรับค่าดังภาพที่ (8)

```
def detect_faces(img, scaleFactor=1.1, minNeighbors=5, minSize=(30, 30), maxSize=None):
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    faces = face_cascade.detectMultiScale(
        gray,
        scaleFactor=scaleFactor,
        minNeighbors=minNeighbors,
        minSize=minSize,
        maxSize=maxSize
    )
    for (x, y, w, h) in faces:
        cv2.rectangle(img, (x, y), (x+w, y+h), (255, 0, 0), 2)
    return img
```

ภาพที่ 8 ปรับค่า hyperparameters

4.4 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบ การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ภาพวิดีโอที่มีบุคคลจำนวนต่าง ๆ เพื่อวัดประสิทธิภาพและความถูกต้องในการรู้จำใบหน้า วัดค่าความถูกต้อง (accuracy) ตามสมการที่ (5)

$$Accuracy(\%) = \left(\frac{In-Out}{Total} \right) \times 100 \quad (5)$$

โดย

In คือ จำนวนภาพที่นำเข้ากระบวนการทดสอบ

Out คือ จำนวนภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้

Total คือ จำนวนภาพทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการรู้จำภาพใบหน้า

5. ผลการทดลอง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบจากบุคคลจำนวน 30 คน ทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง วัดค่าความถูกต้อง (accuracy) แสดงผลการทดลองก่อนพัฒนาระบบในการปรับปรุงคุณภาพของภาพ และปรับค่าของ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

hyperparameters ดังตารางที่ (1) และหลังทำการปรับ
ปรับปรุงคุณภาพของภาพ ดังตารางที่ (2)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองก่อนพัฒนาระบบในการปรับปรุง
คุณภาพของภาพ

ครั้งที่	จำนวน	จำนวนที่ หายไป	อัตราความถูกต้อง (%)
1	30	9	68
2	30	7	75
3	30	10	65
4	30	8	72
5	30	9	70
6	30	9	69
7	30	9	68
8	30	8	71
9	30	6	78
10	30	9	69
เฉลี่ย	30	8.5	70.50

ตารางที่ 2 ผลการทดลองหลังพัฒนาระบบในการปรับปรุง
คุณภาพของภาพ

ครั้งที่	จำนวน	จำนวนที่ หายไป	อัตราความถูกต้อง (%)
1	30	7	75
2	30	5	82
3	30	9	70
4	30	6	80
5	30	6	78
6	30	6	79
7	30	7	75
8	30	7	73

9	30	5	83
10	30	7	77
เฉลี่ย	30	6.5	77.20

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบระบบตรวจสอบบุคคลแบบเรียลไทม์ที่
พัฒนาขึ้น พบว่าระบบสามารถระบุตัวตนของบุคคลได้ด้วย
ความถูกต้องเฉลี่ย 77.20% หลังจากการปรับปรุง
ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น การปรับแสงและการลดสัญญาณ
รบกวน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบที่
พัฒนาขึ้น

6.1 การอภิปรายผล

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่ง
ระบุว่าอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ LBPH
สามารถนำมาใช้ในการตรวจจับและรู้จำใบหน้าได้อย่างมี
ประสิทธิภาพ การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ช่วยเพิ่ม
ความแม่นยำในการรู้จำใบหน้าได้อย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม
ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ
เช่น คุณภาพของภาพที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบ
ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน และสภาพแวดล้อมในการ
ทดสอบ

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1) เพิ่มจำนวนข้อมูลในการฝึกสอน การเพิ่มจำนวนภาพ
ใบหน้าที่หลากหลาย เช่น ใบหน้าที่มีอายุแตกต่างกัน สีผิว
แตกต่างกัน และท่าทางที่หลากหลาย จะช่วยให้ระบบมี
ความสามารถในการเรียนรู้และจดจำใบหน้าได้ดีขึ้น

2) พัฒนาอัลกอริทึม การพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ ๆ หรือ
ปรับปรุงอัลกอริทึมที่มีอยู่ เช่น Deep Learning อาจช่วย
เพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำใบหน้าได้มากขึ้น

3) ทดสอบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย การทดสอบ
ระบบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น สภาพแสงที่
เปลี่ยนแปลงไป การเคลื่อนไหวของใบหน้า และการสวมใส่

แว่นตา จะช่วยให้ทราบถึงขีดจำกัดของระบบและสามารถปรับปรุงระบบให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้

4) พิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ควรพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ เช่น มุมกล้อง ระยะห่าง และคุณภาพของกล้อง

5) ประเมินผลด้วยมาตรการอื่น ๆ นอกจากอัตราความถูกต้องแล้ว ควรประเมินผลด้วยมาตรการอื่น ๆ เช่น Precision, Recall, และ F1-score เพื่อให้ได้ภาพรวมของประสิทธิภาพของระบบที่ครอบคลุมมากขึ้น

7. องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากงานวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องในการพัฒนาระบบตรวจสอบบุคคล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ได้ การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการรู้จำใบหน้า

งานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของระบบ เช่น ผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการพัฒนาระบบในอนาคต ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจสอบบุคคลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ พล.ร.ต.สุวิทย์ พูลทรัพย์ และ น.ท.ผศ.ดร. พิศณุ คุ้มชัย อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้คอยแนะนำในเรื่องการเขียนโปรแกรม การคำนวณค่าต่าง ๆ และในทุก ๆ เรื่อง และขอขอบคุณกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ ที่ได้เอื้ออำนวยในเรื่องอุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัย ตลอดจนคำแนะนำ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Viola, P., & Jones, M. J. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition, 1, 511-518.
- [2] Lienhart, R., & Maydt, J. (2002). An extended set of Haar-like features for rapid object detection. Proceedings. International Conference on Image Processing, 1, 900-903.
- [3] Ojala, T., Pietikäinen, M., & Mäenpää, T. (2002). Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(7), 971-987.
- [4] Ojala, T., Pietikainen, M., & Maenpaa, T. (2002). Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(7), 971-987.
- [5] Shan, C., Gong, S., & McOwan, P. W. (2009). Facial expression recognition based on local binary patterns: A comprehensive study. Image and Vision Computing, 27(6), 803-816.
- [6] Turk, M., & Pentland, A. (1991). Eigenfaces for face recognition. Journal of Cognitive Neuroscience, 3(1), 71-86.
- [7] Martinez, A. M., & Ben-Youssef, A. (2005). HMM-based face tracking and recognition in video sequences. In Proceedings of the 2005 IEEE international conference on multimedia and expo (pp. 450-453).

- [8] Lu, J., & Tan, Y. P. (2004). Face recognition using kernel-based discriminant analysis. In Proceedings of the 17th ACM international conference on multimedia (pp. 596-600).
- [9] Shan, C., & Qi, X. (2006). Learning face detection model with local binary patterns. In Proceedings of the 28th annual conference on computer vision and pattern recognition (CVPR) (pp. 589-594).
- [10] Wang, J., & Zhang, X. (2011). Face recognition using compressed Fisher vectors. In Proceedings of the 2011 IEEE international conference on computer vision and pattern recognition (CVPR) (pp. 3512-3519).
- [11] Parkhi, S., & Kandola, A. (2015). Facenet: A unified end-to-end deep learning approach for facial image analysis. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR) (pp. 1277-1285).
- [12] Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). FaceNet: A convolutional neural network for facial recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR) (pp. 851-862).
- [13] Tahir, A. B., & Shafique, M. (2020). A survey on face recognition techniques: A comprehensive analysis from feature extraction to classification. ACM Computing Surveys (CSUR), 53(6), 1-43.

การศึกษาประสิทธิภาพการตรวจจับและนับจำนวนบุคคลในภาพโดยใช้อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier กับ YOLO

A Study on the Efficiency of Person Detection and Counting in Images Using Haar Cascade Classifier and YOLO Algorithms

น.นร.พันธวัช ดีศรี¹ (NC. Phantawat Deesri)¹

น.นร.ชัยชนะ พิศเพ็ง² (NC. Chaichana Pispeng)²

น.นร.ธีร์ดนัย สมภักดี³ (NC. Teedanai Somphakdee)³

น.นร.การ์ณยภาส ทรงวศิน⁴ (NC. Karunyapad Songvasin)⁴

น.ท.ผศ.พิศณุ คูมีชัย⁵ (Cdr. Asst. Prof. Pisanu Kumeechai, RTN.)⁵

¹นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, phantawat2543@gmail.com

²นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, pitpang11@gmail.com

³นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, teamtdns@gmail.com

⁴นักเรียนนายเรือ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270, karansafe2012@gmail.com

⁵อาจารย์ที่ปรึกษา กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์, ฝ้ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, สมุทรปราการ 10270,
pisanu41984198@hotmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ YOLO ในการตรวจจับและนับจำนวนบุคคลในภาพ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยภาพจำนวน 500 ภาพ และภาพที่สุ่มสำหรับใช้ทดสอบจำนวน 100 ภาพ บนชุดข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องที่มีความละเอียด 608x608 พิกเซล ประสิทธิภาพการตรวจจับวัดโดยใช้อัตราความถูกต้อง (Precision) อัตราการเรียกคืน (Recall) และค่า F1-score ส่วนประสิทธิภาพการนับจำนวนบุคคลวัดโดยใช้อัตราข้อผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Absolute Error, MAE) ผลการทดลอง พบว่าอัลกอริทึม YOLO มีประสิทธิภาพในการตรวจจับบุคคลดีกว่าอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier โดยมีค่า Precision, Recall และ F1-score อยู่ที่ 0.97%, 0.95%, 0.96% ตามลำดับ ในขณะที่อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier มีค่า Precision, Recall และ F1-score อยู่ที่ 0.93%, 0.81%, 0.87% ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการนับจำนวนบุคคล พบว่าอัลกอริทึม YOLO มีค่า MAE อยู่ที่ 0.08 ในขณะที่อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier มีค่า MAE อยู่ที่ 0.25 ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม YOLO มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและนับจำนวนบุคคลในภาพดีกว่าอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier ในสถานะแวดล้อมในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, การตรวจจับวัตถุ, การนับจำนวนบุคคล, Haar Cascade Classifier, YOLO

1. บทนำ

การนับยอดหรือการเช็คยอดทหารในการตรวจแถวเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในทหารและอาจเผชิญกับหลายปัญหาที่ต้องการการจัดการและความระมัดระวังในการดำเนินการ บางปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการนับยอดทหารในการตรวจแถวอาจมีเกิดขึ้นดังนี้ ความล่าช้าในการนับ การนับยอดทหารในการตรวจแถวอาจใช้เวลานานและทำให้การเคลื่อนย้ายทหารไปยืนตรงในเวลาที่ถูกต้องมีความล่าช้า อาจส่งผลถึงภารกิจที่อาจจะต้องล่าช้าและเกิดความล้มเหลวได้ ความคลาดเคลื่อน ความคลาดเคลื่อนในการนับยอดอาจเกิดขึ้นจากการนับที่ไม่ถูกต้องหรือการสับสนในการรายงานจำนวนทหารที่ถูกต้อง สภาพาสภาพอากาศและสภาวะแวดล้อม สภาพาสภาพอากาศที่ไม่เอื้อให้การนับยอดและสภาวะแวดล้อมที่แปรปรวนอาจทำให้การตรวจแถวมีความยากลำบากในการนับยอด ความปลอดภัย การสูญหายของกำลังพลอาจสร้างความร้ายแรงให้กับทหารและครอบครัวของพวกเขา รวมไปถึงขวัญกำลังใจของหน่วย การแก้ไขปัญหาในกระบวนการตรวจแถวและการนับยอดทหารอาจมีการใช้เทคโนโลยีที่ช่วยลดความผิดพลาดในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำให้การตรวจนับจำนวนบุคคลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีนี้ยังสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความสามารถในการควบคุมการเข้าถึงและความปลอดภัยในสถานที่ต่าง ๆ ที่ต้องการการตรวจนับจำนวนบุคคล เช่น ในสนามบิน, โรงพยาบาล, หรือสถานที่ที่ต้องการควบคุมการเข้าถึง

สรุปแล้วปัญหาที่เกิดขึ้นจากการนับจำนวนบุคคลในปัจจุบันมักใช้วิธีแบบแมนนวล ซึ่งอาจไม่สะดวกหรือแม่นยำและการนับจำนวนบุคคลแบบแมนนวลอาจเกิดความผิดพลาดได้ เช่น มองไม่เห็นบุคคลทั้งหมด หรือนับซ้ำ

จากปัญหาและสาเหตุข้างต้น แนวทางการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้สามารถพิจารณาได้ดังนี้ พัฒนาอัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุที่แม่นยำ โดยพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความซับซ้อนของภาพ ความคล้ายคลึงกันของวัตถุ หรือสภาพแวดล้อมของภาพ พัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อลดข้อผิดพลาด เช่น การกรองภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวน หรือการใช้เทคนิคการรวมข้อมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำ และพัฒนาระบบที่ใช้ทำงานง่าย เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกสำหรับผู้ใช้

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมสองชนิดที่ใช้ในการตรวจจับและนับจำนวนบุคคลในภาพ คือ อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ YOLO

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพนี้เน้นไปที่ความแม่นยำในการตรวจจับบุคคล โดยใช้ตัวชี้วัดต่าง ๆ เช่น Precision, Recall และ F1-score

2.3 วัดความสามารถของอัลกอริทึมในการนับจำนวนบุคคลในภาพ โดยใช้ค่า MAE เป็นตัวชี้วัด

3. แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier

Haar Cascade Classifier [1,2] เป็นอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการตรวจจับวัตถุในภาพ โดยเฉพาะการตรวจจับใบหน้า อัลกอริทึมนี้มีประสิทธิภาพสูงและมีความเร็วในการประมวลผลที่รวดเร็ว ทำให้ถูกนำไปใช้งานในแอปพลิเคชันต่าง ๆ เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย การจดจำใบหน้า และการติดตามวัตถุ

หลักการทํางานอัลกอริทึมจะสร้างชุดของพีเจอร์ที่เรียกว่า Haar-like features ซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมที่มีส่วนสีขาวและสีดำเรียงกัน โดยแต่ละพีเจอร์จะตอบสนองต่อลักษณะเฉพาะของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ เช่น ดวงตา จมูก

ปาก ใช้ Integral Image เพื่อเพิ่มความเร็วในการคำนวณค่าของ Haar-like features ทุกตำแหน่งในภาพ จะมีการสร้าง Integral Image ซึ่งเป็นภาพที่แต่ละพิกเซลเก็บค่าผลรวมของพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ด้านบนและด้านซ้ายของมัน ใช้ Adaboost ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการรวมหลาย ๆ classifier ที่อ่อน (weak classifier) ให้เป็น classifier ที่แข็งแกร่ง (strong classifier) โดยจะเลือก Haar-like features ที่มีความสามารถในการแยกแยะวัตถุและพื้นหลังได้ดีที่สุดมาใช้ในการสร้าง classifier ใช้ Cascade Classifier เป็นการเรียงลำดับ classifier ที่ได้จาก Adaboost โดยเริ่มจาก classifier ที่มีความซับซ้อนต่ำและเร็วในการคำนวณก่อน หากภาพผ่าน classifier นี้ไปได้ จะส่งต่อไปยัง classifier ถัดไปที่มีความซับซ้อนสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์สุดท้าย

ข้อดีของ Haar Cascade Classifier จะมีในเรื่องของความเร็วที่สามารถตรวจจับวัตถุได้แบบเรียลไทม์ ความแม่นยำ เมื่อถูกฝึกให้ดี สามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำ ความเรียบง่าย หลักการทำงานค่อนข้างเข้าใจง่าย และสามารถปรับใช้ได้หลากหลาย สามารถใช้ตรวจจับวัตถุประเภทอื่น ๆ นอกจากใบหน้าได้

ข้อเสียและข้อจำกัด ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงและมุมมอง หากแสงเปลี่ยนแปลงหรือวัตถุอยู่ในมุมที่ผิดปกติ อาจทำให้การตรวจจับผิดพลาดได้ ไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่ซับซ้อนได้ดี เหมาะสำหรับการตรวจจับวัตถุที่มีรูปร่างง่าย ๆ และมีลักษณะเฉพาะที่ชัดเจน และจำเป็นต้องมีชุดข้อมูลฝึกสอนจำนวนมากเพื่อให้ classifier มีความแม่นยำสูง จำเป็นต้องมีชุดข้อมูลฝึกสอนที่มีคุณภาพและปริมาณมาก ไม่สามารถรับมือกับการบิดเบ่ง หากวัตถุถูกบิดเบ่งด้วยวัตถุอื่น อาจทำให้การตรวจจับผิดพลาดได้

สมการ Harr like Feature สามารถพิจารณาได้จาก

$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

โดยที่ $h_j(x)$ คือ สมการ Haar like Feature

$f_j(x)$ คือ ฟังก์ชัน Haar like Feature

x คือ mask

θ_j คือ ค่า theshold

p_j คือ เครื่องหมายบวกหรือลบ ไว้กำหนดทิศทาง

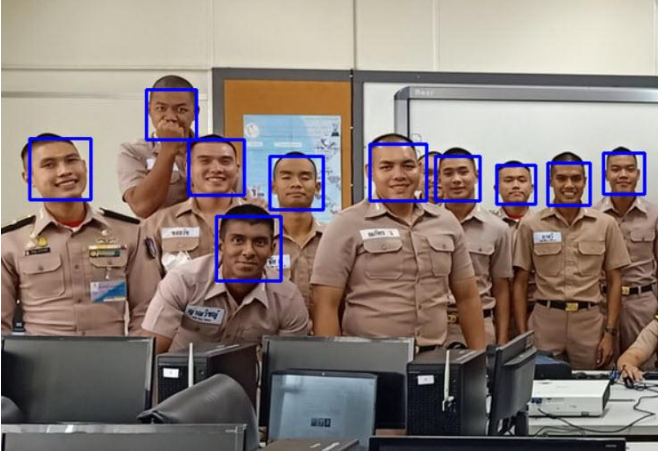
$f_j(x)$ คือ ค่าความแตกต่างของผลรวมพิกเซลในพื้นที่ขาว และดำของ Haar-like feature มีค่าตามสมการที่ 2

$$f(x) = \text{Sum}_{(Black)} - \text{Sum}_{(White)} \quad (2)$$

โดยที่ x คือ ภาพตัวอย่าง และ Sum คือ ผลรวมของภาพอินทิกรัลในบริเวณพื้นที่สีขาวและดำของ x ดังแสดงภาพตัวอย่างการตรวจจับด้วย Haar Cascade Classifier ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ภาพการตรวจจับของ อัลกอริทึม HaarCascade



ภาพที่ 2 ภาพการตรวจจับของ อัลกอริทึม HaarCascade

3.2 อัลกอริทึม YOLO

YOLO [3,4] ย่อมาจาก You Only Look Once เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุ (object detection) แบบเรียลไทม์ ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีความเร็วในการประมวลผลสูงและมีความแม่นยำในการตรวจจับที่น่าประทับใจ

หลักการการทำงานของ YOLO ทำงานโดยแบ่งภาพออกเป็นกริด (grid) ขนาดเล็ก ๆ และทำนายว่าในแต่ละกริดจะมีวัตถุอยู่หรือไม่ หากมีวัตถุอยู่ จะทำนายขอบเขตของวัตถุ (bounding box) และคลาสของวัตถุนั้น ๆ พร้อมกันในครั้งเดียว ซึ่งแตกต่างจากอัลกอริทึมแบบดั้งเดิมที่มักจะตรวจจับวัตถุทีละขั้นตอน ขั้นตอนการทำงานโดยสรุปเริ่มจากแบ่งภาพออกเป็นกริด โดยภาพจะถูกแบ่งออกเป็นกริดขนาดเล็ก ๆ หลาย ๆ กริด ทำนาย bounding box และคลาส สำหรับแต่ละกริด โมเดลจะทำนาย bounding box ที่เป็นไปได้ทั้งหมด และความน่าจะเป็นที่วัตถุแต่ละคลาสจะอยู่ใน bounding box นั้น ๆ หลังจากได้ผลลัพธ์การทำนายแล้ว จะมีการใช้เทคนิค Non-maximum suppression เพื่อเลือก bounding box ที่มีความน่าจะเป็นสูงสุด และลบ bounding box ที่ซ้ำซ้อนออกไป

ข้อดีของ YOLO มีความเร็วในการประมวลผลสูงมาก ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุได้แบบเรียลไทม์ มีความง่ายในการใช้งาน เป็นโมเดลมีโครงสร้างที่ค่อนข้างง่าย ทำให้สามารถปรับแต่งและใช้งานได้ง่าย สามารถตรวจจับวัตถุหลายตัวได้พร้อมกัน YOLO สามารถตรวจจับวัตถุหลายตัวในภาพเดียวได้พร้อมกัน มีความแม่นยำสูง เมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ YOLO มีความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุที่ค่อนข้างสูง

ข้อเสียและข้อจำกัด ความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กอาจต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น ๆ เนื่องจาก YOLO แบ่งภาพออกเป็นกริด หากวัตถุมีขนาดเล็กมาก อาจอยู่ในกริดเดียวกันกับวัตถุอื่น ทำให้การตรวจจับมีความผิดพลาดได้ มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและขนาดของวัตถุ หากวัตถุมีรูปร่างที่ผิดปกติหรือมีขนาดแตกต่างจากชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน อาจส่งผลให้การตรวจจับมีความผิดพลาด และจำเป็นต้องมีชุดข้อมูลฝึกสอนที่มีคุณภาพและปริมาณมาก เพื่อให้โมเดลมีความแม่นยำสูง จำเป็นต้องมีชุดข้อมูลฝึกสอนที่มีความหลากหลายและครอบคลุม

3.3 งานวิจัยที่น่าสนใจที่เกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุ

Zhu, J. และคณะ [5] เสนอแนวทางในการนับจำนวนคนจากวิดีโอโดยใช้เทคนิคการหาวัตถุแบบ deep learning โดยแนวทางนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ (1) การตรวจจับบุคคลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (CNN) และ (2) การนับบุคคลโดยใช้วิธีประมาณค่าความหนาแน่น Han, W. และคณะ [6] เสนอระบบการนับจำนวนคนแบบเรียลไทม์สำหรับการใช้งานด้านการเฝ้าระวัง ระบบประกอบด้วยสองขั้นตอนหลักคือ (1) การแบ่งส่วนเบื้องต้นโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ deep convolutional (CNN) และ (2) การนับจำนวนคนโดยใช้วิธีการประมาณค่าความหนาแน่น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการล้ำสมัยในแง่ของความแม่นยำและประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบของเรามีความแม่นยำโดยเฉลี่ย 93.3% บนชุดข้อมูล UCF-QNRF และ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

90.0% บนชุดข้อมูลการนับฝูงชนในวิดีโอ Zhang, Y. และคณะ[7] นำเสนออัลกอริทึมการนับจำนวนคนที่ทนทานต่อฉากที่มีผู้คนหนาแน่น โดยอัลกอริทึมนี้ใช้เทคนิคการหาวัตถุและเทคนิคการกรองภาพ (image filtering) อัลกอริทึมนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ (1) การตรวจหาบุคคล (person detection) (2) การแบ่งเซลล์แบบ grid-based และ (3) การนับจำนวนบุคคลโดยใช้เทคนิคการกรองภาพ งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูลวิดีโอที่มีผู้คนหนาแน่นและฉากที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ชุดข้อมูลวิดีโอประกอบด้วยวิดีโอจำนวน 100 วิดีโอ แต่ละวิดีโอมีความยาว 30 วินาที ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมนี้สามารถนับจำนวนคนได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

แสดงภาพตัวอย่างผลลัพธ์การทำงานของ YOLO ดังภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ภาพผลลัพธ์การทำงานของอัลกอริทึม YOLO



ภาพที่ 4 ภาพผลลัพธ์การตรวจจับของอัลกอริทึม YOLO

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการตรวจนับจำนวนบุคคล ผู้จัดทำได้ทำการเปรียบเทียบอัลกอริทึม 2 ชนิด เพื่อนำมาเปรียบเทียบประกอบด้วยภาพจำนวน 500 ภาพ และภาพที่สุ่มสำหรับใช้ทดสอบจำนวน 100 ภาพ เป็นภาพที่มีคนในภาพจำนวน 80 ภาพ และไม่มีคนในภาพจำนวน 20 ภาพ บนชุดข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องที่มีความละเอียด 608x608 พิกเซล วัดประสิทธิภาพด้วย confusion matrix และ Mean Absolute Error (MAE)

4.1 การวัดประสิทธิภาพด้วย confusion matrix

การวัดประสิทธิภาพด้วย confusion matrix [8] ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของโมเดลการจำแนกประเภท ช่วยให้เข้าใจว่าโมเดลทำนายผลผิดพลาดอย่างไร โดยแบ่งผลลัพธ์ออกเป็นสี่ประเภทคือ

True Positive (TP) กรณีที่โมเดลทำนายถูกต้องว่าเป็นกลุ่มนั้น ๆ จำนวนภาพที่มีคนจริง ๆ ที่โมเดลระบุว่ามีคน

False Positive (FP) กรณีที่โมเดลทำนายผิดพลาดว่าเป็นกลุ่มนั้น ๆ ทั้งที่จริงไม่ใช่ จำนวนภาพที่ไม่มีคนจริง ๆ แต่โมเดลระบุว่ามีคน

True Negative (TN) กรณีที่โมเดลทำนายถูกต้องว่าไม่ใช่กลุ่มนั้น ๆ จำนวนภาพที่ไม่มีคนจริง ๆ และโมเดลระบุว่าไม่มีคน

False Negative (FN) กรณีที่โมเดลทำนายผิดพลาดว่าไม่ใช่กลุ่มนั้น ๆ ทั้งที่จริงเป็น จำนวนภาพที่มีคนจริง ๆ แต่โมเดลระบุว่าไม่มีคน

ค่า TP, FP, FN, และ TN เมื่อได้ค่ามาแล้วสามารถนำไปคำนวณประเมินประสิทธิภาพของโมเดลการจำแนกประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (4)$$

$$F1 \text{ score} = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)} \quad (5)$$

โดย

Precision (ความแม่นยำ) บอกสัดส่วนของภาพที่ระบบตัดสินว่าเป็นบุคคลที่เป็นบุคคลจริง

Recall (อัตราการเรียกคืน) บอกสัดส่วนของบุคคลทั้งหมดในภาพที่ระบบตรวจจับได้

F1-score เป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง Precision และ Recall สะท้อนประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

4.2 Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error (MAE) [9,10] การประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในการนับจำนวนคนในภาพ โดยคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างจำนวนคนที่โมเดลนับได้ (Predicted number of people) กับจำนวนคนจริงในภาพ (Actual number of people) แสดงสูตรการคำนวณได้ดังนี้

$$MAE = \frac{1}{n} \times \sum(pp - ap) \quad (6)$$

โดย

n คือ จำนวนภาพ

pp คือ (Predicted number of people) จำนวนคนที่โมเดลนับได้

ap คือ (Actual number of people) จำนวนคนจริงในภาพ

ค่า MAE ยิ่งต่ำ แสดงว่าโมเดลทำนายได้แม่นยำ ค่า MAE ยิ่งสูง แสดงว่าโมเดลทำนายคลาดเคลื่อนจากค่าจริงมาก

5. ผลการทดลอง

การวัดประสิทธิภาพด้วย confusion matrix จากภาพจำนวน 500 ภาพ และภาพที่สุ่มสำหรับใช้ทดสอบจำนวน 100 ภาพ เป็นภาพที่มีคนในภาพจำนวน 80 ภาพ และไม่มีคนในภาพจำนวน 20 ดังแสดงดังตารางที่ 1 และการประเมินประสิทธิภาพด้วยอัลกอริทึม YOLOv3 และ อัลกอริทึม HaarCascade Classifier พร้อมแสดงค่าการคำนวณ Precision, Recall, F1-score ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการนับจำนวนบุคคลด้วย Mean Absolute Error (MAE) จากภาพที่มีจำนวนบุคคลในภาพตั้งแต่ 5 คนขึ้นไป จำนวน 100 ภาพ ทำการทดสอบทั้งอัลกอริทึม YOLO และ อัลกอริทึม Haar Cascade Classifier ดังแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4

ตารางที่ 1 ประเภทของภาพ

ประเภท	จำนวนภาพ
ภาพที่มีคนจริง (Positive)	80
ภาพที่ไม่มีคนจริง (Negative)	20

ตารางที่ 2 แสดงค่า TP, FP, FN, TN ในการตรวจจับภาพ
คนจำนวน 100 ภาพ ด้วยอัลกอริทึม YOLOv3

tp	fp	fn	tn	Preci sion	Reca ll	F1- score
76	2	4	18	0.974 359	0.95	0.962 025
				0.97	0.95	0.96

ตารางที่ 3 แสดงค่า TP, FP, FN, TN ในการตรวจจับภาพ
คนจำนวน 100 ภาพ ด้วยอัลกอริทึม HaarCascade
Classifier

tp	fp	fn	tn	Precisi on	Reca ll	F1- score
65	5	15	15	0.9285 71	0.81 25	0.8666 67
				0.93	0.81	0.87

ตารางที่ 4 แสดงค่า MAE

Algorithm	MAE per Image
YOLO	0.08
Haar Cascade Classifier	0.25

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier และ YOLO ในการตรวจจับและนับจำนวนบุคคลในภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม YOLO มีประสิทธิภาพสูงกว่า Haar Cascade Classifier อย่างชัดเจน โดยมีค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพต่างๆ ดีกว่าในทุกด้าน ได้แก่

Precision, Recall และ F1-score พบว่าอัลกอริทึม YOLO มีค่าสูงกว่า ซึ่งหมายความว่า YOLO สามารถตรวจจับบุคคลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และครอบคลุมมากกว่าอัลกอริทึม Haar Cascade Classifier

Mean Absolute Error (MAE) อัลกอริทึม YOLO มีค่า MAE ต่ำกว่ามาก ซึ่งหมายความว่า YOLO สามารถนับจำนวนบุคคลได้ใกล้เคียงกับจำนวนจริงมากกว่า Haar Cascade Classifier โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยกว่า

6.1 การอภิปรายผล

โครงสร้างเครือข่าย YOLO เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบมาสำหรับการตรวจจับวัตถุโดยเฉพาะ ทำให้มีความสามารถในการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะของวัตถุได้ดีกว่า Haar Cascade Classifier ที่ใช้ features แบบง่าย ๆ

การเรียนรู้เชิงลึก YOLO สามารถเรียนรู้ feature ที่ซับซ้อนได้จากข้อมูลจำนวนมาก ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุได้ในสถานะที่หลากหลายและซับซ้อนกว่า

ในกรณีนี้ YOLO มีค่า MAE ต่ำกว่า Haar Cascade Classifier อย่างมาก แสดงให้เห็นว่า YOLO ไม่เพียงแต่สามารถตรวจจับบุคคลได้อย่างถูกต้อง แต่ยังสามารถนับจำนวนบุคคลได้แม่นยำกว่าอีกด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

พิจารณาภาพที่อัลกอริทึมทั้งสองทำนายผิด เพื่อหาสาเหตุของความผิดพลาด เช่น ปัญหาเรื่องแสงเงา, การซ้อนทับของวัตถุ, หรือความละเอียดของภาพ

สามารถนำ YOLO ไปเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมตรวจจับวัตถุอื่น ๆ ที่ทันสมัย เช่น SSD, Faster R-CNN เพื่อหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับงานเฉพาะทาง

สามารถปรับปรุงโครงสร้างของ YOLO หรือใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น transfer learning เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุประเภทอื่น ๆ หรือในสถานะแวดล้อมที่

แตกต่างกันเพิ่มขนาดของชุดข้อมูลฝึกสอนอาจช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมได้

สามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในงานจริง เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย, ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่, หรือระบบอัตโนมัติต่าง ๆ

7. องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากงานวิจัย

ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า YOLO เป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าสำหรับการใช้งานในโลกแห่งจริงที่ต้องการการตรวจจับและนับวัตถุ โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีสภาพแวดล้อมที่หลากหลายหรือซับซ้อน

YOLO เป็นเครือข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบมาสำหรับการตรวจจับวัตถุโดยเฉพาะ ช่วยให้สามารถเรียนรู้ลักษณะเฉพาะของวัตถุได้ดีกว่า Haar Cascade Classifier ที่ใช้พีเจอร์แบบง่าย ๆ

YOLO สามารถเรียนรู้พีเจอร์ที่ซับซ้อนได้จากข้อมูลจำนวนมาก ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุได้ในสภาวะที่หลากหลายและซับซ้อนกว่า

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ น.ท.ผศ.ดร. พิศณุ คูมีชัย อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้คอยแนะนำในเรื่องการเขียนโปรแกรม การคำนวณค่าต่าง ๆ และในทุก ๆ เรื่อง และขอขอบคุณกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ ที่ได้เอื้ออำนวยในเรื่องอุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัยตลอดจนคำแนะนำ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Viola, P., & Jones, M. J. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the IEEE computer

society conference on computer vision and pattern recognition, 1, 511-518.

[2] Maghraby, M., & AbdallaO, E. (2013). Hybrid face detection system using combination of Viola-Jones method and skin detection. International Journal of Computer Applications, 71(6), pp. 464-468.

[3] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 779-788).

[4] Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox detector. In European conference on computer vision (pp. 21-37).

[5] Zhu, J., Lim, K.-Y., Yu, K., & Yang, M.-H. (2016). Human Counting in Videos Using Deep Learning. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 38(11), 2299-2312.

[6] Han, W., Li, J., & Ma, S. (2018). A Real-Time Human Counting System for Surveillance Applications. IEEE Transactions on Image Processing, 27(1), 265-278.

[7] Zhang, Y., Zheng, Y., & Yang, M.-H. (2019). A Robust Human Counting Algorithm for Crowded Scenes. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 41(11), 2629-2643.

[8] Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., & Pal, C. J. (2011). Data mining: Practical machine learning tools and techniques (3rd ed.). Burlington, MA: Morgan Kaufmann. Ch. 5, pp. 168-170.

- [9] Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79-82.
- [10] Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679-688.

การใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนในการฝึกนักบิน T-6 ของกองทัพอากาศไทย

Virtual Reality for Training Royal Thai Air force's T-6 Pilot

บารมี มีบุญ¹ (Bamee Meeboon)¹

ประสาทร วงษ์คำซ่าง² (Prasatporn Wongkamchang)²

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, bamee.thaipilot@gmail.com

²สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, prasatporn_w@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ: บทความเชิงวิชาการนี้มุ่งเน้นการศึกษาการใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) ในการฝึกนักบิน T-6 ของกองทัพอากาศไทย โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการประเมินศักยภาพของ VR ในการเพิ่มประสิทธิภาพการฝึกนักบิน ลดต้นทุน และปรับปรุงทักษะความสามารถโดยรวมของนักบิน การนำเครื่องบิน T-6 Texan II เข้าสู่หลักสูตรการฝึกนักบินนั้นต้องเผชิญกับความท้าทายในการรับรองประสิทธิภาพการฝึกอบรมเทคโนโลยี VR ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการฝึกที่ปลอดภัยและสมจริง ซึ่งช่วยให้นักบินสามารถฝึกฝนในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและยืดหยุ่นได้มีการทดลองใช้ VR สำหรับการฝึกนักบิน T-6 ด้วย ระบบการฝึก T-6B PTN VR-PTT ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อจำลองขั้นตอนการฝึกในห้องนักบินตั้งแต่ขั้นตอนเบื้องต้นจนถึงขั้นตอนฉุกเฉินและการนำทาง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า VR มีศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพการฝึกอบรมและเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: เทคโนโลยีความจริงเสมือน, การจำลองการบิน, การฝึกนักบิน, ประสิทธิภาพการฝึก, สภาพแวดล้อมการฝึกเสมือนจริง

บทนำ

กองทัพอากาศไทยมีประวัติศาสตร์ยาวนาน ในการมุ่งมั่นสู่ความเป็นเลิศในการฝึกนักบิน การจัดซื้อเครื่องบิน T-6 เป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับปรุงโปรแกรมการฝึกนักบิน ให้ทันสมัย เครื่องบิน T-6 Texan II เป็นเครื่องบินฝึกหัดที่หลากหลายและใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการเตรียมนักบินใหม่ สำหรับขั้นตอนการฝึกขั้นสูง อย่างไรก็ตาม การนำเครื่องบินใหม่เข้าสู่หลักสูตรการฝึกอบรมต้องเผชิญกับความท้าทาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการรับรองว่านักบินจะได้รับการฝึกอบรมที่มีประสิทธิภาพและครอบคลุมที่สุด เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ได้กลายเป็นเครื่องมือปฏิวัติวงการในการฝึกนักบิน เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) นำเสนอสภาพแวดล้อมที่เหมือนจริง และปลอดภัยสำหรับผู้เข้ารับการฝึกอบรมเพื่อฝึกฝนทักษะของตน บทความเชิงวิชาการนี้สำรวจการใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการฝึกนักบิน โดยประเมินศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการฝึก ลดต้นทุน และปรับปรุงความสามารถโดยรวมของนักบิน



ภาพที่ 1 เครื่องบิน T-6 Texan II
ที่มา: กองทัพอากาศไทย

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

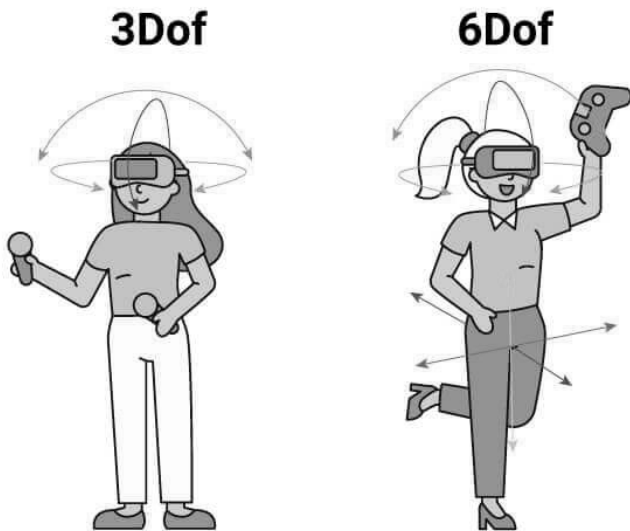
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกนักบินโดยใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) พบว่ามีการใช้งานวิจัยที่หลากหลายและให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูง หนึ่งในงานวิจัยที่น่าสนใจเกี่ยวกับการใช้ VR ในการฝึกนักบินคือการศึกษาโดย Zhang (2022) ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการฝึกนักบิน ผ่านการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แบบเดิม (PC-based) กับการใช้ เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า

จริงเสมือน (Virtual Reality) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่านักบินที่ได้รับการฝึกผ่าน เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) มีการปรับปรุงทักษะได้ดีกว่า และมีความพึงพอใจในการฝึกมากกว่าการใช้คอมพิวเตอร์แบบเดิม เนื่องจากความสมจริงและประสบการณ์ที่ได้จาก เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) นอกจากนี้ การทดลองของ Naval Air Warfare Center Training Systems Division (2019) ที่ใช้ระบบการฝึก T-6B PTN VR-PTT ยังแสดงให้เห็นว่า การใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการฝึกนักบินเครื่องบิน T-6 มีประสิทธิภาพสูงในการจำลองขั้นตอนฉุกเฉินและการนำทาง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการฝึกทักษะที่ซับซ้อน โดยเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ยังช่วยลดความเสี่ยงจากการฝึกฝนในสถานการณ์ที่อันตรายในชีวิตจริงได้ การศึกษาโดย Baarspul (1990) ได้ให้ภาพรวมเกี่ยวกับประวัติของการใช้การจำลองการบิน (Flight Simulation) ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเทคโนโลยีการจำลองนั้น มีความสำคัญต่อการฝึกนักบินมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันที่เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาการฝึก การศึกษาของ Chang et al. (2019) ในอุตสาหกรรมการบินก็ได้เปรียบเทียบการฝึกที่ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) กับวิธีการฝึกแบบดั้งเดิมในอุตสาหกรรมการบินอื่น ๆ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ไม่เพียงแต่เพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้เท่านั้น แต่ยังลดเวลาการฝึกฝนและค่าใช้จ่ายได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้เบื้องต้นว่า เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการปรับปรุงการฝึกนักบิน ไม่ว่าจะเป็นการฝึกทักษะการบินทั่วไปหรือการฝึกสถานการณ์ฉุกเฉิน ตลอดจนความสามารถในการจัดการค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพรวมของเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality)

เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) เป็นเทคโนโลยีที่จำลอง การมีอยู่ทางกายภาพของผู้ใช้ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงหรือในจินตนาการ โดยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น จอแสดงผลแบบสวมศีรษะ (HMD) เช่น เซอร์ติดตาม

การเคลื่อนไหว และอุปกรณ์ป้อนข้อมูลเฉพาะ เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) สร้างประสบการณ์ที่สมจริงซึ่งสามารถเลียนแบบสถานการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริงหรือสถานการณ์ที่ต้องการได้ทั้งหมด



ภาพที่ 2 การเคลื่อนไหวในสภาพแวดล้อมเสมือน
ที่มา: mindport.co

ระบบเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ 3 Degrees of Freedom (3DOF) และ 6 Degrees of Freedom (6DOF) ระบบ 3DOF จะติดตามการเคลื่อนไหวแบบหมุนรอบตำแหน่งคงที่ ทำให้ผู้ใช้สามารถมองไปรอบๆ ในสภาพแวดล้อมเสมือนได้ ในขณะที่ระบบ 6DOF จะติดตามการเคลื่อนไหวทั้งแบบหมุนรอบรอบตำแหน่งคงที่ และแบบเปลี่ยนแปลงตำแหน่งใหม่ได้ ทำให้ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในพื้นที่สามมิติ ความก้าวหน้าล่าสุดในฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ได้ปรับปรุงคุณภาพและการเข้าถึงประสบการณ์ เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่น จอแสดงผลความละเอียดสูงขึ้น การติดตามการเคลื่อนไหวที่แม่นยำขึ้น และความสมจริงของการจำลองสภาพแวดล้อม ทำให้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพอย่างมากสำหรับการใช้ในการฝึกอบรม

บทบาทของเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการฝึกนักบิน

การจำลองการบินเป็นส่วนสำคัญของการฝึกนักบินมานานหลายทศวรรษ เครื่องจำลองการบินแบบดั้งเดิมมีตั้งแต่ระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะธรรมดา ไปจนถึงเครื่องจำลองการบินเต็มรูปแบบที่ซับซ้อนสูง ซึ่งให้การตอบสนองการเคลื่อนไหวและการมองเห็นที่สมจริง แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพแต่มีราคาแพงและเข้าถึงได้น้อยกว่า

เครื่องจำลองการบินที่ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) มีข้อดีหลายประการที่เหนือกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม โดยมีต้นทุนที่มีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีจำหน่ายทั่วไป ซึ่งมีราคาถูกกว่าในการจัดหาและบำรุงรักษา เครื่องจำลองเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ยังปลอดภัยกว่า ช่วยให้นักบินสามารถฝึกขั้นตอนฉุกเฉินและการซ้อมรบที่ซับซ้อนได้โดยไม่มีความเสี่ยง นอกจากนี้ เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ยังสร้างสภาพแวดล้อมการฝึกที่น่าสนใจและสมจริงยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถเพิ่มการเรียนรู้และการคงทักษะไว้ได้

การใช้งานเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) สำหรับการฝึกนักบิน T-6

เครื่องบิน T-6 Texan II เป็นเครื่องบินฝึกขั้นต้นที่ใช้โดยกองทัพอากาศหลายประเทศทั่วโลก รวมถึงกองทัพอากาศไทยด้วย เพื่อฝึกนักบินอย่างมีประสิทธิภาพในเครื่องบินลำนี้ กองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา จึงได้มีการพัฒนาระบบการฝึก T-6B PTN VR-PTT (Pilot Training Next Virtual Reality Part-Task Trainer) ขึ้น โดยระบบนี้ประกอบด้วย:

- ชุดหูฟัง HTC Vive Pro: ให้มุมมองที่กว้างและจอแสดงผลที่มีความละเอียดสูง
- คอมพิวเตอร์เดสก์ท็อป: มาพร้อมกับโปรเซสเซอร์ Intel Core i7 และการ์ดกราฟิก NVIDIA GeForce GTX 1080 เพื่อประสิทธิภาพที่ราบรื่น
- Thrustmaster Warthog HOTAS: การควบคุมการบินด้วยความเที่ยงตรงสูงเพื่อการจัดการที่สมจริง
- Guitammer Butticker 2: ระบบตอบรับการสัมผัสเพื่อจำลองการสั่นสะเทือนของเครื่องบินและความรู้สึกอื่นๆ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ระบบการฝึก T-6B PTN VR-PTT ได้รับการออกแบบมาเพื่อจำลองแง่มุมต่างๆ ของการฝึกการบิน T-6 รวมถึงขั้นตอนในห้องนักบินตอนต้น ขั้นตอนฉุกเฉิน เช็คลิสต์ และการนำทาง ระบบช่วยให้สามารถสร้างสถานการณ์การฝึกที่ยืดหยุ่นได้ทำให้นักบินมีโอกาสฝึกฝนทักษะในสภาพแวดล้อม ที่มีการควบคุม



ภาพที่ 3 ระบบการฝึก T-6B PTN VR-PTT

(Pilot Training Next Virtual Reality Part-Task Trainer)

ที่มา: navair.navy.mil

ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการฝึกนักบิน

มีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการฝึกนักบินหลายงานวิจัย ตัวอย่างเช่น การวิจัยโดย Tianxin Zhang ได้เปรียบเทียบผลการฝึกการจำลองการบินด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) กับการจำลองการบินแบบเครื่องความพิวเตอร์ตั้งโต๊ะแบบเดิม การศึกษาพบว่าผู้เข้าร่วมเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ทำได้ดีกว่าในประสิทธิภาพการซ้อมรบหลังการฝึก และมีระดับแรงจูงใจและความพึงพอใจที่สูงกว่า

นอกจากนี้ การทดลองของกองทัพสหรัฐอเมริกา ด้วยระบบการฝึก T-6B PTN VR-PTT ยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพและประสิทธิภาพของการฝึกด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) โดยประโยชน์เหล่านี้รวมถึงการเพิ่มความพร้อมในการฝึกซ้อมรบ ลดต้นทุน และปรับปรุงผลการฝึกซ้อมรบ

สำหรับงานเฉพาะ เช่น ขั้นตอนฉุกเฉินและการฝึกการบินรูปแบบเบื้องต้น

กรณีศึกษาและการทดลอง

การวิเคราะห์กรณีศึกษา และการทดลองเชิงลึกให้ข้อมูลอันมีค่าเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการฝึกนักบิน โดยงานทดลองของ Naval Air Warfare Center Training Systems Division^[12] หน่วยงานในสังกัดกองทัพสหรัฐอเมริกา ซึ่งใช้ระบบการฝึก T-6B PTN VR-PTT ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่เน้นย้ำถึงความสำเร็จของระบบฝึกซ้อมด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในสถานการณ์การฝึกซ้อมต่างๆ ในทำนองเดียวกัน การศึกษาของ Zhang^[13] ให้หลักฐานสนับสนุนประสิทธิภาพของเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของนักบินและประสบการณ์ของผู้ใช้

ความท้าทายและข้อจำกัด

แม้ว่าจะมีข้อดีหลายประการ การฝึกซ้อมด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ก็ต้องเผชิญกับความท้าทายหลายประการเช่นกัน ปัญหาทางเทคนิค เช่น มุมมองที่จำกัด และความชัดเจนของภาพอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการจำลอง เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ผู้ใช้อาจประสบกับความเจ็บป่วยทางไซเบอร์ ความสับสน และผลข้างเคียงอื่นๆ ซึ่งอาจขัดขวางการฝึกซ้อม นอกจากนี้ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาระบบเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) แม้ว่าจะต่ำกว่าเครื่องจำลองแบบดั้งเดิม แต่ก็ยังอาจเป็นอุปสรรคสำหรับบางองค์กรได้

แนวโน้มในอนาคตและคำแนะนำ

อนาคตของเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการฝึกนักบินมีแนวโน้มที่ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยมีศักยภาพในการปรับปรุงฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และระเบียบวิธีการฝึกซ้อม เพื่อผสมรวมเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) เข้ากับหลักสูตรการฝึกซ้อมต่างๆ ได้อย่างเต็มที่ จึงจำเป็นต้องแก้ไขความท้าทายในปัจจุบัน และ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

สำรวจการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง การวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพของ ระบบเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) สำหรับการฝึกนักบินและขยายการใช้งาน เพื่อให้ครอบคลุมสถานการณ์การฝึกที่หลากหลายยิ่งขึ้น

บทสรุป

โดยสรุปเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) มีศักยภาพอย่างมาก ในการนำมาเพิ่มประสิทธิภาพการฝึกนักบิน T-6 ของกองทัพอากาศไทย และยังให้ความสำคัญกับความปลอดภัย และความสามารถในการสร้างทักษะความสามารถของนักบิน ทำให้เป็นทางเลือกที่น่าสนใจแทนเครื่องจำลองการบินแบบเดิม ด้วยการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) กองทัพอากาศไทยสามารถปรับปรุงผลการฝึกอบรม ลดต้นทุน และเตรียมนักบินให้พร้อมสำหรับการบินสมัยใหม่ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Baarspul, M. (1990). Historical review of flight simulation. *Simulation Practice and Theory, 1*(1), 13-26.
2. Beckman, W. S. (2000). The effectiveness of a personal computer aviation training device, a flight training device, and an airplane in conducting instrument proficiency checks. *The International Journal of Aviation Psychology, 10*(3), 287-295.
3. Brennesholtz, M. S. (2018). Introduction to virtual reality. In *Virtual reality and augmented reality* (pp. 1-35). Springer, Cham.
4. Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
5. Chang, C. Y., Hsu, C. H., Lai, C. H., & Chang, Y. C. (2019). A comparison study of virtual reality training for simulated maintenance tasks in the aerospace industry. *Interactive Learning Environments, 27*(7), 904-920.
6. Ertmer, P. A., & Newby, T. J. (2013). Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance Improvement Quarterly, 26*(2), 43-71.
7. Federal Aviation Administration (FAA). (2018). *Pilot's handbook of aeronautical knowledge* (FAA-H-8083-25B). U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
8. Gheorghiu, R. (2013). Flight simulation: Virtual environments in aviation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 83*, 675-679.
9. Grabowski, A., & Jankowski, J. (2014). Virtual reality-based pilot training for the mining industry. *International Journal of Human-Computer Interaction, 30*(10), 829-839.
10. Homan, J. M., & Williams, D. B. (1997). The effectiveness of a personal computer aviation training device for instrument training. *The International Journal of Aviation Psychology, 7*(2), 123-132.
11. Jones, H. R., Sutherland, I., & Jaffe, M. (1985). The role of simulation in training. In *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting* (Vol. 29, No. 1, pp. 417-419). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
12. Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. (2006). *Evaluating training programs: The four levels* (3rd ed.). Berrett-Koehler Publishers.
13. Koonce, J. M., & Bramble, W. J. (1998). *Flight simulation: An overview*. Springer Science & Business Media.
14. Kraiger, K., Ford, J. K., & Salas, E. (1993). Application of cognitive, skill-based, and affective theories of learning outcomes to new methods of training evaluation. *Journal of Applied Psychology, 78*(2), 311-328.
15. LaViola, J. J. (2000). A discussion of cybersickness in virtual environments. *ACM SIGCHI Bulletin, 32*(1), 47-56.
16. Lee, J. D. (2009). Review of cognitive and functional fidelity in simulation training. *Human Factors, 51*(3), 315-327.
17. Lintern, G., Roscoe, S. N., Koonce, J. M., & Segal, L. D. (1997). Transfer of landing skills in beginning flight training. *Human Factors, 39*(2), 154-165.
18. Liu, D., Macchiarella, N. D., & Vincenzi, D. A. (2008). Simulation fidelity. In *Handbook of aviation human factors* (pp. 469-492). CRC Press.
19. McDermott, P. L. (2005). PCATD vs. FTD: A comparative study of instrument proficiency checks. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research, 14*(3), 53-64.

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

20. Myers, T. W., Mills, S. H., & Stimson, B. C. (2018). Simulator sickness and the use of virtual reality in flight simulation. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research, 27*(1), 29-47.
21. Norris, C., Spicer, R., & Byrd, J. (2019). Virtual reality training in military aviation: A systematic review. *Military Psychology, 31*(2), 134-147.
22. Oberhauser, R., Lecon, C., & Norrie, M. C. (2018). Virtual and augmented reality to enhance flight training. In *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)* (pp. 46-50). IEEE.
23. O'Malley, M. K., Gupta, A., Genovese, B., & O'Malley, R. (2016). Motion platform effects on pilot training transfer of control skills. *Human Factors, 58*(8), 1358-1373.
24. Ortiz, A. (1993). The effectiveness of a personal computer-based aviation training device in teaching navigation procedures. *The International Journal of Aviation Psychology, 3*(4), 259-271.
25. Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology, 110*(6), 785-797.
26. Reweti, S. M., Flinn, N. M., & Tidhar, G. (2017). Comparing the effectiveness of personal computer-based aviation training devices and flight training devices for visual flight rules tasks. *Aviation Psychology and Applied Human Factors, 7*(2), 78-88.
27. Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics, 31*(9), 1005-1017.
28. Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nature Reviews Neuroscience, 6*(4), 332-339.
29. Talleur, D. A., Taylor, H. L., Emanuel, T. W., Rantanen, E. M., & Bradshaw, G. L. (2003). Personal computer aviation training devices: Their effectiveness for maintaining instrument currency. *The International Journal of Aviation Psychology, 13*(4), 387-400.
30. Taylor, H. L., Lintern, G., Hulin, C. L., & Emanuel, T. W. (1999). Transfer of training effectiveness of a personal computer aviation training device. *The International Journal of Aviation Psychology, 9*(3), 243-264.
31. Thompson, D., Solomon, G., & Matthews, G. (2008). Simulation-based training for emergency response: Evaluation of fidelity and transfer. *Military Psychology, 20*(1), 1-21.
32. Vankipuram, M., Kahol, K., & Smith, M. (2010). Virtual reality-based surgical training: A comparative study. *Journal of Surgical Education, 67*(5), 475-480.
33. Viden, T., & Hall, R. W. (2005). Meta-analysis of the effect of simulator platform motion. *Journal of Aircraft, 42*(4), 820-827.
34. Yavrucu, T., Çakmak, T., Erzin, E., & Gürkan, O. K. (2011). History of virtual reality. *Procedia Computer Science, 3*, 217-222.
35. Zhang, T. (2022). Comparing training effects of virtual reality flight simulation to conventional PC-based flight simulation. Doctoral Dissertations and Master's Theses, Embry-Riddle Aeronautical University

การนำระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ เพื่อจำลองการฝึกซ้อมการใช้กำลังทางทหาร

Implementation of War Gaming Simulation for simulate military task force exercise.

นาวาอากาศโท พัฒน์ วินมูน (Wing Commander Phat Winmoon)

ประธานกรรมการ, บริษัท ดับบลิวเอ็ม ซิมูเลเตอร์ จำกัด, phatwinmoon@gmail.com

บทคัดย่อ: ระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) ในรูปแบบการจำลองการฝึกเสมือนจริงนั้นออกแบบคิดค้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขีดความสามารถและเพิ่มประสิทธิภาพให้ผู้รับการฝึกด้านการวางแผนทางยุทธวิธีและเตรียมการรับมือเหตุการณ์ต่างๆ ที่มีสถานะแวดล้อมที่แตกต่างกันไป โดยการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่ยากต่อการรับมือนั้นเพื่อเป็นการทบทวนฝึกฝนทักษะ ซึ่งนำไปสู่การช่วยลดความเสี่ยงอันตรายในการฝึกจริง โดยการจำลองสถานการณ์ในการฝึกและสถานที่ภายใต้ระบบ War Gaming Simulation ทำให้การควบคุมสถานการณ์ และการใช้ข้อมูลประกอบการฝึก ทำให้หน่วยงานในสังกัดต่าง ๆ สามารถทำการฝึกได้อย่างสมจริงและมีความหลากหลาย การสนับสนุนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศด้วยการพัฒนาระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) เพื่อใช้ในการฝึกฝนทักษะการปฏิบัติการทางยุทธวิธีของหน่วยรบต่าง ๆ ทั้ง หน่วยกำลังรบทั้ง 3 มิติ (บก เรือ อากาศ) หน่วยสนับสนุนการช่วยรบ หน่วยส่งกำลังบำรุง และหน่วยงานด้านการข่าว ซึ่งสามารถจำลองรูปแบบการปฏิบัติการภารกิจทางยุทธวิธี เพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการเตรียมกำลังกองทัพ ความชำนาญ และประสบการณ์แก่บุคลากรในสังกัดต่าง ๆ ก่อนปฏิบัติงานจริง ซึ่งระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) จึงเป็นการพัฒนาทักษะเพิ่มประสิทธิภาพ ความชำนาญ ลดการสูญเสีย อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการฝึกการตัดสินใจสำหรับตัวผู้ฝึกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฝึกการใช้ยุทธโปกรณ์ ยุทธวิธี และเป็นการเตรียมตัวก่อนไปปฏิบัติงานจริง

คำสำคัญ: ระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์, การจำลองยุทธ์

Implementation of War Gaming Simulation for simulate military task force exercise.

Wing Commander Phat Winmoon

Chairman, WM Simulator Company Limited, phatwinmoon@gmail.com

ABSTRACT: The War Gaming Simulation system, in the form of a virtual combat training simulation, is designed to develop capabilities and increase efficiency, providing trainees with tactical planning and preparation for various events in a range of environmental conditions. This is achieved by simulating various situations, especially the more difficult ones, to allow proper practice and preparedness for worst-case scenarios. Moreover, it reduces the risk of danger in practical training sessions. By simulating these situations and locations under the War Gaming Simulation system, the situation can be controlled, and the data produced from the training will serve as a foundation for the most realistic training when our affiliated divisions use the simulation. This directly supports the national defense industry by developing a War Gaming Simulation system to practice tactical operational skills of various combat units, including 3D combat units (land, ship, air), support units, battle logistics units, and news agencies, allowing them to simulate tactical mission operations. Furthermore, this increases the efficiency and effectiveness in the preparation of Army personnel, improving their expertise and battle-readiness in various departments before actual operations.

KEYWORDS: strategy simulation system, strategy simulation

บทนำ

การป้องกันประเทศและการรักษาอธิปไตยด้วยการเตรียมพร้อมของกองกำลังทางทหารทั้ง 3 มิติ (บก เรือ อากาศ) จำเป็นต้องมีการเตรียมความพร้อมของกำลังรบในทุก ๆ ด้าน โดยเฉพาะการฝึกซ้อมรบด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้มีกองกำลังที่เข้มแข็ง พร้อมในการทำการรบด้วยยุทธวิธีต่าง ๆ จำเป็นต้องมีเครื่องมือเข้ามาช่วยให้การฝึกซ้อมมีประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยม ได้รับประสิทธิผลเป็นที่น่าพอใจ ส่งผลให้ประเทศชาติมีความแข็งแกร่ง และสงบร่มเย็น ด้วยการพัฒนาวิธีการซ้อมรบแบบการจำลองยุทธ์ ซึ่งเป็นการเตรียมพร้อมให้กองกำลังมีความพร้อมทำการรบด้วยยุทธวิธีที่เหมาะสมและดีที่สุด โดยการจำลองยุทธ์ทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการทำการจำลองด้วยการวางแผน ด้วยวิธีการทำ Table Top ด้วยวิธีการสร้างสถานการณ์ต่าง ๆ รวมถึงการจำลองด้วย Software War Gaming Simulation ที่หลายประเทศได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในขณะนี้ เนื่องจากให้ประสิทธิผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงด้วยการจำลองแบบทางยุทธวิธี และสถานการณ์ที่สร้างขึ้นให้ ผู้ฝึกได้เรียนรู้หลักนิยามด้านการวางแผน ด้านยุทธวิธี ยุทธศาสตร์ ทำให้การจำลองยุทธ์โดยใช้ Software War Gaming Simulation ช่วยให้การฝึกเป็นไปได้อย่างสมจริง ตามหลักการ และเหตุผล ซึ่งส่งผลให้ผู้ฝึกได้รับการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยในบทความนี้จะอธิบายถึงการทำงานของระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) ซึ่งมีความซับซ้อน และจะกล่าวถึงการใช้งานให้เห็นถึงความสำคัญในการนำมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยจะอธิบายถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของการทำงานของ Software และการนำมาใช้อย่างถูกต้อง การให้ผู้ฝึกหรือผู้จัดการการฝึกเข้าใจในการทำงานและการใช้งาน รวมไปถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการฝึกด้วยระบบจำลองยุทธ์ที่สามารถสนับสนุนการฝึกในด้านต่าง ๆ และให้เห็นถึงข้อดี ข้อเสียในการนำเอาระบบจำลองยุทธ์มาใช้งาน ด้วยวัตถุประสงค์ในการซ้อมรบเพื่อเตรียมความพร้อมให้กับหน่วยรบต่าง ๆ และหน่วยสนับสนุนที่เกี่ยวข้องมีความพร้อมในการป้องกันประเทศและปกป้อง

อธิปไตย เพื่อให้เกิดความแข็งแกร่งของกองกำลังและความสงบร่มเย็นของประเทศชาติ

การสนับสนุนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศด้วยการพัฒนาระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) เพื่อใช้ในการฝึกฝนทักษะการปฏิบัติการทางยุทธวิธีของหน่วยรบต่าง ๆ ทั้ง หน่วยกำลังรบทั้ง 3 มิติ (บก เรือ อากาศ) หน่วยสนับสนุนการช่วยรบ หน่วยส่งกำลังบำรุง และหน่วยงานด้านการข่าว

ในปัจจุบันเทคโนโลยี (War Gaming Simulation) ที่เป็นเทคโนโลยีที่ผ่านการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดที่มีความสามารถที่จะนำมาใช้ร่วมกับระบบ Direct AI แบบ Real-Time และสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการในการฝึกในขณะทำการฝึกได้อีกด้วย เช่นการปรับเปลี่ยนรูปแบบการรบ (Doctrine) ปรับเปลี่ยน Unit ต่าง ๆ ปรับเปลี่ยนศักยภาพยุทธโธปกรณ์ เป็นต้น

โดยการทำงานของระบบจำลองยุทธ์เป็นการพัฒนา Software ด้านการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อให้หน่วยต่าง ๆ (Unit) ทำการรบในระบบแล้วนำมาแสดงผลภาพระบบ 2D ในหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงถึงภาพรวมในการทำการรบในพื้นที่ที่กำหนดไว้ในแผนที่ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสนามรบต่าง ๆ ที่ต้องการจำลองยุทธ์

การใช้งานระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) เป็นการนำเอาแผนการรบที่ได้จัดเตรียมไว้ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นมาทำการจำลอง (Simulation) เพื่อให้เห็นถึงข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ในการทำการรบในระบบจำลองยุทธ์ ตามที่ได้จัดเตรียมไว้ โดยมีการสั่งการจากหน่วยต่าง ๆ แล้วนำเอามาใส่ข้อมูลในแง่หลักนิยม และยุทธวิธีในการทำการรบที่ได้วางแผนไว้ โดยการใช้งานในแต่ละหน่วยจะมีคำสั่งการทำภารกิจ (Mission) ที่แตกต่างกันไป เช่น หน่วยรบ หน่วยส่งกำลังบำรุง หน่วยการข่าว และหน่วยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ทั้งนี้อีกความสามารถของระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) ยังสามารถจำลองภัยพิบัติทางธรรมชาติได้อีกด้วย ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วม การกระจายของสารพิษ ที่เป็นหน่วย

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ช่วยเหลือทางพลเรือน เช่น นักดับเพลิง ตำรวจ แพทย์ พยาบาล เป็นต้น ซึ่งการใช้งานด้านภัยพิบัติทางธรรมชาติต่าง ๆ สามารถทำได้เสมือนการจำลองการรบ คือต้องมีการใส่ข้อมูลที่สำคัญลงไปในระบบจำลอง (Simulation) ทั้งด้านการสร้างสถานการณ์ การจำลองด้วย Unit ต่าง ๆ ล้วนแล้วมีความสำคัญในการจำลอง ซึ่งการนำไปใช้งานนั้น เป็นการนำเอาสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการจำลองมาทำการเตรียมข้อมูล และการวางแผนตามที่ต้องการในการจำลอง มาทำการจัดวางในระบบจำลอง แล้วเข้าสู่ขบวนการจำลองด้วยการให้ภารกิจ และคำสั่งต่าง ๆ ลงไปใน Unit ต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการจำลอง (Simulation) โดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่ถูกต้องที่ได้วางแผนไว้ในตอนแรก

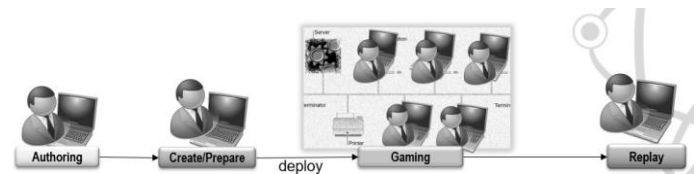
ผู้ได้รับการฝึกสามารถเตรียมความพร้อมก่อนเผชิญสถานการณ์จริงและสามารถทำการตัดสินใจเมื่อเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินได้อย่างแม่นยำและเหมาะสมต่อเหตุการณ์ ครูฝึกสามารถนำเสนอบทเรียนที่เหตุการณ์จริงไม่สามารถดำเนินการฝึกได้และยังสามารถตั้งค่าการฝึกต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ ระบบเครื่องช่วยฝึกฯ สามารถสร้างให้เกิดการประสานสอดคล้องระหว่างต่อเจ้าหน้าที่และระบบการปฏิบัติการและการสื่อสารภายในทีมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ระบบเครื่องช่วยฝึกฯ เป็นเครื่องมือทางการวางแผนที่ผู้บัญชาการรบและฝ่ายอำนวยการสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

การทำงานของระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation)

การทำงานของระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) มีการทำงานด้วยกัน 4 รูปแบบ ซึ่งเป็นการแบ่งขั้นตอนการทำงานไว้เพื่อความสะดวกและเข้าใจได้ง่ายในการทำงาน เพื่อสะดวกในการปรับแต่ง เตรียมพร้อมด้านข้อมูล การใช้งานจำลองยุทธ์ และการรายงานผลการจำลองหลังการทำการรบเสร็จสิ้นตามแผน โดยในแต่ละขั้นตอน จำเป็นต้องมีผู้ที่เข้าใจในการทำงานของ Software เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องสมบูรณ์ ตามแผนที่ได้วางไว้ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

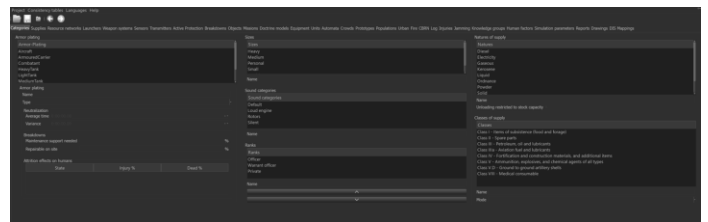
1. ขั้นตอนปรับแต่งข้อมูลต่าง ๆ (Authoring)

2. ขั้นตอนการเตรียมการจำลองในสถานการณ์ต่าง ๆ (Preparation)
3. ขั้นตอนการเริ่มการจำลองยุทธ์ (Gaming)
4. ขั้นตอนการรายงาน และวิเคราะห์ผลลัพธ์การจำลองยุทธ์ (After Action Review)



ภาพที่ 1 การทำงานระบบจำลองยุทธ์

ขั้นตอนปรับแต่งข้อมูลต่าง ๆ (Authoring) เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง โดยการจัดการข้อมูลต่าง ๆ ของ Unit ต่าง ๆ ให้มีค่าที่ตรงกับความเป็นจริงของ Unit เช่น อุปกรณ์ สมรรถนะของยานพาหนะ อาวุธยุทธโปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงการปฏิบัติตามคำสั่งของหน่วยต่าง ๆ (Unit) รวมถึงการเตรียมข้อมูลของภูมิภาคตามตำบลที่ตั้งต่าง ๆ ในการฝึก ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล ความสูงของพื้นที่ ถนน แม่น้ำ ป่า เขา ถนน หมู่บ้าน แหล่งน้ำ ล้วนแล้วแต่มีผลกับการรบ ซึ่งระบบจำลองยุทธ์นำเอาข้อมูลที่ว่ามานี้มาคำนวณในการจำลองให้เสมือนจริง (Simulation)



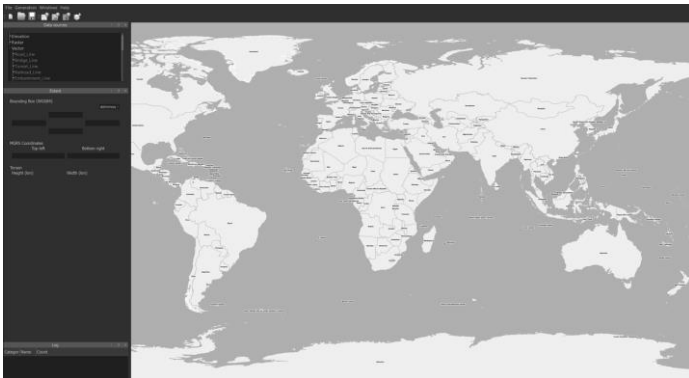
ภาพที่ 2 รูปแบบการปรับแต่งข้อมูล

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลด้านภูมิศาสตร์ และฐานที่ตั้งต่าง ๆ ที่ต้องทำการเตรียมข้อมูลให้สมบูรณ์ครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นทางด้าน ภูมิศาสตร์ ทางบก ทางทะเล ความสูงของพื้นดิน ถนน แม่น้ำ ป่าไม้ พื้นดินที่มีความแตกต่างกันด้านกายภาพ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ถูกต้องตามความเป็นจริง จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่นำเชื่อถือได้ เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลความสูงจากดาวเทียม แผนที่ทางการทหารที่ถูกต้องแล้วนำมานำเข้าข้อมูลเพื่อให้ Software ทำการจำลองพื้นที่

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

เหล่านั้นนำมาใช้งานได้อย่างถูกต้อง โดยข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

1. ข้อมูลความสูง เช่น ข้อมูลประเภท DTED DEM เป็นต้น
2. ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ต่าง ๆ ที่เป็นพื้นที่ลักษณะแตกต่างกัน เช่น Raster เป็นต้น
3. ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ต่าง ๆ ที่เป็นวัตถุต่าง ๆ เช่น Vector Data, Shape Files Format



ภาพที่ 3 การเตรียมข้อมูลภูมิศาสตร์

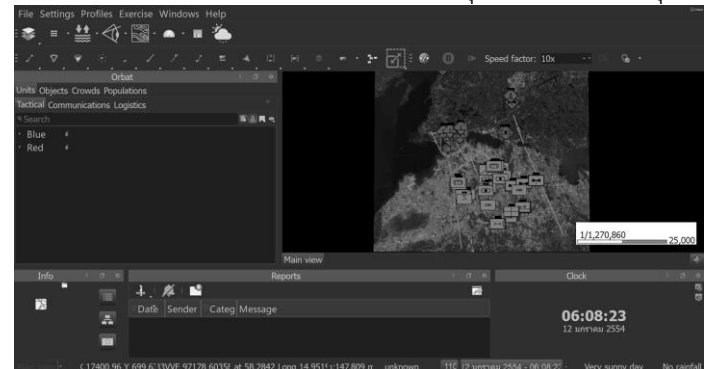
ขั้นตอนการเตรียมการจำลองในสถานการณ์ต่าง ๆ (Preparation) เป็นขั้นตอนในการเตรียมหน่วยต่าง ๆ ทรัพยากรต่าง ๆ รวมทั้ง ยุทธโธปกรณ์ เพื่อให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ซึ่งการเตรียมการจำลองคือการจัดวางสถานการณ์ที่ต้องการให้ระบบจำลองทำงาน



ภาพที่ 4 การเตรียมข้อมูลสถานการณ์

ขั้นตอนการเริ่มการจำลองยุทธ (Gaming) คือขั้นตอนการนำเอาแผนที่จัดเตรียมไว้จากการทำขั้นตอนเตรียมการ โดยการนำมาจำลอง เพื่อให้หน่วยต่างๆ ทำการ

ปฏิบัติการตามคำสั่งการ และสามารถเห็นผลลัพธ์ในการจำลองแบบ Realtime ซึ่งทำให้เป็นการประกอบการตัดสินใจในการสั่งการในคำสั่งต่อไป ใช้หลักนิยม ยุทธศาสตร์ เพื่อเป็นไปตามที่ต้องการ ระบบจะนำเอาข้อมูลที่ได้รับการปรับแต่งไว้เบื้องต้นมาทำการตัดสินใจในแบบอัตโนมัติ ด้วยการทำงานของระบบ Direct AI จะทำให้การจำลองยุทธสมจริงมากที่สุด



ภาพที่ 5 การทำการจำลองยุทธ

ขั้นตอนการรายงาน และวิเคราะห์ผลลัพธ์การจำลองยุทธ (After Action Review) เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์การทำงานระบบจำลองทั้งในด้านการสรุปรายงานขณะทำการจำลอง หรือหลังทำการจำลอง ทำให้ทราบผลเป็นข้อมูลที่จัดต้องได้ และสามารถนำไปประกอบการรายงานการทำงาน ของระบบการจำลองยุทธ ซึ่งจะทำให้เป็นความเป็นไปได้ทั้งด้านการวางแผน การใช้หลักนิยม การทำการปฏิบัติตามหลักยุทธศาสตร์ โดยการรายงานเป็นการรายงานที่เห็นในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แผนที่ภูมิ ข้อมูลทางตัวเลข ผลลัพธ์การทำงาน ซึ่งมีรูปแบบที่เป็นคะแนนในด้านต่าง ๆ เพื่อนำไปประกอบการวางแผนในครั้งต่อไปได้ หรือการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ

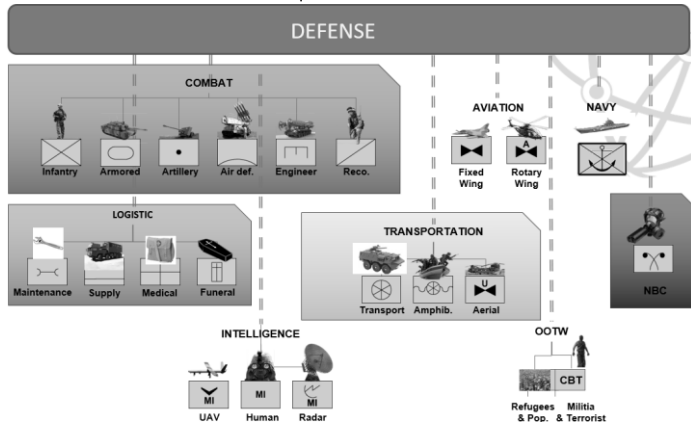


ภาพที่ 6 การรายงานหลังการฝึก

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

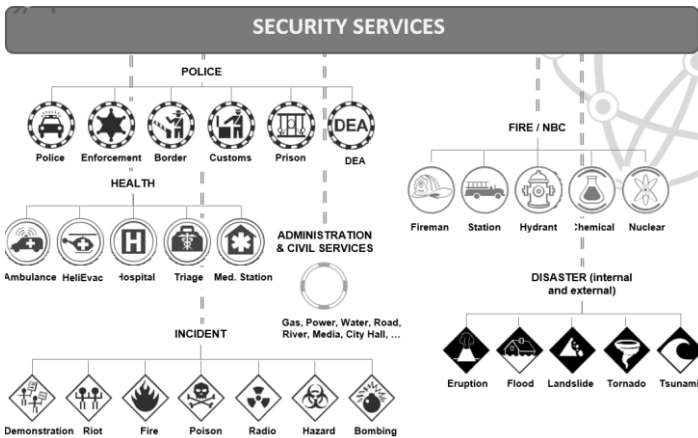
การใช้งานระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation)

การใช้งานระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) สามารถทำได้หลายวิธี เนื่องจากตัว Software ที่พัฒนามีความหลากหลายในการทำงานและในการจำลอง เช่นการจำลองการรบ หรือการจำลองด้านการบรรเทาสาธารณภัยต่าง ๆ



ภาพที่ 7 หน่วยการจำลองทางทหาร

การจำลองยังสามารถจำลองการทำงานของหน่วยบรรเทาสาธารณภัยต่าง ๆ เช่น ตำรวจ แพทย์ พยาบาล นักดับเพลิง เป็นต้น การการจำลองที่สามารถทำได้หลากหลายสถานการณ์ทำให้ตัว Software มีความสามารถที่หลากหลาย และสามารถฝึกได้หลายหน่วยงาน เช่น เหตุการณ์ในการเกิดเพลิงไหม้ น้ำท่วม การแพร่กระจายของสารเคมี



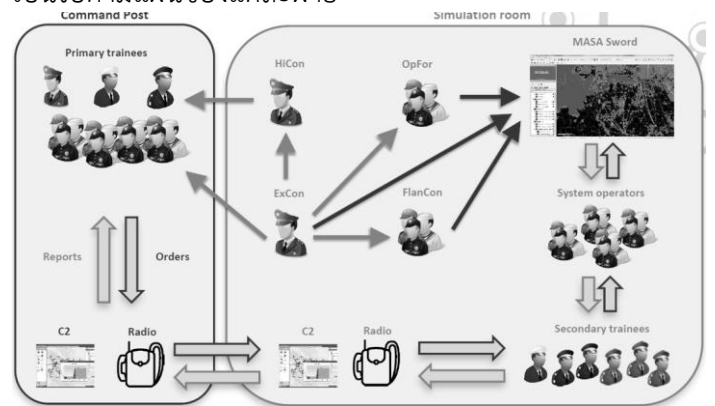
ภาพที่ 8 การจำลองหน่วยการบรรเทาสาธารณภัย

การจำลองยุทธ์สามารถทำได้โดยการจำลองหน่วยและฝ่ายต่าง ๆ จำลองเหตุการณ์ด้วยการ Simulate ค่าต่าง ๆ

ที่ได้ใส่ข้อมูลไว้โดยการจำลองสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งเป็นรูปหลัก ๆ ได้ตามนี้

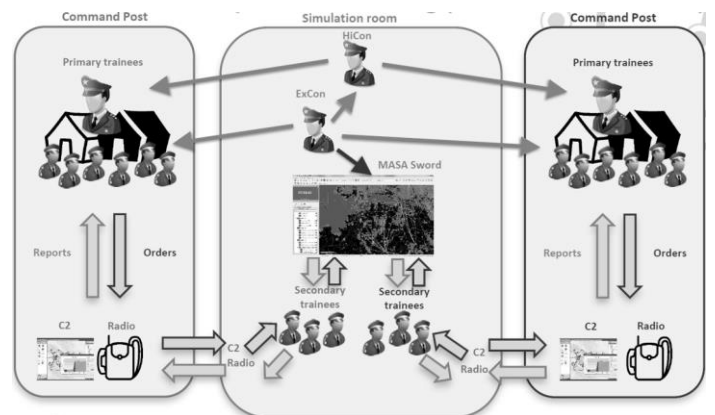
- 1. การจำลองแบบ Cell เดียว
- 2. การจำลองแบบ 3 Cell
- 3. การจำลองเต็มรูปแบบ
- 4. การจำลองแบบ Joint

การจำลองแบบ Cell เดียว คือการจำลองโดยในแต่ละฝ่ายได้สั่งการมาที่หน่วยใส่ข้อมูลที่เดียวกัน แล้วให้เจ้าหน้าที่ทำหน้าที่ในการจัดการข้อมูลคำสั่งใน Software เพื่อให้เป็นไปตามแผนของแต่ละฝ่าย



ภาพที่ 9 การจำลองแบบ Cell เดียว

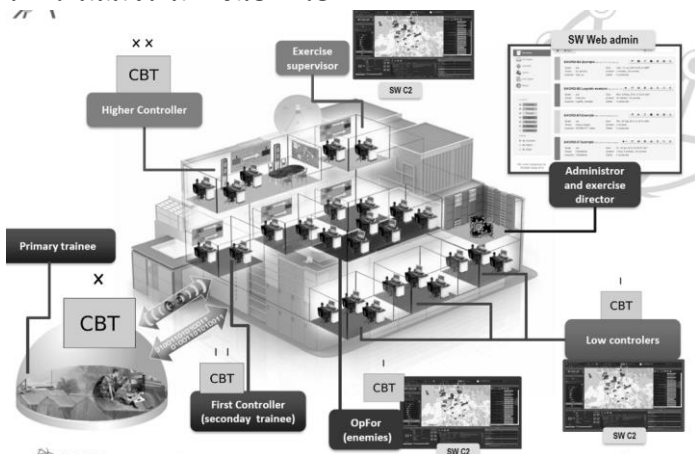
การจำลองแบบ 3 Cell คือการจำลองแบบในแต่ละหน่วยและแต่ละฝ่ายมี Software เพื่อใส่คำสั่งข้อมูลในแต่ละฝ่ายได้ โดยอาจจะแบ่งเป็นฝ่ายน้ำเงิน ฝ่ายแดง และผู้ควบคุมการฝึกซ้อม เพื่อให้เกิดความสะดวกในการจำลองคำสั่งการต่างๆ



ภาพที่ 10 การจำลองแบบ 3 Cell

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

การจำลองแบบเต็มรูปแบบ คือการจำลองด้วยการให้แต่ละหน่วยแต่ละฝ่ายมี **Software** ในหน่วยของตนเอง ซึ่งจะทำให้การจำลองสมจริงมากยิ่งขึ้น โดยในแต่ละหน่วยจะได้อวางแผนและรับคำสั่ง หรือการวางแผนเป็นอิสระแยกออกจากกัน ซึ่งทำให้การสั่งการ หรือการวางยุทธวิธีเป็นไปด้วยความเสมือนจริง และควบคุมสั่งการได้ตามสายการบังคับบัญชา ซึ่งทำให้การจำลองสามารถจำลองได้ซับซ้อนมากขึ้น ได้รับความสมจริงมากขึ้นอีกด้วย



ภาพที่ 11 การจำลองแบบเต็มรูปแบบ

การจำลองแบบ Joint คือการจำลองแบบการรบร่วมกับหน่วยอื่น ๆ ที่อยู่ต่างสถานที่กันเพื่อให้การจำลองใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด คือการแยกการสั่งการในแต่ละมิติการรบทั้ง 3 มิติ (บก เรือ อากาศ) สามารถทำการรบร่วมกัน และสร้างสถานการณ์การสื่อสาร การสั่งการร่วมกันเป็นภาพใหญ่

สรุป

โดยสรุปการป้องกันประเทศและการรักษาอธิปไตยด้วยการเตรียมพร้อมของกองกำลังทางทหารทั้ง 3 มิติ (บก เรือ อากาศ) จำเป็นต้องมีการเตรียมความพร้อมของกำลังรบในทุก ๆ ด้าน โดยเฉพาะการฝึกซ้อมรบด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้มีกองกำลังที่เข้มแข็ง พร้อมในการทำการรบด้วยยุทธวิธีต่าง ๆ จำเป็นต้องมีเครื่องมือเข้ามาช่วยให้การฝึกซ้อมมีประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยม ได้รับประสิทธิผลเป็นที่น่าพอใจ ส่งผลให้ประเทศชาติมีความแข็งแกร่ง และสงบร่มเย็น ด้วยการพัฒนาวีธีการซ้อมรบแบบการจำลองยุทธ์ ซึ่งเป็นการ

เตรียมพร้อมให้กองกำลังมีความพร้อมทำการรบด้วยยุทธวิธีที่เหมาะสมและดีที่สุด สามารถทำการฝึกได้อย่างสมจริงและมีความหลากหลาย การสนับสนุนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศด้วยการพัฒนาระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธ์ (War Gaming Simulation) เพื่อใช้ในการฝึกฝนทักษะการปฏิบัติการทางยุทธวิธีของหน่วยรบต่าง ๆ ทั้ง หน่วยกำลังรบทั้ง 3 มิติ (บก เรือ อากาศ) หน่วยสนับสนุนการช่วยรบ หน่วยส่งกำลังบำรุง และหน่วยงานด้านการข่าว ซึ่งสามารถจำลองรูปแบบการปฏิบัติการภารกิจทางยุทธวิธี เพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการเตรียมกำลังกองทัพ ความชำนาญ และประสบการณ์แก่บุคลากรในสังกัดต่าง ๆ ก่อนปฏิบัติงานจริง

ความสามารถในการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการฝึกซ้อมโดยจะมีความสามารถของ Software ให้ครูฝึกได้ตรวจสอบผลการฝึก และติดตามผลระหว่างฝึก เพื่อให้สำเร็จหรือลุล่วงจากภารกิจการฝึกที่ได้ตั้งค่าเอาไว้ ผู้ฝึกเกิดการพัฒนาทักษะ การแก้ปัญหา มีความพร้อมรับสถานการณ์อยู่เสมอ สามารถสร้างให้เกิดการประสานสอดคล้องระหว่างต่อเจ้าหน้าที่และระบบการปฏิบัติการและการสื่อสารภายในทีมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ระบบเครื่องช่วยฝึกฯ เป็นเครื่องมือทางการวางแผนที่ ผู้บัญชาการรบและฝ่ายอำนวยการสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

การสร้างอาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าในโลกเสมือน
**The Implementation of Headquarters
 of Chulachomklao Royal Military Academy Building in Virtual World**

¹ปรเมศวร์ กุมารบุญ (Poramez Kumarnboon)

²เผติม หนึ่งสือ (Phaderm Nangsue)

³อาศิส บุญยะประภัสร์ (Arsit Boonyaprapasorn)

⁴อวิชิ ไวทยารัตเน (Avishi Waidyaratne)

⁵ลัญจนกร วุฒิสัทติกุลกิจ (Lunchakorn Wuttisittikuljij)

⁶Khamxay leevangtou

⁷Dueanmoua YASENG

⁸Panetavanh Xaiyaphet

⁹Khanthalee SEEVILAY

¹นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมและเทคโนโลยีป้องกันประเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²รองศาสตราจารย์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

⁴นิสิตปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

⁵ศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

⁶คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

⁷คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว

⁸คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว

⁹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ เป็นการสร้างอาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าในโลกเสมือน 3 มิติ โดยปัญหาของคณะผู้วิจัยไม่มีแบบแปลนของอาคารเป็นต้นแบบ จึงนำเสนอแนวคิดการสร้างอาคารในโลกเสมือนโดยเริ่มต้นจากการสำรวจ วัดพื้นที่ด้วยมือ นำภาพจากดาวเทียม (กูเกิล เอิร์ธ) มาประกอบการคำนวณหาขนาดของอาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และห้องรับรองสุโขทัยเพื่อให้ได้ขนาดจริงครบถ้วนทุกมิติ แล้วนำค่าที่ได้ไปขึ้นต้นแบบอาคารในโลกเสมือนจริงด้วยโปรแกรม เบลนเดอร์ จากนั้นสร้างห้องรับรองเสมือนเพื่อใช้ต้อนรับผู้มาเยือนออนไลน์ รองรับการบริหารวิทยพิเศษแบบออนไลน์ จัดสัมมนาในโลกเสมือน รวมถึงเป็นแหล่งเรียนรู้ประวัติศาสตร์ความเป็นมาของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า นอกจากนี้อาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าในโลกเสมือนยังเป็นศูนย์กลางการศึกษาและการเรียนรู้งานวิชาการด้านวิศวกรรมป้องกันประเทศสำหรับนักเรียนนายร้อย และบุคคลที่สนใจได้เข้าใช้ศึกษาได้จากทุกสถานที่ที่สามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ทุกเวลา

คำสำคัญ อาคารในโลกเสมือน, สัมมนาในโลกเสมือน, วิศวกรรมป้องกันประเทศ

Abstract

The research article describes the creation of a 3D virtual representation of the headquarters building of Chulachomklao Royal Military Academy. The research team faced the challenge of not having the original blueprints of the building, so they proposed a concept of constructing the building in a virtual world by starting with manual surveying, measuring the area, and using satellite images (Google Earth) to calculate the actual size of the headquarters building and the Sukhothai ceremonial room. They used the obtained measurements to model the building in the virtual world using Blender software. A virtual reception room was then created to welcome online visitors, host online special lectures, seminars in the virtual world, and serve as a historical learning center for the academy. Additionally, the virtual headquarters serves as a center for education and learning in defense engineering for cadets and interested individuals, accessible from anywhere with internet access at any time.

Keyword VR building, virtual seminars, defense engineering

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

Lav. S and Amanpreet. K. (2023) ได้บรรยายถึงงานด้านการทหารกำลังเร่งประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเออาร์ และ วีอาร์ อย่างสูงในทุกมิติ เช่น การฝึกอบรม การจำลองสถานการณ์รบ การรับรู้สถานการณ์ในสนามรบจากเทคโนโลยีฝาแฝดดิจิทัล (Digital twin) และการวางแผนปฏิบัติการภารกิจพิเศษทางทหาร

ดังนั้น การศึกษาวิศวกรรมป้องกันประเทศโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality หรือ VR) จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจยิ่ง ทั้งการออกแบบงานวิศวกรรมที่จะช่วยลดต้นทุน การทำการทดลองทางวิศวกรรมในโลกเสมือนที่จะช่วยป้องกันอันตราย การฝึกอบรมด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality หรือ AR) การซ่อมรถหรือฝึกจู่โจมด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงผสม (Mixed Reality หรือ MR) ที่จะสามารถฝึกซ้อมได้บ่อยเท่าที่ต้องการ แม้แต่ในห้องนอน ตลอดจนการวางแผนรบและประชุมออนไลน์ระหว่างกองพลผ่านเทคโนโลยีความเป็นจริงขยาย (Extended Reality หรือ XR)

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างอาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (จปร.) ในโลกเสมือน เพื่อให้สามารถต่อยอดนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ทั้งการเข้าเยี่ยมชมออนไลน์ การสัมมนาวิชาการห้องรับรองออนไลน์ เป็นแหล่งเรียนรู้ประวัติศาสตร์โรงเรียนนายร้อย จปร. และระบบสื่อการเรียนออนไลน์ (Courseware) สำหรับการแสดงวิดีโอทางวิชาการบนเว็บไซต์เพื่อเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ด้านวิศวกรรมป้องกันประเทศสืบไป

เนื่องด้วยผู้วิจัยไม่มีแบบแปลนอาคาร จึงต้องอาศัยการจัดเก็บรายละเอียดจากสถานที่จริง โดยใช้เครื่องมือ

วัด แล้วจึงนำมาถอดแบบอาคารสำหรับสร้างอาคารในโลกเสมือน จากนั้นได้ขึ้นรูปอาคารในโปรแกรม เบลนเดอร์ได้เป็นแบบจำลอง 3 มิติที่มีขนาดและสีใกล้เคียงกับความจริง

2. การสำรวจ และถอดแบบจากภาพถ่าย

การวิจัยนี้ได้เริ่มต้นทำการสำรวจ ถ่ายภาพ วัดหาระยะห่างระหว่างเสา และความสูงของเพดาน โดยใช้เลเซอร์แทนตลับเมตร เพื่อพยายามถอดแบบหาขนาดของอาคารกองบัญชาการ โรงเรียนนายร้อย จปร. (รูปที่ 1) ทั้งหมด รวมทั้งเก็บรายละเอียดสภาพแวดล้อม วัสดุขนาดอิฐ จากภาพถ่าย



รูปที่ 1 อาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (จปร.)

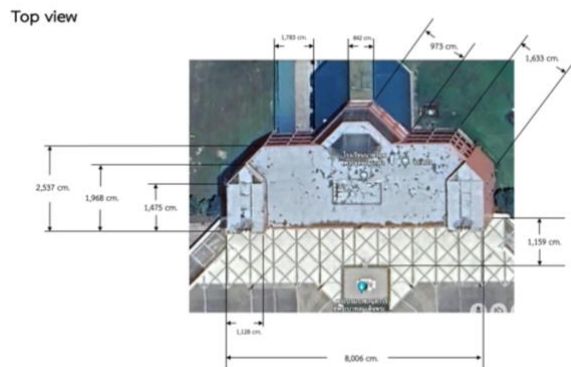
โดยข้อมูลแรกที่ได้คือ ระยะห่างระหว่างเสาส่วนใหญ่มีระยะ 650 cm. และเพดานสูง 390 cm.



รูปที่ 2 การสำรวจ และวัดขนาดอาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร. ด้วยมือ

ในระยะของอาคารที่เกินมือเอื้อมวัดถึง และไม่สามารถวัดได้ง่าย จึงใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Google

earth และเครื่องมือวัดในแพลตฟอร์มดังกล่าว ทำการถอดแบบจากภาพได้รายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3 มุม Top View และถอดขนาดอาคาร กงบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร. จากดาวเทียม



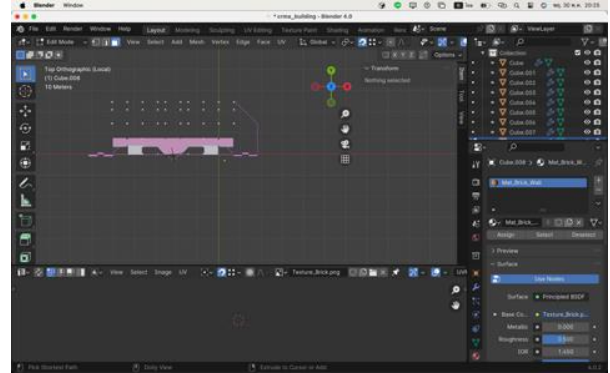
รูปที่ 4 มุม Oblique projection และถอดขนาดอาคาร กงบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร. จากภาพถ่าย

3. การสร้าง (Model) อาคาร กงบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร.

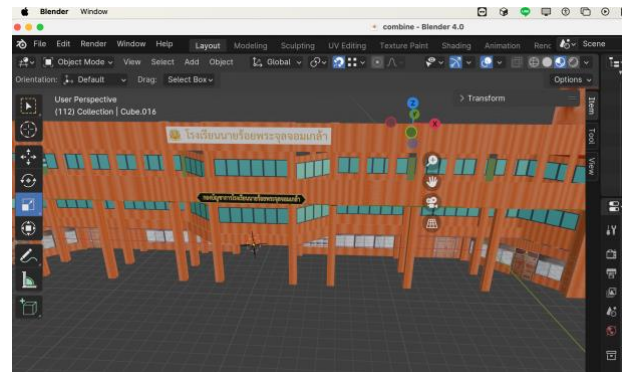
หลังจากการสำรวจ คำนวณถอดแบบได้ขนาด ความสูง ความกว้าง ระยะห่างเสา ความสูงเพดาน และจำนวนเสาของอาคาร กงบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร. ครบทั้ง 3 มิติถูกต้องแล้ว ดำเนินการดังนี้

3.1 โครงสร้างอาคาร

ใส่ข้อมูลขนาดโครงสร้างทั้ง 3 มิติของอาคาร กงบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร. ลงในโปรแกรม Blender ดังนี้



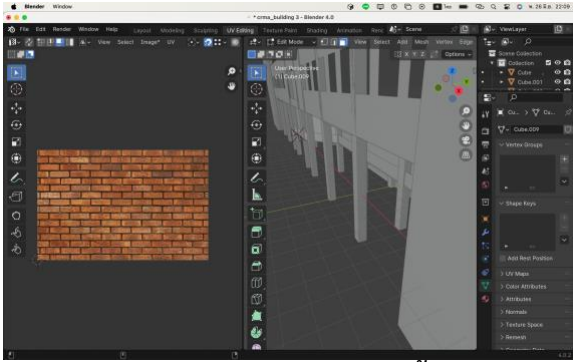
รูปที่ 5 ภาพด้านบน Top View อาคาร กงบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร.



รูปที่ 6 ภาพด้านหน้า Front view อาคาร กงบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร.

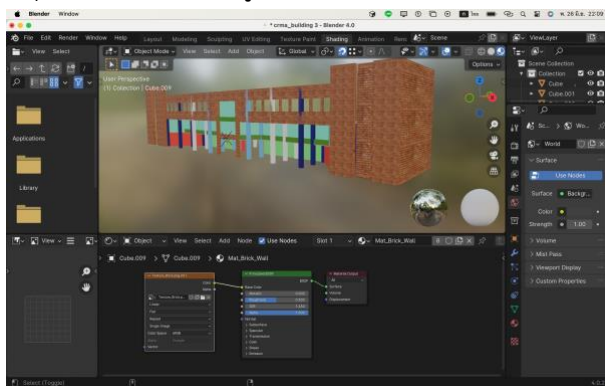
3.2 การสร้างพื้นผิวอาคารเสมือนจริง

เลือกฟังก์ชัน UV Editing นำพื้นผิวอาคารที่เลือก มาวางทาบบนกระดานตาข่าย 3 มิติ ในกระบวนการจำลองบนระนาบ 2 มิติ เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่จะทำการปรับปรุงพื้นผิว (Texture) ของอาคาร ดังรูปที่ 7

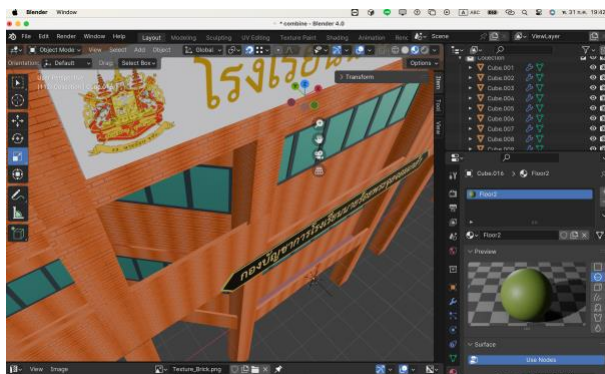


รูปที่ 7 ใช้ UV Editing กำหนดพื้นผิวอาคาร

เลือก Shading คลิกพื้นที่ที่ต้องการแล้วเลือก Control A หรือ Add texture แล้วเลือกไฟล์ภาพอิฐที่มีสีเหมือนอาคารจริง (Texture_bricks.png) ลากเส้นจากล่องจุด color ไปเชื่อมกับล่อง Principled BSDF ที่จุด Base color ดังรูปที่ 8



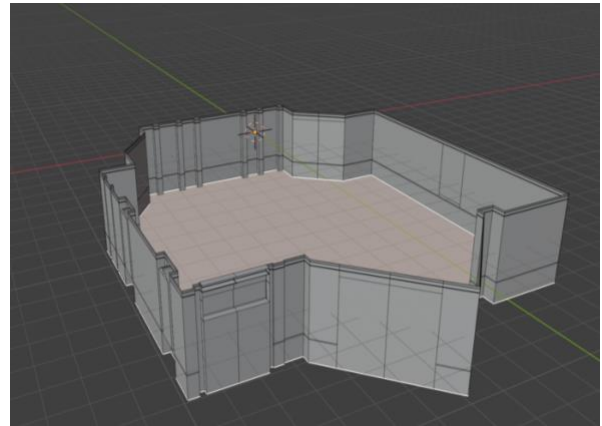
รูปที่ 8 ใช้ Shading เลือกไฟล์สีอิฐใส่พื้นผิว



รูปที่ 9 ใช้ Texture Paint เลือกไฟล์สีอิฐใส่พื้นผิวอาคาร

3.3 การสร้างห้องรับรองสุโขทัย

ห้องรับรองสุโขทัย อยู่ในอาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร. บริเวณชั้น 1 สามารถวัดขนาดบางส่วน และคำนวณขนาดใส่ในโปรแกรม เบลนเดอร์ ได้ภาพดังนี้



รูปที่ 10 การขึ้นโครงสร้างห้องสุโขทัยตามขนาดจริงที่ได้จากการสำรวจ



รูปที่ 11 การใส่รายละเอียดห้องสุโขทัย ภาพและรายนามผู้บัญชาการจากอดีตถึงปัจจุบัน

4. สรุป

การสร้างอาคารในโลกเสมือนจริงเป็นสิ่งสำคัญที่สุดประการหนึ่ง แต่เนื่องด้วยไม่มีแบบแปลนอาคารจึงต้องสำรวจ วัดระยะห่างเสา หาขนาดความสูงด้วยมือ รวมทั้งถอดแบบรายละเอียดสภาพแวดล้อม วัสดุ ขนาดอิฐ จากภาพถ่าย ตลอดจนหาพื้นที่และขนาดต่างๆ จากภาพถ่ายดาวเทียม Google earth ด้วยเครื่องมือวัดในแพลตฟอร์ม

การวิจัยนี้จึงใช้อาคารกองบัญชาการ โรงเรียนนายร้อย จปร. เป็นต้นแบบในการสาคัดถอดแบบหาขนาดนำมาสร้างอาคารในโลกเสมือนจริง

ในส่วนห้องรับรองสุโขทัย อยู่ภายในอาคารกองบัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร. บริเวณชั้น 1 ซึ่งห้องนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง ด้วยมีภาพและนามอดีตผู้บัญชาการโรงเรียนนายร้อย จปร. ทั้งหมด เหมาะสมในการเป็นห้องรับรองเป็น Metaverse Auditorium ต้อนรับผู้มาเยี่ยมชมออนไลน์ (อวาทาร์) ที่จะได้เข้ามาชมรายละเอียดประวัติศาสตร์ในห้องสุโขทัยเสมือนจริงที่สวยงาม และภายในห้องสุโขทัยนี้มีโปรเจกเตอร์และจอขนาดใหญ่ใช้ในการนำเสนอรายงาน สามารถเพิ่มในส่วนของ Courseware ที่เป็นวิดีโอให้เรียนรู้งานวิศวกรรมป้องกันประเทศ ดังวัตถุประสงค์การวิจัยนี้ได้

5. บรรณานุกรม

- [1] Chenggong, Biao, Hongsi, Xingguang Liyong, Weipei. (2023). **Research on the Application of Metaverse Technology in the US Army**. 14th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies. 2023.
- [2] Lav Soni, Amanpreet Kaur. (2023). **AR and VR in Military Combat: Enhancing Soldier Performance and Safety**. Proceedings of the International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS 2023) IEEE Xplore Part Number: CFP23DJ3-ART; ISBN: 979-8-3503-3360-2. 2022.
- [3] Jose, Ekaterina, Stian. (2022). **Using Extended Reality to Teach Protection of Civilians in Higher Military Education**. 2022 International Conference on Cyberworlds (CW). 2022.
- [4] Pisit, Tanakorn, Chatchai, Suebphong, Lunchakorn. (2024). **Virtual Reality for Railway Signaling System Training**. 0th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). 2024.
- [5] Siwanart, Imran, Lunchakorn, Pruk, Suebphong. (2022). **Development of a Virtual Telecommunication System Research Laboratory**. Proceedings of 2022 APSIPA Annual Summit and Conference. Chiang Mai, Thailand. 2022.
- [6] Suebphong, Rizwan, Avishi. (2023). **A multiplayer and activities-based approach to Chulalongkorn Virtual Interactive Memorial Hall**. 9 th International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST) | 979-8-3503-2204-0/23/\$31. IEEE 2023.
- [7] Yumin Chi, Qing An. (2022). **Design and Implementation of Virtual Campus System based on VR Technology**. 2nd Asia Conference on Information Engineering (ACIE). 2022.

บทความทางด้านการเฝ้าระวังทางไซเบอร์
การพัฒนาโปรแกรม และแบบจำลอง
(Cyber security, programming and model)

DAMAGE PREDICTION OF TERRORIST ATTACKS IN THAILAND USING TREE-BASED ENSEMBLE LEARNING MODELS

Thitipong Kawichai^{1,*}

¹Department of Mathematics and Computer Science, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

E-mail: thitipong.kaw@crma.ac.th

** Corresponding author*

ABSTRACT: Terrorism is one of the most serious threats to all nations that can cause unexpectedly massive damage to lives and property. Due to ongoing conflict in Southern Thailand, terrorist attacks have been carried out by insurgent groups and can cause civilian fatalities, injuries, and property damage. This work aims to create tree-based ensemble learning models to predict damage from terrorist attacks in Thailand. Four of the most popular tree-based ensemble models, including Random Forest (RF), Gradient Boosting Machine (GBM), Extreme Gradient Boosting (XGB), and Categorical Boosting (CatBoost), were created to classify terrorist attacks in Thailand whether they will cause civilian fatalities, injuries, and property damage. Consequently, RF significantly outperformed the others in identifying fatal, injury, and property damage attacks with the mean areas under the receiver operating characteristics curves (AUROC) of 0.94, 0.88, and 0.93, respectively. Additionally, it was found from the permutation feature importance analysis that the success of terrorist attacks and some employed attack types (such as armed assault, bombing/explosion, and facility/infrastructure attack) are key features of terrorist attacks in predicting the consequent damage in Thailand.

KEYWORDS: Damage, Feature importance, Tree-based ensemble model, Terrorism, Terrorist attacks

1. Introduction

Terrorism is one of the most harmful threats that has raised concern to all nations of the world [1]. Terrorist attacks can produce unanticipatedly massive damage to lives and property. For example, in the unforgettable 9/11 attack, more than two thousand people were taken their lives away, and more than five thousand people were unexpectedly harmed [2]. Moreover, the 9/11 sabotage caused enormous destruction of buildings and surrounding property with a total estimated damage value of more than 20 billion US dollars [3]. In Thailand, due to ongoing conflict especially in the southern border provinces, terrorist attacks have been still committed by insurgent groups and can result in civilian harm and property damage. To prevent possible terrorism damage, governments and related organizations must have effective measures and efficient tools supporting counterterrorism tasks.

To support in preventing and controlling damage from terrorist attacks, machine learning has been introduced to learn such huge and complex data of terrorist incidents that occurred in the past. The efforts of most existing works focused on applying machine learning and deep learning algorithms to predict various attributes of future terrorist attacks, such as susceptible locations [4], the success of terrorist attacks [5, 6], weapon and attack types used [5, 6], terrorist groups behind attacks [6], damage levels [7], and casualties resulting from terrorist attacks [8-12]. However, there is hardly a machine learning-based model introduced for predicting both life and property damage from terrorist attacks in Thailand, and there is rarely a study analyzing key features of terrorist attacks that potentially cause terrorism damage in Thailand.

Tree-based ensemble learning models are efficient machine learning models that enhance the prediction capability by using multiple decision trees. By aggregating multiple trees, tree-based ensemble models can improve the robustness and accuracy of a single decision tree-based model [13]. Currently, tree-based ensemble models have been widely used and applied for feature importance analysis in many applications, such as travel mode choice prediction [14], landslide susceptibility prediction [15], diagnosis of cardiocerebrovascular

disease [16], and identification of risk factors of various diseases [17, 18].

In this work, tree-based ensemble learning models were introduced to predict damage caused by terrorist attacks in Thailand. Four popular tree-based ensemble algorithms, including Random Forest (RF), Gradient Boosting Machine (GBM), Extreme Gradient Boosting (XGB), and Categorical Boosting (CatBoost) were built based on the terrorism data of Thailand and evaluated the performance in the classification of fatal terrorist attacks, injury terrorist attacks, and property damage terrorist attacks. The performance of all ensemble models was compared and the best one of each classification case was selected. After that, the feature importance analysis was performed to identify key features of terrorist attacks affecting terrorism damage in Thailand.

2. Materials and Methods

2.1 Data and software

The data used in this study were downloaded from the Global Terrorism Database (GTD) [19]. The GTD is a repository collecting information on terrorism, insurgency, and other crime events occurred around the world since 1970, and this database has been administered by the National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START), University of Maryland. R version 4.3.0 was used to prepare the downloaded terrorism data. Python programming version 3.9.7 with the required packages, including numpy 1.24.3, scikit-learn 1.2.1, lightgbm 3.3.5, xgboost 1.6.2, and catboost 1.2, was used to build tree-based ensemble models and conduct a feature importance analysis for identifying factors of terrorist attacks in Thailand potentially affecting life and property damage.

2.2 Data preparation

2.2.1 Data filtering and handling missing values

Since the GTD data set contains not only information on terrorism events, all records with doubt of terrorism were excluded from this study to filter only the information on terrorism incidents. Additionally, the events with no reported numbers of death tolls and injuries were removed. Only the

terrorist attacks that occurred in Thailand were retained for the study. Consequently, 2,354 terrorist attacks finally remained in the data set.

To avoid hoarding correlated features, the redundant attributes were removed, such as country IDs, attack type IDs, weapon type IDs, and terrorist group IDs, and only the text attributes (i.e., country names, attack type names, weapon type names, and terrorist group names) were retained. In case of missing values, the most frequent value of each attribute was used as a representative value of that attribute and an estimated value for each missing element. At the end of the data preparation, there were 30 attributes kept and used in this work, as summarized in Table 1.

2.2.2 Creation of predicted variables

In this study, the binary classification models of terrorist attacks that can cause civilian fatalities, civilian injuries, and property damage were constructed. Thus, the information on consequent damage from terrorist attacks was used to create the predicted variables, including *isciviliankilled* (0 = no civilian fatality, 1 = at least one civilian fatalities), *iscivilianinjured* (0 = no civilian injury, 1 = at least one civilian injuries), and *isproppdamage* (0 = no property damage, 1 = property damage exists). In the case of *isproppdamage*, the values of attribute *property* can be directly assigned to *isproppdamage*. The formulas to create variables *isciviliankilled* and *iscivilianinjured* are shown in Eqs. (1) and (2).

$$isciviliankilled = \begin{cases} 0 & \text{if } nkill - nkillter = 0 \\ 1 & \text{if } nkill - nkillter > 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$iscivilianinjured = \begin{cases} 0 & \text{if } nwound - nwoundte = 0 \\ 1 & \text{if } nwound - nwoundte > 0 \end{cases} \quad (2)$$

2.2.3 Data encoding

In the data, most attributes are numeric and binary values, but some of them are multi-categorical values described by texts, such as *attacktype*, *targtype*, *weapsubtype*, and *gname*. For example, the values of *targtype1*, *targtype2*, and *targtype3* of an incident are “Airports & Aircraft”, “Educational Institution”, and “Military”. In this step, the multi-categorical attributes are encoded by using one-hot

Table 1 Summarization of the attributes of terrorist attacks used in this study.

Attribute	Data type	Description
<i>year</i>	Numeric	The year when an incident began
<i>month</i>	Numeric	The month when an incident began
<i>day</i>	Numeric	The date when an incident began
<i>extended</i>	Categorical	Was the duration of an incident more than 24 hours? (0 = No, 1 = Yes)
<i>latitude</i>	Numeric	The latitude where an incident took place
<i>longitude</i>	Numeric	The longitude where an incident took place
<i>vicinity</i>	Categorical	Was the incident location in the city? (0 = No, 1 = Yes)
<i>multiple</i>	Categorical	Was the incident part of a multiple incident? (0 = No, 1 = Yes)
<i>success</i>	Categorical	Was the attack successful? (0 = No, 1 = Yes)
<i>ishostkid</i>	Categorical	Were the victims taken kidnapped or hostage? (0 = No, 1 = Yes)
<i>attacktype1, 2, 3</i>	Categorical	Methods of attacks (Up to three attack types were recorded for each incident.)
<i>targtype1, 2, 3</i>	Categorical	Categories of victims/targets (Up to three target types were recorded for each incident.)
<i>weapsubtype1, 2, 3, 4</i>	Categorical	Weapon subtypes (Up to four weapons were recorded for each incident.)
<i>gname1, 2, 3</i>	Categorical	Terrorist groups (Up to three groups were recorded for each incident.)
<i>individual</i>	Categorical	Was the attack carried out by an individual, not affiliated with a group? (0 = No, 1 = Yes)
<i>claimed</i>	Categorical	Was there anyone who claimed responsibility for the attack? (0 = No, 1 = Yes)
<i>nkill</i>	Numeric	Total number of fatalities
<i>nkillter</i>	Numeric	The number of terrorists' fatalities
<i>nwound</i>	Numeric	Total number of injuries
<i>nwoundte</i>	Numeric	The number of terrorists' injuries

encoding to convert text data into a list of numeric values. An example of data encoding is illustrated in Fig. 1.

Ordinary data matrix

Incident no.	<i>targtype1</i>	<i>targtype2</i>	<i>targtype3</i>
1	Military	-	-
2	Airports & Aircraft	Educational Institution	-
...

One-hot encoding ↓

Encoded data matrix

Incident no.	Airports & Aircraft	Educational Institution	Military	...
1	0	0	1	...
2	1	1	0	...
...

Fig. 1. An example of encoding values of multi-categorical attributes

As illustrated in Fig. 1, the values of up to three target types (i.e., *targtype1*, *targtype2*, and *targtype3*) of each incident were encoded to a binary vector where ones are present at the columns of the target types attacked in that incident, and zeros are present at the other columns. For example, in incident 1, only “Military” was targeted by terrorists then 1 is shown in the column of “Military”. In incident 2, both “Airports & Aircraft” and “Educational Institution” were targeted by terrorists. Thus, the values of ones are present in both the columns of “Airports & Aircraft” and “Educational Institution” in the target type vector of incident 2.

2.2.4 Data combination and normalization

In this step, *idate*, *imonth*, and *iyear* were combined as one attribute named *itime* to avoid the existence of correlated attributes. The formula to compute *itime* is shown in Eq. (3). After that, all data that are out of range 0 to 1, including *itime*, *latitude*, and *longitude*, were normalized by using the min-max normalization, as shown in Eq. (4) where x and x' are an original value and the normalized value, respectively. For a particular attribute, min and max represent the minimum and maximum value of that attribute, respectively.

$$itime = iyear + \frac{(idate + 30 \times imonth)}{365} \quad (3)$$

$$x' = \frac{x - \min}{\max - \min} \quad (4)$$

2.3 Data preparation

Due to the high performance of tree-based ensemble models and the provided function of feature importance analysis, four popular ensemble learning algorithms based on decision trees were used in this work, including Random Forest (RF) [20], Gradient Boosting Machine (GBM) [21], Extreme Gradient Boosting (XGB) [22], and Categorical Boosting (CatBoost) [23]. Three cases of terrorist attack classification were considered, including the classification of fatality attacks, the classification of injury attacks, and the classification of property damage attacks. For each classification case, the performance of those four ensemble models was compared to choose the best one as a representative model for further identifying the factors of terrorist attacks that could cause fatalities, injuries, and property damage in Thailand.

To build a model, 10-fold cross-validation was used to split the data into train, validation, and test sets, as illustrated in Fig. 2.

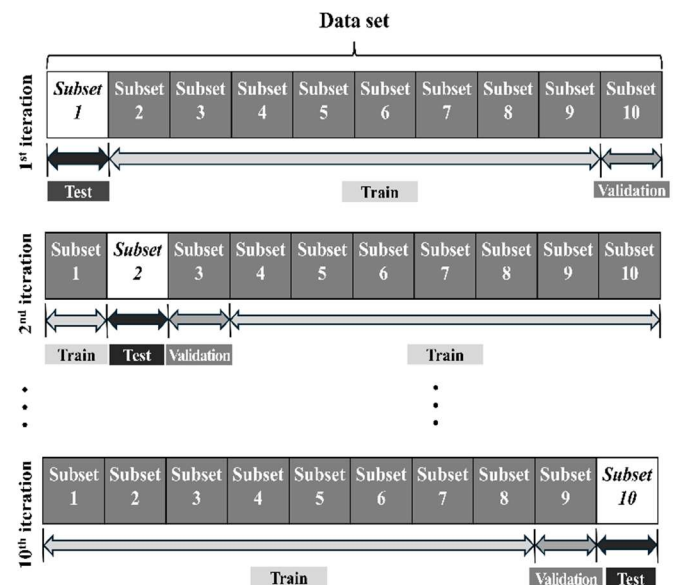


Fig. 2. 10-fold cross-validation

Initially, the whole data set was split into ten equal subsets. In each iteration, one data subset was served as a test set whereas the others were used as train sets. 10% of the data in a train set were randomly selected to serve as a validation set. The data in validation sets were used to specify suitable hyperparameter values of the tree-based ensemble models. The whole process would be iterated ten times to let all data subsets serve as a test set. A performance value of a model would be computed based on a test set. In this 10-fold cross-validation, an average performance value over ten different test sets was used as a representative value of the model performance.

In the performance evaluation of models, the commonly used performance metrics in binary classification were used, including precision, recall, accuracy, Matthew's Correlation Coefficients (MCC), and F1-score (F1). The formulas to calculate the values of those metrics are shown in Eqs. (5) – (8), where TP , FP , FN , and TN represent the number of true positives, false positives, false negatives, and true negatives, respectively. Furthermore, an area under a precision-recall curve (AUPRC) and an area of a receiver operating characteristics curve (AUROC) were also computed.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}, \text{ Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (6)$$

$$\text{MCC} = \frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TP + FP) \times (FN + TN) \times (TP + FN) \times (FP + TN)}} \quad (7)$$

$$\text{F1} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (8)$$

2.4 Feature importance analysis

After obtaining the best models for the damage prediction of terrorist attacks in Thailand, those models were used in the feature importance analysis to identify which features of terrorist attacks largely contribute to the classifying capability of the models. The feature importance analysis was conducted

using the permutation-based method [20]. In this method, a baseline accuracy score was primarily computed (s). To investigate the effect of feature i on classification, the values of feature i are randomly shuffled, and then the accuracy score of a model trained on the shuffled data is evaluated (s_i). To avoid random bias, the process of shuffling data was repeated ten times to obtain ten accuracy scores ($s_{i,j}$ where $j = 1, 2, \dots, 10$) based on the differently shuffled data. The feature importance score of feature i (f_i) was calculated based on the difference between the baseline accuracy score and the average accuracy score based on the shuffled data, as shown in Eq. (9). In the 10-fold cross-validation, the feature importance scores of a feature based on ten different test sets were averaged to produce a representative value of the feature importance scores. After that, the percentage of the feature importance score of feature i was calculated for easier comparison of feature importance scores.

$$f_i = s - \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} s_{i,j} \quad (9)$$

3. Results and Discussion

3.1 Preliminary data analysis

In the data of terrorist attacks in Thailand, there are 2,354 terrorism incidents in total. From categorizing the incidents according to the consequent damage caused by the terrorist attacks, including fatalities, injuries, and property damage, the proportion of fatal. Injury and property damage incidents are shown in Fig. 3.

According to Fig. 3a, 942 terrorist incidents in Thailand (40%) are fatal incidents whereas 1,412 terrorist incidents (60%) did not cause fatalities. In the case of injuries (Fig. 3b), most of the terrorist attacks in Thailand (64.7%) did not harm civilians. Approximately 35.3% of the terrorist attacks in Thailand could cause at least one injured civilian. When considering property damage (Fig. 3c), it was found that 51.2% of the terrorism incidents that occurred in Thailand could result in property damage whereas approximately half of all terrorist attacks (48.8%) are non-property damage incidents.

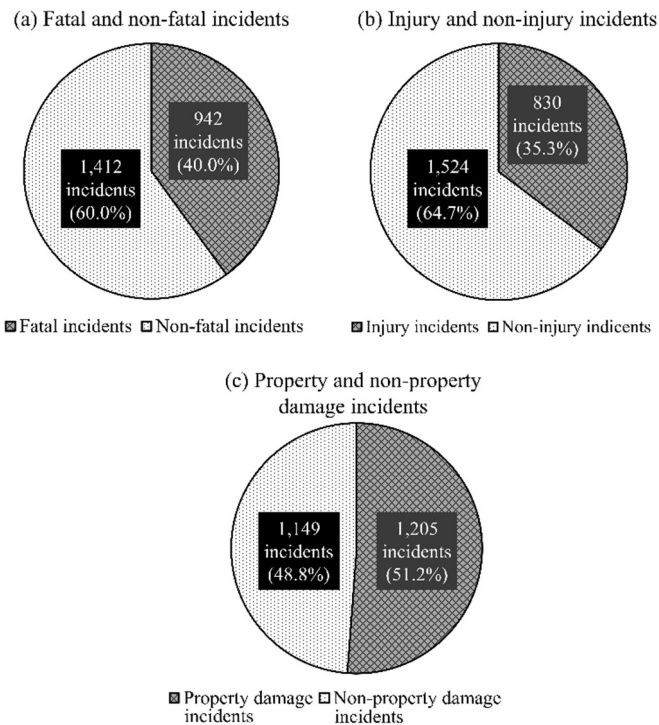


Fig.3. The proportion of fatal, injury, and property damage terrorist incidents in the prepared data

In the data set used in this study, the basic statistics of fatalities and injuries resulting from terrorist attacks in Thailand are computed and shown in Table 2.

Table 2 Basic statistics of fatalities and injuries from terrorist attacks in Thailand.

Statistics	Number of fatalities	Number of injuries
Mean and standard deviation (SD)	0.59 ± 1.05	1.76 ± 9.68
Minimum	0	0
Maximum	20	400

On average, a terrorist attack in Thailand could cause 0.59 fatalities with a standard deviation (SD) of 1.05 fatalities and 1.76 injuries with an SD of 9.68 injuries. Due to most terrorist attacks in Thailand not harming people, the minimum number of fatalities and injuries in the prepared data set are both zeros. Meanwhile, the largest number of fatalities and injuries are 20 and 400, respectively.

3.2 Performance comparison of tree-based ensemble models

In this experiment, the performance of four tree-based ensemble models, which are Random Forest (RF), Gradient Boosting Machine (GBM), Extreme Gradient Boosting (XGB), and Categorical Boosting (CatBoost), were compared to select the best one for further using to identify damage affecting factors of terrorist attacks in Thailand. The average performance values with standard deviations (SD) of all models in the classification of fatal terrorist attacks, injury terrorist attacks, and property damage terrorist attacks are shown in Tables 3 – 5.

Table 3 Performance of the tree-based ensemble models in the classification of fatal terrorist attacks.

Performance metric	Average performance values and standard deviation (SD)			
	RF (1 st)	GBM	XGB (2 nd)	CatBoost
AUPRC	<u>0.93</u> ± 0.02 **	0.90 ± 0.02	0.91 ± 0.02	0.88 ± 0.03
AUROC	<u>0.94</u> ± 0.01 **	0.93 ± 0.01	0.93 ± 0.01	0.93 ± 0.02
Precision	<u>0.87</u> ± 0.03 *	0.85 ± 0.03	0.85 ± 0.03	0.83 ± 0.03
Recall	<u>0.86</u> ± 0.03 ^{ns}	0.85 ± 0.04	0.85 ± 0.04	0.84 ± 0.04
Accuracy	<u>0.89</u> ± 0.01 *	0.88 ± 0.02	0.88 ± 0.02	0.87 ± 0.02
MCC	<u>0.77</u> ± 0.03 *	0.74 ± 0.04	0.76 ± 0.04	0.72 ± 0.05
F1-score	<u>0.86</u> ± 0.02 *	0.85 ± 0.02	0.85 ± 0.03	0.83 ± 0.03

** $p < 0.05$; * $p < 0.10$. An italic and underlined number is the maximum value.

In the classification of fatal terrorist attacks, the best-performing model with the largest values of all performance metrics is RF. XGB is considered as the 2nd-ranked model due to its almost performance values placed at the 2nd-greatest values (Table 3). RF achieved an average AUPRC value of 0.93 and an average AUROC value of 0.94, which are very significantly greater than those of XGB at a significance level of 0.05. Moreover, RF yielded the average values of other performance metrics, except recall, significantly greater than those of XGB at a significance level of 0.10. Therefore, RF was chosen for further use in identifying factors of terrorist attacks that could cause fatalities in Thailand.

According to Table 4, the tree-based ensemble model with the most superior performance is RF, and XGB is the 2nd best-performing model in the

classification of injury terrorist attacks. When compared to XGB, RF yielded the average AUPRC value (0.81 ± 0.03), the average AUROC value (0.88 ± 0.02), and the average precision value (0.75 ± 0.04) very significantly greater than those of XGB at a significance level of 0.05. Additionally, the average accuracy and MCC values of RF are significantly larger than those of XGB at a significance level of 0.10, but the average recall and F1 values of RF are not significantly different from those of XGB. Since RF significantly outperformed the others, RF was selected for identifying factors of terrorist attacks potentially causing civilian injuries in Thailand.

Table 4 Performance of the tree-based ensemble models in the classification of injury terrorist attacks.

Performance metric	Average performance values and standard deviation (SD)			
	RF (1 st)	GBM	XGB (2 nd)	CatBoost
AUPRC	<u>0.81</u> ± 0.03**	0.76 ± 0.04	0.77 ± 0.04	0.75 ± 0.04
AUROC	<u>0.88</u> ± 0.02**	0.86 ± 0.02	0.86 ± 0.02	0.84 ± 0.03
Precision	<u>0.75</u> ± 0.04**	0.72 ± 0.03	0.72 ± 0.03	0.73 ± 0.03
Recall	<u>0.67</u> ± 0.06 ^{ns}	0.66 ± 0.06	0.66 ± 0.05	0.58 ± 0.06
Accuracy	<u>0.81</u> ± 0.03*	0.79 ± 0.03	0.79 ± 0.02	0.78 ± 0.03
MCC	<u>0.56</u> ± 0.06*	0.54 ± 0.06	0.54 ± 0.04	0.49 ± 0.05
F1-score	<u>0.71</u> ± 0.04 ^{ns}	0.69 ± 0.05	0.69 ± 0.04	0.64 ± 0.04

** $p < 0.05$; * $p < 0.10$. An italic and underlined number is the maximum value.

Table 5 Performance of the tree-based ensemble models in the classification of property damage terrorist attacks.

Performance metric	Average performance values and standard deviation (SD)			
	RF (1 st)	GBM	XGB (2 nd)	CatBoost
AUPRC	<u>0.94</u> ± 0.02 ^{ns}	0.93 ± 0.02	0.93 ± 0.02	0.92 ± 0.02
AUROC	<u>0.93</u> ± 0.02 ^{ns}	0.92 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.91 ± 0.02
Precision	0.87 ± 0.04 ^{ns}	0.86 ± 0.04	<u>0.88</u> ± 0.03	0.86 ± 0.03
Recall	<u>0.84</u> ± 0.03 ^{ns}	0.83 ± 0.03	0.83 ± 0.02	0.81 ± 0.03
Accuracy	0.85 ± 0.03 ^{ns}	0.85 ± 0.02	<u>0.86</u> ± 0.02	0.83 ± 0.02
MCC	0.70 ± 0.06 ^{ns}	0.70 ± 0.04	<u>0.71</u> ± 0.04	0.67 ± 0.04
F1-score	0.85 ± 0.03 ^{ns}	0.85 ± 0.02	<u>0.86</u> ± 0.02	0.83 ± 0.03

** $p < 0.05$; * $p < 0.10$. An italic and underlined number is the maximum value.

Due to the largest average AUPRC and AUROC values in Table 5, RF was considered as the best-performing model whereas XGB was the 2nd best-performing model in the classification of property damage terrorist attacks. By the paired t -tests, it was found that the average values of all performance metrics of RF are not significantly different from those of XGB. However, RF was chosen for use in identifying factors of terrorist attacks that could cause property damage in Thailand because RF yielded the highest average values of two common comprehensive metrics AUPRC (0.94 ± 0.02) and AUROC (0.93 ± 0.02).

3.3 Ranking of feature importance percentages

The top five ranked features of terrorist attacks that have the greatest feature importance percentages in each classification case (i.e. the classification of fatal terrorist attacks, injury terrorist attacks, and property damage terrorist attacks) are shown in Fig. 4. According to Figs. 4a and c, the success of a terrorist attack, which evaluates whether a target was successfully attacked, gave the largest contribution to the classification of fatal terrorist attacks (12.8%) and the classification of property damage terrorist attacks (18.3%). Additionally, *success* also plays a vital role in the classification of injury terrorist attacks (12.2%) (Fig. 4b). These results imply that the success of terrorist attacks is a major factor of terrorist attacks in causing fatalities, injuries, and property damage in Thailand.

The time and locations (i.e., latitudes and longitudes) of terrorist incidents showed a considerable contribution to the damage prediction of terrorist incidents in Thailand. This may be because there were terrorist incidents and terrorism damage frequently occurred in particular time periods and locations in Thailand. From analyzing the data of this study, it was found that the number of fatal, injury, and property damage incidents in Thailand have been continually rising since 2004 and climbed up to the highest point during 2009 and 2014. It was reported that the conflict in Southern Thailand has intensified since 2004, resulting in more than 3,000 injuries and 2,000 fatalities during 2004 and 2007 [24]. Moreover, according to the data of this study, 94.3% of the fatal incidents, 90.0% of the injury incidents, and 83.5% of the property

damage incidents in Thailand have occurred in Yala, Pattani, and Narathiwat provinces.

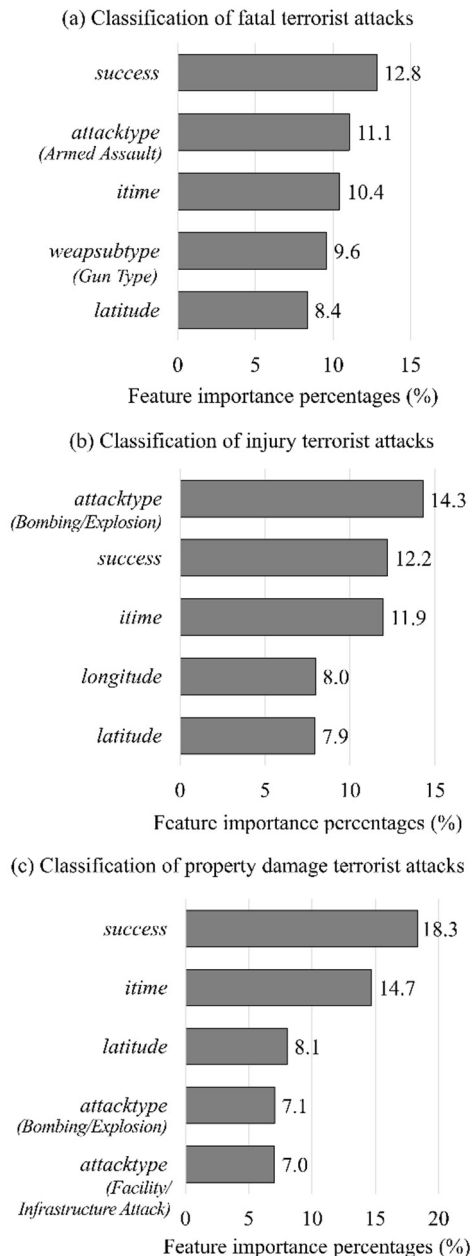


Fig.4. Top five ranked features based on feature importance percentages in the classification of fatal terrorist attacks (a), injury terrorist attacks (b), and property damage terrorist attacks (c)

From Figs. 4b and c, some attack types (i.e., armed assault, bombing/explosion, and facility/infrastructure attack) contributed large effects on the classification of fatal, injury, and property damage incidents in Thailand. This can

suggest that terrorist attacks by armed assault or using gun types could probably cause fatalities whereas terrorist attacks through explosion and facility/infrastructure destruction could lead to injuries of civilians and property damage.

4. Conclusion

In this paper, the ensemble learning models based on decision trees (i.e., RF, GBM, XGB, and CatBoost) were created to predict damage from terrorist attacks in Thailand. The RF models outperformed the others in classifying fatal, injury, and property damage terrorist attacks with average AUROC values of 0.94, 0.88, and 0.93, respectively. From the permutation-based feature importance analysis, the success of terrorist attacks and some attack types (e.g., armed assault and attack bombing/explosion) greatly contributed to the damage prediction. In summary, this study introduced effective ensemble models for the prediction of damage from terrorist attacks and identified key features of terrorist incidents probably causing fatalities, injuries, and property damage in Thailand, which could be valuable information supporting a future task of counterterrorism. In the future, more complicated algorithms (e.g., deep learning models) can be applied to improve the accuracy of predictions, especially in classifying injury terrorist attacks.

5. Acknowledgement

This work was funded by the Research Fund of Chulachomklao Royal Military Academy for 2023.

6. References

- [1] D. Mansour-Ille. "Counterterrorism policies in the Middle East and North Africa: A regional perspective". *International Review of the Red Cross*, 103(916-917), pp. 653-679, 2021.
- [2] M. H. Jacobson, R. M. Brackbill, P. Frazier and L. M. Gargano. "Conducting a study to assess the long-term impacts of injury after 9/11: Participation, recall, and description". *Injury Epidemiology*, 6(1), pp. 1-15, 2019.
- [3] P. Grossi. "Property damage and insured losses from the 2001 World Trade Center attacks".

- Peace Economics, Peace Science and Public Policy*, 15(2), pp. 201-216, 2009.
- [4] O. A. Olabanjo, B. S. Aribisala, M. Mazzara and A. S. Wusu. “An ensemble machine learning model for the prediction of danger zones: Towards a global counter-terrorism”. *Soft Computing Letters*, 3, pp. 1-6, 2021.
- [5] M. I. Uddin *et al.* “Prediction of future terrorist activities using deep neural networks”. *Complexity*, 2020(1), pp. 1-16, 2020.
- [6] F. Saidi and Z. Trabelsi. “A hybrid deep learning-based framework for future terrorist activities modeling and prediction”. *Egyptian Informatics Journal*, 23(3), pp. 437-446, 2022.
- [7] J. Yu, T. Xian, Z.-y. Hu and Y. Liu. “Hazard grading model of terrorist attack based on machine learning”. *International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls*, 4, pp. 81 - 85, 2019.
- [8] Y. Feng, D. Wang, Y. Yin, Z. Li and Z. Hu. “An XGBoost-based casualty prediction method for terrorist attacks”. *Complex & Intelligent Systems*, 6(3), pp. 721-740, 2020.
- [9] X. Hu, J. Hu and M. Hou. “A two-step machine learning method for casualty prediction under emergencies”. *Journal of Safety Science and Resilience*, 3(3), pp. 243-251, 2022.
- [10] Y. He, B. Yang and C. Chu. “GA-CatBoost-weight algorithm for predicting casualties in terrorist attacks: Addressing data imbalance and enhancing performance”. *Mathematics*, 12(6), pp. 1-13, 2024.
- [11] F. A. Khan, G. Li, A. N. Khan, Q. W. Khan, M. Hadjouni and H. Elmannai. “AI-driven counter-terrorism: Enhancing global security through advanced predictive analytics”. *IEEE Access*, 11, pp. 135864-135879, 2023.
- [12] T. Kawichai. “Stacking ensemble learning with regression models for predicting damage from terrorist attacks”. *ECTI Transactions on Computer and Information Technology (ECTI-CIT)*, 18(3), pp. 250 - 259, 2024.
- [13] T. Hanika and J. Hirth. “Conceptual views on tree ensemble classifiers”. *International Journal of Approximate Reasoning*, 159, pp. 1-20, 2023.
- [14] N. F. Mohd Ali, A. F. Mohd Sadullah, A. P. P. Abdul Majeed, M. A. Mohd Razman and R. M. Musa. “The identification of significant features towards travel mode choice and its prediction via optimized random forest classifier: An evaluation for active commuting behavior”. *Journal of Transport & Health*, 25, pp. 1-14, 2022.
- [15] A. Yavuz Ozalp, H. Akinci and M. Zeybek. “Comparative analysis of tree-based ensemble learning algorithms for landslide susceptibility mapping: A case study in Rize, Turkey”. *Water*, 15(14), pp. 1-21, 2023.
- [16] T. Oh *et al.* “Machine learning-based diagnosis and risk factor analysis of cardiocerebrovascular disease based on KNHANCES”. *Scientific Reports*, 12(1), pp. 1-11, 2022.
- [17] J. Park, H. Ahn, K. Youn, M. Lee and S. Hong. “Ensemble learning to identify depression indicators for Korean farmers”. *IEEE Access*, 11, pp. 118787-118800, 2023.
- [18] J. Li *et al.* “Tree-based risk factor identification and stroke level prediction in stroke cohort study”. *BioMed Research International*, 2023, pp. 1-10, 2023.
- [19] START. “Global terrorism database 1970 - 2020 [data file].” <https://www.start.umd.edu/gtd> (accessed April 24, 2023).
- [20] L. Breiman. “Random forests”. *Machine Learning*, 45(1), pp. 5-32, 2001.
- [21] A. Natekin and A. Knoll. “Gradient boosting machines, a tutorial”. *Frontiers in Neurorobotics*, 7, pp. 1-21, 2013.
- [22] T. Chen and C. Guestrin, “XGBoost: A scalable tree boosting system”, *The 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2016, pp. 785–794.
- [23] L. Prokhorenkova, G. Gusev, A. Vorobev, A. V. Dorogush and A. Gulin, “CatBoost: Unbiased boosting with categorical features”, *The 32nd International Conference on Neural Information Processing Systems*, 2018, pp. 6639–6649.
- [24] C. Chinda, C. Unal, Z. Marchment and P. Gill. “The impact of public holidays on insurgent attacks: The case of Thailand”. *Terrorism and Political Violence*, pp. 1-16, 2023.

การประยุกต์ใช้เทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมการสร้างข้อความในการออกแบบและพัฒนา
โมเดลประมวลภาษาธรรมชาติสำหรับช่วยเหลือนักงานสอบสวนในความผิดทางไซเบอร์

An Application of Retrieval-Augmented Generation (RAG) in Designing and Developing
Natural Language Processing Models to Assist Cyber Crime Interrogations

ร้อยตำรวจเอก วัชรกร ศรีสว่าง^๑ (Watcharakorn Srisawang)^๑

พันตำรวจโท ดร.อัคร์ณุต แสงทองดี^{๒,*} (Usanut Sangtongdee)^{๒,*}

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัทธี นิภานันท์^๓ (Nattee Niparnan)^๓

อาจารย์ เอกอนันต์ ทองแท้^๔ (Aekanun Thongtae)^๔

^๑นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีการป้องกันประเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ws.diamonz@gmail.com

^๒อาจารย์ (สบ ๒) กลุ่มงานคณาจารย์ คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ, usanut@rpca.ac.th

^๓อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, nattee.n@chula.ac.th

^๔ผู้เชี่ยวชาญ ด้านการประยุกต์ใช้บิ๊กดาต้าและปัญญาประดิษฐ์ในองค์กร

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)

บทคัดย่อ:

พนักงานสอบสวนทั้งใหม่และเก่าประสบปัญหาการตรวจทานสำนวนการสอบสวนให้ครบถ้วนตามกฎหมายและระเบียบข้อบังคับ
ก่อนเสนอไปยังชั้นอัยการ ประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อย อาทิ การรวบรวมพยานหลักฐาน ขั้นตอนการสอบสวน และการสอบ
ปากคำ เป็นต้น เหตุเหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดผลเสียทางคดีได้หลากหลายกรณี อาทิ ข้อเท็จจริงไม่ครบถ้วนพอที่จะเอาผิดผู้ต้องหา
ผู้เสียหายและผู้ต้องหาไม่ได้รับความยุติธรรม เป็นต้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษา ออกแบบ และพัฒนาโมเดล
การประมวลภาษาธรรมชาติให้เป็นผู้ช่วยพนักงานสอบสวน ทำหน้าที่ให้คำแนะนำมาตราตามกฎหมาย แนวทางการสอบปากคำ
และตรวจทานขั้นตอนการสอบสวนให้ครบถ้วน การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจาก การรวบรวมเอกสารที่เป็นตัวบทกฎหมาย และ
ระเบียบงานสอบสวนมาแปลงข้อมูลให้เป็นเวกเตอร์ และจัดเก็บในฐานข้อมูลเวกเตอร์ เมื่อผู้ใช้ถามคำถามหรือพร้อมที่ไปยังโมเดล
โมเดลจะใช้เทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมการสร้างข้อความหรือเรียก แปลงคำถามและใช้วิธีการค้นหาเชิงความคล้ายคลึงของคำใน
คำถาม ทั้งนี้การดำเนินการดังกล่าวจะตรวจสอบความคล้าย หรือใกล้เคียงกับคำที่อยู่ในฐานข้อมูลเวกเตอร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้
ไปวิเคราะห์และประมวลผล ขั้นสุดท้ายเป็นการตอบในลักษณะคำแนะนำให้กับพนักงานสอบสวน ผลการทดสอบโมเดล พบว่า
สามารถให้คำแนะนำกับพนักงานสอบสวนได้ถูกต้องแม่นยำ สอดคล้องตามองค์ประกอบของกฎหมายที่ได้รวบรวมไว้แต่แรก

คำสำคัญ: การประมวลภาษาธรรมชาติ, เทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมการสร้างข้อความ, ฐานข้อมูลเวกเตอร์, ผู้ช่วยพนักงาน
สอบสวน

๑. บทนำ

เนื่องด้วยในปัจจุบัน คดีอาชญากรรมได้เกิดขึ้นกับผู้เสียหายมากมายหลายรูปแบบทั้งในแบบของคดีอาญาหรือคดีตามพระราชบัญญัติต่างๆ อาทิเช่น คดีลักทรัพย์ ทำร้ายร่างกาย รวมถึงยังเกิดคดีอาชญากรรมในรูปแบบใหม่ซึ่งได้พัฒนาขึ้นไปตามการพัฒนาเทคโนโลยีของโลก อาทิอาชญากรรมทางเทคโนโลยี การโจรกรรมข้อมูลผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ด้วยคดีอาชญากรรมดังกล่าวนี้ทำให้ต้องมีการแก้ไขตัวบทกฎหมายหรือพระราชบัญญัติฉบับเดิมให้สอดคล้องกับคดีอาชญากรรมในปัจจุบัน และมีการบัญญัติตัวบทกฎหมายหรือพระราชบัญญัติฉบับใหม่เพื่อรองรับคดีอาชญากรรมรูปแบบใหม่ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ทำให้พนักงานสอบสวนจำต้องจดจำ และเข้าใจถึงองค์ประกอบของข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องในแต่ละคดี รวมถึงขั้นตอนและระเบียบการสอบสวน เพื่อนำมาบังคับใช้ในการสอบสวนคดีอาชญากรรมต่างๆ ให้ครบถ้วน ซึ่งจะแลเห็นว่าพนักงานสอบสวนทั้งใหม่และเก่าจึงประสบปัญหาในขั้นตอนการสอบสวนของตน อาทิ ไม่สามารถรวบรวมพยานหลักฐานได้ครบถ้วน สอบปากคำไม่ครบประเด็นตามข้อกฎหมาย เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเสียหายในทางคดีได้หลากหลายกรณี อาทิ ข้อเท็จจริงไม่ครบถ้วนพอที่จะเอาผิดกับผู้ต้องหา ผู้เสียหายและผู้ต้องหาไม่ได้รับความยุติธรรม เป็นต้น ซึ่งประเทศไทยนั้นมีตัวบทกฎหมายที่พนักงานสอบสวนต้องบังคับใช้อยู่มากมาย จนพนักงานสอบสวนไม่สามารถที่จะจดจำองค์ประกอบของตัวบทกฎหมายได้ถูกต้องครบถ้วนทั้งหมดตามที่บัญญัติไว้

แม้ในปัจจุบันระบบคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีได้พัฒนาขึ้นอย่างก้าวกระโดด แต่จากการพัฒนานี้ย่อมส่งผลให้มีทั้งข้อดีและข้อเสียกล่าวคือ ข้อเสียที่เกิดขึ้นอาจจะทำให้เกิดเหตุอาชญากรรมในรูปแบบใหม่ทางเทคโนโลยีมากขึ้น เป็นต้น และด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวกระโดดนี้ มนุษย์จึงสามารถสร้างปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Inteligent) ชนิดต่างๆ เข้ามาช่วยเหลือในชีวิตประจำวัน อันนี้ การอำนวยความสะดวก

ความสะดวกในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน, การจัดเก็บ และเข้าถึงข้อมูล, โมเดลภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model - LLM), การสร้างชุดข้อมูลใหม่จากฐานข้อมูลเดิมขึ้นใหม่ เป็นต้น ทั้งนี้ยังมีกระบวนการเข้าใจหรือสกัดข้อมูลออกจากข้อความ ให้เป็นข้อมูลที่เราสนใจ และสามารถนำไปใช้งานต่อได้ โดยเราเรียกกระบวนการนี้ว่า การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing - NLP) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาปัญญาประดิษฐ์ เพื่อใช้ในการ สื่อสารระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (ปิยะดนัย อานทอง, ๒๕๖๔)

ในการประมวลผลภาษาธรรมชาตินั้นจะถูกเพิ่มประสิทธิภาพด้วย การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) คือหนึ่งศาสตร์ของการเรียนรู้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) ที่มีหลายชั้น (Deep) ซึ่งวิธีการเรียนรู้เชิงลึกได้ถูกพัฒนามาจากโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANNs) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้, วิเคราะห์และประมวลผลได้อย่างเหมาะสม โดยเป็นเครื่องมือที่สำคัญใน NLP เนื่องจากมีความสามารถในการเรียนรู้คุณลักษณะที่ซับซ้อนจากข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งจะช่วยปรับปรุงความแม่นยำและประสิทธิภาพในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ อันนี้เช่น การเรียกค้นระดับตัวอักษรของศิลาจารึกสุโขทัยด้วยโมเดลภาษาแบบถูกปิด เป็นต้น (สุจิตรา ทองขำ, ๒๕๖๖)

ปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ NLP คือแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model) ในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) คือ โมเดลที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนที่ถูกฝึกสอน (Trained) เพื่อเข้าใจและสร้างข้อความในภาษาต่าง ๆ ตัวอย่างหนึ่งคือ GPT-๔ ที่ถูกพัฒนาโดย OpenAI โมเดลขนาดใหญ่นี้ได้รับการฝึกสอนด้วยข้อมูลที่มากมายจากเว็บไซต์อินเทอร์เน็ตและสามารถจำลองความสามารถในการสื่อสารของมนุษย์ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้กับงานด้านการประมวลผลภาษาธรรมชาติหลากหลายประเภท โดยเทคนิคหลักในการฝึกสอน Large Language

Model คือการใช้ Transformer ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมที่ ออกแบบมาเพื่อจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนใน NLP เช่น การ สร้างประโยคที่สอดคล้องและเป็นภาษาเขียนที่ดี โมเดลนี้มีความสามารถในการจดจำ ความสัมพันธ์ระหว่างคำต่าง ๆ ในประโยค และสามารถสร้างข้อความที่เข้าใจได้ ทำให้มีประสิทธิภาพ สูงในการนำไปใช้กับงานวิจัยและประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ (พีรพัฒน์ โชคสุวัฒน์สกุล,ศดานันท์ อาศัยบุญ, อรรถพล ธารรัตน์ฤทธิ์,๒๕๖๖)

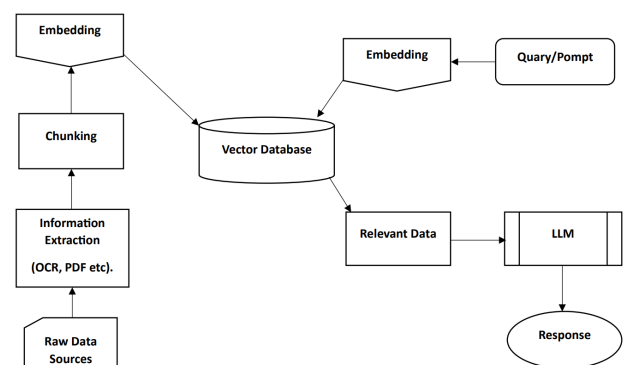
งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำชุดข้อมูลตัวบทกฎหมายและพระราชบัญญัติฉบับที่เกี่ยวข้องกับคดีอาชญากรรมในปัจจุบันได้แก่ ๑) พระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ.๒๕๕๐, ๒) พระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ.๒๕๖๐, ๓) พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ.๒๕๖๒ และ ๔) ประมวลกฎหมายอาญา พ.ศ.๒๔๙๙ นวนชุดข้อมูลทั้งสิ้น ๔ ชุด ที่พนักงานสอบสวนไม่สามารถจดจำได้ทั้งหมด มาเสนอวิธีการพัฒนาและสร้างโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Nature Language Processing - NLP) เข้ามาเป็นตัวช่วยเหลือในการสื่อสารระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ สำหรับการจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับตัวบทกฎหมายและพระราชบัญญัติฉบับต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการไขคดีอาชญากรรมที่เกิดขึ้นนี้ และศึกษาวิธีการใช้ เทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมการสร้างข้อความหรือแร็ก (Retrieval-Augmented Generation - RAG) เพื่อตรวจสอบความคล้ายคลึงระหว่างคำถามและชุดข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลของโมเดล แล้วโมเดลสามารถให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้ได้ถูกต้องสอดคล้องกับข้อกฎหมายที่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลมากที่สุด

๒. วัตถุประสงค์

๒.๑ เพื่อสร้างและพัฒนาโมเดลประมวลผลทางภาษาสำหรับเป็นผู้ช่วยพนักงานสอบสวนที่สามารถให้คำแนะนำและข้อกฎหมายได้อย่างถูกต้องตรงตามข้อมูลที่จัดเตรียมไว้ในฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

๓. วิธีการวิจัย

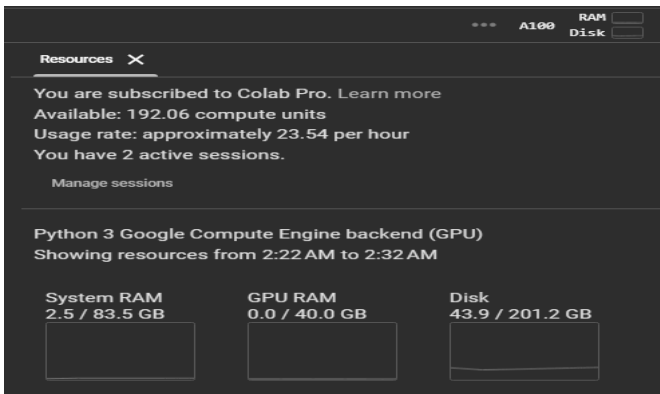
ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงพัฒนาและสร้าง (Developmental and Constructive Research) โดยผู้พัฒนาได้รวบรวมข้อมูลตัวบทกฎหมายและพระราชบัญญัติบางฉบับมาใช้สำหรับงานวิจัย โดยแปลงข้อมูลดังกล่าวให้กลายเป็นข้อมูลดิจิทัลแล้วจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลเวกเตอร์ (Vector Database) ก่อน จะใช้เทคนิคเทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมการสร้างข้อความหรือแร็ก (Retrieval-Augmented Generation - RAG) เพื่อค้นหาเชิงความคล้ายคลึงของข้อความที่ผู้พัฒนาถามเข้าไปในโมเดลโดยใช้โมเดลการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing - NLP) และจะไปหาความคล้ายคลึงกับฐานข้อมูลเวกเตอร์ก่อนจะนำข้อมูลที่ได้มาค้นหาต่อในโมเดลภาษาขนาดใหญ่ที่เลือกมาใช้แล้วได้ออกมาเป็นคำตอบ โดยจะทดสอบความแม่นยำ, สอดคล้อง และความถูกต้องของตัวโมเดล ที่โดยการถามคำถาม (Prompt) ที่อยู่ภายในขอบเขตของชุดข้อมูลกฎหมาย ๔ ชุด ซึ่งถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลเวกเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น “ถูกเข้าระบบคอมพิวเตอร์โดยไม่ได้รับอนุญาต ผิดกฎหมายมาตราใด” ไปยังตัวโมเดล และให้โมเดลประมวลผลคำถาม แล้วค้นข้อมูลภายในฐานข้อมูลและ ประเมินออกมาเป็นคำตอบ (Response) ซึ่งสามารถตรวจสอบคำตอบดังกล่าว



ภาพที่ ๑ แผนผังวิธีการวิจัย

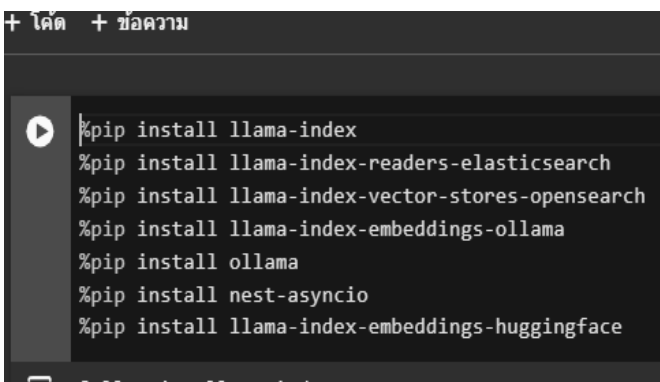
ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ภาษาไพทอนรุ่นที่ ๓ (Python๓) เขียนเป็นภาษาหลักโดยเขียนชุดคำสั่งและชุดโครงสร้างต่างๆ ลงบนแพลตฟอร์ม กูเกิ้ลคอลลอบโพร (Google

Colab Pro) เพื่อสร้างเป็นแผนผังโครงสร้างของตัวโมเดล ซึ่งการเขียนชุดคำสั่งต่างๆ ลงในแพลตฟอร์มของกูเกิลคอลแลปโพรนี้มีข้อดีคือ ผู้วิจัยสามารถยืมใช้ระบบประมวลผล (GPU) จากเซิร์ฟเวอร์ของแพลตฟอร์มได้หลากหลายโดยที่ผู้วิจัยไม่ต้องจัดหาระบบประมวลผลนั้นมาติดตั้งไว้ที่ตัวโมเดลเอง โดยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ GPU ประเภท A๑๐๐ GPU ที่มีความสามารถในการประมวลผล ที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบประมวลผลแบบอื่น



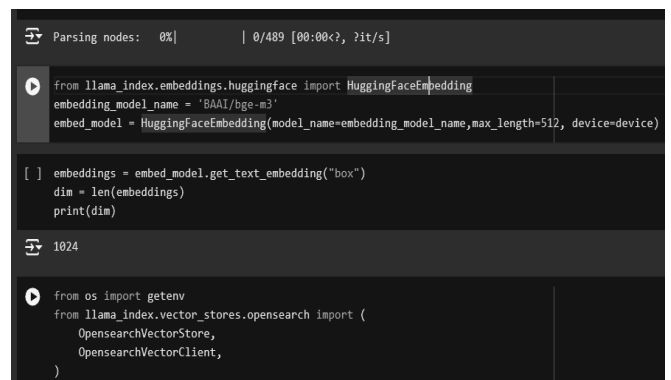
ภาพที่ ๒ ภาพแสดงประสิทธิภาพ ของ A๑๐๐ GPU บน Google Colab

โดยผู้วิจัยจะเริ่มจากการเรียกใช้โมเดล LLaMA (Large Language Model Meta AI) ซึ่งเป็นโมเดลภาษาที่พัฒนาโดยเฟซบุ๊ก (Facebook) เข้ามาใช้เป็นโมเดลหลักในการดำเนินการทำกระบวนการตัดแบ่งคำในไฟล์ชุดข้อมูลเป็นชิ้นๆ (Chunking) ฝังข้อมูล (Embedding) ที่และเปลี่ยนเป็นโทเคน (Token) รวมถึงการสร้างฐานข้อมูลเวกเตอร์ (Vector Databases) และจัดเก็บโทเคนที่ได้ไว้ในฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น



ภาพที่ ๓ ภาพชุดคำสั่งเรียกใช้โมเดล LLaMA

แล้วจึงเรียกใช้โมเดล BAAI/BGE-M๓ จากเว็บไซต์ Hugging Face มาใช้ในการฝังข้อมูล (Embedding) ที่มีคุณภาพสูงจากเว็บไซต์ Hugging Face มาใช้ในการฝังข้อมูล (Embedding) ที่มีคุณภาพสูงจากข้อความ และจะสร้างเวกเตอร์ที่เป็นตัวแทนของข้อความนั้นๆ ที่สามารถใช้งานงานต่างๆ เช่น การค้นหาความเหมือน (similarity search), การจัดกลุ่ม (clustering), และการลดมิติ (dimensionality reduction) เพื่อมาใช้เป็นเทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมการสร้างข้อความหรือแรกในการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่สร้างไว้ ก่อนนำเข้าสู่อโมเดลเพื่อประมวลผล



ภาพที่ ๔ ภาพชุดคำสั่งเรียกใช้โมเดล BAAI/BGE-M๓ จากเว็บไซต์ Hugging Face

จากนั้น ผู้วิจัยจะถามคำถามไปยังตัวโมเดล แล้วโมเดลจะวิเคราะห์คำถาม แล้วจึงตรวจสอบความคล้ายคลึงของคำในฐานข้อมูลแล้วนำมาประมวลผลและสรุปออกมาเป็นคำตอบให้กับคำถามที่ผู้วิจัยได้ถามโมเดลนี้



ภาพที่ ๕ ภาพตัวอย่างคำถามที่ผู้วิจัยใช้ถามโมเดล
ขอบเขตงานวิจัย

๑. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา: ชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นชุดข้อมูลแบบเปิดที่สามารถนำมาใช้ทดสอบได้ โดยข้อมูลดัง

กล่าวเป็นประมวลกฎหมายและพระราชบัญญัติฉบับที่ ถูกบัญญัติให้ใช้แล้วในปัจจุบัน ได้แก่ ๑) พระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ.๒๕๕๐, ๒) พระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ.๒๕๖๐, ๓) พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ.๒๕๖๒ และ ๔) ประมวลกฎหมายอาญา พ.ศ.๒๕๔๙

๒. **เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา:** ผู้เขียนใช้ภาษาไพทอน (Python) เป็นภาษาหลักในการเตรียมข้อมูลโมเดล และสร้างแบบโมเดลขึ้นมา โดยใช้เทคนิคที่นำมาใช้ในการดำเนินการวิจัย ได้แก่ ๑) โมเดลการประมวลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing - NLP) และ ๒) เทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมการสร้างข้อความหรือเรียก (Retrieval-Augmented Generation - RAG)

๔. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการวิจัยครั้งนี้ โมเดลที่ผู้พัฒนาได้สร้างและพัฒนาขึ้นนั้น ผู้พัฒนาได้เรียกใช้โมเดล BAAI/BGE-M3 จากเว็บไซต์ Hugging Face มาใช้ในการฝังข้อมูล (Embedding) ที่มีคุณภาพสูงจากข้อความ และจะสร้างเวกเตอร์ที่เป็นตัวแทนของข้อความนั้นๆ ที่สามารถใช้ในงานต่างๆ เช่น การค้นหาความเหมือน (similarity search), การจัดกลุ่ม (clustering), และการลดมิติ (dimensionality reduction) แล้วนำไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลเวกเตอร์ของโมเดลครั้งนี้ สามารถดำเนินการตัดแบ่งและจัดเก็บข้อมูลชุดตัวบทกฎหมายทั้ง ๔ ชุด ได้ถูกต้อง และเมื่อผู้พัฒนาได้ทดสอบโมเดลด้วยการฐานคำถามภายใต้ขอบเขตของชุดกฎหมายทั้ง ๔ ชุด ไปยังโมเดลแล้วนั้น ผลคือโมเดลสามารถตรวจสอบคล้ายคลึงระหว่างคำถามและข้อมูลในฐานข้อมูล แล้วดึงมาสร้างเป็นข้อความใหม่ที่เป็นคำตอบได้อย่างสอดคล้องกับคำตอบที่ปรากฏอยู่ในตัวบทกฎหมายและพระราชบัญญัติที่ได้จัดทำและเก็บไว้ในฐานข้อมูลเวกเตอร์ได้อย่างถูกต้อง ผลการวิจัยนี้มีนัยสำคัญที่สำคัญต่อการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในด้านกฎหมายและการบริการข้อมูลทางกฎหมาย



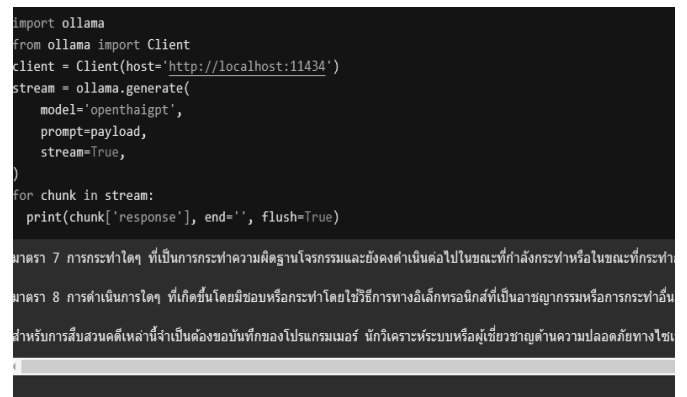
```

[ ] question = "ถูกเข้าถึงระบบคอมพิวเตอร์โดยไม่ได้รับอนุญาต ผิดกฎหมายฉบับใด ควรสอบสวนอย่างไร"
set_index = "crime_pdf_index"

[ ] import torch
device = torch.device("cuda") if torch.cuda.is_available() else torch.device("cpu")
print(device)

```

ภาพที่ ๖ ภาพคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบโมเดลในการวิจัย



```

import ollama
from ollama import Client
client = Client(host='http://localhost:11434')
stream = ollama.generate(
    model='openhaigt',
    prompt=payload,
    stream=True,
)
for chunk in stream:
    print(chunk['response'], end='', flush=True)

```

ภาพที่ ๗ ภาพคำตอบที่โมเดลวิเคราะห์และตอบออกมาในรูปแบบตัวบทกฎหมาย

อภิปรายผล

การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้และประโยชน์ของการใช้เทคโนโลยี NLP และ LLM ในการประมวลผลและดึงข้อมูลทางกฎหมาย การที่โมเดลสามารถตอบคำถามได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับตัวบทกฎหมายเป็นการยืนยันถึงความสามารถของเทคโนโลยีในการนำไปใช้ในภาคปฏิบัติ นอกจากนี้ การใช้ฐานข้อมูลเวกเตอร์ในการจัดเก็บข้อมูลยังเป็นการปรับปรุงกระบวนการค้นหาและดึงข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม การวิจัยยังต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดและความท้าทายที่อาจเกิดขึ้น เช่น ความจำเป็นในการปรับปรุงความแม่นยำของโมเดลในกรณีที่ข้อมูลมีความซับซ้อนหรือไม่ชัดเจน การจัดการกับข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงหรือมีการเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการรับมือกับข้อจำกัดด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล

สรุปแล้ว ผลการวิจัยครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพ และประโยชน์ของการใช้เทคโนโลยีในการประมวลผลข้อมูลทาง กฎหมาย ซึ่งสามารถนำไปสู่การพัฒนาบริการและแอปพลิเคชัน ใหม่ ๆ ที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในวงกว้าง

๕. บทสรุป

กฎหมายว่าด้วยความผิดทางไซเบอร์มีหลายฉบับ แต่ละฉบับมีความซับซ้อนทั้งในเชิงองค์ประกอบทาง กฎหมาย และเชิงองค์ประกอบทางคอมพิวเตอร์และ เทคโนโลยีสารสนเทศ

โมเดลภาษานี้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาจาก ความต้องการช่วยเหลือพนักงานสอบสวนในการตรวจสอบ ความครบถ้วนสมบูรณ์ และความครอบคลุมองค์ประกอบ การกระทำผิดในคดีทางไซเบอร์ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนรู้โมเดลภาษา ธรรมชาติ โดยอาศัยเทคนิคการดึงข้อมูลมาเสริมสร้าง ข้อความ (RAG) ให้ตัวโมเดลสามารถตอบสนองต่อพร้อมท์ที่ ถูกป้อนเข้ามา ผลการวิจัยพบว่า โมเดลสามารถตอบข้อ คำถามผ่านพร้อมท์ได้ดี และเป็นไปตามความคาดหวังของผู้ ใช้งาน

๖. ข้อเสนอแนะ

๖.๑ โมเดลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไป เป็นต้นแบบ, พัฒนา หรือปรับปรุงแก้ไขโมเดลเพื่อใช้สำหรับ การทำงานอื่นที่ผู้วิจัยสนใจในทางวิศวกรรมได้

๖.๒ โมเดลนี้เป็นเพียงการทดลองเริ่มต้นที่สามารถ นำไปปรับปรุงแก้ไขหรือปรับใช้ให้เข้ากับบริบทหรืองานที่ เหมาะสมต่อได้ในอนาคต

๗. เอกสารอ้างอิง

ปิยะดนัย อานทอง. ๒๕๖๔. การเพิ่มประสิทธิภาพของการ ประมวลผลภาษาธรรมชาติโดยการใช้แบบ จำลองข้อมูล ในการเลือกตัวแปรทั้งลำดับของ

ขั้นตอนและกระบวนการ. การศึกษาเฉพาะ บุคคล สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ สุจิตรา ทองขำ. ๒๕๖๖. เทคนิคการเรียกคืนระดับตัวอักษร ของคณาจารย์สุโขทัยด้วยโมเดลภาษาแบบถูก ปิด. กรุงเทพฯ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิรพัฒน์ โชคสุวัฒน์สกุล,ศตวรรษ อาศัยบุญ, อรรถพล ธารง รัตน์ฤทธิ์, ๒๕๖๖. การประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์ ข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิเคราะห์ ผลกระทบและประเมินผลสัมฤทธิ์ของกฎหมาย. วารสารนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ๒๕๗.

โมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพ
ของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ

**CYBERSECURITY MODEL FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS OF CRITICAL
INFORMATION INFRASTRUCTURE IN THE ROYAL THAI AIR FORCE**

ประยูร ธรรมาธิวัฒน์¹ (Prayoon Thammathiwat)¹

ประสงค์ ปรานีตพลกรัง² (Prasong Praneetpolgrang)²

พายัพ ศิรินาม³ (Payap Sirinam)³

วิลาส วิถีไพร⁴ (Wilas Witheeprai)⁴

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: pmgoth@gmail.com

²สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: prasongspu@gmail.com

³สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: p.sirinam@gmail.com

⁴คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: wilas.prai@gmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ โดยใช้กระบวนการพัฒนาสถาปัตยกรรมองค์กรจาก The Open Group Architecture Framework (TOGAF) ร่วมกับ NIST Cybersecurity Framework, ISO/IEC 27001:2022, Enterprise Architecture (EA) และ Enterprise Security Architecture (ESA) โมเดลที่พัฒนาขึ้นนี้เน้นการบูรณาการมาตรฐานความมั่นคงปลอดภัยต่าง ๆ เพื่อสร้างกระบวนการที่ครอบคลุมทั้งการวิเคราะห์ความเสี่ยง การวางแผน การปฏิบัติ และการตรวจสอบ การจัดการความเสี่ยงอย่างเป็นระบบช่วยลดความเสี่ยงจากการโจมตีทางไซเบอร์และเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินได้อย่างรวดเร็ว การทดสอบโมเดลในสถานการณ์จำลอง พบว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันและตอบสนองต่อการโจมตีทางไซเบอร์ และเมื่อถูกนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงของกองทัพอากาศ ยังสามารถปรับปรุงความมั่นคงปลอดภัยของระบบไซเบอร์-กายภาพได้อย่างชัดเจน ผลการวิจัยนี้ยืนยันว่าโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบไซเบอร์-กายภาพของกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถนำไปปรับใช้และพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยในอนาคต

คำสำคัญ: การโจมตีทางไซเบอร์, โมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์, ระบบไซเบอร์-กายภาพ, โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศ

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารดิจิทัลมีการพัฒนาอย่างมาก ใช้ในการสื่อสารและรับส่งข้อมูลทั้งภาคพื้นดิน ใต้ดิน ใต้น้ำ ในอากาศ และในอวกาศ ทั้งภาครัฐและเอกชนต้องปรับตัวให้เข้ากับเทคโนโลยีนี้เพื่อดำเนินงานต่างๆ อย่างไรก็ตาม ภัยคุกคามทางไซเบอร์ก็พัฒนาขึ้น มีรูปแบบใหม่ๆ ที่ไม่เคยพบมาก่อน ทำให้ระบบเครือข่ายโทรคมนาคมและระบบสารสนเทศที่สำคัญได้รับความเสียหาย การแก้ไขใช้เวลานาน ส่งผลกระทบต่อการทำงานในทุกระดับ

กองทัพอากาศมีโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูลที่สำคัญ จำเป็นต้องมีมาตรการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ที่เข้มงวดและสอดคล้องกับมาตรฐาน เช่น การจัดการความเสี่ยงและการบริการคลาวด์ ระบบสำรองข้อมูลเพื่อการกู้คืนที่รวดเร็วเมื่อระบบหลักได้รับความเสียหายจากภัยคุกคามทางไซเบอร์หรือภัยพิบัติอื่น ๆ เพื่อไม่ให้กระทบต่อภารกิจขององค์กร [1]-[5]

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้มีความสนใจในการโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ โดยใช้การออกแบบตามมาตรฐานกรอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาและจัดการสถาปัตยกรรมขององค์กร

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภัยคุกคามทางไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-Physical Threats) คือ ภัยคุกคามที่ส่งผลกระทบต่อระบบที่รวมการคำนวณในโลกไซเบอร์และกระบวนการในโลกกายภาพ เช่น การโจมตีผ่านเครือข่ายและการทำลายอุปกรณ์ [6]

2.2 The Open Group Architecture Framework (TOGAF) คือ มาตรฐานกรอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาและจัดการสถาปัตยกรรมขององค์กร เน้นการปรับปรุงการดำเนินงาน ลดความเสี่ยง และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้

ทรัพยากรสารสนเทศ โดยมี Architecture Development Method (ADM) เป็นกระบวนการหลัก [7]

2.3 NIST Cybersecurity Framework คือ กรอบการทำงานที่พัฒนาโดย NIST ของสหรัฐฯ เพื่อช่วยองค์กรจัดการและลดความเสี่ยงทางไซเบอร์อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นแนวทางและมาตรฐานการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลและโครงสร้างพื้นฐาน [8]

2.4 ISO/IEC 27001:2022 คือ มาตรฐานสากลสำหรับการจัดการความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศที่ปรับปรุงจากเวอร์ชันก่อนหน้า เพื่อตอบสนองต่อภัยคุกคามที่เปลี่ยนแปลงไป เน้นการประเมินความเสี่ยงและการควบคุมความมั่นคงปลอดภัย [9]

2.5 Enterprise Architecture (EA) คือ การจัดทำแผนผังและการออกแบบระบบและกระบวนการภายในองค์กร เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางธุรกิจและเทคโนโลยีได้รวดเร็ว [10]

2.6 Enterprise Security Architecture (ESA) คือ กรอบการทำงานเชิงกลยุทธ์สำหรับป้องกันและจัดการกับความเสี่ยงทางไซเบอร์ในองค์กร โดยเป็นส่วนหนึ่งของ EA เพื่อให้การรักษาความมั่นคงปลอดภัยเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ [11]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Anna Georgiadou et al. (2020) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบ และการปรับปรุงโครงสร้างของเฟรมเวิร์กที่สามารถประเมินความพร้อมในด้านความปลอดภัยขององค์กร [12]

Jiyeong Chae et al. (2023) ได้นำเสนอข้อคิดการออกแบบที่มีประสิทธิภาพสำหรับ AI-Augmented Industrial Cyber-Physical Systems (AICPS) และการเปลี่ยนแปลงจาก Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS) เดิมไปสู่ AICPS โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ [13]

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพ ของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบไซเบอร์-กายภาพ

3.1.1 TOGAF [7]

3.1.2 NIST Cybersecurity Framework [8]

3.1.3 ISO/IEC 27001:2022 [9]

3.1.4 Enterprise Architecture (EA) [10]

3.1.5 Enterprise Security Architecture (ESA) [11]

3.2 การออกแบบกระบวนการทำงาน

3.2.1 ศึกษาภัยคุกคามทางไซเบอร์ที่ส่งผลกระทบต่อระบบไซเบอร์-กายภาพ (CPS) จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [9]-[10]

3.2.2 ทำความเข้าใจการออกแบบระบบ CPS ตามกระบวนการใน TOGAF ADM, NIST Cybersecurity Framework, ISO/IEC 27001:2022, EA และ ESA [11] โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.2.1 การกำหนดนโยบาย ใช้ TOGAF ADM Preliminary Phase และ NIST Cybersecurity Framework ในการกำหนดนโยบายและเป้าหมายความปลอดภัย

3.2.2.2 การวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยง ด้วย ISO/IEC 27001:2022 และ NIST Cybersecurity Framework ในการจัดการและประเมินความเสี่ยงทางไซเบอร์

3.2.2.3 การออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมความปลอดภัยด้วย EA, ESA, TOGAF ADM Architecture Vision & Business Architecture Phases และ ESA ในการออกแบบสถาปัตยกรรมความปลอดภัยและระบบตรวจจับและป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์

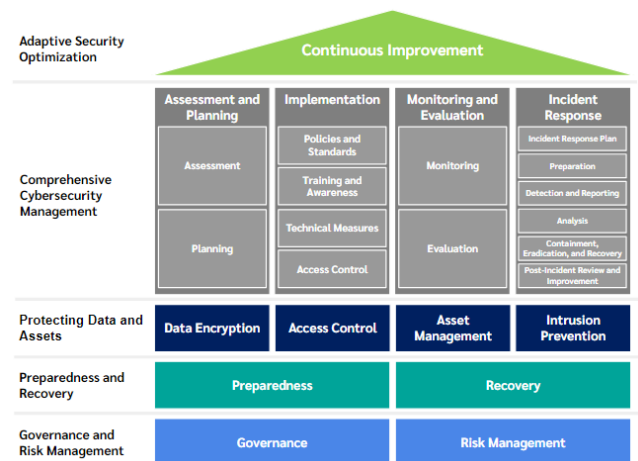
3.2.2.4 การนำไปปฏิบัติและการปรับปรุงต่อเนื่อง ใช้

TOGAF ADM Migration Planning Phase และ NIST Monitoring and Improvement ในการวางแผนการนำไปปฏิบัติและการปรับปรุงระบบความปลอดภัยอย่างต่อเนื่อง

4. ผลการดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-Physical Systems: CPS) ตามกระบวนการพัฒนาสถาปัตยกรรมองค์กร (ADM) บนพื้นฐานของ TOGAF [7], NIST Cybersecurity Framework [8], ISO/IEC 27001:2022 [9], EA [10] และ ESA [11]

ผลการพัฒนาโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพ ของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ

จากภาพที่ 1 แสดงผลการพัฒนาโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพ ของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ เพื่อให้เข้าใจถึงการทำงานของโมเดลความมั่นคงปลอดภัย

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ไซเบอร์ได้ชัดเจนขึ้น งานวิจัยนี้จะนำเสนอภาพประกอบของโครงสร้างโมเดลที่พัฒนา โดยจะแสดงให้เห็นถึงการไหลของข้อมูลจากจุดเริ่มต้นจนถึงการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การบริหารจัดการความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในองค์กร (Governance and Risk Management) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการบริหารจัดการความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในองค์กร มีหน้าที่หลักในการกำกับดูแลและจัดการความเสี่ยงทางไซเบอร์ ประกอบด้วย 2 หัวข้อ ดังนี้

1. การกำกับดูแล (Governance)
 - 1.1. การกำหนดนโยบาย (Policy Setting)
 - 1.2. การกำหนดกรอบการทำงาน (Framework Establishment)
 - 1.3. การตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ (Strategic Decision Making)
2. การจัดการความเสี่ยง (Risk Management)
 - 2.1. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)
 - 2.2. การจัดการความเสี่ยง (Risk Management Plan)
 - 2.3. การตรวจสอบและการประเมินผล (Monitoring and Evaluation)

ส่วนที่ 2 การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยคุกคามและการฟื้นฟูระบบหลังเกิดเหตุการณ์ (Preparedness and Recovery) เป็นส่วนสำคัญในการจัดการความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ มุ่งเน้นการเตรียมพร้อมรับมือกับภัยคุกคามและการฟื้นฟูระบบหลังเกิดเหตุการณ์ ประกอบด้วย 2 หัวข้อ ดังนี้

1. การเตรียมพร้อมรับมือ (Preparedness)
 - 1.1. การวางแผนการฟื้นฟูระบบ (Disaster Recovery Plan)
 - 1.2. การฝึกซ้อมแผนฟื้นฟู (Recovery Drills)
 - 1.3. การเตรียมพร้อมทรัพยากร (Resource Preparedness)
2. การฟื้นฟู (Recovery)

- 2.1. การดำเนินการฟื้นฟูระบบ (Recovery Operations)
- 2.2. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)
- 2.3. การปรับปรุงแผนฟื้นฟู (Plan Improvement)

ส่วนที่ 3 การปกป้องข้อมูลและสินทรัพย์ที่สำคัญขององค์กรจากภัยคุกคามทางไซเบอร์ (Protecting Data and Assets) คือกระบวนการที่มุ่งเน้นการปกป้องข้อมูลและสินทรัพย์ที่สำคัญขององค์กรจากภัยคุกคามทางไซเบอร์ โดยใช้มาตรการและเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลและทรัพยากรมีความปลอดภัยและสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 4 หัวข้อ ดังนี้

1. การเข้ารหัสข้อมูล (Data Encryption)
2. การควบคุมการเข้าถึง (Access Control)
3. การจัดการทรัพยากร (Asset Management)
4. การป้องกันการบุกรุกทางไซเบอร์ (Intrusion Detection)

ส่วนที่ 4 Comprehensive Cybersecurity Management คือ กระบวนการบริหารจัดการความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ประกอบด้วย 4 หัวข้อ ดังนี้

1. การประเมินและวางแผนเพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงจากภัยคุกคามทางไซเบอร์ (Assessment and Planning) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการจัดการความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ โดยมุ่งเน้นการประเมินและวางแผนเพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงจากภัยคุกคามทางไซเบอร์ ประกอบด้วย
 - 1.1. การประเมิน (Assessment)
 - 1.1.1. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)
 - 1.1.2. การระบุทรัพย์สินที่สำคัญ (Asset Identification)
 - 1.1.3. การประเมินภัยคุกคามและช่องโหว่ (Threat and Vulnerability Assessment)
 - 1.2. การวางแผน (Planning)
 - 1.2.1. การจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยง (Risk Management Plan)

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

- | | |
|---|---|
| <p>1.2.2. การกำหนดนโยบายและมาตรฐาน (Policy and Standards Development)</p> <p>1.2.3. การวางแผนทรัพยากร (Resource Planning)</p> <p>2. การปฏิบัติและการนำแผนที่ได้วางไว้ไปใช้งานจริง (Implementation) เป็นขั้นตอนสำคัญในการนำมาตรการและนโยบายความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ไปใช้งานในองค์กร โดยมุ่งเน้นการปฏิบัติและการนำแผนที่ได้วางไว้ไปใช้งานจริง ประกอบด้วย</p> <p>2.1. การกำหนดนโยบายและมาตรฐาน (Policies and Standards)</p> <p>2.2. การฝึกอบรมและสร้างความตระหนักรู้ (Training and Awareness)</p> <p>2.3. การกำหนดมาตรการทางเทคนิค (Technical Measures)</p> <p>2.4. การควบคุมการเข้าถึง (Access Control)</p> <p>3. การตรวจสอบระบบอย่างต่อเนื่องและการประเมินผลการดำเนินงานเพื่อปรับปรุงและพัฒนาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ (Monitoring and Evaluation) เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการบริหารจัดการความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ โดยมุ่งเน้นการตรวจสอบระบบ</p> <p>3.1. การตรวจสอบ (Monitoring)</p> <p style="padding-left: 20px;">3.1.1. การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง (Continuous Monitoring)</p> <p style="padding-left: 20px;">3.1.2. การแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ (Real-time Alerts)</p> <p style="padding-left: 20px;">3.1.3. การจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูลจราจรทางคอมพิวเตอร์ (Log Management)</p> <p>3.2. การประเมินผล (Evaluation)</p> <p style="padding-left: 20px;">3.2.1. การวัดประสิทธิภาพ (Performance Metrics)</p> <p style="padding-left: 20px;">3.2.2. การทบทวนเหตุการณ์ (Incident Review)</p> <p style="padding-left: 20px;">3.2.3. วงจรสะท้อนกลับ (Feedback Loop)</p> <p>4. การจัดการและตอบสนองต่อเหตุการณ์ทางไซเบอร์ (Incident Response) คือกระบวนการที่ใช้ในการ</p> | <p>จัดการและตอบสนองต่อเหตุการณ์ทางไซเบอร์ที่อาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลและระบบในองค์กร โดยมุ่งเน้นการป้องกันความเสียหายเพิ่มเติมและการฟื้นฟูระบบให้กลับสู่สภาพปกติอย่างรวดเร็ว ประกอบด้วย</p> <p>4.1. การวางแผนการตอบสนองต่อเหตุการณ์ (Incident Response Plan)</p> <p>4.2. การเตรียมความพร้อม (Preparation)</p> <p>4.3. การตรวจจับและการรายงาน (Detection and Reporting)</p> <p>4.4. การวิเคราะห์ (Analysis)</p> <p>4.5. การตอบสนอง (Response)</p> <p>4.6. การทบทวนและการปรับปรุง (Post-Incident Review and Improvement)</p> <p>ส่วนที่ 5 การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) เป็นกระบวนการปรับปรุงกระบวนการและมาตรการความมั่นคงปลอดภัยอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองต่อภัยคุกคามและความท้าทายที่เปลี่ยนแปลงไป ประกอบด้วย</p> <p>1. การประเมินและวางแผนเพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงจากภัยคุกคามทางไซเบอร์ (Assessment and Planning)</p> <p style="padding-left: 20px;">1.1. การประเมินและวิเคราะห์ (Assessment and Analysis)</p> <p style="padding-left: 20px;">1.2. การระบุจุดที่ต้องปรับปรุง (Identification of Improvement Areas)</p> <p style="padding-left: 20px;">1.3. การวางแผนการปรับปรุง (Improvement Planning)</p> <p style="padding-left: 20px;">1.4. การดำเนินการปรับปรุง (Implementation of Improvements)</p> <p style="padding-left: 20px;">1.5. การตรวจสอบและประเมินผล (Monitoring and Evaluation)</p> <p style="padding-left: 20px;">1.6. การบันทึกและการจัดการความรู้ (Documentation and Knowledge Management)</p> |
|---|---|

1.7. การทบทวนและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Review and Continuous Feedback)

5. อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางสารสนเทศของกองทัพอากาศ โดยใช้กระบวนการพัฒนาสถาปัตยกรรมองค์ประกอบพื้นฐาน TOGAF, NIST Cybersecurity Framework, ISO/IEC 27001:2022, EA และ ESA ผลลัพธ์ที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การบูรณาการมาตรฐานความมั่นคงปลอดภัย เป็น การนำ TOGAF ADM, NIST Cybersecurity Framework, ISO/IEC 27001:2022, EA และ ESA ร่วมกันในการพัฒนาโมเดล ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศของกองทัพอากาศ

2. การจัดการความเสี่ยงและการตอบสนองต่อภัยคุกคามทางไซเบอร์ เป็นโมเดลที่พัฒนาขึ้นโดยเน้นการจัดการความเสี่ยงอย่างเป็นระบบ ทั้งการประเมิน การควบคุม และการตอบสนองต่อภัยคุกคาม ทำให้ลดความเสี่ยงจากการโจมตีทางไซเบอร์ และเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินได้อย่างรวดเร็ว

3. การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการอย่างต่อเนื่อง เป็นการนำแนวคิดการปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่องทำให้โมเดลสามารถปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงของภัยคุกคามและเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การเพิ่มขีดความสามารถในการป้องกันประเทศด้วยโมเดลที่พัฒนาขึ้นเพิ่มความสามารถในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศของกองทัพอากาศ และแสดงให้เห็นถึงแนวคิดใหม่ ๆ ในการพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ผลการวิจัยยืนยันว่าโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบไซเบอร์-กายภาพของกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสามารถนำไปปรับใช้และพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยในอนาคต

ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้จะมีการพัฒนาโมเดลความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่สามารถช่วยลดความเสี่ยง และป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการที่ควรพิจารณา หนึ่งในข้อจำกัดหลักคือการทดสอบระบบที่ ยังคงเป็นเพียงการจำลองสถานการณ์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมสถานการณ์จริงทุกประการ อีกทั้งความท้าทายในการปรับใช้ระบบนี้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายยังเป็นประเด็นที่ต้องศึกษาต่อไป นอกจากนี้ยังพบข้อจำกัดในเรื่องของทรัพยากรที่ใช้ในการตรวจสอบและประเมินผล ซึ่งอาจต้องใช้เทคโนโลยีและบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญสูง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา พลอากาศตรี ศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรัง สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และคณะทำงานที่ให้คำปรึกษา สนับสนุน และให้คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Royal Thai Air Force, "Royal Thai Air Force Strategy for 20 years (2018 - 2037) (Revised edition 2020)," 2020. <https://welcome-page.raf.mi.th/blog/e-ksaarephyaepr-11/yuththsaastk-ngthaph-aakaas-20-pii-h-s-2561-2580-38> (Accessed: 23-Jun-2024).

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

- [2] Royal Thai Air Force, “Royal Thai Air Force Commander-in-Chief Policy 2024-2025,” 2023. https://cyberportal.rtaf.mi.th/n1/admin/2023/10/11/admin-11102023152012-RTAFpolicy2567-68_o.pdf#page=10 (accessed: Jun. 23, 2024).
- [3] Digital Economy Promotion Agency (DEPA), “Predicting the future of digital technology in Thailand 2035,” 2019. <https://www.depa.or.th/storage/app/media/file/Second%20Deliverable%20RevVer%20TH%20V12%20140819%20FIN.pdf> (accessed: Jun. 23, 2024).
- [4] F. Derakhshan and M. Ashrafnejad, “The Risk of Botnets in Cyber Physical Systems,” *Security of Cyber-Physical Systems*, pp. 81-106, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-45541-5_5.
- [5] T. Semwal and F. Iqbal, *Cyber-Physical Systems*. CRC Press, 2022.
- [6] S. Kim et al, “A Survey on Network Security for Cyber-Physical Systems: From Threats to Resilient Design,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 3, pp. 1534-1573, 2022.
- [7] The Open Group, “TOGAF® Version 9.2,” Van Haren Publishing, 2018. [Online]. Available: <https://pubs.opengroup.org/togaf-standard/>. [Accessed: 23-Jun-2024].
- [8] National Institute of Standards and Technology, “Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity. Version 1.1,” Apr. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.04162018>. [accessed: 23-Jun-2024].
- [9] International Organization for Standardization, “ISO/IEC 27001:2022 Information technology - Security techniques - Information security management systems – Requirements. 2022,” [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/82875.html>. [Accessed: 23-Jun-2024].
- [10] J. A. Zachman, “A framework for information systems architecture,” *IBM Systems Journal*, vol. 26, no. 3, pp. 276-292, 1987.
- [11] E. Franchi, “Getting Started with Enterprise Architecture: A Practical and Pragmatic Approach to Learning the Basics of Enterprise Architecture,” *Apress*, 2021.
- [12] A. Georgiadou, S. Mouzakitis, K. Bounas, and D. Askounis, “A Cyber-Security Culture Framework for Assessing Organization Readiness,” *Journal of Computer Information Systems*, vol. 62, no. 3, pp. 452-462, 2020, doi: 10.1080/08874417.2020.1845583.
- [13] J. Chae, S. Lee, J. Jang, S. Hong, and K.-J. Park, “A Survey and Perspective on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS): From ICPS to AI-Augmented ICPS,” *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*, vol. 1, pp. 257-272, 2023, doi: 10.1109/ticps.2023.3323600.
- [14] D. E. Denning, “Stuxnet: What Has Changed?,” *Future Internet*, vol. 4, no. 3, pp. 672-687, 2012, doi: 10.3390/fi4030672.
- [15] R. Khan, P. Maynard, K. McLaughlin, D. Laverty, and S. Sezer, “Threat Analysis of BlackEnergy Malware for Synchronophasor based Real-time Control and Monitoring in Smart Grid,” *Electronic Workshops in Computing*, 2016, doi: 10.14236/ewic/ics2016.7.

การวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์โจมตีทางไซเบอร์แบบเรียลไทม์โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง
สำหรับป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ในองค์กร

**A REAL-TIME CYBER ATTACK BEHAVIOR ANALYSIS USING
MACHINE LEARNING FOR CYBER THREAT PROTECTION IN ORGANIZATION**

ณัฐดนัย กองขุนทด¹ (Natdanai Kongkhunthod)¹

ประสงศ์ ปราณีตพลกรัง² (Prasong Praneetpolgrang)²

พายัพ ศิรินาม³ (Payap Sirinam)³

ประसान วงษ์กิติโสภณ⁴ (Prasan Wongkitisophon)⁴

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: natdanai4@gmail.com

²สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: prasongspu@gmail.com

³สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: p.sirinam@gmail.com

⁴คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: prasan@gmesh.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์โจมตีทางไซเบอร์แบบเรียลไทม์โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ในองค์กรกับชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้อัลกอริทึมของการเรียนรู้ของเครื่องประกอบด้วย 4 อัลกอริทึม ได้แก่ Decision Tree, Gradient Boosted Trees, Naïve Bayes และ Random Forest ผ่านการใช้โปรแกรม RapidMiner Studio

ผลการทดลองพบว่า อัลกอริทึม Gradient Boosted Trees มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Accuracy) และค่าเฉลี่ยความเที่ยง (Precision) เป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุด นั่นคือมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำเท่ากับ 99.38% ความเที่ยงเท่ากับ 83.53% รวมไปถึงค่าความระลึก (Recall) เท่ากับ 74.13% และค่าความถ่วงดุล (F-Measure) เท่ากับ 78.55% รองลงมาคืออัลกอริทึม Decision Tree มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำเท่ากับ 98.49% ค่าความเที่ยงเท่ากับ 81.25% ค่าความระลึกเท่ากับ 59.89% และค่าความถ่วงดุลเท่ากับ 68.95% อันดับต่อมาคืออัลกอริทึม Random Forest มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำเท่ากับ 98.78% ค่าความเที่ยงเท่ากับ 65.88% ค่าความระลึกเท่ากับ 58.47% และค่าความถ่วงดุลเท่ากับ 61.95% และอัลกอริทึม Naïve Bayes ให้ค่าเฉลี่ยความแม่นยำเท่ากับ 97.35% ความเที่ยงเท่ากับ 64.79% ค่าความระลึกเท่ากับ 76.63% และค่าความถ่วงดุลเท่ากับ 70.21% ในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม Gradient Boosted Trees มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำ และค่าเฉลี่ยความเที่ยงเป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุด สำหรับชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์โจมตีทางไซเบอร์สำหรับป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ในองค์กร

คำสำคัญ: การโจมตีทางไซเบอร์, ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์, ภัยคุกคามทางไซเบอร์

1. บทนำ

ในยุคดิจิทัลปัจจุบัน ภัยคุกคามทางไซเบอร์ได้ทวีความรุนแรงและซับซ้อนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง การโจมตีทางไซเบอร์ไม่เพียงส่งผลกระทบต่อองค์กรภาครัฐและเอกชนในด้านความมั่นคงทางการเงิน การธนาคาร การแพทย์ และข้อมูลส่วนบุคคลเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของประเทศอีกด้วยด้วยองค์กรต่าง ๆ ตกเป็นเป้าหมายการโจมตีทางไซเบอร์ อย่างไรก็ตามการพึ่งพา ระบบวิเคราะห์และตรวจจับภัยคุกคามทางไซเบอร์เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากระบบที่ใช้ในการป้องกันมีข้อจำกัด และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ระบบที่หน่วยงานได้จัดหาอาจไม่ครอบคลุมด้านการเฝ้าระวังภัยคุกคามใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้น ดังนั้น การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) จึงเป็นแนวทางที่ดีที่สุดในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาอย่างก้าวกระโดดไปอย่างรวดเร็ว การที่จะหวังพึ่งพา ระบบวิเคราะห์และตรวจจับภัยคุกคามทางไซเบอร์อาจยังไม่เพียงพอ อันเนื่องจากปัญหาของระบบที่ใช้ในการป้องกันมีข้อจำกัด รวมถึงเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว หรือระบบที่ทางองค์กรได้ทำการจัดหาอาจไม่ครอบคลุมด้านการเฝ้าระวังภัยคุกคามที่เกิดขึ้นใหม่ ดังนั้น การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

ผู้วิจัยมีความสนใจในการนำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องมาสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์โจมตีทางไซเบอร์ในองค์กร โดยใช้โปรแกรม RapidMiner Studio เพื่อควบคุมและออกแบบการทำงานของแบบจำลองให้เป็นอัตโนมัติ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์โจมตีทางไซเบอร์แบบเรียลไทม์

ซึ่งจะเป็นเครื่องมือสำคัญในการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบตรวจจับการบุกรุก (Intrusion Detection System: IDS)

ระบบตรวจจับการบุกรุก (IDS) คืออุปกรณ์หรือแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่คอยทำหน้าที่ตรวจจับการบุกรุกทางไซเบอร์ เมื่อมีการเข้าถึงหรือกิจกรรมที่ถูกระบุว่าเป็นภัยคุกคามหรือการละเมิดนโยบาย หรือกิจกรรมที่ผิดปกติ (Anomaly) ระบบจะทำการแจ้งเตือนไปยังระบบส่วนกลางเพื่อให้ผู้ดูแลทราบ และทำการตรวจสอบทันที [1]-[4]

2.2 อัลกอริทึมที่ใช้จำแนกภัยคุกคามเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์โจมตีทางไซเบอร์

2.2.1 อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างโครงสร้างแบบต้นไม้เพื่อทำการพยากรณ์และจำแนกข้อมูล การแบ่งข้อมูลจะเกิดขึ้นจากการเลือกตัวแปรที่สามารถแบ่งข้อมูลได้ดีที่สุด โดยจะสร้างโหนดและกิ่งไม้ที่เชื่อมโยงไปยังผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน [5]-[6]

2.2.2 อัลกอริทึม Gradient Boosting เป็นอัลกอริทึมที่พัฒนาจาก Decision Tree โดยการสร้าง Decision Tree แบบสุ่มขึ้นมาจำนวนมากและทำการประเมินผลแต่ละอัลกอริทึมจนกว่าจะได้ Decision Tree ที่สมบูรณ์ที่สุด อัลกอริทึมนี้เน้นการปรับปรุงโมเดลด้วยการลดข้อผิดพลาดทีละน้อย ๆ จากต้นไม้แต่ละต้น [6]-[7]

2.2.3 อัลกอริทึมนาอิวเบย์ (Naïve Bayes) เป็นอัลกอริทึมในการจำแนกข้อมูลโดยใช้ความน่าจะเป็นและวิธีการทางสถิติจากกฎของเบย์ อัลกอริทึมนี้ทำการคำนวณความน่าจะเป็นที่ถูกต้องที่สุดโดยอาศัยข้อมูลก่อนหน้าและข้อมูลปัจจุบัน เพื่อหาสมมติฐานที่ดีที่สุด [6], [8], [9]

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

2.2.4 อัลกอริทึมการตัดสินใจแบบสุ่ม (Random Forest) เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับแก้ปัญหาการจำแนกประเภทและการถดถอย ใช้การนำอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจมาทำการเพิ่มจำนวนต้นไม้หลาย ๆ ต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ โดยการสุ่มข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการสร้างต้นไม้แต่ละต้น [6], [10]

2.3 ชุดข้อมูล (Dataset)

ชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 ของ The University of Queensland ที่ได้ทำการรวบรวมมาจาก ข้อมูลด้านความปลอดภัยของเครือข่าย ซึ่งมีรูปแบบภัยคุกคาม 15 ประเภท จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 18,893,708 รายการ [11]

2.4 RapidMiner คือ Data Science Platform [12] ใช้สำหรับการออกแบบการวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบอัลกอริทึม ที่สามารถทำการจัดการข้อมูล และสร้างอัลกอริทึมในรูปแบบตามที่กำหนด รวมถึงการแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์โจมตีทางไซเบอร์แบบเรียลไทม์โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องเพื่อป้องกันภัยคุกคามในองค์กร โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 เครื่องมือในการวิจัย

3.1.1 โปรแกรม RapidMiner Studio

3.1.2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลมี 4 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึม Decision Tree, Gradient Boosted Trees, Naïve Bayes และ Random Forest

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการบุกรุกทางไซเบอร์ประเภทต่าง ๆ และศึกษาอัลกอริทึมจากชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 เพื่อหาอัลกอริทึมที่เหมาะสม โดยศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2.2 ศึกษาชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 ซึ่งรวบรวมโดย The University of Queensland ประกอบด้วยแอตทริบิวต์ 13 แอตทริบิวต์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงชื่อและประเภทของแอตทริบิวต์

ลำดับ	ชื่อแอตทริบิวต์	ประเภท
1	IPV4_SRC_ADDR	Discrete
2	L4_SRC_PORT	Discrete
3	IPV4_DST_ADDR	Discrete
4	L4_DST_PORT	Discrete
5	PROTOCOL	Discrete
6	TCP_FLAGS	Discrete
7	L7_PROTO	Discrete
8	IN_BYTES	Discrete
9	OUT_BYTES	Discrete
10	IN_PKTS	Discrete
11	OUT_PKTS	Discrete
12	FLOW_DURATION_MILLISECONDS	Discrete
13	Attack	Discrete

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 ของ The University of Queensland ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 18,893,708 เรคคอร์ด ทั้งนี้ได้แบ่งตามประเภทของการโจมตีไว้แล้ว ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประเภทภัยคุกคามทางไซเบอร์

ประเภทภัยคุกคาม	จำนวน	อัตราส่วน
Benign	16,635,567	88.048%
Bot	143,097	0.757%
Brute Force -Web	2,143	0.011%
Brute Force -XSS	927	0.005%
DDOS attack-HOIC	1,080,858	5.721%
DDOS attack-LOIC-UDP	2,112	0.011%
DDoS attacks-LOIC-HTTP	307,300	1.626%
DoS attacks-GoldenEye	27,723	0.147%
DoS attacks-Hulk	432,648	2.290%

ตารางที่ 2 ประเภทภัยคุกคามทางไซเบอร์ (ต่อ)

ประเภทภัยคุกคาม	จำนวน	อัตราส่วน
DoS attacks-SlowHTTPTest	14,116	0.075%
DoS attacks-Slowloris	9,512	0.050%
FTP-BruteForce	25,933	0.137%
Infiltration	116,361	0.616%
SQL Injection	432	0.002%
SSH-Bruteforce	94,979	0.503%
ALL	18,893,708	100%

3.2.3 การเตรียมข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนในอัตราเปอร์เซ็นต์ 70:30 คือ ในส่วนอัตรา 70 เปอร์เซ็นต์แรกใช้สำหรับการฝึกสอนเพื่อให้อัลกอริทึมเกิดการเรียนรู้ ส่วนอัตรา 30 เปอร์เซ็นต์ที่สองใช้สำหรับการทดสอบอัลกอริทึม

3.2.4 สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม RapidMiner Studio และเลือกใช้อัลกอริทึม 4 อัลกอริทึม คือ Decision Tree, Gradient Boosted Trees, Naïve Bayes และ Random Forest [13]-[19]

3.2.5 ประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ด้วยอัลกอริทึมการจำแนกข้อมูลพฤติกรรมจราจรทางไซเบอร์ ด้วยอัลกอริทึม Decision Tree, Gradient Boosted Trees, Naïve Bayes และ Random Forest กับชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแต่ละอัลกอริทึม โดยใช้สมการวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) ค่าความเที่ยง (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความถ่วงดุล (F-Measure) [20]-[21] ได้ตามสมการที่ (1) - (4) ดังนี้

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F-Measure = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

โดยที่ TP = True Positive คือ ข้อมูลที่ทำนายถูกต้องเมื่อเทียบกับเฉลย

FP = False Positive คือ ข้อมูลที่ทำนายแล้วไม่ถูกต้องเมื่อเทียบกับเฉลย

TN = True Negative คือ ข้อมูลที่อยู่ในเฉลยแต่ไม่มีการทำนาย (ตรงข้ามกับ FN)

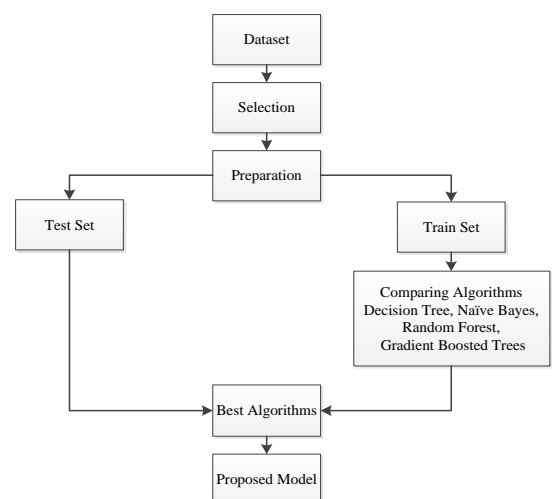
Precision คือ ค่าความเที่ยงเกิดจากการนำค่า TP มาเทียบกับ FP

Recall คือค่าความระลึกเกิดจากการนำค่า TP มาเทียบกับ FN

F-Measure คือ ค่าเฉลี่ยของ Precision และ Recall

4. ผลการดำเนินงาน

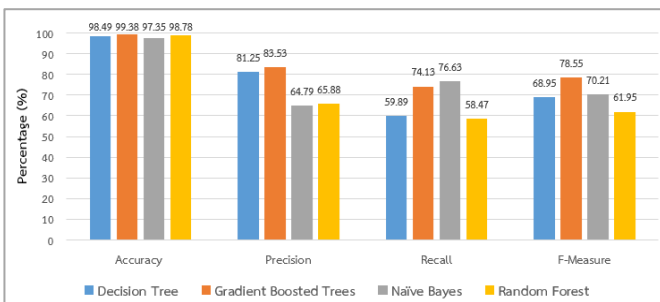
การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 นำเข้ากระบวนการวิเคราะห์พฤติกรรมจราจรทางไซเบอร์ด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio โดยใช้อัลกอริทึมการจำแนกข้อมูลการจราจร 4 อัลกอริทึม คือ อัลกอริทึม Decision Tree, Gradient Boosted Trees, Naïve Bayes และ Random Forest แสดงผลลัพธ์ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์พฤติกรรมจราจรทางไซเบอร์

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

จากภาพที่ 1 แสดงการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio โดยเริ่มจากนำเข้าข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม จากนั้นทำการเลือกแอตทริบิวต์ที่ต้องการ จากนั้นทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนตามที่ระบุไว้ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลก่อนหน้า จากนั้นทำการทดสอบกับ 4 อัลกอริทึม คืออัลกอริทึม Decision Tree, Gradient Boosted Trees, Naïve Bayes และ Random Forest จากนั้นทำการตรวจสอบค่าเฉลี่ยความเที่ยง และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ เพื่อทำการคัดเลือกอัลกอริทึมที่มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำ และความเที่ยงที่สูงที่สุด เพื่อนำไปเป็นอัลกอริทึมหลักในการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์พฤติกรรมกรมการโจมตีทางไซเบอร์ฯ โดยแสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพดังภาพที่ 2 และตารางที่ 3



ภาพที่ 2 กราฟเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า Accuracy Precision Recall และ F-Measure

จากภาพที่ 2 สามารถสรุปได้ดังนี้ อัลกอริทึม Gradient Boosted Trees มีค่าเฉลี่ย Accuracy เท่ากับ 99.38% ค่าเฉลี่ย Precision เท่ากับ 83.53% ค่าเฉลี่ย Recall เท่ากับ 74.13% และ ค่าเฉลี่ย F-Measure เท่ากับ 78.55% อัลกอริทึม Decision Tree มีค่าเฉลี่ย Accuracy เท่ากับ 98.49% ค่าเฉลี่ย Precision เท่ากับ 81.25% ค่าเฉลี่ย Recall เท่ากับ 59.89% และค่าเฉลี่ย F-Measure เท่ากับ 68.95% อัลกอริทึม Random Forest มีค่าเฉลี่ย Accuracy เท่ากับ 98.78% ค่าเฉลี่ย Precision เท่ากับ 65.88%

ค่าเฉลี่ย Recall เท่ากับ 58.47% และค่าเฉลี่ย F-Measure เท่ากับ 61.95% และอัลกอริทึม Naïve Bayes มีค่าเฉลี่ย Accuracy เท่ากับ 97.35% ค่าเฉลี่ย Precision เท่ากับ 64.79% ค่าเฉลี่ย Recall เท่ากับ 76.63% และค่าเฉลี่ย F-Measure เท่ากับ 70.21%

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าทางสถิติแบบจำลองทั้ง 4 อัลกอริทึม

Algorithms	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F-Measure (%)
Decision Tree	98.49	81.25	59.89	68.95
Gradient Boosted Trees	99.38	83.53	74.13	78.55
Naïve Bayes	97.35	64.79	76.63	70.21
Random Forest	98.78	65.88	58.47	61.95

จากตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติการวิเคราะห์พฤติกรรมกรมการโจมตีทางไซเบอร์ร่วมกับชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 ของแต่ละอัลกอริทึมพบว่าแบบจำลองที่ใช้อัลกอริทึม Gradient Boosted Trees มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (99.38%) และค่าเฉลี่ยความเที่ยง (83.53%) เป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุด จากอัลกอริทึมทั้งหมด

5. อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมกรมการโจมตีทางไซเบอร์ กับชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 โดยใช้อัลกอริทึม 4 อัลกอริทึม ประกอบด้วย Decision Tree, Gradient Boosted Trees, Naïve Bayes และ Random Forest ผ่านใช้โปรแกรม RapidMiner Studio

ผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์ภัยคุกคามทางไซเบอร์ จากชุดข้อมูล NF-CSE-CIC-IDS2018-V2 ด้วยอัลกอริทึม Gradient Boosted Trees มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำ และ ค่าเฉลี่ยความเที่ยงสูงสุด จากอัลกอริทึมที่กล่าวมาทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่าง ๆ [22], [23] หลังจากนั้นผู้วิจัย จึงนำอัลกอริทึมดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรม การโจมตีทางไซเบอร์สำหรับป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ ในองค์กรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา พลอากาศตรี ศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรัง และ นาวาอากาศโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัยัพ ศิรินาม สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และคณะทำงานที่ให้คำปรึกษา สนับสนุน และให้คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จได้อย่าง สมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Liu, Y. Qi, L. Shi, and J. Yan, "Locate-then-detect: real-time web attack detection via attention-based deep neural networks," in *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pp. 4725-4731, 2019.
- [2] A. H. Janabi, T. Kanakis, and M. Johnson, "Overhead Reduction Technique for Software-Defined Network Based Intrusion Detection Systems," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 66481-66491, 2022.
- [3] G. Karatas, O. Demir, and O. K. Sahingoz, "Increasing the Performance of Machine Learning-Based IDSs on an Imbalanced and Up-to-Date Dataset," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 32150-32162, 2020.
- [4] A. Khraisat, I. Gondal, P. Vamplew, and J. Kamruzzaman, "Survey of intrusion detection systems: techniques, datasets and challenges," *Cybersecurity*, vol. 2, no. 1, 2019, doi: 10.1186/s42400-019-0038-7.
- [5] A. S. A. Aziz, S. E.-O. Hanafi, and A. E. Hassanien, "Comparison of classification techniques applied for network intrusion detection and classification," *Journal of Applied Logic*, vol. 24, pp. 109-118, 2017.
- [6] A. Karim, M. Shahroz, K. Mustofa, S. B. Belhaouari, and S. R. K. Joga, "Phishing Detection System Through Hybrid Machine Learning Based on URL," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 36805-36822, 2023.
- [7] W. Li, W. Wang, and W. Huo, "RegBoost: a gradient boosted multivariate regression algorithm," *International Journal of Crowd Science*, vol. 4, no. 1, pp. 60-72, 2020.
- [8] H. Yin, M. Xue, Y. Xiao, K. Xia, and G. Yu, "Intrusion Detection Classification Model on an Improved k-Dependence Bayesian Network," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 157555-157563, 2019.
- [9] L. Jian and K.-T. Chau, "ANALYTICAL CALCULATION OF MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION IN COAXIAL MAGNETIC GEARS," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 92, pp. 1-16, 2009.
- [10] N. Mahdi Abdulkareem and A. M. Abdulazeez, "Machine learning classification based on random forest algorithm: A review," *International Journal of Science and Business*, vol. 5, no. 2, pp. 128-142, 2021.
- [11] M. Sarhan, S. Layeghy, and M. Portmann, "Towards a Standard Feature Set for Network Intrusion Detection System Datasets," *Mobile Networks and Applications*, vol. 27, no. 1, pp. 357-370, 2021, doi: 10.1007/s11036-021-01843-0.
- [12] I. Garcia-Magarino, G. Gray, R. Lacuesta, and J. Lloret, "Survivability Strategies for Emerging Wireless Networks With Data Mining Techniques: a Case Study With NetLogo and RapidMiner," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 27958-27970, 2018, doi: 10.1109/access.2018.2825954.

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

- [13] G.-P. Fernando, A.-A. H. Brayan, A. M. Florina, C.-B. Liliana, A.-M. Héctor-Gabriel, and T.-S. Reinel, "Enhancing Intrusion Detection in IoT Communications Through ML Model Generalization With a New Dataset (IDSAI)," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 70542-70559, 2023.
- [14] L. Zou, X. Luo, Y. Zhang, X. Yang, and X. Wang, "HC-DTTSVM: A Network Intrusion Detection Method Based on Decision Tree Twin Support Vector Machine and Hierarchical Clustering," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 21404-21416, 2023.
- [15] S. Ameer, "Comparative Analysis of Machine Learning Techniques for Predicting Air Quality in Smart Cities," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 128325-128338, 2019.
- [16] W. Alhakami, A. Alharbi, S. Bourouis, R. Alroobaea, and N. Bouguila, "Network Anomaly Intrusion Detection Using a Nonparametric Bayesian Approach and Feature Selection," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 52181-52190, 2019.
- [17] X. Gao, C. Shan, C. Hu, Z. Niu, and Z. Liu, "An Adaptive Ensemble Machine Learning Model for Intrusion Detection," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 82512-82521, 2019.
- [18] Y. Yu and N. Bian, "An Intrusion Detection Method Using Few-Shot Learning," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 49730-49740, 2020.
- [19] Z. Wu, H. Zhang, P. Wang, and Z. Sun, "RTIDS: A Robust Transformer-Based Approach for Intrusion Detection System," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 64375-64387, 2022.
- [20] R. Zhao, Y. Mu, L. Zou, and X. Wen, "A Hybrid Intrusion Detection System Based on Feature Selection and Weighted Stacking Classifier," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 71414-71426, 2022.
- [21] A. A. Taha and S. J. Malebary, "An Intelligent Approach to Credit Card Fraud Detection Using an Optimized Light Gradient Boosting Machine," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 25579-25587, 2020.
- [22] N. Kongkhunthod et al, "A Model for Analysis of Cyber Attack Behaviors Using Artificial Intelligence in the Royal Thai Air Force," *Proceedings of the 19th National Conference on Computing and Information Technology*, Thailand, pp. 36-41, 2023.
- [23] N. Sujiratum et al, "A Predictive Model for Distributed Denial-of-Service Attacks to Strengthen Cybersecurity," in an Organization's Computer Network Through Machine. *Proceedings of the 20th National Conference on Computing and Information Technology*, Thailand, pp. 96-101, 2024.

การทำนายการบุกรุกทางไซเบอร์โดยอิงข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

**CYBERSECURITY INTRUSION PREDICTION BASED ON TIME SERIES DATA
USING DEEP LEARNING**

สมบูรณ์ อดนัน¹ (Somboon udnan)¹

ประสงค์ ปราณีตพลกรัง² (Prasong Praneetponlgrang)²

พายัพ ศิรินาม³ (Payap Sirinam)³

ชนะภัทร ภัทรเมธากุล⁴ (Chanapatt Pattaramaetakul)⁴

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: vit.peksayfa@gmail.com

²สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: prasongspu@gmail.com

³สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: p.sirinam@gmail.com

⁴คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: chanapatt.p@gmail.com

บทคัดย่อ: บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำนายการบุกรุกทางไซเบอร์โดยอิงข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ IDS/IPS และข้อมูล Logs ในระบบ Firewall ของกองทัพอากาศ ซึ่งได้นำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลเป็นชุดข้อมูลการบุกรุกทางไซเบอร์แบบอนุกรมเวลา ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 ถึง 31 ธันวาคม 2566 จำนวน 1,095 ข้อมูล ในการทำนายด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกที่ประกอบด้วย 4 อัลกอริทึม ได้แก่ RNN, LSTM, GRU และ Bi-LSTM การวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างคุณลักษณะใหม่ให้กับข้อมูลอนุกรมเวลาจากสถิติข้อมูลการโจมตีทางไซเบอร์ผ่านตัวแบบทำนายที่ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกอันส่งผลทำให้การทำนายมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ผลการวิจัย พบว่า อัลกอริทึม RNN ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) อยู่ที่ 0.1941 ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) อยู่ที่ 0.3992 และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) เท่ากับ 0.6318

คำสำคัญ: การทำนาย, อนุกรมเวลา, เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

1. บทนำ

การทำนายภัยคุกคามทางไซเบอร์เป็นส่วนหนึ่งของการประเมินความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ภัยคุกคามที่จะเกิดขึ้นกับองค์กร อาวุธทางไซเบอร์ในปัจจุบันสามารถโจมตีได้จากกระไกล โดยสามารถโจมตีฝ่ายตรงข้ามจากจุดไหนก็ได้ในโลก ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างการดำเนินการเชิงกลยุทธ์ ไม่ว่าจะเป็นการรุกหรือการตั้งรับ การปฏิบัติการทางทหารในอนาคตจะต้องพบเจอกับความท้าทายของภัยคุกคามของสงครามแบบลูกผสม หรือ Hybrid Warfare มากขึ้น ซึ่งฝ่ายที่มีข้อมูลของฝ่ายตรงข้ามมากที่สุดอาจเป็นตัวชี้ผลแพ้ชนะของสงครามได้ [1] ดังนั้น การคาดการณ์เหตุการณ์ล่วงหน้าได้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งไม่ว่าทางทหารหรือพลเรือน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำนายภัยคุกคามทางไซเบอร์

จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบว่าการใช้อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการทำนาย การใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) มีความสามารถในการเรียนรู้เงื่อนไขที่ซับซ้อนได้ดี รองรับการเรียนรู้กับข้อมูลที่มีการเพิ่มปริมาณและความหลากหลายอยู่ตลอดเวลา [2]

2.2 ข้อมูลแบบอนุกรมเวลา (Time Series Data)

อนุกรมเวลา หรือ “Time Series” เป็นลำดับของข้อมูลที่บันทึกไว้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เรียงตามลำดับ โดยปกติจะใช้สำหรับการวิเคราะห์แนวโน้มทำนายค่าในอนาคตหรือทำความเข้าใจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ การวิเคราะห์อนุกรมเวลามีอยู่หลายเทคนิค เช่น การวิเคราะห์แนวโน้ม (Trend Analysis), การหาความสัมพันธ์ระยะยาวในข้อมูล, การวิเคราะห์ฤดูกาล (Seasonal Analysis) และ การตรวจจบบรูปแบบซ้ำ ๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด เป็นต้น [3]

2.3 การสร้างคุณลักษณะจากสถิติข้อมูลการโจมตี

การสร้างคุณลักษณะข้อมูล (Feature) คุณลักษณะข้อมูลที่เหมาะสมจะช่วยให้ตัวแบบทำนายเรียนรู้และทำนายได้ดียิ่งขึ้น ข้อมูลการโจมตีทางไซเบอร์ในแต่ละชั่วโมงอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามห้วงระยะเวลาของวันได้ ข้อมูลการโจมตีทางไซเบอร์มักมีรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา [4] ทำให้การสร้างคุณลักษณะข้อมูลของเวลาเป็นตัวช่วยหนึ่งในการวิเคราะห์และทำนายแนวโน้มการโจมตีทางไซเบอร์ได้ดียิ่งขึ้น [5], [6]

2.4 ชุดข้อมูล RTAF Intrusion Dataset

เป็นชุดข้อมูลที่มีจำนวน 21 แอตทริบิวต์ และ 1,095 เรคคอร์ด ซึ่งเป็นข้อมูลการโจมตีทางไซเบอร์ที่มีการเรียงลำดับแบบอนุกรมเวลาจำนวน 3 ปี และมีการเพิ่มคุณลักษณะข้อมูลเวลา (Time Features) คือ day_of_week และ is_weekend เพื่อช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มภัยคุกคามทางไซเบอร์ตามช่วงเวลาของแต่ละวันได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยมีรายละเอียดของรายชื่อ แอตทริบิวต์และคุณลักษณะข้อมูล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายชื่อแอตทริบิวต์และคุณลักษณะข้อมูล (Dataset Properties)

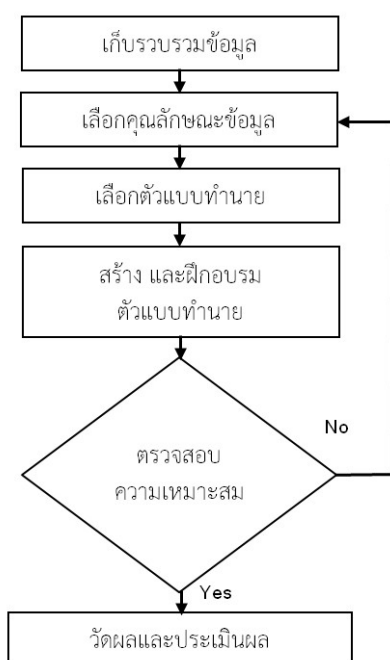
ลำดับ	ชื่อแอตทริบิวต์	คุณลักษณะข้อมูล (Dataset Properties)
1	Id	Discrete
2	day_	Discrete
3	Probe	Discrete
4	Trojan	Discrete
5	Crypto Jacking	Discrete
6	Web Shell	Discrete
7	Botnet	Discrete
8	Injection	Discrete
9	Brute Force Attack	Discrete

ตารางที่ 1 รายชื่อแอตทริบิวต์และคุณลักษณะข้อมูล
(Dataset Properties) (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อแอตทริบิวต์	คุณลักษณะข้อมูล (Dataset Properties)
10	Dropper	Discrete
11	Ransomware	Discrete
12	R2L	Discrete
13	Worm	Discrete
14	DDoS	Discrete
15	U2R	Discrete
16	Man in the Middle Attacks	Discrete
17	Data leak	Discrete
18	Phishing	Discrete
19	Website Defacement	Discrete
20	day_of_week	Discrete
21	is_weekend	Discrete

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การทำนายการบุกรุกทางไซเบอร์มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบทำนายการบุกรุกทางไซเบอร์บนโปรแกรม Anaconda ด้วยภาษา Python เวอร์ชัน 3.8 และใช้ Library ของ Keras ร่วมกับ Tensor Flow [7] ในการดำเนินการวิจัย และใช้ 4 อัลกอริทึม ในการทำนาย ได้แก่ อัลกอริทึม Recurrent Neural Network (RNN) [8], Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU) และ Bidirectional Long Short-Term Memory (Bi-LSTM) [9]

การวัดผลและประเมินผลด้วยสมการค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE), ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) และ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) [10]

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผู้วิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือชุดข้อมูลจำนวน 365 วัน หรือข้อมูล 1 ปี และชุดข้อมูลจำนวน 1,095 วัน หรือข้อมูล 3 ปี โดยมีผลการทดลอง ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ผลการทดลองตัวแบบทำนายกับชุดข้อมูล 1 ปี

ตัวแบบทำนาย	MAE	MSE	RMSE
RNN	0.1916	0.3973	0.6303
LSTM	0.2865	0.5112	0.7150
GRU	0.2173	0.4228	0.6502
Bi-LSTM	9.8457	1009.8269	31.7778

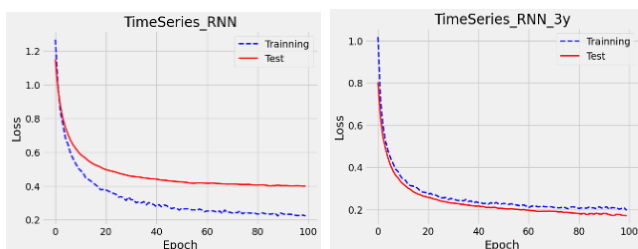
จากผลการทดลองในตารางที่ 2 จะเห็นว่าในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายหรือ MAE ตัวแบบทำนาย RNN มีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายน้อยที่สุด คือ 0.1916 ตามด้วยตัวแบบทำนาย GRU, LSTM และ Bi-LSTM แสดงให้เห็นว่าตัวแบบทำนาย RNN มีความแม่นยำในการทำนายมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนของการทำนาย

ตารางที่ 3 ผลการทดลองตัวแบบทำนายกับชุดข้อมูล 3 ปี

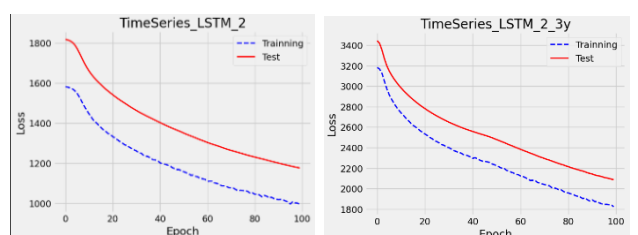
ตัวแบบทำนาย	MAE	MSE	RMSE
RNN	0.1941	0.3992	0.6318
LSTM	0.2887	0.5063	0.7115
GRU	0.2157	0.4277	0.6540
Bi-LSTM	15.5472	17.8763	42.2804

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 จะเห็นว่าในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายหรือ MAE ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย หรือ MSE และ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย หรือ RMSE ของตัวแบบทำนาย RNN มีค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายน้อยที่สุด

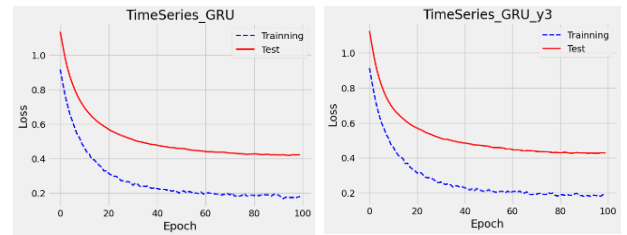
หากเปรียบเทียบระยะเวลาในการ Training ตัวแบบทำนายที่ใช้ชุดข้อมูลแบบ 3 ปี จะใช้เวลามากกว่าตัวแบบทำนายที่ใช้ชุดข้อมูล 1 ปี หากเปรียบเทียบชนิดของตัวแบบทำนายจะเห็นว่าตัวแบบทำนายที่ใช้เวลาน้อยที่สุดคือ RNN ที่ 10 วินาที ตามด้วย GRU และ LSTM ตามลำดับ ในขณะที่ Bi-LSTM ใช้เวลามากที่สุดที่ 50 วินาที แสดงให้เห็นว่าตัวแบบทำนายที่มีความซับซ้อนมาก ๆ จะใช้ระยะเวลาในการ Training นานมากตามไปด้วยนั่นเอง โดยสังเกตได้จากกราฟผลการ Training ทั้งหมด ดังภาพที่ 2 ถึง 5



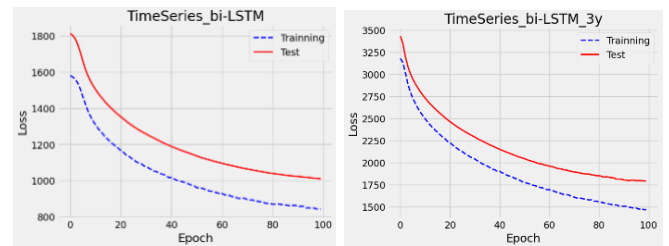
ภาพที่ 2 RNN model



ภาพที่ 3 LSTM model



ภาพที่ 4 GRU model



ภาพที่ 5 Bi-LSTM model

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ตัวแบบทำนายที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ทำนายการบุกรุกทางไซเบอร์แบบอนุกรมเวลา คือ RNN และ GRU เพราะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด ทำให้การทำนายมีโอกาสผิดพลาดจากค่าความจริงโดยรวมน้อยที่สุดในขณะที่ LSTM แม้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่มาก แต่ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก็สูงเป็นลำดับที่สาม แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบทำนาย LSTM สามารถทำนายได้แม่นยำในระดับหนึ่ง แต่ผลการทำนายโดยรวมผิดพลาดมากกว่าตัวแบบทำนาย RNN นั่นเอง ซึ่งสังเกตได้จากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย หรือ RMSE ที่จะเป็นตัวยืนยันอีกตัวหนึ่งว่าผลการทำนาย RNN มีความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตัวแบบทำนายจริง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศูนย์ไซเบอร์กองทัพอากาศที่สนับสนุนข้อมูลการจราจรทางคอมพิวเตอร์ เพื่อจัดทำเป็นชุดข้อมูลการตรวจจับการบุกรุกทางไซเบอร์ของกองทัพอากาศ และกราบขอบพระคุณท่าน พลอากาศตรี ศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรัง และท่าน

อาจารย์ นาวาอากาศโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยับศิรินาม อาจารย์ที่ปรึกษาสำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และคณะทำงานที่ให้คำปรึกษา สนับสนุน และแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Steingartner and D. Galinec, "Cyber threats and cyber deception in hybrid warfare," *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 18, no. 3, pp. 25-45, 2021.
- [2] T. Smith and J. Brown, "A Framework for Cyber Threat Prediction Using Deep Learning Techniques," *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 49, no. 5, pp. 2010-2022, May 2019. DOI: 10.1109/TCYB. 2018.2791238.
- [3] K. Bandara, et al., "Improving the accuracy of global forecasting models using time series data augmentation," *Pattern Recognition*, vol. 120, 2021.
- [4] M. H. Bhuyan, D. K. Bhattacharyya, and J. K. Kalita, "Network anomaly detection: Methods, systems and tools," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 303-336, 2014, doi:10.1109/SURV. 2013.052213. 00046.
- [5] P. Radoglou-Grammatikis and P. Sarigiannidis, "Using Machine Learning to Detect Cyber Attacks," in *Proceedings of the International Conference on Machine Learning*, 2020, pp. 1-13, doi: 10.1007/978-3-030-36204-1_5.
- [6] J. Arshad, M. Azam, and A. Abid, "A Survey of Intrusion Detection Systems in Wireless Sensor Networks," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1-15, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2569240.
- [7] M. Abadi et al, "TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning," *Proceedings of 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 16)*, pp. 265-283, 2016.
- [8] เขียวศักดิ์ พลาคติชัยเลิศ และ นิตา นุ่มนนท์, "การเปรียบเทียบผลการทำนายราคาบิทคอยน์ด้วยการเรียนรู้ของเครื่องแบบต่าง ๆ," *Journal of Information Technology Ladkrabang*, No.1, pp.4-7, January-June, 2017.
- [9] Cui, Zhiyong, et al. "Stacked bidirectional and unidirectional LSTM recurrent neural network for forecasting network-wide traffic state with missing values," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 118, pp. 3-4, 2020
- [10] A. Mir., "An Improved Imputation Method for Accurate Prediction of Imputed Dataset Based Radon Time Series," *IEEE Access*, Vol. 10, 6-7, 2022.

การเปรียบเทียบผลความแม่นยำของการทำนายพื้นที่อุทกภัยด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง
ผ่านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

**COMPARING THE ACCURACY OF FLOOD PREDICTION AREA GIS-BASED
MACHINE LEARNING ALGORITHMS**

เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ¹

กานต์มณี สร้อยสนดาวฤกษ์²

¹โรงเรียนเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช e-mail: kiatkulchai@rtaf.mi.th

²สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช email: kanmanee7@gmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยฉบับนี้ เป็นการประเมินพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย บริเวณอำเภอเมืองอุบลราชธานีและอำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ได้แก่ Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) และ Empirical Bayesian Kriging (EBK) และจะกวดความถูกต้อง (Validation) ด้วย AUC จุดประสงค์ของงานวิจัย คือ การเปรียบเทียบผลความแม่นยำของการทำนายพื้นที่อุทกภัยด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ผลการวิจัย พบว่า โดยที่ RF มีอัตราความสำเร็จสูงที่สุด = 0.9031, SVM = 0.8945 และ EBK = 0.8898 ในส่วนของอัตราการทำนาย RF มีอัตราการทำนาย = 0.8244, SVM = 0.8209 และ EBK = 0.8194 โดยกองทัพอากาศสามารถนำมาปรับใช้ในการวางแผนการบรรเทาความเสี่ยง เพิ่มระดับการสื่อสารความเสี่ยงอุทกภัยได้

คำสำคัญ: อุทกภัย, Random Forest, Support Vector Machine, Empirical Bayesian Kriging

1. บทนำ

ตามยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ.2561-2580) (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2563) ในยุทธศาสตร์ที่ 4 ด้านการช่วยเหลือประชาชนและบรรเทาสาธารณภัย โดยกองทัพอากาศมุ่งเน้นช่วยเหลือประชาชนและบรรเทาสาธารณภัย รวมทั้งการวิจัยและพัฒนานวัตกรรม เพื่อรองรับสาธารณภัยทุกรูปแบบ

จังหวัดอุบลราชธานีมีพื้นที่ส่วนใหญ่ เป็นพื้นที่ลุ่มต่ำที่อยู่ใกล้กับแม่น้ำ หรืออาจเรียกได้ว่าเป็น “พื้นที่รับน้ำ” ด้วยลักษณะของภูมิประเทศ จึงเป็นพื้นที่ที่ง่ายต่อการขยายตัวของเมืองและการประกอบกิจกรรมทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง มีการจัดการการใช้ประโยชน์ที่ไม่สอดคล้องกับพื้นที่ ส่งผลให้พื้นที่รับน้ำลดลง ระดับน้ำจะท่วมสูงชันมากกว่าเดิม [1]

แผนที่ความเสี่ยงอุทกภัย เป็นเครื่องมือที่สื่อสารระดับของความเสี่ยงของการเกิดอุทกภัยได้ชัดเจน สามารถสร้างได้จากข้อมูลทางกายภาพผ่านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการระบุและสร้างแผนที่พื้นที่เสี่ยงอุทกภัย และในรอบสองทศวรรษที่ผ่านมา มีการใช้การใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) มาใช้ในการคาดการณ์การเกิดอุทกภัย มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลองการประเมินความเสี่ยงอุทกภัยที่เหมาะสม โดยจะมีความแม่นยำมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการประเมินความเสี่ยงแบบให้คะแนน ซึ่งจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การเปรียบเทียบผลความแม่นยำของการทำนายพื้นที่อุทกภัยด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ได้แก่ Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) และ Empirical Bayesian Kriging (EBK) โดยที่กองทัพอากาศสามารถนำมาปรับใช้ในการวางแผนเชิงนโยบายใน การบรรเทาความเสี่ยงเพิ่มระดับการสื่อสารความเสี่ยงอุทกภัย ทั้งยังเป็นประโยชน์

ต่อภาครัฐ เอกชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือผู้มีอำนาจตัดสินใจ นำไปใช้งานตามภารกิจของหน่วยงาน

2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1) ข้อมูลพื้นที่การเกิดอุทกภัย ในช่วงปี 2558 – 2564 จากข้อมูลจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

2) ปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา จากการรวบรวมข้อมูลรายงานการศึกษา งานวิจัย และวารสารวิชาการ พบว่า ปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเกิดอุทกภัย ประกอบด้วย ระยะห่างจากแม่น้ำ ความสูงของพื้นที่ ความหนาแน่นของลำน้ำ ค่าการไหลสะสม ความลาดเอียงของพื้นที่ และความสามารถในการระบายน้ำของดิน

2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะ

เป็นกระบวนการที่ระบุความสามารถในการทำนายของปัจจัยการเกิดอุทกภัย เนื่องจาก ปัจจัยทั้งหมดเป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความสามารถในการทำนายของแต่ละปัจจัย โดยการวิจัยในครั้งนี้ใช้ Linear Support Vector Machine (LSVM) ซึ่งเป็นเทคนิควิศวกรรมเชิงคุณลักษณะ (Feature Engineering Technique) ในประเมินความสามารถในการทำนายของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา จากสมการ [4]

$$f(x) = \sin(wT + a + b) \quad (1)$$

โดยที่ $f(x)$ = LSVM Function, wT = Inverse Matrix ของค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย, a คือ Input Vector และ b คือ Offset ของ Hyperplane's Origin โดยแต่ละปัจจัยจะถูกเฉลี่ยคะแนนไปตามค่าความสามารถในการทำนาย ตั้งแต่ 0-1 โดยที่ปัจจัยที่ค่าคะแนนเป็น 0 จะไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์

2.3 ประเมินพื้นที่อุทกภัยด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง

2.3.1 Random Forest (RF) เป็นการกำหนดพารามิเตอร์เชิงโครงสร้าง mtry และ ntree ซึ่งอ้างอิงถึงจำนวนของตัวแปรที่ใช้ใน Random Tree และจำนวนของต้นไม้ที่ถูกบรรจุอยู่ในป่า ในกรณีของการศึกษานี้ จะทำการปรับพารามิเตอร์ทั้ง 2 หลักการด้วย Achieved by a Grid Search พารามิเตอร์ mtry คือ ค่าในช่วงของจำนวนตัวแปรของการเกิดอุทกภัย โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง [1,11] ในขณะที่ ntree จะมีค่าอยู่ในช่วง [500, 1000, 1500 และ 2000] [5] จากนั้นทำการฝึก (Training) แต่ละคู่อันดับ (mtry, ntree) และประเมินประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบแต่ละคู่ ซึ่งคู่ที่ได้คะแนนสูงสุด คือ ค่าที่เหมาะสมที่สุด

2.3.2 Support Vector Machine (SVM) ชุดข้อมูลฝึกอบรวมประกอบด้วย Instance-Label Pairs (x_i, y_i) $y_i \in R_n$, $y_i \in \{1, -1\}$ และ $i = 1, \dots, m \times$ คือ เวกเตอร์ภายในพื้นที่อินพุต ซึ่งรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุทกภัยที่ใช้ในการศึกษา การตั้งค่า Hyperplane ในชุดข้อมูลฝึกอบรวมที่เหมาะสมที่สุดเป็นการแบ่ง Pixel ที่มีการเกิดอุทกภัย ค่า Pixel เท่ากับ 1 และไม่เกิดอุทกภัยค่า Pixel เท่ากับ 0 ด้วยสมการ

$$y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 - \varepsilon_i \quad (2)$$

โดยที่ w = สัมประสิทธิ์ของเวกเตอร์ที่กำหนดแนวการวางของ Hyperplane, b = Hyperplane's Offset จากจุดกำเนิด, ε_i = Positive Slack Variable

2.3.3 Empirical Bayesian Kriging (EBK) เป็นการผสมผสานระหว่างทฤษฎีของ Bayes และการประมาณค่าในช่วงแบบ Kriging และอธิบายถึงข้อผิดพลาดในการประมาณค่าเซมิวาริโอแกรมผ่านการทำแบบจำลองซ้ำ ข้อมูลใหม่จะสร้างเซมิวาริโอแกรมใหม่เมื่อใช้ทฤษฎีของ

Bayes ซึ่งจะคำนวณน้ำหนักของเซมิวาริโอแกรมแต่ละเซมิวาริโอแกรม สามารถคำนวณได้จาก [5]

$$w(\theta_i | Z) = f(Z | \theta_i) \times P(\theta_i) \quad (3)$$

โดย θ_i = เซต i-th ของ Semivariogram Parameters Nugget, $w(\theta_i | Z)$ = น้ำหนักของ i-th ของ Semivariogram, $f(Z | \theta_i)$ = การประเมินความน่าจะเป็นข้อมูลที่สังเกตได้ที่สร้างขึ้นจากเซมิวาริโอแกรม และ $P(\theta_i)$ = ความน่าจะเป็นของเซต i-th ของ θ_i พารามิเตอร์ ระหว่างแบบจำลอง Semivariogram Spectrum

2.4 การประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง

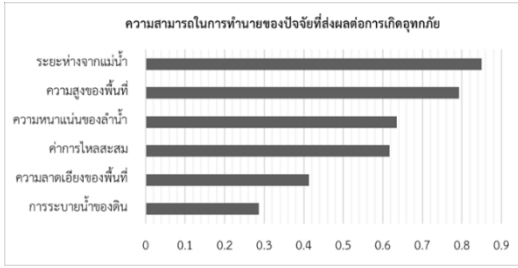
การศึกษาในครั้งนี้ใช้วิธีตรวจสอบความถูกต้องโดย Receiver Operating Characteristic (ROC) วิธีการโดยปกติเป็นการคำนวณพื้นที่ภายใต้เส้น ROC หรือพื้นที่ใต้กราฟ (Area Under the Curve: AUC) กราฟ ROC เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ Binary Classification ซึ่งตัวแปรตาม (y) เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ $y = 1$ เมื่อมีโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ และ $y = 0$ เมื่อมีโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ [6]

3. ผลการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะ

จากบทความการประเมินพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่คณะผู้วิจัยได้ตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 16 ฉบับที่ 32 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนธันวาคม 2567 พบว่า ระยะห่างจากลำน้ำมีค่า 0.85 ซึ่งมีความสามารถในการทำนายสูงสุด และความสามารถในการระบายน้ำของดิน มีค่าเท่ากับ 0.286 ซึ่งมีความสามารถในการทำนายต่ำที่สุด

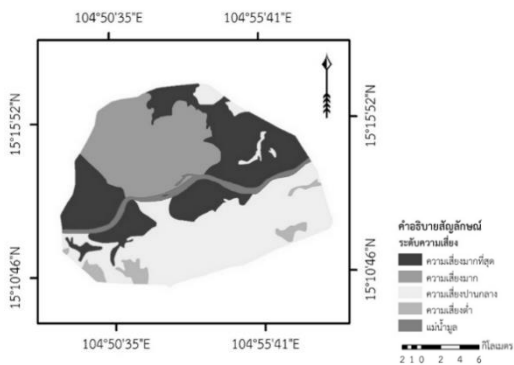
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
 THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



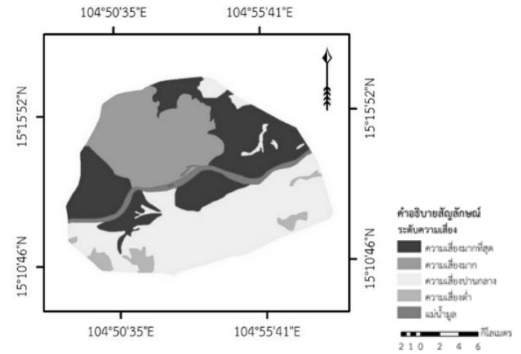
ภาพที่ 1 ความสามารถในการทำนายของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอุทกภัย

3.2 ประเมินพื้นที่อุทกภัยด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง

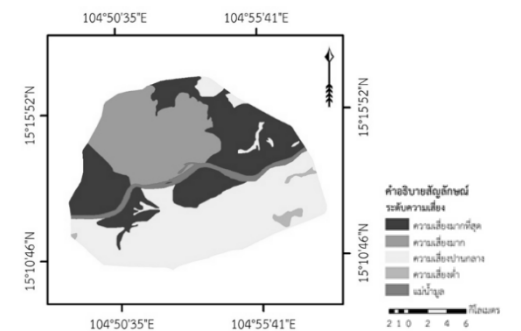
จากการประเมินพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย จากพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยในอดีต ร่วมกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา ผ่านเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง โดยที่ RF และ SVM ได้ผ่านการตีพิมพ์ในบทความวิชาการจากคณะผู้วิจัยแล้ว แต่จะถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับ EBK ที่ยังไม่ถูกตีพิมพ์ในวารสารใด จากแผนที่เสี่ยงอุทกภัย พบว่า SVM พื้นที่ดังกล่าวจะเหมือนกับ RF แต่ที่แตกต่างจากทั้ง 2 แบบจำลอง คือ บริเวณทางฝั่งซ้ายสุดของทางตอนใต้ของลำน้ำมูล บริเวณดังกล่าวจะมีความเสี่ยงในระดับปานกลาง และ EBK มีแผนที่ความเสี่ยงอุทกภัยคล้ายกับ SVM โดยที่ EBK จะไม่มีระดับความเสี่ยงปานกลางบริเวณทางตอนล่างของแม่น้ำมูลก่อนมาทางทิศตะวันตก



ภาพที่ 2 แผนที่ความเสี่ยงอุทกภัยจาก RF จาก Proceeding ในประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ. ครั้งที่ 17



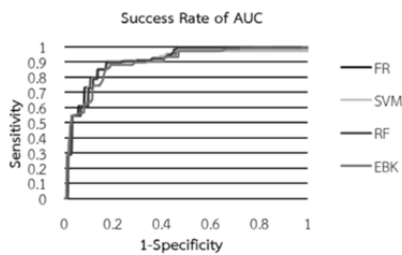
ภาพที่ 3 แผนที่ความเสี่ยงอุทกภัยจาก SVM จากบทความการประเมินพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒฯ



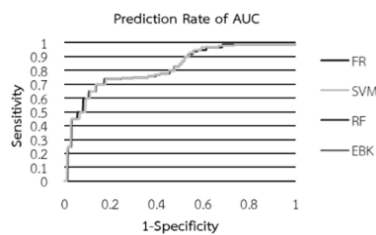
ภาพที่ 4 แผนที่ความเสี่ยงอุทกภัยจาก EBK

3.3 การประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง

แผนที่ ความเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยอำเภอเมืองอุบลราชธานีและอำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี RF, SVM และ EBK จะถูกวัดความถูกต้อง (Validation) ด้วย AUC เพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ยิ่งค่า AUC สูงเท่าใด ยิ่งบ่งชี้ถึงแบบจำลองที่มีค่าการทำนายและค่าความสำเร็จที่ดีมากยิ่งขึ้น โดยที่ RF มีอัตราความสำเร็จสูงที่สุด = 0.9031, SVM = 0.8945 และ EBK = 0.8898 ในส่วนของอัตราการทำนาย RF มีอัตราการทำนาย = 0.8244, SVM = 0.8209 และ EBK = 0.8194



ภาพที่ 5 อัตราความสำเร็จของการทำนายพื้นที่อุทกภัย



ภาพที่ 6 อัตราการทำนายพื้นที่อุทกภัย

4.อภิปรายผล

การประเมินความถูกต้องและความสามารถในการทำนายของทั้งแบบจำลอง 3 แบบจำลองมีความสามารถในการทำนายและความถูกต้องของแบบจำลองที่ใกล้เคียงกันซึ่งเมื่อพิจารณาทั้งอัตราความสำเร็จและอัตราการทำนายพบว่า SVM และ EBK มีอัตราความสำเร็จและอัตราการทำนายน้อยกว่า RF เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] ที่สร้างแผนที่เสี่ยงอุทกภัยบริเวณเมือง Brisbane, Australia และงานวิจัยของ [7] ที่มีการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องในการประเมินพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย บริเวณ West African Region. ที่มีอัตราความสำเร็จและอัตราการทำนายของ SVM น้อยกว่า RF เล็กน้อย และอัตราความผิดพลาดของการทำนายต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือของหลาย ท่าน คุณค่าอันพึงมีของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบแต่ บิดามารดา ครูอาจารย์ ผู้ประสิทธิ์วิชาความรู้และวางรากฐานการศึกษาแก่ผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ionita, M., & Viorica, N. 2021. Extreme Floods in the Eastern Part of Europe: Large-Scale Drivers and Associated Impacts. *Water*, (13): 1122.
- [2] Costache, R., & Bui, D.T. 2020. Identification of areas prone to flash-flood phenomena using multiple-criteria decision-making, bivariate statistics, machine learning and their ensembles. *Science of The Total Environment*. 712: 136492.
- [3] Hong, H., Tsangaratos, P., Ilija, I., Liu, J., Zhu, A.X. & Chen, W. 2018. Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China. *Sci. Total Environ.* (625): 575-588.
- [4] Zou, L., Kent, J.D., Lam, N.S.N., Cai, H., Qiang, Y. & Li, K. 2015. Evaluating Land Subsidence Rates and Their Implications for Land Loss in the Lower Mississippi River Basin. *Water*. (8): 1-10.
- [5] Hanley J.A., McNeil B. J. 1982 .The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*. (1): 29-36.
- [6] Tehrany, M.S., Jones, S. & Shabani, F. 2018. Identifying the Essential Flood Conditioning Factors for Flood Prone Area Mapping using Machine Learning Techniques. *Cetena*. (175): 174-192.
- [7] Olowe, F.J. 2021. Spatial Prediction of Flood Susceptible Areas Using Machine Learning Approach: A Focus on West African Region. Master Program in Geospatial Technologies, University of Muenster.

แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ทางอากาศของกองทัพอากาศ
กรณีศึกษาเครื่องบินลำเลียง C-130H

**An Optimization Model for Air Force Logistics
A Case Study of C-130H Transport Aircraft**

หัตสดีนทร์ จันตาบุรณ์¹ (Hatsadin Jantaboon)¹

ปธิกร อันชื่น^{1,*} (Patikorn Anchuen)¹

ภูมินันท์ บัวงาม² (Phuminun Bua-ngam)²

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (hatsadin_ja@rtaf.mi.th, patikorn_an@rtaf.mi.th*)

²กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (phuminun@rtaf.mi.th)

บทคัดย่อ: การส่งกำลังบำรุงทางอากาศเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการปฏิบัติการทางทหาร งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาแบบจำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลังบำรุงทางอากาศ โดยใช้เครื่องบินลำเลียงแบบที่ 8 หรือ C-130H ของฝูงบิน 601 กองบิน 6 ดอนเมือง ประยุกต์ใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์เพื่อยกระดับด้านโลจิสติกส์ทางอากาศ สอดคล้องกับยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) ที่มุ่งเสริมสร้างสมรรถนะและความพร้อมในการป้องกันประเทศ วัตถุประสงค์หลักคือการศึกษาและวิเคราะห์แนวทางเพิ่มศักยภาพด้านโลจิสติกส์ทางอากาศ เพื่อปรับปรุงกระบวนการส่งกำลังบำรุงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จากปัญหาการขาดเครื่องมือในการกำหนดเส้นทางที่เหมาะสม การวิจัยจึงมุ่งพัฒนาแบบจำลองสำหรับการขนส่งด้วย C-130H โดยคัดเลือกและปรับแต่งให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและเป้าหมายที่กำหนดผลลัพธ์ที่คาดหวังคือต้นแบบเครื่องมือที่สามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการรับและส่งกำลังบำรุงทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาขีดความสามารถด้านโลจิสติกส์ของกองทัพอากาศไทย

คำสำคัญ: การส่งกำลังบำรุงทางอากาศ เครื่องบินลำเลียง C-130H การจัดเส้นทางขนส่ง

ABSTRACT: Air logistics is a critical process affecting the safety and efficiency of military operations. This research aims to develop a model to enhance air logistics efficiency, utilizing the C-130H or Transport aircraft type 8 of Squadron 601, Wing 6, Don Mueang. It applies machine learning techniques to improve air logistics capabilities, aligning with the 20-year Royal Thai Air Force Strategy (2018-2037) focused on strengthening national defense readiness and capabilities. The main objective is to study and analyze approaches to increase air logistics potential, optimizing the supply chain process. Addressing the lack of efficient route planning tools, this research focuses on developing a suitable model for C-130H transport operations, tailored to specific environmental conditions and goals. The expected outcome is a prototype tool capable of effectively solving route optimization problems for air logistics operations. This will contribute significantly to enhancing the logistics capabilities of the Royal Thai Air Force (RTAF).

Keywords: Air logistics, C-130H transport aircraft, Transportation routing

1. บทนำ

โลจิสติกส์ทางอากาศมีความสำคัญอย่างยิ่งในกองทัพอากาศ เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยสนับสนุนการปฏิบัติการทั้งในยามสงบและยามสงคราม [1] การจัดส่งเสบียง อาวุธ และการช่วยเหลือในเหตุการณ์ฉุกเฉินต้องพึ่งพาการขนส่งที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ [2] C-130H ถือเป็นหนึ่งในทรัพยากรที่สำคัญที่สุดของกองทัพอากาศในการดำเนินงานดังกล่าว เนื่องจากมีความสามารถในการบรรทุกสิ่งของและบุคลากรจำนวนมาก ขึ้นลงในพื้นที่ที่จำกัด และปฏิบัติการได้ในสภาพอากาศที่หลากหลาย [3] การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ C-130H จึงมีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างความพร้อมและความคล่องตัวของกองทัพอากาศ [4]

สถานการณ์ปัจจุบันของการใช้งาน C-130H ในกองทัพอากาศยังคงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ด้วยความสามารถในการขนส่งที่หลากหลาย ตั้งแต่การลำเลียงทหารและอุปกรณ์ทางการทหาร ไปจนถึงการช่วยเหลือด้านมนุษยธรรมในสถานการณ์ฉุกเฉิน อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานของ C-130H ต้องเผชิญกับความท้าทายหลายประการ หนึ่งในปัญหาหลักคือการบำรุงรักษาเครื่องบินที่ใช้มานานหลายทศวรรษ ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสี่ยงในการดำเนินงานและต้องใช้ทรัพยากรในการบำรุงรักษามากขึ้น นอกจากนี้ การพัฒนาทางเทคโนโลยีใหม่ๆ ทำให้เครื่องบินรุ่นเก่าเช่น C-130H ที่ต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อให้สามารถปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย อีกทั้งยังมีปัญหาเรื่องการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ของ C-130H ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [5] การศึกษาและการแก้ปัญหาจะต้องดำเนินการต่อไป เพื่อหาวิธีการลดการปล่อยมลพิษและทำให้การดำเนินงานด้านโลจิสติกส์มีความยั่งยืนยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือการศึกษาวเคราะห์แนวทางการเพิ่มศักยภาพด้านโลจิสติกส์ทางอากาศ โดยเฉพาะการปรับปรุงกระบวนการส่งกำลังบำรุงให้มีประสิทธิภาพสูงสุดผ่านการใช้งาน C-130H ของฝูงบิน 601 กองบิน 6 ดอนเมือง แนวทางการพัฒนาแบบจำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพนี้จะใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถกำหนดเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น การใช้พลังงาน การกำหนดเที่ยวบิน และข้อจำกัดในการบิน การพัฒนาแบบจำลองนี้จะถูกปรับแต่งให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและเป้าหมายที่กำหนดไว้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะสามารถกำหนดเส้นทางการขนส่งด้วย C-130H อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เป็นงานที่จะช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน รวมถึงลดความเสี่ยงในการปฏิบัติการทางอากาศด้วย การปรับปรุงกระบวนการส่งกำลังบำรุงนี้จะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานทรัพยากรของกองทัพอากาศ และเสริมสร้างความพร้อมในการตอบสนองต่อสถานการณ์ที่ต่างกัน

2. ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการการพัฒนาแบบจำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลังบำรุงทางอากาศด้วยเครื่องบินลำเลียงแบบที่ 8 หรือ C-130H โดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์และปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง วิธีการวิจัยจะประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างการจำลองข้อมูลเส้นทางการบินเพื่อกำหนดเส้นทางการบินที่เหมาะสม

3. การดำเนินงานวิจัย

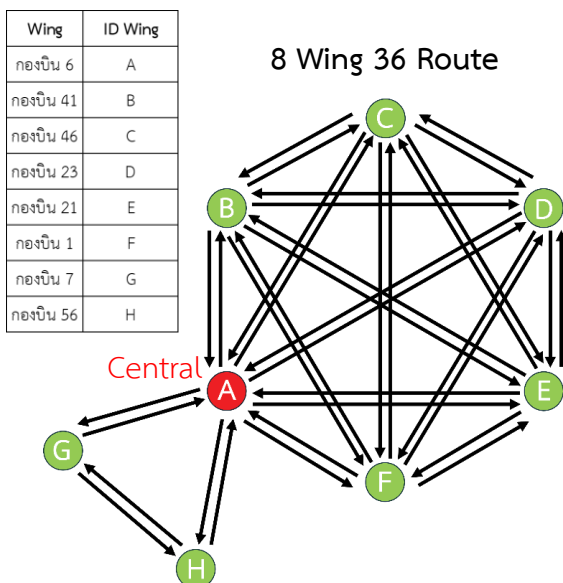
งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลังบำรุงทางอากาศโดยใช้ C-130H ซึ่งจะอาศัยเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์และปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง โดยมีกระบวนการดังนี้

3.1 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการของ C-130H ประกอบด้วยเส้นทางการบิน ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง ระยะเวลาในการเดินทาง รวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการบิน ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อสร้างความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการขนส่ง

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างแบบจำลอง

ข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกนำมาใช้ในการสร้างการจำลองข้อมูลเส้นทางการบินดังที่แสดงในภาพที่ 1 โดยใช้เทคนิคการจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งแบบจำลองจะต้องสามารถจำลองเส้นทางการบินต่างๆ ได้ และเมื่อได้แบบจำลองแล้ว ทีมวิจัยจะใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์และหาเส้นทางการบินที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น เส้นทางการบิน จำนวนเครื่องบินที่ใช้ในภารกิจโดยรวม



ภาพที่ 1 การจำลองด้านโลจิสติกส์ทางอากาศของเส้นทางการบินทั้ง 8 กองบิน โดยมีกองบิน 6 เป็นจุดศูนย์กลางฝูงบิน

4. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ทีมวิจัยได้จำลองสถานการณ์จากการพิจารณาใช้ C-130H จำนวน 3 ลำ ที่ใช้เส้นทางระหว่างกองบินทั้ง 8 แห่ง โดยมีกองบิน 6 ดอนเมืองเป็นจุดศูนย์กลางของฝูงบิน เพื่อให้การจัดส่งกำลังบำรุงทางอากาศระหว่างกองบินให้ได้มากที่สุดจากข้อจำกัดที่กำหนด โดยการช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากการพิจารณาระยะทางรวมของเครื่องบินทุกลำและให้มีจำนวนกองบินที่ลงจอดมากที่สุดจากข้อจำกัดรวมไปถึงการกำหนดเส้นทางการบินให้แต่ละลำ

กำหนดการแก้ปัญหาจากการใช้ C-130H จำนวน 3 ลำ (A1, A2, A3) ที่มีฝูงบินที่กองบิน A ดังภาพที่ 1 เพื่อบินไปยังกองบินอื่นๆ ในภารกิจส่งกำลังบำรุงทางอากาศด้วยพื้นฐานข้อจำกัดที่มีให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 2 ส่วนได้แก่ *Shortest Path Problem* ซึ่งเป็นการกำหนดระยะทางให้กับ C-130H แต่ละลำ และ *Scheduling Flight Problem* กำหนดกองบินที่ต้องผ่านให้กับ C-130H แต่ละลำ

กำหนด

S_1 = ระยะทางทั้งหมดที่ C-130H ลำที่ A1 ครอบคลุมเป็น กิโลเมตร

S_2 = ระยะทางทั้งหมดที่ C-130H ลำที่ A2 ครอบคลุมเป็น กิโลเมตร

S_3 = ระยะทางทั้งหมดที่ C-130H ลำที่ A3 ครอบคลุมเป็น กิโลเมตร

P_1 = จำนวนกองบินที่บินลำเลียงรับส่งโดยใช้ C-130H ลำที่ A1

P_2 = จำนวนกองบินที่บินลำเลียงรับส่งโดยใช้ C-130H ลำที่ A2

P_3 = จำนวนกองบินที่บินลำเลียงรับส่งโดยใช้ C-130H ลำที่ A3

ข้อจำกัด

- สมมติให้ C-130H ลำที่ A1 สามารถบินได้ระยะทางไม่เกิน A2 เท่าของ C-130H ลำที่ A2 และ A3 ให้ผลรวมของระยะทางทั้งหมดของ C-130H ทั้ง 3 ลำ เดินทางได้ ควรมากกว่า 4,800 กิโลเมตร

$$390S_1 + 1,550S_2 + 1,560 S_3 > 4,800$$

- สมมติให้กำหนดให้ระยะห่างระหว่างกองบินเท่ากับ 600 กิโลเมตร

$$600 = S_1$$

$$600 = S_2$$

$$600 = S_3$$

- เพื่อบำรุงรักษายุทธโธปกรณ์สมมติให้เครื่องบินแต่ละลำไม่ควรบินเกินวันละ 3,000 กิโลเมตร

$$P_1 \leq 3,000$$

$$P_2 \leq 3,000$$

$$P_3 \leq 3,000$$

- สมมติให้การใช้เชื้อเพลิงน้ำมัน Jet A-1 ของเครื่องบินแต่ละลำคือ 6,600, 17,400 และ 17,700 ปอนด์ต่อกิโลเมตรตามลำดับ และใช้น้ำมันโดยรวมไม่เกิน 96,000 ปอนด์

$$6,600S_1 + 17,400S_2 + 17,700S_3 \leq 96,000$$

- เครื่องบินแต่ละลำต้องบินลำเลียงรับส่งระหว่างกองบินไม่น้อยกว่า 2 กองบิน

$$P_1 \geq 2 S_1$$

$$P_2 \geq 2 S_2$$

$$P_3 \geq 2 S_3$$

- การช่วยลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงของ C-130 แต่ละลำเดินทาง โดยระยะระยะทางเป็น 600 กิโลเมตรของเส้นทางระหว่างกองบินที่บินลำเลียงรับส่งโดยใช้ C-130 เท่ากับผลรวมของระยะทางที่ C-130 แต่ละลำบินผ่าน

$$600(P_1+P_2 + P_3+3) = S_1+S_2+S_3$$

จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำไปแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ด้วยการเขียนโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Problem: LPP) บน MATLAB พบว่าในการแก้ปัญหา Shortest Path Problem ระยะทางของ $S_1=2,400$ $S_2=1,800$ และ $S_3=1,800$ โดยมีระยะทางรวม 6,000 กิโลเมตร ในขณะที่การแก้ปัญหา Scheduling Flight Problem พบว่า $P_1=3$ $P_2=2$ และ $P_3=2$ ซึ่งผ่านทั้งหมด 7 กองบิน ดังนั้นจากผลลัพธ์ของปัญหา Shortest Path Problem และ Scheduling Flight Problem สามารถสรุปเส้นทางการบินได้ดังนี้

เครื่องบิน A1 สามารถบินรับส่งได้ 3 เส้นทาง รวมระยะทาง 2,400 กิโลเมตร

เครื่องบิน A2 สามารถบินรับส่งได้ 2 เส้นทาง รวมระยะทาง 1,800 กิโลเมตร

เครื่องบิน A3 สามารถบินรับส่งได้ 2 เส้นทาง รวมระยะทาง 1,800 กิโลเมตร

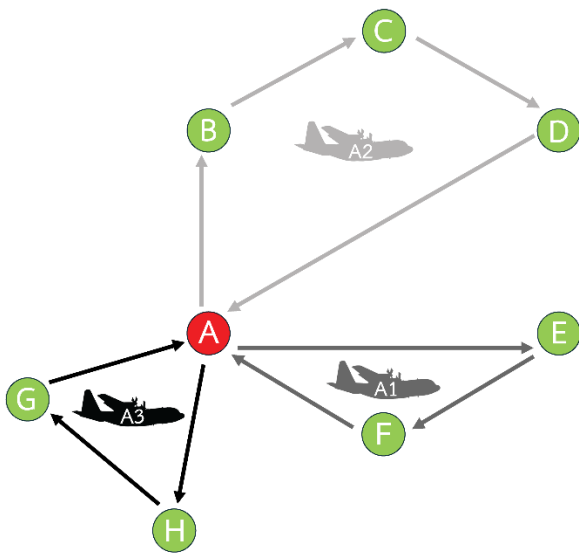
$$A1 = A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$$

$$A2 = A \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow A$$

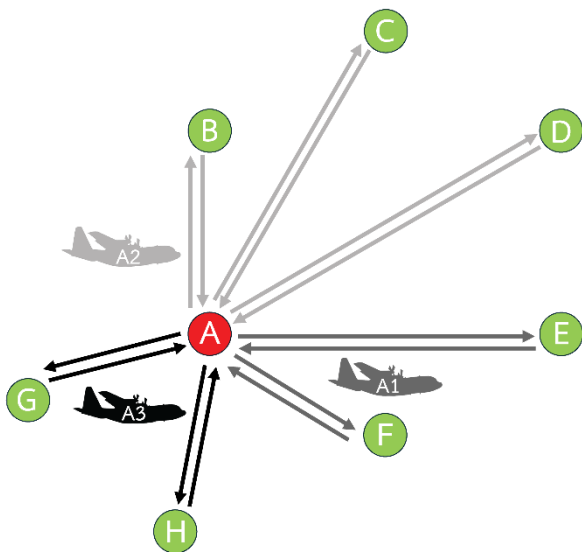
$$A3 = A \rightarrow H \rightarrow G \rightarrow A$$

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 ซึ่งพบว่าเครื่องบินทั้ง 3 ลำ มีจุดเริ่มต้นที่กองบิน A เพื่อบินไปยังกองบินต่างๆ แล้วบินกลับมายังกองบิน A ดังเส้นทางที่ถูกคำนวณจาก Shortest Path Problem และ Scheduling Flight Problem

จากผลการจำลองเส้นทางแสดงได้ดังภาพที่ 2 เปรียบเทียบกับภาพที่ 3 ให้เห็นถึงการแก้ปัญหาเพื่อให้เครื่องบินแต่ละลำบินได้ระยะทางรวมน้อยที่สุดในขณะที่สามารถบินไปยังกองบินต่างๆให้ครบทั้ง 7 กองบินเป้าหมายได้



ภาพที่ 2 เส้นทางการบินของ C-130H ทั้ง 3 ลำแบบใหม่ โดยใช้เทคนิคการ LPP



ภาพที่ 3 เส้นทางการบินของ C-130H ทั้ง 3 ลำแบบเดิม

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยมีเป้าหมายในการปรับปรุงการขนส่งด้วย C-130H ให้มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยลดระยะทางจากแบบเดิมทั้ง 3 ลำ ต้องบินระยะทางรวม 6,690 กม.ลดเหลือ 4,140 กม. และช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของ C-130H รวมถึงลดความเสี่ยงในการปฏิบัติการทางอากาศจากการปรับปรุงกระบวนการส่งกำลังบำรุงทางอากาศด้วยเทคนิค

การเพิ่มประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์นำไปสู่การใช้งานทรัพยากรของกองทัพอากาศอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการที่จำเป็นต้องพัฒนากระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรเส้นทางโดยนำเอาปัญหาของ การกำหนดเส้นทางการส่งกำลังบำรุงทางอากาศทั้งปริมาณในการ pick up และ delivery เพื่อความต่อเนื่องของภารกิจในคราวเดียว ก่อนบินกลับมายังกองบินต้นทางซึ่งจำเป็นต่อการพัฒนางานวิจัยให้เกิดประโยชน์กับกองทัพอากาศไทยมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนและเป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาในวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kress, M. (2002). Operational logistics. The Art and Science of Sustaining Military Operations.
- [2] U.S. Air Force. (2019). Air Force Doctrine Publication 4-0: Combat Support.
- [3] Lockheed Martin. (2021). C-130 Hercules: Tactical Airlifter.
- [4] กองทัพอากาศไทย. (2023). แผนปฏิบัติการทางอากาศ พ.ศ. 2566 - 2570.
- [5] Department of Defense. (2022). Department of Defense Climate Adaptation Plan.

DEVELOPMENT OF A GEO-INFORMATICS SYSTEM APPLICATION FOR BIRD MAPPING TO ENHANCE ROYAL THAI AIRFORCE AVIATION SAFETY MANAGEMENT

ศรียมพงศ์ สุ่มดี¹ พงศภัค อ่วมสร้อย² ณมน อินพิทักษ์³ เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ⁴ และ ฐาปนัต บัวภิบาล⁵

^{1, 2, 3}นักเรียนนายเรืออากาศ กรมนักเรียนนายเรืออากาศรักษาพระองค์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

⁴อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, kiatkulchai@rtaf.mi.th

⁵อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, thapanat_bua@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันระบบเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศแผนที่นกสำหรับการจัดการด้านนินภัยการบินของกองทัพอากาศ โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลการพบนกในบริเวณพื้นที่กองบิน 6 และทำอากาศยานนานาชาติดอนเมือง เพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักนกและสร้างแบบจำลองของนกในขนาดต่างๆ เพื่อให้พนักงานและผู้ปฏิบัติการทางอากาศสามารถทำการรายงานข้อมูลตำแหน่งของนกในบริเวณพื้นที่ต่างๆรอบสนามบินซึ่งเป็นจุดเสี่ยงอันตรายหรือบริเวณเส้นทางการบินผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ รวมถึงการประเมินระดับค่าความเสี่ยงของอุบัติเหตุอากาศยานชนนก โดยแสดงตำแหน่งของนกที่ถูกพบเจอและมีการกำหนดระดับสีที่แทนระดับความเสี่ยงของอุบัติเหตุอากาศยานชนนก เพื่อเพิ่มการตระหนักรู้ในการประเมินความเสี่ยงของนักบิน และผู้ปฏิบัติการทางอากาศ และใช้ประกอบการตัดสินใจในการจัดการด้านนินภัยการบินของกองทัพอากาศ จากผลการวิจัยพบว่าแอปพลิเคชันสามารถรับและแสดงข้อมูลพิกัดของนก รวมถึงประเมินระดับความเสี่ยงของอุบัติเหตุอากาศยานชนนกจากแบบจำลองของนกในขนาดต่างๆ ได้จริง และสามารถแสดงข้อมูลเบื้องต้นของนกแต่ละสายพันธุ์ที่มีการรายงานการพบเจอในพื้นที่ทำการศึกษาในรูปแบบแผนที่และรูปภาพได้ โดยการพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันระบบเทคโนโลยีสารสนเทศแผนที่นกสำหรับการจัดการด้านนินภัยการบินของกองทัพอากาศได้รับการสนับสนุนและมีการประสานงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานภายในกองทัพอากาศและหน่วยงานทางด้านการบินพลเรือนซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอด เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงทั้งในกองทัพอากาศและองค์กรการบินของประเทศไทยได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, อากาศยานชนนก, แผนที่นก, แผนที่ความเสี่ยงอากาศยานชนนก, นินภัยการบิน

1. บทนำ

ทุกวันนี้ปัญหาด้านอากาศยานชนนก (*Bird strike*) เป็นปัญหาหลักสำคัญที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุทางอากาศยานเป็นจำนวนบ่อยครั้ง โดยปัญหาอากาศยานชนนก(*Bird strike*) เกิดขึ้นครั้งแรกของโลกกับสองพี่น้องตระกูล Wright ที่เป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องบินได้เป็นครั้งแรกของโลกโดยได้บันทึกไว้ในไดอารี่ของพวกเขาซึ่งเกิดเหตุเครื่องบินชนกับนกในไร่ข้าวโพด (*Richard A. Dolbeer, 2556*) จนการบินได้เริ่มต้นเข้ามาในกิจการบินของไทย เริ่มต้นในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว และปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นการบินในภาคเอกชน หรือ ของกองทัพอากาศ ได้มีมาตรการป้องกันอันตรายจากนกที่เข้ามาในเขตสนามบิน เช่นการตรวจประเมินสภาพแวดล้อมและจัดการกับปัจจัยที่ดึงดูดให้นกเข้ามาในเขตสนามบิน การจัดเจ้าหน้าที่เฝ้าระวัง และเจ้าหน้าที่ประเมินและจัดระดับความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดอันตรายจากนกหรือสัตว์ในสนามบิน โดยในส่วนของกองทัพอากาศได้มอบนโยบายแก่สำนักงานนิรภัยทหารอากาศในการออกมาตรการทางการบินของกองทัพอากาศให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แม้ว่าอุบัติเหตุอากาศยานชนนกอาจไม่เกิดความเสียหายในระดับที่อากาศยานเกิดการดับในขณะที่เกิดการชน แต่อาจส่งผลให้กองทัพเสียเวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมากไปกับการซ่อมอากาศยาน ซึ่งหลังจากเกิดอุบัติเหตุจากการชนนก นักบินส่วนใหญ่มีการจดบันทึกตำแหน่งที่พบเจอนกหรือเกิดอุบัติเหตุจากการชนนกเพียงอย่างเดียวทำให้ไม่สามารถทราบตำแหน่งของนกส่วนใหญ่ได้ว่ามีที่ไหน และ เป็นนกสายพันธุ์ใดทำให้ยากต่อการหลบหลีก และไม่มีคำตอบของข้อมูลในการติดตามตำแหน่งของนกในปัจจุบัน ผู้ศึกษาจึงได้ทำการคิดค้นออกแบบแอปพลิเคชัน (*Application*) ในการบันทึกข้อมูลของนกในตำแหน่งต่าง ๆ เนื่องจากการเกิดอุบัติเหตุเครื่องบินชนนก จะส่งผลก่อให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่ามหาศาลแก่อุตสาหกรรมการบินของประเทศไทยทั้งของ

กองทัพและภาคเอกชน การใช้งานแอปพลิเคชันแผนที่นกทำให้ทราบได้ถึงตำแหน่งและจำนวนโดยประมาณของนกในแต่ละพื้นที่ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดเส้นทางการบินของอากาศยานเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุดังกล่าวให้มากที่สุด เพราะอากาศยานและบุคลากรทางการบินนั้นมีมูลค่าที่สูงมาก การตระหนักรู้และป้องกันอุบัติเหตุทางการบินถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการประเมินความเสี่ยงอากาศยานชนนก
- 2) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันระบบประเมินความเสี่ยงอากาศยานชนนก

3. ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1) ได้แอปพลิเคชันระบบเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศแผนที่สำหรับการจัดการด้านนิรภัยการบินของกองทัพอากาศ เพื่อให้ทุก ๆ หน่วยบินได้นำไปประยุกต์ใช้
- 2) เป็นการส่งเสริมให้กองทัพอากาศมีการตระหนักรู้ด้านการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุเครื่องบินชนนกมากขึ้น
- 3) ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุเครื่องบินชนนก
- 4) ได้แนวทางในการจัดการด้านนิรภัยการบินภายในกองทัพอากาศรวมถึงหน่วยงานเอกชนที่มีความเกี่ยวข้องทางการบิน

4. วิธีการดำเนินการศึกษา

คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลสายพันธุ์นกที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุเครื่องบินชนนกในพื้นที่กองบิน 6 ของกองทัพอากาศ หลังจากขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลทั้งหมด ทางผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาค่าความเสี่ยงโดยใช้สูตรการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุเครื่องบินชนนก โดยมีสูตรการคำนวณที่ได้อ้างอิงจากงานวิจัย Yuanyuan Hu, (2020) โดยความเสี่ยง (Risk) สามารถหาได้จากตารางเมตริกโดยการเทียบค่า Likelihood

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

กับ Severity โดยมีรายละเอียดตามสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{Likelihood} = (\text{CC} + \text{RCFH} + \text{ARR}) \times 100 / 3 \quad -- (1)$$

$$\text{Severity} = (\%N + \%W) \times 100 / 2 \quad -- (2)$$

โดยที่ %N = จำนวนนกที่พบ ณ เวลาแจ้งข้อมูล/จำนวนนกที่เคยพบมากที่สุด, %W = น้ำหนักโดยเฉลี่ยของนกขนาดต่าง ๆ ที่จำแนกไว้ (S,M,L) / น้ำหนักสูงสุดของนกที่พบในพื้นที่, Likelihood = ความน่าจะเป็นที่จะเกิด, Severity = ความรุนแรงที่จะเกิด, CC = ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของกลุ่มนก (Cluster Coefficient), RCFH = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของความสูงที่นกบิน (Risk Coefficient of flight height), ARR = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของรัศมีของกิจกรรมของนก (Activity range risk coefficient)

จากตารางที่ 1 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของกลุ่มนกโดยให้ค่า N แทนจำนวนนกที่ตรวจพบและกำหนดให้ H เป็นความสูงของนกที่พบ ซึ่งสามารถแสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดมาให้ในตารางที่ 2 โดยมีข้อสังเกตเพิ่มเติมคือ ในระยะความสูงที่ยิ่งเข้าใกล้ 40 เมตร จะยิ่งทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของความสูงที่นกบินมีค่ามากขึ้น

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของกลุ่มนก

จำนวนนก (ตัว) , N	ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของกลุ่มนก
N > 100	1
100 ≥ N > 20	0.5
20 ≥ N ≥ 3	0.2
3 > N ≥ 1	0

ที่มา : Yuanyuan Hu, 2020

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของความสูงที่นกบิน

ความสูง [เมตร] , H	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของความสูงที่นกบิน
H > 100	0.1
100 ≥ H > 50	0.5
50 ≥ H > 30	1
30 ≥ H > 5	0.5
5 ≥ H	0.1

ที่มา : Yuanyuan Hu, 2020

ส่วนตารางที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะทางระหว่างนกที่ถูกพบกับสนามบินและค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยง โดยกำหนดให้ D เป็นระยะทางระหว่างนกที่ถูกพบกับสนามบิน ข้อสังเกตเพิ่มเติมคือ ยิ่งใกล้สนามบินมาก ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของรัศมีของกิจกรรมของนกจะมากขึ้น

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของรัศมีของกิจกรรมของนก

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงของรัศมีของกิจกรรมของนก	
ในเขตพื้นที่ทำการบิน	0.9
ในระยะ 4 กิโลเมตร รอบสนามบิน	0.6
ในระยะระหว่าง 4 ถึง 8 กิโลเมตร รอบสนามบิน	0.3

ที่มา : Yuanyuan Hu, 2020

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิด
และความรุนแรง

ความ น่าจะเป็น ที่จะเกิด	0-14	15-29	30-49	50-69	70-100
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปาน กลาง	สูง	สูงมาก
ความ รุนแรงที่ จะเกิด	0-3	4-6	7-13	14-39	40-100
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปาน กลาง	สูง	สูงมาก

ที่มา : Yuanyuan Hu, 2020

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดและ
ความรุนแรงที่จะเกิดจากค่าตัวเลขที่ได้จากการคำนวณเป็น
ค่าระดับความเสี่ยงต่าง ๆ โดยค่าของตัวเลขจะแปรผันตาม
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดและความรุนแรงที่จะเกิดโดย
เรียงลำดับจากต่ำมากไปจนถึงสูงมาก

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบค่าความเสี่ยง

เปรียบเทียบ หาค่าความเสี่ยง		ความรุนแรงที่จะเกิด				
		สูง มาก	สูง	ปาน กลาง	ต่ำ	ต่ำ มาก
ความ น่า จะเป็น ที่จะ เกิด	สูงมาก	3	3	3	2	2
	สูง	3	3	3	2	2
	ปาน กลาง	3	3	2	1	1
	ต่ำ	2	2	1	1	1
	ต่ำมาก	1	1	1	1	1

ที่มา : Yuanyuan Hu, 2020

ตารางที่ 5 เป็นการแสดงค่าการประเมินแบ่งออกเป็น 3
ระดับด้วยค่าตัวเลขและสี โดยค่าความเสี่ยงระดับ 3 คือ
ระดับความเสี่ยงสูงสุดที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุเครื่องบินชน
นก ผู้ทำการบินควรมีความระมัดระวังในการทำการบินสูงสุด

ค่าความเสี่ยงระดับ 2 หมายถึง มีความเสี่ยงปานกลาง
ที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุเครื่องบินชนนก นก ผู้ทำการบินควรมี
มีความระมัดระวังในการทำการบิน

ค่าความเสี่ยงระดับ 1 หมายถึง มีความเสี่ยงน้อยที่จะ
ก่อให้เกิดอุบัติเหตุเครื่องบินชนนกหรือระดับปลอดภัย

หมายเหตุ : โดยข้อพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติม ให้เป็นไปตาม
นโยบายแล้วแต่สนามบิน แต่มีข้อเสนอแนะดังนี้

1) หากเป็นนกประเภท นกล่าเหยื่อ ให้เพิ่มระดับความ
เสี่ยงอีก 1 ระดับ

2) หากพบนกสายพันธุ์นั้น ๆ บินผ่านเหนือ runway
เกิน 3 ครั้งควรเพิ่มค่าความเสี่ยงอีก 1 ระดับ

โดยผู้ทำการวิจัยจะนำข้อมูลขนาดเล็ก ขนาดกลาง และ
ขนาดใหญ่ อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 6 มาจำแนกขนาดของ
นกเพื่อตรวจสอบค่าความเสี่ยง ดังต่อไปนี้

1) นำข้อมูลการจำแนกขนาดของนกขนาดเล็ก ขนาด
กลาง และขนาดใหญ่ จากตารางที่ 6 มาตรวจสอบค่าความ
เสี่ยง

2) หลังจากตรวจสอบค่าความเสี่ยง นำข้อมูลนกขนาด
ต่าง ๆ มาแสดงผลในรูปแบบของ ระบบเทคโนโลยีภูมิศาสตร์
สารสนเทศ

ตารางที่ 6 ขนาดและน้ำหนักของนกที่ใช้ในการประเมิน
อันตรายต่ออากาศยานโครงการสนามบินสุโขทัย

ประเภทขนาด	น้ำหนัก	ขนาด
เล็ก	< 300 กรัม	เล็กและเล็กมาก
กลาง	300 – 1000 กรัม	เล็กถึงกลาง, กลาง และ กลางถึงใหญ่
ใหญ่	1000 > กรัม	ใหญ่และใหญ่มาก

ที่มา : Transport Canada, 2005

5. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผู้ทำวิจัยกำหนดค่าน้ำหนักนกอ้างอิงจากนกที่พบเจอในประเทศไทยมาใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้ น้ำหนักนกขนาดเล็กที่เล็กที่สุด (นกกระต๊อตัวเล็ก) = 14 กรัม น้ำหนักนกขนาดเล็กที่ใหญ่ที่สุด (นกยางกรอกพันธุ์ชวา) = 255 กรัม (แบบจำลองน้ำหนักเฉลี่ยขนาดเล็ก = 130 กรัม) น้ำหนักนกขนาดกลางที่เล็กที่สุด (นกพิราบ) = 322 กรัม น้ำหนักขนาดกลางที่ใหญ่ที่สุด (นกเหยี่ยวหัวดำ) = 785 กรัม (แบบจำลองน้ำหนักเฉลี่ยขนาดกลาง = 566 กรัม) น้ำหนักนกขนาดใหญ่ที่เล็กที่สุด (นกยางโทนใหญ่) = 1100 กรัม น้ำหนักขนาดใหญ่ที่ใหญ่ที่สุด (นกปากห่าง) = 8900 กรัม (แบบจำลองน้ำหนักเฉลี่ยขนาดใหญ่ = 2583 กรัม) โดยผู้ทำวิจัยสร้างแบบจำลองน้ำหนักเฉลี่ยของนกขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ดังตารางที่ 5 และใช้แทนค่าในสูตรการประเมินความเสี่ยงเพื่อตรวจสอบว่าการใช้แบบจำลองน้ำหนักเฉลี่ยของนกในขนาดต่างๆ สามารถนำมาใช้งานในการหาค่าความเสี่ยงได้ ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองน้ำหนักเฉลี่ยของนกสามารถนำมาใช้งานได้จริง

ตารางที่ 5 น้ำหนักเฉลี่ยของของนกแต่ละขนาด

ขนาดของนก	น้ำหนักเฉลี่ย(กรัม)
เล็ก	130
กลาง	566
ใหญ่	2583

6. สรุปผลการวิจัย

ตามวัตถุประสงค์การวิจัยที่ต้องการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบประเมินความเสี่ยงอากาศยานชนนก ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุอากาศยานชนนก และพบว่าการใช้ข้อมูลน้ำหนักของแบบจำลองนกในขนาดต่าง ๆ (S,M,L) สามารถให้ค่าความเสี่ยงที่ใกล้เคียงหรือเท่ากันกับการใช้ข้อมูลที่แน่นอนของนกที่ได้กล่าวไว้ใน

งานวิจัยการพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันระบบเทคโนโลยีสารสนเทศแผนที่นกอากาศสำหรับการจัดการด้านนิรภัยการบินของกองทัพอากาศของนักเรียนนายเรืออากาศรุ่นที่ 66,(2022) ซึ่งต้องทราบข้อมูลที่แน่นอนของนก ได้แก่ น้ำหนักนก, สายพันธุ์นก แต่ในสถานการณ์จริงผู้ทำการบินในอากาศมีเวลาเพียงเล็กน้อยที่จะสังเกตรายละเอียดของนกได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ เพียงแต่สามารถให้ข้อมูลได้โดยทราบขนาดประมาณของนกและนำมาจัดกลุ่มนกในขนาดต่าง ๆ (Transport Canada, 2005) โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในแอปพลิเคชันแผนที่นกอากาศ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้แอปพลิเคชันง่ายขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

1) การนำแอปพลิเคชันมาใช้ร่วมกับเซิร์ฟเวอร์ของกองทัพอากาศเพื่อเก็บข้อมูลการพบเจอนก และบันทึกข้อมูลการพบเจอนกไว้ในฐานข้อมูล โดยในปัจจุบันเป็นเซิร์ฟเวอร์ทดลองสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชัน

2) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแอปพลิเคชันแผนที่นกอากาศ เช่น การใช้งานร่วมกับเรดาร์ตรวจจับนกเพื่อประมวลผลความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุอากาศยานชนนกอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

- [1] Thai PBS. Bird Strike คืออะไร ทำไมทำเครื่องบินตกได้. [ออนไลน์]. (2564). แหล่งที่มา <https://www.thaipbs.or.th/news/content/311099> [15 กรกฎาคม 2567]
- [2] ผศ.ดร.สมบัติ อยู่เมือง. ความหมายของคำว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) GIS. [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.). แหล่งที่มา <https://www.gisthai.org/about-gis/gis.html> [18 กรกฎาคม 2567]

- [3] HOCCO. ระบบฐานข้อมูล (Database System) มีอะไรบ้าง ดูตัวอย่างการทำฐานข้อมูล. [ออนไลน์]. (2566). แหล่งที่มา <https://hoccco.co/th/blog/component-of-database-system/>. [19 กรกฎาคม 2567]
- [4] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System). [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.). แหล่งที่มา <https://www.mnre.go.th/>. [23 กรกฎาคม 2567]
- [5] วิทยา อินทร์สอน. การบริหารความเสี่ยงในองค์กร (Enterprise Risk Management: ERM). (ม.ป.ป.). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thailandindustry.com/onlinemag/>. [23 กรกฎาคม 2567]
- [6] Num raise. ความมนุษย์จะบินได้ ต้องพยายามมากแค่ไหน. [ออนไลน์]. (2560). แหล่งที่มา <https://www.raisegeniusschool.com/human> [26 กรกฎาคม 2567]
- [7] ทำอากาศยานเชียงใหม่. เครื่องบินชนนก หายนะที่อาจเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อ! รวมอุบัติเหตุตุนกเหล็กปะทะนกเล็ก!. [ออนไลน์]. (2565). แหล่งที่มา <https://www.thairath.co.th/news> [26 กรกฎาคม 2567]

การประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลด้วย K-means Clustering เพื่อประเมินความเสี่ยงจากเหตุการณ์
วางระเบิดสำหรับการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้

**Application of K-means Clustering Technique for Assessing Bombing Incident Risk in
Operations of Officials in the Southern Border Provinces**

ศศิพัชญ์ ศิรวัตตนพงศ์¹ (Sasiphat Sirawattanapong)¹

นัฐวัตร ถนอมชาติ² (Nattawat Tanomchad)²

ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง³ (Phummipat Daungklang)³

¹กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ประเทศไทย sasiphat_son@rtaf.mi.th

²กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ประเทศไทย nattawat_ta@rtaf.mi.th

³กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ประเทศไทย phummipat_d@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ: สถานการณ์ความไม่สงบในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้เป็นปัญหาที่ยังคงปรากฏอย่างต่อเนื่อง จากสถิติเหตุการณ์ความรุนแรงในพื้นที่ พบว่าการวางระเบิดเป็นรูปแบบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยการกระทำของกลุ่มผู้ก่อความไม่สงบ ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-means เพื่อจำแนกพื้นที่ตามระดับความถี่ของเหตุการณ์วางระเบิดในพื้นที่ย่อยขนาด 1 ตารางกิโลเมตร ผลการวิจัยที่ได้จากการจัดกลุ่มพื้นที่จะแสดงระดับความเสี่ยงของพื้นที่ต่าง ๆ อันจะเป็นข้อมูลสำคัญที่เอื้อประโยชน์ต่อการประเมิน ตรวจจับ และวางแผนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ได้อย่างเหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงในการได้รับอันตรายจากเหตุการณ์วางระเบิด นอกจากนี้ ข้อมูลพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการศึกษาวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์การรักษาความปลอดภัย การจัดสรรกำลังพล และการบริหารจัดการทรัพยากร เพื่อตอบสนองต่อสถานการณ์ความไม่สงบในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ได้

คำสำคัญ: การจัดกลุ่มข้อมูล K-means, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, ระบบพิกัดทางทหาร (MGRS)

1. บทนำ

สถานการณ์ความไม่สงบในจังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทยเป็นปัญหาที่ยืดเยื้อมายาวนาน ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและการดำรงชีวิตของประชาชนในพื้นที่อย่างต่อเนื่อง หนึ่งในรูปแบบของความรุนแรงที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งคือการวางระเบิด ซึ่งสร้างความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน

การแก้ไขปัญหาความรุนแรงในพื้นที่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลและการวิเคราะห์ที่แม่นยำ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

สามารถวางแผนและดำเนินมาตรการรักษาความปลอดภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ จะนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ระบบพิกัดทางทหาร (MGRS) ร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มแบบ K-means ซึ่งเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์รูปแบบอาชญากรรมและประเมินความเสี่ยงในพื้นที่ต่าง ๆ โดยการรวบรวมและ

แสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่ง GIS สามารถช่วยให้เจ้าหน้าที่และนักวิเคราะห์อาชญากรรมสามารถระบุพื้นที่เสี่ยงและวางแผนการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [1]

สำหรับตัวอย่างการประยุกต์ใช้ GIS ในการประเมินความเสี่ยงอาชญากรรม มักจะอยู่ในรูปแบบ Heat Map ที่สามารถแสดงถึงอัตราการเกิดอาชญากรรมในแต่ละระดับ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ GIS สำหรับการวิเคราะห์ระยะทางจากจุดเกิดเหตุไปยังสถานที่สำคัญ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประเภทของอาชญากรรมกับลักษณะของพื้นที่ [2]

2.2 ระบบพิกัดกริดทางทหาร (Military Grid Reference System: MGRS) เป็นระบบพิกัดที่มีการระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลกโดยการใช้ตัวอักษรและตัวเลขในการระบุตำแหน่ง สามารถระบุตำแหน่งได้ละเอียดถึงระดับ 1 เมตร มักถูกใช้ในภารกิจทางทหาร ซึ่งระบบพิกัดนี้พัฒนามาจากระบบพิกัด UTM (Universal Transverse Mercator) [3]

MGRS สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในสถานการณ์ฉุกเฉินหรือภัยพิบัติ เช่น นักวิเคราะห์สามารถใช้ MGRS ในการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกริดย่อย ๆ และระบุระดับความเสี่ยงน้ำท่วมในแต่ละกริด ทำให้สามารถวางแผนการอพยพและการจัดการภัยพิบัติได้อย่างแม่นยำ [4] นอกจากนี้ หน่วยงานความมั่นคงสามารถใช้ MGRS ในการแบ่งพื้นที่เมืองหรือชายแดนออกเป็นโซน และกำหนดระดับความเสี่ยงในแต่ละโซน เพื่อวางแผนการรักษาความปลอดภัยและการจัดสรรทรัพยากร [5] รวมถึง นักวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมสามารถใช้ MGRS ในการแบ่งพื้นที่ป่าออกเป็นกริด และวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในแต่ละกริด เช่น ความแห้งแล้ง ชนิดพืช และความลาดชัน เพื่อคาดการณ์และป้องกันไฟป่า [6]

2.3 การจัดกลุ่มแบบ K-means เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) ที่ใช้สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ได้รับคามนิยม เนื่องจากมี

ความเรียบง่ายและมีประสิทธิภาพสูง สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพแม้กับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ ทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา รวมถึงยังสามารถจัดการกับข้อมูลหลายมิติได้ดี [7] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ K-means สำหรับแบ่งกลุ่มพื้นที่เสี่ยงต่อการวางระเบิด

K-means สามารถนำมาใช้ในการระบุพื้นที่เสี่ยงโดยการแบ่งกลุ่มพื้นที่ตามความถี่และประเภทของอาชญากรรม ซึ่งจะช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถระบุพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงและจัดสรรทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8]

จากการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่ได้นำเสนอข้างต้น สามารถสรุปกรอบแนวคิดสำหรับการวิจัยนี้ได้ ดังนี้

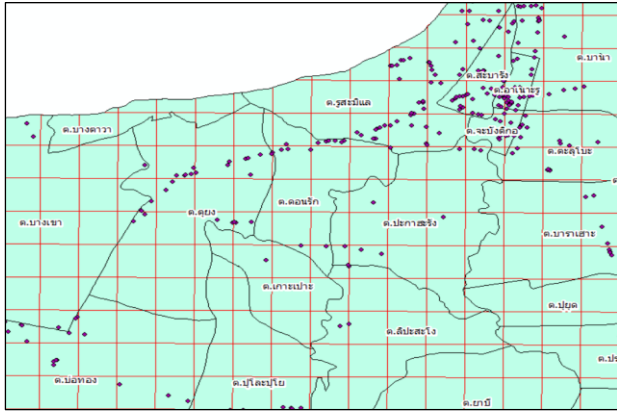
การวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้ GIS เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล ใช้ MGRS สำหรับแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นโซนย่อย และนำเทคนิค K-means มาใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูลการเกิดเหตุวางระเบิด

วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือจัดกลุ่มพื้นที่ตามความถี่การวางระเบิดเพื่อประเมินความเสี่ยงในแต่ละพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยการบูรณาการเครื่องมือและเทคนิคดังกล่าวเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนรับมือกับสถานการณ์ความไม่สงบในพื้นที่

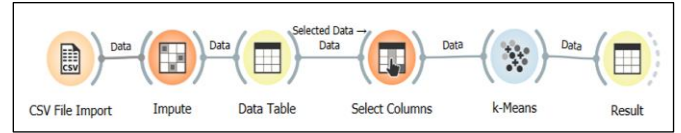
3. วิธีการวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูล : การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมข่าวทหารอากาศ (ขว.ทอ.) โดยข้อมูลเหตุการณ์วางระเบิดในพื้นที่เป้าหมาย ครอบคลุมช่วงเวลา 19 ปี นับตั้งแต่ พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2566 รวมทั้งสิ้น 3,921 ครั้ง รวมถึงได้ใช้ข้อมูลระบบพิกัดกริดทางทหารที่อยู่ในรูปแบบของ Shapefile ที่แบ่งพื้นที่ออกเป็นหน่วยย่อย โดยแต่ละหน่วยมีขนาดพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเมื่อนำข้อมูลเหตุการณ์มาแสดงผลร่วมกับข้อมูล MGRS บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะปรากฏ ดังภาพที่ 1

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
 THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



ภาพที่ 1 การแสดงผลข้อมูลเหตุการณ์ร่วมกับข้อมูล MGRS



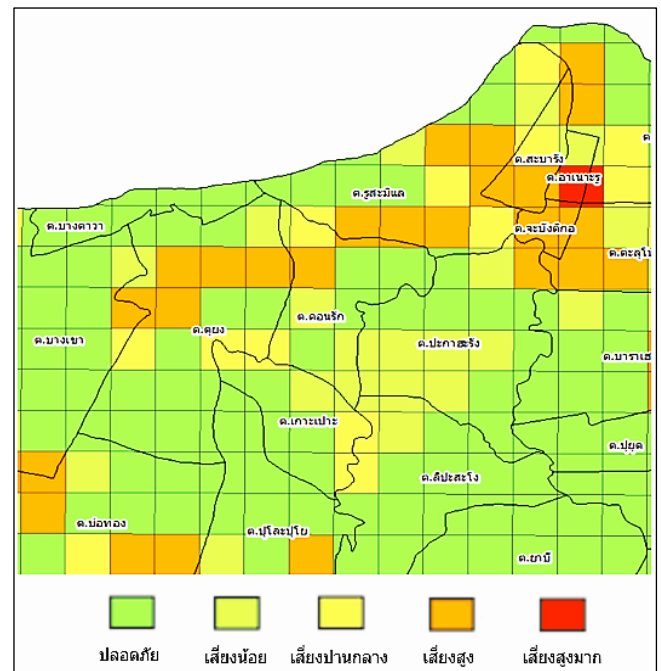
ภาพที่ 2 กระบวนการประมวลผลข้อมูลด้วย K-means

3.4 การนำเสนอและแปลผลข้อมูล: เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค K-means มาแสดงผลบนระบบ GIS พร้อมทั้งจำแนกสีตามกลุ่มข้อมูลความเสี่ยงพื้นที่ จะปรากฏดังภาพที่ 3

3.2 การเตรียมข้อมูล: หลังรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะทำการนับรวมจำนวนเหตุการณ์ระเบิดในแต่ละพื้นที่ย่อยของข้อมูล MGRS ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเหตุการณ์ระเบิดในแต่ละพื้นที่

หมายเลข MGRS	จำนวนเหตุระเบิด (ครั้ง)
47NQH5325	74
47NQH7807	43
47NQG5093	40
47NQH5224	38
47NRG2866	37
47NQH5225	35
47NQH4959	32
47NRG1873	27



ภาพที่ 3 กระบวนการประมวลผลข้อมูลด้วย K-means

3.3 ประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค K-means : เป็นการนำเข้าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล (ข้อ 3.2) เข้ากระบวนการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Orange Data Mining (ภาพที่ 2) โดยแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงสูงมาก พื้นที่เสี่ยงสูง พื้นที่เสี่ยงปานกลาง พื้นที่เสี่ยงน้อย และพื้นที่ปลอดภัย ตามลำดับ

4. ผลการวิจัยและการอภิปราย

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค K-means ทำให้สามารถจำแนกพื้นที่ที่ออกเป็นกลุ่มตามระดับความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุวางระเบิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 5 ระดับ ซึ่งการจำแนกพื้นที่เช่นนี้ช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถประเมินสถานการณ์และวางแผนการปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสม

โดยอาจพิจารณาเพิ่มมาตรการรักษาความปลอดภัยในพื้นที่เสี่ยงสูง หรือปรับกลยุทธ์การลาดตระเวนให้สอดคล้องกับระดับความเสี่ยงของแต่ละพื้นที่

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดเหตุวาระเปิดในจังหวัดชายแดนภาคใต้ ช่วยให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบและแนวโน้มของเหตุการณ์ความรุนแรง ซึ่งนำไปสู่การวางแผนและการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการรับมือกับสถานการณ์ความไม่สงบ ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ได้แก่

5.1 การจัดสรรกำลังพลและทรัพยากร: หน่วยงานความมั่นคงสามารถจัดสรรกำลังเจ้าหน้าที่และอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับระดับความเสี่ยงของแต่ละพื้นที่

5.2 การวางแผนการรักษาความปลอดภัย: สามารถออกแบบมาตรการรักษาความปลอดภัยที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละพื้นที่ตามระดับความเสี่ยง

5.3 การให้ความรู้แก่ประชาชน: สามารถใช้ข้อมูลเพื่อให้ความรู้และคำแนะนำแก่ประชาชนในการระมัดระวังและรับมือกับสถานการณ์ในพื้นที่เสี่ยง

5.4 การพัฒนานโยบายระยะยาว: ผู้กำหนดนโยบายสามารถใช้ข้อมูลเพื่อวางแผนยุทธศาสตร์การแก้ไขปัญหาความไม่สงบในระยะยาว

อย่างไรก็ตาม การใช้เทคโนโลยีในการวิเคราะห์ข้อมูลเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการแก้ไขปัญหาความไม่สงบที่ซับซ้อน จำเป็นต้องผสมผสานกับมาตรการอื่น ๆ เช่น การสร้างความเข้าใจและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ การเสริมสร้างความสัมพันธ์ระหว่างภาครัฐและชุมชน ตลอดจนการแก้ไขปัญหาเชิงโครงสร้างที่เป็นต้นเหตุของความขัดแย้ง

สำหรับการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยนี้อาจจะทำได้โดยการเพิ่มปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัจจัยทางสังคมและเศรษฐกิจ เพื่อให้การวิเคราะห์มีความครอบคลุมและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมข่าวทหารอากาศ (ขว.ทอ.) ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลสำหรับการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณกองทัพอากาศที่สนับสนุนงบประมาณ รวมถึงคณะอาจารย์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chainey, S., & Ratcliffe, J. (2013). GIS and crime mapping. John Wiley & Sons.
- [2] Caplan, J. M., Kennedy, L. W., & Miller, J. (2011). Risk terrain modeling: Brokering criminological theory and GIS methods for crime forecasting. *Justice Quarterly*, 28(2), 360-381.
- [3] National Geospatial-Intelligence Agency. (2014). The Universal Grids and the Transverse Mercator and Polar Stereographic Map Projections.
- [4] Zerger, A., & Wealands, S. (2004). Beyond Modelling: Linking Models with GIS for Flood Risk Management. *Natural Hazards*, 33(2), 191-208.
- [5] Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems*. John Wiley & Sons.
- [6] Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M. P., Zamora, R. (2010). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1), 46-58.

- [7] Maimon, O. and Rokach, L., 2005. Data Mining and Knowledge Discovery Handbook. New York: Springer.
- [8] Chainey, S., Tompson, L., & Uhlig, S. (2008). The utility of hotspot mapping for predicting spatial patterns of crime. *Security Journal*, 21(1-2), 4-28.

บทความทางด้านการสร้างระบบ
โปรแกรม แอปพลิเคชัน และอื่น ๆ
(System program application and etc.)

การจัดเก็บและการตรวจนับพัสดุในคลังพัสดุด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

STOCKDETECTION AND COUNTING USING DEEP LEARNING TECHNIQUES

ณัชรเทพ อุดทาคำ¹ ณธกฤษ พงษ์สุวรรณ² ณัฐพงศ์ ชาลิวร³ เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ⁴ และ ปติกร อันซีน⁵

^{1, 2, 3}นักเรียนนายเรืออากาศ กรมนักเรียนนายเรืออากาศรักษาพระองค์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

⁴อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, kiatkulchai@rtaf.mi.th

⁵อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, patikorn_an@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ: การจัดเก็บในคลังพัสดุแผนกพลาธิการ มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะหากจัดเก็บโดยไม่มีระเบียบแบบแผน ไม่มีประสิทธิภาพ จะทำให้การตรวจนับใช้เวลานาน บางครั้งอาจเกิดข้อผิดพลาดจากการนับ และอาจทำให้พัสดุสูญหายได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในทุกหน่วยงานภาครัฐ รวมทั้งบริษัทเอกชนต่าง ๆ จากปัญหาดังกล่าวจึงได้วิจัยและพัฒนาการตรวจนับ โดยการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) สำหรับใช้ในการตรวจนับหมวดหมู่ โดยได้ศึกษาทฤษฎีการจัดเรียงเพื่อให้สามารถเรียงหมวดหมู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้ยังได้ทำการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมคลังเพื่อให้ทราบถึงปัญหา และแนวทางแก้ไข และมีการศึกษาการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อนำมาใช้ในการตรวจนับอีกด้วย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการจัดเรียงและตรวจนับหมวดหมู่ในคลังพัสดุโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก และเพื่อทดสอบและประเมินผลการทำงานของซอฟต์แวร์การตรวจนับพัสดุที่มีการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเรียงหมวดหมู่ในคลังพัสดุ และลดระยะเวลาในการตรวจนับหมวดหมู่ในคลังพัสดุ ผลงานวิจัยพบว่า การตรวจนับหมวดหมู่ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก มีความเร็วในการตรวจนับที่สูง แต่อาจเกิดข้อผิดพลาดในการตรวจนับได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการตรวจนับได้แก่ แสง มุมในการถ่ายภาพ การซ้อนทับกันของวัตถุ ระยะในการถ่ายภาพ เป็นต้น ดังนั้นการตรวจนับพัสดุ ควรเป็นการตรวจนับที่ไม่ได้ต้องการความถูกต้อง 100% แต่ใช้สำหรับการตรวจนับที่ต้องการความรวดเร็วและมีข้อผิดพลาดได้เล็กน้อย ซึ่งผู้ที่สนใจงานวิจัยฉบับนี้ สามารถนำงานวิจัยนี้ไปต่อยอดเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจนับให้สามารถใช้งานได้จริงและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นได้ โดยสามารถใช้ได้ทั้งหน่วยงานภาครัฐและบริษัทเอกชน

คำสำคัญ: แผนกพลาธิการ, เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก, ผู้ควบคุมคลัง, ซอฟต์แวร์, การซ้อนทับ

1. บทนำ

ในปัจจุบันนักเรียนนายเรืออากาศมีการฝึกศึกษาตามวงรอบประจำปี ที่ จะมีการฝึกตามห้วงเวลายกตัวอย่างเช่น การฝึกภาคสนาม การฝึกส่งทางอากาศ การฝึกพร้อมประจำปี และอื่น ๆ ซึ่งการฝึกจำเป็นต้องมีเครื่องช่วยฝึก โดยเครื่องช่วยฝึกทั้งหมดจะถูกจัดเก็บในคลังพลาดิการ กรมนักเรียนนายเรืออากาศรักษาพระองค์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และในปัจจุบันการเบิกหรือคืนของต้องใช้เวลาในการตรวจนับ เนื่องจากมีการเบิกหรือคืนในจำนวนมาก และในบางครั้งอาจเกิดผิดพลาดในการตรวจนับ โดยทำให้เครื่องช่วยฝึกสูญหาย ซึ่งส่งผลให้เกิดมูลค่าความเสียหายที่จะต้องจัดซื้อจัดหาเครื่องช่วยฝึกมาทดแทน โดยยกกรณีตัวอย่างของหมวกฝึกมาใช้ในการศึกษา จากการค้นคว้าทำให้ผู้วิจัยพบว่าเทคโนโลยีในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ที่เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์ สามารถเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ และพัฒนาการทำงานให้ดีขึ้นได้ด้วยตัวเอง จากข้อมูลและสภาพแวดล้อมที่ได้รับจากการเรียนรู้ของระบบ โดยไม่ต้องมีมนุษย์คอยกำกับหรือเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม (Cyber Elite, 2022) โดยการนำมาประยุกต์กับการสร้างระบบการจัดการ ที่มีความทันสมัยและสะดวกสบาย รวมถึงลดเวลาในการทำงาน โดยในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก โดยการใช้ระบบตรวจจับวัสดุ อุปกรณ์ จากกล้องถ่ายภาพ โดยปัญญาประดิษฐ์ (AI : Artificial Intelligence คือปัญญาประดิษฐ์ที่มีฟังก์ชันการเรียนรู้ ทำความเข้าใจ มีความสามารถคิด วิเคราะห์ วางแผน และช่วยตัดสินใจ รวมทั้งทำนายผลลัพธ์ได้ โดยทำการคำนวณจากประสบการณ์ของระบบเป็นหลัก) (Cyber Elite, 2022) จะนำภาพมาประมวลผล และตรวจนับจำนวนของวัสดุ อุปกรณ์ที่มีในภาพได้ จากข้อมูลของผู้ควบคุมคลังพลาดิการ กรมนักเรียนนายเรืออากาศรักษาพระองค์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช หนึ่งในปัญหาการจัดการคลังนั้นไม่มีรูปแบบในการจัดเก็บหมวกฝึก และก่อนการเบิกจ่าย จำเป็นต้องนำมานับใหม่ ซึ่งจะใช้เวลามาก และระหว่างจัดเก็บในคลังพัสดุจะไม่สามารถ

ตรวจสอบจำนวนได้ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในระหว่างจัดเก็บได้ เช่น เกิดการสูญหายระหว่างจัดเก็บ จากปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่ไม่ได้รับการปรับปรุงแก้ไข และในปัจจุบันยังไม่มีให้นำเทคโนโลยีมาใช้ โดยเทคโนโลยีในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้สามารถใช้ในการแก้ปัญหาข้างต้นได้ ยกตัวอย่างเช่น การใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้ร่วมกับการแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเสนอรูปแบบในการจัดเก็บ และประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกในการตรวจนับหมวกฝึกในคลังพัสดุ
- 2) เพื่อทดสอบ และ ประเมิน ผลการ จัด เก็บ การตรวจนับพัสดุโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

3. ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1) ได้แนวทางการจัดเก็บพัสดุประเภทหมวกฝึกที่มีประสิทธิภาพ
- 2) สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกในการนับหมวกฝึกในคลังพัสดุ
- 3) ได้รับความรู้ด้านการประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกในงานอุตสาหกรรม
- 4) สามารถนำแนวทางนี้ไปประยุกต์กับการจัดเก็บพัสดุนิตอื่นได้ในอนาคต

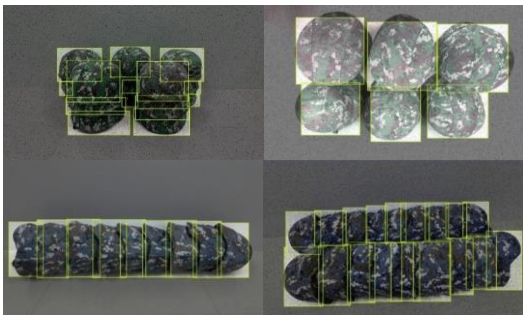
4. วิธีการดำเนินการศึกษา

คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญของคลังพลาดิการมาทั้งหมด 4 รูปแบบ

- 1) รูปแบบที่ 1 เป็นการวางแผนชั้นซ้อนกันแบบแถวหน้ากระดาน 1 แถว
- 2) รูปแบบที่ 2 เป็นการวางแผนชั้นซ้อนกันแบบแถวหน้ากระดาน 2 แถว
- 3) รูปแบบที่ 3 เป็นการวางแผนชั้นซ้อนกันแบบแถวหน้ากระดาน 2 แถวและสลับพื้นปลาให้เห็นแถวหน้าและแถวหลังได้
- 4) รูปแบบที่ 4 เป็นการวางแผนแนวอนซ้อนกันโดยวางแผนแถวตามขนาดพื้นที่ที่วาง

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

หลังจากกำหนดรูปแบบเรียบร้อยแล้วให้ทำการกำหนดป้ายชื่อของหมวกฝัก (Labelling) และ แบบหน้ากาก (Mask) ข้อมูลโดยใช้เครื่องมือ Roboflow นอกจากนี้ยังใช้เครื่องมือ Roboflow ในการทำการเพิ่มชุดข้อมูล (Data Augmentation) ให้กับข้อมูลตั้งต้นและสร้างรูปภาพในรูปแบบใหม่ เพื่อเพิ่มความหลากหลายและจำนวนข้อมูลก่อนนำไปสร้างเป็นชุดข้อมูลเพื่อฝึกฝนในขั้นตอนต่อไป โดยใช้ขั้นตอนดังนี้ กลับด้านรูปภาพ(Flip), ตัดภาพบางส่วน (Crop), หมุนรูปภาพ (Rotation), ปรับความสว่าง (Brightness), เพิ่มสิ่งรบกวนลงในภาพ (Noise), เบลอภาพ (Blur) และ ปรับความเข้มสี (Saturation) หลังจากการทำการกำหนดป้ายชื่อ (Labelling) และ เพิ่มชุดข้อมูล (Data Augmentation) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ จะช่วยให้โดยประสิทธิภาพของโมเดลในการตรวจจับวัตถุ นั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้นจากเดิมเมื่อเทียบกับโมเดลที่ไม่ผ่านการเพิ่มชุดข้อมูล (Wang Jing, 2023) ทำให้ได้ชุดข้อมูลที่มีรูปภาพประมาณ 4500 ภาพ



ภาพที่ 1 การกำหนดป้ายชื่อข้อมูล และการเพิ่มชุดข้อมูล

ขั้นตอนในการตรวจจับวัตถุ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ อัลกอริทึม YOLOv7 ซึ่งใช้หลักโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน และ Mask R-CNN ซึ่งเป็นอัลกอริทึมการแบ่งข้อมูลภาพ (Image segmentation) ผ่านซอฟต์แวร์ที่เปิดเผยหลักการ ที่ชื่อว่า Detectron2 โดยเลือกฝึกฝนด้วยโมเดลที่ถูกฝึกฝนมาแล้ว (pre-trained weight) ชื่อว่า YOLOv7 ซึ่งเป็นโมเดลที่ได้จากการฝึกฝนชุดข้อมูล COCO val2017 เมื่อได้ผลลัพธ์ของการฝึกฝนโมเดลแล้วจะนำมาเปรียบเทียบกับโมเดลของอัลกอริทึม Mask R-CNN

ที่เลือกฝึกฝนด้วยโมเดลที่ถูกฝึกฝนมาแล้ว (pre-trained weight) ชื่อว่า R101-FPN โดยการกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ YOLOv7

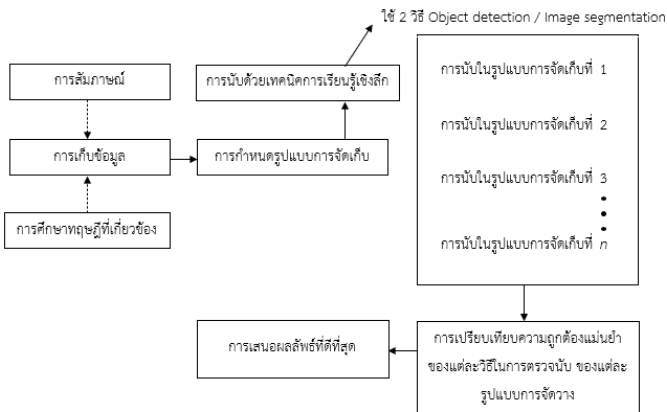
YOLOv7 - PARAMETERS	
จำนวนครั้งที่ใช้ข้อมูลทั้งหมดในการฝึกฝน (epochs)	50
จำนวนข้อมูลที่ใช้ฝึกฝนโมเดลในแต่ละรอบ (batch-size)	8
อัตราการเรียนรู้ (base learning rate)	0.001
จำนวนกระบวนการย่อย (subprocess) สำหรับรันคู่ขนาน (num workers)	2
จำนวนประเภทข้อมูล (number of class)	1

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ Mask-RCNN

Mask-RCNN - PARAMETERS	
จำนวนครั้งที่ใช้ข้อมูลทั้งหมดในการฝึกฝน (epochs)	100000
จำนวนข้อมูลที่ใช้ฝึกฝนโมเดลในแต่ละรอบ (batch-size)	2
อัตราการเรียนรู้ (base learning rate)	0.001
จำนวนกระบวนการย่อย (subprocess) สำหรับรันคู่ขนาน (num workers)	2
จำนวนประเภทข้อมูล (number of class)	1

การนับปริมาณของหมวกฝัก จะใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ นั่นคือ ขอบเขตกล่อง (Bounding Box) แบบหน้ากาก (Mask) และ ความน่าจะเป็นของประเภทวัตถุ(Class Probabilities) เป็นพารามิเตอร์สำหรับการนับจำนวนหมวกฝัก จะใช้การนับจำนวน ขอบเขตกล่อง และ แบบหน้ากาก ที่สามารถตรวจจับได้ แล้วทำการแสดงผลผ่านภาพโดยใช้ OpenCV หรือ Open-source Computer Vision

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

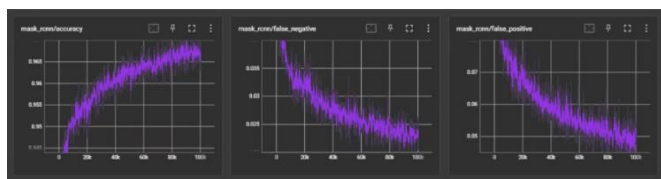


ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดของกระบวนการวิจัย

5. ผลการดำเนินงานวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ผลของการฝึกฝนโมเดลของอัลกอริทึมทั้ง 2 แบบ ได้แก่ อัลกอริทึม YOLOv7 โดยใช้โมเดล YOLOv7 และ อัลกอริทึม Mask R-CNN โดยใช้โมเดล R101-FPN ซึ่งทั้ง 2 อัลกอริทึมได้มีการใช้ชุดข้อมูล (Dataset) เดียวกัน ที่เป็นรูปภาพของหมวกฝึกหลาย ๆ รูปภาพ โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์เหมือนกัน ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ซึ่งโมเดลทั้ง 2 แบบได้ฝึกฝนโดยใช้การ์ดจอ GPU NVIDIA RTX3060 และได้แสดงผลการฝึกฝนโมเดลทั้ง 2 แบบ โดยแสดงคะแนนเฉลี่ย ความแม่นยำ (precision), ความลึก (recall), mean Average Precision (mAP) ที่ $IoU = 0.5$ (mAP@.5), mean Average Precision (mAP) ที่ $IoU = 0.5$ ถึง 0.95 (mAP@.5:0.95) ของการตรวจนับหมวกฝึกในแต่ละรูปแบบ

5.1 ผลของการฝึกฝนโมเดลของอัลกอริทึม YOLOv7 ตามค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 1 ทำให้ได้ค่าเฉลี่ย precision=0.9985, recall=0.9891, mAP@.5=0.9981, mAP@.5:95=0.8656 ดังภาพที่ 4.1

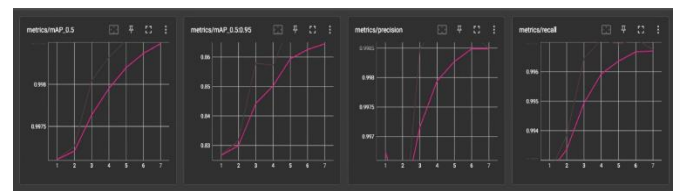


ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่า metrics ของการฝึกฝนโมเดล YOLOv7



ภาพที่ 4 ผลการทดสอบเบื้องต้นหลังการฝึกฝนโมเดล YOLOv7

5.2 ผลของการฝึกฝนโมเดลของอัลกอริทึม Mask R-CNN ตามค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 2 โดยจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ย precision=0.983, recall=0.963, mAP@.5=0.981, mAP@.5:95=0.937



ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่า metrics การฝึกฝนโมเดล Mask R-CNN



ภาพที่ 6 การทดสอบเบื้องต้นหลังการฝึกฝนโมเดล Mask R-CNN

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ผลการทดสอบที่ได้เปรียบเทียบการใช้โมเดล YOLOv7 และโมเดล Mask R-CNN ทำให้ผู้วิจัยพบว่าโมเดลในการตรวจนับหมวกทั้งโมเดล YOLOv7 และ Mask R-CNN สามารถนับจำนวนหมวกในภาพ ที่ได้นำมาใช้ทดสอบได้อย่างแม่นยำ แต่ยังมีข้อผิดพลาดในการตรวจนับอยู่บางส่วน จะเห็นได้ว่าการจัดเก็บรูปแบบที่ 1 ในการตรวจนับจำนวนหมวกโดยโมเดล YOLOv7 มีความแม่นยำที่ 99.285 เปอร์เซ็นต์ มีความแม่นยำน้อยกว่า Mask R-CNN ที่มีความแม่นยำที่ 99.761 เปอร์เซ็นต์ แต่ในการจัดเก็บรูปแบบที่ 2 ทำให้ผู้วิจัยทราบว่าจัดเก็บในรูปแบบที่ 2 ไม่สามารถนำมาใช้ได้เนื่องจากการจัดเก็บที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็นหมวกทั้งหมดได้ การจัดเก็บรูปแบบที่ 3 การตรวจนับโดยใช้โมเดล YOLOv7 และ Mask R-CNN มีความแม่นยำที่เท่ากัน โดยมีความแม่นยำที่ 99.047 เปอร์เซ็นต์ แต่แตกต่างกันตามจำนวนหมวกที่วาง และในรูปแบบที่ 4 นั้นมีความแม่นยำที่สูงที่สุดของทั้ง 2 โมเดลที่ 99.523 เปอร์เซ็นต์ และ 99.809 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีความแม่นยำต่างกันเพียง 0.286 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบและสรุปผลการตรวจนับของโมเดล YOLOv7 และ Mask R-CNN

รูปแบบ	จำนวนหมวก	จำนวนที่โมเดลนับได้		Precision(%)		Average Precision(%)	
		YOLOv7	Mask R-CNN	YOLOv7	Mask R-CNN	YOLOv7	Mask R-CNN
1	90	90	90	99.285	99.761	89.999	90.309
	100	100	100				
	110	111	110				
	120	122	121				
2	90	58	58	62.142	62.619	89.999	90.309
	100	60	59				
	110	68	69				
	120	75	77				
3	90	92	91	99.047	99.047	89.999	90.309
	100	99	100				
	110	109	108				
	120	120	119				
4	90	90	90	99.523	99.809	89.999	90.309
	100	100	99				
	110	112	110				
	120	120	118				

จากการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยภาพถ่ายที่ต่างจากภาพที่นำมาฝึกฝน ในการทดลองจะเห็นได้ว่าโมเดลที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วของทั้ง 2 นั้นมีความแม่นยำในการตรวจนับวัตถุที่สูงมาก แต่มีข้อผิดพลาดที่ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ได้ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของโมเดลทั้ง 2 ที่เกิดการตรวจนับผิดพลาดได้ 3 ข้อดังนี้

1) การวางหมวกที่ไม่ดี มีการซ้อนทับกันมากจนเกินไป อีกทั้งมุมในการถ่ายภาพ ทำให้แสงที่ตกกระทบกับหมวกมีความแตกต่างกัน ทำให้ส่วนที่เป็นจุดซ้อนทับของหมวกแต่ละใบมีความมืด ความสว่างที่ไม่เท่ากัน อาจส่งผลให้ภาพในส่วนที่มีมุมมองออกwards มีความไม่แตกต่างกันของการวางหมวก หรือมองเป็นหมวกใบเดียวกัน หรืออาจจะเกิดสัญญาณรบกวนในภาพ (image noise) ส่งผลให้การนับหมวกมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ (Research on Improved YOLOv5 for Low-Light Environment Object Detection, Jing Wang 2023)

2) การถ่ายภาพบางภาพที่ถ่ายจากระยะที่ต่างกัน ทำให้ขนาดของหมวกในภาพเกิดความแตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้คุณภาพ ความละเอียด และจำนวนพิกเซลของหมวกในภาพลดลง จึงเป็นผลให้ความแม่นยำของโมเดลลดลง (Understanding the Impact of Image Quality and Distance of Objects to Object Detection Performance, Yu Hao, 2022)

3) อาจเกิดจากการที่เมื่อภาพเกิดสัญญาณรบกวนในภาพ จะส่งผลกระทบต่ออัตราตัดกันของสี (contrast) ซึ่งอาจมีผลให้ความแม่นยำของโมเดลลดลงตามไปด้วย (Image quality and super resolution effects on object recognition using deep neural networks, Christoph Borel 2019)

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม YOLOv7 และ Mask R-CNN ในการตรวจจับหมวกฝัก โดยการจำลองรูปแบบการวางหมวกขึ้น เพื่อหาและนำเสนอรูปแบบในการจัดเก็บหมวกฝักที่เหมาะสมที่สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกในการตรวจจับหมวกฝักได้ และสามารถตอบตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ดังนี้

1) ผลของการฝึกฝนโมเดล YOLOv7 และ Mask R-CNN ทำให้พบว่าทั้ง 2 โมเดลมีความแม่นยำในการนับที่ใกล้เคียงกันแต่ยังพบมีข้อผิดพลาดในบางจุดจากการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดเก็บที่เหมาะสมที่สุดของการจัดเก็บและตรวจจับพัสดุด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ควรเป็นรูปแบบที่สามารถมองเห็นหมวกได้ทั้งหมด รวมถึงการจัดเก็บที่เป็นระเบียบ ผลการทดลองในการจัดเก็บรูปแบบที่ 4 พบว่ามีความแม่นยำของทั้ง 2 โมเดลมากที่สุดที่ 99.761 เปอร์เซ็นต์ และ 99.809 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการจัดเก็บที่ทำให้เมื่อถ่ายภาพมาใช้ในการตรวจจับ สามารถเห็นหมวกได้ง่ายมีพื้นที่ในการทับซ้อนกันของหมวกฝักน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 และ 3 จากการผลทดลองนั้นพบว่ารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดในการจัดเก็บคือ การจัดเก็บในรูปแบบที่ 4 แต่อาจจะมียกเว้นข้อจำกัดในการจัดเก็บในพื้นที่ที่มีขนาดจำกัด

2) จากการทดลองการตรวจจับด้วยโมเดล Mask R-CNN และ YOLOv7 จากรูปแบบการจัดเก็บทั้งหมด 4 รูปแบบ และใช้ตัวอย่างหมวกฝักที่ใช้ตรวจจับจำนวน 90, 100, 110 และ 120 ใบ พบว่า โมเดล Mask R-CNN มีความแม่นยำที่สูงกว่า YOLOv7 ทั้งในรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 4 แต่ในรูปแบบที่ 3 มีความแม่นยำที่เท่ากัน และรูปแบบที่ 2 ไม่สามารถนำโมเดลทั้ง 2 แบบมาใช้ได้ เนื่องจากการวางที่ทำให้ไม่สามารถตรวจจับหมวกฝักได้ทั้งหมด

7. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการทำเพื่อทดสอบและประเมินผลของการใช้งานเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้กับคลังพัสดุ ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง จำลองการจัดเก็บและตรวจจับหมวกฝัก ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลของการทดลอง ถึงแม้ว่าโมเดล

ทั้ง YOLOv7 และ Mask R-CNN จะมีความแม่นยำที่สูง ทั้ง 2 โมเดล แต่หากต้องการนำมาใช้กับพัสดุที่ไม่สามารถมีข้อผิดพลาดได้ หรือเป็นสิ่งของที่เป็นต้องมีความแม่นยำที่ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้ได้ แต่การใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมีความเร็วที่สูงกว่าการใช้คนนับ ซึ่งในการวิจัยขั้นถัดไป อาจจะเป็นการพัฒนาเพิ่มเติมวัตถุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่หมวกฝัก หรือ เป็นสิ่งของอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการความแม่นยำในการนับที่ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องการความรวดเร็วในการตรวจจับ รวมถึงการฝึกฝนโมเดล โดยใช้ข้อมูลจากสถานที่จริงเพื่อที่จะสามารถนำงานวิจัยไปปรับใช้งานได้ในอนาคต

บรรณานุกรม

- [1] Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy & Hong-Yuan Mark Liao, 2022. YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-art for real-time object detectors. <https://arxiv.org/abs/2207.02696>.
- [2] Mamta Borle, Janvi Patel, Riddhi Nalawade & Smit Mehta, 2021. Stock Management System Using Object Detection Techniques. <https://www.ijser.org/researchpaper/Stock-Management-System-Using-Object-Detection-Techniques.pdf>.
- [3] Milad Ahmadi, Zichun Xu, Xinli Wang, Lei Wang, Mingjun Shao & Youliang Yu, 2021. Fast Multi Object Detection and Counting in YoloV3. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9727949>.
- [4] สุภาวดี ศรีคำดี, อรุณรัฐ สุขสวัสดิ์ชน, จักริน สุขสวัสดิ์ชน และ วรวิทย์ วีระพันธุ์, 2565. แอปพลิเคชันสำหรับการระบุอัตลักษณ์ของยา โดยใช้ระบบการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) และการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-means clustering). https://www.researchgate.net/publication/349671142_xaepplikhechansahrabkarcanae_kyadoychiwithikarreiynrucheingluk_Applicati

- on_for_classifying_pills_using_a_deep_learning_method.
- [5] Wang, Jing, Peng Yang, Yuansheng Liu, Duo Shang, Xin Hui, Jinhong Song, and Xuehui Chen, 2023. Research on Improved YOLOv5 for Low-Light Environment Objectdetection. <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/14/3089>.
- [6] Imran Khan Mirani, Chen Tianhuab, Malak Abid Ali Khanc, Syed Muhammad Aamirc, Waseef Menhajd, 2022. Object Recognition in Different Lighting Conditions at Various Angles by Deep Learning Method. <https://arxiv.org/abs/2210.09618>
- [7] Jason Wang and Luis Perez, 2017. The Effectiveness of Data Augmentation in Image Classification using Deeplearning. <http://arxiv.org/abs/1712.04621>
- [8] Christoph Borel-Donohue and S. Susan Young, 2019. Image Quality and Super Resolution Effects on Object Recognition Using Deep Neural Networks. https://www.researchgate.net/publication/333068978_image_quality_and_super_resolution_effects_on_object_recognition_using_deep_neural_networks.
- [9] Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollar and Ross Girshick, 2017. Mask R-CNN. <https://arxiv.org/abs/1703.06870>
- [10] ชिरดา ศรีเงิน, ปิยะเนตร นาคสีดี และ วิชญุตร์ งามสะอาด, 2566. การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพัสดุคงคลัง. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSCI/article/view/249749>.
- [11] ศิริพร สรณาคมน์, ชำนาญ ทองเย็น, ธันวาคม 2564. ปัญหาการบริหารงานพัสดุของสำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรีและเพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาการบริหารงานพัสดุสำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/ISSC/article/view/245601>.
- [12] ชรินทร์พร นนท์ศิลา, จิตรา รู้กิจการพานิช, กรกฎาคม 2558. การปรับปรุงการบริหารคลังพัสดุสำหรับหน่วยบริการซ่อมรถฟอร์คลิฟท์. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eit-researchjournal/article/view/87013>

กระบวนการรีเลย์สัญญาณ

ด้วยเทคนิคการซัดสัญญาณแบบเลเวลครอสซิง

ASYNCHRONOUS RELAY SIGNAL WITH LEVEL CROSSING SAMPLING TECHNIQUE

นักเรียนนายเรืออากาศ กอบชัย แสงทวี¹

นักเรียนนายเรืออากาศ ชลโชติ สีใหม่²

นักเรียนนายเรืออากาศ รัชชานนท์ ขวัญแก้ว³

ภาควิศวกรรมไฟฟ้า โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

E-mail address kobchai_san@rtaf.mi.th¹

E-mail address cholachot_see@rtaf.mi.th²

E-mail address ratchanon_khw@rtaf.mi.th³

บทคัดย่อ: ในปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งกองทัพอากาศได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาปฏิบัติภารกิจของกองทัพในหลากหลายรูปแบบ แต่ปัญหาที่พบคือข้อจำกัดในด้านระยะการปฏิบัติงานของการส่งสัญญาณ ทางผู้วิจัยจึงมีความคิดในการนำกระบวนการรีเลย์มาใช้ในการเพิ่มระยะของการสื่อสารให้อากาศยานไร้คนขับกับฐานปฏิบัติงาน โดยคณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษากระบวนการรีเลย์สัญญาณที่ใช้การส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส มาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มระยะของการสื่อสารเนื่องจากการส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัสมีการใช้พลังงานที่ต่ำ นอกเหนือจากนั้นงานวิจัยนี้ยังศึกษาวิธีการการเพิ่มประสิทธิภาพของการรีเลย์สัญญาณแบบอะซิงโครนัส โดยใช้เทคนิคการซัดสัญญาณแบบเลเวลครอสซิงด้วยวิธีการสร้างการจำลองโปรแกรมจำลองใน MATLAB เพื่อทดสอบและประเมินผลการใช้เทคนิคการซัดสัญญาณแบบเลเวลครอสซิง ในการลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการรีเลย์สัญญาณ โดยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในระดับของสัญญาณในการทดลอง โปรแกรม MATLAB ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองการซัดสัญญาณแบบเลเวลครอสซิงในการรีเลย์สัญญาณแบบอะซิงโครนัส การวัดผลแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการใช้พลังงานโดยเกิดการสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด ผลลัพธ์จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบสื่อสารที่ใช้การรีเลย์สัญญาณแบบอะซิงโครนัส ในสถานการณ์ที่ต้องการประสิทธิภาพการสื่อสารที่สูงและการใช้พลังงานที่ต่ำ นอกจากนี้โปรแกรม MATLAB ที่พัฒนาขึ้นยังเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับนักวิจัยและผู้พัฒนาที่สนใจในการทดลองและพัฒนาเทคนิคการรีเลย์สัญญาณในระบบสื่อสาร

คำสำคัญ: การรีเลย์สัญญาณ, การลดพลังงานในการส่งสัญญาณ, อากาศยานไร้คนขับ, เลเวลครอสซิง

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

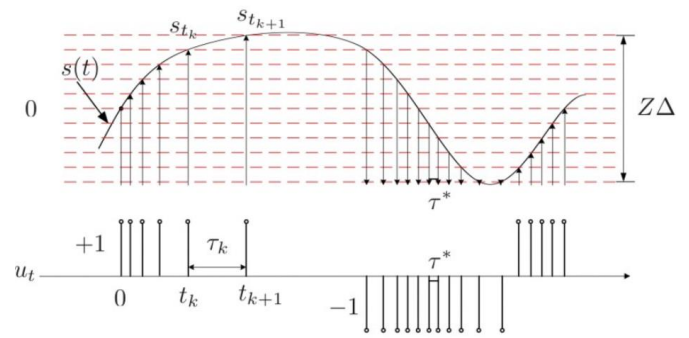
บทนำ

ในปัจจุบัน กองทัพอากาศไทยได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการปฏิบัติภารกิจของกองทัพอากาศ ซึ่งบางครั้งในการปฏิบัติภารกิจนั้นจะมีระยะทางที่เกินขอบเขตของการส่งสัญญาณ ทำให้มีการนำอุปกรณ์ในการเพิ่มระยะในการส่งสัญญาณมาใช้ แต่อุปกรณ์ที่ใช้ก็ยังคงมีข้อจำกัดในการใช้พลังงานในการส่งสัญญาณที่มากทำให้มีระยะเวลาในการปฏิบัติภารกิจที่จำกัด ดังนั้นจึงเกิดการจำลองการเพิ่มคุณภาพของสัญญาณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองการส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส โดยการใช้เทคนิค การซัดสัญญาณแบบเลเวลครอสซิง ทำให้การส่งสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณนั้นมีการใช้พลังงานที่ลดลงทำให้สามารถเพิ่มระยะเวลาในการใช้อุปกรณ์ในการส่งสัญญาณได้ และทำให้ยุทธโศปกรณ์ของกองทัพอากาศสามารถปฏิบัติภารกิจได้นานขึ้นและไกลขึ้นเช่นกัน ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB ในการทดลอง ผู้วิจัยทำการจำลองการเพิ่มคุณภาพของสัญญาณโดยการลดการใช้พลังงานเป็นส่วนสำคัญในระบบสื่อสารไร้สายที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพื่อจำลองการเพิ่มความสามารถการส่งสัญญาณได้นั้นการส่งสัญญาณอะซิงโครนัสโดยใช้เทคนิคการซัดสัญญาณแบบเลเวลครอสซิง และสร้างการทดลองใน MATLAB เพื่อการทดสอบและประเมินผลการทดลองการลดพลังงานในการส่งสัญญาณ การใช้โปรแกรม MATLAB ในงานวิจัยนี้มีการใช้ความรู้ทั้งทางทฤษฎีและทางการปฏิบัติ เพื่อปรับปรุงคุณภาพสัญญาณที่ส่งผ่านช่องการสื่อสารหรือเครือข่าย ผู้วิจัยจะใช้การประมวลผลด้วย MATLAB เพื่อวิเคราะห์การส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัสโดยการใช้เทคนิค Level Crossing Sampling ในการลดการใช้พลังงานในการส่งสัญญาณ และจากการวิเคราะห์นี้สามารถพัฒนาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของการส่งสัญญาณในบริบทที่ต่างกัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองระบบการรีเลย์สัญญาณแบบอะซิงโครนัสด้วยโปรแกรม MATLAB และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรีเลย์สัญญาณด้วยเมทริกซ์ คือ อัตราส่วนสัญญาณต่อการรบกวนและอัตราบิดผิดพลาด

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การซัดสัญญาณแบบเลเวลครอสซิง (Level Crossing Sampling)[1] เป็นกระบวนการซัดสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ เมื่อสัญญาณตัดข้ามระดับหรือเรียกว่าการทำเครื่องหมายข้ามระดับ กระบวนการนี้ใช้ในการรับข้อมูลเมื่อสัญญาณทะลุระดับหรือระดับค่าที่กำหนดไว้

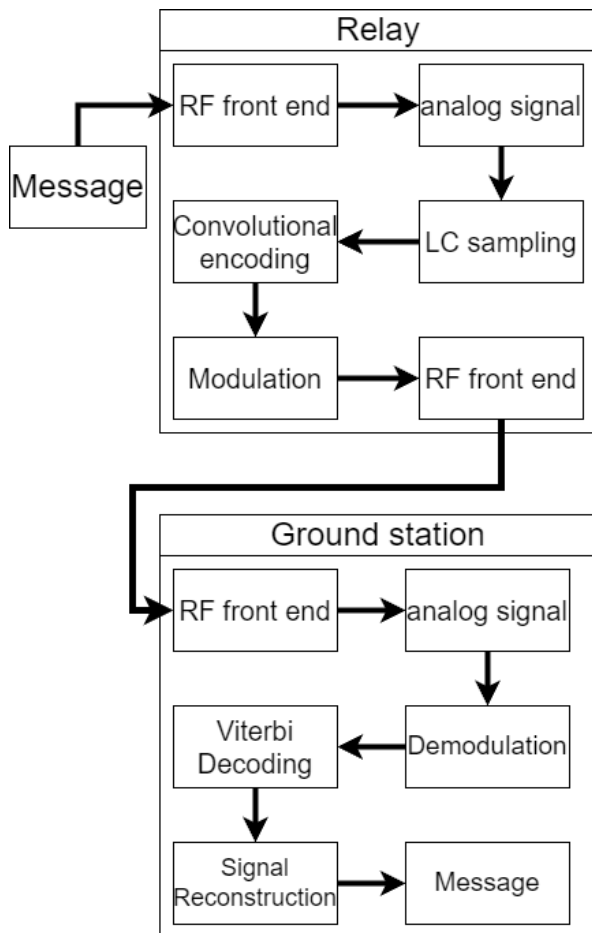


ภาพที่ 2.1 การซัดสัญญาณแบบตัดข้ามระดับ

ในภาพที่ 2.1 $s(t) \in R$ คือแอมพลิจูดของสัญญาณ ณ เวลา t และ $u(t) \in [+1, 1]$ หมายถึงลำดับตัวอย่างที่ได้จากการซัดสัญญาณแบบตัดข้ามระดับ มีตัวอย่างเกิดขึ้นในแต่ละครั้ง รูปคลื่นจะถูกเปรียบเทียบกับระดับที่สม่ำเสมอโดยกำหนดไว้ล่วงหน้าจากค่า Z โดยมีช่วงการตัดสินใจที่กำหนดเป็น $\Delta = 2 \max \frac{|s(t)|}{Z}$ เมื่อใดก็ตามที่รูปคลื่นกระตุ้นให้เกิดระดับในทิศทางของการเพิ่มแอมพลิจูด ตามตัวอย่าง จะบันทึก “+1” ณ เวลาที่กำหนด ดังตัวอย่าง “+1” และ “-1” ถูกแทนค่ากับบิต 1 และ 0 ตามลำดับ ในขั้นตอนการซัดสัญญาณแบบตัดข้ามระดับ ไม่จำเป็นต้องมีวงจรมานำที่โหนดเช่นเซอร์เมื่อเทียบกับการสุ่มตัวอย่างตามระยะเวลาแบบเดิมตามการดำเนินการ “ซัดสัญญาณและการวัดปริมาณ” จะลดการใช้พลังงานของโหนดเช่นเซอร์ลงอย่างมาก ดังนั้น ช่วงระยะเวลา τ_k สำหรับตัวอย่างที่อยู่ติดกัน t_k และ t_{k+1} เป็นตัวแปรแทนที่จะเป็นค่าคงที่และช่วงการสุ่มตัวอย่างต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ถูกกำหนดเป็น $\min(\tau_k) \triangleq \tau^*$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสัญญาณรูปคลื่นของแหล่งกำเนิด Z และ Δ นอกจากนี้ หากสัญญาณกระจายจำนวนตัวอย่างที่สร้างขึ้นโดยการซัดสัญญาณแบบตัดข้ามระดับ จะมีขนาดเล็กกว่าการสุ่มตัวอย่างเป็นระยะอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลาเดียวกันของรูปคลื่นสัญญาณ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

สำหรับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยด้วยวิธีการจำลองกระบวนการการรีเลย์สัญญาณใน MATLAB โดยกระบวนการซัดสัญญาณ ทางผู้วิจัยได้นำวิธีการที่มีอยู่แล้วจากงานวิจัย [1] มาปรับวิธีการก้ำสัญญาณแบบต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่งข้อมูลด้วยการใช้อัตราบิดผิดพลาดในการเปรียบเทียบ ได้แก่ FSK, QAM และ PSK ในการทดลองนั้นทางผู้วิจัยได้กำหนดให้รีเลย์มีลักษณะการทำงานที่เหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กระบวนการทำงานของระบบการรีเลย์สัญญาณ

ในการดำเนินการทดลองจะมีการแบ่งภาคการดำเนินการเป็นสองส่วนคือ ภาคพื้น และภาคอากาศ (รีเลย์) โดยแต่ละส่วนมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 ภาคอากาศ (รีเลย์)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการดำเนินการของการรีเลย์สัญญาณที่ต้องการ โดยจะมีการสร้างสัญญาณขึ้นมา จากนั้นสัญญาณดังกล่าวจะถูกรับมา ผ่านเรดิโอเฟรควเ็นซีฟรอนต์เอนด์ จากนั้นสัญญาณจะถูกนำมาผ่านกระบวนการซิกสัญญาณแบบเลเวลครอสซิงกลายเป็นสัญญาณดิจิทัล ก่อนจะถูกส่งไปเข้ารหัสสัญญาณด้วยวิธีการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันแล้วจึงนำสัญญาณดิจิทัลที่ได้ไปผ่านการกล้ำสัญญาณให้กลายเป็นสัญญาณอะนาล็อกเพื่อให้พร้อมส่งออกก่อนจะส่งออกผ่านทางเรดิโอเฟรควเ็นซีฟรอนต์เอนด์ สัญญาณที่ได้จะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณแบบแอดับเบิลยูจีเอ็นที่ใช้จำลองสภาพแวดล้อมในการส่งแบบพื้นฐาน

3.2 ภาคพื้น

ในขั้นตอนนี้จะจำลองขั้นตอนในการรับสัญญาณแกลดทรหัสสัญญาณที่ผ่านการรีเลย์แล้วมาจากภาคอากาศ เริ่มแรกสัญญาณที่ผ่านกระบวนการรีเลย์แล้วจะถูกรับที่ภาคพื้นผ่านเรดิโอเฟรควเ็นซีฟรอนต์เอนด์ก่อนจะผ่านกระบวนการคืนสัญญาณเพื่อให้ได้มาซึ่งสัญญาณดิจิทัลก่อนการกล้ำสัญญาณ จากนั้นสัญญาณจะถูกถอดรหัสด้วยวิธีการแบวิเทอร์บีเพื่อให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเสมือนกับสัญญาณที่ผ่านกระบวนการซิกสัญญาณจากรีเลย์จากนั้นจึงถูกปรับโครงสร้างใหม่ให้กลับเป็นสัญญาณที่ต้องการรีเลย์ก่อนนำมาวัดประสิทธิภาพ

ผลการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการจำลองการทำงานของรีเลย์ที่ใช้วิธีการซิกสัญญาณแบบเลเวลครอสซิงและใช้วิธีการเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบคอนโวลูชัน แต่ใช้การกล้ำสัญญาณด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธีคือ FSK, QAM และ PSK โดยจะสนใจในการเปรียบเทียบผลการส่งสัญญาณด้วยการใช้ตราบิตที่ผิดพลาดเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของของรีเลย์โดยคาดหวังให้อัตราบิตผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุด

4.1 การกำหนดสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบ

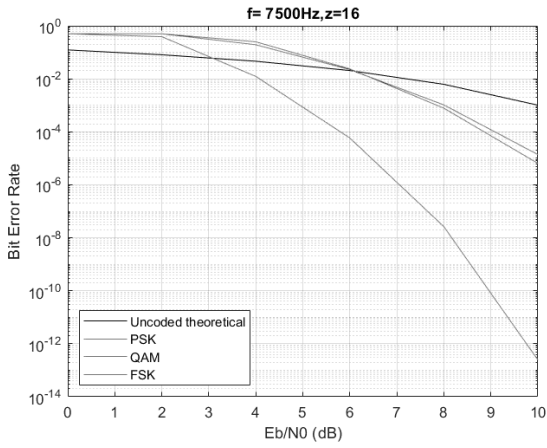
$$S = A \sin(2\pi * f * t + \varphi) \quad (4-1)$$

$$\Delta = 2 * (A/Z) \quad (4-2)$$

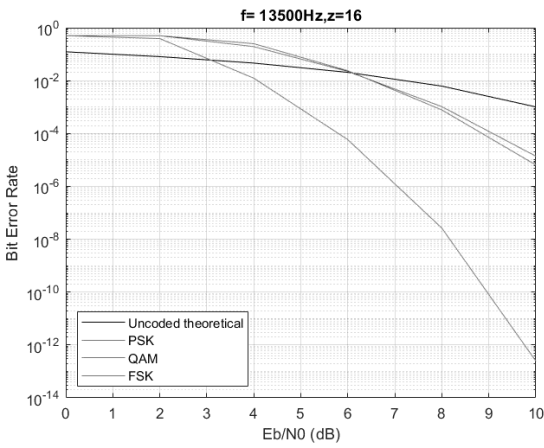
ในการทดสอบจะกำหนดให้ใช้สัญญาณดังสมการที่ 4-1 ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ $\varphi = 0$, $t = 100$ มิลลิวินาที และนำสัญญาณทั้งหมดมาผ่านกระบวนการซิกสัญญาณแบบเลเวลครอสซิงที่กำหนดความละเอียดด้วยสมการที่ 4-2 โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กลุ่ม คือการทดสอบกลุ่มที่ 1 ทดสอบเปลี่ยนความถี่ของตัวแปร f ในสมการที่ 4-1 โดยกำหนดให้ $f = 7,500, 13,500$ และ $20,000$ เฮิร์ตซ์ การทดสอบกลุ่มที่ 2 ทดสอบเปลี่ยนความละเอียดในการซิกสัญญาณด้วยตัวแปร Z ในสมการที่ 4-2 โดยกำหนดให้ $Z = 8, 16$ และ 32 ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
 THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

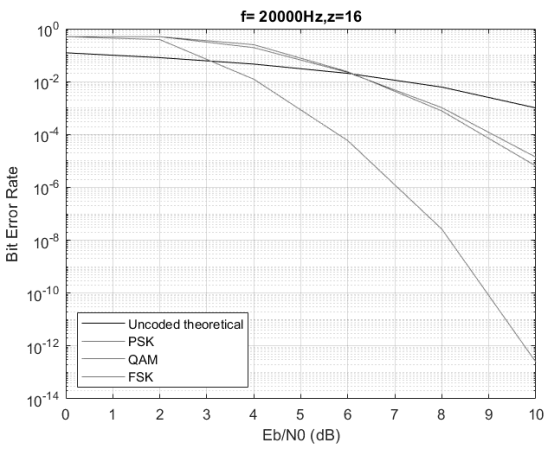
4.2 ผลการทดสอบอัตราบิดผิดพลาดของการกล้ำสัญญาณแบบPSK, QAM และFSK ที่ความถี่ต่างกัน



(ก) $f = 7,500$ เฮิรตซ์



(ข) $f = 13,500$ เฮิรตซ์

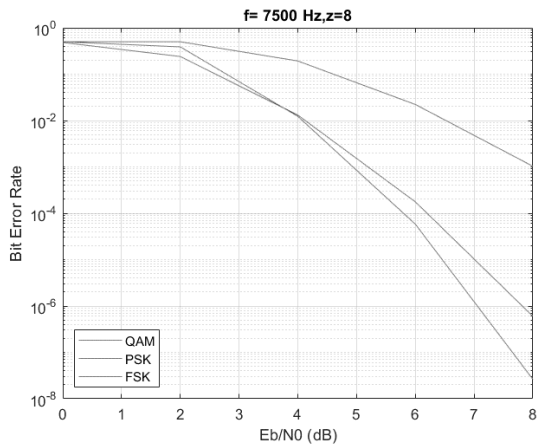


(ค) $f =$ เฮิรตซ์

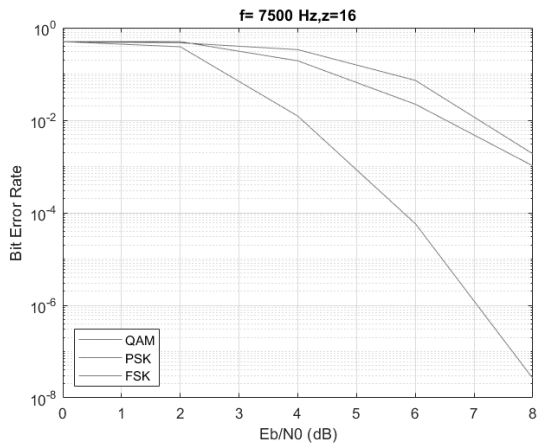
7,500 เฮิรตซ์ (ก) , $f = 13,500$ เฮิรตซ์ (ข) , $f = 20,000$ เฮิรตซ์ (ค)

จากการทดสอบเปลี่ยนค่าความถี่ของตัวแปร f ในสมการที่ 4-1 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้จำลองสัญญาณที่ต้องการมาผ่านกระบวนการชักสัญญาณโดยกำหนดให้ $f = 7,500, 13,500$ และ $20,000$ เฮิรตซ์ พบว่าที่อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 2 ขึ้นไป การกล้ำสัญญาณด้วยวิธีการแบบFSKจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการกล้ำสัญญาณแบบQAMและPSKและยังพบอีกว่าการเพิ่มความถี่ของสัญญาณขาเข้าไม่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของการชักสัญญาณแบบเลเวลครอสซิงอย่างมีนัยสำคัญ

4.3 ผลการทดสอบอัตราบิดผิดพลาดของการกล้ำสัญญาณแบบPSK, QAM และFSK ที่มีการแบ่งระดับสัญญาณในการชักสัญญาณต่างกัน



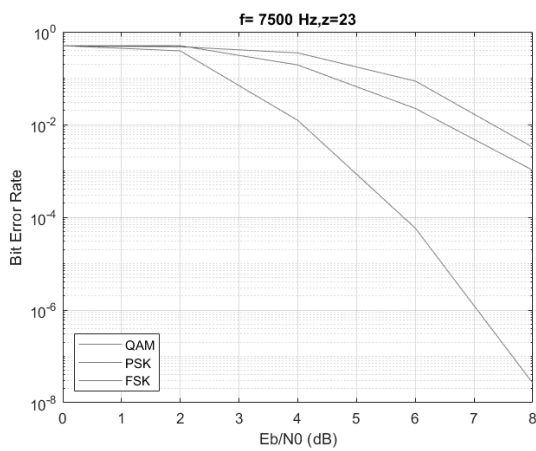
(ก) $Z = 8$



(ข) $Z = 16$

รูปที่ 4.1 อัตราบิดผิดพลาดที่เกิดจากการกล้ำสัญญาณแบบ PSK, QAM และ FSK เมื่อสัญญาณขาเข้ามีความถี่ต่างกัน โดย $f =$

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



(ค) $Z = 32$

รูปที่ 4.2 อัตราบิดผิดพลาดที่เกิดจากการกล้ำสัญญาณแบบ PSK, QAM และ FSK เมื่อช้สัญญาณด้วยค่า Z ต่างกัน โดย $Z = 8, 16$ และ 32

จากการทดสอบเปลี่ยนค่าความถี่ของตัวแปร Z ในสมการที่ 4-2 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้กำหนดจำนวนและระยะห่างของชั้นชั้นที่ใช้ในการแบ่งชั้นของสัญญาณก่อนทำการช้สัญญาณ ณ โดยกำหนดให้ $Z = 8, 16$ และ 32 พบว่าสำหรับการกล้ำสัญญาณแบบ PSK และ FSK ไม่พบว่าการเพิ่มหรือลดจำนวนชั้นที่ใช้ในการแบ่งสัญญาณก่อนทำการช้สัญญาณนั้นส่งผลต่ออัตราบิดผิดพลาดในการสื่อสาร แต่การกล้ำสัญญาณด้วยวิธีการแบบ QAM นั้นพบว่าการลดจำนวนชั้นที่ใช้ในการแบ่งสัญญาณก่อนทำการช้สัญญาณส่งผลให้อัตราบิดผิดพลาดในการสื่อสารน้อยลงไปด้วย แต่ก็ยังมีอัตราบิดผิดพลาดที่มากกว่าการกล้ำสัญญาณด้วยวิธีการแบบ FSK

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยแบบจำลองกระบวนการรีเลย์สัญญาณด้วยเทคนิคการช้สัญญาณแบบเลเวลครอสซิงในระบบการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสในการทดลองได้มีการปรับเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารและการปรับจำนวนชั้นในการแบ่งระดับสัญญาณในเทคนิคการช้สัญญาณแบบเลเวลครอสซิงพบว่าการใช้เทคนิคการกล้ำสัญญาณแบบ FSK ร่วมกับเทคนิคการช้สัญญาณแบบเลเวลครอสซิงในการสื่อสารนั้นสามารถลดอัตราบิดผิดพลาดได้มากกว่าการใช้เทคนิคการกล้ำสัญญาณด้วยวิธีการแบบ PSK และ QAM ร่วมกับเทคนิคการช้สัญญาณแบบเลเวลครอสซิงในทุกกรณี และสำหรับการกล้ำสัญญาณแบบ QAM นั้นพบว่าจะสามารถทำให้อัตราบิดผิดพลาดลดน้อยลงได้

ก็ต่อเมื่อความละเอียดในการแบ่งระดับของสัญญาณลดลงเช่นกัน สังเกตได้จากผลการทดลอง และสำหรับการใช้วิธีการกล้ำสัญญาณแบบ PSK ร่วมกับเทคนิคการช้สัญญาณแบบเลเวลครอสซิงพบว่า ทั้งการปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณขาเข้าและการปรับความละเอียดในการแบ่งระดับสัญญาณก่อนทำการช้สัญญาณนั้นไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มหรือลดอัตราบิดผิดพลาดอย่างชัดเจน

การวิจัยเรื่อง แบบจำลองกระบวนการรีเลย์สัญญาณด้วยเทคนิคการช้สัญญาณแบบเลเวลครอสซิง ตามวัตถุประสงค์ คือ เพื่อพัฒนาแบบจำลองระบบการรีเลย์สัญญาณแบบอะซิงโครนัส

สามารถนำแบบจำลองนี้ไปทดสอบก่อนที่การนำไปใช้งานได้ ในสถานการณ์จริงได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทำทดลองตลอดจนมีประโยชน์ต่อการนำไปศึกษาต่อว่าแบบจำลองการทดลองแบบใดที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมมากที่สุด เพื่อใช้เป็นแนวทางการศึกษาต่อสำหรับผู้สนใจงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการรีเลย์สัญญาณด้วยเทคนิคการช้สัญญาณแบบเลเวลครอสซิง

หากผู้ที่ต้องการศึกษาเอกสารวิจัยต้องการนำความรู้ไปต่อยอด คณะผู้วิจัยมีแนวทางดังนี้ คือ เพิ่มการเปรียบเทียบวิธีการช้สัญญาณกับสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ , ทาวิธีการอื่น ๆ ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง, เปลี่ยนช่องสัญญาณในการส่งสัญญาณให้มีความสมจริงมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Yi and J. Kliever, "Error correction for low power sensors in asynchronous communication," Signal Processing, vol. 182, p. 107946, 2021.
- [2] D. H. Johnson, "Signal-to-noise ratio," Scholarpedia, vol. 1, no. 12, p. 2088, 2006.
- [3] G. Breed, "Bit error rate: Fundamental concepts and measurement issues," High Frequency Electronics, vol. 2, no. 1, pp. 46–47, 2003.
- [4] M. Salehi, M. Manteghi, S.-Y. Suh, S. Sajuyigbe, and H. G. Skinner, "A wideband frequency-shift keying modulation technique using transient state of a small an-

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

- tenna,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 143, pp. 421–445, 2013.
- [5] B. Van Der Pol, “Frequency modulation,” *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, vol. 18, no. 7, pp. 1194–1205, 1930.
- [6] D. Yoon, K. Cho, and J. Lee, “Bit error probability of m-ary quadrature amplitude modulation,” in *Vehicular Technology Conference Fall 2000. IEEE VTS Fall VTC2000. 52nd Vehicular Technology Conference (Cat. No. 00CH37152)*, vol. 5, pp. 2422–2427, IEEE, 2000.
- [7] X. Tang, M.-S. Alouini, and A. J. Goldsmith, “Effect of channel estimation error on m-qam ber performance in rayleigh fading,” *IEEE transactions on Communications*, vol. 47, no. 12, pp. 1856–1864, 1999.
- [8] G. Solomon and H. Tilborg, “A connection between block and convolutional codes,” *SIAM Journal on Applied Mathematics*, vol. 37, no. 2, pp. 358–369, 1979.
- [9] A. Viterbi, “Convolutional codes and their performance in communication systems,” *IEEE Transactions on Communication Technology*, vol. 19, no. 5, pp. 751–772, 1971.
- [10] D. R. Pauluzzi and N. C. Beaulieu, “A comparison of snr estimation techniques for the awgn channel,” *IEEE Transactions on communications*, vol. 48, no. 10, pp. 1681–1691, 2000.
- [11] J. W. Bergmans, *Digital baseband transmission and recording*. Springer Science & Business Media, 2013. 40
- [12] J. A. Tropp, J. N. Laska, M. F. Duarte, J. K. Romberg, and R. G. Baraniuk, “Beyond nyquist: Efficient sampling of sparse bandlimited signals,” *IEEE transactions on information theory*, vol. 56, no. 1, pp. 520–544, 2009.
- [13] Q. Hu, C. Yi, J. Kliewer, and W. Tang, “Asynchronous communication for wireless sensors using ultra wideband impulse radio,” in *2015 IEEE 58th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, pp. 1–4, IEEE, 2015.
- [14] K. Arunlal and S. Hariprasad, “An efficient viterbi decoder,” *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications*, vol. 2, no. 1, p. 95, 2012.
- [15] S. I. Mrutu, A. Sam, and N. H. Mvungi, “Trellis analysis of transmission burst errors in viterbi decoding,” *International Journal of Computer Science and Information Security*, vol. 12, no. 8, p. 46, 2014.

ระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊ก

CRMA Facebook Scraping Bot

น.ร. ภัทรพล ทองสุวรรณ¹ น.ร. สรวินธุ์ คีตสงคราม¹ น.ร. ประวันวิทย์ อัครปัญญา¹ น.ร. ปณวัฒน์ ฤชา¹
น.ร. อนุรักษ์ แม้นจิต¹ พ.ต. เอกโยธิน พิลา²

¹นักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า: artpopor@gmail.com

²อาจารย์ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า: eggiothin.pi@crma.ac.th

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กในการวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกเชิงลบให้มีความรวดเร็วขึ้น การดำเนินการวิจัยโดยการสร้างระบบตรวจจับเนื้อหาวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนติดต่อผู้ใช้ (User interface) สร้างเป็น Mobile Application มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบตรวจจับเนื้อหาบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊ก และส่วนเซิร์ฟเวอร์ (Server) เป็นระบบหลักในการตรวจจับเนื้อหาบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กพัฒนาด้วยภาษา Python กลุ่มตัวอย่าง คือ น.ร. ชั้นปีที่ 4 สาขาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ ซึ่งแทนการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบด้วยมนุษย์ จากนั้นเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบหลังจากที่เพจได้เผยแพร่ข้อมูลเชิงลบต่อกองทัพบกกระหว่างระบบและกลุ่มตัวอย่างมาเปรียบเทียบกัน ค่าสถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยสองประชากรแบบอิสระ (Independent sample test)

ผลการวิจัยพบว่าระบบใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบเท่ากับ 2.392 นาที กลุ่มตัวอย่างใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการตรวจจับเท่ากับ 136.773 นาที จะเห็นว่าระยะเวลาในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบของระบบรวดเร็วกว่าการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบของมนุษย์มากกว่า 95% และผลวิเคราะห์ Independent sample test ค่าสถิติทดสอบ $t = 13.988$ $p < .01$ แสดงว่า ระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กสามารถตรวจจับเนื้อหาเชิงลบได้รวดเร็วกว่ามนุษย์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ระบบตรวจจับ, แพลตฟอร์มเฟซบุ๊ก, เนื้อหาเชิงลบ

1. บทนำ

เนื่องจากสังคมปัจจุบันมีการติดต่อสื่อสารกันเพิ่มมากขึ้น มีการสื่อสารผ่านสังคมออนไลน์ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ เฟซบุ๊ก เฟซบุ๊กได้ก่อตั้งขึ้น ในปี ค.ศ. 2004 โดยมาร์ก ซักเคอร์เบิร์ก เป็นการเพิ่มช่องทางการเผยแพร่ข่าวสารในสังคมมนุษย์ให้หลากหลายมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็มีบุคคลใดบุคคลหนึ่งหรือองค์กรใดองค์กรหนึ่งใช้สื่อเฟซบุ๊กเพื่อโจมตีบุคคลหรือองค์กรที่เป็นเป้าหมายได้มากขึ้นและรวดเร็วขึ้น [3] ในปัจจุบันเกิดกระแสวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกซึ่งบางครั้ง

เป็นข้อความเท็จหรือบิดเบือนจากข้อเท็จจริง หรือเป็นเนื้อหาเชิงลบเกิดขึ้นบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊ก ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่มีคนไทยใช้กันมากเป็นอันดับหนึ่ง ทำให้ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของกองทัพบก กองทัพบกจึงมีกระบวนการตอบโต้โดยส่วนหนึ่งคือการให้เจ้าหน้าที่สร้างเนื้อหาชี้แจงข้อเท็จจริง แต่เนื่องจากเจ้าหน้าที่ที่ทำการตรวจสอบเนื้อหาเชิงลบต่อกองทัพบกนั้นมีอยู่อย่างจำกัด และมีอัตราส่วนที่น้อยกว่าผู้ที่สร้างความเข้าใจผิด โดยการสร้างข้อความเท็จ บิดเบือน และเนื้อหาเชิงลบให้กับ

กองทัพบก จึงทำให้กระบวนการการตรวจพบเนื้อหาที่เป็นเท็จ บิดเบือน นั้นล่าช้า ตลอดจนการผลิตข้อมูลหรือสื่อที่เป็นข้อเท็จจริงเพื่อแก้ข้อสงสัยต่าง ๆ นั้นล่าช้าเช่นกัน ส่งผลให้ผู้ได้รับข่าวสารเกิดความเข้าใจผิดเป็นวงกว้าง ผู้วิจัยพิจารณาแล้วเห็นว่าหากสามารถตรวจจับเนื้อหาการวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกด้านลบได้อย่างรวดเร็วจะส่งผลให้สามารถชี้แจงข้อเท็จจริงและรับมือกับปัญหาเหล่านั้นได้รวดเร็วมากกว่าในปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสร้างระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กในการวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกหลังจากมีการเผยแพร่ ได้รวดเร็วมากขึ้น

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการใช้ระบบตรวจจับข้อมูล เพื่อนำไปใช้ในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบของเพจต่าง ๆ ที่สร้างข้อมูลที่เป็นเท็จหรือบิดเบือน ทำให้เกิดความเข้าใจผิด คลาดเคลื่อนต่อกองทัพบก โดยสามารถสรุปโดย [4] และ [2] ได้ดังนี้

3.1 ทฤษฎีการตรวจจับข้อมูล

Intrusion Detection คือการกลั่นกรองหรือตรวจสอบข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ ที่อาจจะเป็น ภัยคุกคามต่อเครื่องหรือระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ดังนั้นระบบตรวจจับผู้บุกรุกก็คือ ซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์ที่ใช้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว ซึ่งจะคอยทำหน้าที่เฝ้า ตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ที่วิ่งเข้าและออกบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และเมื่อมีข้อมูลที่ต้องสงสัย ระบบจะระบุว่าเป็นการบุกรุกพร้อมกับรายงานต่อไปยังผู้ดูแลระบบ (Administrator) และ ดำเนินการตามเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ผู้ดูแลระบบได้กำหนดไว้ การบุกรุก (Intrusion) คือความพยายามที่จะทำการใด ๆ ที่ส่งผลต่อ

ความสมบูรณ์ (Integrity) ความลับ (Confidentiality) และความพร้อมใช้งาน (Availability) ของทรัพยากรต่างๆ บนระบบเครือข่าย การบุกรุกจะถูกระงับโดยผู้ไม่ประสงค์ดีต่อระบบซึ่งอาจหมายถึงแฮกเกอร์ (Hacker), แครกเกอร์ (Cracker) หรือบุคคลกลุ่มอื่นที่ไม่หวังดีต่อระบบเครือข่าย โดยในระบบตรวจจับผู้บุกรุกจะเรียกบุคคลกลุ่มนี้ดังกล่าวว่าผู้บุกรุก (Intruder) ซึ่งการบุกรุกของผู้บุกรุกสามารถกระทำได้จากภายในเครือข่าย (Inside) หมายถึงผู้บุกรุกที่มีสิทธิ์ในระบบเครือข่ายภายในที่พยายามจะใช้งานทรัพยากรระบบเกินอำนาจสิทธิ์ที่ตนได้รับ และผู้บุกรุกภายนอกเครือข่าย (Outside) หมายถึงผู้บุกรุกจาก ภายนอกเครือข่ายที่พยายามจะเข้าใช้งานทรัพยากรระบบทั้งที่ไม่ได้รับสิทธิ์ และบุคคลที่ พยายามจะทำการใด ๆ ที่ไม่เป็นผลดีต่อระบบเครือข่ายจากภายนอก

3.2 ทฤษฎีและแนวคิดของแอปพลิเคชันที่ใช้ในการตรวจจับ

ปัจจุบันได้มีผู้พัฒนาส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์เพื่อให้บริการการจดจำใบหน้า ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการรักษาความปลอดภัย จนถึงการค้นหาตัวบุคคลจากภาพถ่ายหรือจากไฟล์ภาพวิดีโอได้โดยที่ผู้ใช้งานสามารถประยุกต์โดยพัฒนาโปรแกรมเพื่อเรียกใช้การทำงานดังกล่าวผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ได้เลย ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมอื่น ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานคุณสมบัติการตรวจจับใบหน้าและระบุใบหน้าได้

สำหรับงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแอปพลิเคชันร่วมกับการใช้งานส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ที่ชื่อ Recognition ให้บริการโดย Amazon เพื่อนำคุณสมบัติของการจดจำใบหน้ามาประยุกต์ใช้งานด้วย การใช้พลังงานค่า และสามารถทำงานได้บนอุปกรณ์ที่มีพลังการประเมิณด้อยกว่าคอมพิวเตอร์ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบการใช้งานแพทเทินการ

ตรวจหาในหน้าที่ตรงกับต้นแบบ และด้วยการพัฒนาในปัจจุบันทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์มีความแม่นยำสูงในการระบุว่าหน้าที่ของบุคคลนั้นคือหน้าที่เดียวกับต้นแบบในระบบหรือไม่ หรือมีความใกล้เคียงหน้าต้นแบบที่ต้องการระบุตัวตนมากแค่ไหนโดยให้ผลเป็นร้อยละความเหมือน รวมถึง ความรวดเร็ว และไม่ต้องใช้พลังงานของอุปกรณ์ต้นทาง (ในที่นี้คือโทรศัพท์มือถือที่เราใช้กัน) แต่จะเป็นการส่งรูปภาพนั้นไป ประมวลผลที่แม่ข่ายของผู้ให้บริการส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (AP) ผู้พัฒนาที่เพียงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อแจ้งผลต่อผู้ใช้อีกทีว่าควรจะแจ้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือไม่ โดยผู้ใช้สามารถดูได้จากคำร้อยละความเหมือน ทั้งนี้ผลของการประมวลผลใบหน้าและการจดจำใบหน้าด้วยส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์นั้นมีความแม่นยำกว่าการระบุด้วยสายตาของมนุษย์ [1] ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เช่น ใช้กับการติดตามหาคนหายหรือเด็กที่ถูกลักพาตัว กิจกรรมของมูลนิธิกระจกเงา หรือใช้ในการตรวจจับบุคคลแปลกหน้าที่ไม่เคยเข้ามาในพื้นที่ เพื่อแจ้งเตือนว่าน่าสงสัยแก่ผู้ดูแลสถานที่ เช่น ในพื้นที่โรงเรียนอนุบาล

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 4 สาขาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ จำนวน 17 นาย โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง และคำนวณกลุ่มตัวอย่างของยามานะ [5]

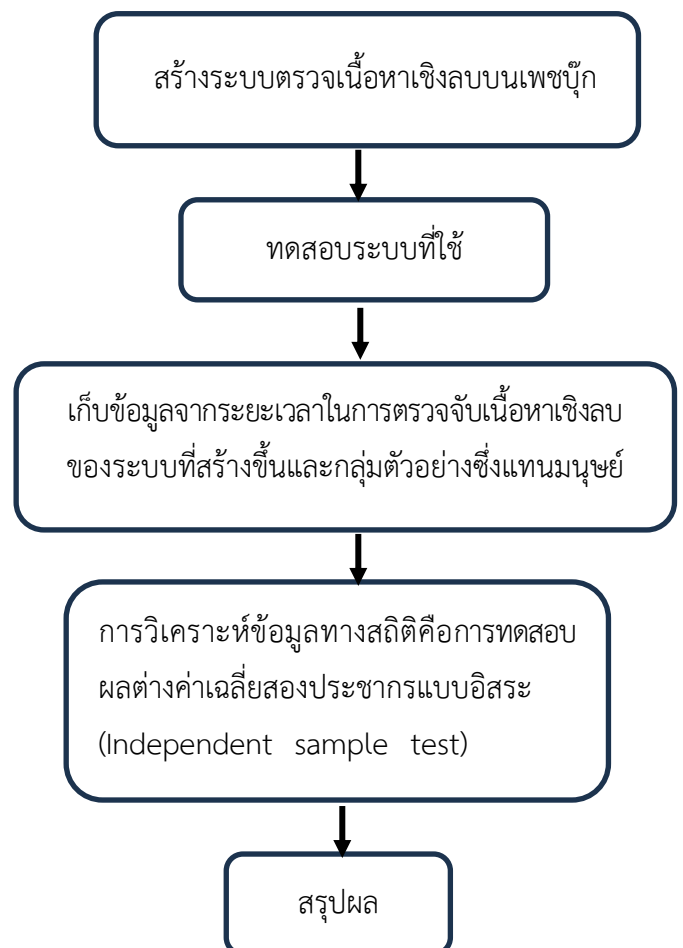
4.2 ตัวแปร

4.2.1 ตัวแปรต้น การใช้มนุษย์และระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊ก

4.2.2 ตัวแปรตาม ระยะเวลาที่ใช้ตรวจพบเนื้อหาวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกด้านลบหลังจากมีการเผยแพร่

4.2.3 ตัวแปรควบคุม เพจที่มีแนวโน้มสร้างเนื้อหาวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกและรายการคำศัพท์ที่บ่งชี้เนื้อหาด้านลบ

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล เก็บข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ระยะเวลาในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบในการวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบก โดยใช้สถิติคือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยสองประชากรแบบอิสระ (Independent sample test)



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการดำเนินการวิจัย

5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ระยะเวลาในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบในการวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบก จากระบบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และจากการให้มนุษย์เป็นผู้ตรวจจับโดยใช้กลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าสถิติคือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยสองประชากรแบบอิสระ (Independent sample test)

ตารางที่ 1 ระยะเวลาเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระบบและกลุ่มตัวอย่างตรวจจับเนื้อหาเชิงลบจากเพจต่าง ๆ เฟซบุ๊ก

การตรวจจับ	ค่าเฉลี่ย (\bar{x})	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	สัมประสิทธิ์ ความแปรผัน C.V.
กลุ่มตัวอย่าง	136.77	39.61	29.8%
ระบบที่สร้างขึ้น	2.39	0.475	19.8%

จากตารางที่ 1 ระยะเวลาเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบเท่ากับ 136.77 นาที และระยะเวลาเฉลี่ยของระบบในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบเท่ากับ 2.39 นาที แสดงว่าเวลาในการตรวจจับของระบบรวดเร็วกว่ากลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 98.25% สัมประสิทธิ์ความแปรผันของของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 29.8% และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของระบบเท่ากับ 19.8% แสดงว่าระยะเวลาในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบของระบบรวดเร็วกว่าและเวลาที่ใช้ในแต่ละครั้งมีความคงที่อีกด้วย

ตารางที่ 2 การทดสอบผลต่างระยะเวลาเฉลี่ยในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบของระบบและกลุ่มตัวอย่าง

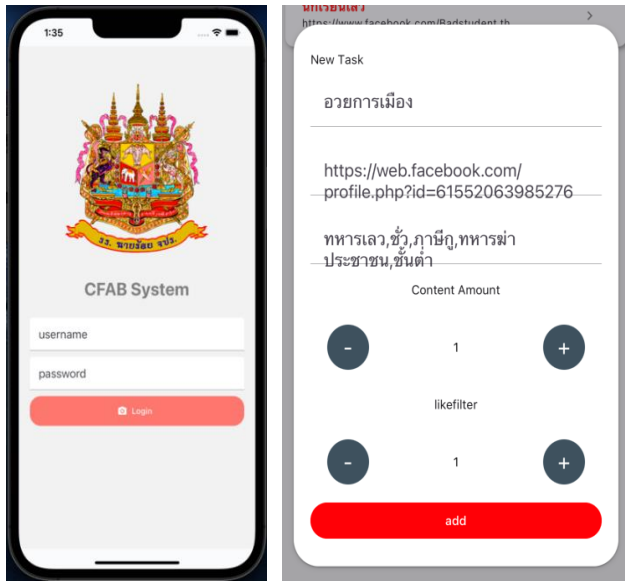
การตรวจจับ	ค่าเฉลี่ย (\bar{x})	t	p
กลุ่มตัวอย่าง	136.77	13.988	.000
ระบบที่สร้างขึ้น	2.39		

จากตารางที่ 2 ได้นำข้อมูลของระยะเวลาในการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบของระบบและกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งแทนมนุษย์ นำไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยสองประชากรแบบอิสระ (Independent sample test) พบว่า ระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กสามารถตรวจจับเนื้อหาเชิงลบได้รวดเร็วกว่ามนุษย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

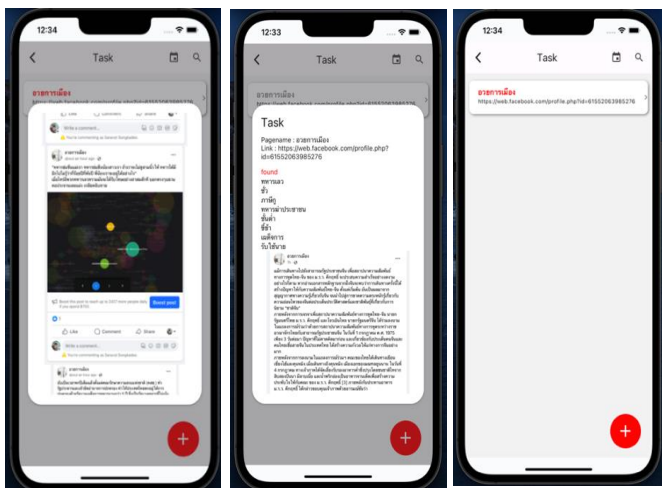
6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊ก มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบในการตรวจจับเนื้อหาวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กในมีความรวดเร็วขึ้น โดยมีการดำเนินการวิจัยเชิงปริมาณ โดยจัดทำระบบตรวจจับเนื้อหาวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบกเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กเพื่อใช้ทดลองเปรียบเทียบการตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กระหว่างระบบกับมนุษย์ และได้สำรวจกลุ่มเฟซบุ๊กที่มีแนวโน้มสร้างเนื้อหาวิพากษ์วิจารณ์กองทัพบก ที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อ ภาพลักษณ์ ชื่อเสียงของกองทัพบก ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า การใช้ระบบตรวจจับเนื้อหาเชิงลบบนแพลตฟอร์มเฟซบุ๊กทำงานได้เร็วกว่าการใช้มนุษย์เป็นผู้ตรวจจับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เนื่องจากมนุษย์มีพฤติกรรมที่อาจส่งผลให้การตรวจจับ
เนื้อหาเชิงลบมีความล่าช้า หรือผิดพลาดได้เช่น การพักผ่อน
ความเหนื่อยล้า



ภาพที่ 2 หน้าต่างเข้าสู่ระบบ แอปพลิเคชัน CRMA CFAB และ
ตัวอย่างการกรอกข้อมูล บนหน้าต่าง New Task



ภาพที่ 3 แอปพลิเคชัน CRMA CFAB แสดงการตรวจพบ
เนื้อหาเชิงลบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิโรจน์ บุรณศิริ, 2562. แนวคิดและการใช้งานแพลตฟอร์ม เฟซบุ๊ก. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [2] ธงชัย แก้วกิริยา, 2559. ทฤษฎีและแนวคิดของ แอปพลิเคชันที่ใช้ในการตรวจจับ. วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- [3] ฐิติรัตน์ นุ่มน้อย, 2555. ทฤษฎีและแนวคิดเรื่องการ ติดต่อสื่อสาร. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] Bourne, 25 พฤษภาคม 2566. ทฤษฎีการตรวจจับข้อมูล. Finances Online. <http://cmruir.cmru.ac.th/bitstream/123456789/2153/5.pdf>
- [5] Taro Yamane. 1973. Statistics: An Introductory Analysis. 3rd Editor. New York. Harper and Row Publications.

การพัฒนาแอปพลิเคชันแชตบอท สำหรับค้นหาสถานที่และเส้นทางภายใน
ของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ณ ที่ตั้ง อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี

The Development of a Chatbot Application for Searching and Navigating to Buildings at NKRAFA, Muak Lek, Saraburi

พงศ์พิสุทธิ์ ปะโมนะตา¹ และ นันทิพัฒน์ พิศุทธางกูร²

¹นายทหารวิเคราะห์และประมวลผล ศูนย์ปฏิบัติการทางอากาศกองทัพอากาศ (pondpongpisut@gmail.com)

²อาจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (nuntipat_phis@artaf.mi.th)

บทคัดย่อ: โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช เป็นหนึ่งในสถาบันที่ผลิตนายทหารหลักชั้นสัญญาบัตรที่มีประสิทธิภาพของกองทัพอากาศ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษา ผลิต และพัฒนา กำลังทางเทคโนโลยีของกองทัพอากาศ ปัจจุบันมีการย้ายที่ตั้งมายังโรงเรียนนายเรืออากาศแห่งใหม่ ณ อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี มีพื้นที่ประมาณ 900 ไร่ ซึ่งใหญ่กว่าที่ตั้งเดิมถึง 4 เท่า นั้นทำให้มีอาคาร พื้นที่ฝึกฝน และสิ่งอำนวยความสะดวกที่มากขึ้น แต่ด้วยพื้นที่ใช้สอยที่ใหญ่และเป็นสถานที่แห่งใหม่อีกทั้งมีบุคลากรจำนวนมาก อาจส่งผลให้เกิดความไม่คุ้นชินกับสถานที่แห่งใหม่นี้ ซึ่งปัญหานี้จะทำให้เกิดการล่าช้าและไม่สะดวกในการติดต่อประสานงานตามแต่ละหน่วยได้ เพื่อแก้ปัญหานี้ งานวิจัยนี้จึงเสนอการใช้เทคโนโลยีไลน์แชตบอท (Chatbot) และประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีของไดจ์สตรา (Dijkstra's Algorithm) เพื่อพัฒนาระบบตอบกลับอัตโนมัติที่สามารถระบุตำแหน่งอาคารและเส้นทางที่สั้นที่สุดแก่ผู้ใช้ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการติดต่อประสานงาน ผลการวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ โดยมีผลการประเมินความพึงพอใจจากนักเรียนนายเรืออากาศด้วยค่าเฉลี่ย 4.40 ซึ่งอยู่ในระดับดี

คำสำคัญ: ไลน์แชตบอท เส้นทางที่สั้นที่สุด ขั้นตอนวิธีของไดจ์สตรา

Abstract : The Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy (NKRAFA) is a premier institution that produces efficient commissioned officers for the Royal Thai Air Force, serving as the foundation for education, production, and technological advancement. Recently, the academy has relocated to a new site in Muak Lek District, Saraburi Province, covering approximately 900 rai, which is four times larger than the previous location. This expansion has resulted in increased buildings, training facilities, and amenities. However, the larger space and new environment, coupled with the increased personnel, may lead to unfamiliarity with the new site. This unfamiliarity can cause delays and inconvenience in communication and coordination among units. To address this issue, this research proposes the implementation of a Line chatbot technology, integrated with Dijkstra's Algorithm, to develop an automated response system capable of pinpointing building locations and providing

the shortest paths for users. The research objectives were successfully achieved, with user satisfaction ratings from cadets averaging at 4.40, indicating a high level of satisfaction.

Keywords: Line chatbot, shortest paths, Dijkstra's algorithm

1. บทนำ

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (รร.นวก.) เป็นหนึ่งในสถาบันที่ผลิตนายทหารหลักชั้นสัญญาบัตรที่มีประสิทธิภาพของกองทัพอากาศ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษา ที่เน้นขีดความสามารถ 3 มิติหลัก ได้แก่ มิติทางอากาศ (Air Domain) มิติไซเบอร์ (Cyber Domain) และมิติอวกาศ (Space Domain)

ปัจจุบัน โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช แห่งใหม่ ณ ที่ตั้ง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี มีพื้นที่โดยประมาณทั้งหมด 900 ไร่ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่ตั้งเดิม ณ ดอนเมืองประมาณ 4 เท่า นั้นหมายถึงการมีพื้นที่ใช้สอยและสิ่งอำนวยความสะดวกที่มากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ก็เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการเรียนการสอนของนักเรียนนายเรืออากาศในอนาคต และตอบสนองต่อความต้องการในการผลิตบุคลากรสำหรับทำหน้าที่ในทั้ง 3 มิติหลักของกองทัพอากาศในอนาคต แต่ด้วยพื้นที่ใช้สอยที่ใหญ่ และเป็นสถานที่แห่งใหม่ อีกทั้งมีบุคลากรจำนวนมาก ประกอบด้วยข้าราชการ พนักงานราชการ ลูกจ้าง รวมถึงนักเรียนนายเรืออากาศ ซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่คุ้นชินกับสถานที่แห่งใหม่นี้ และอาจจะยังไม่มีข้อมูลในด้านที่พัก หรืออาคารประจำของบุคลากรแต่ละหน่วย ซึ่งปัญหานี้จะทำให้เกิดการล่าช้าในการติดต่อประสานงานและติดตามบุคคลตามแต่ละหน่วยได้ เนื่องจากการประสานงานติดต่อสื่อสารที่รวดเร็วขึ้น เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการปฏิบัติงานในทุกองค์กร

ในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่พัฒนาก้าวหน้าไปมาก เพื่อตอบสนองต่อการทำงานติดต่อสื่อสารของมนุษย์ที่สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น เช่น แอปพลิเคชัน

Line ที่ใช้ในการสื่อสารหรือส่งข้อมูล และแอปพลิเคชัน Google Map ที่ช่วยให้สามารถดูแผนที่หรือวางแผนการเดินทาง แต่ด้วยโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช เป็นสถานที่ราชการ จึงทำให้การระบุดูอาคารสถานที่ต่างๆ ของโรงเรียนในแอปพลิเคชันนั้นเป็นไปได้ยาก

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงเสนอการพัฒนาระบบตอบกลับอัตโนมัติ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแชทบอท (Chatbot) บนแพลตฟอร์มของ Line พร้อมด้วยขั้นตอนวิธีของไดจ์สตรา (Dijkstra's Algorithm) ที่มีความสามารถในการช่วยค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดที่อยู่ปัจจุบันของผู้งาน และจุดหมายที่ต้องการไปถึง ภายในโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้จะทำให้ข้าราชการและนักเรียนนายเรืออากาศ มีความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อประสานงานมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขั้นตอนวิธีของไดจ์สตรา (Dijkstra's Algorithm)

ขั้นตอนวิธีของไดจ์สตรา [5,6] ทำงานโดยการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายทุกจุดในกราฟที่มีน้ำหนัก (Weighted Graph) ขั้นตอนวิธีนี้เหมาะสำหรับกราฟที่มีน้ำหนักของขอบเป็นบวกเท่านั้น โดยขั้นตอนจะเริ่มจากการกำหนดระยะทางของจุดเริ่มต้นให้เป็นศูนย์ และกำหนดระยะทางของจุดอื่น ๆ ทั้งหมดในกราฟ G ให้เป็นอนันต์ จากนั้นจะทำงานผ่านการวนซ้ำหลายรอบเพื่อหาค่าเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังจุดหมายต่าง ๆ

ในแต่ละรอบของการวนซ้ำจะเลือกจุดที่มีระยะทางที่น้อยที่สุดจากชุดของจุดที่ยังไม่ถูกเยี่ยมชม (Unvisited Set)

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

และถือว่าเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดที่สามารถหาได้จากนั้นจะตรวจสอบจุดเชื่อมต่อ (Neighbor) ทั้งหมดของจุดนี้ และคำนวณระยะทางใหม่ที่เกิดขึ้นหากใช้จุดนี้เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง โดยจะเปรียบเทียบกับระยะทางใหม่กับระยะทางเดิมที่กำหนดไว้

สมมติให้ u เป็นจุดที่กำลังตรวจสอบ และ v เป็นจุดเชื่อมต่อกับ u และ $w(u, v)$ เป็นน้ำหนักของเส้นเชื่อมที่เชื่อมต่อระหว่าง u และ v ถ้าระยะทางที่เกิดขึ้นใหม่น้อยกว่าระยะทางที่เคยกำหนดไว้ จะอัปเดตระยะทางใหม่และบันทึกจุดนี้เป็นจุดที่มาถึงก่อนหน้านั้น สามารถอธิบายด้วยสมการที่ 1

$$d[v]=\min(d[v],d[u]+w(u, v)) \quad (1)$$

โดยที่ $d[v]$ คือ ระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุด v
 $d[u]$ คือ ระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุด u
 และ $w(u,v)$ คือ น้ำหนักของเส้นเชื่อมจุด u และ v

กระบวนการนี้จะทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าทุกจุดจะถูกพิจารณา

ขั้นตอนวิธีของไดจ์สตรา สามารถอธิบายได้โดยง่ายว่าเป็นการกระจายเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นไปทั่วกราฟสำหรับข้อดีและข้อเสียของขั้นตอนวิธีนี้ สามารถดูได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อด้อยของขั้นตอนวิธีไดจ์สตรา

ข้อดี	<ul style="list-style-type: none"> • สามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูง • ไม่ต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำเยอะ
ข้อด้อย	<ul style="list-style-type: none"> • ไม่สามารถใช้กับเส้นเชื่อมติดลบได้ • อาจใช้เวลานานถ้าเป็นกราฟขนาดใหญ่

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ. 2563 ธนภัทร กิจล้ำลือกุล [3] ได้มีการพัฒนาแพลตฟอร์มไลน์มินิแอป สำหรับการทำบัญชี โดยประเมินความต้องการของลูกค้าธนาคารไทยพาณิชย์ โดยปกติแล้วครัวเรือนในประเทศไทยเกือบ 96% ใช้จ่ายเพื่อการกุศลโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 6,000 บาทต่อปี แต่มีปัญหาเกี่ยวกับการทุจริตที่ไม่โปร่งใสเกิดขึ้นบ่อยครั้งในการบริจาคที่มาจากขาดการเชื่อมโยงของข้อมูลและไม่มีการนำเทคโนโลยีทางสารสนเทศมาใช้ในการพัฒนาแพลตฟอร์มนี้เท่าที่ควร ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นปัญหานี้และพัฒนาแพลตฟอร์มการบริจาคในระบบของไลน์ ที่ประกอบไปด้วย Line Mini App, Line Official Account และ Line Chatbot เนื่องจากทีมพัฒนาเห็นว่าถ้าพัฒนาระบบใน Line ที่มีฐานผู้ใช้งานในไทยประมาณ 45 ล้านคน จะช่วยให้การหาผู้ใช้งานได้ง่ายขึ้น และสะดวกในการใช้งานมากกว่าการเข้าไปใช้เว็บไซต์เหมือนเดิม

หลังจากนั้น ในปีเดียวกันชาติศิริ ศิลาแรง [1] ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันไลน์แชทบอทสำหรับการให้คำแนะนำแก่ผู้ที่มีความสงสัยต่อการเสี่ยงที่จะมีอาการเสื่อมสมรรถภาพทางเพศ เพื่อให้คำแนะนำและช่วยเหลือผู้ป่วยในเบื้องต้น รวมถึงให้ความเป็นส่วนตัวอันสำคัญที่สุด และช่วยแนะนำแพทย์เฉพาะด้านที่มีความเชี่ยวชาญทางนี้โดยเฉพาะ โดยระบบปฏิบัติการนี้จะใช้ใน Line OA Chatbot ให้ผู้ใช้กรอกข้อมูล รวมถึงถามคำถาม ระบบจะประมวลผลค้นหาคำตอบที่ตรงกับประเด็นที่ถามมากที่สุด และส่งคำตอบเบื้องต้นให้ผู้ใช้ โดนเน้นที่ความสะดวกและความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้เป็นหลัก

งานวิจัยอื่นๆ [2, 4] ในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีแชทบอท (Chatbot) บนแพลตฟอร์มของ Line แสดงให้เห็นว่าแพลตฟอร์มของ Line มีประสิทธิภาพเป็นอย่างมาก สามารถใช้เพื่อประยุกต์การแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

3. วิธีการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการพัฒนาไลน์ แอปพลิเคชัน สำหรับค้นหาสถานที่และเส้นทางภายใน รร.นนก. ดังนี้

1. ข้อมูลค่าพิกัด Latitude และ Longitude ของจุดเชื่อมต่อบนถนนหรือเส้นทางที่สามารถเดินทางได้ ทั้งหมด 80 จุด
2. ข้อมูลค่าพิกัดของตึกหรืออาคาร เช่น อาคารกองวิชา คอมพิวเตอร์และคณิตศาสตร์ จะแทนค่าด้วยจุด B18 ค่าพิกัด Latitude, Longitude = (14.6500023, 101.1856639)
3. ตัวอย่างข้อมูลบุคลากรที่ประจำแต่ละตึก โดยภาพที่ 1 จะแสดงให้เห็นการกำหนดจุดค่าพิกัดของข้อต่อเส้นทางและพิกัดของตึกต่าง ๆ ภายในพื้นที่ของ รร.นนก.



ภาพที่ 1 การกำหนดจุด Latitude และ Longitude

3.2 โครงสร้างการเก็บข้อมูล เพื่อใช้งานร่วมกับขั้นตอนวิธีของไดคัสตรา

การเก็บข้อมูลเบื้องต้นโดยการใช้ตัวแปร Dictionary ใน ภาษา Python ซึ่งข้อดีก็คือ สะดวกรวดเร็วและง่ายต่อการ ทดสอบในขั้นต้น ทำให้ไม่ต้องสร้างฐานข้อมูล แต่วิธีนี้นั้น ก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งข้อเสียคือ จะไม่สามารถปรับปรุง ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อข้อมูลมี ขนาดใหญ่ ซึ่งในส่วนนี้สามารถพัฒนาได้เพิ่มเติมในอนาคต โดยจะยกตัวอย่างโครงสร้างการเก็บข้อมูลดังนี้

```
point = {"a1": (14.657913, 101.181561),
        "a2": (14.658383, 101.182430),
        "a3": (14.658624, 101.183025),
        "a4": (14.658122, 101.183878),
        "a5": (14.657699, 101.184553),
        :
        }

path = Dijkstra.Graph([(("a1", "a2", 106),
                        ("a2", "a1", 106),
                        ("a2", "b1", 12.14),
                        ("b1", "a2", 12.14),
                        ("a2", "a3", 73.46),
                        ("a3", "a2", 73.46),
                        :
                        ])
```

โดย point คือ Latitude, Longitude จุดเชื่อมต่อของ เส้นทางบนแผนที่ และ path จะเก็บระยะห่างระหว่างจุด สองจุด เช่น a1 ไปยัง a2 มีระยะทาง 106 เมตร เป็นต้น เมื่อนำตัวแปร point และ path มาใช้กับขั้นตอนวิธีของไดคัสตรา จะสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้ ตัวอย่างเช่น จุด a1 ไปยัง a22 เมื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดด้วยขั้นตอนวิธีของ ไดคัสตรา จะได้คำตอบ คือ a1 -> a8 -> a9 -> a10 -> a16 -> a48 -> a32 -> a29 -> a26 -> a25 -> a24 -> a23 -> a22 ดังแสดงในภาพที่ 2

```
277     )
278
279     print(path.dijkstra("a1", "a22"))
280
281
282
283     #lat, long
284     point = { "a1": (14.6579137 , 101.1815611), #จากนี้คือจะลงเมื่อกว่า (เดี๋ยวกว่า 1 หน่อย)
285             "a2": (14.658383 , 101.182430),
286             "a3": (14.658624 , 101.183025),
287             "a4": (14.658122 , 101.183878),
288             "a5": (14.657699 , 101.184553),
289             "a6": (14.656632 , 101.183353),
290             "a7": (14.656395 , 101.182872),
291             :
292             }
```

PROBLEMS OUTPUT TERMINAL DEBUG CONSOLE

```
PS C:\Users\asus\Desktop\research\Linetot> C:\Users\asus\anaconda3\Scripts\activate
PS C:\Users\asus\Desktop\research\Linetot> conda activate Linetot
PS C:\Users\asus\Desktop\research\Linetot> % C:\Users\asus\anaconda3\envs\Linetot\python.exe c:\Users\asus\
deque(["a1", "a8", "a9", "a10", "a16", "a48", "a32", "a29", "a27", "a26", "a25", "a24", "a23", "a22"])
PS C:\Users\asus\Desktop\research\Linetot>
```

ภาพที่ 2 จุดของเส้นทางที่ได้จากขั้นตอนวิธีของไดคัสตรา

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

3.3 การวาดเส้นทางบนแผนที่

หลังจากได้จุดตำแหน่งของเส้นทางจากขั้นตอนวิธีของไดร์กสตราในหัวข้อ 3.2 ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำจุดของเส้นทางมาวาดหรือพล็อต (Plot) ลงบนรูปแผนที่ของ รร.นนท. ดังภาพที่ 3 โดย การใช้ไลบรารี Matplotlib ซึ่งเป็นไลบรารีที่สามารถแสดงภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว ในภาษา Python



ภาพที่ 3 การพล็อตเส้นทางที่ได้โดยใช้ Matplotlib

เส้นทางที่ได้จะเป็นการพล็อตเส้นตรงระหว่างจุดต่อจากต้นทางที่ผู้ใช้ระบุมา จนไปสุดที่ปลายทางหรือจุดหมายที่ผู้ใช้ต้องการจะไป (เส้นสีน้ำเงิน) โดยระบบที่ผู้วิจัยพัฒนาสามารถระบุระยะทาง (Distance) จากต้นทางไปยังปลายทาง โดยใช้สมการระยะห่างระหว่างจุดจากค่าพิกัด Latitude และ Longitude [7] ดังสมการที่ 2

$$a = \sin^2(\Delta\text{lat}/2) + \cos(\text{lat}1) \cdot \cos(\text{lat}2) \cdot \sin^2(\Delta\text{long}/2)$$

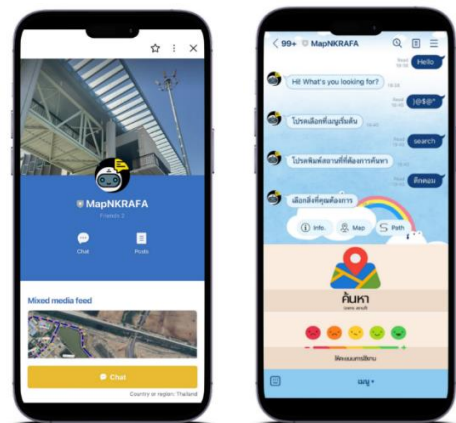
$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$d = R \cdot c \quad (2)$$

เมื่อ R คือ รัศมีโลกเฉลี่ย = 6,371 กิโลเมตร
และ d คือ ระยะห่างระหว่างจุด

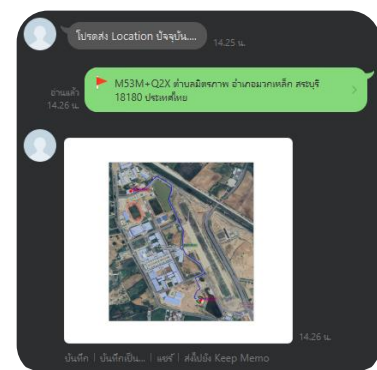
3.4 การทำงานของไลน์แชทบอท

ผู้วิจัยพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้การทำงานร่วมกันของ Line Developer Webhook และ Ngrok เพื่อช่วยรับและส่งกลับข้อความระหว่างระบบกับผู้ใช้งาน ผ่าน Channels ชื่อ MapNKRAFA ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แอปพลิเคชันไลน์แชทบอท MapNKRAFA

ลักษณะการทำงานของระบบไลน์แชทบอทจะเป็นการสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับบอทโดยเมื่อผู้ใช้กดปุ่มค้นหาระบบจะให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลที่ต้องการค้นหา เช่น ภาควิชา คอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นระบบจะรับข้อมูลดังกล่าว และให้ผู้ใช้ส่งที่อยู่ปัจจุบัน (Current Location) มาให้ระบบทำการประมวลผลเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และทำการพล็อตเส้นทางบนแผนที่ และกระบวนการจะสิ้นสุดเมื่อระบบส่งรูปเส้นทางแผนที่ให้ผู้ใช้เรียบร้อยแล้ว ดังที่แสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การส่งภาพเส้นทางแผนที่จากระบบ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ตารางที่ 2 การประเมินผลความพึงพอใจของระบบ

(n=108)

ลำดับ	รายการประเมินผล	\bar{x}	S.D.	แปลผล
1	ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการ	4.76	0.32	ดี
2	ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	4.57	0.24	ดี
3	ด้านการออกแบบที่ใช้งานง่าย	4.43	0.24	ดี
4	ด้านความเสถียรของระบบ	3.84	0.14	พอใช้
รวมเฉลี่ย		4.40	0.24	ดี

4. ผลการวิจัยและการอภิปราย

ผลจากงานวิจัยพบว่าเส้นทางที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด และเป็นเส้นทางจากต้นทางไปยังปลายทางอย่างถูกต้อง และจากผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานใน 4 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการ ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ ด้านการออกแบบที่ใช้งานง่าย และ ด้านความเสถียรของระบบ โดยใช้จำนวนประชากร คือนักเรียนนายเรืออากาศทั้งหมด 108 นาย ดังตารางที่ 2

จากผลการประเมินประสิทธิภาพ พบว่าด้านความสามารถของระบบตรงความต้องการ ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ และด้านการออกแบบที่ใช้งานง่าย ได้ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ยังมีด้านความเสถียรของระบบที่อยู่ในเกณฑ์พอใช้ เป็นผลเนื่องมาจากการตอบสนองของไลน์บอทที่อาจจะช้าในช่วงเวลาที่ระบบถูกใช้งานพร้อมกันเป็นจำนวนมาก

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบตอบกลับอัตโนมัติที่สามารถระบุตำแหน่งอาคารและประมวลผลเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดแก่ผู้ใช้ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการติดต่อประสานงานแบบซึ่งหน้า ผลจากการวิจัยพบว่าระบบประมวลผลเส้นทางได้ถูกต้อง และเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยมีความพึงพอใจจากผู้ใช้ในเกณฑ์ดี

สำหรับการพัฒนาระบบในอนาคต ผู้วิจัยเสนอว่าควรพัฒนาให้ระบบสามารถแนะนำคำค้นหาใกล้เคียง ในกรณีที่ผู้ใช้ระบุสถานที่ที่ไม่อยู่ในระบบ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ที่สนับสนุนงบประมาณจากโครงการวิจัยเพื่อดำรงคุณวุฒิและคุณสมบัติของอาจารย์ ประจำปี พ.ศ. 2568 รวมถึงคณะอาจารย์ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ขาดิศิริ ศิลาแรง. (2563). การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับการให้คำแนะนำแก่ผู้ที่มีความสงสัยต่อการที่จะมีอากรเสื่อมสมรรถภาพทางเพศ. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [2] ชนัญญา สุขสมวัฒน์. (2562). การพัฒนาแชทบอทเพื่อส่งเสริมความเป็นผู้ประกอบการของนักเรียน : คราวด์ซอร์สซิงและการวิเคราะห์ข้อความ. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] ธนภัทร กิจล้ำลือกุล. (2563). การพัฒนาแพลตฟอร์มไลน์มินิแอป สำหรับแพลตฟอร์มการทำนุบริจาจาก

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

การประเมิน ของธนาคารไทยพาณิชย์. บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- [4] ศิวายุ เลิศเสรี. (2563). แอปพลิเคชันแชทบอทเพื่อการ
ให้บริการข้อมูลติดตั้งสายใยแก้วนำแสง กรณีศึกษาห้าง
หุ้นส่วนจำกัด เอส.ที.เอส. คอมมูนิเคชั่น. สาขาวิชา
เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [5] Rachmawati, D., Gustin, L. (2020). Analysis of
Dijkstra's Algorithm and A* Algorithm in Shortest
Path Problem. Journal of Physics: Conference
Series, 1566, 012061.
- [6] ZHAN, F. B., & NOON, C. E. (1998). Shortest Path
Algorithms: An Evaluation using Real Road
Networks. Transportation Science, 32(1), 65–73.
<http://www.jstor.org/stable/25768802>
- [7] Agramanisti, R., Darnis, F. (2020). Use of
Haversine Formula in Finding Distance Between
Temporary Shelter and Waste End Processing
Sites. J. Phys. Conf. Ser, 1500, 012104.

กรอบแนวคิดในการควบคุมและกำกับดูแลระบบจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง
โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับองค์กร

CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR THE CONTROL AND GOVERNANCE OF A HIGHLY EFFICIENT DATA STORAGE AND EXCHANGE SYSTEM USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN ORGANIZATIONS

ธนภุต เพ็งเคียน¹ (Thanakrit Pengkian)¹

ประสงค์ ปราณิตพลกรัง² (Prasong Praneetpolgrang)²

พายัพ ศิรินาม³ (Payap Sirinam)³

ชัยพร ทบแป⁴ (Chaiporn Toppea)⁴

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: Intelligent.it4@gmail.com

²สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: prasongspu@gmail.com

³สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: p.sirinam@gmail.com

⁴คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ Email address: chaiporn.t@vru.ac.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบแนวคิดในการควบคุมและกำกับดูแลระบบจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับองค์กร กรอบแนวคิดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยบูรณาการเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ากับระบบการจัดการข้อมูลภายในองค์กร พร้อมกำหนดมาตรการควบคุมและกำกับดูแลเพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยของข้อมูล และออกแบบแบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้จากการใช้กรอบแนวคิดนี้

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลในองค์กรได้อย่างมีนัยสำคัญ และได้รับการยอมรับที่ดีจากผู้ใช้ การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างระบบบล็อกเชนและระบบทั่วไปพบว่า บล็อกเชนเหนือกว่าในด้านการเข้ารหัสข้อมูล ความไม่เปลี่ยนแปลง ความโปร่งใส การยืนยันตัวตนหลายขั้นตอน การควบคุมการเข้าถึง การกระจายข้อมูล และการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล ความปลอดภัยและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้บล็อกเชนเป็นตัวเลือกที่เหนือกว่าสำหรับการจัดการข้อมูลบทความนี้เสนอแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนากรอบแนวคิดต่อไป เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการขององค์กรในอนาคต

คำสำคัญ: บล็อกเชน, การแลกเปลี่ยนข้อมูล, การควบคุมและกำกับดูแล

1. บทนำ

ในยุคดิจิทัลข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง การจัดการข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยถือเป็นความท้าทายหลักขององค์กร ข้อมูลจำนวนมากต้องการการจัดการที่เข้มงวดเพื่อป้องกันการละเมิดและการโจมตีทางไซเบอร์ ความลับและความถูกต้องของข้อมูลจึงเป็นสิ่งสำคัญ การละเมิดความปลอดภัยของข้อมูลสามารถนำไปสู่ความเสียหายรุนแรงต่อองค์กรได้

เทคโนโลยีบล็อกเชนมีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ด้วยความสามารถในการรับประกันความปลอดภัยและความโปร่งใสของข้อมูล ลักษณะการทำงานที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้และการยืนยันจากหลายปัจจัยทำให้บล็อกเชนสร้างความเชื่อมั่นในการจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การพัฒนากรอบแนวคิดในการควบคุมและกำกับดูแลระบบจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับองค์กรในประเทศไทย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูล

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีบล็อกเชน

เทคโนโลยีบล็อกเชนเป็นระบบการเก็บข้อมูลแบบกระจายที่มีการเชื่อมโยงข้อมูลเข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายในรูปแบบของบล็อก[1] โดยแต่ละบล็อกจะมีข้อมูลการทำธุรกรรมที่ถูกเข้ารหัสและเชื่อมโยงกันด้วยการใช้รหัสลับ (Cryptography Hash) ซึ่งทำให้ข้อมูลที่ ถูกบันทึกไม่ สามารถแก้ไขได้โดยง่าย เทคโนโลยีบล็อกเชนมีคุณสมบัติเด่น ได้แก่ ความปลอดภัย (Security) ความโปร่งใส (Transparency) และความไม่เปลี่ยนแปลง (Immutability) ที่ทำให้บล็อกเชนเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจสำหรับการจัดการข้อมูล

2.2 การกระจายอำนาจ

การกระจายอำนาจเป็นคุณสมบัติหลักที่ทำให้บล็อกเชนแตกต่างจากระบบฐานข้อมูลแบบดั้งเดิม โดยในระบบฐานข้อมูลแบบดั้งเดิม ข้อมูลจะถูกจัดเก็บในศูนย์กลางการควบคุมข้อมูล ซึ่งหากศูนย์กลางนี้ถูกโจมตีหรือเสียหาย ข้อมูลทั้งหมดก็อาจสูญหายหรือถูกเปลี่ยนแปลงได้ ในทางกลับกัน บล็อกเชนจะกระจายข้อมูลไปยังโหนดหลายแห่งใน

เครือข่าย ทำให้ไม่มีศูนย์กลางการควบคุมข้อมูลเพียงแห่งเดียว หากโหนดใดถูกโจมตีหรือเสียหาย ข้อมูลที่ถูกกระจายไปยังโหนดอื่น ๆ ยังคงปลอดภัยและเชื่อถือได้

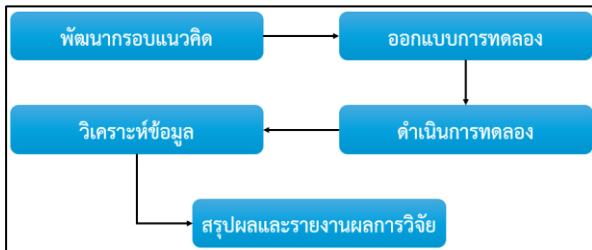
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้บล็อกเชนในการจัดการข้อมูลและความปลอดภัย ยกตัวอย่างเช่น ระบบตรวจสอบข้อมูลผลิตภัณฑ์การเกษตรไทยโดยใช้บล็อกเชนและอินเทอร์เน็ตประสาทรสรพลิ่ง โดย T. Surasak et al. [3] ได้ทำการศึกษาและพัฒนา โดยใช้ระบบฐานข้อมูลแบบกระจายเพื่อเพิ่มความโปร่งใสและความสมบูรณ์ของข้อมูล ระบบนี้ถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย โดยมีการพัฒนาเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน Android เพื่อแสดงข้อมูลการติดตามของผลิตภัณฑ์แบบเรียลไทม์ ข้อมูลถูกเก็บในฐานข้อมูลบล็อกเชนอย่างปลอดภัย และการเชื่อมโยงข้อมูลผ่าน IoT ทำให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ทันที ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบนี้สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือในการจัดการห่วงโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์การเกษตรในประเทศไทยได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการปรับใช้งานในระดับใหญ่ที่ต้องการโครงสร้างพื้นฐานที่เพียงพอและการลงทุนทางเทคโนโลยีในพื้นที่การเกษตรที่อาจยังขาดแคลนอยู่

A. Sasikumar et al. [4] ได้ทำการศึกษาเรื่อง A Secure Big Data Storage Framework Based on Blockchain Consensus Mechanism With Flexible Finality โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากรอบการจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ที่ปลอดภัย โดยใช้กลไกฉันทามติของบล็อกเชนที่มีความยืดหยุ่น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การแก้ไขปัญหาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูลขนาดใหญ่ ด้วยการใช้อัลกอริทึมการเข้ารหัสเพื่อสร้างบล็อกใหม่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรอบการทำงานที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างมีนัยสำคัญ พร้อมทั้งลดการใช้พลังงานและเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูล แม้ว่าการวิจัยนี้จะมีข้อจำกัดในการควบคุมการปรับแต่งข้อมูล แต่ก็อาจมีข้อจำกัดในการใช้งานในสถานะแวดล้อมที่มีความแปรปรวนสูง หรือองค์กรที่ต้องการการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลที่รวดเร็ว

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกรอบแนวคิดในการควบคุมและกำกับดูแลระบบจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับองค์กร โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการวิจัย

จากภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการวิจัยขั้นตอนการวิจัยโดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 พัฒนารอบแนวคิด เป็นขั้นตอนของการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูล จนนำไปสู่การพัฒนารอบแนวคิดและบูรณาการเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ากับระบบการจัดการข้อมูลขององค์กร

3.2 ออกแบบการทดลอง ระบบจัดเก็บข้อมูลและการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่พัฒนาขึ้นด้วยบล็อกเชนได้รับการออกแบบให้รองรับคุณสมบัติด้านความปลอดภัยที่สำคัญ ได้แก่ การเข้ารหัสข้อมูล, ความไม่เปลี่ยนแปลงของข้อมูล, ความโปร่งใส, การยืนยันตัวตนหลายขั้นตอน, การควบคุมการเข้าถึง, การกระจายข้อมูล และการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล

3.3 ดำเนินการทดลอง จะดำเนินการทดสอบการทำงานของสมาร์ตคอนแทร็ก ในสภาพแวดล้อมจำลอง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการดำเนินการต่างๆ เช่น การสร้างการอัปเดต และการเรียกดูข้อมูล การทดลองนี้จะมุ่งเน้นที่การวัดประสิทธิภาพการประมวลผล

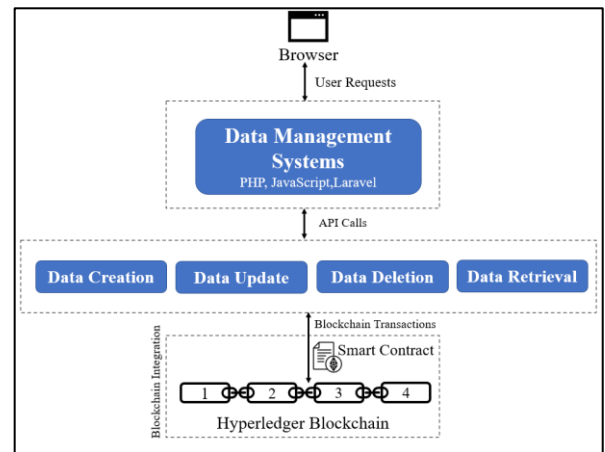
3.4 วิเคราะห์ข้อมูล รวบรวมข้อมูลจากการทดลองในแต่ละด้าน เช่น เวลาในการเข้ารหัส ความเร็วในการตรวจสอบข้อมูล การลดลงของความเสี่ยงจากการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต และการลดการใช้พลังงาน เปรียบเทียบผลลัพธ์ของ

การทดลองในแต่ละด้านระหว่างระบบบล็อกเชนกับระบบฐานข้อมูลทั่วไป โดยใช้สถิติเชิงเปรียบเทียบเพื่อวัดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

3.5 สรุปผลและรายงานผลการวิจัย

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 กรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยการบูรณาการเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ากับระบบการจัดการข้อมูลขององค์กร ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงกรอบแนวคิดระบบจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน

จากภาพที่ 2 แสดงกรอบแนวคิดในการควบคุมและกำกับดูแลระบบจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับองค์กร สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.1 ผู้ใช้เข้าถึงระบบผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Browser) และการร้องขอข้อมูลหรือดำเนินการต่างๆ โดยจะเริ่มต้นจากผู้ใช้ที่ทำงานผ่านเบราว์เซอร์ โดยมีการส่งคำขอ (User Requests) ไปยังระบบการจัดการข้อมูล (Data Management Systems)

4.1.2 Data Management Systems เป็นระบบในการจัดการข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยใช้ภาษา PHP, JavaScript, หรือ Laravel ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการจัดการข้อมูลและประมวลผลคำขอจากผู้ใช้โดยจะเรียกผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Program Interface:API) เพื่อเชื่อมต่อกับบล็อกเชน

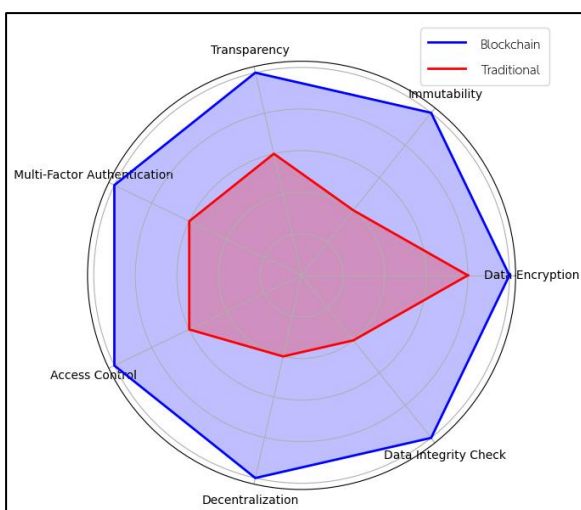
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

4.1.3 กระบวนการจัดการข้อมูล ประกอบด้วย Data Creation, Data Update, Data Deletion, Data Retrieval กระบวนการจัดการข้อมูลเหล่านี้จะดำเนินการผ่านระบบการจัดการข้อมูลที่มีการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลไปกับ Hyperledger Blockchain

4.1.4 Hyperledger Blockchain คือ บล็อกเชนส่วนตัวที่ใช้สำหรับการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพตามกรอบแนวคิดที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งข้อมูลจะถูกดำเนินการผ่านสมาร์ตคอนแทร็กเพื่อควบคุมการดำเนินการที่เกิดขึ้นในบล็อกเชน

4.1.5 สมาร์ตคอนแทร็ก (Smart Contract) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการดำเนินงานของธุรกรรมในบล็อกเชน โดยมีการกำหนดเงื่อนไขและกระบวนการไว้ล่วงหน้าและจะถูกดำเนินการโดยอัตโนมัติเมื่อมีการร้องขอจากระบบการจัดการข้อมูล

4.2 สรุปผลการทดลอง การดำเนินการทดลองจะดำเนินการทดสอบการทำงานของระบบ ในสภาพแวดล้อมจำลอง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการดำเนินการบันทึกข้อมูล การทดลองนี้จะมุ่งเน้นที่การวัดประสิทธิภาพการประมวลผลระหว่าง ระบบที่ใช้บล็อกเชน กับระบบจัดเก็บข้อมูลทั่วไป ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ใช้บล็อกเชน กับระบบจัดการข้อมูลแบบดั้งเดิม

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าระบบบล็อกเชนมีคะแนนความปลอดภัยสูงกว่าในทุกหมวดหมู่เมื่อเทียบกับระบบ

จัดเก็บข้อมูลแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะในด้านการไม่เปลี่ยนแปลงของข้อมูล (Immutability) การกระจายข้อมูล (Decentralization) และการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล (Data Integrity Check) ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ทำให้บล็อกเชนมีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังมีจุดเด่นในเรื่องของความโปร่งใสในการติดตามและตรวจสอบธุรกรรม รวมถึงการยืนยันตัวตนหลายขั้นตอนทำให้บล็อกเชนมีความได้เปรียบในด้านความปลอดภัยที่สูงขึ้น

5. สรุป

ปัญหาหลักของการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในองค์กรคือความปลอดภัยของข้อมูลและการจำกัดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล กรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสามารถลดปัญหาดังกล่าวและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ การใช้บล็อกเชนช่วยให้ข้อมูลที่บันทึกมีความปลอดภัยสูง โดยข้อมูลถูกเข้ารหัสและเก็บในรูปแบบที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ การใช้สมาร์ตคอนแทร็กช่วยในการกำกับดูแลและควบคุมการดำเนินงาน ทำให้ธุรกรรมเป็นไปอย่างปลอดภัยและโปร่งใส ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลอย่างรวดเร็วและปลอดภัย ความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับสูงเนื่องจากระบบมีความโปร่งใสและเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Montha et al. *Blockchain for Government Services*. Digital Government Development Agency (Public Organization) (DGA), vol. 2, 2021.
- [2] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," 2008. [Online]. Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [3] T. Surasak et al., "Thai Agriculture Products Traceability System using Blockchain and Internet of Things," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 9, pp. 1-6, 2019.
- [4] A. Sasikumar et al., "A Secure Big Data Storage Framework Based on Blockchain Consensus Mechanism With Flexible Finality," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 56712-56724, 2023.

การประยุกต์ใช้เว็บเซอร์วิสสำหรับส่งข้อมูลไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย REST API Web Service Application for Submitting Solar-Powered Electric Vehicle Data using REST API

สุชาติ วีรกุลวัฒนา¹ (Suchart Weerakunwattana)¹

ชวพงษ์ ขุนสูงเนิน² (Chawaphong Khunsoongnoen)²

ภูมินันท์ บัวงาม³ (Phuminun Bua-ngam)³

¹อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช suchart_we@rtaf.mi.th

²อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช chawaphong_k@rtaf.mi.th

³อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช phuminun@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้งานเว็บเซอร์วิสสำหรับส่งข้อมูลในรถพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันรถพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด ที่ยังไม่ได้ได้รับความนิยมในการใช้งานของผู้ใช้งานประเทศไทยรวมทั้งระบบหน้าจอเพื่อดูค่าต่าง ๆ เพื่อการวางแผนในการชาร์จด้วยการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กล่องตรวจจับสัญญาณมาติดตั้งในรถยนต์ จากนั้นทำการส่งสัญญาณผ่านระบบไวไฟเพื่อเก็บข้อมูล ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการใช้โปรแกรม Sheety เพื่อสร้าง REST API ขึ้นมาแล้วจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนโปรแกรมสร้างเป็น Dashboard ให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานผ่านอุปกรณ์ต่าง

คำสำคัญ: รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, แบตเตอรี่, เอฟอีไอ

Abstract: This research aims to develop a web service for transmitting data from solar-powered electric vehicles. Currently, solar-powered electric vehicles are a clean energy option that is not yet widely used in Thailand. Additionally, there is a need for a display system to show various data points for planning solar energy charging. To address these needs, this research proposes the installation of a signal detection box in the vehicle to transmit data via Wi-Fi for data collection. The research team utilized the Sheety program to create a REST API and then developed a dashboard for users to access the collected data from any devices.

Keywords : Solar-powered electric vehicles, Battery, API

1. บทนำ

ปัจจุบันรถยนต์นับเป็นปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเดินทางไปยังจุดหมายซึ่งที่ขาดไม่ได้ คือพลังงานที่มีทางเลือกหลากหลายขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์ของรถ มีทั้งเครื่องยนต์เบนซิน ดีเซล หรือเครื่องยนต์ระบบไฮบริด ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปส่วนหนึ่งแต่ในยุคปัจจุบันมีทางเลือกใหม่ของพลังงาน คือพลังงานไฟฟ้าซึ่งเริ่มจะมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย แต่ที่ซาร์จตามต่างจังหวัด พบว่ายังไม่เป็นที่แพร่หลายตามต่างจังหวัดรวมทั้งบริการหลังการขายที่ต้องรอการขยายตัวของบริษัทผู้ผลิต เพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความมั่นใจในการใช้บริการอย่างไรก็ตามยังมีพลังงานอีกประเภทคือพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดแต่ยังไม่เป็นที่นิยมในการใช้งานอย่างแพร่หลายงานวิจัยนี้จึงนำเสนอรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งตัวต้นแบบของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่มี การส่งข้อมูลต่าง ๆ ของค่าพลังงานทำให้ผู้ขับขี่ไม่สามารถวางแผนการเดินทางและการใช้พลังงานได้ทางทีมผู้วิจัยจึงต้องพัฒนาเครื่องมือ เพื่อส่งข้อมูลให้ผู้ใช้งานได้ทราบจะได้สามารถวางแผนล่วงหน้าในการเดินทาง

1.1 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้เว็บเซอร์วิสส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนตัวรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อเตรียมรูปแบบข้อมูลสำหรับนำไปใช้งานในหลายแพลตฟอร์ม

2. ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้รถตัวต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้งานในหน่วยงานของภาควิชาคอมพิวเตอร์

2. ใช้อุปกรณ์ Detector Box ในการเก็บข้อมูลในรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 รถพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

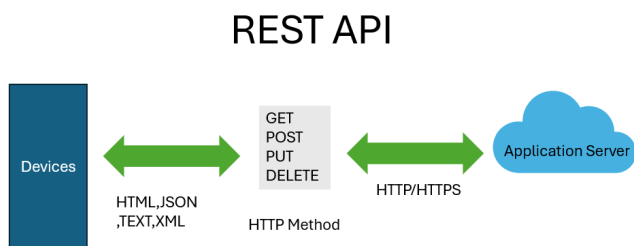
รถพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์[1] โซล่าเซลล์ เป็นแนวคิดพลังงานสะอาดที่หลาย ๆ บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ได้พยายามเอาเทคโนโลยีมาทดแทนเครื่องยนต์แบบสันดาปอย่างบริษัทยักษ์ใหญ่ Toyota ที่นำมาใส่ในรุ่น Toyota Prius [2] ติดแผ่นโซล่าเซลล์บนหลังคาเพื่อเพิ่มระยะยาวในการวิ่งพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกับประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ ที่มีแดดจัดจุดเด่นของรถพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานไม่มีวันหมดและไม่ปล่อยของเสียประเภทคาร์บอนออกสู่อากาศ และไม่เสียค่าเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม ทางทีมผู้วิจัยเลือกที่จะใช้ตัวถังของรถกอล์ฟที่วิ่งใช้งานในหน่วย รร.นกก. ดังรูปที่ 1 สามารถบรรทุกผู้โดยสารได้ 2 คน รวมคนขับ



รูปที่ 1 รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของภาควิชาคอมพิวเตอร์

3.2 REST API [3]

Representational State Transfer (REST) เป็นรูปแบบในการส่งข้อมูลจาก Server ไปยัง Client ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ HTTP Protocol โดยรูปแบบการรับส่งข้อมูลสามารถรับส่งข้อมูลได้หลายแบบ เช่น text ,Json ,XML ,HTML แต่แบบ JSON จะเป็นที่นิยมในการใช้งานอย่างแพร่หลายดังรูปที่ 2 โดยฝั่ง Client จะติดต่อกับ Server จะส่งผ่าน HTTP Method ซึ่งจะมี GET, POST, PUT, DELETE เพื่อติดต่อกับ Server



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมของ REST API

3.3 Sheety [4]

เป็นโปรแกรมที่สร้าง REST API จากงานเอกสารแบบตาราง (Spread Sheet) งานเอกสารแบบตารางที่เรารู้จักกันอย่างแพร่หลาย เช่น Microsoft Excel ข้อดีของโปรแกรมนี้นี้คือสามารถสร้าง API ได้จาก Google Sheet โดยสามารถสร้างค่าออกมาในรูปแบบ Json Format และสามารถตั้งค่าความปลอดภัยได้หลายรูปแบบปรับแต่ง HTTP Method ได้ว่าจะให้ผู้ใช้งานเข้าถึงได้ในระดับใดบ้าง

3.4 JavaScript Library

JavaScript Library ที่ใช้งานในงานวิจัยนี้ทางทีมผู้วิจัยได้เลือกใช้งาน jQuery [5] เนื่องจากใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีการรวบรวมหลาย ๆ คำสั่งเหมาะสำหรับเว็บที่มีโครงสร้างอย่างง่าย ข้อดีของ jQuery คือมีส่วนเสริม Plug-in ค่อนข้างมากเหมาะสมกับเว็บเพจแบบ Single Application

รวมทั้งไฟล์ของ jQuery นั้นมีขนาดเล็กและทำงานได้หลายเบราว์เซอร์นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลได้หลายอุปกรณ์ด้วย

4. การดำเนินการวิจัย

ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการเตรียมรถกอล์ฟในหน่วยงานพร้อมติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคารถ และเตรียมพื้นที่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ทางด้านหลังตัวรถโดยที่ไม่เพิ่มน้ำหนักจนเกินไปให้รถสามารถขึ้นเนินและไม่เสียสมดุลในการขับขี่

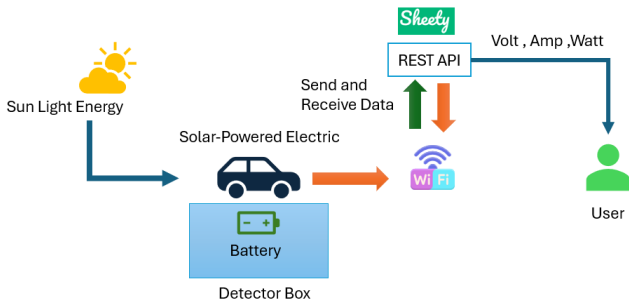
4.1 การติดตั้ง Detector Box (ตัวจับสัญญาณแบตเตอรี่)

ได้ทำการเตรียมตัวจับสัญญาณและติดตั้งด้านหลังของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตัวจับสัญญาณที่ลักษณะดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวจับสัญญาณรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

หลังจากติดตั้งแล้วได้ทำการออกแบบระบบโดยมีภาพรวมของระบบดังรูปที่ 4 โดยรถยนต์จะรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จากนั้นจะชาร์จเก็บในแบตเตอรี่ ซึ่งภายในจะมีตัวจับสัญญาณแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า จากนั้นส่งสัญญาณผ่าน WiFi ส่งข้อมูลไปเก็บไว้ใน Google Sheet และใช้แอปพลิเคชัน Sheety ทำ REST API แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ JSON Format ส่งไปยัง Dashboard ให้ผู้ใช้งานวางแผนการเดินทาง

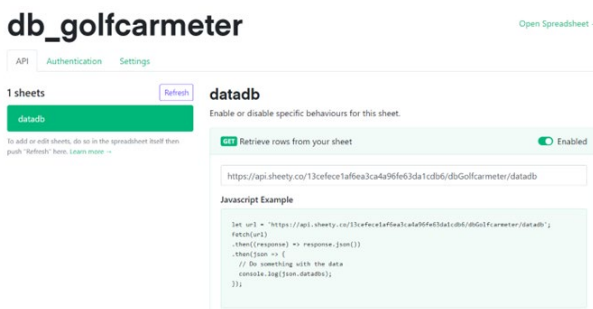


รูปที่ 4 แสดงภาพรวมระบบ

ตารางที่ 1 ลักษณะของข้อมูลจากเครื่องตัวจับสัญญาณที่ติดตั้งในรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

data	time	volt	amp	watt
8/8/2023	13:17:07	65.62	0	0
8/8/2023	13:16:39	65.62	0	0
8/8/2023	13:16:04	65.62	0	0
8/8/2023	13:15:30	65.62	0	0
8/8/2023	13:15:00	65.61	0	0

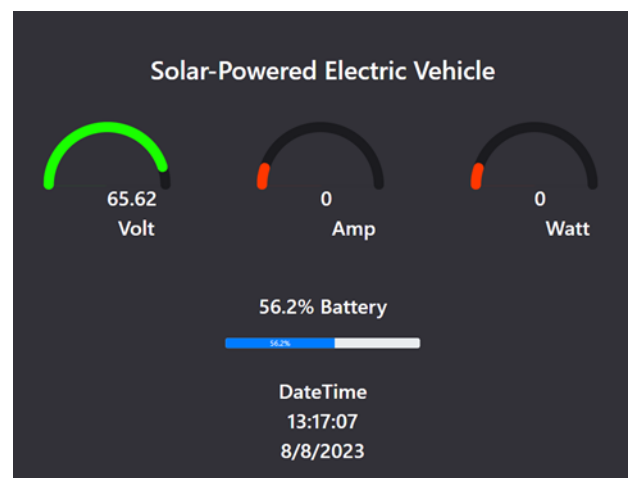
จากข้อมูลที่ได้ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการสร้าง API โดยใช้งานโปรแกรม Sheety ซึ่งรับข้อมูลจาก Google Sheet โดยในที่นี้ทางทีมผู้วิจัยได้เปิด GET Method ให้ผู้ใช้งานสามารถดึงค่าข้อมูลและค่าข้อมูลที่ถูกดึงไปจะแสดงค่าแบบ JSON Format มาดูเท่านั้นดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการสร้าง REST API โดยใช้โปรแกรม Sheety

5. ผลการวิจัย

ทางทีมผู้วิจัยหลังจากที่ได้สร้าง API อย่างเรียบร้อย ได้นำข้อมูลมาเขียนโปรแกรมด้วยภาษา JavaScript เพื่อดึงข้อมูลให้ผู้ใช้งานได้รับทราบผ่านทาง Dashboard ซึ่งสามารถเข้าถึงได้หลายอุปกรณ์โดยมีหน้าการแสดงผลที่เรียบง่ายดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงหน้า Dashboard ที่ดึงข้อมูลมาจาก API

7. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้เป็นแค่การทดลองเพื่อคำนวณและวัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ของรถพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการวางแผนการเดินทางในหน่วย รร. นนท. อย่างไรก็ตามการวางแผนการเดินทางในหน่วย รร. นนท. ใดๆก็ตามรถพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แม้จะขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ก็ยังต้องมีการดูแลรักษาอุปกรณ์อื่น ๆ เช่นกันเพื่อให้รถขับเคลื่อนได้ดียิ่งขึ้น เช่น สภาพยางลมยาง ล้อ และอุปกรณ์ต่าง ๆ

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นนอ. พลน จิโรจรณ์, นนอ. ดารากร แข็งขัน และ นนอ. เตชินท์ ว่องอิสริยวณิช ที่ช่วยในการทำการทดลองในงานวิจัยนี้ทำให้งานนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุเนตร พรหมขุนทอง, เต็น ตันยุชนและอำนาจ เสมอวงศ์. (2023). การพัฒนารถสามล้อไฟฟ้าเพื่อผู้พิการ ทางขา. *วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษา ภาคใต้ 1*, 8(1), 45-54.
- [2] Darrell Etherington. 2019. Toyota testing improved solar roof for electric cars that can charge while driving. *Available:* <https://techcrunch.com/2019/07/05/toyota-testing-improved-solar-roof-for-electric-cars-that-can-charge-while-driving/>. Jul 5, 2019.
- [3] Biehl, M. (2016). *RESTful Api Design (Vol. 3)*. API-University Press.
- [4] Anonymous. 2023. Sheety Making Request *Available:* <https://sheety.co/docs/requests.html>
Jun 4,2024
- [5] Bibeault, B., De Rosa, A., & Katz, Y. (2015). *jQuery in Action*. Simon and Schuster.

การวิเคราะห์การใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพโดยการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Energy Efficiency Analysis through the Application of Internet of Things

ปติกร อันชื่น¹ (Patikorn Anchuen)¹นันทิพัฒน์ พิศุทธางกูร^{2,*} (Nuntipat Phisutthangkoon)^{2,*}¹อาจารย์สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (patikorn_an@rtaf.mi.th)²อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (nuntipat_phis@rtaf.mi.th*)

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เพื่อวิเคราะห์และชี้แนะการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในองค์กรให้มีประสิทธิภาพ โดยมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่สามารถเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำเนินงานขององค์กร ข้อมูลที่ได้รับจะถูกประมวลผลด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อระบุจุดหรือกระบวนการที่มีการใช้พลังงานสูงเกินความจำเป็น พร้อมทั้งให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานและประหยัดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ ระบบสามารถติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องและให้คำแนะนำให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันได้ ด้วยความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่และการทำงานแบบอัตโนมัติของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ส่งผลให้องค์กรสามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงาน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์การใช้พลังงาน การบริโภคพลังงาน การจัดการพลังงาน

ABSTRACT: This research aims to explore the application of Internet of Things (IoT) technology for analyzing and guiding the efficient use of electrical devices within organizations. Networked sensors are installed to collect energy consumption data from various essential equipment used in organizational operations. The received data is then processed using advanced analytical techniques to identify areas or processes with excessive energy usage. Actionable recommendations are provided to help reduce energy consumption and associated costs. Moreover, the system continuously monitors energy efficiency and guides its recommendations based on current scenarios. Leveraging IoT's big data analytics capabilities and automation, organizations can significantly enhance their energy management efficiency, leading to substantial cost savings and environmental impact reduction. With the ability to analyze large datasets and operate autonomously, IoT technology empowers organizations to optimize their energy utilization effectively and achieve significant cost reductions and environmental benefits.

KEYWORDS: Internet of Things, Energy efficiency, Energy analysis, Energy consumption, Energy management

1. บทนำ

การจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นประเด็นสำคัญในปัจจุบัน [1] เนื่องจากความต้องการการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการขยายตัวของประชากรและกิจกรรมทางเศรษฐกิจ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นภาระทางการเงินที่สูงขึ้น [2] ดังนั้น การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์และชี้แนะจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งกับสถานการณ์ปัจจุบัน เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เป็นเทคโนโลยีที่มีการเชื่อมต่อ

อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ต่างๆ เข้ากับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อติดตามและวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ [3]

เทคโนโลยี IoT ช่วยให้สามารถรวบรวมและแลกเปลี่ยนข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพหลายประการ โดยการติดตามการใช้พลังงานแบบเวลาจริงผ่านเซ็นเซอร์ช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานได้ดียิ่งขึ้น สามารถตรวจจับการรั่วไหลและความสิ้นเปลืองของพลังงานได้อย่างรวดเร็ว [4] นอกจากนี้ยังช่วยในการควบคุมการปรับการทำงานของ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ระบบนิเวศให้มีประสิทธิภาพผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียดจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ จึงเป็นโอกาสในการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคส่วนต่างๆ ทั้งใน ระดับครัวเรือน องค์กร และระดับประเทศ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยจำนวนมากนำอุปกรณ์ IoT มาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การติดตามและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยการใช้เซนเซอร์ในการตรวจวัดการใช้พลังงานอย่างละเอียดในอาคาร ต่อยอดไปสู่การพัฒนาสำหรับติดตามและวิเคราะห์การใช้พลังงานในชุมชนเมือง [5] นำไปสู่การควบคุมและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการบริหารจัดการพลังงานในอาคารอัจฉริยะ [6] และได้มีการบูรณาการ IoT กับระบบสารสนเทศและการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ในการพัฒนาสถาปัตยกรรมและแพลตฟอร์มเพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับสร้างกรอบแนวคิดและนโยบายในการจัดการพลังงาน [7]

อย่างไรก็ตาม การนำ IoT มาประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานยังคงมีข้อจำกัดและความท้าทายบางประการ เช่น การรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล การบูรณาการระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่แตกต่างกัน รวมถึงต้นทุนในการลงทุนติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานและอุปกรณ์ IoT นอกจากนี้ ความซับซ้อนของข้อมูลจำนวนมากมหาศาลที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อ IoT ยังเป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์ และนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อวิเคราะห์และชี้แนะการใช้พลังงานของอุปกรณ์ภายในองค์กรให้มีประสิทธิภาพ โดยติดตั้งเซนเซอร์เชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยเฉพาะสำหรับใช้งานภายในหน่วยงาน โดยมี การวิเคราะห์เพื่อระบุจุดที่ใช้พลังงานสูงเกินความจำเป็น พร้อมให้คำแนะนำปฏิบัติเพื่อลดการใช้พลังงานและประหยัดค่าใช้จ่าย ช่วยให้องค์กรบริหารจัดการการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงาน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้วิเคราะห์และชี้แนะการใช้พลังงานของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ กรณีศึกษาภายในกองวิชา

คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช จากการจัดตั้งเซนเซอร์เชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในฐานข้อมูลและระบบแสดงผลที่สร้างขึ้นเฉพาะ และวิเคราะห์กรณีตัวอย่างให้การกำหนดเงื่อนไขการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อลดภาระการบริโภคพลังงานที่ไม่จำเป็น

3. การดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์การใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพ จำเป็นต้องอาศัยการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนมากย้อนหลังเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแล้วนำไปใช้พิจารณาลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ไม่จำเป็น โดยจะต้องพิจารณาในแต่ละอุปกรณ์อย่างละเอียดเพื่อให้ตรงเป้าหมายและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยี IoT ที่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชิ้นได้อย่างอิสระ อีกทั้งยังสามารถส่งข้อมูลไปเก็บรวบรวมไว้ยังฐานข้อมูล แสดงผลผ่านแผงควบคุม และวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็นได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยการดำเนินงานวิจัยในแต่ละองค์ประกอบดังนี้

3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ IoT

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะที่สามารถควบคุมผ่าน WiFi ได้ โดยมีคุณสมบัติที่เก็บค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (Volt: A) กระแสไฟฟ้า (Ampere: A) กำลังไฟฟ้า (Watt: W) และปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kilowatt-hour: kWh) อีกทั้งยังสามารถตั้งเวลา เปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าได้จากระยะไกลได้



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ Smart Plug ที่ถูกติดตั้งกับเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้า

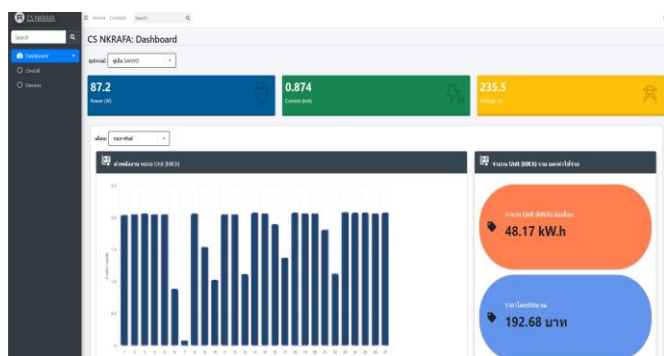
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

งานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์ IoT กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในหน่วยงานที่จะเป็นเพื่อวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ ประกอบด้วย ทีวี ตู้เย็น เครื่องทำกาแฟ เครื่องทำน้ำแข็ง และเครื่องฟอกอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยแต่ละอุปกรณ์จะทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะของ Tuya Smart Plug WIFI ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย WiFi และทำการส่งข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ไปยังฐานข้อมูลกลาง

3.2 การสร้างแผงควบคุม

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ที่มีการติดตั้งปลั๊กไฟอัจฉริยะจะถูกรวบรวมและนำมาแสดงผลยังแผงควบคุมที่ได้ออกแบบไว้สำหรับงานวิจัยนี้ โดยข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันจะถูกนำเสนอในรูปแบบแผนภูมิภาพเพื่อชี้ให้เห็นการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งเดือน โดยที่การใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละอุปกรณ์จะถูกพิจารณาถึงปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือนเป็นยูนิต (Unit: kWh) จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในองค์กร กรณีตัวอย่าง เช่น ตู้เย็น รุ่นเก่าที่มีการบริโภคพลังงานโดยรวมต่อเดือนถึง 48.17 Unit หากคิดเป็นเงินเท่ากับ 192.68 บาท (เมื่อกรณีที่มีการคิดค่าไฟฟ้า 5 บาทต่อยูนิต)

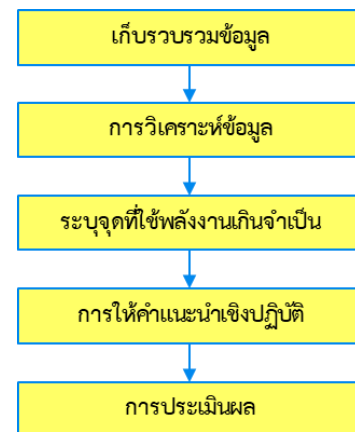
การออกแบบแผงควบคุมโดยให้สามารถแสดงข้อมูลการใช้พลังงานแบบเวลาจริง (Real-time) และสามารถเลือกแสดงเฉพาะอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการทราบค่าพลังงานได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมและนำมาแสดงในรูปแบบการทำข้อมูลเสมือน (Data Virtualization) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 2 แผงควบคุมแสดงสถานะการใช้พลังงานไฟฟ้า

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุจุดที่ใช้พลังงานเกินความจำเป็นและให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติเพื่อลดการใช้พลังงาน สามารถทำได้โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ากับอุปกรณ์ที่ติดตั้ง แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยการใช้เทคนิคต่างๆ เช่น Data Mining เพื่อค้นหารูปแบบการใช้พลังงาน การทำ Time Series Analysis เพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงานตามเวลา และ ทำ Anomaly Detection เพื่อระบุการใช้พลังงานที่ผิดปกติ จากนั้นระบุจุดที่ใช้พลังงานเกินจำเป็นเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจริงกับมาตรฐาน นำไปสู่การให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติ เช่น เปลี่ยนอุปกรณ์ เปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ ตั้งเวลา เปิด-ปิด การทำงานของอุปกรณ์ เป็นต้น แล้วทำการประเมินผลจากการทำตามคำแนะนำเพื่อเปรียบเทียบถึงความแตกต่างในการบริโภคพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถแสดงการทำงานได้ดังภาพที่ 3

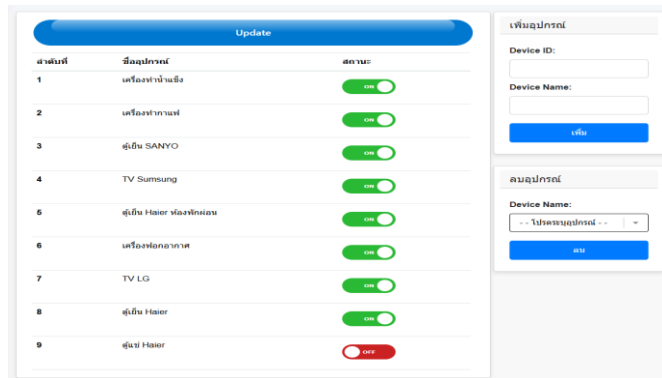


ภาพที่ 3 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุจุดที่ใช้พลังงานเกินความจำเป็นและให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติเพื่อลดการใช้พลังงาน

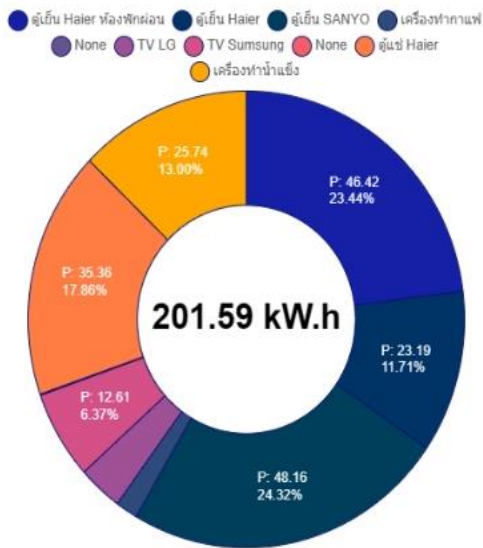
แม้ว่าจะมีการให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติในการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีการบริโภคพลังงานที่เกินความจำเป็น แต่ในบางครั้งอาจต้องรองบประมาณในการจัดสรรอุปกรณ์ใหม่ หรือมีการให้คำแนะนำในการเปลี่ยนพฤติกรรมใช้งานที่อาจนำไปสู่ขั้นตอนในการปฏิบัติที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามหากสามารถทราบคุณลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละชนิดได้จะนำไปสู่การจัดการที่มีประสิทธิภาพ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ในการตั้งเวลา เปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทที่ไม่จำเป็นในการลดการใช้พลังงาน จากงานวิจัยนี้ได้ออกแบบแผงควบคุมที่สามารถสั่งการ เปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดเพื่อลดการทำงานในช่วงเวลาที่ไม่จำเป็นที่จะช่วยลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งแสดงการสั่งการ เปิด-ปิด อุปกรณ์ได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผงควบคุมแสดงสถานะเพื่อสั่งเพิ่มปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า



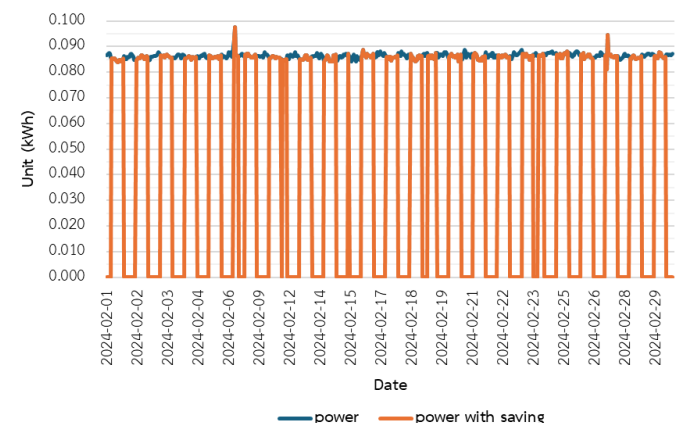
ภาพที่ 5 กราฟแสดงการบริโภคพลังงานของแต่ละอุปกรณ์ที่ถูกเก็บรวบรวมในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2567

4. ผลการวิจัย

จากการติดตั้งเซนเซอร์ไปยังอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 10 อุปกรณ์ และทำการเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องจะถูก

นำมาแสดงผลผ่านแผงควบคุมที่ได้ออกแบบไว้เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การบริโภคพลังงานไฟฟ้าซึ่งพบว่า ในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2567 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าไปทั้งสิ้น 201.59 หน่วย จากข้อมูลภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นมีการใช้พลังงานที่มากกว่าอุปกรณ์ชนิดอื่น โดยพบว่าตู้เย็นรุ่นเก่าจะมีการบริโภคพลังงานมากกว่าตู้เย็นรุ่นใหม่

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าหากนำไปวิเคราะห์เพื่อระบุจุดที่ใช้พลังงานเกินความจำเป็นและให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติเพื่อลดการใช้พลังงานนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าตู้เย็นรุ่นเก่า โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ตู้เย็นรุ่นเก่าเป็นเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในการแช่อาหารประเภทที่ไม่จำเป็นต้องทำความเย็นต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น เครื่องดื่ม เครื่องปรุงรส ขนมปัง อาหารแห้ง เป็นต้น โดยเวลาทำงานในองค์กรนั้นอยู่ระหว่างช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 16.00 น. โดยทั่วไปตู้เย็นจะใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมงในการทำให้น้ำเย็นลงถึงอุณหภูมิที่ต้องซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและรุ่นของตู้เย็นตลอดทั้งปริมาณอาหารและเครื่องดื่มที่อยู่ในตู้เย็น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติเพื่อลดการใช้พลังงานควรตั้งเวลาปิดตู้เย็นรุ่นเก่าตั้งเวลา 16.00 น. และเปิดในเวลา 04.00 น. เพื่อให้มีเวลาในการทำความเย็นก่อนช่วงเวลาทำงาน



ภาพที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานของตู้เย็นรุ่นเก่าในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ระหว่างการเปิดทำงานตลอดทั้งวัน (Power) และเปิดทำงานเฉพาะช่วงเวลา 04.00 น. ถึง 16.00 น. (Power with saving)

จากการพิจารณาจัดการพลังงานตามคำคำแนะนำเชิงปฏิบัติพบว่าในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2567 ตู้เย็นรุ่นเก่าใช้พลังงานไฟฟ้าไปทั้งสิ้น 23.84 หน่วย ซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานมากกว่า 20 หน่วย ดังแสดงในภาพที่ 6

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์การใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อขึ้นนำการจัดการพลังงานจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุจุดที่ใช้พลังงานเกินความจำเป็นและให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติเพื่อลดการใช้พลังงานกรณีศึกษาภายในกองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช จากการติดตั้งอุปกรณ์เซ็นเซอร์เก็บค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้า เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในฐานข้อมูลและระบบแสดงผลที่สร้างขึ้นเฉพาะ และวิเคราะห์กรณีตัวอย่างให้การกำหนดเงื่อนไขการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อลดภาระการบริโภคพลังงานที่ไม่จำเป็นซึ่งสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT สามารถช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานได้ดียิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งจากงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยเพื่อดำรงคุณวุฒิและคุณสมบัติของอาจารย์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ประจำปี พ.ศ.2567

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] IEA (2024). World Energy Outlook 2024. International Energy Agency.
- [2] Raimi, D., Zhu, Y., Newell, R. G., & Prest, B. C. (2024). Global Energy Outlook 2024: Peaks or Plateaus.
- [3] Al-Masri, E., Souri, A., Mohamed, H., Yang, W., Olmsted, J., & Kotevska, O. (2023). Energy-efficient cooperative resource allocation and task scheduling for Internet of Things environments. *Internet of Things*, 23, 100832.

- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, Fourthquarter 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [5] Chen, C., Jiang, J., Zhou, Y., Lv, N., Liang, X., & Wan, S. (2022). An edge intelligence empowered flooding process prediction using Internet of things in smart city. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 165, 66-78.
- [6] Metallidou, C. K., Psannis, K. E., & Egyptiadou, E. A. (2020). Energy efficiency in smart buildings: IoT approaches. *IEEE Access*, 8, 63679-63699.
- [7] Rafique, W., Qi, L., Yaqoob, I., Imran, M., Rasool, R. U., & Dou, W. (2020). Complementing IoT services through software defined networking and edge computing: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(3), 1761-1804.

การวิเคราะห์และพัฒนารูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัลที่มีความปลอดภัย
โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน

**ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF SECURED GUARANTEE CARD MODEL
USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY**

เจตพงศ์ เจตวัฒน์¹ (Jattapong Jattawat)¹

ประสงค์ ปราณีตพลกรัง² (Prasong Praneetpolgrang)²

รมนต์ออร์ บุญเรืองเนีย³ (Ramonawn Boonrueng)³

ฐนีย์ยา กิจเวช⁴ (Thaneeya Kitchawet)⁴

¹คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: jattapong.ja@gmail.com

²คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: prasongspu@gmail.com

³คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: ramonawn@tvventure.com

⁴คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: thaneeya.kcw@gmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์และพัฒนารูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัลที่มีความปลอดภัย โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน ผ่านสมาร์ตคอนแทรก (Smart Contract) ด้วยภาษา Solidity ในการพัฒนารูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัลที่มีความปลอดภัย

ผลการวิจัยพบว่า ในการจัดเก็บข้อมูลใบรับประกันสินค้าดิจิทัลโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน ผ่านสมาร์ตคอนแทรกด้วยภาษา Solidity นั้น มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากมีการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธีการแฮช (Hash) ก่อนการจัดเก็บข้อมูลของเทคโนโลยีบล็อกเชน อีกทั้ง ยังเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่บันทึกไว้ด้วยอัลกอริทึมที่มีความปลอดภัยสูง รวมถึงการจำกัดสิทธิ์การเข้าถึง การสำรองและรักษาข้อมูลแบบกระจาย (Decentralization) ทั้งนี้ ข้อมูลไม่ได้จัดเก็บไว้ที่ใดที่หนึ่ง การวิเคราะห์และพัฒนารูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัลในรูปของสมาร์ตคอนแทรกในงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบโครงสร้างข้อมูล และชุดคำสั่งเฉพาะผ่านสมาร์ตคอนแทรก และได้พัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมในรูปแบบส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์หรือเอพีไอ (Application Programming Interface : API) พร้อมเว็บแอปพลิเคชันที่ทำให้การใช้งานใบรับประกันสินค้าดิจิทัลสามารถทำได้ง่าย การบันทึกข้อมูล ค้นหาข้อมูล และแสดงการรับประกันสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเก็บข้อมูล สืบค้นข้อมูล การรับประกันสินค้าที่มีการจำหน่ายและรับประกันสินค้าโดยทั่วไป นอกจากนั้น ยังสามารถใช้ทดแทนการรับประกันสินค้ารูปแบบเดิมที่ใช้เป็นเอกสารใบรับประกันสินค้าแบบกระดาษได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ใบรับประกันสินค้าดิจิทัล, บล็อกเชน, สมาร์ตคอนแทรก

1. บทนำ

ในการซื้อสินค้าที่มีการรับประกันจะได้รับใบรับประกันสินค้าให้กรอรายละเอียดต่าง ๆ เช่น หมายเลขสินค้า ชื่อสกุล ที่อยู่ เป็นต้น บางประเภทสินค้าจำเป็นต้องเก็บกล่องบรรจุสินค้าเป็นเรื่องที่ยุงยากในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเอกสารใบรับประกันสินค้าทั้งสองฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นเจ้าของผลิตภัณฑ์และผู้ซื้อสินค้า ความยุ่งยากอีกประการหนึ่งคือการทำใบรับประกันสินค้าหรือกล่องบรรจุสินค้านั้นไว้เพื่อยืนยันสิทธิการรับประกันสินค้าจากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาออกแบบและพัฒนาแบบใบรับประกันสินค้าที่มีความปลอดภัยและความไว้วางใจสูง สามารถป้องกันการปลอมแปลงและปฏิเสธการรับประกันสินค้าได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นฐานบล็อกเชน (Foundations of Blockchain)

โดยพื้นฐานแล้วบล็อกเชนเป็นโครงสร้างข้อมูล เป็นรายการเชื่อมโยงหรือสายโซ่ของ "บล็อก" ที่ไม่ซ้ำใคร แต่ละบล็อกชี้ไปที่บล็อกก่อนหน้าและเป็นรายการธุรกรรม [1] ด้านบนของโครงสร้างข้อมูลแบบ list-of-lists ที่ค่อนข้างง่ายนี้มีการวางนวัตกรรมหลักบล็อกเชนมีให้คือ โปรโตคอลสำหรับวิธีการเพิ่มบล็อกลงใน "chain" โดยไม่มีอำนาจจากส่วนกลาง การเข้ารหัสลับที่มาพร้อมกับบล็อกเชน เป็นสิ่งจูงใจแก่ผู้ใช้ในการเรียกใช้ซอฟต์แวร์ที่รักษาความปลอดภัยเครือข่าย เป็นครั้งแรกในประวัติศาสตร์ที่เราสามารถแบ่งปันข้อมูลดิจิทัลโดยไม่ไว้วางใจบุคคล รัฐบาลองค์กร หรือองค์กรใด ๆ

2.2 การกระจายอำนาจ (Decentralization)

ลักษณะที่สำคัญที่สุดของบล็อกเชน บล็อกเชนมีอยู่ในหลาย ๆ คอมพิวเตอร์ซึ่งมักเรียกว่าโหนด โหนดเหล่านี้สร้างเครือข่ายบล็อกเชน โดยมีโหนดหลายตัวทำงานในลักษณะ Peer-to-Peer (P2P) ซึ่งตรวจสอบความถูกต้องของการเข้าถึงข้อมูลโดยไม่มีอำนาจจากส่วนกลาง ระบบบล็อกเชน

ใช้โครงสร้างระบบแบบกระจายสำหรับการบันทึก จัดเก็บ อัปเดต ส่ง ยืนยัน บำรุงรักษา และกระบวนการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลในเครือข่ายบล็อกเชน ลักษณะการกระจายอำนาจนี้ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีหน่วยงานกลางที่มีอำนาจ เพื่อสร้างความไว้วางใจซึ่งกันและกันโดยไม่มีควบคุมจากหน่วยงานกลางหรือหน่วยงานกำกับดูแล แต่ละโหนดแบบกระจายในเครือข่ายนี้ค่อนข้างเป็นอิสระ มีสิทธิและภาระผูกพันที่เท่าเทียมกัน และไม่ส่งผลกระทบต่อเครือข่ายทั้งหมดหากมีความเสียหายระดับโหนด รับประกันความน่าเชื่อถือและความทนทานที่ดีขึ้นของระบบบล็อกเชน [2]

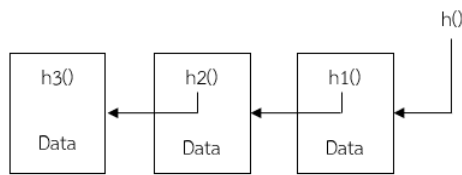
2.3 อัลกอริทึมความปลอดภัย (Security Algorithms)

2.3.1 การเข้ารหัส (Encryption) การเข้ารหัสเป็นกระบวนการในการเข้ารหัสข้อความธรรมดา (ข้อมูลที่เข้าใจได้) เป็นข้อความเข้ารหัส (ข้อมูลที่ไม่สามารถเข้าใจได้หรือข้อมูลที่ไม่เข้าใจ) การถอดรหัส (Decryption) เป็นกระบวนการย้อนกลับในการแปลงข้อความเข้ารหัสเป็นข้อความธรรมดา [2]

2.3.2 แฮช (Hash) แฮชเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ทางเดียวเพื่อปกป้องความสมบูรณ์ของข้อมูล ลักษณะการทำงานจะเป็นการคำนวณค่าที่ไม่ซ้ำกันที่เรียกว่า "ค่าแฮช" สำหรับทุกอินพุตของตัวแปร ฟังก์ชันแฮชเป็นแบบทางเดียว ซึ่งหมายความว่าข้อมูลต้นฉบับไม่สามารถคำนวณกลับจากเอาต์พุตเฉพาะได้ จุดแข็งด้านความปลอดภัยอยู่ที่มีคุณลักษณะทางเดียว ซึ่งใช้เพื่อปกป้องความสมบูรณ์ของข้อมูล [2]

2.3.3 แฮชเชน (Hash Chain) แฮชเชนสร้างขึ้นโดยใช้ฟังก์ชันแฮชกับชิ้นส่วนของข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ค่าแฮช h_1 ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ฟังก์ชันแฮช $f(x)$ กับข้อมูล x h_1 เป็นอินพุตไปยังฟังก์ชันแฮชอื่น " $f(h_1)$ " เพื่อคำนวณค่าแฮชที่สอง h_2 ในเชน และอื่นๆ ค่าแฮชที่คำนวณเหล่านี้ h_1, h_2, \dots, h_n ทำห่วงโซ่ของแฮชที่มีความยาว

เนื่องจากฟังก์ชันแฮชไม่สามารถย้อนกลับได้ ดังนั้น จึงไม่สามารถคำนวณ h_1 จาก h_2 ได้ จากนั้นจึงไม่สามารถคำนวณ h_2 จาก h_3 ได้ เป็นต้น แฮชเชนมีแอปพลิเคชันมากมายในการปกป้องความสมบูรณ์ของข้อมูลและมีบทบาทสำคัญในบล็อกเชน [2] แสดงได้ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงแฮชเชน (Hash Chain) [4]

2.4 โครงสร้างของบล็อกเชน (Blockchain Structure)

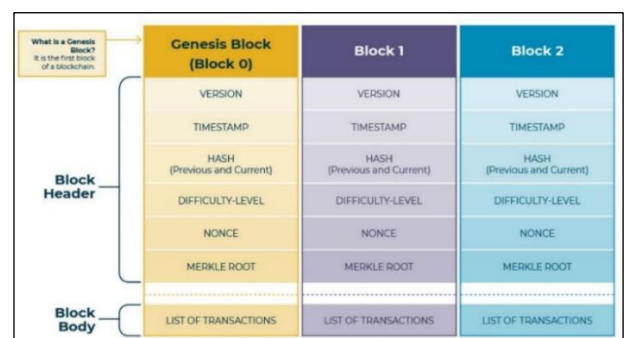
โครงสร้างของบล็อกเชนจะประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ดังนี้ 1) โหนด (Node) 2) บล็อก (Block) 3) เซน (Chain) 4) ธุรกรรม (Transactions)

2.4.1 โหนด (Node) [3] โหนด คือผู้ที่มีส่วนร่วมทุกคนในเครือข่ายบล็อกเชน ซึ่งหมายถึงคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายบล็อกเชน โดยโหนดแต่ละโหนดก็จะแทนคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องนั่นเอง โหนดมีความสำคัญมากต่อบล็อกเชน เนื่องจากจุดเด่นของบล็อกเชน คือมีการกระจายศูนย์ (Decentralization) คือไม่พึ่งพาตัวกลางใด ๆ บล็อกเชนจึงต้องพึ่งพาระบบ Peer to Peer (P2P) ที่โหนดทุกโหนดจะต้องเชื่อมต่อกัน สื่อสารกัน และช่วยดูแลรักษาระบบ รวมไปถึงตรวจสอบความถูกต้องและรักษาความปลอดภัยให้กับบล็อกเชน

2.4.2 บล็อก (Block) บล็อกคือหน่วยที่สรุปกลุ่มธุรกรรม บล็อกอาจเชื่อมด้วยโซ่หรือเซน (Chain) ไว้คล้ายกับองค์ประกอบของแฮชเชนซึ่งหมายถึง บล็อก กับ เซน (Blockchain) [4] บล็อกแบ่งเป็น 2 หลักๆ ได้แก่ ส่วนเฮดเดอร์ (Header) และส่วนบอร์ดี (Body) ส่วนประกอบของบล็อกแสดงในภาพที่ 2

2.4.3 เซน (Chain) คือวิธีการจดจำข้อมูลทุก ๆ ธุรกรรมของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุก ๆ ฝ่ายในระบบและบันทึกข้อมูลพร้อมจัดทำเป็นสำเนาแจกจ่ายให้กับทุกคนในระบบ โดยสำเนานั้นจะถูกกระจายส่งต่อไปให้ทุก ๆ โหนดในระบบ เพื่อให้ทุกคนรับทราบว่ามีธุรกรรมอะไรเกิดขึ้นตั้งแต่เปิดระบบบล็อกเชนถึงแม้ว่าโหนดใดเกิดความเสียหายไปก็ยังสามารถยืนยันหรือกู้ข้อมูลธุรกรรมที่เกิดขึ้นจากโหนดอื่น ๆ ให้ทั้งระบบได้เหมือนเดิม [5]

2.4.4 ธุรกรรม (Transactions) เป็นหน่วยตรรกะของการดำเนินการตามลำดับ ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสถานะในระบบฐานข้อมูล ระบบฐานข้อมูลแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามคุณสมบัติของธุรกรรม [6] ธุรกรรมจะเริ่มจากบล็อกเริ่มต้นของบล็อกเชน เรียกว่าเป็นบล็อกกำเนิด (Genesis Block) เป็นบล็อกพิเศษที่มีเลขศูนย์และมีฮาร์ดโค้ดในแอปพลิเคชันบล็อกเชนทุกอัน บล็อกแต่ละอันเชื่อมโยงไปยังบล็อกที่มีอยู่ก่อนหน้านี้ ดังนั้น บล็อกเชนจึงขยายโดยการต่อท้ายบล็อกใหม่เข้ากับเซนที่มีอยู่ในข้อมูลบางอย่าง [6] แอปพลิเคชันบล็อกเชนแบบดั้งเดิม (เช่น Bitcoin) ประกอบด้วยธุรกรรมที่แสดงถึงการแลกเปลี่ยนเงินระหว่างสองหน่วยงาน (หรือผู้ใช้) ธุรกรรมที่ต้องการแต่ละรายการจะถูกบันทึกในบล็อก ซึ่งสามารถประกอบด้วยหลายธุรกรรม คุณสมบัติการที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เกิดขึ้นจากการใช้ประโยชน์จากเข้ารหัสที่แข็งแกร่ง เช่น การแฮช (Hash)



ภาพที่ 2 แสดงภาพส่วนประกอบบล็อก

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

2.5 เปรียบเทียบการจัดเก็บข้อมูลด้วยบล็อกเชนกับ ฐานข้อมูลแบบ Centralized DBMS

ในการเปรียบเทียบการจัดเก็บข้อมูลด้วยบล็อกเชนที่เป็นลักษณะแบบ Decentralized กับฐานข้อมูลแบบ Centralized DBMS ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [7] ได้แสดงเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ตามตารางที่ 1 โดยสรุปการจัดเก็บข้อมูลด้วยบล็อกเชนเหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือและตรวจสอบได้ ขณะที่การจัดเก็บข้อมูลแบบ DBMS เหมาะกับระบบงานที่ต้องการความเร็วและประสิทธิภาพการใช้งานสูง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการจัดเก็บข้อมูลด้วยบล็อกเชนกับ
ฐานข้อมูลแบบ Centralized DBMS

ปัจจัยเปรียบเทียบ	Blockchain	DBMS	คำแนะนำ
ความปลอดภัย (Security)	ได้รับการพัฒนาด้วยการเข้ารหัสตามค่าเริ่มต้น	ใช้การควบคุมการเข้าถึงแบบเดิม	Blockchain
ความเชื่อมั่น (Trust)	ไม่จำเป็นต้องมีบุคคลที่เชื่อถือได้จึงจะทำงานได้	จำเป็นต้องมีบุคคลที่เชื่อถือได้ในการดูแล	Blockchain
การตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability)	การบันทึกแหล่งที่มาของข้อมูลในทุกการทำธุรกรรม	จำเป็นต้องมีผู้ให้บริการเอกสารที่เชื่อถือได้	Blockchain
การทำงานอัตโนมัติ (Automation)	การทำธุรกรรมสามารถทำได้โดยอัตโนมัติด้วยรหัสโปรแกรมที่กำหนดไว้ล่วงหน้า	จำเป็นต้องมีการสนับสนุนการทำงานอัตโนมัติที่เชื่อถือได้	Blockchain
ความสามารถในการตรวจสอบ (Auditability)	เก็บบันทึกแหล่งที่มาของธุรกรรมทั้งหมดแบบไม่สามารถย้อนกลับได้	จำเป็นต้องมีผู้ให้บริการสนับสนุนเอกสารที่เชื่อถือได้	Blockchain
ความทนทานต่อความผิดพลาด/ความแข็งแกร่ง (Fault Tolerance/Robustness)	การกระจายธุรกรรมทำในเวลาเดียวกันระหว่างโหนด	จำเป็นต้องมีการอัปเดตข้อมูล ทริกเกอร์การอัปเดตบนเซิร์ฟเวอร์อื่นในระบบแบบกระจายหรือเก็บไว้ในฐานข้อมูล	Blockchain
ความซ้ำซ้อน (Redundancy)	สำเนาของข้อมูลทั้งหมดอยู่ในโหนดที่เข้าร่วมทั้งหมดโดยมี	สำเนาไว้ที่บนเครื่อง Server ส่วนกลาง	Blockchain

	สำเนาล่าสุดตามค่าเริ่มต้น		
ความลับของข้อมูล (Confidentiality of Data)	ข้อมูลจะมองเห็นได้ในทุกโหนดตามค่าเริ่มต้น	บุคคลที่ได้รับอนุญาต มีสิทธิ์การเข้าถึงแบบจำกัด	DBMS
ประสิทธิภาพ (Performance)	การประมวลผลต้องใช้เวลาสักกระยะหนึ่ง (เช่น Bitcoin ใช้เวลา 10 ถึง 60 นาที)	การดำเนินการและอัปเดตข้อมูลทันทีทำให้รวดเร็ว	DBMS
ความสามารถในการปรับขนาด (Scalability)	ต้องมีการสนับสนุนจากระบบอื่น เช่น การจัดเก็บข้อมูลบนคลาวด์	ดำเนินการได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ	DBMS

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวทางการออกแบบและพัฒนารูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัลที่มีความปลอดภัย โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน ผู้วิจัยได้ดำเนินการ 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การติดตั้งเครือข่ายบล็อกเชนด้วยแพลตฟอร์ม Ethereum

3.1.1 ติดตั้งโปรแกรม geth ด้วยคำสั่ง `$ sudo snap install geth`

3.1.2 สร้างไดเรกทอรีสำหรับเก็บข้อมูลบล็อกเชนด้วยคำสั่ง `$ mkdir wblockchain`

3.1.3 ใช้คำสั่ง `$ geth --datadir ~/wblockchain account new --datadir WCBLOCKCHAIN account new` เพื่อสร้างโหนด

3.1.4 การสร้างบล็อกแรก (Genesis Block) เป็นบล็อกที่ใช้เป็นบล็อกเริ่มต้นของบล็อกเชน โดยการสร้างไฟล์ genesis.json ที่ได้เรียกทอรี WCBLOCKCHAIN จากนั้นใช้คำสั่ง `$ geth --datadir init genesis.json` เพื่อสร้างบล็อกแรก

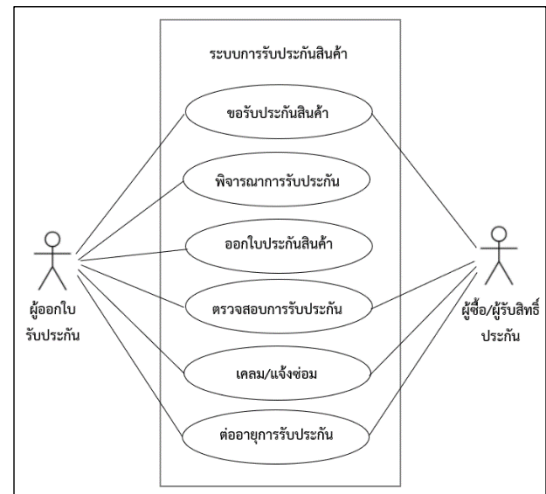
3.1.5 การสั่งให้โหนดทำงาน (Run Node) ใช้คำสั่ง `~ geth -http-http.addr192.168.147.131 --http.port 6666 --http.api "personal,eth,web3,net" --allow-insecure-unlock --datadir ~/WCBLOCKCHAIN`

--networkid 1916 console จากนั้นทำการ start miner ด้วยคำสั่ง miner.start() เป็นการทำให้นักขุด (miner) ทำงานเพื่อประมวลผลคำสั่งรวมถึงการประมวลผลสมาร์ตคอนแทรกด้วย ผลลัพธ์ดังรูปที่ 8 และใช้คำสั่ง miner.stop() เพื่อหยุดขุด กรณีที่ต้องการตรวจสอบยอด coin หรือ ETH ในระบบให้ใช้คำสั่ง eth.getBalance(eth.coinbase)

3.2 การพัฒนาสมาร์ตคอนแทรกไบนารีรับประกันสินค้าดิจิทัล ด้วยภาษา Solidity

ในการพัฒนาสมาร์ตคอนแทรกไบนารีรับประกันสินค้าใช้เฟรมเวิร์ค Truffle ,Node JS และใช้ VS Code เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโดยมีขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 ออกแบบแนวคิดการพัฒนาในรูปแบบไบนารีรับประกันสินค้าดิจิทัล งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการพัฒนารูปแบบไบนารีรับประกันสินค้าดิจิทัล โดยการพัฒนาด้วยสมาร์ตคอนแทรกด้วยภาษา Solidity ทำงานบนเครือข่ายบล็อกเชน สำหรับการติดต่อและเรียกใช้งานสมาร์ตคอนแทรกจะติดต่อผ่าน API ที่พัฒนาด้วย Node JS ภาษา Javascript โดยมีฟังก์ชันหลักได้แก่ การขอรับประกันสินค้า การออกใบรับประกันสินค้า การพิจารณาประกัน การตรวจสอบใบรับประกัน การแจ้งซ่อม/เคลมสินค้า และการต่ออายุรับประกัน ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4 Use Case Diagram แสดงการกระทำกับฟังก์ชันบนบล็อกเชน ผ่าน API

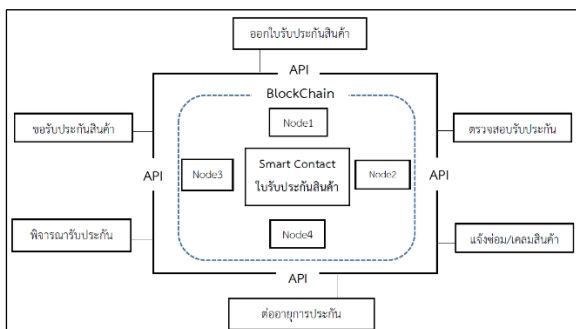


ภาพที่ 4 Use Case Diagram ระบบการรับประกันสินค้าดิจิทัล

3.2.2 การออกแบบโครงสร้างข้อมูลไบนารีรับประกันสินค้าโครงสร้างข้อมูลไบนารีรับประกันสินค้าดิจิทัลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 โครงสร้างข้อมูลไบนารีรับประกันสินค้าดิจิทัล

Field Name	Data Type	Description
WarrantyOwnerStruct	Struct	ข้อมูลผู้ออกใบรับประกัน
ownerCode	string	รหัสผู้ออกใบรับประกันสินค้า
ownerName	string	ชื่อผู้ออกใบรับประกันสินค้า
ownerAddress	address	ที่อยู่ผู้ออกใบรับประกัน
ManufacturerStruct	Struct	ข้อมูลผู้ผลิต
manufacturerCode	string	รหัสผู้ผลิตสินค้า
manufacturerName	string	ชื่อผู้ผลิตสินค้า
manufacturerBrand	string	แบรนด์สินค้า
ProductStruct	Struct	ข้อมูลสินค้า
productCode	string	รหัสสินค้า
productName	string	ชื่อสินค้า
productSerialNo	string	Serial Number
ShopStruct	Struct	ข้อมูลร้านค้า
shopCode	string	รหัสร้านค้า
shopName	string	ชื่อร้านค้า
status	EnumStatus	สถานะ
BuyerStruct	Struct	ข้อมูลผู้ซื้อ/รับสิทธิ์
buyerCode	string	รหัสผู้ซื้อ/ผู้รับสิทธิ์ประกัน
buyerName	string	ชื่อผู้ซื้อ/ผู้รับสิทธิ์ประกัน
buyerAddress	address	address ของผู้ซื้อ



ภาพที่ 3 แนวคิดในการพัฒนารูปแบบไบนารีรับประกันสินค้าดิจิทัล

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

Status	EnumStatus	สถานะ
WarrantyCardStruct	Struct	ข้อมูลใบรับประกันสินค้า
warrantynumber	string	เลขที่ใบรับประกันสินค้า
manufacturer	ManufacturerStruct	ผู้ผลิต
product	ProductStruct	สินค้า
shop	ShopStruct	ร้านค้าที่จำหน่าย
buyer	BuyerStruct	ผู้รับสิทธิประกันสินค้า
startdate	uint	วันเริ่มรับประกันสินค้า
enddate	uint	วันสิ้นสุดรับประกันสินค้า
claimdates	uint[]	รายการวันที่เคลม
renewhistory	string[]	ประวัติการต่ออายุ
terms	string	เงื่อนไขการรับประกัน
approved	EnumApprove	สถานะการ approved
status	EnumStatus	สถานะ
WarrantyDomainStruct		
warrantyOwner	WarrantyOwnerStruct	เจ้าของระบบรับประกัน
cardKeys	mapping(string=>uint)	indexes ใบรับประกัน
warrantyCards	WarrantyCardStruct[]	รายการรับประกันสินค้า
cardcount	uint	จำนวนใบรับประกันสินค้า
status	EnumStatus	สถานะ

3.2.3 การเขียนสมาร์ตคอนแทรกต์ใบรับประกันสินค้า เริ่มต้นการสร้าง โดยใช้คำสั่ง truffle init โดยฟังก์ชันหลัก ๆ ประกอบด้วยฟังก์ชัน

- 1) การออกใบรับประกันสินค้า (createWarrantyCard)
- 2) การขอรับประกันสินค้า (requestWarrantyCard)
- 3) การพิจารณารับประกัน (approveWarrantyCard)
- 4) การต่ออายุ (renewWarrantyCard)
- 5) ตรวจสอบรับประกัน (getWarrantyDetailsByWarrantyNumber)
- 6) การแจ้งซ่อม/เคลมสินค้า (claimWarrantyCard)

3.2.4 การคอมไพล์ (Compile) สมาร์ตคอนแทรกต์ใบรับประกันสินค้า ด้วยคำสั่ง truffle compile

3.3 การติดตั้งสมาร์ตคอนแทรกต์ (Deploying Smart Contract)

การติดตั้งสมาร์ตคอนแทรกต์บนเครือข่ายอีเทอเรียมโดยใช้ truffle มีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การกำหนดค่า Config เครือข่าย ทำการแก้ไขไฟล์ที่กำหนดค่า truffle-config.js ไฟล์นี้จะอยู่ในโฟลเดอร์ที่เก็บโค้ดของสมาร์ตคอนแทรกต์ โดยแก้ในส่วนของ host, port, network_id และ from ในส่วนของ from ให้ใส่ค่าของ account ที่จะเก็บสมาร์ตคอนแทรกต์ และทำการแก้ไข/เพิ่มไฟล์ชื่อ 2_deploy_contracts.js ในโฟลเดอร์ migrations เพื่อชี้ไปที่ Contract ที่จะ deploy

3.3.2 การ Deploy สมาร์ตคอนแทรกต์ใบรับประกันสินค้า หลังจากกำหนดค่า configuration แล้วจะใช้คำสั่ง truffle deploy --network development เครือข่ายที่ใช้คือ development ที่ระบุในข้อ 3.3.1

4. ผลการดำเนินงาน

การเรียกใช้สมาร์ตคอนแทรกต์ในงานวิจัยนี้มีการเรียกใช้ 2 แบบดังนี้

4.1 .การเรียกใช้สมาร์ตคอนแทรกต์ผ่าน Truffle Console

ใช้คำสั่ง truffle console --network development จะแสดงหน้า console เพื่อรับคำสั่งต่างๆ เริ่มต้นด้วยการประกาศตัวแปรเพื่อเรียกใช้สมาร์ตคอนแทรกต์ด้วยคำสั่ง let oWcs = await WCScontracts.deployed(); จากนั้นจะใช้ตัวแปร oWcs สั่งงานสมาร์ตคอนแทรกต์ต่อไป ดังภาพที่ 5

```

Command Prompt - truffle console --network development
C:\blockchain\smartcontract\WCScontracts>truffle console --network development
truffle(development)> let oWcs = await WCScontracts.deployed();
undefined
truffle(development)> oWcs
TruffleContract {
  constructor: [Function: TruffleContract] {
    constructorMethods: {
      configureNetwork: [Function: configureNetwork],
      setProvider: [Function: setProvider],
      new: [Function: new],
      at: [AsyncFunction: at],
      deployed: [AsyncFunction: deployed],
      defaults: [Function: defaults],
      hasNetwork: [Function: hasNetwork],
      isDeployed: [Function: isDeployed],
      detectNetwork: [AsyncFunction: detectNetwork],
    }
  }
}

```

ภาพที่ 5 การเรียกใช้งานผ่าน truffle console

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

4.2 การเรียกใช้งานสมาร์ตคอนแทรกต์ผ่าน JavaScript

ในงานวิจัยนี้ใช้เฟรมเวิร์ค Node JS เริ่มด้วยการเตรียม Environment ต้องทำการติดตั้ง package web3 และ ethers ด้วยคำสั่ง npm install web3 และ npm install ethers ขึ้นต่อไปเป็นการเขียน code เรียกเชื่อมต่อสมาร์ตคอนแทรกต์ โดยประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ 1) การเชื่อมต่อ server บล็อกเชน 2) การประกาศ Application Binary Interface (ABI) ของสมาร์ตคอนแทรกต์ 3) การเชื่อมต่อสมาร์ตคอนแทรกต์ ด้วย Contract Address และ Private Key 4) การเขียนคำสั่งเรียกใช้งาน ดังตัวอย่างคำสั่งในภาพที่ 6 และภาพที่ 7



ภาพที่ 8 ตัวอย่างใบรับประกันสินค้าดิจิทัลที่เรียกใช้งานผ่าน Web Application

จากภาพที่ 8 แสดงรูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัล โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน ที่เรียกใช้งานผ่าน Web Application ในภาพแสดงรายละเอียดการรับประกันสินค้า และแสดง Digital Address ทั้งของผู้ออกใบรับประกันสินค้าและผู้ได้รับสิทธิ์รับประกัน ซึ่งเลขรหัสนี้สร้างจากบล็อกเชนแบบเฉพาะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้

5. อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนารูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัลโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน

ผลการวิจัยพบว่า ในการจัดเก็บข้อมูลใบรับประกันสินค้าดิจิทัลโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน ผ่านสมาร์ตคอนแทรกต์ด้วยภาษา Solidity มีความปลอดภัยสูง จากการวิเคราะห์และพัฒนารูปแบบใบรับประกันสินค้าดิจิทัลโดยใช้สมาร์ตคอนแทรกต์ในออกแบบโครงสร้างข้อมูล และชุดคำสั่ง รวมถึงได้พัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมในรูปแบบ API พร้อม Web Application ที่ทำให้การใช้งานระบบใบรับประกัน

```
const { showInrotMessage } = require("@ethersproject/providers");
const { Counterfeit } = require("console");
const ethers = require("ethers");
var web3 = require("web3");

const testnet = "http://192.168.147.131:6666";

const walletAddress = "0x96A6B9593c23c0B1A967D51Fa4311ca3B2CF0b55"; //base coin v2

const web3 = new Web3(new Web3.providers.HttpProvider(testnet));
const provider = new ethers.providers.Web3Provider(web3.currentProvider);
let eth1 = new ethers.providers.JsonRpcProvider(testnet);

let contractAddress = "0xdC057A598A347C565428F346F7832Ee179D88A01"; //WCSContract

let contract = new ethers.Contract(contractAddress, abi, provider);

let privateKey = "0x7aeb7ad5b7c9273b7592e4a7ed504340bd7ebd3fc8a9690e8e7b48453143418"; //key of base coin v2
var wallet = new ethers.Wallet(privateKey, provider);
var wcsContract = new ethers.Contract(contractAddress, abi, wallet);
// The Contract interface
let abi = [
  "event ValueChanged(address indexed author, string oldValue, string newValue)",
  "constructor (string memory _initmessage,string memory _initvendorname)",
  "function createWarrantyRoot(string memory _ownerCode, string memory _ownerName) public payable returns (uint)",
  "function createWarrantyCard(string memory _ownerCode, string memory _warrantyNumber, string memory _manufacturerCode,string memory _manufacturerName,string memory _manufacturerBrand, string memory _productCode,string memory _productName,string memory _productSerialNo) public payable returns (uint)",
  "function getWarrantyDetailsByWarrantyNumber(string memory _ownerCode,string memory _warrantyNumber) public pure returns ( memory)",
];
```

ภาพที่ 6 แสดงคำสั่งเชื่อมต่อสมาร์ตคอนแทรกต์ไปรับประกันสินค้าดิจิทัลผ่าน Package web3 และ ethers

```
//Test CreateWarrantyRoot
async function CreateWarrantyCard(){
  var _ownerCode='100001';
  var _warrantyNumber='WC000001';
  var _manufacturerCode='MC000001';
  var _manufacturerName='MC000001';
  var _manufacturerBrand='MC000001';
  var _productCode='PC000001';
  var _productName='PC000001';
  var _productSerialNo='PC000001';

  var newWC = await wcsContract.createWarrantyCard(_ownerCode, _warrantyNumber, _manufacturerCode, _manufacturerName, _manufacturerBrand, _productCode, _productName, _productSerialNo);
  console.log('newWC='+newWC);
}

//Test GetWarrantyDetailsByWarrantyNumber
async function GetWarrantyDetailsByWarrantyNumber(){
  var _ownerCode='100001';
  var _warrantyNumber='WC000001';
  var wc = await wcsContract.getWarrantyDetailsByWarrantyNumber(_ownerCode, _warrantyNumber);
  console.log('getWC='+wc);
}
```

ภาพที่ 7 ตัวอย่างคำสั่งเรียกใช้งานฟังก์ชันสมาร์ตคอนแทรกต์

สินค้าดิจิทัลทำได้ง่ายสามารถบันทึกข้อมูล ค้นหาข้อมูล แสดงการรับประกันสินค้าได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ ทดแทนการออกไปรับประกันสินค้าที่มีการจำหน่ายและรับประกันสินค้า โดยทั่วไปจากรูปแบบเดิมที่ใช้เอกสารใบรับประกันสินค้าแบบกระดาษได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kevin Solorio, Randall Kanna & David H. Hoover, *Hands-On Smart Contract Development with Solidity & Ethereum From Fundamentals to Deployment*, O'Reilly Media, United States of America, 2019.
- [2] Muhammad Nasir Mumtaz Bhutta, Adnan Nadeem et, al, "A Survey on Blockchain Technology: Evolution, Architecture and Security," *IEEE Access*, 2021.
- [3] บิทคับ แคมป์พิตอล กรุ๊ป โฮลดิ้งส์, (7 พฤศจิกายน 2564). โหนด (Node) คืออะไร, Available: <https://support.bitkub.com/hc/th/articles/4412143654797-โหนด-Node-คืออะไร>.
- [4] Marcus LÖF, "Decentralized Transactions in a Centralized Environment A Blockchain Study Within the Transport Industry," KTH Royal Institute of Technology, Sweden, 2017.
- [5] โสวิชญา สุปราณี, "การยอมรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในกระบวนการห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย," วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2560.
- [6] Suyash Gupta, Mohammad Sadoghi, (2021). Blockchain Transaction Processing. arXiv:2107.11592v2 [cs.DB].
- [7] Joseph Diema Enoch, Bourdillon O, Remigius Obinna Okeke, "Comparative Analysis of Blockchain and Database," *European Journal of Science, Innovation and Technology* (ISSN 2786-4936) Volume 3, 2023.

สถาปัตยกรรมแพลตฟอร์มประเมินประสิทธิภาพการทำนายผลล่วงหน้าอาการเสียของเครื่องปรับอากาศ
แบบรวมศูนย์ ประเภทปรับสารทำความเย็นแปรผัน โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง

Architecture of a Performance Evaluation Platform for Predictive Maintenance of Centralized Air Conditioning Systems with Variable Refrigerant Flow Using Machine Learning

วริษฐ์ ศิริเจริญสุข¹ (Warit Siricharoensuk)¹

ประสงค์ ปรานีตพลกรัง² (Prasong Praneetpolgrang)²

สุรศักดิ์ มั่งสิงห์³ (Surasak Mungsing)³

¹คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: warit.ong@gmail.com

²คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: prasongspu@gmail.com

³คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: surasak.mu@spu.ac.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอสถาปัตยกรรมแพลตฟอร์มสำหรับประเมินประสิทธิภาพการทำนายอาการเสียล่วงหน้าของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ประเภทปรับสารทำความเย็นแปรผัน โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องผ่านชุดโปรแกรม RapidMiner Studio แพลตฟอร์มประกอบด้วย การใช้ชุดข้อมูลของระบบปรับอากาศ VRF การประมวลผลข้อมูล และการทำนายอาการเสียด้วยแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง ภายในชุดข้อมูลที่ใช้ซึ่งจะมีข้อมูลต่าง ๆ เช่น Pressure Sensor, Thermistor ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ VRF รวมถึงสถานะการทำงานของตัวระบบ และนำชุดข้อมูลมาทำให้เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ของเครื่อง การวิจัยได้ทดสอบอัลกอริทึม การเรียนรู้ของเครื่อง 4 แบบ ได้แก่ Decision Tree, Support Vector Machine, Naive Bayes และ Neural Networks เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการทำนายอาการเสียล่วงหน้า

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวแบบ Neural Networks มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าความแม่นยำ 97.22% ค่าความเที่ยง 98.67% ค่าความระลึกลับ 96.10% ค่าถ่วงดุล 97.37% และพื้นที่ใต้โค้ง 100.00% แพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้คาดการณ์การบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งสามารถลดต้นทุนการบำรุงรักษา ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ VRF ได้โดยรวม นอกจากนี้ ยังช่วยลดอาการหยุดทำงานของระบบแบบกะทันหัน ซึ่งส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: สถาปัตยกรรมแพลตฟอร์ม, การทำนายผลล่วงหน้า, การเรียนรู้ของเครื่อง, ประสิทธิภาพ

1. บทนำ

เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ประเภทปรับสารทำความเย็นแปรผัน (Variable Refrigerant Flow: VRF) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมสูงในระบบปรับอากาศสำหรับอาคารขนาดใหญ่ เนื่องจากมีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิได้อย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน อย่างไรก็ตาม ความซับซ้อนของระบบ VRF ทำให้การบำรุงรักษาและการคาดการณ์อาการเสียเป็นเรื่องยากในต่อการบำรุงรักษาแบบคาดการณ์ล่วงหน้า (Predictive Maintenance) ด้วยวิธีการเสนอแนะว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการจัดการกับปัญหานี้ โดยการใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) สามารถช่วยในการทำนายอาการเสียก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง [1], [2]

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการพัฒนาสถาปัตยกรรมแพลตฟอร์มสำหรับประเมินประสิทธิภาพการทำนายอาการเสียล่วงหน้าของระบบ VRF โดยการใช้การเรียนรู้ของเครื่องผ่านชุดโปรแกรม RapidMiner Studio เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์อาการเสีย ลดต้นทุนการบำรุงรักษา และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ VRF บทความนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และสรุปผลการวิจัย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Predictive Maintenance เป็นแนวทางการบำรุงรักษาที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลและการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อทำนายอาการเสียของอุปกรณ์ก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง การเรียนรู้ของเครื่องสามารถช่วยให้เราสร้างตัวแบบที่มีความแม่นยำสูงในการทำนายอาการเสียของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยการใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งในระบบ VRF [3], [4] ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องหลายรูปแบบ เช่น Decision Tree, Support Vector Machine,

Naive Bayes และ Neural Networks เพื่อทำนายอาการเสียล่วงหน้า

อัลกอริทึมที่ผู้วิจัยใช้ในการตัดสินใจสำหรับการทำนายผลล่วงหน้าอาการเสียของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ประเภทปรับสารทำความเย็นแปรผันมีจำนวน 4 ประเภทของการเรียนรู้ของเครื่อง มีดังนี้

2.1 Decision Tree

Decision Tree เป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้โครงสร้างต้นไม้ในการตัดสินใจ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยตามคุณลักษณะที่สำคัญ ต้นไม้ประกอบด้วยโหนด (Node) และกิ่ง (Branch) ที่เชื่อมโยงโหนดต่าง ๆ ไปยังผลลัพธ์สุดท้าย การตัดสินใจจะเกิดจากการไหลของข้อมูลตามกิ่งที่เหมาะสม [5]

2.2 Support Vector Machine

Support Vector Machine (SVM) เป็นเทคนิคที่ใช้การแยกข้อมูลออกเป็นกลุ่มต่างๆ โดยหาพื้นที่ระหว่างกลุ่มข้อมูลที่กว้างที่สุด (Margin) และสร้างเส้นหรือไฮเปอร์เพลน (Hyperplane) ที่แยกกลุ่มข้อมูลได้อย่างชัดเจน มีประสิทธิภาพสูงในการจัดการข้อมูลที่มีมิติสูงและข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้น [6]

2.3 Naive Bayes

Naive Bayes ใช้ความน่าจะเป็นในการทำนายผลลัพธ์ โดยพิจารณาความน่าจะเป็นร่วมของคุณลักษณะต่าง ๆ ภายใต้สมมติฐานว่าคุณลักษณะแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน เป็นเทคนิคที่ง่ายและรวดเร็วในการฝึกแบบจำลองและทำนายผลลัพธ์ [7]

2.4 Neural Networks

Neural Networks ใช้โครงสร้างที่จำลองจากสมองมนุษย์ โดยสร้างโครงข่ายของนิวรอน (Neuron) ที่เชื่อมต่อกัน โครงข่ายประกอบด้วยชั้นนำเข้า (Input Layer), ชั้นซ่อน (Hidden Layer), และชั้นนำออก (Output Layer)

ซึ่งสามารถเรียนรู้รูปแบบที่ซับซ้อนได้โดยการปรับค่าการเชื่อมต่อระหว่างนิวรอน [8]

2.5 Predictive Maintenance

Predictive Maintenance (PdM) เป็นแนวทางการบำรุงรักษาที่ใช้เทคโนโลยีในการทำนายอาการเสียของอุปกรณ์ก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง โดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งในระบบและการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อคาดการณ์เวลาที่อุปกรณ์จะเกิดการเสียหายและทำการบำรุงรักษาล่วงหน้า แนวคิดของ Predictive Maintenance เน้นการป้องกันปัญหาก่อนที่จะเกิดขึ้น ลดเวลาหยุดทำงานของระบบ และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา [9], [10]

การใช้ Predictive Maintenance มีประโยชน์หลายประการ เช่น

2.5.1 ลดเวลาหยุดทำงานของระบบ (Downtime) การทำนายอาการเสีวล่วงหน้าช่วยให้สามารถวางแผนการบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่เหมาะสม ทำให้เวลาที่อุปกรณ์ต้องหยุดทำงานโดยไม่ได้วางแผนไว้

2.5.2 ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา การบำรุงรักษาในเชิงป้องกันช่วยลดความจำเป็นในการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่มีปัญหาใหญ่ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์หรือส่วนประกอบที่เสียหาย

2.5.3 ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ การบำรุงรักษาที่ถูกต้องและทันท่วงทีช่วยให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2.5.4 เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน การทำนายอาการเสีวล่วงหน้าช่วยให้การดำเนินงานของระบบเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การนำ Predictive Maintenance มาใช้ในระบบปรับอากาศ VRF มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากระบบ VRF มีความซับซ้อนและมีการทำงานที่ต่อเนื่อง การทำนายและ

ป้องกันอาการเสียของระบบ VRF จึงเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเพื่อลดเวลาหยุดทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูล

จากชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้รับจากทางบริษัท เบตเตอร์ คูล จำกัด นั้นมีการรวบรวมจากข้อมูลเซนเซอร์ในระบบ VRF ภายในข้อมูลที่รวบรวมได้ประกอบด้วยค่าจาก Pressure Sensor, Thermistor ในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในระบบ และข้อมูลสถานะการทำงานของระบบ ข้อมูลเหล่านี้ถูกจัดเก็บในไฟล์ประเภท *.CSV

3.2 การทำความสะอาดและเตรียมข้อมูล

ชุดข้อมูลได้ถูกนำมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดค่าที่ไม่ถูกต้องหรือขาดหายไป จากนั้นข้อมูลถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ของเครื่องโดยการใช้เทคนิคการแปลงข้อมูลต่าง ๆ เช่น การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบตัวเลข และการสร้างคุณลักษณะใหม่จากชุดข้อมูลที่มีอยู่ ตามแนวคิด และทฤษฎีของระบบปรับอากาศ

3.3 การสร้างตัวแบบ

ใช้ชุดโปรแกรม RapidMiner Studio ในการสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องหลายรูปแบบ ได้แก่ Decision Tree, Support Vector Machine, Naive Bayes และ Neural Networks โดยการใช้ข้อมูลที่ทำความสะอาดและปรับรูปแบบแล้วในการฝึกแบบจำลองแต่ละแบบ

3.4 การทดสอบและประเมินผล

ทดสอบแบบจำลอง [11] แต่ละแบบด้วยชุดข้อมูลทดสอบและประเมินประสิทธิภาพในรูปแบบ Classification ของแต่ละแบบจำลองจากการใช้ค่าต่าง ๆ ด้วยตาราง Confusion Matric [12] ดังภาพที่ 1 ได้แก่ ความแม่นยำ (Accuracy) ค่าความเที่ยง (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าถ่วงดุล (F-Measure) และพื้นที่ใต้โค้งเส้นโค้งอาร์โอซี (AUC) [13]

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP True Positive	FP False Positive
	Negative (0)	FN False Negative	TN True Negative

ภาพที่ 1 Confusion Matrix

โดยที่	TP	เป็นค่าที่ การเรียนรู้ของเครื่องสามารถตัดสินใจได้ถูกต้องตามที่คาดหวัง
	TN	เป็นค่าที่การเรียนรู้ของเครื่องสามารถตัดสินใจตรงกับค่าที่ไม่ได้คาดหวัง
	FP	เป็นค่าที่การเรียนรู้ของเครื่องตัดสินใจเป็นผลลบ แต่ไม่ตรงกับค่าที่คาดหวัง
	FN	เป็นค่าที่การเรียนรู้ของเครื่องตัดสินใจเป็นผลลบ และตรงกับค่าที่ไม่ได้คาดหวัง
	Accuracy	เป็นค่าความแม่นยำ ที่เกิดหลังการเรียนรู้ของเครื่อง เท่ากับ ผลบวกจริงรวมกับผลลบจริงหารด้วยจำนวนที่ทำนายทั้งหมด
	Precision	เป็นค่าความเที่ยง คือค่าที่เกิดขึ้นเมื่อทำซ้ำ ได้เหมือนเดิม
	Recall	เป็นค่าความระลึก คือค่าที่สนใจในค่าการทำนายที่เป็นจริงตรงตามข้อมูล
	F-Measure	ค่าถ่วงดุล คือค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความระลึก และค่าความเที่ยง

จากภาพที่ 1 Confusion Matrix นี้ทำให้สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพต่าง ๆ ของตัวแบบด้วยสมการที่ (1) - (4) และสมการที่ (5) - (6) ทำให้ทราบค่า AUC ดังต่อไปนี้

$$Accuracy = \frac{(TP+TN)}{(TP+FP+TN+FN)} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$F-Measure = \frac{2 \times (Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)} \quad (4)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (5)$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

จากสมการ (1) นี้ใช้การคำนวณค่าการทำนายที่ตรงกับการเรียนรู้รวมกับจำนวนที่ไม่ตรง หารด้วยผลรวมทั้งหมดทำให้ได้ค่าความแม่นยำ สมการ (2) ใช้ค่าการทำนายที่ตรงกับการเรียนรู้ หารด้วยผลรวมของการทำนายที่ถูกต้องทั้งหมดจะได้ค่าความเที่ยง สมการ (3) ใช้ค่าการทำนายที่ตรงกับการเรียนรู้ หารด้วยผลรวมของค่าที่ทำนายถูกต้องกับค่าที่ทำนายผิดพลาดจะได้ค่าความระลึก สมการ (4) ใช้ค่าความเที่ยงคูณกับค่าความระลึกมาคูณ 2 จากนั้นหารด้วยผลรวมกับระหว่าง ค่าความเที่ยงกับ ค่าความระลึกจะให้ทราบค่าถ่วงดุล

ในส่วนค่าพื้นที่ใต้โค้งเส้นโค้งอาร์โอซี (AUC) [14] จะได้หลังจากการนำค่าที่ได้จากคำนวณสมการ (5) เป็นค่าอัตราส่วนที่เครื่องทำนายผิดให้เป็นแกน x และคำนวณสมการ (6) เป็นค่าอัตราส่วนที่เครื่องทำนายผิดให้เป็นแกน y และนำมาพลอตกราฟทำให้ได้กราฟเส้นโค้งอาร์โอซี เมื่อได้เส้นกราฟแล้วนั้นทำการหาค่าพื้นที่ใต้โค้งเส้นอาร์โอซี ทำให้ทราบค่าของแต่ละตัวแบบ ดังตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้

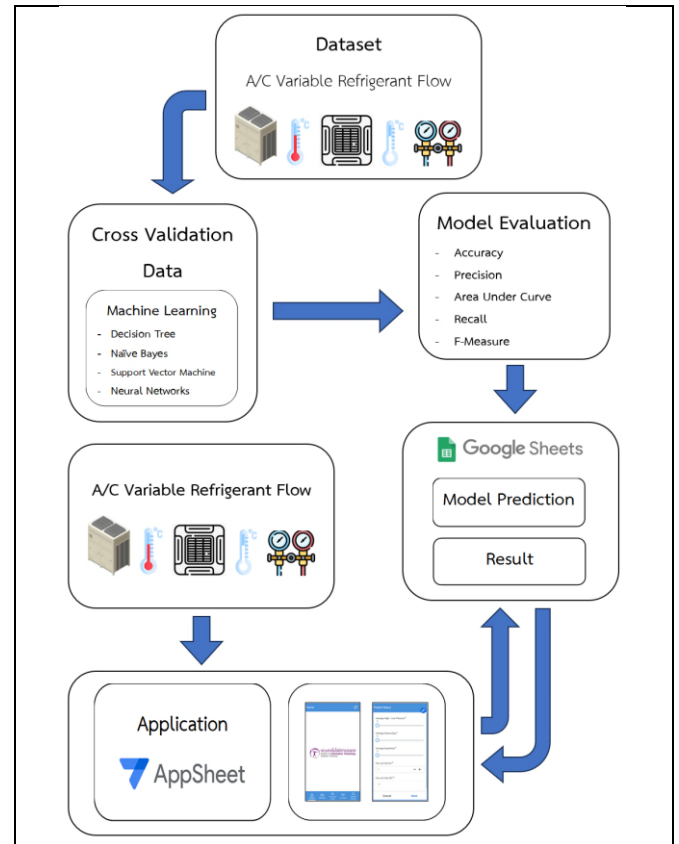
ตารางที่ 1 ค่าประสิทธิภาพตัวแบบ

Model	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F-Measure (%)	AUC (%)
Decision Tree	96.53	96.15	97.4	96.77	97.00
Support Vector Machine	92.54	89.34	97.78	93.37	99.00
Naïve Bayes	77.08	86.67	67.53	75.91	89.00
Neural Networks	97.22	98.67	96.1	97.37	100.00

จากตารางที่ 1 นี้ทำให้ทราบว่าค่าประสิทธิภาพที่สูงที่สุดได้จากตัวแบบที่ใช้อัลกอริทึมในการตัดสินใจเป็น Neural Networks ได้ ค่าความแม่นยำเท่ากับ 97.22% ค่าความเที่ยง 98.67% ค่าความระลึก 96.10% ค่าถ่วงดุล 97.37% ค่าพื้นที่ใต้โค้ง 100.00% จากค่าประสิทธิภาพที่ได้นี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาสถาปัตยกรรมแพลตฟอร์มสำหรับประเมินประสิทธิภาพการทำงานอาคารเสียล่วงหน้าของระบบปรับอากาศ VRF

4. ผลการวิจัย

ในส่วนของสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 2 นั้นประกอบไปด้วย ขั้นตอนการฝึกสอนจากชุดข้อมูลระบบเครื่องปรับอากาศ ด้วยวิธี Cross Validation สำหรับอัลกอริทึมทั้ง 4 ประเภท เมื่อได้ผลการประเมินประสิทธิภาพการเรียนรู้ของเครื่อง และผลการทำนาย จากนั้นนำอัลกอริทึมในการเรียนรู้ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดมาใช้ในการทำนาย โดยใช้งานแพลตฟอร์ม Google Sheet ในการเก็บข้อมูล รวมถึง Google Appsheet เป็นส่วนของการรับค่าและการแสดงผล



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมแพลตฟอร์มประเมินประสิทธิภาพการทำงาน

5. อภิปรายนผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Neural Networks มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำนายอาคารเสียล่วงหน้าของระบบ VRF เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ เช่น Decision Tree, Support Vector Machine, และ Naive Bayes. การใช้ Machine Learning ในการทำนายอาคารเสียล่วงหน้ามีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ VRF โดยเฉพาะในอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบ VRF

6. สรุปผลการวิจัย

การใช้แพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้สามารถคาดการณ์การบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุน

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

การบำรุงรักษา ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครื่องประอากาศแบบรวมศูนย์ ประเภทปรับสารทำความเย็นแปรผัน นอกจากนี้ยังช่วยลดการหยุดทำงานของระบบแบบกะทันหัน ซึ่งส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ ท่าน ศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ปรานีตพลกรัง และอาจารย์สุรศักดิ์ มั่งสิงห์ อาจารย์ที่ปรึกษา และคณะทำงานที่ให้คำปรึกษา สนับสนุนและแนะนำในงานวิจัยนี้ จนเสร็จสมบูรณ์

บรรณานุกรม

- [1] A. Jardine, D. Lin, and D. Banjevic, "A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 20, no. 7, pp. 1483-1510, 2006. doi: 10.1016/j.ymsp.2005.09.012.
- [2] P. Nunes, J. Santos, and E. Rocha, "Challenges in predictive maintenance – A review," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 40, pp. 53-67, Nov. 2022. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.11.004>.
- [3] R. Zhao, R. Yan, and Z. Liu, "Deep learning and its applications to machine health monitoring," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 115, pp. 213-237, 2018.
- [4] R. Kumar, M. Mishra, S. Suman, and P. S. Bali, "Predictive Maintenance in Industrial Systems Using Machine Learning," *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2024, doi: 10.38124/ijisrt/ijisrt24mar1367.
- [5] B. Charbuty and A. Abdulazeez, "Classification based on decision tree algorithm for machine learning," *Journal of Applied Science and Technology Trends*, vol. 2, no. 01, pp. 20-28, 2021.
- [6] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-vector networks," *Machine Learning*, vol. 20, no. 3, pp. 273-297, 1995.
- [7] T. N. Viet, H. Le Minh, H. Le Cong, and T. Anh, "The Naïve Bayes algorithm for learning data analytics," *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, vol. 12, no. 4, pp. 1038-1043, 2021.
- [8] S. Krishna, "Building an Artificial Neural Network (ANN)," *Medium*, <https://medium.com/@saikrishna3599/building-an-artificial-neural-network-ann-502a63d76fb3> (Accessed: June 30, 2020).
- [9] O. Serradilla, E. Zugasti, and U. Zurutuza, "Deep learning models for predictive maintenance: a survey, comparison, challenges and prospect," *arXiv*, vol. 2010.03207v1, Oct. 2020.
- [10] M. I. Ali, N. S. Lai, and R. Abdulla, "Predictive maintenance of rotational machinery using deep learning," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 14, no. 1, pp. 1112-1121, Feb. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i1.pp1112-1121.
- [11] T. Srivastava. "12 Important Model Evaluation Metrics for Machine Learning Everyone Should Know (Updated 2023)," [Online]. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2019/08/11-important-model-evaluation-error-metrics/> (Accessed: Jan 08, 2024).
- [12] Z. Đ. Vujović, "Classification Model Evaluation Metrics," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 12, no. 6, pp. 1-7, 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.0120670.
- [13] J. Davis and M. Goadrich, "The relationship between Precision-Recall and ROC curves," in *Proc. 23rd Int. Conf. Machine Learning (ICML)*, Pittsburgh, PA, USA, 2006, pp. 233-240.
- [14] T. Fawcett, "An introduction to ROC analysis," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 8, pp. 861-874, 2006.

การพัฒนาดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันการแพร่ระบาดโรคโควิด-19
สำหรับกลุ่มนักเรียนทหารในสังกัดกองทัพอากาศ

**A DEVELOPMENT OF DIGITAL PLATFORM FOR ENCOURAGING
PROTECTIVE BEHAVIOR AGAINST COVID-19 PANDEMIC
TO RTAF STUDENTS**

¹เฉลิมขวัญ ศิริพันธุ์ และ ²เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ

¹อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, s.chalermkwan@gmail.com

²อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, kiatkulchai@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ: โรคโควิด-19 (Corona Virus Disease , COVID-19) คือโรคติดต่อซึ่งเกิดจากไวรัสโคโรนาชนิดที่มีการค้นพบในปี พ.ศ.2562 (ค.ศ. 2019) ซึ่งเป็นโรคอุบัติใหม่หรือไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ (Novel Coronavirus) ที่ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจตั้งแต่โรคหัดธรรมดาจนถึงปอดอักเสบ (Pneumonia) ที่มีอาการรุนแรงถึงเสียชีวิตได้ ซึ่งการแพร่ระบาดลุกลามไปทั่วโลกทำให้เกิดการปฏิบัติตัวเชิงป้องกันของประชากรทั่วโลกที่เรียกว่า “ชีวิตวิถีใหม่” หรือ New Normal นั้น โดยแม้ปัจจุบันอาการของโรคโควิด-19 จะไม่รุนแรงเท่ากับการระบาดในช่วง 5 ปีแรก แต่ผลของการติดเชื้อโรคโควิด-19 ยังสามารถทำให้ผู้ติดเชื้อมีความเสี่ยงสูงโดยเฉพาะในผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ ทำให้มาตรการการรักษาระยะห่างทางสังคม (Social Distancing) หรือการให้ผู้ป่วยโรคโควิด-19 แยกตัวไปรักษาตนเองที่บ้านยังมีความจำเป็นในยุคปัจจุบัน เพราะการแพร่ระบาดยังคงสามารถดำเนินไปได้ในวงกว้างซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อหน่วยงานหรือองค์กรได้ ดังนั้น ในยุคดิจิทัล 4.0 นี้ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อใช้ในการประเมินปัจจัยปัจจัยการรับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 และพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 สำหรับนักเรียนทหารในสังกัดกองทัพอากาศ เนื่องด้วยนักเรียนทหารอยู่รวมกันเป็นหมู่คณะ มีกิจกรรมร่วมกันในช่วงเวลาต่อเนื่อง การติดเชื้อโรคโควิด-19 ของนักเรียนทหารอาจส่งผลกระทบต่อการแพร่ระบาดอย่างรวดเร็วและอาจส่งผลกระทบต่อการศึกษาของนักเรียนทหารได้ คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาชุดแบบสอบถามในรูปแบบดิจิทัลที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยการรับรู้ และปัจจัยพฤติกรรม ผ่านทางระบบที่ออกแบบด้วย Messaging API Chat Bot และพัฒนานาไลน์บอท (LINE Bot) ให้มีความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ตลอดเวลาอย่างอัตโนมัติ ซึ่งผลการใช้งานระบบดิจิทัลแพลตฟอร์มนี้จะนำข้อมูลกลุ่มอาสาสมัครจำนวน 300 คน ที่ทดลองตอบแบบสอบถามผ่านทางไลน์บอทบนสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์ ไปประมวลผลในรูปแบบค่าสถิติเพื่อประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อการติดเชื้อโรคโควิด-19 โดยผลจากการทดลองใช้ระบบดิจิทัลแพลตฟอร์มสามารถแสดงความสัมพันธ์ (Correlation) กับการทำนาย (Prediction) พฤติกรรมป้องกันการแพร่ระบาดโรคโควิด-19 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้บริหารสามารถนำข้อมูลที่ได้จากประเมินผ่านดิจิทัลแพลตฟอร์มไปใช้ในการตกลงใจในการดำเนินการเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ของนักเรียนทหาร เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดโรคโควิด-19 ต่อไปในอนาคตได้

คำสำคัญ: ดิจิทัลแพลตฟอร์ม, พฤติกรรมป้องกันการแพร่ระบาดโรคโควิด-19, ไลน์บอท, นักเรียนทหาร, กองทัพอากาศ

1. บทนำ

การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ โควิด-19 เป็นปัญหาที่สำคัญของทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคที่เกิดขึ้น ส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ในทุกด้าน ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม อุตสาหกรรม การค้า การท่องเที่ยว และการศึกษา [1] ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการประชาสัมพันธ์ให้มีการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ เช่น การสวมหน้ากากอนามัย การล้างมือ และการเว้นระยะห่าง อีกทั้งยังมีการประชาสัมพันธ์ให้เข้ารับการฉีดวัคซีนป้องกันโควิด-19 แต่จำนวนผู้ติดเชื้อยังไม่ลดลง ดังนั้น การส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 จึงมีความสำคัญและจำเป็น โดยเฉพาะในสถาบันการศึกษาซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากการแพร่ระบาดของเชื้อโรคในครั้งนี้

ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา นี้ เพื่อการลดผลกระทบจากการระบาดของโรคต่อการจัดการเรียนการสอน บุคลากร อาจารย์ ผู้สอน และนักเรียน สถาบันการศึกษาจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการเรียนการสอนตามมาตรการการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ นอกจากนี้ต้องมีการเตรียมความพร้อมของสถานที่ บุคลากร อาจารย์ ผู้สอน และนักเรียนให้พร้อมรับมือกับโรคโควิด-19 กองทัพอากาศมีสถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษาและต่ำกว่าระดับอุดมศึกษาในสังกัดของกองทัพอากาศ ได้แก่ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช วิทยาลัยพยาบาลทหารอากาศ กรมแพทย์ทหารอากาศ โรงเรียนจ่าอากาศ และโรงเรียนดุริยางค์ทหารอากาศ ยังคงมีการจัดการเรียนการสอนโดยปฏิบัติตามมาตรการการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ ทั้งนี้เนื่องจากบริบทของนักเรียนทหารต้องมีการรวมกลุ่มเพื่อฝึกระเบียบวินัย ต้องเข้ามาอยู่ในหอพัก ลักษณะนักเรียนประจำ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อไวรัสให้แก่นักเรียนทหารในสังกัดกองทัพอากาศ

ปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนประเทศไปสู่ประเทศไทย 4.0 ผู้เรียนสามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารและแหล่งเรียนรู้ที่ไร้ขีดจำกัด พัฒนาตนเองผ่านเทคโนโลยีการเรียนรู้สมัยใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้ด้านการศึกษา มีการกำหนดนโยบายและแผนการใช้ความก้าวหน้าเทคโนโลยีสารสนเทศดิจิทัล มาส่งเสริมด้านการศึกษา มุ่งพัฒนาผู้เรียนทุกระดับให้มีคุณลักษณะและทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ส่งเสริมให้น้องๆ ความสำเร็จและนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีดิจิทัลสมัยใหม่มาใช้ในทุกๆ ระดับการศึกษา เพื่อนำมาใช้ในการเรียนรู้ได้ตลอดชีวิต เช่น การใช้แพลตฟอร์ม แอปพลิเคชัน โมเดล เนื้อหา/สื่อการเรียนรู้ ในการเรียนการสอนของกองทัพอากาศได้ให้ความสำคัญของการพัฒนาองค์ความรู้ผ่านดิจิทัลแพลตฟอร์ม คณะผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญของการส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 ในนักเรียนทหาร สังกัดกองทัพอากาศ โดยการใช้ดิจิทัลแพลตฟอร์มเป็นเครื่องมือในการศึกษาถึงพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการส่งเสริมพฤติกรรมดังกล่าว รวมถึงการให้ความรู้ผ่านทางดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อศึกษาผลของการใช้ใช้ดิจิทัลแพลตฟอร์มต่อพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 ของนักเรียนทหารในสังกัดกองทัพอากาศ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อไวรัสโควิด-19 ให้แก่นักเรียนทหาร รวมถึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาองค์ความรู้ให้มีความสะดวก รวดเร็ว และเป็นต้นแบบในการส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 ให้กับกำลังพลกองทัพอากาศ และหน่วยงานอื่น ๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาปัจจัยการรับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 และพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19
- 2) เพื่อออกแบบและพัฒนาดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อประเมินพฤติกรรมป้องกันโควิด-19 สำหรับนักเรียนทหารในสังกัดกองทัพอากาศ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

3. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

[2] ได้ศึกษาแบบทดสอบความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด-19 และแบบสอบถามพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 โดยเลือกแบบเจาะจง กลุ่มตัวอย่างนักศึกษาพยาบาล ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยนานาชาติเทเรซา 85 คน และวิทยาลัยเซนต์หลุยส์ 128 คน โดยใช้ค่าทางสถิติในการศึกษา คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบไคส์แควร์ สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน โดยการแปลผลพฤติกรรม 3 ระดับคือ ระดับน้อย (3.1-2.33) ระดับกลาง (2.34-3.67) และระดับสูง (3.68-5.00)

[3] ศึกษาปัจจัยลักษณะส่วนบุคคลและความรู้เกี่ยวกับโควิด-19 และแบบสอบถามพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 โดยสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ นักศึกษาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ 340 คน ใช้เครื่องมือทางสถิติ คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบไคส์แควร์ สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน โดยแปลผลความรู้ออกมา 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (< 60) ระดับกลาง (60-79) และระดับสูง (>= 80) และแปลผลทางพฤติกรรม 3 ระดับ คือ ระดับน้อย (1-2.00) ระดับกลาง (2.01-3.00) และระดับสูง (3.01-4.00) เช่นเดียวกันกับ [4] ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยส่วนบุคคล ความรู้เกี่ยวกับโควิด-19 แบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยด้านการรับรู้ และแบบสอบถามพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 โดยสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิของประชาชนในเขตเทศบาลเมืองคอหงส์ จ.สงขลา 381 คน และใช้เครื่องมือทางสถิติเชิงพรรณนา และสถิติการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ ซึ่งการแปลผลด้านความรู้ได้ผลออกมา 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (< 60) ระดับกลาง (60-79) และระดับสูง (>= 80) และแปลผลทางพฤติกรรม 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (1-2.33) ระดับกลาง (2.34-3.67) และระดับสูง (3.68-5.00)

นอกจากนี้ [5] ได้ศึกษาพฤติกรรมและความเชื่อด้านสุขภาพ โดยสุ่มตัวอย่างแบบง่ายประชาชนใน ต.บางกระดี

อ.เมือง จ.ปทุมธานี 400 คน ซึ่งใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน และวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณในการวิจัย แสดงผลพฤติกรรมการป้องกันโควิด-19 แบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ ปฏิบัติเป็นประจำ ปฏิบัติบ่อยครั้ง ปฏิบัติบางครั้ง และไม่เคยปฏิบัติเลย

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อคำถามเพื่อการประเมินด้านพฤติกรรมการป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด-19 จากการศึกษาวิจัย รายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการคำถามประเมินพฤติกรรมการติดเชื้อโรคโควิด-19 จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายการคำถามพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด-19	ผู้แต่ง
ท่านไม่ล้างมือด้วยแอลกอฮอล์เจล เมื่อมือเปื้อนสารคัดหลั่ง เช่น น้ำลาย น้ำมูก เสมหะ	บงกช โมระสกุล และ พรศิริ พันธศรี (2564) ดวงพร กตัญญูตานนท์ และคณะ (2564) เพ็ญศรี หงษ์พานิช (2564)
ท่านใช้ทิชชูปิดปากทุกครั้งที่มีอาการไอหรือจามและทิ้งกระดาษทิชชูในถังขยะที่มีฝาปิดทันที	บงกช โมระสกุล และ พรศิริ พันธศรี (2564)
เมื่อรู้สึกรู้ว่าจะไอหรือจาม แล้วไม่มีทิชชู ท่านใช้การไอ จาม ใส่ข้อศอก โดยยกแขนข้างใดข้างหนึ่งมาจับจับไหล่ตัวเองฝั่งตรงข้าม และยกมุมข้อศอกปิดปากและจมูกตนเองก่อนไอ จาม ทุกครั้ง	บงกช โมระสกุล และ พรศิริ พันธศรี (2564) เพ็ญศรี หงษ์พานิช (2564) นาริมะห์ แวปูตะ คันธมาพันธ์ กาญจนภูมิ และกัลยา ต้นสกุล (2562)

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ตารางที่ 1 รายการคำถามประเมินพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

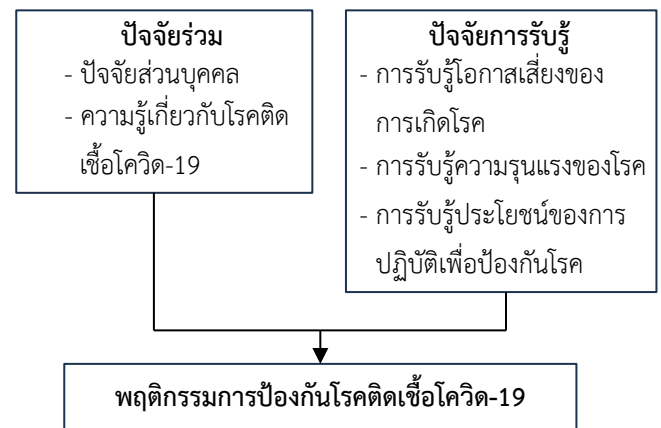
รายการคำถามพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด-19	ผู้แต่ง
ท่านใช้หน้ากากอนามัยหรือหน้ากากผ้า กรณีจำเป็นต้องพบปะกับผู้อื่น และรักษาระยะห่าง	บงกช โมระสกุล และ พรศิริ พันธศรี (2564) ดวงพร กตัญญูตานนท์ และ คณະ (2564) เพ็ญศรี หงษ์พานิช (2564) นารีมะห์ แวปูเตะ คันธมาพันธ์ กาญจนภูมิ และ กัลยา ต้นสกุล (2562)
ท่านแยกรับประทานอาหารชุดของตัวเอง ไม่ใช่ภาชนะร่วมกัน	บงกช โมระสกุล และ พรศิริ พันธศรี (2564) เพ็ญศรี หงษ์พานิช (2564)
ท่านนอนหลับวันละ 8-10 ชั่วโมง	บงกช โมระสกุล และ พรศิริ พันธศรี (2564) นารีมะห์ แวปูเตะ คันธมาพันธ์ กาญจนภูมิ และ กัลยา ต้นสกุล (2562)
ไม่แตะต้องตา จมูก ปาก ก่อนล้างมือให้สะอาด	เพ็ญศรี หงษ์พานิช (2564) นารีมะห์ แวปูเตะ คันธมาพันธ์ กาญจนภูมิ และ กัลยา ต้นสกุล (2562)
ถ้าท่านจำเป็นต้องออกนอกบ้าน เมื่อกลับถึงบ้าน ท่านรีบล้างมือด้วยสบู่และทำความสะอาดร่างกาย	บงกช โมระสกุล และ พรศิริ พันธศรี (2564) ดวงพร กตัญญูตานนท์ และ คณະ (2564) นารีมะห์ แวปูเตะ คันธมาพันธ์ กาญจนภูมิ และ กัลยา ต้นสกุล (2562)

ตารางที่ 1 รายการคำถามประเมินพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

รายการคำถามพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด-19	ผู้แต่ง
หลีกเลี่ยงการอยู่ในที่มีคนหนาแน่น	เพ็ญศรี หงษ์พานิช (2564) นารีมะห์ แวปูเตะ คันธมาพันธ์ กาญจนภูมิ และ กัลยา ต้นสกุล (2562)
ออกกำลังกายสม่ำเสมอเป็นประจำ	เพ็ญศรี หงษ์พานิช (2564) นารีมะห์ แวปูเตะ คันธมาพันธ์ กาญจนภูมิ และ กัลยา ต้นสกุล (2562)
ติดตามสถานการณ์เกี่ยวกับการป้องกันโรคไวรัสโควิด 19 จากสื่อที่เผยแพร่โดยกระทรวงสาธารณสุข	นารีมะห์ แวปูเตะ คันธมาพันธ์ กาญจนภูมิ และ กัลยา ต้นสกุล (2562)

4. การดำเนินการวิจัย

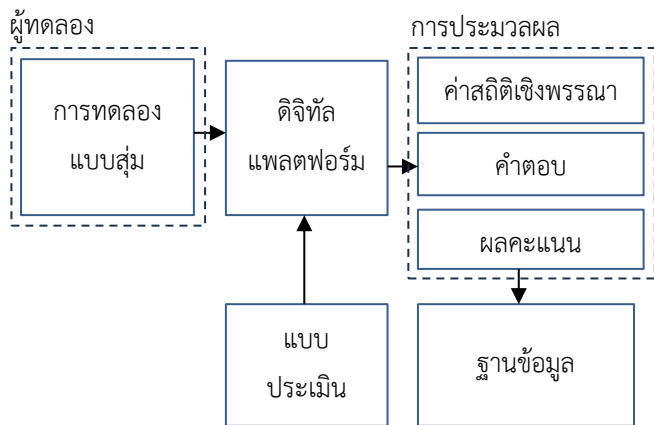
คณะผู้วิจัยได้พัฒนากรอบแนวคิดในการดำเนินการวิจัย ดังแสดงตามภาพที่ 1 ซึ่งประยุกต์จาก [6] และ [7]



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

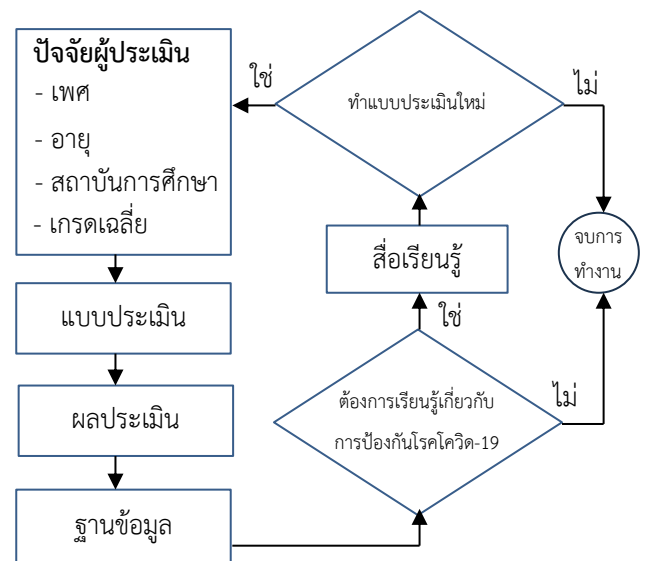
จากภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยร่วมและปัจจัยการรับรู้ ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อโควิด-19 โดยคณะผู้วิจัยได้พัฒนาแบบประเมินปัจจัยซึ่งรายการคำถามในแบบประเมินได้จากกระบวนการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งแบบประเมินดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาระบบดิจิทัลแพลตฟอร์ม



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการพัฒนาาระบบดิจิทัลแพลตฟอร์ม

งานวิจัยนี้พัฒนาแอปพลิเคชันไลน์บอท (Line Bot Application) ใช้ชื่อว่า “น้องเซพี” เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลการประเมิน การประมวลผล และการประเมินผล โดยผลการประเมินจะถูกเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับนโยบายการป้องกันการติดเชื้อโรคโควิด-19 ซึ่งการพัฒนาาระบบแสดงตามกรอบแนวคิดตามภาพที่ 2 ส่วนในด้านการออกแบบดิจิทัลแพลตฟอร์มหรือไลน์บอทในงานวิจัยนี้มีการทำงานดังแสดงตามภาพที่ 3 ซึ่งการใช้งานไลน์บอทจะเริ่มจากผู้ประเมินต้องใส่ข้อมูลส่วนบุคคล คือ เพศ อายุ สถาบันการศึกษา และเกรดเฉลี่ยสะสม จากนั้นไลน์บอทจะส่งรายการคำถามแบบอัตโนมัติให้ผู้ประเมินทำการตอบ ซึ่งข้อมูลคำตอบจะถูกนำไปประเมินผลด้วยค่าสถิติและจัดเก็บผลการประเมินในฐานข้อมูล โดยผล

การประเมินจะแสดงให้ผู้ประเมินทราบหลังทำการตอบคำถามเสร็จสิ้น ซึ่งไลน์บอทจะเสนอสื่อการเรียนรู้ให้ผู้ประเมินได้ศึกษา รวมถึงการทำแบบประเมินใหม่อีกครั้ง และถ้าหากผู้ประเมินไม่ประสงค์จะดำเนินรายการใด ๆ ต่อ ไลน์บอทจึงปิดการทำงาน



ภาพที่ 3 การออกแบบการทำงานดิจิทัลแพลตฟอร์ม

โดยผลการประเมินแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการประเมินปัจจัยการรับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 และปัจจัยพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อโควิด-19 โดยระดับคะแนนการประเมินปัจจัยการรับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งลักษณะการถามต้องการคำตอบคือ ใช่ และ ไม่ใช่ ตัวอย่างคำถาม เช่น ผู้ที่ติดเชื้อโควิด-19 แต่ไม่มีอาการใช้ ไม่สามารถจะส่งต่อเชื้อไวรัสให้คนอื่นได้ ส่วนระดับผลการประเมินปัจจัยพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อโควิด-19 ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งลักษณะการถามปลายปิดที่จะมีตัวเลือกให้ผู้ตอบแบบสอบถามตอบตามระดับความเห็นด้วย 5 ระดับตามมาตรวัดของลิเคิร์ต (Likert Scale) คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ตัวอย่างคำถาม เช่น ท่านตรวจหาเชื้อโควิด-19 (ATK) ก่อน
เข้าโรงเรียนทุกสัปดาห์

ตารางที่ 2 ระดับคะแนนและผลการประเมินปัจจัยการรับรู้
การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19

ระดับคะแนน	การตีความ/ข้อความแสดงผล
$x \leq 3$	ระดับการรับรู้ในการป้องกันการติดเชื้อโรค โควิด-19 ของคุณอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก
$3 < x \leq 6$	ระดับการรับรู้ในการป้องกันการติดเชื้อโรค โควิด-19 ของคุณอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
$6 < x \leq 9$	ระดับการรับรู้ในการป้องกันการติดเชื้อโรค โควิด-19 ของคุณอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
$x > 9$	ระดับการรับรู้ในการป้องกันการติดเชื้อโรค โควิด-19 ของคุณอยู่ในเกณฑ์ดี

ตารางที่ 3 ระดับคะแนนและผลการประเมินปัจจัย
พฤติกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อโควิด-19

ระดับคะแนน	การตีความ/ข้อความแสดงผล
33.68-50	พฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 ระดับดี
1-33.67	พฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 ระดับไม่ดี

เมื่อผู้ประเมินตอบแบบสอบถามผ่านเครื่องมือดิจิทัล
แพลตฟอร์ม โดยอัลกอริทึมของไลน์บอททำการคำนวณผล
คะแนนในแต่ละปัจจัยเพื่อดูทิศทางความสัมพันธ์ระหว่าง
ปัจจัยหรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation
Coefficient, r) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย
โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คำนวณได้ตามสูตรที่ (1)

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

นอกจากนี้ อัลกอริทึมสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์
ระหว่างปัจจัย ซึ่งได้แก่ตัวประมาณการ (Predictor, X) และ
ตัวตอบสนอง (Response, y) โดยเป็นความสัมพันธ์แบบเชิง
เส้น (Linear) สำหรับการทำนาย (Prediction) ด้วยการ
วิเคราะห์การถดถอย (Regression) ซึ่งคำนวณได้ตามสมการ
ที่ (2)

$$y = ax + b \quad (2)$$

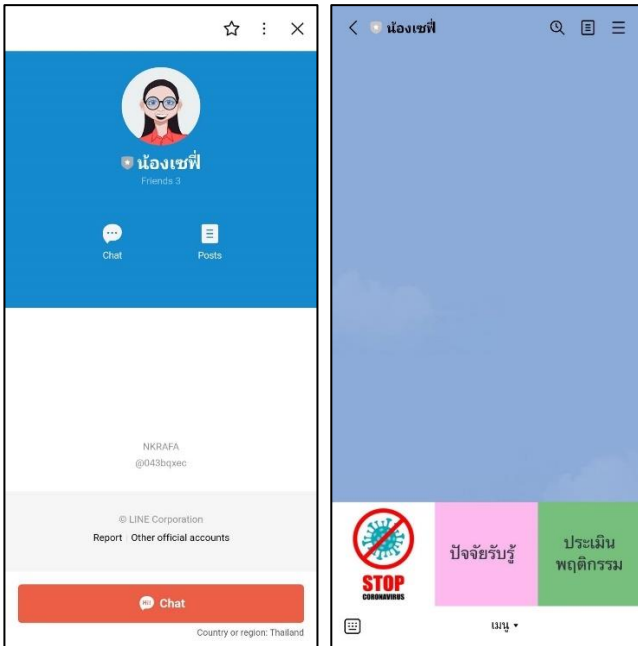
อัลกอริทึมของระบบดิจิทัลแพลตฟอร์มนี้สามารถ
ประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ จากข้อมูลของผู้ทำ
ประเมิน ยกตัวอย่าง เช่น เกรดเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กับผล
การประเมินปัจจัยการรับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19
หรือไม่ ถ้ามี เกรดเฉลี่ยสามารถใช้ทำนายผลการประเมิน
ปัจจัยการรับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 หรือไม่ เป็น
ต้น ซึ่งกระบวนการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และการ
วิเคราะห์การถดถอยระหว่างปัจจัยสามารถทำได้ด้วยระบบ
หลังบ้านของไลน์บอทโดยผู้ดูแลระบบ

5. ผลการศึกษา

คณะผู้วิจัยได้พัฒนาแบบสอบถามบนพื้นฐานของการ
ทบทวนวรรณกรรมใน 3 ส่วนหลัก คือ ปัจจัยส่วนบุคคลของ
ผู้ประเมิน ปัจจัยการรับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19
และปัจจัยพฤติกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อโควิด-19 ผ่าน
ทางแบบประเมินในรูปแบบดิจิทัล และเขียนโปรแกรม
พัฒนาไลน์บอทเพื่อเป็นเครื่องมือการประเมินสำหรับ
นักเรียนทหารสังกัดกองทัพอากาศ โดยที่อัลกอริทึมของไลน์
บอทจะนำข้อมูลที่ผู้ประเมินตอบคำถามไปประเมินและ
แสดงผลให้ผู้ประเมินทราบตามระดับคะแนนในตารางที่ 2
และ 3 ตามลำดับ นอกจากนี้ข้อมูลการตอบคำถามทั้งหมด
จากผู้ตอบคำถามจะถูกนำไปคำนวณทางสถิติในรูปแบบค่า
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและการวิเคราะห์การ
ถดถอยด้วย ซึ่งการพัฒนาเริ่มจากการออกแบบและ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

พัฒนาส่วนผู้ใช้งานของไลน์บอท (User Interface) ดังแสดง
ได้ตามภาพที่ 4



(ก)

(ข)

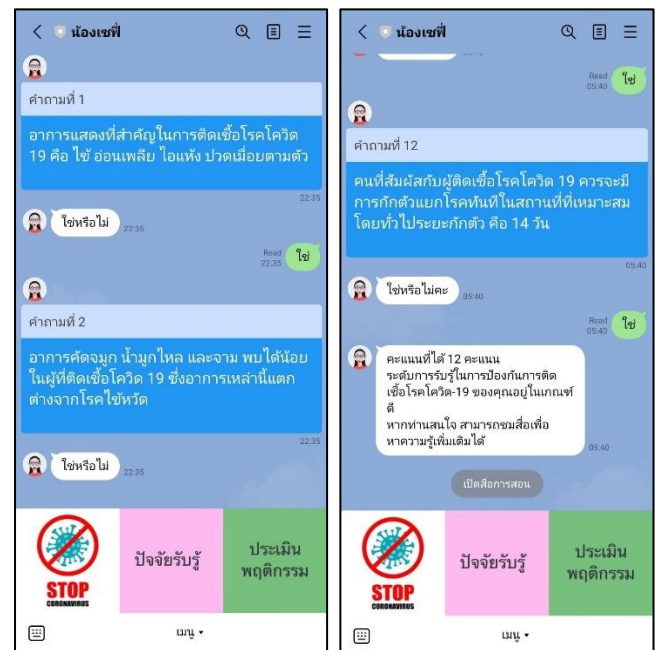
ภาพที่ 4 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานของไลน์บอท “น้องเซพี”



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

จากตัวอย่างการใช้งานระบบ ผู้ใช้งานสามารถทำ
แบบสอบถามจากการเข้าหน้า Chat ของไลน์บอท ตามรูปที่
4 (ก) และเลือกเมนูปัจจัยการรับรู้และประเมินพฤติกรรม
ตามรูปที่ 4 (ข) จากนั้นไลน์บอทจะมีข้อความอัตโนมัติเพื่อ
ถามข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้งาน และแสดงผลข้อมูล
ดังกล่าว ดังแสดงตามภาพที่ 5

เมื่อผู้ตอบแบบสอบถามเลือกการประเมินปัจจัยการ
รับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 ไลน์บอทจะส่งคำถาม
แบบอัตโนมัติให้ผู้ตอบเลือกตอบ และเมื่อผู้ใช้งานตอบ
คำถามเสร็จสิ้นแล้ว ไลน์บอทจะแสดงผลระดับคะแนนให้
ผู้ใช้งานทราบ ดังแสดงตามรูปที่ 6



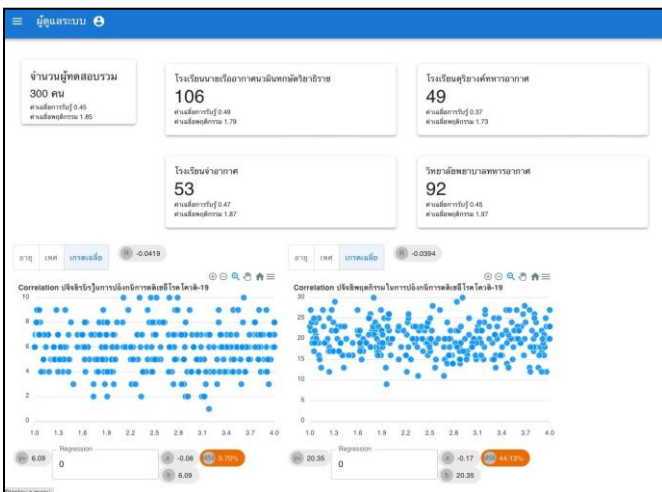
ภาพที่ 6 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลปัจจัยการรับรู้

และเมื่อผู้ตอบแบบสอบถามเลือกการประเมินปัจจัย
พฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 ไลน์บอทจะส่ง
คำถามแบบอัตโนมัติให้ผู้ตอบเลือกตอบ และเมื่อผู้ใช้งาน
ตอบคำถามเสร็จสิ้นแล้ว ไลน์บอทจะแสดงผลระดับคะแนน
ให้ผู้ใช้งานทราบ ดังแสดงตามรูปที่ 7

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลปัจจัยพฤติกรรม



ภาพที่ 8 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลทางสถิติ

ในส่วนของการนำข้อมูลผลการประเมินไปคำนวณค่าทางสถิติ คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองระบบโดยใช้อาสาสมัครจำนวน 300 คน ทำการตอบแบบสอบถามผ่านทางไลน์บอท โดยให้สมมติปัจจัยส่วนบุคคล คือ อายุ เพศ สถานบ้าน และเกรดเฉลี่ย จากนั้นจึงเปิดส่วนการแสดงผลค่า

ทางสถิติจากระบบไลน์บอท ปรากฏว่าไลน์บอทสามารถแสดงค่าทางสถิติในรูปแบบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและการวิเคราะห์การถดถอยได้ ดังแสดงตามภาพที่ 8

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาดิจิทัลแพลตฟอร์มซึ่งเป็นไลน์บอทชื่อว่าน้องเซพี สำหรับเป็นต้นแบบใช้ในการประเมินปัจจัยการรับรู้การป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 และปัจจัยพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 ของนักเรียนทหารในสังกัดกองทัพอากาศ รวมถึงการหาค่าทางสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายปัจจัยต่าง ๆ ว่ามีผลต่อพฤติกรรมป้องกันการติดเชื้อโควิด-19 หรือไม่

คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาชุดแบบสอบถามในรูปแบบดิจิทัลที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยการรับรู้ และปัจจัยพฤติกรรม ผ่านทางระบบที่ออกแบบด้วย Messaging API Chat Bot และพัฒนาไลน์บอทให้มีความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้จนได้ตลอดเวลาอย่างอัตโนมัติ ซึ่งผลการใช้งานระบบดิจิทัลแพลตฟอร์มนี้สามารถแสดงผลระดับการประเมินของผู้ใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ และระบบสามารถประมวลผลในรูปแบบค่าสถิติเพื่อประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อการติดเชื้อโรคโควิด-19 โดยผลจากการทดลองใช้ระบบดิจิทัลแพลตฟอร์มสามารถแสดงความสัมพันธ์กับการทำนายพฤติกรรมป้องกันการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้บริหารสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินผ่านดิจิทัลแพลตฟอร์มไปใช้ในการตกลงใจในการดำเนินการเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ของนักเรียนทหารเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ต่อไปในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ
การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเป็นอย่างยิ่ง คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาและกลั่นกรองโครงการทุกท่านที่ได้กรุณาเสียสละเวลามาเป็น

อาจารย์ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบ แก้ไข และติดตาม
ความคืบหน้า ตลอดจนมอบความกรุณาดูแลเอาใจใส่ในการ
ทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมโรค (2564). โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019: Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข.
- [2] บงกช โมระสกุล และ พรศิริ พันธศรี (2564). ความรู้ และพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 ของนักศึกษาพยาบาลชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยนานาชาติเซนต์เทเรซา และ วิทยาลัยเซนต์หลุยส์. วารสารศุนย์อนามัยที่ 9, 15(37), 179-195.
- [3] ดวงพร กตัญญูตานนท์ และคณะ (2564). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 ของนักศึกษาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, 7(1), 8-20.
- [4] อภิวดี อินทเจริญ และคณะ (2564). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ของประชาชนในเขตเทศบาลเมืองคอหงส์ จังหวัดสงขลา. วารสารสภาการสาธารณสุขชุมชน, 3(2), 19-30.
- [5] กิตติศักดิ์ แก้วเรือง และคณะ (2565). ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการดำเนินงานควบคุมโรคโควิด 19 ในชุมชน ของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.). วารสารสภาการสาธารณสุขชุมชน, 4(2), 21-32.
- [6] Becker, M.H. (1974). The Health Belief Model and Personal Health Behavior. Health Education Monographs, 2, 324- 508.
- [7] Bloom, B. S. (1964). Taxonomy of educational objectives: The classification of educational objectives. Handbook I: The cognitive domain. New York: McKay.

บทความทางด้านเทคโนโลยี
อากาศยานและโดรน
(Aircraft and drone)

การออกแบบและพัฒนาฮาร์ดแวร์สำหรับพารามอเตอร์ไร้คนขับ

Hardware Design and Development for Unmanned Powered Paramotor

นวพล รักษาพงษ์¹ (Nawapol Raksapong)¹

เจนวิทย์ คำพูล² (Jane-wit Kamphoon)²

สุคนธ์ พันธุ์เนร³ (Sukon Puntunan)³

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (nawapol_r@rtaf.mi.th)

²รองศาสตราจารย์ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (janewit_kamp@rtaf.mi.th)

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (sukon_pun@rtaf.mi.th)

บทคัดย่อ: พารามอเตอร์ไร้คนขับ เป็นอากาศยานขนาดเล็กที่มีระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ มีองค์ประกอบสำคัญที่ประกอบไปด้วย รม ลำตัวและโครงสร้าง ระบบขับเคลื่อน แบตเตอรี่และระบบควบคุมการบิน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์สำหรับพารามอเตอร์ไร้คนขับเพื่อให้พารามอเตอร์ไร้คนขับมีน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก และยังสามารถรองรับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง สามารถใช้งานร่วมกับระบบควบคุมการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การออกแบบและสร้างลำตัวที่เป็นโครงสร้างของพารามอเตอร์ไร้คนขับ และการออกแบบระบบควบคุมการบิน ผลการวิจัย ทำให้ได้พารามอเตอร์ไร้คนขับพร้อมระบบควบคุมการบิน ผลการบินทดสอบพบว่า พารามอเตอร์ไร้คนขับที่ได้มีระยะเวลาบินได้นานมากกว่า 10 นาที และระบบควบคุมการบินสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

คำสำคัญ: การออกแบบโครงสร้าง, พารามอเตอร์ไร้คนขับ, ระบบควบคุมการบิน

1. บทนำ

พารามอเตอร์ เป็นอากาศยานขนาดเล็กที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ซึ่งหลายคนจะนึกถึงอากาศยานที่ประกอบไปด้วยร่ม ลำตัวและโครงสร้างที่คนสามารถขึ้นไปได้ และระบบขับเคลื่อนที่เป็นเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังมีพารามอเตอร์ที่เป็นแบบวิทยุบังคับไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กลงมา มีน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาพารามอเตอร์บังคับให้เป็นพารามอเตอร์ไร้คนขับ ซึ่งจะต้องมีระบบควบคุมการบินเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของพารามอเตอร์ไร้คนขับ

งานวิจัยนี้ต้องการที่จะออกแบบและพัฒนาฮาร์ดแวร์สำหรับพารามอเตอร์ไร้คนขับ เนื่องจากพารามอเตอร์บังคับเดิมที่จะนำระบบควบคุมการบินมาติดตั้งนั้น มีพื้นที่สำหรับรองรับอุปกรณ์และระยะเวลาในการบินที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาทำงานร่วมกับระบบควบคุมการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นที่จะออกแบบและสร้างลำตัวของพารามอเตอร์บังคับใหม่ เพื่อที่จะพัฒนาเป็นพารามอเตอร์ไร้คนขับ สามารถรองรับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับระบบควบคุมการบินได้ มีระยะเวลาในการบินที่เหมาะสมสำหรับนำมาทดสอบกับระบบควบคุมการบิน และออกแบบระบบควบคุมการบินให้สามารถใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 ออกแบบและพัฒนาโครงสร้างในส่วนของลำตัวสำหรับพารามอเตอร์ไร้คนขับ

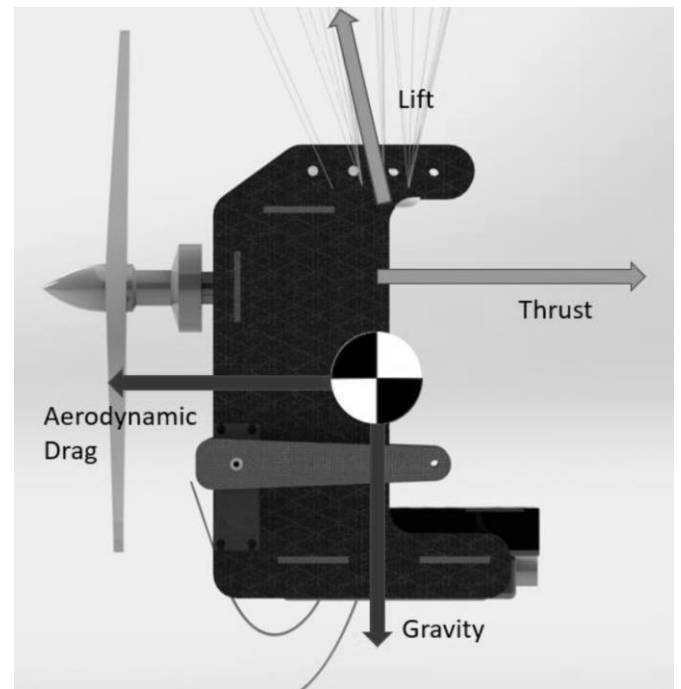
2.2 ออกแบบระบบควบคุมการบินในส่วนของฮาร์ดแวร์สำหรับพารามอเตอร์ไร้คนขับ

2.3 ออกแบบพารามอเตอร์ไร้คนขับให้มีระยะเวลาในการบิน 10 นาทีขึ้นไป

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อากาศพลศาสตร์ของพารามอเตอร์ เป็นศาสตร์ที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศและการกระทำของแรงที่เกิดขึ้นกับพารามอเตอร์ เพื่อให้สามารถบินได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ดังนั้น แรงยก (Lift) เป็นแรงที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านร่มที่ทำหน้าที่เหมือนปีกของพารามอเตอร์ แรงยก

จะเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความเร็และความดันอากาศที่ไหลผ่านด้านบนและด้านล่างของปีก แรงยกช่วยยกพารามอเตอร์ขึ้นจากพื้นและทำให้สามารถบินได้, แรงต้าน (Drag) เป็นแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการต้านทานของอากาศต่อการเคลื่อนที่ของพารามอเตอร์, แรงขับ (Thrust) เป็นแรงที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์และใบพัดของพารามอเตอร์ แรงขับจะช่วยให้พารามอเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและช่วยสร้างแรงยก, แรงโน้มถ่วง (Gravity) เป็นแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของพารามอเตอร์ แรงโน้มถ่วงจะดึงพารามอเตอร์ลงสู่พื้น แรงนี้ต้องถูกต่อต้านโดยแรงยกเพื่อให้พารามอเตอร์บินได้ดังแสดงในรูปที่ 1



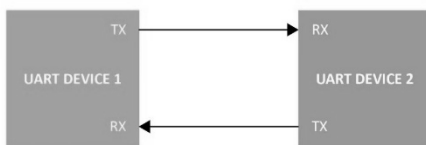
รูปที่ 1 อากาศพลศาสตร์ของพารามอเตอร์

คาร์บอนไฟเบอร์ เป็น วัสดุคอมโพสิตที่เกิดจากการนำวัสดุ 2 ชนิดมาประกอบกันเพื่อคุณสมบัติที่ดีขึ้นกว่าเดิม ในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ ได้ประโยชน์จากความแข็งแรงของคอมโพสิตในแง่ของการออกแบบโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาจะเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมกับคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีขนาด 1 ตารางเมตร ความหนา 6 มิลลิเมตร เท่ากัน อลูมิเนียมจะมีน้ำหนัก 16.2 กิโลกรัม คาร์บอนไฟเบอร์จะมีน้ำหนัก 9.3 กิโลกรัม

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

The Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) เป็นช่องทางการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม ใช้รับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) เป็นการรับส่งข้อมูลที่ไม่ต้องซิงโครนัสกับสัญญาณนาฬิกา ผู้ใช้สามารถกำหนดรูปแบบที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล โดยกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลในหน่วยบิตต่อวินาทีหรือบอดเรท (Baud rate) กับอุปกรณ์ที่จะใช้ติดต่อสื่อสารให้มีค่าตรงกัน จะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ดังแสดงในรูปที่ 2

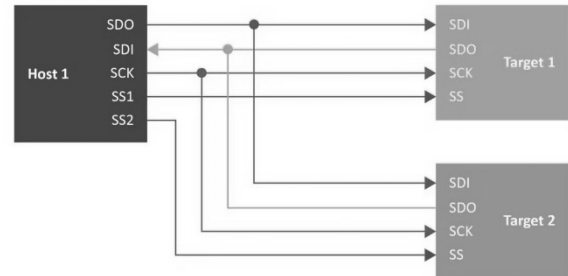
Basic UART Network



รูปที่ 2 The Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

The Serial Peripheral Interface (SPI) เป็นช่องทางการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม ใช้รับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์, เซ็นเซอร์, หน่วยความจำ และอุปกรณ์แสดงผล รับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous) จะอาศัยสัญญาณนาฬิกา (Clock signal) เป็นตัวกำหนดจังหวะในการรับส่งข้อมูล สามารถตั้งค่าการรับส่งข้อมูลจาก Host 1 ให้เป็นชิพหลักในการส่งข้อมูล และเลือกรับส่งข้อมูลจาก Target 1, Target 2 เพื่อนำมาประมวลผลได้ดังแสดงในรูปที่ 3

Basic SPI Network with Multiple Target Devices



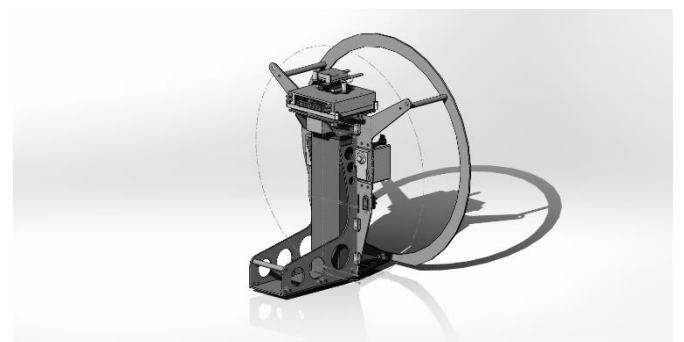
รูปที่ 3 The Serial Peripheral Interface (SPI)

4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 การออกแบบลำตัวและโครงสร้าง

4.1.1 การเลือกวัสดุสร้างลำตัว ลำตัวเดิมของพารามอเตอร์บังคับเป็นอลูมิเนียมทั้งลำตัว ทำให้ส่วนลำตัวมีน้ำหนักมาก จึงเลือกใช้วัสดุที่เป็นคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีน้ำหนักเบากว่า มีความแข็งแรงใกล้เคียงกันมาทดแทน

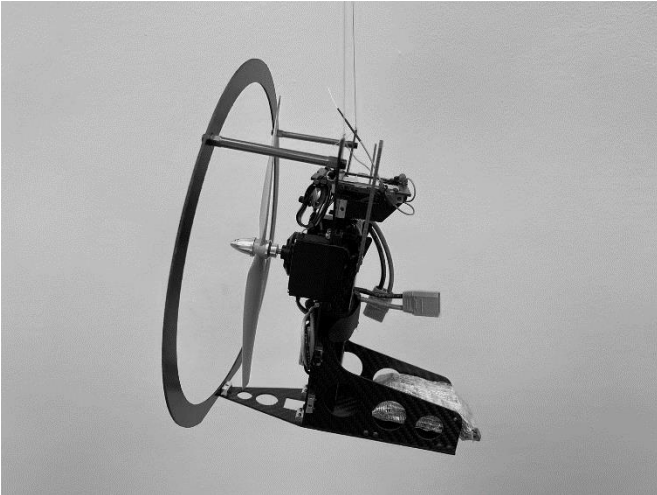
4.1.2 การออกแบบเพื่อรองรับอุปกรณ์ เนื่องจากต้องการเพิ่มขนาดแบตเตอรี่ที่มากกว่าเดิม และมีชุดระบบควบคุมการบินเป็นอีกหนึ่งของส่วนประกอบที่เพิ่มขึ้นมา จึงต้องออกแบบลำตัวและโครงสร้างใหม่ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การออกแบบเพื่อรองรับอุปกรณ์

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

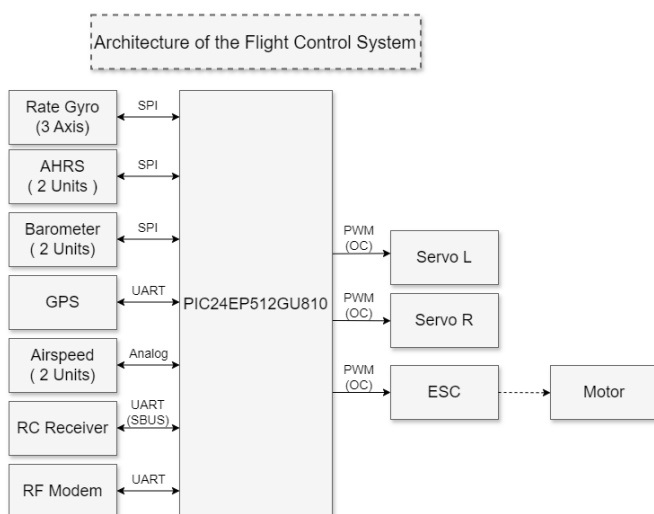
4.1.3 การออกแบบเพื่อความเสถียร เนื่องจากแรงขับของพารามอเตอร์สัมพันธ์กับมุมปะทะ ถ้ามีแรงขับมากเกินไปจะส่งผลให้มีมุมปะทะมากขึ้นเช่นกัน จนอาจเกิดสภาวะร่วงหล่น จึงต้องออกแบบให้มีน้ำหนักที่เหมาะสมต่อการบินดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การออกแบบเพื่อความเสถียร

4.2 การออกแบบระบบควบคุมการบิน

การออกแบบฮาร์ดแวร์ระบบควบคุมการบิน นั้นจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนการรับข้อมูล, ส่วนการประมวลผล และส่วนของผลลัพท์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การออกแบบระบบควบคุมการบิน

ในส่วนของการรับข้อมูล จะมี Rate Gyro มี 3 แกน คือแกน x, แกน y, แกน z วัดค่าความเร็วเชิงมุม และส่งข้อมูลผ่าน SPI ไปยังส่วนการประมวลผล, Attitude and Heading Reference System (AHRS) วัดลักษณะท่าทางและทิศทาง และส่งข้อมูลผ่าน SPI ไปยังส่วนการประมวลผล, Barometer วัดค่าความกดอากาศ และส่งข้อมูลผ่าน SPI ไปยังส่วนการประมวลผล, Global Positioning System (GPS) รับค่าตำแหน่งบนพื้นโลก และส่งข้อมูลผ่าน UART ไปยังส่วนการประมวลผล, Airspeed วัดค่าความเร็วลม และส่งข้อมูลแบบ Analog ไปยังส่วนการประมวลผล, RC Receiver รับสัญญาณจากรีโมท และส่งข้อมูลผ่าน UART (SBUS) ไปยังส่วนการประมวลผล, RF Modem รับส่งสัญญาณวิทยุ และส่งข้อมูลผ่าน UART ไปยังส่วนการประมวลผล ในส่วนของการประมวลผล จะใช้ชิป PIC24EP512GU810 ในส่วนของเอาต์พุต จะเป็น Pulse Width Modulation (PWM) ออกจากส่วนของการประมวลผล ออกมาควบคุม Servo L, Servo R เพื่อบังคับทิศทางซ้ายหรือขวาของพารามอเตอร์ และส่วนของ Electronic Speed Control (ESC) เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์

5. ผลการทดลอง

จากพารามอเตอร์บังคับเดิมที่โครงสร้างลำตัวใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 7 ผ่านการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างลำตัวใหม่ โดยเปลี่ยนมาใช้วัสดุคาร์บอนไฟเบอร์ ดังแสดงในรูปที่ 8

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



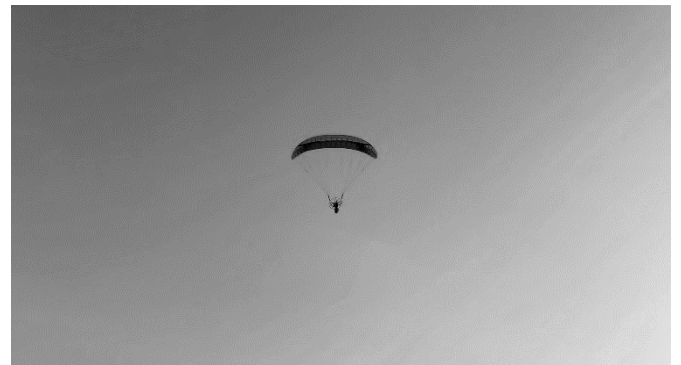
รูปที่ 7 โครงสร้างลำตัวที่เป็นอลูมิเนียม



รูปที่ 8 โครงสร้างลำตัวที่เป็นคาร์บอนไฟเบอร์

นำพารามอเตอร์บังคับเดิมที่โครงสร้างลำตัวเป็นอลูมิเนียมไปบินทดสอบดังแสดงในรูปที่ 9 เมื่อรวมกับระบบขับเคลื่อน แบตเตอรี่ และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง มีน้ำหนักรวม 1.364 กิโลกรัม ใช้แบตเตอรี่ขนาด 2,000mAh ใช้ระยะเวลาในการบิน 5 นาที จะใช้แบตเตอรี่ไป 44% คำนวณหาแบตเตอรี่ที่ใช้ไปได้ว่า $2,000\text{mA} \times 44\%$ ผลลัพธ์ที่ได้จะใช้แบตเตอรี่ไป 880mA ในระยะเวลา 5 นาที, คำนวณหาระยะเวลาที่สามารถใช้ได้ทั้งหมดจะได้ว่า $(2,000\text{mA} / 880\text{mA}) \times 5$ นาที ผลลัพธ์ที่ได้ระยะเวลาที่ใช้ได้ทั้งหมด 11.36 นาที, ตามการใช้งานจริงเพื่อความปลอดภัยไม่ควรเหลือแบตเตอรี่น้อยกว่า 20% หมายความว่า

ว่าสามารถใช้แบตเตอรี่อยู่ที่ 80% คำนวณหาแบตเตอรี่ที่สามารถใช้ได้ว่า $2,000\text{mA} \times 80\%$ ผลลัพธ์ที่ได้คือ 1,600mA, เมื่อผลลัพธ์ที่ได้มาเทียบกับระยะเวลาในการบิน 5 นาที จะคำนวณได้ว่า $(1600\text{mA} / 880\text{mA}) \times 5$ นาที ผลลัพธ์ที่ได้ระยะเวลาที่สามารถใช้ได้ 9 นาที โดยที่แบตเตอรี่เหลือไม่น้อยกว่า 20% ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำมาติดตั้งระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ



รูปที่ 9 ทดสอบพารามอเตอร์โครงสร้างลำตัวอลูมิเนียม

นำพารามอเตอร์ที่โครงสร้างลำตัวเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ไปบินทดสอบดังแสดงในรูปที่ 10 เมื่อรวมกับระบบขับเคลื่อน แบตเตอรี่ และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง มีน้ำหนักรวม 0.741 กิโลกรัม ใช้แบตเตอรี่ขนาด 4,500mAh ใช้ระยะเวลาในการบิน 3 นาที จะใช้แบตเตอรี่ไป 10% คำนวณหาแบตเตอรี่ที่ใช้ไปได้ว่า $4,500\text{mA} \times 10\%$ ผลลัพธ์ที่ได้จะใช้แบตเตอรี่ไป 450mA ในระยะเวลา 3 นาที, คำนวณหาระยะเวลาที่สามารถใช้ได้ทั้งหมดจะได้ว่า $(4,500\text{mA} / 450\text{mA}) \times 3$ นาที ผลลัพธ์ที่ได้ระยะเวลาที่ใช้ได้ทั้งหมด 30 นาที, แต่เนื่องจากน้ำหนักที่เบาจนเกินไปทำให้ไม่สามารถควบคุมการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำมาติดตั้งระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ



รูปที่ 10 ทดสอบพารามอเตอร์โครงสร้างลำตัว
คาร์บอนไฟเบอร์

นำพารามอเตอร์ที่โครงสร้างลำตัวเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ เพิ่มน้ำหนัก 0.618 กิโลกรัมไปบินทดสอบดังแสดงในรูปที่ 11 เมื่อรวมกับระบบขับเคลื่อน แบตเตอรี่ และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง มีน้ำหนักรวม 1.359 กิโลกรัม ใช้แบตเตอรี่ขนาด 4,500mAh ใช้ระยะเวลาในการบิน 5 นาที จะใช้แบตเตอรี่ไป 27% คำนวณหาแบตเตอรี่ที่ใช้ไปได้ว่า $4,500\text{mA} \times 27\%$ ผลลัพธ์ที่ได้จะใช้แบตเตอรี่ไป 1,215mA ในระยะเวลา 5 นาที, คำนวณหาระยะเวลาที่สามารถใช้ได้ทั้งหมดจะได้ว่า $(4,500\text{mA} / 1,215\text{mA}) \times 5$ นาที ผลลัพธ์ที่ได้ระยะเวลาที่ใช้ได้ทั้งหมด 18.51 นาที, ตามการใช้งานจริงเพื่อความปลอดภัยไม่ควรเหลือแบตเตอรี่น้อยกว่า 20% หมายความว่าสามารถใช้แบตเตอรี่อยู่ที่ 80% คำนวณหาแบตเตอรี่ที่สามารถใช้ได้ว่า $4,500\text{mA} \times 80\%$ ผลลัพธ์ที่ได้คือ 3,600mA, เมื่อผลลัพธ์ที่ได้มาเทียบกับระยะเวลาในการบิน 5 นาที จะคำนวณได้ว่า $(3,600\text{mA} / 1,215\text{mA}) \times 5$ นาที ผลลัพธ์ที่ได้ระยะเวลาที่สามารถใช้ได้ 14.81 นาที โดยที่แบตเตอรี่เหลือไม่น้อยกว่า 20% ซึ่งเพียงพอต่อการนำมาติดตั้งระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ



รูปที่ 11 ทดสอบพารามอเตอร์โครงสร้างลำตัว
คาร์บอนไฟเบอร์และเพิ่มน้ำหนัก

6. สรุป

งานวิจัยนี้ออกแบบและพัฒนาฮาร์ดแวร์สำหรับพารามอเตอร์ไร้คนขับ มีพื้นที่สำหรับรองรับอุปกรณ์และระยะเวลาในการบินที่เหมาะสมต่อการนำมาทำงานร่วมกับระบบควบคุมการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลลัพธ์ที่ได้สามารถออกแบบและพัฒนาฮาร์ดแวร์สำหรับพารามอเตอร์ไร้คนขับ มีพื้นที่สำหรับรองรับอุปกรณ์ มีท่าทางการบิน และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการนำมาทำงานร่วมกับระบบควบคุมการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nikolay Yotov. PARAGLIDING AERODNAMICS for beginners. SkyNomad. <https://www.skynomad.com/articles/beginners-aerodynamics.html>
- [2] The theory of flight for paramotors. Paramotor Planet. <https://paramotorplanet.com/paramotor-lessons/>
- [3] Brett Jensen Fiedler, 2022. Design and Development of an Autonomous Paramotor UAV
- [4] Aluminium vs carbon fiber – comparison of materials. Dexcraft. <http://www.dexcraft.com/articles/carbon-fiber-composites/aluminium-vs-carbon-fiber-comparison-of-materials/>

- [5] Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART) Peripherals. Microchip Technology Inc.
<https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/core-independent-and-analog-peripherals/communication-connectivity-peripherals/uart-peripherals>
- [6] Serial Peripheral Interface (SPI) Peripheral. Microchip Technology Inc.
<https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/core-independent-and-analog-peripherals/communication-connectivity-peripherals/spi-peripherals>

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของอากาศยานไร้คนขับ
เพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม

Analysis of the Aerodynamic Characteristics of High Altitude Pseudo Satellites

ฤชกร เหล่าพิทักษ์¹ (Air-cadet Ruechukorn Laopitak), ณ์ฐพงษ์ อาจวาที่¹ (Air-cadet Natthapong Ardwatee),
กิตติพิศ ริวโชติกุล¹ (Air-cadet Kittipos Rawichotikul), วันชัย เจียจัน² (Wanchai jiajan)²

¹นักเรียนนายเรืออากาศ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

²อาจารย์สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และ aerowanchai@gmail.com

บทคัดย่อ:ภารกิจการข่าวลาดตระเวนและตรวจการณ์ (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance : ISR) เป็นหนึ่งในภารกิจที่มีแนวโน้มในการใช้งานอากาศยานไร้คนขับในการปฏิบัติการมากขึ้น โดยอากาศยานไร้คนขับที่ปฏิบัติการดังกล่าวมีความจำเป็นต้องใช้เพดานบินสูงเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการปฏิบัติการเหนือพื้นที่ปฏิบัติการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชจึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาแผนแบบของอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม เพื่อตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ของกองทัพอากาศในการพึ่งพาตนเองทางเทคโนโลยี ซึ่งได้ผ่านการแผนแบบเชิงหลักการ (Conceptual Design) และอยู่ในขั้นตอนการออกแบบแผนแบบขั้นต้น (Preliminary Design) โดยงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์และสมรรถนะเบื้องต้นของแผนแบบที่ผ่านการแผนแบบเชิงหลักการ ด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic : CFD) เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมปฏิบัติการที่เพดานบิน 17 กิโลเมตรและความเร็ว 18 เมตร/วินาที ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นค่าเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์ ได้แก่ สัมประสิทธิ์แรงยก (C_L) สัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) โดยได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด (C_{Lmax}) 2.476 ที่มุมปะทะ 14 องศา และค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำสุด 0.0116 และสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณสมรรถนะของอากาศยานได้ ซึ่งพบว่ามีความเร็วร่วงหล่น (Stall Speed) ที่เพดานบินปฏิบัติการ 11.490 เมตร/วินาที กำลังขับที่ต้องการต่ำที่สุด 279.53 วัตต์ อัตราตกต่ำที่สุด 0.32417 เมตร/วินาที ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์แผนแบบของอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมสำหรับการออกแบบในขั้นตอนต่อไปได้

คำสำคัญ: การแผนแบบเชิงหลักการ ,การออกแบบแผนแบบขั้นต้น ,อากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม ,พลศาสตร์ของไหล

1. บทนำ

การเสริมสร้างสมรรถนะและความพร้อมในการป้องกันประเทศนั้น ทางกองทัพอากาศได้ดำเนินการจัดหา ยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อสร้างกำลังทางอากาศอันทันสมัย ซึ่งเป็นการจัดซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งยุทโธปกรณ์หลายรายการมีราคาสูง โดยเฉพาะอากาศยานที่เป็นยุทโธปกรณ์ในส่วนมิติทางอากาศ (Air Power Domain) ทำให้กองทัพอากาศได้ริเริ่มโครงการวิจัยและพัฒนา ยุทโธปกรณ์ บางส่วนโดยหน่วยงานภายในของกองทัพอากาศ เพื่อบริหารงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้สามารถดำเนินการสร้างเสริมขีดความสามารถของกำลังทางอากาศให้พร้อมรับมือกับภัยคุกคามต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช จึงได้ดำเนินโครงการวิจัยอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม (High Altitude Pseudo Satellite) โดยภาควิชาวิศวกรรมอากาศยาน เพื่อตอบสนองความต้องการของกองทัพอากาศ ในขีดความสามารถปฏิบัติการทางอากาศที่ระดับชั้นความสูง 15 - 20 กิโลเมตร ซึ่งสามารถทำให้กองทัพอากาศสามารถใช้ประโยชน์จากห้วงอากาศดังกล่าวได้ ทั้งในภารกิจทางการทหารและสนับสนุนภารกิจของภาครัฐ โดยข้อได้เปรียบและจุดเด่นสำคัญของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม คือ มีระยะเวลาปฏิบัติการที่นานกว่าอากาศยานทั่วไป สามารถนำกลับมาซ่อมบำรุงได้ และใช้งบประมาณต่ำกว่าในการซ่อมบำรุง โดยปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม ได้ดำเนินการสำเร็จในขั้นตอนการออกแบบเชิงหลักการ (Conceptual Design) ตามทฤษฎีของการออกแบบอากาศยาน และมีแผนแบบของอากาศยานแล้ว ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัยต่อเนื่องในขั้นตอนการออกแบบขั้นต้น (Preliminary Design) ตามทฤษฎีของการออกแบบอากาศยาน (Aircraft Design) ในหัวข้อการวิเคราะห์คุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของแผนแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม

ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD) เพื่อให้การวิจัยและพัฒนาอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมของกองทัพอากาศ สามารถดำเนินการวิจัยในขั้นต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการตรวจสอบว่าสมมติฐานค่าตัวแปรเบื้องต้นที่ได้รับการออกแบบไว้เป็นไปตามที่คำนวณในขั้นตอนการออกแบบเชิงหลักการหรือไม่ ทำให้สามารถประมาณสมรรถนะพื้นฐานของอากาศยานได้ตามทฤษฎีสมรรถนะอากาศยานเพื่อนำไปดำเนินการออกแบบในขั้นตอนต่อไป

2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาการออกแบบเชิงหลักการของอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ซึ่งได้ทำการออกแบบและได้แผนแบบเบื้องต้นของอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมด้วยระเบียบวิธีแบบดั้งเดิมและระเบียบวิธีของ Ahmad ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตารางแสดงคุณลักษณะของแผนแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม

คุณลักษณะ	
ภาพรวม	
น้ำหนักเครื่องรวม	76.94 กก.
กำลังที่ระบบขับเคลื่อน	392.29 วัตต์
ความเร็วเดินทาง	18 ม./วินาที
ความเร็วร่วงหล่นที่ระดับน้ำทะเล	4.84 ม./วินาที
ความเร็วร่วงหล่นที่ระดับปฏิบัติการ	14.28 ม./วินาที
ความยาวตลอดลำ	10.96 ม.
น้ำหนักบรรทุก	5 กก.
ปีก	
แผนอากาศ	SG6043
ความกว้างปีก	29.22 ม.
Aspect Ratio	26
พื้นที่ปีก	32.83 ตร.ม.

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

อัตราส่วนพื้นที่แผงโซลาร์เซลล์	23.08 %
ความยาวเส้นขยาเฉลี่ย	11.12 ม.
แผนหาง	
แผนอากาศ	NACA0012
รูปแบบ	Invert U-tail
พื้นที่แผนหางตั้ง	2.52 ตร.ม.
พื้นที่แผนหาระดับ	2.42 ตร.ม.
ระยะของแขนโมเมนต์	7.63 ม.

ซึ่งการออกแบบนั้นอยู่บนพื้นฐานของความต้องการที่จะใช้งานอากาศยานที่เพดานบิน 17 กิโลเมตร ดังนั้นจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมปฏิบัติการได้ดังนี้

ตารางที่ 2 ตารางแสดงสภาพแวดล้อมปฏิบัติการ

สภาพแวดล้อมปฏิบัติการ	
ความสูงปฏิบัติการ	15 - 20 กม.
เพดานบินปฏิบัติการ	17 กม.
ความหนาแน่นของอากาศ	0.141 กก./ลบ.ม.
อุณหภูมิเฉลี่ย (ตามวันมาตรฐาน)	-55 องศาเซลเซียส
ความดันบรรยากาศที่	8776 ปาสคาล
ความเร็วกระแสลมกรด	145 - 165 นีโอด (ค่าสูงสุด)
ความเร่งแรงโน้มถ่วง	9.745 ม./วินาที ²
ความเร็วเสียง	295.1 ม./วินาที

ซึ่งตามทฤษฎีแผนแบบอากาศยานแล้ว เมื่ออากาศยานผ่านขั้นตอนการแผนแบบขั้นต้นแล้วจะต้องมีการสร้างแบบจำลองของแผนแบบที่ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อทำการทดสอบหาค่าคุณลักษณะเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์และคำนวณสมรรถนะอากาศยาน เพื่อใช้ประเมินในการปรับปรุงแผนแบบในขั้นตอนการแผนแบบอย่างละเอียดต่อไป ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วิธีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของแผนแบบอากาศยานในคอมพิวเตอร์ และนำเข้าโปรแกรม

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อจำลองสภาวะทางการบินของแผนแบบเพื่อหาค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของแผนแบบอากาศยาน จากนั้นจึงสามารถนำมาคำนวณสมรรถนะเบื้องต้นได้ โดยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลที่เลือกใช้คือ SIMULIA X-FLOW มีระเบียบวิธีการคำนวณแบบ Discrete CFD มีแนวคิดมาจากการเคลื่อนที่และการชนกันของอนุภาค ตามกฎอนุรักษ์มวลและกฎอนุรักษ์โมเมนตัม เช่น สมการโครงผลึกโบลต์ซมันน์ (Lattice Boltzmann Equation) เป็นต้น และค่าของตัวแปรที่ต้องการหาจากสมการประเภทนี้มีเพียงตัวเดียวคือค่า Single-Particle Probability Distribution Function (f_i) ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ได้แก่ ความเร็ว ความหนาแน่น และความดันนั้นสามารถคำนวณหาได้จากค่า f_i ทั้งสิ้น กระบวนการดังกล่าวสามารถจำลองได้ด้วยสมการการถ่ายเทของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann transport equation) ดังสมการที่ (1)

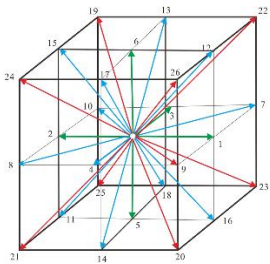
$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla f = \Omega \quad (1)$$

เมื่อ $f(x, t)$ คือ ฟังก์ชันการกระจายตัวของอนุภาค ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความน่าจะเป็นของตำแหน่งอนุภาคแต่ละตัว หลังการชนกันของอนุภาคนี้คือ เวกเตอร์ ความเร็ว ของอนุภาค และ Ω คือ รูปแบบของการปะทะ สำหรับรายงานนี้เป็นการทำแบบจำลองแบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นแบบจำลอง LBM ที่เรียกว่า D3Q27 อนุภาคของแบบจำลองนี้จะมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด 26 ทิศทางรวม ทิศทางที่อนุภาคไม่มีการเคลื่อนที่อีกทิศหนึ่งที่ทิศทางดังกล่าวแสดงใน รูปที่ 1 การเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางถูกแสดงด้วย เวกเตอร์ ของความเร็ว e_i และตัวห้อย i เป็นค่าระบุตำแหน่งของแต่ละทิศทาง

$$\vec{e}_i = \begin{cases} (0,0,0) & i = 0 \\ (\pm 1, 0, 0)c, (0, \pm 1, 0)c, (0, 0, \pm 1)c & i = 1, 2, \dots, 6 \\ (\pm 1, \pm 1, 0)c, (0, \pm 1, \pm 1)c, (\pm 1, 0, \pm 1)c & i = 7, 8, \dots, 18 \\ (\pm 1, \pm 1, \pm 1)c & i = 19, 20, \dots, 26 \end{cases} \quad (2)$$

การคำนวณของ LBM ถูกแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของกระบวนการไหล และส่วนของกระบวนการปะทะ แสดงได้โดยสมการที่ 3

$$f_i(\vec{x} + c\vec{e}_i, t + \Delta t) + f_i(\vec{x}, t) = - \left[\frac{f_i(\vec{x}, t) - f_i^{eq}(\vec{x}, t)}{\tau} \right] \quad (3)$$

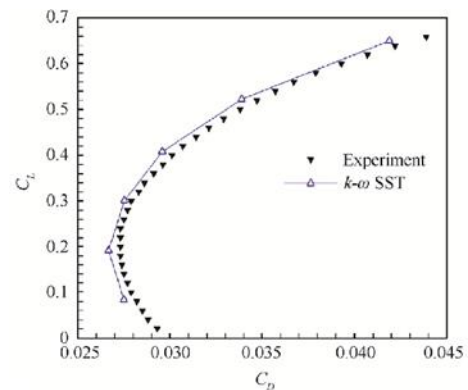


รูปที่ 1 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแบบจำลอง D3Q27 สำหรับแบบจำลองในสามมิติ

เมื่อได้ผลลัพธ์จากการจำลองการบินเป็นค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์แล้วจะสามารถนำค่าเหล่านั้นมาวิเคราะห์สมรรถนะของแผนแบบอากาศยานเบื้องต้นได้เพื่อตรวจสอบว่าแผนแบบอากาศยานที่ออกแบบเชิงหลักการนั้น มีสมรรถนะตรงตามที่ต้องการและสามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของอากาศยานไร้คนขับแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อน ซึ่งในรายงานนี้ได้นำงานวิจัยของ Ostler and Jerry Bowman, 2016 มาใช้เป็นเอกสารอ้างอิง เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาสมรรถนะของแผนแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม จากการศึกษาทฤษฎีดังกล่าวทำให้ทราบว่า การหาสมรรถนะของอากาศยานแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนนั้นจะสามารถหาได้จากผลลัพธ์ค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ที่ได้รับจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล คือ Drag Polar หรือกราฟชั่วแรงต้าน และการทดสอบในอุโมงค์ลมเพื่หาค่า

ประสิทธิภาพมอเตอร์และใบพัด แล้วนำค่าที่ได้ทั้งหมดเข้าสู่กระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณหาค่าสมรรถนะของแผนแบบต่อไป โดยค่า Drag Polar เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะของอากาศยานแต่ละลำซึ่งจะแตกต่างกันเพราะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของอากาศยาน รูปทรงของลำตัวปีก หาง หรือแม้กระทั่งชนิดของแผนอากาศของปีก สำหรับสมการ Drag Polar สามารถเขียนให้อยู่ในรูป ดังแสดงในสมการ และตัวอย่างกราฟดังรูปที่ 2

$$C_D = C_{D_0} + K_2 C_L + K_1 C_L^2 \quad (4)$$



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การสร้างแบบจำลองสามมิติของแผนแบบอากาศยานด้วยโปรแกรม CATIA V5

เริ่มการสร้างแบบตามสัณฐานรูปร่างที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนการออกแบบเชิงหลักการ และใช้เครื่องมือในการสร้างรูปทรงสามมิติ ในการสร้าง การเจาะรูปทรง ให้ได้รูปทรงตามแผนแบบของอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมในการสร้างแบบจำลอง

3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของแผนแบบอากาศยาน

ทำการนำไฟล์ CAD ของแผนแบบอากาศยานเข้าสู่โปรแกรมคำนวณ จากนั้นทำการตั้งค่าและกำหนดเงื่อนไข

ขอบเขตการไหลให้เป็นไปตามสภาพแวดล้อมที่ต้องการทำการบิน คือ ที่เพดานบิน 17 กิโลเมตร และความเร็ว 18 เมตร/วินาที และกำหนดมุมปะทะที่ต้องการ โดยเนื่องจากค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์นั้นแปรเปลี่ยนเมื่อเปลี่ยนแปลงมุมปะทะ ดังนั้นจึงกำหนดขอบเขตของมุมปะทะให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ต้องการ คือ -4 จนถึง 14 องศา โดยส่วนสำคัญในการตั้งค่าของการจำลองการไหลคือ การกำหนด Resolve scale และ Refinement algorithm ให้เหมาะสม โดย resolve scale เป็นการปรับขนาดโครงร่างผลึกที่โปรแกรมจะสร้างขึ้นเพื่อคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งหากมีค่าน้อยจะทำให้ผลการคำนวณละเอียดแต่ใช้ทรัพยากรของคอมพิวเตอร์มากดังนั้นขนาดที่เหมาะสมคือ 0.5 เมตร หลังจากตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วจะเริ่มทำการคำนวณโดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์ต้าน ซึ่งสามารถนำไปคำนวณสมรรถนะเบื้องต้นของแผนแบบได้ต่อไป นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงภาพจำลองของการไหลของกระแสอากาศบนพื้นผิวของแผนแบบได้อีกด้วย

3.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของแผนแบบ

นำค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ได้จากโปรแกรม Xflow มาพล็อตกราฟเทียบกับมุมปะทะต่าง ๆ ในโปรแกรม Microsoft Excel จะได้สมการหนึ่งสมการ ซึ่งก็คือ สมการ Drag Polar จากนั้นทำการหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าด้วยการเปรียบเทียบสมการจากนั้นทำการแทนค่าเพื่อหาค่ากำลังขับที่ต้องการของแผนแบบ

$$P_r = C_{D_0} \frac{1}{2} \rho V^3 S + K_2 W V + \frac{K_1 W^2}{\frac{1}{2} \rho V S} \quad (5)$$

การคำนวณความเร็วร่วงหล่นซึ่งหาได้จากสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุดของแผนแบบ

$$V_{stall} = \sqrt{\frac{2W}{\rho S C_{Lmax}}} \quad (6)$$

การคำนวณอัตราเร็วสูงสุดสามารถคำนวณได้จากอัตราตกต่ำที่สุดของแผนแบบ

$$(R/S)_{min} = \left(\frac{2W}{\rho S}\right)^{\frac{1}{2}} (C_D/C_L^{3/2})_{min} \quad (7)$$

$$EMax_Glide = H/(R/S)_{min} \quad (8)$$

แรงขับที่ต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T_R = P_R/V \quad (9)$$

4. ผลการดำเนินการวิจัย

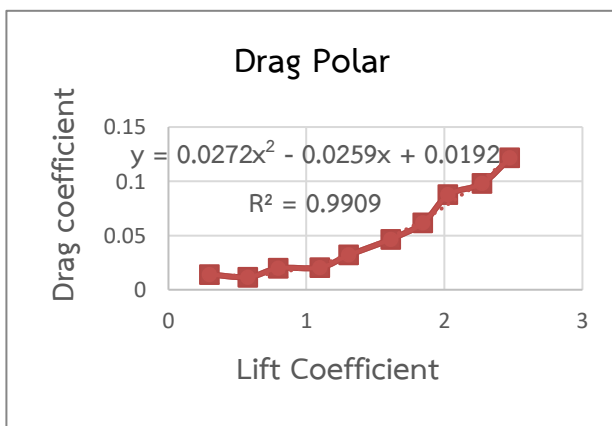
4.1 สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน

จากการจำลองการไหลของกระแสอากาศภายใต้สภาวะการบินที่ความสูง 17 กิโลเมตร และความเร็ว 18 เมตร/วินาที โดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลนั้นค่าที่คณะผู้วิจัยได้ให้ความสนใจ คือ สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านของแบบจำลองที่ได้จากโปรแกรม Xflow และ XFLR5

AOA	Xflow		XFLR5	
	C_L	C_D	C_L	C_D
-4	0.297973	0.0142041	0.181	0.002
-2	0.578153	0.0116444	0.426	0.003
0	0.798606	0.199079	0.672	0.006
2	1.09771	0.020448	0.916	0.011
4	1.30794	0.0319457	1.158	0.017
6	1.61092	0.0466357	1.399	0.025
8	1.84368	0.0614572	1.637	0.034
10	2.02825	0.0875597	1.872	0.045
12	2.27269	0.0978898	2.104	0.057
14	2.47634	0.121561	2.332	0.07
16	2.27972	0.230569	2.556	0.084
18	1.97999	0.294069	2.775	0.098

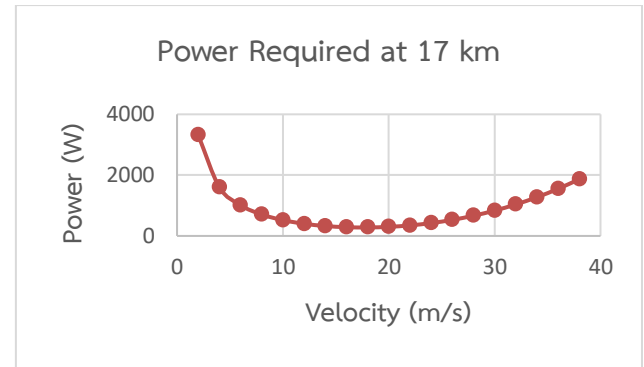
พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่มุมปะทะ 0 องศา มีค่าเท่ากับ 0.798606 และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของแบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด ($C_{L_{max}}$) เท่ากับ 2.47634 ที่มุมปะทะ 14 องศา โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าที่มุมปะทะมากกว่า 14 องศา ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจะลดลงอย่างฉับพลัน ที่จะทำให้เกิดอาการร่วงหล่น อันเนื่องมาจากการไหลแยกตัวของกระแสอากาศบนผิวปีก ดังนั้นมุมปะทะวิกฤตของแผนแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมจึงมีค่าเท่ากับ 14 องศา ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านมีค่าอยู่ในช่วง 0.0142041 ถึง 0.294069 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่มุมปะทะ 0 องศา (C_{D_0}) เท่ากับ 0.0199 และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำที่สุดเท่ากับ 0.00164 โดยที่มุมปะทะวิกฤตมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเท่ากับ 0.121561 ซึ่งสามารถนำค่า C_L และ C_D มาคำนวณสมรรถนะเบื้องต้นของแผนแบบได้ โดยนำค่าทั้ง 2 มาสร้างกราฟชั่วแรงต้านได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag Polar)

จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านเมื่อนำมาสร้างกราฟ Drag Polar แล้วจะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ที่มีโพรไฟล์คล้ายกับพาราโบลา ทำให้สามารถทราบค่า $K_1 = 0.0272$, $K_2 = -0.0259$, $C_{D_0} = 0.0192$ และค่า $R^2 = 0.9909$ ซึ่งสามารถนำมาแทนค่าในสมการที่ และสามารถคำนวณกำลังขับที่ต้องการได้ดังสมการที่ (10)

$$P_r = 0.0192 \frac{1}{2} \rho V^3 S - 0.0259 W V + \frac{0.0272 W^2}{\frac{1}{2} \rho V S} \quad (10)$$



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขับที่ต้องการและความเร็วต่าง ๆ ที่ความสูง 17 กิโลเมตร

โดยที่จะมีค่า Minimum Power Required อยู่ที่ 94.654 วัตต์ ที่ความสูงระดับน้ำทะเล และที่ระดับความสูง 17 กิโลเมตร มีค่าอยู่ที่ 279.53 วัตต์ ซึ่งต้องใช้กำลังขับที่ต้องการมากกว่าที่ระดับน้ำทะเล

4.2 ความเร็วร่วงหล่น (Stall Speed)

พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุดมีค่าอยู่ที่ 2.47634 เมื่อกำหนดหาความเร็วร่วงหล่นตามสมการที่ (6) จะได้ว่า ความเร็วร่วงหล่นที่ระดับน้ำทะเลมีค่า 3.898 เมตร/วินาที และความเร็วร่วงหล่นที่ความสูง 17 กิโลเมตร มีค่า 11.490 เมตร/วินาที

4.3 อัตราร่อน (Rate of Descent)

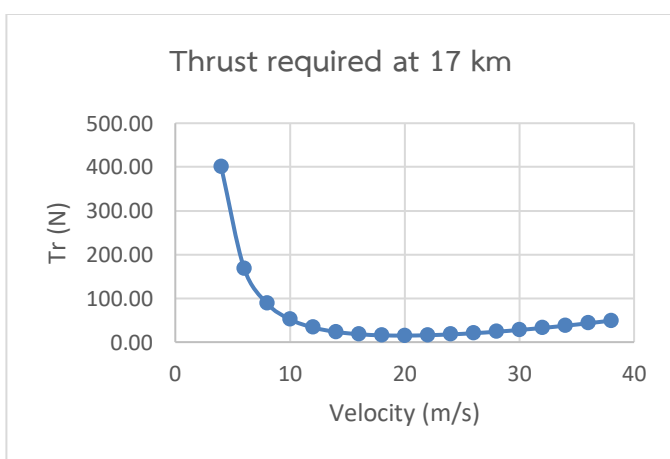
เมื่อกำหนดตามสมการที่ (7) และ (8) จะได้อัตราตกต่ำสุดและอัตราร่อนสูงสุดของแผนแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม ซึ่งแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าอัตราตกต่ำสุดและระยะเวลาร่อนนานสุด
เทียบระดับความสูงต่าง ๆ

ระดับความสูงที่ใช้ในการร่อน (m)	อัตราตกต่ำสุด (เมตร/วินาที)	ระยะเวลาร่อนนานสุด (นาที่)
50	0.321470925	2.592251023
100	0.321470925	5.184502047
150	0.321470925	7.77675307
200	0.321470925	10.36900409
250	0.321470925	12.96125512
300	0.321470925	15.55350614
350	0.321470925	18.14575716
400	0.321470925	20.73800819
450	0.321470925	23.33025921
500	0.321470925	25.92251023
550	0.321470925	28.51476126
600	0.321470925	31.10701228

4.4 แรงขับที่ต้องการ

ค่าแรงขับที่ต้องการที่ความสูงระดับน้ำทะเลและที่ความสูง 17 กิโลเมตร มีค่าแตกต่างกัน โดยที่ระดับความสูง 17 กิโลเมตร การบินที่ด้วยความเร็ว 20 เมตร/วินาที จำเป็นต้องใช้แรงขับ 14.96 นิวตัน แต่ที่ระดับน้ำทะเลการบินที่ความเร็วเท่ากันต้องใช้แรงขับถึง 136.44 นิวตัน



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับที่ต้องการและความเร็วต่าง ๆ ที่ระดับน้ำทะเล

4.5 พิสัยบินไกลสุด (Maximum Range)

หลังจากนำค่าแรงขับที่ต้องการ (T_r) มาพล็อตกราฟเทียบกับความเร็ว (V) สามารถวิเคราะห์ได้ว่า จุดที่มีแรงขับที่ต้องการต่ำสุด คือ จุดที่อากาศยานมีความเร็วที่ใช้ในการบินเดินทางเพื่อให้ได้พิสัยบินไกลที่สุด ที่ความสูง 17 กิโลเมตร พบว่าที่ความเร็ว 20 เมตร/วินาที มีความต้องการแรงขับต่ำสุดเท่ากับ 14.96 นิวตัน ที่ระดับน้ำทะเลพบว่าที่ความเร็ว 6 เมตร/วินาที มีความต้องการแรงขับต่ำสุดเท่ากับ 15.78 นิวตัน

4.6 ชั่วโมงบินนานที่สุด (Maximum Endurance)

หลังจากนำค่ากำลังขับที่ต้องการ (P_r) มาพล็อตกราฟเทียบกับความเร็ว (V) สามารถวิเคราะห์ได้ว่า จุดที่มีกำลังขับที่ต้องการต่ำสุด คือ จุดที่อากาศยานมีความเร็วในการบินเดินทางเพื่อให้สามารถทำการบินได้นานที่สุด ที่ระดับความสูง 17 กิโลเมตร พบว่าที่ความเร็ว 18 เมตร/วินาที มีความต้องการกำลังขับต่ำสุดเท่ากับ 279.53 วัตต์ ที่ความสูงระดับน้ำทะเลพบว่า ที่ความเร็ว 6 เมตร/วินาที ต้องใช้กำลังขับต่ำสุดเท่ากับ 94.65 วัตต์

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 ผลการวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยกับข้อมูลแผนแบบอากาศยานของอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสถียร ดาวเทียมในขั้นตอนการแผนแบบขั้นต้นพบว่ามีความแตกต่างของค่าทางคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์และสมรรถนะ เช่น ค่าความเร็วร่วงหล่นที่ระดับปฏิบัติการในการออกแบบขั้นต้นอยู่ที่ 14.28 เมตร/วินาที แต่ในการคำนวณได้ค่าความเร็วร่วงหล่นที่ระดับปฏิบัติการเท่ากับ 11.49 เมตร/วินาที โดยแตกต่างกันที่ 19.54 เปอร์เซ็นต์ สัมประสิทธิ์แรงต้านติดตัวที่คำนวณได้แตกต่างจากแผนแบบที่ออกแบบไว้เท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น ซึ่งผลต่างนั้น

เกิดได้จากการออกแบบตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการแผนแบบอากาศยานแบบดั้งเดิม ที่ได้จากการใช้ฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิมของอากาศยานในรูปแบบเดียวกันมากไหนค่าตัวแปรเริ่มต้นต่าง ๆ ซึ่งอากาศยานไร้คนขับเพดานสูงเหมือนดาวเทียมนั้น เป็นอากาศยานรูปแบบใหม่ที่ไม่มีความรู้มากนัก รวมทั้งเป็นอากาศยานที่ใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นระบบขับเคลื่อน จึงทำให้ทฤษฎีการแผนแบบนั้นแตกต่างออกไปจากทฤษฎีการแผนแบบดั้งเดิม

5.2 งานวิจัยในอนาคตและข้อเสนอแนะ

ในการคำนวณค่าเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของแผนแบบ จำเป็นต้องใช้ 2 โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องร่วมกัน โดยควรใช้แบบจำลองสามมิติที่มีสัณฐานที่เท่ากันในทุกมิติ ในส่วนของค่ากำลังขับที่มี (Power Available) มีความสำคัญอย่างมากต่อการวิเคราะห์สมรรถนะของแผนแบบ เช่น การคำนวณความเร็วสูงสุด อัตราการไต่ สมรรถนะการเลี้ยว เป็นต้น ซึ่งจะได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลมเท่านั้น โดยการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าควรมีการศึกษาและทดลองต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] Rui Liu, Chengcheng Lu, Junjun Li. (2015). Lattice Boltzmann Method.
- [2] Airfoil Tools. (2014). SG6043 - Selig / Giguere SG6043 wind turbine airfoil (high L/D).
- [3] Anderson Jr., J. D. (2017). Fundamentals of Aerodynamics. Sixth edition. New York: McGraw Hill Education.
- [4] สดุดี สุทธิเสงี่ยม, จิรเมธ กาวีรส, ธนภูมิ ธีรศาสตร์ และ ฐากร ชวนสนธิท. (2566). การออกแบบเชิงหลักการของอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเหมือนดาวเทียม.

วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช.

- [5] วัชพล โรจนรัตน์นางกูร. (2551). การจำลองเชิงตัวเลขโดยตรงสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อสี่เหลี่ยมพื้นผ้าโดยใช้วิธีโครงผลิกโบลต์ซมันน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

การตรวจสอบไฟ PAPI ด้วยอากาศยานไร้คนขับ

Pre-flight checks of PAPI using a UAV

น.ต.อนันต์ สวัสดิ์¹ (Sqn.Ldr.Anan Sawasdee)¹

¹ตำแหน่ง หัวหน้าฝ่ายไฟฟ้าสนามบิน แผนกปฏิบัติการไฟฟ้า กองไฟฟ้า กรมช่างโยธาทหารอากาศ jackskydive33@gmail.com

บทคัดย่อ: ไฟ PAPI เป็นเครื่องช่วยเดินอากาศประเภททัศนวิสัย เพื่อให้นักบินทราบมุมร่อนที่ถูกต้องในขณะร่อนลงสู่ทางวิ่ง ถือเป็นทัศนวิสัยที่มีความสำคัญด้านความปลอดภัยต่อการบินเป็นอย่างสูง จึงจำเป็นต้องมีวิธีการตรวจสอบ และปรับเทียบโดยละเอียด ตามมาตรฐาน ICAO DOC 9137 [1] แนะนำให้มีตรวจสอบไฟ PAPI ภาคอากาศ (Flight Check) เป็นประจำทุกปี บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด (บวท.) เป็นเพียงหน่วยงานเดียวในประเทศไทยที่มีความสามารถในการใช้เครื่องบิน Flight Check ได้ กองทัพอากาศ (ทอ.) มีไฟ PAPI ใช้งานในสนามบินจำนวน 9 สนามบิน แต่ตามข้อตกลงระหว่าง ทอ.กับ บวท.มีการ Flight Check ให้ ทอ.เพียง 2 สนามบินเท่านั้น ทำให้อีก 7 สนามบินไม่ได้รับการตรวจสอบตามมาตรฐาน ส่งผลให้นักบินพบความผิดปกติของแสงไฟ PAPI ในบางสนามบินที่ไม่มีการ Flight Check และอาจทำให้เกิดอันตรายขณะเครื่องบินร่อนลงสู่ทางวิ่ง กองไฟฟ้า กรมช่างโยธาทหารอากาศ (กฟฟ.ชย.ทอ.) จึงได้ทดลองวิธีการนำอากาศยานไร้คนขับ (โดรน) มาตรวจสอบ และปรับเทียบไฟ PAPI โดยใช้หลักการเดียวกับการตรวจสอบด้วยเครื่องบินของ บวท.ผลการทดลองพบว่า การใช้อากาศยานไร้คนขับตรวจสอบไฟ PAPI มีความถูกต้องแม่นยำเช่นเดียวกับการใช้เครื่องบินของ บวท. ช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับอากาศยานที่ใช้งาน สามารถประหยัดเวลา ประหยัดงบประมาณในการจ้างเครื่องบินตรวจสอบ และสามารถเพิ่มวงรอบการตรวจสอบได้มากขึ้นอีกด้วย ส่งผลให้ระบบไฟฟ้าสนามบินมีความพร้อมรองรับทุกภารกิจ โดยยึดหลักการที่ว่า มาตรฐาน ปลอดภัย สะดวก และได้ประโยชน์คุ้มค่า

คำสำคัญ: PAPI, Flight Check, อากาศยานไร้คนขับ, ICAO, ปรับเทียบ

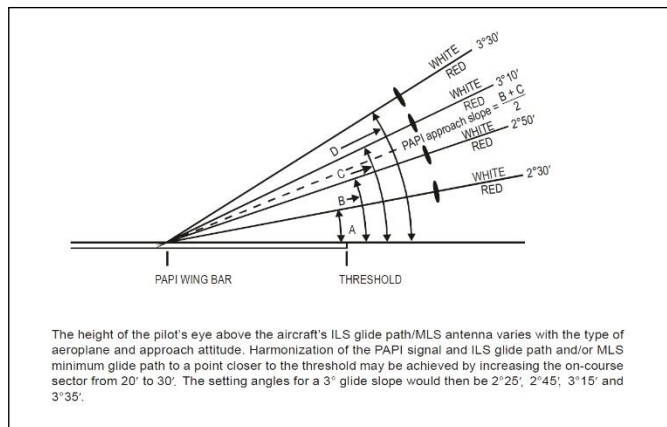
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
 THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

การทดลองครั้งนี้ได้ทดลองที่สนามบิน รร.การบิน กำแพงแสน, กองบิน 1 (บน.1) และกองบิน 4 (บน.4) โดยชั้นแรกจะตรวจสอบ และปรับเทียบมุมด้วยเครื่องวัดมุม (วีดีม) หลังจากนั้นจะใช้โดรนตรวจสอบ และปรับเทียบอีกครั้ง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่าง โดยมีขอบเขตการทดลองดังนี้

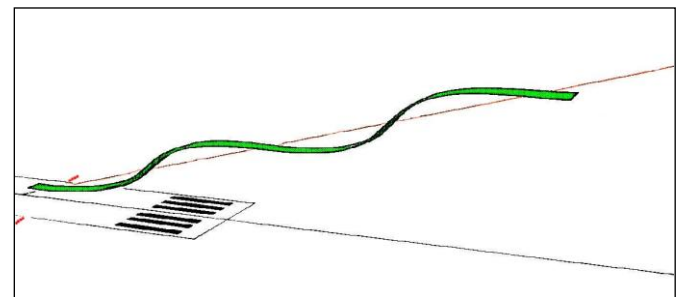
1. Glide path Angle (วัดมุมแนวตั้ง)
2. Symmetry (การเปลี่ยนแสงพร้อมกันด้านซ้ายและขวาของทางวิ่ง)
3. Angular Coverage (วัดมุมแนวระดับแสงด้านข้าง)
4. System Identification / Contrast (ความชัดเจน)
5. Obstruction Clearance (วัดสิ่งกีดขวางในแนวร่อน)

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาหลักการและข้อกำหนดของ ICAO Annex 14 [2]

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาวิธีการบินทดสอบ จากกองปฏิบัติการบิน ฝ่ายบินทดสอบบริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด (บวท.) เพื่อขอคำแนะนำขั้นตอน และวิธีการบินทดสอบ โดยใช้ คู่มือปฏิบัติงานบินทดสอบ Visual Aids บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด [3] เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้โดรน Flight Check



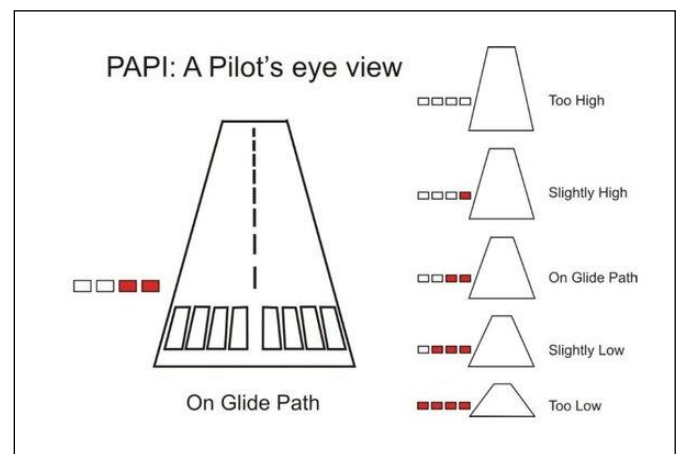
ภาพที่ 1 Glide path Angle มาตรฐาน ICAO



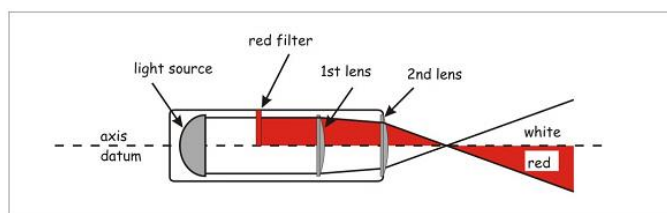
ภาพที่ 3 ตัวอย่างเส้นทางการบินตรวจสอบไฟ PAPI แบบ Multiple Transition Method ของ บวท.

การดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาส่วนประกอบ และการทำงานของไฟ PAPI โดยเฉพาะส่วนสำคัญที่มีผลต่อมุมร่อน เช่น ฟิเตอร์เลนส์ และเครื่องวัดมุม



ภาพที่ 4 แสงไฟ PAPI ที่นักบินทดสอบมองเห็นได้



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบภายในโคมไฟ PAPI

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษากฎหมาย ข้อบังคับ และระเบียบกองทัพอากาศ การใช้อากาศยานไร้คนขับ

ขั้นตอนที่ 5 เตรียมอากาศยานไร้คนขับ และอุปกรณ์

5.1 กล้อง TOTAL STATION ยี่ห้อ NIKON รุ่น NIVO 1.C

5.2 อากาศยานไร้คนขับ (โดรน) ยี่ห้อ Autel รุ่น EVO II Pro

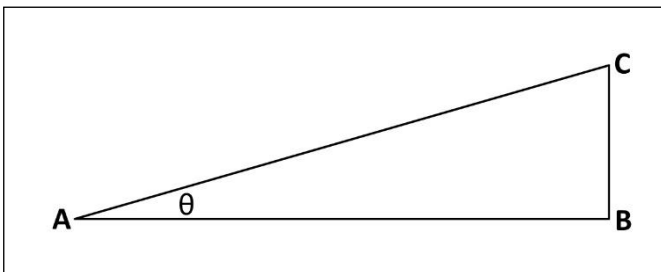


ภาพที่ 5 โดรน ยี่ห้อ Autel รุ่น EVO II Pro

ขั้นตอนที่ 6 ทำการทดลอง และบันทึกผล

6.1 ทิวการณ์จุดตั้งกล้อง TOTAL STATION

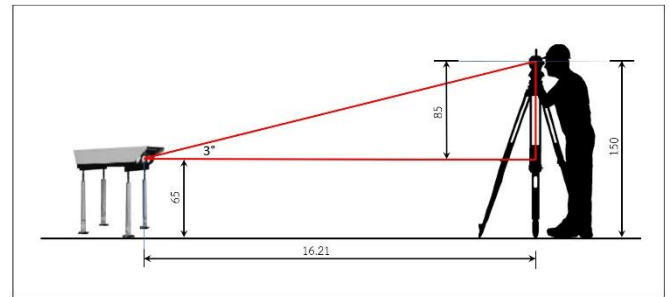
กล้อง TOTAL STATION เป็นระบบอ้างอิงสำหรับการบินทดสอบไฟ PAPI เป็นกล้องในการวัดมุมในแนวระนาบ และแนวตั้งที่ให้ความแม่นยำสูง โดยหน่วยงานบินทดสอบหลายประเทศให้การยอมรับเป็นระบบ Position-Reference System สำหรับการบินทดสอบระบบไฟ PAPI จากอดีตจนถึงปัจจุบัน มีหลักการหาตำแหน่งติดตั้งดังนี้



ภาพที่ 6 สามเหลี่ยมที่ใช้คำนวณหาระยะตั้งกล้อง TOTAL STATION

เมื่อ A คือ ตำแหน่งของโคมไฟ PAPI (กึ่งกลางเลนส์ไฟ)
B คือ จุดที่ประสงคจะตั้งกล้อง TOTAL STATION
 \overline{CB} คือ ความสูงของกล้อง TOTAL STATION (จากกลางเลนส์ไฟ PAPI ถึง Eyepiece)

θ คือ มุม Design Approach Angle หรือ Commissioned Angle โดยปกติจะใช้มุม 3 องศา โดยใช้สูตร $\overline{AB} = \overline{CB} \div \tan\theta$



ภาพที่ 7 การคำนวณหาระยะตั้งกล้อง TOTAL STATION

6.2 รายละเอียดขั้นตอนการบินทดสอบ

6.2.1 ตรวจสอบ Glide Path Angle

จุดประสงค์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของมุมในแนวตั้งแต่ละโคม และตรวจสอบมุมโดยรวมของไฟ PAPI

วิธีปฏิบัติ

นักบินโดรน บินโดรนให้อยู่แนวกึ่งกลางรันเวย์ ระยะห่างจากไฟ PAPI 1 กม. ทิศหน้าโดรนเข้าหาไฟ PAPI เลือกโคมที่ต้องการวัด บินโดรนให้สูงขึ้นหรือต่ำลง สังเกตการเปลี่ยนแปลงจากแดงเป็นขาว หรือขาวเป็นแดง เมื่อโดรนอยู่กึ่งกลางจะเห็นไฟเป็นสีชมพู แล้วให้โดรนอยู่นิ่งกับที่พร้อมกันให้สัญญาณว่า “Mark” แก่เจ้าหน้าที่ภาคพื้น เพื่ออ่านค่ามุม ทำเช่นนี้จนครบทุกโคม อย่างน้อยโคมละ 2 ครั้ง

เจ้าหน้าที่ภาคพื้น ใช้กล้อง TOTAL STATION ส่องไปที่โดรนแล้วอ่านค่ามุมหลังจากได้ยินเสียงสัญญาณว่า “Mark” หากมุมแต่ละโคมค่าไม่ตรงตามมาตรฐานให้ทำการปรับแต่งมุมใหม่ และทำการบันทึกและวิเคราะห์ผลซ้ำ จนกว่าค่ามุมของโคมดังกล่าวจะอยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนด ทำเช่นนี้จนครบทุกโคม

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

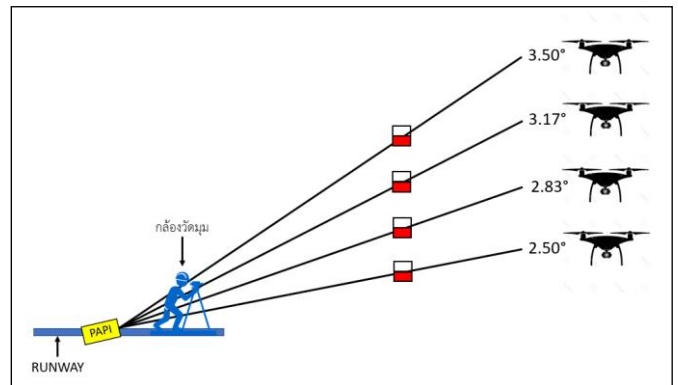
การประเมินผล ค่ามุมของแต่ละโคมต้องอยู่ภายใน ± 0.1 องศา จากค่ามาตรฐาน

ผลการทดลอง

การทดลองที่ รร.การบิน วันที่ 17-18 ธ.ค.64

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดมุม และปรับมุมให้ได้ตามมาตรฐาน

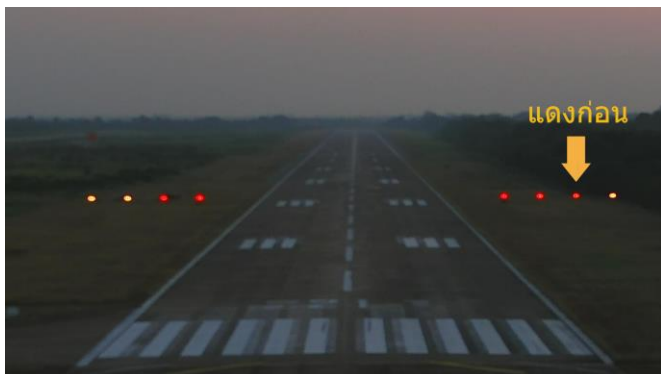
ขั้นตอนที่ 2 ใช้โดรนบินตรวจสอบแสง และใช้กล้อง TOTAL STATION วัดมุม PAPI ค่าที่ได้สูงกว่าการวัดด้วยเครื่องวัดมุม ± 0.60 องศา ซึ่งคลาดเคลื่อนเกินค่ามาตรฐาน และโดรนยังสังเกตเห็นการเปลี่ยนแสงผิดเพี้ยนจากรูปแบบมาตรฐาน ซึ่งสรุปได้ว่าการปรับเทียบด้วยเครื่องวัดมุมเพียงอย่างเดียวแสงที่ออกมาไม่ตรงตามมาตรฐาน อาจเป็นเพราะชุดฟิลเตอร์, เลนส์ และฐานวางเครื่องวัดมุมอาจผิดเพี้ยน



ภาพที่ 9 การใช้โดรนตรวจสอบแสง ตามขั้นตอนที่ 3



ภาพที่ 10 ไฟ PAPI หลังปรับมุมด้วยโดรน ไฟซ้ายและขวาตรงตามมาตรฐาน



ภาพที่ 8 ไฟ PAPI ก่อนปรับมุมด้วยโดรน ซ้ายและขวาไม่ตรงตามมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 3 ใช้โดรนบินตรวจสอบแสงและปรับมุมใหม่ให้อยู่ในค่ามาตรฐาน พบว่าการเปลี่ยนแสงเป็นไปตามรูปแบบที่ถูกต้องไม่พบการผิดเพี้ยน

การทดลองที่ บน.1 วันที่ 6-7 ม.ค.65

ตาม MOU ระหว่าง ทอ.กับ บวท. บน.1 มีการบิน Flight Check โดยเครื่องบินของ บวท.ตามวงรอบ จึงทดลองใช้โดรนตรวจสอบ และปรับเทียบก่อนที่ บวท.จะใช้เครื่องบินปรับเทียบ 1 วัน

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดมุม และปรับมุมให้ได้ตามมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 2 ใช้โดรนบินตรวจสอบแสง และใช้กล้อง TOTAL STATION วัดมุม PAPI ค่าที่ได้สูงกว่าการวัดด้วยเครื่องวัดมุม ± 0.33 องศา ซึ่งคลาดเคลื่อนเกินค่ามาตรฐาน จากนั้นใช้โดรนวัดมุมและปรับให้ตรงตามมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 3 ใช้เครื่องบินของ บวท.บินทดสอบ พบว่าค่าที่ได้ต่างจากการตรวจสอบด้วยโดรน ± 0.05 องศา ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไม่ต้องปรับมุมใหม่

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

การทดลองที่ บน.4 วันที่ 11-12 ม.ค.65

ตาม MOU ระหว่าง ทอ.กับ บวท. บน.4 มีการบิน Flight Check โดยเครื่องบินของ บวท.ตามวงรอบ จึงทดลองใช้โดรนตรวจสอบ และปรับเทียบก่อนที่ บวท.จะใช้เครื่องบินปรับเทียบ 1 วัน และที่ บน.4 เครื่องวัดมุมชำรุดไม่สามารถใช้งานได้

ขั้นตอนที่ 1 ใช้โดรนบินตรวจสอบ และใช้กล้อง TOTAL STATION วัดมุม และปรับมุมให้ตรงตามมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 2 ใช้เครื่องบินของ บวท.บินทดสอบ ผลที่ได้ต่างจากการใช้โดรนวัด ± 0.05 องศา ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 11 นักบิน บวท.บินทดสอบไฟ PAPI

6.2.2 ตรวจสอบ Symmetry

จุดประสงค์ เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของการเปลี่ยนแสงไฟทั้งสองข้างของทางวิ่ง จากสีแดงเป็นสีขาว หรือสีขาวเป็นสีแดงของคอมไฟแต่ละคู่ ซึ่งจะต้องเปลี่ยนแสงพร้อมกัน (Synchronization)

วิธีปฏิบัติ บินโดรนให้อยู่แนวกึ่งกลางรันเวย์ระยะห่างจากไฟ PAPI 1 กม.หันหน้าโดรนเข้าหาไฟ PAPI บินโดรนให้สูงขึ้นหรือต่ำลง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟทั้งสองข้างของทางวิ่ง

การประเมินผล สังเกตการณ์เปลี่ยนแสงของไฟคู่ที่ 1 คู่ที่ 2 คู่ที่ 3 และคู่ที่ 4 ต้องเปลี่ยนพร้อมกัน หากแสงไฟคู่ใด

เปลี่ยนไม่พร้อมกันให้ทำการปรับแต่งมุมใหม่เล็กน้อย (Slightly adjustment)

ผลการทดลอง หลังจากใช้โดรนบินตรวจสอบแสง และใช้กล้อง TOTAL STATION วัด และปรับมุมใหม่ พบว่าแสงไฟทั้ง 2 ข้างของทางวิ่งเปลี่ยนแสงพร้อมกันทุกคู่ ผ่านตามมาตรฐาน

6.2.3 ตรวจสอบ Angular Coverage

จุดประสงค์ เพื่อตรวจสอบความกว้างในแนวระนาบของระบบไฟ PAPI ในพื้นที่ใช้งาน Lateral area ที่อาจจะถูกบดบังจากต้นไม้หรือสิ่งกีดขวาง



ภาพที่ 12 การวัดมุม Angular Coverage

วิธีปฏิบัติ

นักบินโดรน ทำการบินโดรนตัดในแนวตั้งฉากกับทางวิ่ง ระยะทางห่างจากไฟ PAPI 1 กม. ความสูงอยู่ในระดับเดียวกับมุมร่อน เมื่อมองเห็นแสงไฟคอมแรกที่นักบินทดสอบ จะต้องให้สัญญาณ "Mark" และสังเกตแสงไฟต่อเนื่องจนถึงจุดที่ไม่เห็นแสงไฟของคอมสุดท้ายจึงให้สัญญาณ "Mark" อีกครั้ง

เจ้าหน้าที่ภาคพื้น ส่งกล้องตามโดรนทดสอบ ตลอดเวลาที่บินตัดทางวิ่ง พร้อมกับหยุดเมื่อนักบินให้สัญญาณ "Mark" เมื่อเห็นไฟคอมแรกให้บันทึกค่ามุมในแนวระนาบ จากนั้นส่งตาม โดรนไปจนถึงจุดที่นักบินให้

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

สัญญาณ “Mark” เมื่อไม่เห็นแสงไฟคอมสูดท้าย บันทึกราค่ามุมและคำนวณความกว้างของระบบไฟ PAPI

ผลการประเมินผล พื้นที่ที่สามารถมองเห็นแสงของระบบไฟ PAPI ในแนวระนาบ ต้องไม่ต่ำกว่า 20 องศา กรณีที่มีสิ่งกีดขวางบดบังแสงไฟ PAPI ให้พิจารณากำจัดสิ่งกีดขวางออก

ผลการทดลอง

ร.ร.การบิน ด้านขวาของทางวิ่ง 21 มีต้นไม้บดบังไฟ PAPI โดรนวัดมุม Angular Coverage ได้เพียง 15 องศา ไม่ผ่านตามมาตรฐาน

บน.1 วัดค่าได้ 27 องศา ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน
บน.4 ไม่ได้ตรวจสอบ Angular Coverage

6.2.4 ตรวจสอบ System Identification/Contrast

จุดประสงค์ เพื่อตรวจสอบความคมชัดหรือความชัดเจนของระบบไฟ PAPI เมื่อเทียบกับแสงไฟอื่น ๆ

วิธีปฏิบัติ

นักบินโดรน บินโดรนให้อยู่แนวกึ่งกลางรันเวย์ ระยะห่างจากไฟ PAPI 1 กม.หันหน้าโดรนเข้าหาไฟ PAPI ความสูงเดียวกับแนวร่อน สังเกตแสงต้องมองเห็นได้ชัดเจน บินสูงขึ้นหรือต่ำลง สังเกตการเปลี่ยนแสงจากสีแดงเป็นสีขาว หรือสีขาวเป็นสีแดง จะต้องคมชัด แสงจะต้องไม่ฟุ้งกระจายหรือแยกไม่ออกจากสีแดงหรือสีขาว

ผลการประเมินผล สังเกตแสงไฟโดยรอบหรือการรบกวนจากแสงของอากาศยานที่กำลังขับเคลื่อน หากมีข้อสงสัยไม่สามารถประเมินได้ในเวลากลางวัน อาจพิจารณาประเมินในช่วงเวลากลางคืน

ผลการทดลอง

ร.ร.การบิน มองเห็นไฟ PAPI ได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับแสงไฟอื่นบริเวณใกล้เคียง

บน.1 มองเห็นไฟ PAPI ได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับแสง

ไฟอื่นบริเวณใกล้เคียง

บน.4 มองเห็นไฟ PAPI ได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับแสงไฟอื่นบริเวณใกล้เคียง

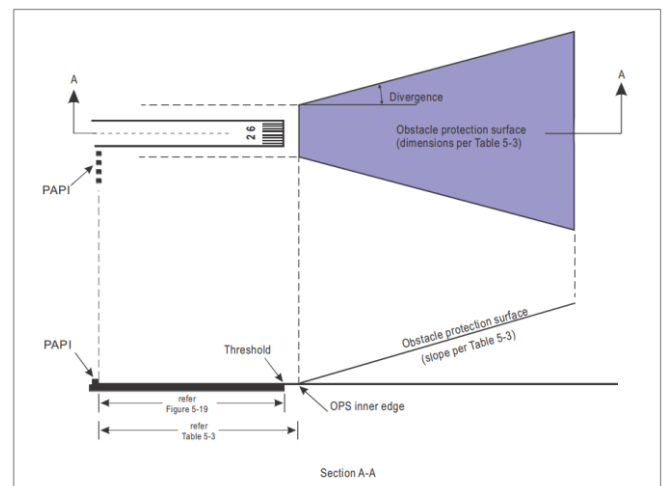


ภาพที่ 13 ตรวจสอบ System Identification/Contrast

6.2.5 ตรวจสอบ Obstruction Clearance

การกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับพื้นผิวจำกัดสิ่งกีดขวาง (Obstacle Protection Surface : OPS) ICAO ANNEX 14 [4] ได้กำหนดแนวทางในการปฏิบัติไว้ว่าสิ่งกีดขวางบริเวณแนวร่อนต้องสูงไม่เกิน 1.93 องศา

จุดประสงค์ เพื่อตรวจสอบสิ่งกีดขวางภายในพื้นที่ให้บริการของระบบไฟ PAPI ที่อาจเป็นอันตรายต่ออากาศยานที่ร่อนลงสู่ทางวิ่ง



ภาพที่ 14 พื้นผิวจำกัดสิ่งกีดขวาง (OPS)

วิธีปฏิบัติ

นักบินโดรน บินโดรนให้อยู่แนวกึ่งกลางรันเวย์ ระยะห่างจากไฟ PAPI 2 กม.หันหน้าโดรนเข้าหาไฟ PAPI บินเข้าหาทางวิ่งให้ สังเกตแสงไฟของคอมที่ 1 ต้องอยู่ใน ลักษณะ Just red รักษาแนวร่อนตามแสงไฟของคอมที่ 1 บินจนถึงไฟ PAPI โดรนจะต้องไม่ชนสิ่งกีดขวางในขณะ ร่อนลง

การประเมินผล หากผลการตรวจสอบด้วยกล้อง TOTAL STATION บริเวณ Final Approach พบสิ่งกีดขวาง สูงเกินกว่ามาตรฐานให้พิจารณากำจัดสิ่งกีดขวางต่อไป

ผลการทดลอง

รร.การบิน ตรวจสอบทางวิ่ง 21 และทางวิ่ง 03 โดรนสามารถร่อนลงจนถึงไฟ PAPI โดยไม่ชนสิ่งกีดขวาง ผ่านตามมาตรฐาน

บน.1 ทางวิ่ง 24 โดรนสามารถร่อนลงจนถึงไฟ PAPI โดยไม่ชนสิ่งกีดขวาง ส่วนทางวิ่ง 06 โดรนไม่สามารถร่อนลง ทางวิ่งได้เนื่องจากต้นไม้ในแนวร่อนสูงเกินมาตรฐาน ต้อง พิจารณาตัดต้นไม้ต่อไป

บน.4 ตรวจสอบทางวิ่ง 18 และทางวิ่ง 36 โดรน สามารถร่อนลงจนถึงไฟ PAPI โดยไม่ชนสิ่งกีดขวางทั้ง 2 ทางวิ่ง ผ่านตามมาตรฐาน

บทสรุป

จะเห็นได้ว่าการปรับเทียบไฟ PAPI ด้วยอุปกรณ์ ส้ารวจแบบเดิมจะวัดได้เพียง Glide path Angle อย่างเดียว เท่านั้น และไม่แม่นยำเท่ากับการตรวจสอบด้วยโดรน ผลการทดลอง Flight Check ด้วยอากาศยานไร้คนขับ ที่สนามบิน รร.การบิน, บน.1 และ บน.4 พบว่าค่าที่ได้ ใกล้เคียงกับการวัดด้วยเครื่องบินของ บวท.อยู่ในเกณฑ์ มาตรฐาน จึงสามารถยืนยันได้ว่าการตรวจสอบไฟ PAPI ด้วยอากาศยานไร้คนขับมีความถูกต้องแม่นยำ เป็นที่ยอมรับ

จากเจ้าหน้าที่ของ บวท.ที่ร่วมทดสอบว่าเป็นวิธีการที่ได้ ผลตรวจสอบที่ถูกต้องน่าเชื่อถือสามารถนำมาใช้งานได้จริง ปัจจุบันมีหลายบริษัทในต่างประเทศเริ่มให้บริการ ตรวจสอบไฟ PAPI ด้วยโดรนในเชิงพาณิชย์หลายบริษัท เช่น Canard Drone [5], Colibrex [6] และ Cursir [7] ที่สำคัญ ICAO Doc 9157 Part 4 Visual Aids Fifth Edition, 2021 [8] อนุญาตให้ใช้โดรนในการตรวจสอบ PAPI ได้ กองไฟฟ้า กรมช่างโยธาทหารอากาศ จึงนำโดรนไปตรวจสอบ PAPI ทุกสนามบินที่ ทอ.รับผิดชอบ เพื่อช่วยลดความผิดพลาดจาก การตรวจสอบภาคพื้นเพียงอย่างเดียว ทำให้การตรวจสอบมี ความถูกต้องตามมาตรฐาน ทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตรวจสอบไฟ PAPI โดยสามารถลดเวลาในการ ตรวจสอบ ลดความเสี่ยงของนักบินและเจ้าหน้าที่บินทดสอบ ลดการจราจรทางอากาศในการบินทดสอบ และลดมลภาวะ ทางเสียง ลดการสิ้นเปลืองงบประมาณจำนวนมากในการใช้ เครื่องบินบินทดสอบอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

1. น.อ.สมศักดิ์ เสนกรรหา ตำแหน่ง ผอ.กฟพ.ชย.ทอ.

โครงการนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้เลยหากไม่มีโดรน ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักที่สำคัญในการทำโครงการในครั้งนี้ ผอ.กฟพ.ชย.ทอ.ได้เล็งเห็นประโยชน์ที่จะได้รับจากการทดลอง ในครั้งนี้ จึงได้ผลักดันโครงการและสนับสนุนงบประมาณใน การจัดหาโดรนไว้สำหรับการบินทดสอบในครั้งนี้ และได้ ประสานบุคคลากรจากหลายหน่วยงานที่จะช่วยให้งานนี้ สำเร็จได้ด้วยดี

2. เจ้าหน้าที่ กองปฏิบัติการบิน ฝ่ายบินทดสอบ บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด

บวท.ได้บิน Flight Check ให้กับกองทัพอากาศเป็น ประจำ ทำให้คณะทำงานได้เห็นขั้นตอน และกระบวนการ บินทดสอบภาคอากาศของ บวท.จึงมีแนวคิดถึงความเป็นไป ได้ที่จะนำอากาศยานไร้คนขับมาบินตรวจสอบไฟนำร่อนได้

เช่นเดียวกับเครื่องบิน โดยใช้หลักการเดียวกันกับ บวท.ซึ่งเจ้าหน้าที่ บวท.ได้ถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ และวิธีการที่ถูกต้องให้กับคณะทำงาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลงได้ ทางคณะทำงานต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บวท.ดังนี้

2.1 นายอินชา โรจนอุดมพร ตำแหน่ง ผู้จัดการงานวิศวกรรมการบินทดสอบ กองปฏิบัติการบิน ฝ่ายบินทดสอบ บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด

2.2 นายกฤษทิพย์ นามโคตร อดีตผู้จัดการงานวิศวกรรมการบินทดสอบ กองปฏิบัติการบิน ฝ่ายบินทดสอบ บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] ICAO DOC 9137 Airport services manual part 9, Fifth Edition. 1984 : หน้า 5.
- [2] ICAO Annex 14 Aerodromes Volume1 Aerodrome Design and Operations, Ninth Edition. July 2022 หน้า 5-47.
- [3] คู่มือปฏิบัติงานบินทดสอบ Visual Aids บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1, 20 พ.ค.2564.
- [4] ICAO Annex 14 Aerodromes Volume1 Aerodrome Design and Operations, Ninth Edition. July 2022 หน้า 5-49.
- [5] <https://canarddrones.com>
- [6] <https://www.colibrex.com/en/home>
- [7] <https://cursir.com>
- [8] ICAO Doc 9157 Part 4 Visual Aids, Fifth Edition. 2021 : หน้า 8-31.

การวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์ของอากาศยานไร้คนขับ
สมรรถนะสูงเพดานบินต่ำพลังงานแสงอาทิตย์ M Solar-X แบบโจมตี

**AERODYNAMIC CHARACTERISTICS ANALYSIS OF SOLAR POWERED
UNMANNED AERIAL VEHICLE M SOLAR-X “STRIKER”**

ณภัทร โรจนาวรรณ¹ (Napat Rodjanawon)¹

ธีรวัฒน์ แพรกทอง² (Teerawat Praekthong)²

บัญญัติ บุณนาค³ (Banyaphon Bunnag)³

ปราณนต์ เทศแก้ว⁴ (Pranon Tedkaew)⁴

วันชัย เจียจันทร์⁵ (Wanchai Jiajan)⁵

¹นักเรียนนายเรืออากาศ สาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน (rodjanawon4@gmail.com)

²นักเรียนนายเรืออากาศ สาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน (teerawat.pond68@gmail.com)

³นักเรียนนายเรืออากาศ สาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน (ohm_bb6762@hotmail.com)

⁴นักเรียนนายเรืออากาศ สาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน (pranontob@gmail.com)

⁵อาจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (aerowanchai@gmail.com)

บทคัดย่อ: อากาศยานไร้คนขับมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันโดยเฉพาะอากาศยานไร้คนขับแบบโจมตีเพื่อการทำสงครามยุคใหม่ การพัฒนาขีดความสามารถของอากาศยานไร้คนขับสำหรับโจมตีจึงมีความสำคัญและสามารถตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ของกองทัพอากาศ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาอากาศยานไร้คนขับ M Solar-X ให้มีขีดความสามารถในการปฏิบัติการกิจ โดยใช้ทฤษฎีการออกแบบเชิงหลักการเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งยูทโรปรแกรมและการออกแบบภารกิจของอากาศยานไร้คนขับแบบโจมตีให้สามารถปฏิบัติการกิจให้เกิดประโยชน์สูงสุด และวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่ออากาศยานไร้คนขับจากการติดตั้งยูทโรปรแกรมกระสุนปืน ค. 60 มม. จำนวน 2 ลูก โดยการออกแบบจำลองประกอบกับตัวอากาศยานด้วยโปรแกรมกราฟิกวิศวกรรมเพื่อนำไปคำนวณต่อด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลและวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าผลกระทบเนื่องจากการติดตั้งยูทโรปรแกรมส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะอากาศยานในด้านการใช้พลังงานที่ต้องใช้มากขึ้น ซึ่งสามารถนำค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์ต่อยอดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ M Solar-X และเป็นแนวทางสำหรับอากาศยานไร้คนขับแบบอื่นได้

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ M Solar-X, ภารกิจโจมตี, ทฤษฎีการออกแบบเชิงหลักการ, การออกแบบภารกิจของอากาศยานไร้คนขับแบบโจมตี, การวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

Abstract: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have undergone continuous technological development and are widely used today, especially Unmanned Combat Aerial Vehicles (UCAVs) for modern warfare. Developing UCAV capabilities for strike missions is important and responds to the Royal Thai Air Force (RTAF) strategy. This research aims to study the feasibility of developing the “M Solar-X” UAV for strike mission capabilities. The study uses conceptual design theory to determine the optimal position for weapon installation and Mission Profile Design (MPD) for the greatest effectiveness. Then analyzes the impact on the UAV from installing two 60 mm mortar rounds. Then analyze the effects of aerodynamic characteristics on M Solar-X with an additional 2 rounds of mortar ammunition attached in the Computer Aided Design (CAD) model, then use Computational Fluid Dynamics (CFD) to analyze the changes in aerodynamic characteristics. The results show that the installation of weapons significantly increases the drag coefficient, affecting the aircraft's performance in terms of increased energy required. The aerodynamic characteristics obtained from this research can be utilized to further related studies of the M Solar-X and can be a guideline for other types of UAVs.

Keywords: M Solar-X UAV, Strike Mission, Conceptual Design Theory, Mission Profile Design, Aerodynamic Characteristic Analysis

1. บทนำ

เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับถูกใช้ในเหตุการณ์ความขัดแย้งที่เกิดขึ้นทั่วโลก และสามารถสร้างความได้เปรียบในการด้านความมั่นคงได้ กองทัพอากาศเห็นความสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับสำหรับป้องกันประเทศ จึงได้มีการกำหนดแผนยุทธศาสตร์กองทัพอากาศขึ้นภายใต้วิสัยทัศน์ “UNBEATABLE AIR FORCE” หรือ “กองทัพอากาศที่แข็งแกร่งและมีประสิทธิภาพ”

เพื่อตอบสนองนโยบายการพัฒนา อากาศยานไร้คนขับต่อสู้ (Unmanned Combat Aerial Vehicle:UCAV) บนพื้นฐานของการพึ่งพาตนเองร่วมกับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ได้มีการวิจัยและพัฒนาอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์ “M-Solar X” ซึ่งเป็นอากาศยานไร้คนขับสมรรถนะสูง เพดานบินต่ำ มีสมรรถนะการบินที่ทนนานด้วยเทคโนโลยีเซลล์สุริยะเพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับอากาศยาน สามารถปฏิบัติการภารกิจทหารและนอกเหนือการทหารได้ อนุรักษ์มาตรฐานการใช้งานจริงในการปฏิบัติการป้องกันฐานบิน และภารกิจเฝ้าระวัง และจะเป็นอากาศยานไร้คนขับหลักที่ถูกใช้งานโดยหน่วยงานของกองทัพอากาศในอนาคต และพัฒนาขีดความสามารถไปสู่อากาศยานไร้คนขับต่อสู้ ซึ่งสามารถปฏิบัติการที่ตอบสนองต่อภารกิจของกองทัพอากาศได้

เพื่อพัฒนาอากาศยานไร้คนขับต่อสู้ที่สามารถปฏิบัติการในการลาดตระเวนและโจมตีทางอากาศ แต่การพัฒนาอากาศยานไร้คนขับต่อสู้ ด้วยการติดกระสุนปืน ค. นั้น จะทำให้ส่งผลกระทบต่ออากาศยานทางอากาศพลศาสตร์หรือสมรรถนะที่เปลี่ยนไป ซึ่งจำเป็นที่จะศึกษาความเป็นไปได้และผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นได้ จึงเป็นที่มาและนำไปสู่วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้

2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

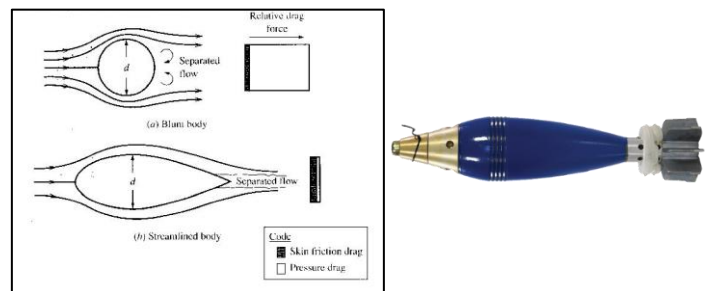
2.1 ทฤษฎีทางอากาศพลศาสตร์

เนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการติดตั้งยูทโรเปอร์ณ์จึงส่งผลกระทบต่อแรงต้านที่เพิ่มขึ้น โดยแรงต้านที่เพิ่มมากขึ้นนั้นส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการบินของอากาศยานไร้คนขับ เช่น การบินทน (Maximum Endurance) และการบินไกล (Maximum Range) โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิด แรงต้าน นั้นเกิดจากองค์ประกอบของความเนียนและความดันในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของการบิน โดยทั่วไปแล้ว แรงต้านสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

แรงต้านเหนียวนำหรือแรงต้านที่เกิดจากแรงยก (Induced Drag) และแรงต้านติดตัว (Parasite Drag) ซึ่งแรงต้านติดตัวนี้มีผลกระทบโดยตรงกับงานวิจัยนี้เนื่องจากเป็นแรงต้านที่เกิดจากรูปร่างของวัตถุใดๆ และแรงเสียดทานของกระแสอากาศกับผิวของอากาศยาน เช่น ลำตัว ปีก พื้นบังค้ำ เครื่องยนต์และอุปกรณ์อื่น ๆ ทุกส่วน ซึ่งการติดตั้งยูทโรเปอร์ณ์เพิ่มเข้าไปในอากาศยานเป็นการเพิ่มขนาดของพื้นที่ผิวที่ทำให้เกิดแรงต้านติดตัวเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 1 และ 2

D	=	D_f	+	D_p
แรงต้านเบ็ดเสร็จ		แรงต้านที่เกิดจาก		แรงต้านที่เกิดจากการไหลแยกตัว
เนื่องจากผลกระทบ		ความเสียดทานผิว		หรือแรงต้านที่เกิดจากความดัน
ของความหนืด				

ภาพที่ 1 แรงต้านที่เกิดขึ้นจากผลกระทบของความเสียดทาน



ก.)

ข.)

ภาพที่ 2 ก.) วัตถุทรงลู่อากาศ (Streamlined body) จะมีแรงต้านติดตัวที่น้อยกว่าวัตถุทรงทื่อ (Blunt body)

ข.) ลูกกระสุนปืน ค.ขนาด 60 มม.

2.2 การคำนวณหาค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์โดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

เนื่องจากการไหลที่พบในชีวิตประจำวันนั้นเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ทั้งหมด ทำให้คณะผู้วิจัยต้องใช้เครื่องมือในการช่วยแก้สมการเหล่านี้เพื่อหาค่าหรือตัวแปรทางอากาศพลศาสตร์ที่ต้องการทราบค่า ซึ่งเครื่องมือที่นั่นก็คือโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD)

โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือ Continuum CFD และ Discrete CFD

2.2.1 Continuum CFD

- ขั้นที่ 1 คือการกำหนดสมการที่ใช้อธิบายพฤติกรรม (Partial Differential Equations) เช่น สมการ Navier-Stokes เป็นต้น

- ขั้นที่ 2 คือการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขต่าง ๆ เช่น Finite Difference Method, Finite Volume Method, Finite Element Method เป็นต้น เพื่อแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยให้กลายเป็นสมการทางพีชคณิต

- ขั้นที่ 3 หาคำตอบหรือตัวแปรที่ต้องการทราบค่าจากสมการทางพีชคณิตเหล่านั้น ความยากของวิธีประเภท Continuum CFD เกิดขึ้นหลังจากผู้ใช้วิธีนี้ได้ทำการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยให้อยู่ในสมการพีชคณิตแล้ว ตัวแปรเหล่านั้นจะถูกเก็บไว้ในภาพของเมตริกซ์ขนาดใหญ่หากปัญหาที่ต้องการแก้ปัญหานั้นมีความซับซ้อน

2.2.2. Discrete CFD

Discrete CFD มาจากการชนกันระหว่างอนุภาคโดยอิงตามหลักของการอนุรักษ์มวลและการอนุรักษ์โมเมนตัม นั้นส่งผลให้สมการของวิธี Discrete CFD เป็นสมการทางพีชคณิต ยกตัวอย่างเช่น สมการโครงผลึกโบลต์ซมันน์

(Lattice Boltzmann Equation) ในส่วนของตัวแปรที่ต้องการทราบค่าจากสมการนี้ มีเพียงหนึ่งตัวคือ Single-Particle Probability Distribution Function (f_i) ในส่วนของสิ่งอื่น ๆ ที่ต้องการทราบค่า เช่น ความเร็วหรือความหนาแน่นนั้น หาได้จากค่า f_i ได้เลย นั่นจึงส่งผลให้วิธีนี้ง่ายกว่าวิธี Continuum CFD และได้รับความนิยมมากกว่าสำหรับการจำลองการไหลที่มีลักษณะซับซ้อน เช่น การไหลแบบปั่นป่วน การไหลแบบหลายสถานะ หรือการไหลในวัสดุที่มีรูพรุน เป็นต้น

3 วิธีการดำเนินวิจัย

3.1 การสำรวจแบบอากาศยานไร้คนขับที่มีการติดอาวุธและใช้งานอยู่จริง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเปรียบเทียบข้อมูลของ M Solar-X กับลำดับชั้นของอากาศยานไร้คนขับ 5 กลุ่ม โดยพิจารณาแบ่งกลุ่มตามน้ำหนักวิ่งขึ้นสูงสุดและความสูงปฏิบัติการ พบว่าอากาศยานไร้คนขับ M Solar-X จัดอยู่ในอากาศยานไร้คนขับกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีน้ำหนักวิ่งขึ้นสูงสุดที่ 20 กิโลกรัม (44.09 ปอนด์) และความสูงปฏิบัติการ 150-1,000 เมตร (492-3,280 ฟุต) ทำให้มีความคล่องตัวสูง มีความซับซ้อนของระบบน้อย และเป็นอากาศยานประเภทที่ถูกใช้มากที่สุดในการปฏิบัติการโจมตี

Category	Size	Maximum Gross Takeoff Weight (MGTW) (lbs)	Normal Operating Altitude (ft)	Airspeed (knots)
Group 1	Small	0-20	<1,200 AGL*	<100
Group 2	Medium	21-55	<3,500	<250
Group 3	Large	<1320	<18,000 MSL**	<250
Group 4	Larger	>1320	<18,000 MSL	Any airspeed
Group 5	Largest	>1320	>18,000	Any airspeed

ภาพที่ 3 การจำแนกประเภทของอากาศยานไร้คนขับตามระเบียบของกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ระบบอาวุธที่ถูกใช้งานในอากาศยานไร้คนขับประเภทนี้มักจะเป็น ระเบิดแสวงเครื่อง (Improvised Explosive Device), ระเบิดไม่นำวิถีขนาดเล็ก (Unguided Bomb) ลูกกระสุนเครื่องยิงจรวด (Rocket Launcher Round) ลูกกระสุน(Mortar Round) ตัวอย่างตามภาพที่ 3.2



ก.)



ข.)



ค.)

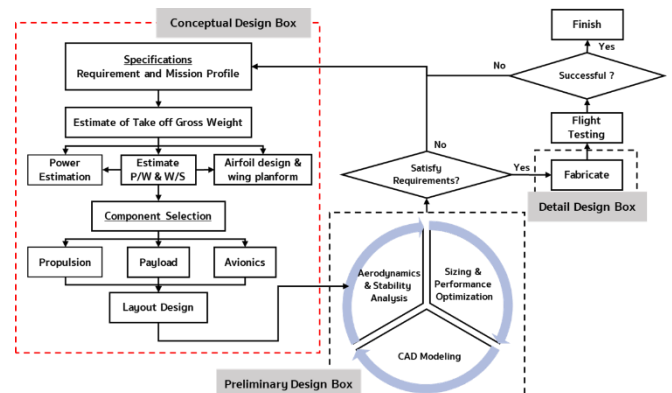
ภาพที่ 4 ก.) อากาศยานไร้คนขับติดลูกกระสุนปืนครก
ข.) อากาศยานไร้คนขับติดตั้งระเบิดแสวงเครื่องไม่นำ
ค.) อากาศยานไร้คนขับบรรทุกลูกกระสุน RPG-7

ซึ่งตำแหน่งของการติดตั้งอาวุธที่สามารถติดตั้งได้ในระบบอากาศยานทั่วไป สามารถติดตั้งได้ 3 ตำแหน่งคือ การติดตั้งใต้ลำตัว (Fuselage Hardpoint), การติดตั้งใต้ปีกพร้อมรางปลดปล่อยอาวุธ (Pylon under the Wing) และการติดตั้งภายในลำตัวเครื่อง (Internal Weapon Bay)

M Solar-X มีความได้เปรียบในน้ำหนักที่เบาและขนาดที่เล็กกะทัดรัด แต่มี “Wing Loading” ซึ่งหมายถึง น้ำหนักที่ปีกของเครื่องสามารถรับได้ นั้นมีค่าต่ำเกินไปที่จะรองรับน้ำหนักของลูกกระสุนปืนครกขนาด 60 มม. ได้ ดังนั้นการติดตั้งยูทโพรปรณ์ใต้ลำตัวอากาศยาน M Solar-X มีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากช่วยให้จุดศูนย์ถ่วงของอากาศยานไม่เปลี่ยนแปลงมาก, อากาศยานมีเสถียรภาพหลังการปล่อยน้ำหนักบรรทุกมากกว่าการติดตั้งใต้ปีก, ความง่ายต่อการวางโครงสร้างและระบบของกลไกของน้ำหนักบรรทุก, ลดการเกิดการซ้อนทับระหว่างระบบย่อยภายในปีก เช่น ระบบ VTOL หรือระบบ Flight Control

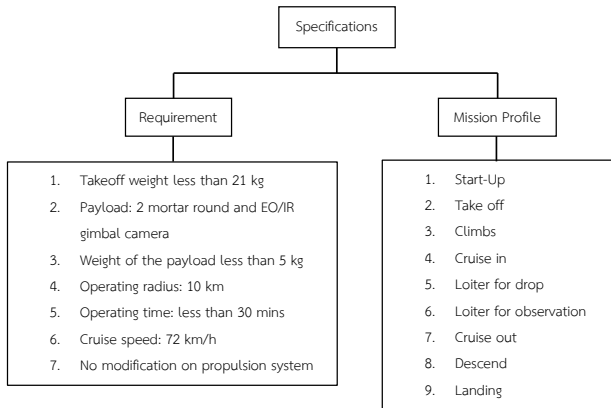
3.2 การทำแผนแบบเชิงหลักการในการติดตั้งระบบยูทโพรปรณ์ของ M Solar-X

การใช้แนวคิดการออกแบบเชิงหลักการ เพื่อให้เห็นวัตถุประสงค์ของการออกแบบเพื่ออะไรและตอบโจทย์การใช้งานอย่างไร ซึ่งต้องมีการระบุที่ชัดเจน ในความต้องการและรูปแบบภารกิจที่จะถูกใช้งาน โดยรูปแบบภารกิจที่ได้รับการออกแบบขึ้นใหม่จากภารกิจการข่าวการเฝ้าระวังและลาดตระเวน เป็นภารกิจการโจมตีเป้าหมายภาคพื้น

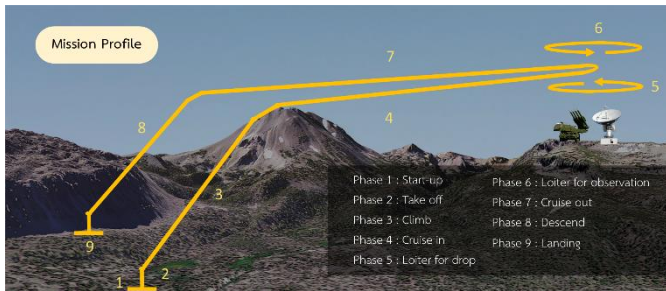


ภาพที่ 5 แผนภาพหลักการและขั้นตอนของ Conceptual Design

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



ก.)



ข.)

ภาพที่ 6 การกำหนด ก.) Requirement และ ข.) Mission Profile

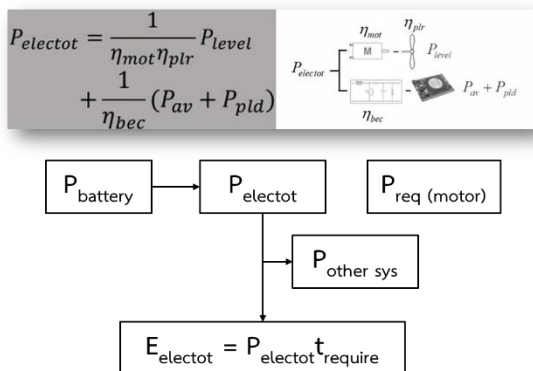
3.2.3 Power Estimation (ประเมินกำลังที่ต้องใช้)

$$T_{req} = D$$

$$P_{req} = T_{req}V = DV$$

$$P_{req} = 423.928 W$$

3.2.4 Power Available



ภาพที่ 7 กำลังทางกลของมอเตอร์ ($P_{require}$) สามารถสร้างได้เพียงร้อยละ 53 ของกำลังทางไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียกำลังจากระบบภายในอื่น ๆ และแบตเตอรี่ Li-on สามารถดึงกำลังทางไฟฟ้าได้เพียงร้อยละ 90 ของกำลังทั้งหมด

3.2.5 Energy Available (ประเมินกำลังแบตเตอรี่)

$$P_{battery} = P_{req}(2.096) = 844.36 W$$

3.2.6 การหา Energy Electric (พลังงานแบตเตอรี่

$$t_{designed} = 0.4 h)$$

$$E_{electot} = P_{electot}(t) = 303.96 W$$

3.2.7 แบตเตอรี่ 1 kg สามารถให้พลังงานได้

$$= 250 WH/kg$$

3.2.8 Battery Require = $\frac{E_{electot}}{E_{electot}(1kg)} = 1.21 kg$

3.2.9 สรุปผล คือแบตเตอรี่สามารถให้พลังงานเพียงพอต่อการปฏิบัติการกิจ

1. Default Battery = 4.5 kg

2. Mortar Rounds (2) = 2.76 kg
(1.38 per each)

3. Battery_{actual}

$$Battery_{(no\ mortars)} - Battery_{(with\ mortars)} = 1.74 kg$$

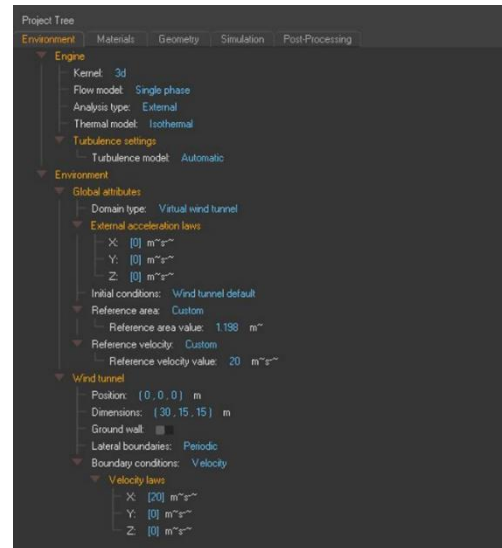
3.3 การวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

โปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือโปรแกรม SIMULIA X-flow 2017 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธี Lattice Boltzmann Method การกำหนดเงื่อนไขการไหล (Boundary Conditions) ใช้การอ้างอิงสภาพแวดล้อมที่ทำการบินปกติในภารกิจเดิมของ M Solar-X คือการบินที่ความสูง 150-300 เมตร จากระดับน้ำทะเล (Reference density: 1.104 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ที่อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงกลางวัน (Operating temperature: 311.15 เคลวิน) ความเร็วในการบินเดินทาง 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง (Reference velocity value: 20 เมตร/วินาที) การกำหนด No-Slip condition นอกจากนี้ ในการคำนวณได้กำหนด Resolution ดังต่อไปนี้

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

Environment

- Thermal model: Isothermal
- Turbulence model: Automatic
- Reference area: Custom
- o Reference area value: 1.198 m²
- Wind tunnel > Dimension (X, Y, Z): (30, 15, 15) m
- Material1 > Viscosity model: Newtonian
- o Dynamic viscosity: 1.7894e-05 Pa*s
- Material1 > Thermal conductivity: 0.0243 W/(m*K)
- Material1 > Specific heat capacity: 1006.43 J/(kg*K)
- Orientation (X, Y, Z): (0, 0, -2) deg *แล้วแต่ขนาดของมุมปะทะ*
- Refinement algorithm: Adaptive refinement > Wake resolution: 0.03125
- Store data > Frame frequency: 50 Hz
- Store data > Numerical data frequency: Solver time step
- Store data > Save averaged fields: Off
- Store data > Save resume file: Off
- Store data > Compute markers: Off
- Field to save > Vorticity: Off
- Field to save > Static pressure: On
- Field to save > Total pressure: On
- Field to save > Turbulence intensity: On
- Field to save > Effective viscosity: On

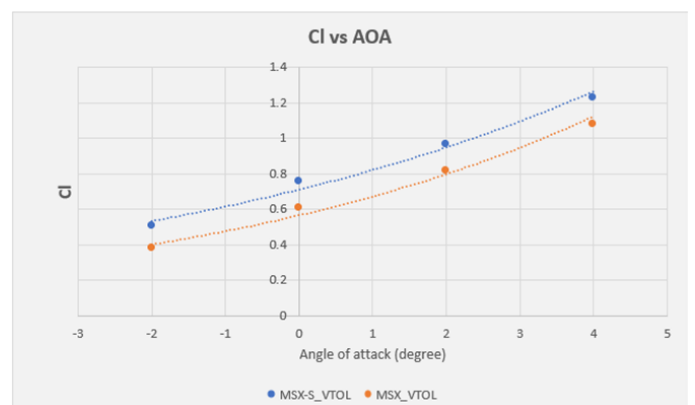


ภาพที่ 8 หน้าต่างการกำหนด boundary conditions ของโปรแกรม X-flow

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 เปรียบเทียบผลการคำนวณพลศาสตร์ของไหลของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่งแบบไม่ติดตั้งอาวุธและแบบติดตั้งอาวุธ

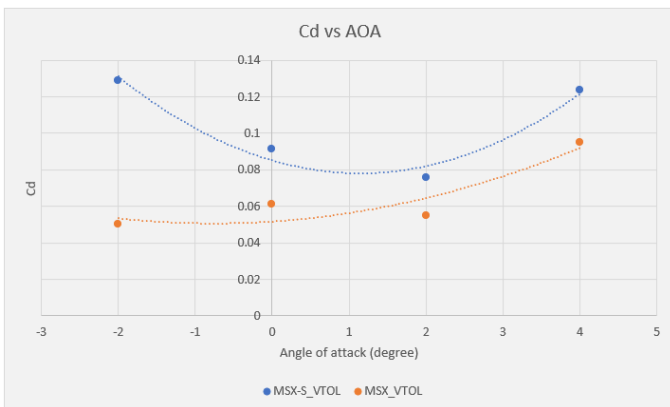
สัมประสิทธิ์แรงยก (Lift Coefficient, C_L)



ภาพที่ 9 แสดงผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของอากาศยานแบบติดตั้งระบบขึ้นลงทางดิ่งธรรมดาและอากาศยานที่ติดตั้งระบบอาวุธที่ Parameters เดียวกัน ที่มุมปะทะ -2 , 0 2 และ 4 องศา ตามลำดับ

โดยเมื่อเปรียบเทียบกันจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.6 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เกิดจากการติดตั้งระบบอาวุธทำให้พื้นที่ปีกไม่เปลี่ยนแปลงเลย ทำให้ค่าของสัมประสิทธิ์แรงยกจึงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่าการติดตั้งระบบอาวุธส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์แรงยกเพียงเล็กน้อย

สัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag Coefficient, C_D)



ภาพที่ 10 แสดงผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของของอากาศยานแบบติดตั้งระบบขึ้นลงทางดิ่งธรรมดาและอากาศยานที่ติดตั้งระบบอาวุธที่ Parameters เดียวกัน ที่มุมปะทะ -2 , 0 , 2 และ 4 องศา ตามลำดับ

โดยเมื่อเปรียบเทียบกันจะพบว่ากรณีที่แบบจำลองที่มีการติดตั้งระบบอาวุธจะส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.8 พบค่าความแตกต่างอย่างชัดเจนโดยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเพิ่มขึ้นตลอดการทดสอบโดยเฉลี่ยประมาณ 35% เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ต่างกันของอากาศยานที่ติดตั้งระบบขึ้นลงทางดิ่งธรรมดาและเพิ่มการติดตั้งระบบอาวุธ แสดงว่าเกิดแรงต้านเหนียวนำ (Induced Drag) น้อยมาก ดังนั้นเหตุผลที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่เพิ่มขึ้น คือ แรงต้านติดตัว (Parasite Drag) อันเนื่องมาจากการติดตั้งระบบอาวุธ หลังจากได้ค่า

อากาศพลศาสตร์ของสัมประสิทธิ์แรงยก และแรงต้านจากหัวข้อที่กล่าวมาในข้างต้น จากนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ค่าอากาศพลศาสตร์ L/D หรือ C_L/C_D ได้ ซึ่งถือได้ว่ามีส่วนสำคัญในการใช้วิเคราะห์สมรรถนะของอากาศยาน เช่น พิสัยบิน (Range) ระยะเวลาในการบินเดินทาง (Endurance) เป็นต้น



ภาพที่ 11 แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณและทดสอบของแรงยกและแรงต้าน (L/D หรือ C_L/C_D) ของอากาศยานทั้งสองแบบในการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล จะเห็นว่าให้กราฟมีแนวโน้มเดียวกัน ซึ่งส่งผลให้ค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์แรงยกต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านไม่เท่ากันแต่ให้กราฟมีแนวโน้มเดียวกัน โดยให้ค่าของสัมประสิทธิ์แรงยกต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดของอากาศยานแบบขึ้นลงทางดิ่งธรรมดาที่มุมปะทะ 2 องศา และค่าของสัมประสิทธิ์แรงยกต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดของอากาศยานแบบขึ้นลงทางดิ่งแบบติดตั้งอาวุธที่มุมปะทะ 2 องศา เหมือนกัน

4.2 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบอาวุธ (Mortar) บน M Solar-XVTOL

Power Estimation

$$T_{req} = D \quad (1)$$

$$P_{req} = T_{req}V = DV \quad (2)$$

$$P_{req} = \frac{1}{2}\rho v^3 SC_{D0} + \frac{W^2}{\frac{1}{2}\rho v S} \left(\frac{1}{\pi e AR} \right) \quad (3)$$

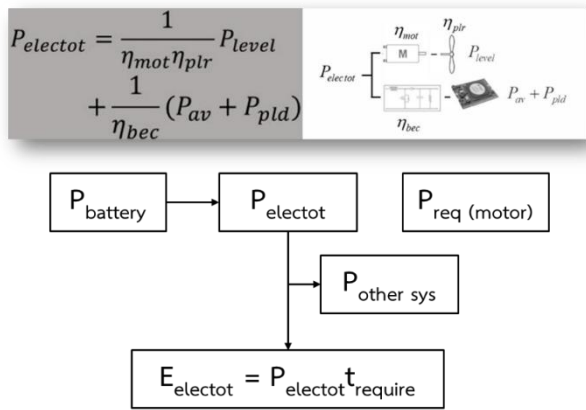
$$P_{req} = 423.928 W \quad (4)$$

Power Require for level flight

แบตเตอรี่ 1 kg สามารถให้พลังงานได้

Specific Energy = 250 WH/kg

4.3 Power Available



ภาพที่ 12 กำลังทางกลของมอเตอร์ ($P_{require}$) สามารถสร้างได้เพียงร้อยละ 53 ของกำลังทางไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียกำลังจากระบบภายในอื่น ๆ และแบตเตอรี่ Li-on สามารถดึงกำลังทางไฟฟ้าได้เพียงร้อยละ 90 ของกำลังทั้งหมด

4.4 Energy Available

$$P_{req} = 470.246 W$$

$$P_{electot} = 799.86 W$$

$$P_{battery} = 888.73 W$$

4.5 สรุปผลความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบอาวุธ

(Mortar) บน M Solar-X VTOL

การหา Energy Electric

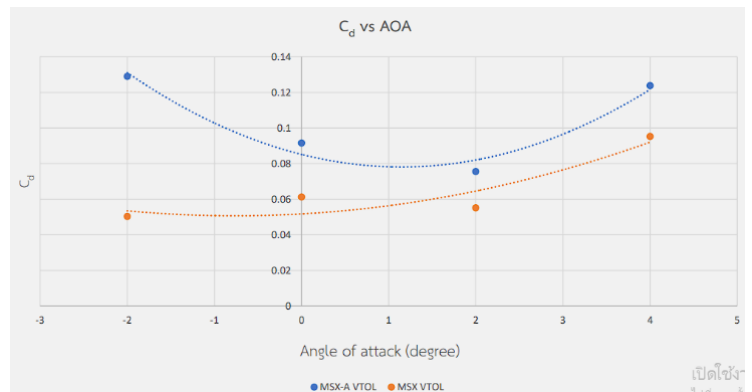
$$E_{electot} = P_{electot} * t$$

$$P_{electot} = 799.86 W$$

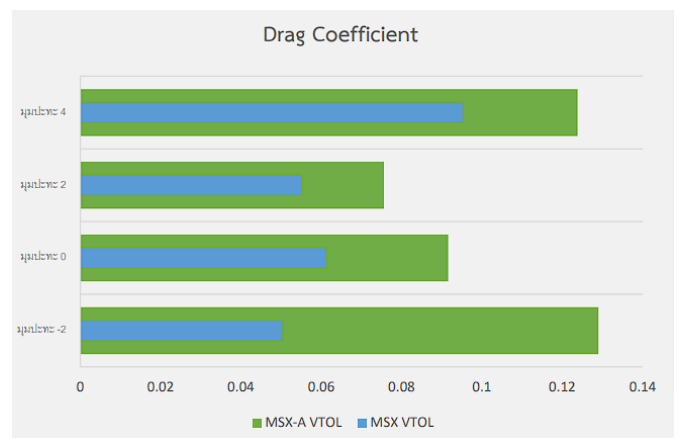
$$t_{designed} = 0.4 h$$

$$E_{electot} = 319.944Wh$$

5 สรุปผลการวิจัย



ภาพที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ Drag Coefficient กับมุมปะทะเปรียบเทียบกับ M Solar-X แบบติดอาวุธกับแบบธรรมดา แรงต้านที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลต่อการใช้กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่มากขึ้นซึ่งแบตเตอรี่เดิมนั้นสามารถปฏิบัติการกิจได้นาน 2-4 ชั่วโมง เพื่อชดเชยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจาก ค.60 มม. จำนวน 2 ลูก ทำให้ต้องมีการลดขนาดของแบตเตอรี่ลงและจากการประเมินขนาดของแบตเตอรี่ ทำให้สามารถลดขนาดแบตเตอรี่ลงได้เหลือเพียง 1.74 กิโลกรัม ซึ่งเพียงพอสำหรับการปฏิบัติการกิจโจมตีที่ใช้เวลาไม่ถึง 30 นาที



ภาพที่ 14 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบสมรรถนะทางอากาศพลศาสตร์

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

จากการวิเคราะห์การติดยุคโพรเกรส กระสุน ค.60 มม. บนอากาศยาน แสดงให้เห็นว่าอากาศยานไร้คนขับ M Solar-X สามารถพัฒนาเพื่อปฏิบัติการโจมตีได้ โดยพิจารณาจากค่าคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ที่ได้จากการคำนวณพลศาสตร์ของไหลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยผลที่ได้จากการคำนวณคือ มีค่าแรงต้านที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวของยุคโพรเกรสที่ติดตั้ง

6. ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต

คณะวิจัยได้ทำการออกแบบ Mission Profile ที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการโจมตี ในรัศมีปฏิบัติการ 10 กิโลเมตร อย่างไรก็ตามหากมีการพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยน Mission Profile ตามความเหมาะสมหากต้องการคุณลักษณะเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์เพิ่มเติม จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการทดสอบในอุโมงค์ลม เพื่อการเปรียบเทียบผลโดยสามารถนำไปต่อยอดการพัฒนาอากาศยานไร้คนขับแบบติดอาวุธได้ในอนาคต

7. บรรณานุกรม

- [1] กองทัพอากาศ. “นโยบายผู้บัญชาการทหารอากาศ ปีพุทธศักราช ๒๕๖๔”. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก https://www.rtaf.mi.th/th/Documents/Publication/RTAF_Policy_2564.pdf , ๒๕๖๐.
- [2] กองทัพอากาศ. “ยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ ๒๐ ปี (๒๕๖๐-๒๕๗๙)”. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <https://do.rtaf.mi.th/index.php/2016-09-20-08-07-53/20-2560-2579> , ๒๕๖๔.
- [3] อิศระ เชิดชู. (2548). อากาศพลศาสตร์. กองวิทยากรกรมช่างอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ

- [4] วิชาพล โรจนรัตน์นางกูร. (2551). การจำลองเชิงตัวเลข โดยตรงสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยใช้วิธีโครงสร้างบล็อกซ์มันน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [5] Barlow, Jewel, B., Rea, William, H., & Pope, A. (1999). Low-speed Wind Tunnel Testing. New York: Wiley & Son,
- [6] ภาณุวัฒน์ ม., ณัฐพล น., ธนโชติ ง. และ วีรวัฒน์ ก., “การวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์ อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กขึ้น-ลง ทางดิ่งสมรรถนะสูง เพื่อส่งกำลังบำรุง”, โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, 2563.

การนำอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิดปีกตรึงจอดด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute

Landing of a Small Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicle Using a Deep-Stall and Parachute

สุคนธ์ พันธุ์เนร¹ (Sukon Puntunan)¹

ชำนาญ เพชรโชติ² (Chamnan Phetchot)²

จันทสิทธิ์ ประวิตร ณ อยุธยา³ (Jintasit Pravitra)³

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (sukon_pun@rtaf.mi.th)

²รองผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม กองการศึกษา
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (chamnan_pedch@rtaf.mi.th)

³อาจารย์กองการศึกษา กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (jintasit_p@rtaf.mi.th)

บทคัดย่อ: บทความนี้นำเสนอการออกแบบวิธีการนำอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิดปีกตรึง (Fixed-Wing) ลงจอดในพื้นที่จำกัด (Confined Area) โดยใช้วิธี Deep-Stall and Parachute โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบวิธีการนำอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กลงจอดในพื้นที่ที่มีขนาดจำกัด มีขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย การออกแบบวิธีการลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute และการทดสอบการบิน ผลการวิจัยพบว่า อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กสามารถลงจอดในพื้นที่จำกัด ด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute ได้ตามที่ออกแบบไว้

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก, การลงจอดแบบ Deep-Stall, การลงจอดด้วย Parachute

1. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.1 เพื่อออกแบบวิธีการนำอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิดปีกตรึง (Fixed-Wing) ลงจอดในพื้นที่จำกัด (Confine-Area) โดยวิธี Deep-Stall and Parachute

1.2 เพื่อทดสอบการลงจอดของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิดปีกตรึง (Fixed-Wing) ด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute ตามวิธีการที่ออกแบบ

2. ขอบเขตของการวิจัย

อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิดปีกตรึง ที่ใช้ในการทดสอบ มีน้ำหนักไม่เกิน 5.5 กิโลกรัม และมีระยะกางปีก (Wing Span) ไม่เกิน 3 เมตร

3. บทนำ

อากาศยานไร้คนขับปีกตรึงเป็นอากาศยานที่มีวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่ต้องการระยะเวลาในการบินเป็นเวลานานและสามารถทำการบินได้ไกล เนื่องจากรูปแบบของปีกที่ติดอยู่กับลำตัวของอากาศยาน ช่วยให้การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในอากาศสามารถทำได้ด้วยพลังงานที่น้อยกว่าอากาศยานปีกหมุน นอกจากนั้นอากาศยานไร้คนขับปีกตรึงยังมีน้ำหนักที่เบากว่าและมีโครงสร้างของเครื่องยนต์ขับเคลื่อนที่ซับซ้อนน้อยกว่าอากาศยานปีกหมุน ทำให้ต้นทุนของอากาศยานไร้คนขับปีกตรึงต่ำกว่า ตัวอย่างงานที่เหมาะสมสำหรับอากาศยานไร้คนขับปีกตรึง ได้แก่ การใช้เพื่อการถ่ายภาพทางอากาศ การสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่ การใช้เพื่อการค้นหาและกู้ภัย เป็นต้น ถึงแม้ว่าอากาศยานไร้คนขับปีกตรึงจะมีข้อดีหลายประการ แต่การใช้งานอากาศยานไร้คนขับปีกตรึงมีความท้าทายเป็นอย่างมากในเรื่องการนำอากาศยานลงจอดในพื้นที่จำกัด (Confined Area) ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดในการใช้อากาศยานไร้คนขับปีกตรึงที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ในการนำอากาศยานไร้คนขับปีกตรึงลงจอดต้องใช้พื้นที่และระยะทางในการร่อนลง (Landing) เป็นระยะทางที่

เหมาะสมกับขนาดของอากาศยานนั้นๆ ตัวอย่างของพื้นที่จำกัดที่เป็นอุปสรรคต่อการร่อนลงจอด ได้แก่ พื้นที่หลังภูเขาสูง พื้นที่ลงจอดที่อยู่ติดกับป่าทึบซึ่งมีต้นไม้สูงกีดขวางการร่อนลงของอากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ จะเป็นการออกแบบและทดสอบวิธีการนำอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิดปีกตรึง (Fixed-Wing) ลงจอดในพื้นที่จำกัด (Confined Area) โดยวิธี Deep-Stall and Parachute เพื่อลดข้อจำกัดในการลงจอด ตามที่ได้กล่าวมา

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Howard [1] ได้กล่าวถึงแนวคิดและหลักการวิธีการลงจอด โดยวิธีการลงจอดที่เป็นที่นิยมใช้ ได้แก่ การใช้ร่มหน่วงความเร็ว (Parachutes) การลงจอดด้วยวิธีการทำ Deep-Stall การลงจอดด้วยตาข่าย (Net Recovery) การลงจอดด้วยการไถลกับพื้น (Belly Landing) การลงจอดโดยใช้ล้อ (Wheeled Landings) โดยได้กล่าวไว้ว่า การลงจอดด้วยร่มหน่วงความเร็ว นอกจากจะใช้ในการลงจอดได้แล้วยังมีประโยชน์ในการใช้เป็นระบบ Fail-Safe Recovery เมื่อเกิดการตกที่ผิดปกติของอากาศยานไร้คนขับ แต่มีข้อควรระวังและข้อเสียในกรณีที่มีกระแสลมแรงในขณะลงจอดด้วยร่มหน่วงความเร็ว ที่อาจจะทำให้อากาศยานไร้คนขับลงจอดคลาดเคลื่อนไปจากจุดลงจอดที่ต้องการไปไกลมาก ส่วนการลงจอดด้วยวิธีการทำ Deep-Stall นั้น เหมาะสำหรับอากาศยานไร้คนขับที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักน้อยเท่านั้น โดยในระหว่างการทำ Deep-Stall อากาศยานไร้คนขับจะร่วงหล่นด้วยความเร็วสูงในระดับหนึ่ง ทำให้เกิดแรงกระแทกขณะกระทบพื้นที่ดินแรงที่แปรผันตามขนาดและน้ำหนักของอากาศยานไร้คนขับนั้นๆ แต่การลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall ก็มีข้อดีที่การร่วงหล่นที่รวดเร็วจะช่วยลดปัญหาความคลาดเคลื่อนในการลงจอดของอากาศยานไร้คนขับจากจุดลงจอดได้

Hiroki [2] ได้ศึกษาและวิเคราะห์การลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall ของอากาศยานไร้คนขับ การที่ Hiroki สนใจศึกษาวิธีการลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall นั้น เนื่องมาจากว่าการลงจอดของอากาศยานไร้คนขับประเภทปีกตรึง (Fixed-Wing UAV) มักจะพบปัญหาในการลงจอดในพื้นที่ที่ไม่ใช่ทางวิ่ง (Runways) ของสนามบิน แต่ต้องไปลงจอดในพื้นที่จำกัด (Confined Area) ที่สภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบมักจะล้อมรอบไปด้วยต้นไม้ อาคาร หรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ ทำให้เป็นการยากที่จะนำอากาศยานไร้คนขับลงจอดได้ แม้แต่การลงจอดโดยใช้ร่มหน่วงความเร็วก็อาจไม่เหมาะสมในกรณีที่มีกระแสลมแรง ส่วนการลงจอดโดยใช้เทคนิควิธีการลงจอดในแนวตั้ง (Vertical Take Off and Landing: VTOL) ถึงแม้จะสามารถลงจอดได้ในพื้นที่จำกัดได้ แต่จะมีข้อด้อยในเรื่องระยะเวลาบิน (Endurance) ที่ลดน้อยลงไปเมื่อเทียบกับอากาศยานไร้คนขับแบบเดียวกันที่ไม่มีระบบลงจอดแบบ VTOL โดยมีสาเหตุหลักมาจากน้ำหนักที่มีมากขึ้นของชุดขับเคลื่อนของระบบ VTOL และแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ที่มีมากขึ้นของอากาศยานไร้คนขับประเภท VTOL ในงานวิจัยของ Hiroki แสดงให้เห็นว่าในการลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall นั้น สามารถควบคุมมุมร่อนในระหว่างเกิดการ Deep-Stall ได้ หรือกล่าวอีกนัยยะหนึ่งได้ว่าสามารถควบคุมอัตราส่วนของความเร็วไปด้านหน้า (Horizontal Forward Speed) ต่อความเร็วในแนวตั้ง (Vertical Speed) ของอากาศยานไร้คนขับได้ โดยที่อัตราส่วน และมุมร่อนดังกล่าว จะมีความสัมพันธ์กับมุมปะทะของแพนหางขึ้นลง (Elevator) ของอากาศยานไร้คนขับในขณะที่ทำ Deep-Stall

Jintasit & Sukon [3] ได้พัฒนาวิธีการ (Algorithm) ในการคำนวณหาค่าความเร็ว และทิศทางของกระแสลมในบริเวณที่จะนำอากาศยานไร้คนขับลงจอดโดยใช้เทคนิควิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณค่าความเร็วกระแสลมและทิศทางของกระแสลม ดังกล่าวออกมาได้อย่าง

รวดเร็วและแม่นยำ ทำให้สามารถคำนวณค่าดังกล่าวได้บนอากาศยานไร้คนขับ โดยการคำนวณดังกล่าวได้ประยุกต์ใช้วิธี Least Square โดย Jintasit & Sukon ได้พิสูจน์ความถูกต้องและแม่นยำของ Algorithm ดังกล่าว กับอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการ (Algorithm) ดังกล่าวสามารถคำนวณความเร็วและทิศทางของกระแสลมได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และใช้เวลาประมวลน้อยทำให้สามารถประมวลผลได้ Onboard ด้วย Flight Control ได้

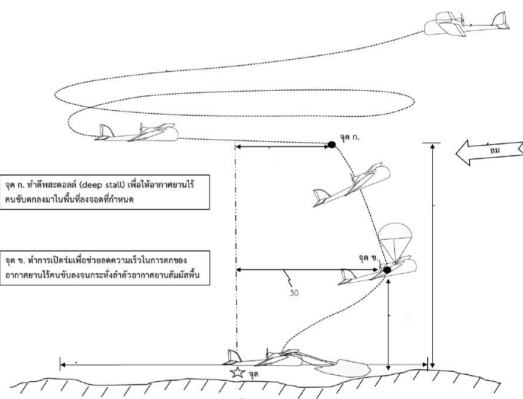
5. การออกแบบวิธีการลงจอด

การลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall มีการใช้งานอยู่แล้วในอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กบางรุ่นในต่างประเทศ เช่น อากาศยานไร้คนขับ รุ่น Raven อากาศยานไร้คนขับรุ่น PUMA และอากาศยานไร้คนขับรุ่น Skylark โดยผู้วิจัยได้ข้อมูลจากผู้ใช้งานอากาศยานไร้คนขับบางรุ่นดังกล่าวในประเทศไทยว่าในการลงจอดแบบ Deep-Stall อากาศยานไร้คนขับจะมีอายุการใช้งานประมาณ 30 ครั้งของการลงจอดบนพื้นที่ที่มีความแข็ง ส่วนการลงจอดด้วยร่มหน่วงความเร็วเพียงอย่างเดียว จะพบกับปัญหาอีกลักษณะหนึ่งกล่าวคือเมื่อลงจอดด้วยร่มหน่วงความเร็ว มักต้องเริ่มกางร่มหน่วงความเร็วที่ระยะสูงสูงกว่าสิ่งกีดขวางในพื้นที่ลงจอด เช่น ต้นไม้ เนินเขา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับจะไม่สามารถบินตัดผ่านสิ่งกีดขวางมากางร่มที่ระยะสูงต่ำกว่าสิ่งกีดขวางได้ ส่งผลให้อากาศยานไร้คนขับพร้อมร่มหน่วงความเร็วลอยห่างออกจากจุดที่ต้องการลงจอดออกไปไกล อาจถึงขั้นลอยไปติดค้างบนต้นไม้รอบๆ พื้นที่ลงจอด เมื่อพิจารณาข้อดีและข้อด้อยของการลงจอดทั้ง 2 วิธี ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ว่า การลงจอดแบบ Deep-Stall สามารถทำให้ลงจอดในพื้นที่แคบๆ ได้ และการลงจอดด้วยร่มหน่วงความเร็วในช่วงสุดท้ายก่อนถึงพื้น จะช่วยลดแรงกระแทกได้ อีกทั้งการลงจอดแบบ Deep-Stall จะทำให้สามารถกางร่มหน่วงความเร็วที่ระดับความสูงต่ำๆ (15-30 เมตร) ได้ จึงสามารถ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

แก้ปัญหาที่อากาศยานไร้คนขับพร้อมร่มห่วงความเร็วจะถูกลมพัดไกลออกไปจากจุดลงจอด

ผู้วิจัยได้ออกแบบการลงจอด ให้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนทำงาน คือ การบินวนรอบจุดลงจอด การทำ Deep-Stall และการใช้ร่มห่วงความเร็ว ภาพที่ 1 แสดงลักษณะการบินในการลงจอดตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 ลักษณะการบินในการลงจอด

5.1 การบินวนรอบจุดลงจอด อากาศยานไร้คนขับจะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมการบินให้บินเข้ามาอยู่เหนือพื้นที่จุดลงจอด และเมื่ออยู่ในพื้นที่ดังกล่าวแล้ว อากาศยานไร้คนขับจะถูกควบคุมให้บินวนด้วยรัศมี 120 เมตร เพื่อเก็บข้อมูลกระแสลมเหนือพื้นที่จุดลงจอดโดยวัดค่าดังกล่าวโดยใช้เซนเซอร์ในระบบควบคุมการบิน เมื่อบินวนครบ 1 รอบแล้ว ระบบควบคุมการบินจะคำนวณหาความเร็วและทิศทางกระแสลม ซึ่งความเร็วและทิศทางกระแสลมนี้เป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดตำแหน่งการเริ่มทำ Deep-Stall (จุด ก) และตำแหน่งการเริ่มกางร่มห่วงความเร็ว (จุด ข) เพื่อควบคุมให้อากาศยานไร้คนขับลงจอด ณ จุดลงจอดด้วยความแม่นยำ

5.2 การทำ Deep-Stall หลังจากการบินวนรอบจุดลงจอด ระบบควบคุมการบินจะสร้างเส้นทางการบิน และควบคุมให้อากาศยานไร้คนขับบินเข้าหาจุดลงจอดในทิศทางทวนกระแสลม เมื่อถึงจุด ก ซึ่งเป็นจุดที่ระบบควบคุมการ

บินคำนวณให้เป็นจุดเริ่มทำ Deep-Stall ระบบควบคุมการบินจะควบคุมให้อากาศยานไร้คนขับบินในโหมด Deep-Stall ซึ่งการบินลักษณะนี้แตกต่างจากการบินในลักษณะ Stall อย่างชัดเจน กล่าวคือ การ Deep-Stall อากาศยานไร้คนขับยังมีแรงยกเพียงพอต่อการบิน แต่จะเกิดแรงต้านที่มากกว่าปกติ ทำให้ความเร็วไปด้านหน้าของอากาศยานไร้คนขับลดลงอย่างมาก จึงทำให้เกิดการบินในลักษณะที่มีมุมร่อนประมาณ 60 องศา (การ Deep-Stall ไม่ใช่การร่วงหล่นจากสภาวะการเกิด Stall) ระหว่างการ Deep-Stall จากจุด ก ไปยังจุด ข เป็นการบินภายใต้การควบคุมเส้นทางการบิน (Trajectory) โดยระบบควบคุมการบิน ไม่ใช่เป็นการร่วงหล่นแบบอิสระ ระบบควบคุมการบินจะควบคุมทั้ง Glide Slope และ Heading Direction ของอากาศยานไร้คนขับ จนกระทั่งบินมาถึงจุด ข

5.3 การใช้ร่มห่วงความเร็ว เมื่อระบบควบคุมการบินควบคุมให้อากาศยานไร้คนขับทำ Deep-Stall มาถึงจุด ข ซึ่งเป็นจุดบนเส้นทางการบิน (Trajectory) ที่จะเริ่มกางร่มห่วงความเร็ว ระบบควบคุมการบินจะเปิดร่มห่วงความเร็วให้กางออก ระยะความสูงในการเปิดร่มห่วงความเร็วโดยปกติจะอยู่ที่ระดับความสูง 18 เมตร เมื่อร่มห่วงความเร็วกางออก อากาศยานไร้คนขับพร้อมร่มห่วงความเร็วจะลงจอด ณ จุดลงจอด ตามที่ออกแบบไว้

6. ผลการทดสอบการบิน

6.1 อากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการทดสอบ

อากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการทดสอบแสดงในรูปที่ 2 เป็นอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิดปีกตรึง (Fixed-Wing) ขึ้นบินด้วยการพุ่งขึ้นด้วยมือ มีน้ำหนัก 5.25 กิโลกรัม ระยะกางปีก 2.95 เมตร ความยาว 1.3 เมตร สามารถบินได้นาน 2 ชั่วโมง สามารถติดตั้งอุปกรณ์บรรทุกที่มีน้ำหนักไม่เกิน 0.5 กิโลกรัม ได้ทั้งกลางวัน (EO) กล้องกลางคืน (IR) และกล้องมัลติสเปกตรัม

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



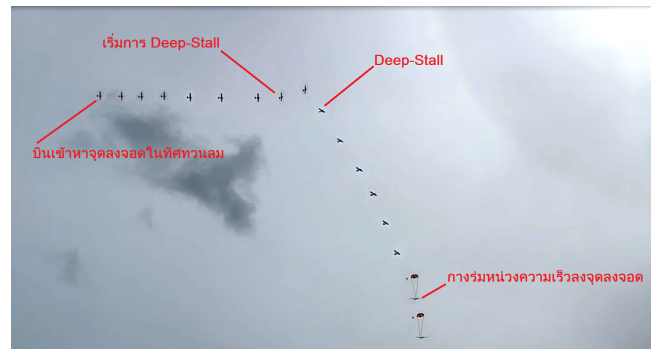
ภาพที่ 2 อากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการบินทดสอบ

6.2 ผลการทดสอบ

การทดสอบการลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute เป็นการลงจอดอัตโนมัติที่ควบคุมโดยระบบควบคุมการบิน จากการทดสอบลงจอดอากาศยานไร้คนขับสามารถลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute ได้ อย่างถูกต้องแม่นยำและสมบูรณ์ มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งในแนวราบน้อยกว่า 50 เมตร รูปที่ 3 แสดงการทดสอบการลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute ในช่วงสุดท้ายที่เป็นลงจอดด้วยร่มห่วงความเร็ว รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการลงจอดของอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute โดยในระหว่างการ Deep-Stall ระบบควบคุมการบินสามารถควบคุม Glide Slope และ Heading Direction ของอากาศยานไร้คนขับได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



ภาพที่ 3 การลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute ในช่วงลงจอดด้วยร่มห่วงความเร็ว



ภาพที่ 4 การลงจอดด้วยวิธี Deep-Stall and Parachute

7. สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงวิธีการในการนำอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงลงจอดในพื้นที่จำกัด (Confined Area) ซึ่งเป็นการลดข้อจำกัดในการใช้งานอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงลงไปได้ และไม่กระทบกับระยะเวลาบินนานเหมือนกับการทำให้อากาศยานไร้คนขับปีกตรึงสามารถขึ้นลงทางตั้งได้ด้วยการออกแบบให้เป็น Fixed-Wing VTOL เหมือนอย่างที่นิยมกันอยู่ในปัจจุบัน ในกรณีที่อากาศยานไร้คนขับสามารถพุ่งขึ้นได้ด้วยมือ และใช้วิธีลงจอดดังเช่นในงานวิจัยนี้ จะทำให้สามารถนำอากาศยานไร้คนขับไปใช้งานได้เกือบจะทุกพื้นที่ของประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Howard L., 2013. Expert Pointers for Better Fixed-Wing UAV Designed., from www.micro-pilot.com/pdf/fixed-wing-uav-designs.pdf
- [2] Hiroki T., 2008. Analysis Deep -Stall Landing for UAV. 26th International Congress of the Aeronautical Sciences (ICAS 2008).
- [3] Jintasit P., & Sukon P., 2016. A minimalistic Wind Estimation Method for Small Unmanned Aircraft. 2016 Second Asian Conference on Defence Technology (ACDT), 157-160.

การควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด ด้วย Fuzzy Logic Control

Altitude Control of the 4-Rotor Vertical Take Off and Landing Unmanned Aerial Vehicle using Fuzzy Logic Control

สุคนธ์ พันธุ์เนร¹ (Sukon Puntunan)¹

ชำนาญ เพชรโชติ² (Chamnan Phetchot)²

จินตสิทธิ์ ประวิตร ณ อยุธยา³ (Jintasit Pravitra)³

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (sukon_pun@rtaf.mi.th)

²รองผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม การกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม กองการศึกษา
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (chamnan_pedch@rtaf.mi.th)

³อาจารย์กองการศึกษา กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (jintasit_p@rtaf.mi.th)

บทคัดย่อ: อากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด จัดเป็นอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่งชนิดหลายใบพัดแบบหนึ่ง การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการบินของอากาศยานไร้คนขับประเภทนี้มีความยาก และซับซ้อนเนื่องจากเป็นอากาศยานไร้คนขับที่ไม่มีเสถียรภาพได้ด้วยตัวเอง มีองศาความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่เป็น 6 DOF (Degree of Freedom) เป็นระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear System) และเป็นระบบที่เป็นแบบ MIMO (Multi-Input-Multi-Output) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและทดสอบการควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด โดยใช้การควบคุมด้วย Fuzzy Logic Controller การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการออกแบบอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด การออกแบบ Hardware ระบบควบคุมการบิน การออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมการบิน การออกแบบระบบควบคุมความสูงด้วย Fuzzy Logic Controller และสุดท้ายเป็นการทดสอบการควบคุมความสูงด้วย Fuzzy Logic Controller ผลการวิจัยพบว่า Fuzzy Logic Controller สามารถใช้ในการควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด, Fuzzy Logic Control, Altitude Control

1. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.1 เพื่อออกแบบระบบการควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัดด้วย Fuzzy Logic Control

1.2 เพื่อทดสอบการควบคุมความสูงด้วย Fuzzy Logic Control ในการควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด

2. ขอบเขตของการวิจัย

2.1 ออกแบบระบบควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด ด้วย Fuzzy Logic Control ที่สามารถประมวลผลได้บนไมโครคอนโทรลเลอร์/ไมโครโพรเซสเซอร์ 16 บิต ที่มีความเร็ว 70 MIPS (Millions of Instructions Per Second)

2.2 การทดสอบการควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด เป็นการทดสอบในขณะที่บินนิ่งอยู่กับที่ (Hovering) เป็นหลัก

3. บทนำ

อากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด จัดเป็นอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่งชนิดหลายใบพัดแบบหนึ่ง การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการบินของอากาศยานไร้คนขับประเภทนี้มีความยาก และซับซ้อน เนื่องจากเป็นอากาศยานไร้คนขับที่ไม่มีเสถียรภาพได้ด้วยตัวเอง มีองศาความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่เป็น 6 DOF (Degree of Freedom) เป็นระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear System) และเป็นระบบที่เป็นแบบ MIMO (Multi-Input-Multi-Output) การควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง ๔ ใบพัดมีความยาก และซับซ้อน เนื่องจากในการควบคุมความสูงต้องใช้ค่า Input หลากหลายชนิด เช่น ความสูง (Altitude) อัตราการเปลี่ยนแปลงความสูง (Climb Rate) และความเร่ง (Acceleration) สำหรับป้อนกลับ (Feedback) ให้กับระบบ

ควบคุม แต่พบว่าการควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะใช้การควบคุมแบบ PID (Proportional-Integral-Derivative) ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าระบบควบคุมแบบ PID เป็นระบบควบคุมที่เป็นเชิงเส้น และเป็นการควบคุมแบบ SISO (Single-Input-Single-Output) จึงอาจไม่เหมาะสมนักสำหรับอากาศยานไร้คนขับประเภทนี้

ในงานวิจัยนี้ จะเป็นการออกแบบระบบควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่ง 4 ใบพัด ด้วย Fuzzy Logic Control ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการใช้การควบคุมแบบ PID ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน โดยหลักการและทฤษฎีแล้วระบบควบคุมแบบ Fuzzy Logic Control จะมีประสิทธิภาพในการควบคุม และเหมาะสมกับอากาศยานไร้คนขับประเภทนี้มากกว่า เนื่องจากเป็นระบบควบคุมที่สามารถออกแบบให้เป็นการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Control) และเป็นลักษณะ MISO (Multi-Input-Single-Output) ได้

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mohamad [1] ได้ทำการสรุป และรวบรวมงานวิจัยการควบคุมอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่งแบบหลายใบพัด โดยได้จำแนกการออกแบบวิธีการควบคุมไว้ 3 กลุ่ม คือ Linear Control, Nonlinear Control และ Intelligent Control รวมทั้งหมดจำนวน 80 ผลงานวิจัย ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ทำ Simulation ร้อยละ 72.5 เป็นงานวิจัยที่ทดสอบกับอากาศยานไร้คนขับจริงร้อยละ 3.75 และเป็นงานวิจัยที่ทดสอบทั้ง 2 รูปแบบร้อยละ 23.75 โดยในจำนวนงานวิจัยทั้งหมดมี 4 งานวิจัยที่เป็นระบบควบคุมแบบ Fuzzy Logic Control Mohamad ได้สรุปข้อดีของระบบควบคุมแบบ Fuzzy Logic Control ไว้ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมได้

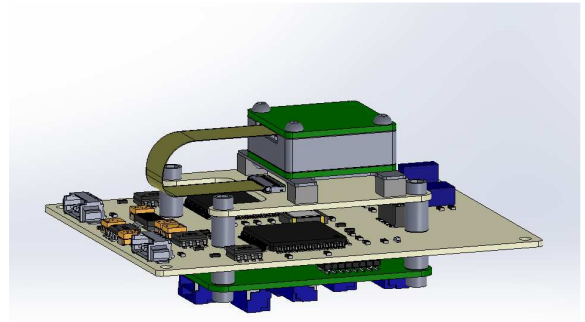
Benmouiza [2] ได้ทำการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผล การควบคุมความสูง และท่าทางการบินของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่งแบบหลายใบพัด ระหว่างการควบคุมด้วย PID และ Fuzzy Logic Control ผลการวิจัยด้วยการทำ

Simulation แสดงให้เห็นว่า PID Control มีประสิทธิภาพในการควบคุมให้มี Steady State Error ต่ำกว่า แต่มีการเกิด Oscillation ในขณะที่การควบคุมด้วย Fuzzy Logic Control จะมีการเกิด Oscillation ที่น้อย แต่จะมี Response Time ที่ดีน้อยกว่า

Alsafadi [3] ได้ออกแบบระบบควบคุมแบบ Fuzzy Logic Control สำหรับควบคุมความสูงอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่งแบบหลายใบพัด โดยเริ่มต้นจากการนำ Nonlinear Mathematical Model ของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางดิ่งแบบหลายใบพัด มาทำ Linearization ที่การบินนิ่งอยู่กับที่ (Hovering) เพื่อให้ได้ Linearized Mathematical Model ไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมแบบ PID หลังจากนั้นจึงใช้ข้อมูลจากการควบคุมแบบ PID มาออกแบบ Fuzzy Logic Control และทดสอบประสิทธิภาพโดยการทำ Simulation โดยใช้ Nonlinear Mathematical Model จากการวิจัยของ Alsafadi พบว่า Fuzzy Logic Control มีประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีกว่า PID Control จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ Fuzzy Logic Control จะถูกออกแบบมาจากจุดที่ Linearized มา แต่ Fuzzy Logic Control ก็มีประสิทธิภาพในการควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

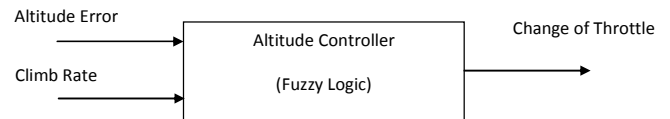
5. การออกแบบระบบควบคุม

ออกแบบระบบควบคุมการบิน ดังแสดงในรูปที่ 1 ออกแบบให้มี Microcontroller 2 ตัว Microcontroller ตัวแรกทำหน้าที่ในการควบคุมในระดับ Low Level Control ได้แก่ การควบคุม Roll Rate, Pitch Rate และ Yaw Rate ส่วน Microcontroller ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ในการควบคุมในระดับ High Level Control ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ในการควบคุมความสูง (Altitude Control)



ภาพที่ 1 Hardware ระบบควบคุมการบิน

การออกแบบระบบควบคุมความสูงด้วย Fuzzy Logic Controller ออกแบบให้มี Input 2 ตัวแปร คือ Altitude Error และ Climb Rate โดยมี Output เป็น Change of Throttle โครงสร้างของ Fuzzy Logic Controller แสดงในรูปที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ Fuzzy Logic Controller

Altitude Error ซึ่งเป็น Input ตัวแรก ออกแบบให้มี Membership Function จำนวน 5 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3 ประกอบด้วย Membership Function ดังนี้

LNEG หมายถึง Large Negative

SNEG หมายถึง Small Negative

ZERO หมายถึง Zero

SPOS หมายถึง Small Positive

LPOS หมายถึง Large Positive

Climb Rate ซึ่งเป็น Input ตัวที่ 2 ออกแบบให้มี Membership Function จำนวน 3 ตัวดังแสดงในรูปที่ 4 ประกอบด้วย Membership Function ดังนี้

NEG หมายถึง Negative

ZERO หมายถึง ZERO

POS หมายถึง Positive

สำหรับ Change of Throttle ซึ่งเป็น Output ของ Fuzzy Logic Controller ถูกออกแบบ Membership Function จำนวน 5 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 5 ประกอบด้วย Membership Function ดังนี้

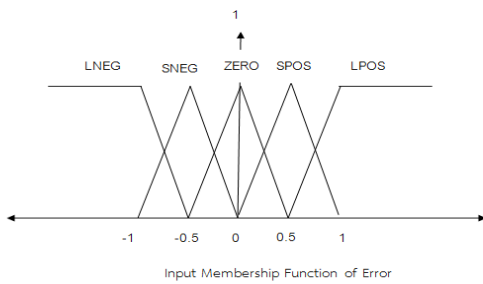
LNEG หมายถึง Large Negative

SNEG หมายถึง Small Negative

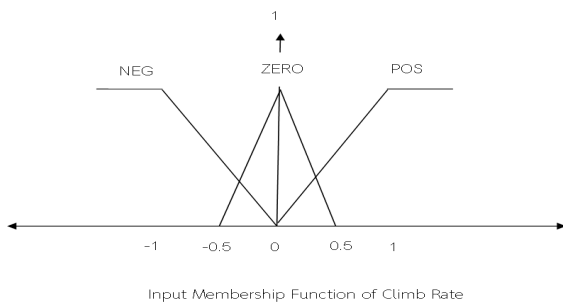
ZERO หมายถึง Zero

SPOS หมายถึง Small Positive

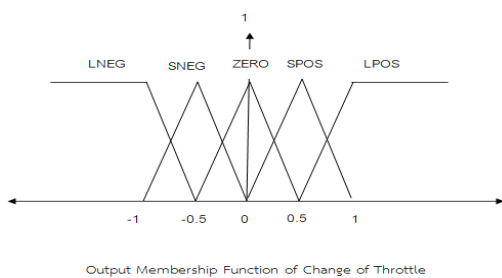
LPOS หมายถึง Large Positive



ภาพที่ 3 Membership Function ของ Altitude Error



ภาพที่ 4 Membership Function ของ Climb Rate



ภาพที่ 5 Membership Function ของ Change of Throttle

เมื่อออกแบบ Inputs และ Output ของ Fuzzy Logic Controller แล้ว จึงสร้าง Fuzzy Rule Base ขึ้นมา โดยมี ทั้งหมด 15 Rules ดังแสดงในรูปที่ 6

		Error				
		LNEG	SNEG	ZERO	SPOS	LPOS
Climb Rate	NEG	SNEG	ZERO	SPOS	SPOS	LPOS
	ZERO	LNEG	SNEG	ZERO	SPOS	LPOS
	POS	LNEG	SNEG	SNEG	ZERO	SPOS

ภาพที่ 6 Rule Base ของ Fuzzy Logic Controller

6. ผลการทดสอบการบิน

6.1 อากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการทดสอบ

ดำเนินการออกแบบอากาศยานไร้คนขับ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีขนาดกว้าง 47 เซนติเมตร ยาว 43 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร มีระยะห่างระหว่างใบพัดคู่ด้านหน้า 47 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างใบพัดคู่หลัง 40

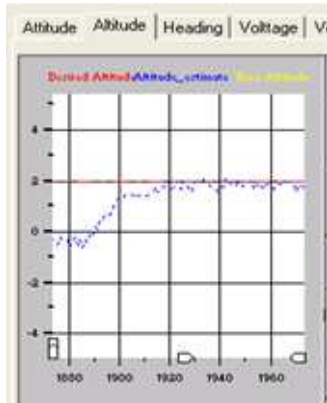


ภาพที่ 7 อากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการบินทดสอบ

6.2 ผลการทดสอบ

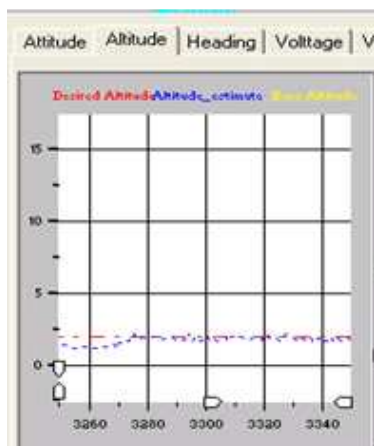
การทดสอบเริ่มจากการบินในโหมด Manual จากความสูงที่ 0 เมตร บินลอยตัวขึ้นไปถึงความสูง 1.5 เมตร แล้วเปิดระบบควบคุมความสูงด้วย Fuzzy Logic Controller ให้ทำงาน ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 8 ค่า Desired Altitude แสดงด้วยเส้นสีแดง ส่วนค่า Altitude ของอากาศยานไร้คนขับ แสดงด้วยสีน้ำเงิน จากกราฟในรูปที่ 8 จะเห็นว่าเมื่อ

เปิดให้ Fuzzy Logic Controller ควบคุมความสูง ค่าความสูงของอากาศยานไร้คนขับ จะถูกควบคุมอยู่ที่ 2 เมตร ตามค่า Desired Altitude ที่กำหนดไว้



ภาพที่ 8 การควบคุมความสูง โดย Fuzzy Logic Controller

ถัดจากนั้นเป็นการทดสอบการทำงานของ Fuzzy Logic Controller ในกรณีที่อากาศยานไร้คนขับถูกรบกวน ด้วยวิธีการดึงให้อากาศยานไร้คนขับ เสียความสูงลงมาที่ 1 เมตร แล้วยกเลิกการอากาศยานไร้คนขับ จากกราฟในรูปที่ 9 จะเห็นว่า Fuzzy Logic Controller สามารถควบคุมความสูงกลับไป 2 เมตรได้เช่นเดิม โดยไม่มีการเกิด Overshoot แต่อย่างใด



ภาพที่ 9 การควบคุมความสูง โดย Fuzzy Logic Controller เมื่ออากาศยานไร้คนขับ ถูกดึงให้ความสูงลดลง

7. สรุป

บทความนี้นำเสนอผลการวิจัยในการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมความสูงของอากาศยานไร้คนขับขึ้นลงทางตั้ง 4 ใบพัด โดยใช้การควบคุมด้วย Fuzzy Logic Controller ระบบควบคุมที่ออกแบบมี 2 Inputs ประกอบด้วย Altitude Error และ Climb Rate มี 1 Output คือ Change of Throttle ใช้ Fuzzy Rule Base จำนวน 15 Rules ผลการทดสอบการควบคุมความสูง พบว่า Fuzzy Logic Controller ที่ออกแบบมาสามารถควบคุมความสูงได้ถูกต้อง แม่นยำ มีการตอบสนองต่อสิ่งรบกวน (Disturbance) ได้ดี นุ่มนวล (Smooth) ไม่มีการ Overshoot หรือการแกว่ง (Oscillation) เกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mohamad N.S., 2021. Quadrotor Controller Design Techniques and Applications Review, INCAS Bulletin Volume 13 Issue 3/2021. p.179-194.
- [2] Benmouiza K., 2019. Comparison Between PID And Fuzzy PID Controller for DJI F450 Quadcopter Stability. International Journal of Mechanical and Production Engineering. p.64-69.
- [3] Alsafadi L.A., 2019. Synthesis of Fuzzy Controller Based On Simple PID Controller. 13th International Symposium "Intelligent Systems" (INTELS'18). p.28-38.

การประมาณค่าคุณภาพการบินแบบวงจรเปิดของอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์

Open loop Flying Quality Evaluation of Solar Power UAV

एम सुरชาตธีรารัตน์¹ (Aim Suracharttumrongrat)¹

เจนวิทย์ คำพูล² (Jane-wit Kampon)²

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (Aim.surachart@gmail.com)

²รองศาสตราจารย์ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (janewit_kamp@rtaf.mi.th)

บทคัดย่อ: จากข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุและอุบัติการณ์ของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กที่มีค่าสูงมากในรอบสิบปีที่ผ่านมา สาเหตุหนึ่งเกิดขึ้นจากความเร่งรีบในการออกแบบและสร้างอากาศยานไร้คนขับขึ้นเพื่อควบคุมงบประมาณไม่ให้สูงมาก ทำให้อาจข้ามขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิศวกรรมบางขั้นตอนไป โดยเฉพาะด้านคุณภาพการบินซึ่งยังไม่มีมีการประกาศข้อกำหนดความต้องการทางเทคนิคในปัจจุบันสำหรับอากาศยานไร้คนขับ อย่างไรก็ตาม คุณภาพการบินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความปลอดภัยในการบิน นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลคุณภาพการบินไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติได้อีกด้วย ดังนั้น บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการทำนายคุณภาพการบินของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก โดยการจำลองการบินของอากาศยานไร้คนขับแบบวงจเปิด ที่ 3 สภาวะการบิน กล่าวคือ การบินที่ความเร็วเดินทาง 15 เมตรต่อวินาที ณ ความสูง 200 เมตร เมื่อกำหนดให้ค่าระยะสเถิตที่ 5% 10% และ 15% ตามลำดับ ผลการจำลองการบินพบว่า อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก มีคุณภาพการบินในแนวแกนตามยาวในโหมดช็อคที่เรียดยู่ในระดับดีมาก level 1 ที่ระยะสเถิต 5% 10% และ 15% และมีคุณภาพการบินในแนวแกนตามยาวในโหมดพุกอยด์อยู่ในระดับดี level 2 ที่ระยะสเถิต 5% 10% และ 15%

คำสำคัญ: คุณภาพการบิน, เสถียรภาพอากาศยาน, อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก

1. บทนำ

อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กแบบปีกตรึงในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีน้ำหนักบินขึ้นสูงสุดไม่เกิน 55 ปอนด์ หรือ ประมาณ 25 กิโลกรัม เพดานบินไม่เกิน 3,500 ฟุต และบินด้วยความเร็วไม่เกิน 250 น็อต [1] ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างมากทั้งทางทหารและพลเรือน [2] จากข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุและอุบัติการณ์ของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กที่มีค่าสูงมากในรอบสิบปีที่ผ่านมา [3] สาเหตุหนึ่งเกิดขึ้นจากความเร่งรีบในการออกแบบและสร้างอากาศยานไร้คนขับ ทั้งนี้เพื่อควบคุมงบประมาณไม่ให้สูงมาก ทำให้อาจข้ามขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิศวกรรมบางขั้นตอนไป โดยเฉพาะด้านคุณภาพการบินซึ่งยังไม่มีประกาศข้อกำหนดความต้องการทางเทคนิคในปัจจุบันสำหรับอากาศยานไร้คนขับ คุณภาพการบินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความปลอดภัยในการบิน นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลคุณภาพการบินไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติได้อีกด้วย

มีงานวิจัยด้านการวิเคราะห์คุณภาพการบินของอากาศยานไร้คนขับในปัจจุบัน Lixin และคณะ [4] นำเสนอการประมาณค่าคุณภาพการบินและมาตรฐานด้านสมรรถนะซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับอากาศยานไร้คนขับแบบโจมตีอัตโนมัติโดยอ้างอิงจากคุณลักษณะทางพลวัตแบบวงจรมืด (Closed-loop Dynamic) และความต้องการในการปฏิบัติการ (Operational Requirements) Thomas และคณะ [5] นำเสนอการสร้างความต้องการด้านคุณภาพการบินสำหรับระบบอากาศยานไร้คนขับซึ่งจะนำมาปฏิบัติการในสภาพแวดล้อมทางทะเลซึ่งอากาศยานไร้คนขับที่ศึกษาเป็นแบบเฮลิคอปเตอร์ไร้คนขับ ซึ่งได้พัฒนาสมการพลวัตสำหรับการขึ้นบินและลงจอดบนดาดฟ้าเรือ Tahir และคณะ [6] อธิบายการสร้างข้อกำหนดด้านคุณภาพการบินและมาตรฐานการออกแบบสำหรับอากาศยานไร้คนขับ โดยอ้างอิงจาก ข้อกำหนดที่ได้ประกาศใช้กับอากาศยานที่มีนักบินควบคุมซึ่งคำแนะนำด้านคุณภาพการบินนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการออกแบบเชิงหลักการได้

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการทำนายคุณภาพการบินของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก โดยการจำลองการบินของอากาศยานไร้คนขับแบบวงจรมืดด้วยวิธีดั้งเดิมโดยพิจารณาจากแบบจำลองพลวัตของอากาศยานแบบเชิงเส้น

ที่ 3 สภาวะการบิน กล่าวคือ การบินที่ความเร็วเดินทาง 15 เมตรต่อวินาที ณ ความสูง 200 เมตร เมื่อกำหนดให้ค่าระยะสถิติที่ 5% 10% และ 15% ตามลำดับ

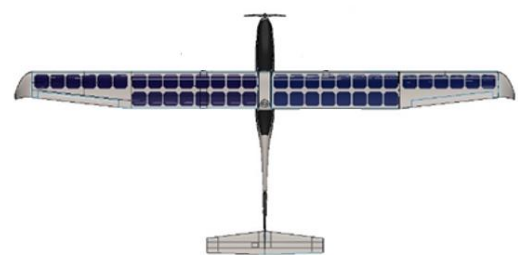
2. อากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้วิเคราะห์คุณภาพการบินแบบวงจรมืดของอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์แบบปีกตรึงที่ออกแบบโดยคณะวิจัยจากโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช กองทัพอากาศ โดยลักษณะทั่วไปของอากาศยานแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลอากาศยานในงานวิจัย

รายการ	ค่า
Wing Airfoil	SD7032-099-88
Wingspan	4.28 [m]
Aspect ratio	15.042
Wing area	1.218 [m ²]
Wing incidence angle	2.0 [deg]
Tail airfoil	NACA0015
Tail type	T-tail
Tail area	0.16 [m ²]
Mass	11.393 [kg]
I _{xx}	4.87165 [(kg×m ²)]
I _{yy}	2.30703 [(kg×m ²)]
I _{zz}	6.98078 [(kg×m ²)]

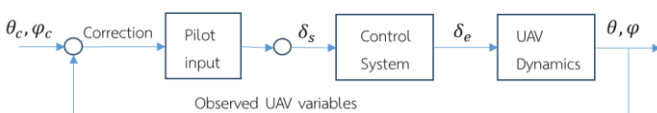
รูปร่างของอากาศยานไร้คนขับแสดงดังรูปที่ 1 เป็นอากาศยานที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ใบพัดแบบขับเคลื่อนหน้า (Tractor) ได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่และแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งสมรรถนะของอากาศยานได้ถูกวิเคราะห์ใน [2]



รูปที่ 1 อากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์

3. คุณภาพการบินแบบวงจรมืด

วัตถุประสงค์ในการออกแบบอากาศยานเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานหรือลูกค้าที่จะนำอากาศยานแบบนั้นไปปฏิบัติการคืออะไร เช่น การบินสำรวจสิ่งแวดล้อม การบินโจมตี เป็นต้น สุดท้ายแล้วในการทดสอบเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าอากาศยานเมื่อนำไปบินทำภารกิจตามที่ได้ออกแบบไว้ นักบินจะบินทำภารกิจนั้นสำเร็จได้ง่ายและปลอดภัยหรือไม่ ซึ่งเป็นข้อกำหนดตามมาตรฐานความสมควรเดินอากาศ [7-8] ที่ได้ประกาศไว้สำหรับอากาศยานทางทหารที่มีนักบินควบคุมอยู่บนเครื่อง อย่างไรก็ตามอากาศยานไร้คนขับทางทหารซึ่งมีหลายกลุ่มและหลากหลายรูปแบบได้ประกาศข้อกำหนดมาตรฐานความสมควรเดินอากาศไว้เป็นมาตรฐาน [9] คุณภาพการบินตามที่ได้นิยามโดย [8] กล่าวคือ บรรดาคุณภาพหรือลักษณะเฉพาะของอากาศยานซึ่งส่งผลต่อความง่ายและความแม่นยำในการที่นักบินสามารถปฏิบัติงานตามความต้องการโดยได้รับการสนับสนุนจากอากาศยานตามบทบาทของอากาศยานนั้น คุณภาพการบินแบ่งเป็น 2 แบบ คือ (1) แบบวงจรมืด จะพิจารณาการตอบสนองตามธรรมชาติของอากาศยานเมื่อได้รับการรบกวนจากภายนอก และ (2) แบบวงจรมืด จะพิจารณาการตอบสนองของอากาศยานโดยมีนักบินผู้ควบคุมอากาศยานอยู่ในระบบด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมแบบวงจรมืดแสดงองค์ประกอบย่อยของระบบ ประกอบด้วย อินพุตจากนักบิน ระบบควบคุม ตัวอากาศยานไร้คนขับ



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมแบบวงจรมืด

การวิเคราะห์คุณภาพการบิน จะแบ่งอากาศยานออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 อากาศยานขนาดเล็กและเบา กลุ่มที่ 2 อากาศยานขนาดกลาง กลุ่มที่ 3 อากาศยานขนาดใหญ่และหนัก กลุ่มที่ 4 อากาศยานที่มีความคล่องตัวสูง ซึ่งภารกิจการบินของอากาศยานจะแบ่งเป็น 3 วัฏภาค (Phase) วัฏภาค A ไม่ใช้สนามบิน เปลี่ยนแปลงท่าทางบิน

อย่างฉับพลัน ต้องการแม่นยำสูงในการบินตามเส้นทางบิน วัฏภาค B ไม่ใช้สนามบิน เปลี่ยนแปลงท่าทางบินอย่างช้าๆ ไม่ต้องการความแม่นยำสูงในการบินตามเส้นทางบิน และวัฏภาค C ใช้สนามบิน เปลี่ยนแปลงท่าทางบินช้าๆ ต้องการความแม่นยำสูงในการบินตามเส้นทางบิน สุดท้ายระดับคุณภาพการบินแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ระดับ 1 คุณภาพการบินเพียงพอต่อการปฏิบัติการกิจอย่างชัดเจน ระดับ 2 คุณภาพการบินเพียงพอต่อการปฏิบัติการกิจแต่ต้องเพิ่มงานให้กับนักบิน ระดับ 3 นักบินสามารถควบคุมอากาศยานได้อย่างปลอดภัยในการปฏิบัติการกิจแต่ต้องใช้ความพยายามอย่างมาก เกณฑ์ในการประเมินระดับคุณภาพการบิน จะพิจารณาจากการตอบสนองในโดเมนเวลาของอากาศยานนั้น กล่าวคือ ความถี่ในการเคลื่อนที่ (Frequency) แสดงถึงความเร็วในการตอบสนองของอากาศยาน และอัตราการหน่วง (Damping ratio) แสดงถึงความสามารถของอากาศยานในการทำให้หยุดการเคลื่อนที่ที่ดีเพียงไร และค่าคงที่เวลา (Time constant) แสดงถึงเวลามากน้อยเพียงใดในการเคลื่อนที่กลับมาสู่ตำแหน่งสมดุลเดิม อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กมีแนวโน้มที่ค่าความถี่ในการเคลื่อนที่ต่อการตอบสนองทุกโหมด กล่าวคือ ฟังก์ชันรีเลย์ ดัทช์โรลล์ โรลล์และสไปรอล [10 - 11] ที่สูงกว่าอากาศยานที่มีนักบินบังคับ ดังนั้น [12] เสนอวิธีการการปรับสเกลพลวัต (Dynamic Scaling) โดยใช้ตัวคูณ N จากอัตราส่วนกางปีก (Wing Span) ตามสมการที่ (1) ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์คุณภาพการบินตามเกณฑ์ที่กำหนด [8]

$$\omega_{n \text{ small UAV}} = \omega_{n \text{ large Aircraft}} \sqrt{N} \quad (1)$$

เกณฑ์นี้ช่วยให้วิศวกรออกแบบอากาศยานทั้งทางทหารและพลเรือนเกิดความมั่นใจว่าอากาศยานที่ออกแบบนั้นสามารถทำการบินได้อย่างปลอดภัยตลอดย่านการบิน (Flight Envelope)

4. สมการการเคลื่อนที่ในแนวแกนตามยาว

อากาศยานส่วนใหญ่ใช้เวลาบินปฏิบัติการกิจตามแนวแกนยาว (Longitudinal Axis) หรือบนระนาบสมมาตร อาทิ การบินตรงระดับ การบินไต่ การบินร่อน เป็นต้น

สามารถอธิบายด้วยสมการการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ตามสมการที่ (2) โดยสมการแบบเมตริกซ์ ดังนี้ [11]

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{u} \\ \Delta \dot{w} \\ \Delta \dot{q} \\ \Delta \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u & X_w & 0 & -g \\ Z_u & Z_w & u_0 & 0 \\ M_u + M_w Z_u & M_u + M_w Z_w & M_q + M_w u_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta w \\ \Delta q \\ \Delta \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{\delta_e} & X_{\delta_T} \\ Z_{\delta_e} & Z_{\delta_T} \\ M_{\delta_e} + M_w Z_{\delta_e} & M_{\delta_T} + M_w Z_{\delta_T} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_e \\ \Delta \delta_T \end{bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อ Δu , Δw , Δq และ $\Delta \theta$ คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงเส้นในแนวแกน x และแนวแกน z ความเร็วเชิงมุมรอบแกน y และมุมปีกเงย ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดเป็นตัวแปรสำคัญในการอธิบายพลวัตของอากาศยานไร้คนขับในและตามแนวยาว $\Delta \delta_e$ คือ การใช้พื้นบังคับหางเสือขึ้นลง $\Delta \delta_T$ คือ การใช้คันโยกในการปรับแต่งค่าแรงขับจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ใบพัด สำหรับค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ คือ ค่าอนุพันธ์ทางเสถียรภาพและการควบคุม ซึ่งมีค่าคงที่ตามสภาวะการบินที่กำหนด ด้วยความเร็วและความสูงที่ต้องการพิจารณา ซึ่งสมการที่ (2) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการปริภูมิสแตต ตามสมการที่ (3)

$$\dot{X}_{Long} = A_{Long} X_{Long} + B_{Long} U_{Long} \quad (3)$$

โดยที่ $A_{Long} \in R^{4 \times 4}$ และ $B_{Long} \in R^{4 \times 2}$

$$A_{Long} = \begin{bmatrix} X_u & X_w & 0 & -g \\ Z_u & Z_w & u_0 & 0 \\ M_u + M_w Z_u & M_u + M_w Z_w & M_q + M_w u_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

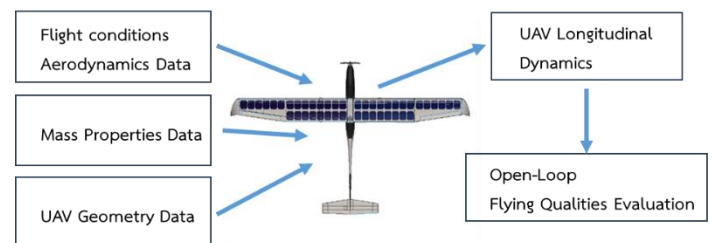
$$B_{Long} = \begin{bmatrix} X_{\delta_e} & X_{\delta_T} \\ Z_{\delta_e} & Z_{\delta_T} \\ M_{\delta_e} + M_w Z_{\delta_e} & M_{\delta_T} + M_w Z_{\delta_T} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$X_{Long} = \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta w \\ \Delta q \\ \Delta \theta \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad U_{Long} = \begin{bmatrix} \Delta \delta_e \\ \Delta \delta_T \end{bmatrix}$$

จากสมการที่ (2) และ (3) จะสามารถนำมาวิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองของอากาศยานไร้คนขับในการเคลื่อนที่แบบฟูกอยด์และช็อตพีเรียดได้

5. ผลการดำเนินการ

บทความนี้วิเคราะห์คุณภาพการบินของอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สภาวะการบินที่ความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที ณ ความสูง 200 เมตร ที่ระยะสถิติ 5% 10% และ 15% โดยกำหนดให้แรงขับจากมอเตอร์ใบพัดเท่ากับแรงต้าน นำข้อมูลทางอากาศพลศาสตร์ ข้อมูลรูปร่างของอากาศยาน ข้อมูลด้านน้ำหนัก ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงและโมเมนต์ความเฉื่อย เป็นอินพุตให้กับโปรแกรม XFLR5 เพื่อวิเคราะห์หาค่ารากของสมการลักษณะเฉพาะของอากาศยานในการเคลื่อนที่ในแนวแกนตามยาว จากนั้น นำไปคำนวณค่า ความถี่ธรรมชาติและอัตราส่วนการหน่วงในการตอบสนองแบบฟูกอยด์และแบบช็อตพีเรียด เพื่อวิเคราะห์คุณภาพการบินต่อไป ดังแสดงด้วยแผนผังในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการดำเนินการวิเคราะห์คุณภาพการบิน

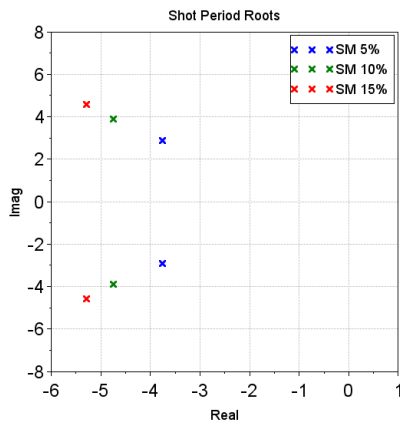
เกณฑ์การพิจารณาคุณภาพการบินกำหนดใน [7] เพื่อให้ได้รับผลการประเมินคุณภาพการบินในระดับต่างๆ ในโหมดการบินแบบช็อตพีเรียดและฟูกอยด์โหมดดังแสดงในตารางที่ 2 โดยกำหนดให้วิภูฏภาคการบินแบบ B สำหรับอากาศยานทุกกลุ่ม จากผลการจำลองการบินโดยพิจารณาจากรากสมการลักษณะเฉพาะของอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์ ตามรูปที่ 4 โหมดการบินแบบช็อตพีเรียดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมุมปะทะและเส้นทางบินอย่างรวดเร็วโดยรักษาความเร็วให้คงที่ เมื่อกำหนดให้ ระยะสถิติ 5%, 10% และ 15% อากาศยานมีคุณภาพการบินระดับ 1 คือ มีคุณภาพการบินที่ดีมากเพียงพอต่อการปฏิบัติการบินตามภารกิจได้ตามต้องการ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ตารางที่ 2 เกณฑ์ประเมินคุณภาพการบินแนวแกนตามยาว

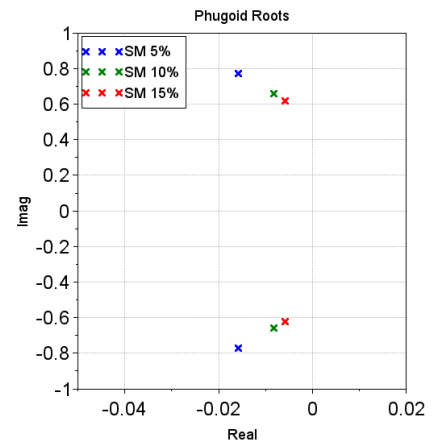
โหมดการเคลื่อนที่	ค่าที่พิจารณา	ระดับคุณภาพ
ช็อตพีเรียด	$0.35 \leq \xi_{sp} \leq 1.3$	1
	$0.25 \leq \xi_{sp} \leq 2.0$	2
	$\xi_{sp} \geq 0.15$	3
ฟูกอยด์	$\xi_{ph} > 0.04$	1
	$\xi_{ph} > 0.00$	2
	$T_2 > 55 \text{ sec}$	3

โดยที่ ระยะสลิต 5% อากาศยานมีค่า $\xi_{sp} = 0.79$, 10% อากาศยานมีค่า $\xi_{sp} = 0.77$ และ 15% อากาศยานมีค่า $\xi_{sp} = 0.75$ อากาศยานมีค่าอัตราส่วนการหน่วงลดลงเมื่อระยะสลิตเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 รากสมการลักษณะเฉพาะการเคลื่อนที่แบบช็อตพีเรียด

ตามรูปที่ 5 โหมดการบินแบบฟูกอยด์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วและเส้นทางบินอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยอากาศยานแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมุมปะทะเลย เมื่อกำหนดให้ ระยะสลิต 5%, 10% และ 15% อากาศยานมีคุณภาพการบินระดับ 2 คือ มีคุณภาพการบินที่เพียงพอต่อการปฏิบัติการบินตามภารกิจได้ตามต้องการหากแต่นักบินต้องเพิ่มความพยายามในการบังคับการบินเพื่อให้ภารกิจสำเร็จ โดยที่ ระยะสลิต 5% อากาศยานมีค่า $\xi_{ph} = 0.032$, 10% อากาศยานมีค่า $\xi_{ph} = 0.019$ และ 15% อากาศยานมีค่า $\xi_{ph} = 0.014$ อากาศยานมีค่าอัตราส่วนการหน่วงลดลงเมื่อระยะสลิตเพิ่มขึ้นทำให้อากาศยานมีเสถียรภาพในแกนตามยาวลดลง อย่างไรก็ตาม การแก้ไขจากนักบินผู้บังคับทำได้ไม่ยาก



รูปที่ 5 รากสมการลักษณะเฉพาะการเคลื่อนที่แบบฟูกอยด์

6. สรุป

บทความนี้วิเคราะห์คุณภาพการบินในแนวแกนตามยาวแบบวงจรเปิดของอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์แบบปีกตรึงที่สภาวะการบินทริม เมื่อบินด้วยความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที ณ ความสูง 200 เมตร ที่ระยะสลิต 5% 10% และ 15% โดยกำหนดให้แรงขับจากมอเตอร์ใบพัดเท่ากับแรงต้าน ผลการจำลองการบินพบว่า อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก มีคุณภาพการบินในแนวแกนตามยาวในโหมดช็อตพีเรียดอยู่ในระดับดีมาก level 1 ที่ระยะสลิต 5% 10% และ 15% และมีคุณภาพการบินในแนวแกนตามยาวในโหมดฟูกอยด์อยู่ในระดับดี level 2 ที่ระยะสลิต 5% 10% และ 15%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช สำหรับการให้ทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และการลงทะเบียนร่วมประชุมวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศครั้งที่ 1

เอกสารอ้างอิง

- [1] Unmanned Aircraft Systems (UAS) Large UAS (MGOW 55 Pounds or More). Us FAA.
<https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/chap11_section_3.html>

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

- [2] Aim Suracharttumrongrat, Janewit Kampon, 2023. Comparison of Aerodynamics and Flight performance of Fixed Wing Solar Powered Unmanned Aerial Vehicle when separate lift and thrust Vertical Take-Off and Landing system is installed. Engineering and Technology Horizons, Vol. 40 No. 4.
- [3] Yngvi Yngvason, Vincent Strat, 04/06/2016. UAS Safety Risk Portfolio and Analysis. European Aviation Safety Agency.
- [4] Lixin WANG, Jin WANG, Junqiang AI, Hailiang LIU, Ting YUE, 2023. Suggestions for flying qualities requirements of autonomous control unmanned combat aerial vehicles. Chinese Journal of Aeronautics. 36(11): 42 – 57.
- [5] Thomas R Fell, Mark D White, Michael Jump, Ieuan Owen, 2015. Towards Establishing Flying Qualities Requirements for Maritime Unmanned Aircraft Systems. The American Helicopter Society 71st Annual Forum, Virginia Beach, Virginia.
- [6] Tahir Hameed, Wang Wei, Ren Zhang, 2009. Flying Qualities Specifications Criteria and their Determination for Unmanned Aerial Vehicles. The 9th International Conference on Electronic Measurements and Instruments. Beijing, China.
- [7] U.S. Military, “MIL-F-8785C i INDEX,” Nov.1980. <<http://www2.coe.pku.edu.cn/tpic/2011971042474.pdf>>
- [8] Department of Defence, 1997. Flying Qualities of Piloted Aircraft, MIL-HDBK-1797.
- [9] NATO, 2016. NATO UNCLASSIFIED NATO UNCLASSIFIED NATO STANDARD AEP-83 LIGHT UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AIRWORTHINESS REQUIREMENTS Edition A Version 1 Ratification Draft1. <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/391827/20140916-STANAG-4703_AEP-83_A_1_1_.pdf>
- [10] K Jane-wit, J Wanchai, K Jiravud, 2019. Aerodynamics, Stability and Control Analysis of Tactical Solar Power UAV, The 10th TSME International Conference on Mechanical Engineering. Pattaya, Thailand.
- [11] เจนวิทย์ คำพูล, วันชัย เจียจันทร์, คมกริช แก้วฉาย, 2018. การสร้างแบบจำลองและการจำลองคุณลักษณะทางพลวัตในการบินของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก Sky Surfer. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ. เล่มที่ 12. หน้า 23 – 37.
- [12] Cotting Christopher, 2009. An Initial Study to Categorize Unmanned Aerial Vehicle Flying Qualities Evaluation. AIAA-2009-307.

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

STUDY OF FACTORS INFLUENCING EFFECTIVE HELICOPTER MAINTENANCE IN THE ROYAL THAI AIR FORCE

สมเกียรติ ฮุ้นสกุล¹ (Somkait Hoonsakul)¹

ประสงค์ ปรานีตพลกรัง² (Prasong Praneetpolgrang)²

พายัพ ศิรินาม³ (Payap Sirinam)³

รมนต์ออร์ บุญเรือง⁴ (Ramonawn Boonrueng)⁴

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: Som.hoonsakul@gmail.com

²สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: prasongspu@gmail.com

³สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช Email address: p.sirinam@gmail.com

⁴คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email address: ramonawn.b@gmail.com

บทคัดย่อ: บทความวิจัยนี้ นำเสนอปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยศึกษาว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศ จำนวนทั้งสิ้น 430 คน ผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามการวิจัยแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ที่ผ่านการหาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และหาความเชื่อมั่นที่มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาตามวิธีการของครอนบาค หลังจากนั้น จึงนำข้อมูลที่ได้นำวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และใช้โปรแกรม AMOS ทำการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้าง

ผลการวิจัย พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ประกอบด้วยปัจจัยด้านช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์ ปัจจัยด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และคู่มือการซ่อมบำรุง ปัจจัยด้านชิ้นส่วนอะไหล่ และปัจจัยด้านการบริหารจัดการ สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยอ้อมต่อประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยผ่านตัวแปรปัจจัยด้านช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์คือ ปัจจัยด้านการฝึกอบรมมีค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากับ 1.55 นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างยังพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพพบว่า ปัจจัยด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และคู่มือ และด้านการบริหารจัดการอิทธิพลทางตรงสูงสุด รองลงมาคือปัจจัยด้านช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศ และปัจจัยด้านชิ้นส่วนอะไหล่ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปัจจัย, อิทธิพล, การซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์, โมเดลสมการโครงสร้าง

1. บทนำ

ปัจจุบันกองทัพอากาศวัดความสำเร็จ (Achievement Measurement) หรือดัชนีชี้วัดความสำเร็จ (Key Success Indicator) ของประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศ จากค่าของความพร้อมปฏิบัติการของอากาศยาน (Full Mission Capable : FMC) ซึ่งปัจจุบันมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ามาตรฐานตามที่กองทัพอากาศกำหนดไว้ [2] ดังนั้นประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงสาเหตุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศดังกล่าว ซึ่งต้องทำการศึกษาจากทฤษฎีการบริหารการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ [4] กอปรกับหน่วยงานซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในภาคเอกชน [11] จำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างเป็นระบบ และมีการนำไปพัฒนาไปได้อย่างเป็นรูปธรรมจะทำให้ค่าดัชนีชี้วัดความสำเร็จดังกล่าวข้างต้นดีขึ้น [3] และสามารถที่จะบรรลุเป้าหมายยุทธศาสตร์ของกองทัพอากาศในอันที่จะเป็นกองทัพอากาศที่แข็งแกร่งและมีคุณภาพ (Unbeatable Air Forces) [1]

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้มีความสนใจในการที่จะศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้เป็นข้อมูลที่ได้ไปเสนอต่อกรมช่างอากาศและกองทัพอากาศเพื่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ของกองทัพอากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างด้วยโปรแกรม AMOS [5] ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 กำหนดโครงสร้างของโมเดล (Model Specification) ประกอบด้วยโมเดลย่อยได้ 2 โมเดล คือ

1) โมเดลการวัด (Measurement Model) เป็นโมเดลระบุความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรแฝง (latent Variable) กับตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) [6]

2) โมเดลโครงสร้าง (Structural Model) เป็นโมเดลระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระ (Exogenous variable) กับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม (Endogenous variable) [6]

3.2 การวิเคราะห์สมการโครงสร้างด้วย โปรแกรม AMOS มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) การกำหนดโมเดลหรือโครงสร้างโมเดล (Model Specification)

2) การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification)

3) การประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล (Parameter Estimation of the Model) [12]

4) การตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล (Measures of the Model Fit) [13]

3.3 ผู้วิเคราะห์ทำการปรับโมเดลใหม่ (Re-Specified Model)

3.4 แปลผลการวิเคราะห์สถิติที่ได้

4. ผลการวิจัย

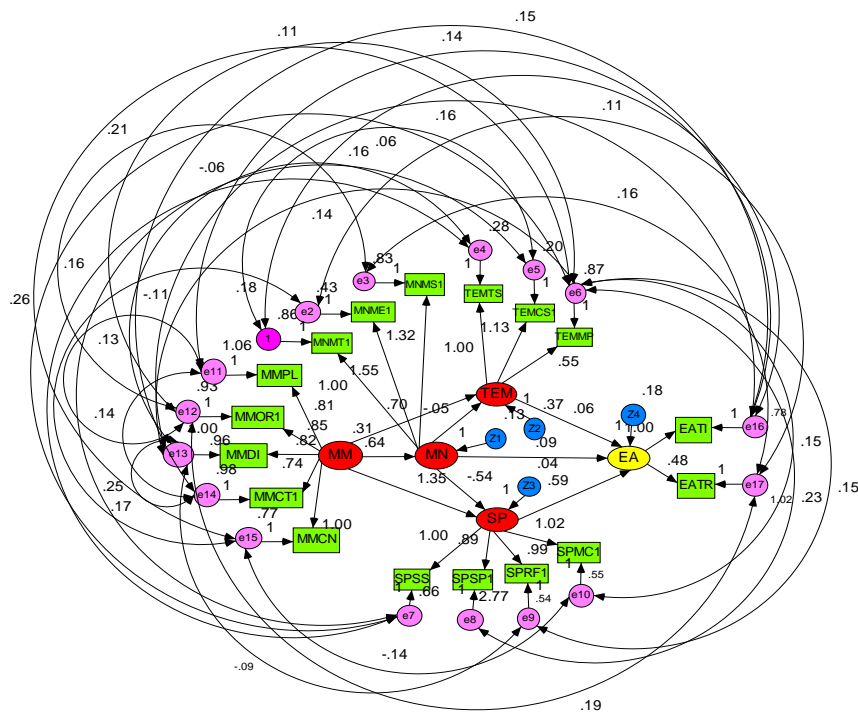
4.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพดังนี้

4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศ จำนวน 430 คน พบว่า ส่วนใหญ่มีอายุ 30 - 45 ปี คิดเป็นร้อยละ 36.0 มีการศึกษาระดับต่ำกว่าปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 68.1 มีระดับชั้นยศเป็น จ.ต. - พ.อ. คิดเป็นร้อยละ 68.1 มีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 20 ปี คิดเป็นร้อยละ 39.8

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
 THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

4.2 ผลการวิเคราะห์สมการโครงสร้างตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์ แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมการโครงสร้างพบว่า สมการโครงสร้างตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าไค-สแควร์ (χ^2) เท่ากับ 127.457 ค่าไค-สแควร์สัมพันธ์ (χ^2/df) เท่ากับ 1.482 (ไม่ควรเกิน 2) องศาอิสระ (df) มีค่าเท่ากับ 86 P-value เท่ากับ .002 ค่าดัชนีวัดระดับความสอดคล้องกลมกลืน (GFI) มีค่าเท่ากับ .968 ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องกลมกลืนเชิงสัมพันธ์ (CFI) มีค่าเท่ากับ .974 ดัชนีรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนโดยประมาณ (RMSEA) มีค่าเท่ากับ .034 ดังภาพที่ 1

จากภาพที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมการโครงสร้างพบว่า สมการโครงสร้างตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าไค-สแควร์ (χ^2) เท่ากับ 127.457 ค่าไค-สแควร์สัมพันธ์ (χ^2/df) เท่ากับ 1.482 (ไม่ควรเกิน 2) องศาอิสระ (df) มีค่าเท่ากับ 86 P-value เท่ากับ .002 ค่าดัชนีวัดระดับความสอดคล้องกลมกลืน (GFI) มีค่าเท่ากับ .968 ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องกลมกลืนเชิงสัมพันธ์ (CFI) มีค่าเท่ากับ .974 ดัชนีรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนโดยประมาณ (RMSEA) มีค่าเท่ากับ .034 โดยพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลทางตรงต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ประกอบด้วยปัจจัยด้านช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์



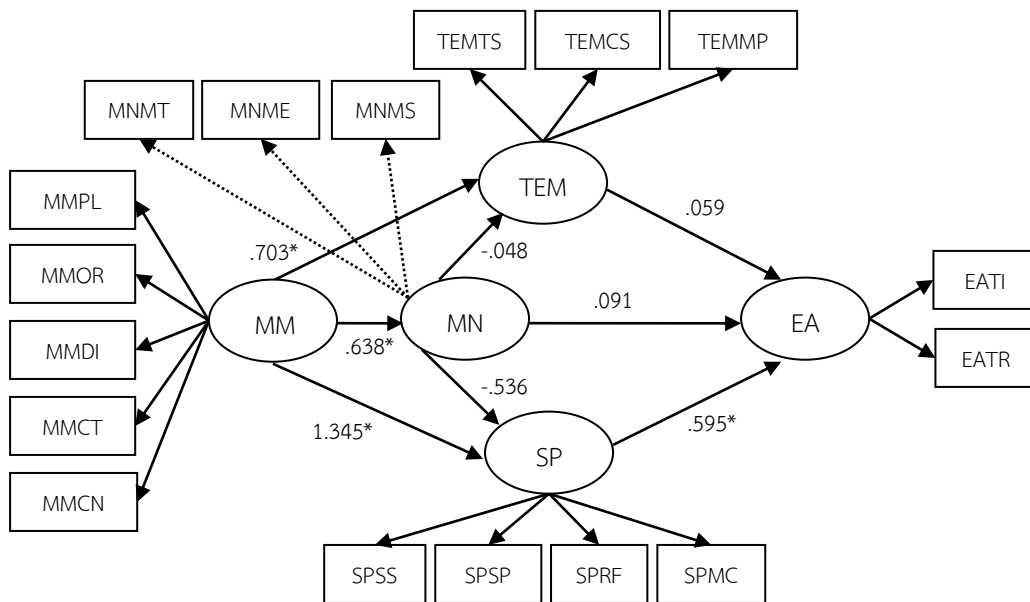
Chi-square = 127.457, Chi-square/df = 1.482, df = 86, p = .002, GFI = .968
 CFI = .974, RMR = .052, RMSEA = .034, MFI = .926

ภาพที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมการโครงสร้างตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์ แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจัยด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และคู่มือการซ่อมบำรุง ปัจจัยด้านชิ้นส่วนอะไหล่ และปัจจัยด้านการบริหารจัดการ สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลทางอ้อมต่อประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยผ่านตัวแปรปัจจัยด้านช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์ (Man: MN) คือ ปัจจัยด้านการฝึกอบรม (Man Training: MT) มีค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากับ 1.55 และผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลทางตรง ปัจจัยที่มีอิทธิพลทางอ้อม และปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยรวมต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพดังภาพที่ 2

5. สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยฉบับนี้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยด้านช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องให้ช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์ทุกคนเมื่อแรกเริ่มเข้ามารับราชการ ก่อนที่จะเป็นช่างซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศนั้น จำเป็นต้องให้ความรู้เบื้องต้นในการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ โดยทุกคน



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมการโครงสร้างปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศ

จากภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมการโครงสร้างปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ในกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพพบว่า ปัจจัยด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และคู่มือ และด้านการบริหารจัดการอิทธิพลทางตรงสูงสุด รองลงมาคือปัจจัยด้านช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศ และปัจจัยด้านชิ้นส่วนอะไหล่ตามลำดับ

ต้องผ่านการฝึกอบรม (Training) การซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์เบื้องต้น เพื่อให้ช่างซ่อมเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศมีทักษะพื้นฐานและมีองค์ความรู้เพียงพอต่อการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศ และจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพื่อให้เกิดทักษะและความชำนาญในการซ่อมเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศ อันจะส่งผลให้การดำเนินการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศเป็นไปตามแผนที่กำหนด และส่งผลดี

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ต่อประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์กองทัพอากาศ และ จะส่งผลให้กองทัพอากาศมีจำนวนเฮลิคอปเตอร์เพียงพอต่อการ ปฏิบัติภารกิจของกองทัพอากาศ และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ กองทัพอากาศที่จะเป็นกองทัพอากาศที่แข็งแกร่งและมีคุณภาพ (Unbeatable Air Forces)

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่าน พล.อ.อ.กิจสม พันธุ์โกศล อดีตเจ้ากรมช่างอากาศ ท่าน พล.อ.ท.ศ.ดร.นพพล หาญกล้า พล.อ.ต.ศ.ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรังและ น.ท.ผศ.ดร. พายัพ ศิรินาม ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบ และให้ ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้ ถูกต้องสมบูรณ์ ตลอดจนข้าราชการกองทัพอากาศ ผู้บังคับบัญชาทุกระดับชั้น และอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้ ที่มีส่วนสนับสนุนให้ข้อมูลการซ่อมบำรุงเฮลิคอปเตอร์ กองทัพอากาศในการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองทัพอากาศ, (2567) RTAF White Paper 2024 กรุงเทพฯ : กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ
- [2] ปกภณ ฉัตรภัทรไทย, (2555). ปัจจัยที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงอากาศยานกองทัพอากาศ. กรุงเทพฯ : รร.เสนาธิการทหารอากาศ กรมยุทธศึกษา ทหารอากาศ
- [3] พร ัญญาดี, (2555). การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงเครื่องบินตรวจการณ์และ ลำเลียงแบบที่ 7 (Arava). กรุงเทพฯ : รร.เสนาธิการทหาร อากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ
- [4] กฤษณา เสียงก้อง, (2555). การนำองค์การแห่งการเรียนรู้ ไปสู่ระบบการซ่อมบำรุงอากาศยาน. กรุงเทพฯ : วิทยาลัย การทัพอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ

- [5] ยุทธ ไกยวรรณ, (2566). การวิเคราะห์โมเดลสมการ โครงสร้างด้วย AMOS. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] สุวิมล ตีรภานันท์, (2555). การวิเคราะห์ตัวแปรพหุใน งานวิจัยทางสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาการประเมิน และการวิจัย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- [7] Annex6-Operation of Aircraft, (2018). International Civil Aviation Organization. 999 Robert-Bourassa Boulevard, Montreal, Quebec, Canada H3c5H7: WWW.ICAO.int
- [8] Lindeman, R. H. Marendra, P. F. & Gold, R. Z., (1980). Introduction to Bivariate and Multivariate Analysis. Glenview, Illinois : Scott, Foreman and Company.
- [9] Hair, J. F. Black, W. C., Babin, B. J. & Anderson, R. E., (2010). Multivariate Data Analysis. 7 th ed. New Jersey : Pearson Education, Inc.

น.ร.ธัญ จาวา, น.ร.ลภัสกร ศรีชินราช, น.ร.กิตติรัช เหมทานนท์

ร.อ.วสวัตดี เสาวดี*, ร.อ.สิริวัชร สิงห์โต*, พ.อ.ผศ.บุญอนันต์ อนันต์เสาวภาคย์, พ.อ.หญิง ศ.ดร.สุวิมล เสนิงวงศ์ ณ อยุธยา
กองวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ต.พรหมณี อ.เมือง จ.นครนายก 26001

E-mail: Wasawat.sa@crma.ac.th

บทคัดย่อ: รถถังถือเป็นยุทธโปกรณ์สำคัญสำหรับการดำเนินกลยุทธ์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งกองทัพบกไทย โดยได้ซื้อรถถังหลักจากประเทศพันธมิตร เมื่อปี พ.ศ. 2554 เพื่อใช้งานในกองทัพในด้านความมั่นคงของประเทศ ด้วยระยะเวลาส่งผลให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ เสื่อมสภาพ และด้วยสภาวะสงครามของประเทศพันธมิตรทำให้ชิ้นส่วนบางชิ้นไม่สามารถจัดส่งให้กับกองทัพไทยได้ ปัจจุบันชิ้นส่วนสำคัญได้แก่เหล็กหล่อหัวฉีดเกิดความเสียหายจากการที่ได้รับความร้อนสูงขณะเครื่องยนต์ทำงาน และการกัดกร่อนจากน้ำหล่อเย็น ผู้วิจัยสนใจออกแบบและสร้างเหล็กหล่อหัวฉีดเพื่อเป็นอะไหล่ทดแทนสำหรับรถถังหลักด้วยวิธีวิศวกรรมย้อนกลับ โดยทำการนำชิ้นงานต้นแบบไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีเทคนิค การเรืองรังสีเอ็กซ์ (XRF) และการทดสอบความแข็ง จากนั้นเลือกวัสดุทดแทนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับชิ้นงานต้นแบบมาทำการทดสอบการทนความร้อนและหาจุดเปราะบางของชิ้นงานโดยการจำลองต้นแบบชิ้นงานสามมิติ ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics ผ่านการกำหนดค่าคุณสมบัติต่าง ๆ และการทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ ผลการแยกองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุต้นแบบพบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลักคือเหล็ก (Fe) 83.19% โครเมียม (Cr) 10.3 % อะลูมิเนียม (Al) 3.69 % และซิลิกอน (Si) 1.53% ตามลำดับ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกวัสดุทดแทน 4 ชนิดที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับชิ้นงานต้นแบบและสามารถจัดหาได้ภายในประเทศ ได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI1045, AISI1040, AISI304 และ AISI D2 และนำมาทดสอบวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี ความแข็ง อุณหภูมิพื้นผิวภายนอก และการกัดกร่อน จำลองจากสภาวะจากการใช้งานจริง จากผลการทดสอบพบว่าเหล็กกล้า AISI D2 มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับเหล็กหล่อหัวฉีดต้นแบบ มีความแข็งที่ 120 HRB อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านนอก 97.40 °C และการทนการกัดกร่อนสูง เหมาะสมสำหรับการนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานต้นแบบต่อไป

คำสำคัญ: เหล็กหล่อหัวฉีด, รถถังหลัก, การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี, การทดสอบทางความร้อน, การกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ

1. บทนำ

รถถังถือเป็นยุทโธปกรณ์สำคัญสำหรับการดำเนินกลยุทธ์ในรูปแบบต่าง ๆ [1] โดยในปัจจุบันประเทศไทยแบ่งประเภทรถถังออกเป็น 2 ประเภทคือ รถถังเบาและรถถังหลัก [2] รถถังเบาหรือรถถังลาดตระเวน (Light tank) มีน้ำหนักกระหว่าง 9-25 tons ขนาดความกว้างของปากลำกล้องปืนใหญ่ 76-90 mm ในขณะที่รถถังหลัก (Main battle tank) มีน้ำหนักกระหว่าง 37-50 tons ขึ้นไป ขนาดความกว้างของปากลำกล้องปืนใหญ่ 90 mm ขึ้นไป [2] รถถังหลักที่สั่งจัดซื้อเมื่อปี พ.ศ. 2554 จากประเทศพันธมิตร จำนวน 49 คัน ถือเป็นรถถังหลักรุ่นล่าสุดเพื่อใช้งานในกองทัพและเพื่อความมั่นคงของประเทศ [3]

เนื่องด้วยชิ้นส่วนของรถถังมีการเสื่อมสภาพตามกาลเวลาทำให้มีบางส่วนที่ต้องรับการปรับปรุงประกอบกับประเทศผู้ขายอยู่ในสภาวะสงครามจึงไม่สามารถส่งวัสดุดังกล่าวให้กับกองทัพไทยได้ ผู้วิจัยได้สนใจวัสดุออกแบบและสร้างเหล็กครอบหัวฉีดเพื่อจัดสร้างไว้เป็นอะไหล่ทดแทนสำหรับรถถังรุ่นดังกล่าวโดยจะทำการศึกษาในรูปแบบวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse Engineering) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางโลหะของเหล็กครอบหัวฉีด และเพื่อจัดหาวัสดุทดแทนตามคุณสมบัติทางโลหะของชิ้นงานเดิม ภายใต้การทดสอบจากการจำลองสถานการณ์การทำงาน โดยจะแบ่งทดสอบการศึกษาเป็น 5 การทดสอบ ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี การทดสอบความแข็ง การทดสอบการทนความร้อน การตรวจสอบจุดเปราะบาง และการทดสอบการกัดกร่อน

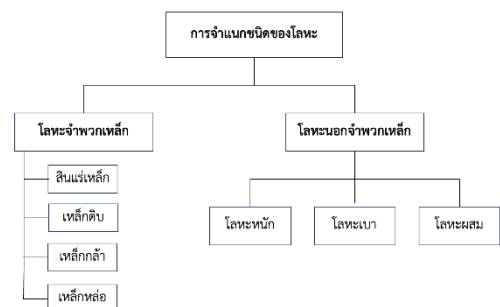
1.1 วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางโลหะและออกแบบเหล็กครอบหัวฉีดด้วยวิธีวิศวกรรมย้อนกลับ
- 2) จำลองแบบเพื่อจัดหาวัสดุทดแทนตามคุณสมบัติทางโลหะของชิ้นงานเดิม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

เนื่องด้วยการไม่ทราบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโลหะของเหล็กครอบหัวฉีด จึงมีความจำเป็นในการวิเคราะห์และศึกษาสมบัติธาตุต่างๆ เพื่อจำแนกหมวดหมู่คุณสมบัติโลหะจำพวกเหล็ก ในงานช่างอุตสาหกรรมดังนี้ [4]



ภาพที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติวัสดุโลหะในงานช่างอุตสาหกรรม [4]

- 1) สินแร่เหล็ก (Iron ORE): สามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด แต่ละชนิดจะอยู่ในสภาพรวมตัวอยู่จะออกซิเจน ได้แก่ ฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) แมกนีไทต์ (Fe_3O_4) ซิเดอไรต์ (FeCO_3) และ ไลโมไนต์ ($\text{FeO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- 2) เหล็กดิบ (Pig Iron): เป็นผลผลิตที่ได้มาจากเตาบราสต์เฟอร์เนซ (Blast Furnace) โดยใช้สินแร่เหล็ก หินปูน ถ่านโค้ก และเหล็กใช้ซ้ำมาทำการหลอมที่อุณหภูมิสูง

3) เหล็กกล้า (Steel): เป็นเหล็กผสมที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 2.0 % โดยน้ำหนัก จะแบ่งตามคาร์บอนผสม ได้แก่ เหล็กกล้าผสมต่ำ เหล็กกล้าผสมปานกลาง และเหล็กกล้าผสมสูง

4) เหล็กหล่อ (Cast Iron): เป็นเหล็กผสมที่มีคาร์บอนระหว่าง 2.0 - 6.7% โดยน้ำหนัก โดยเหล็กหล่อทั่วไปจะแบ่งตามคาร์บอนผสม ได้แก่ เหล็กหล่อสีขาว เหล็กหล่อสีเทา เหล็กหล่อเหนียว และเหล็กหล่อผสม [4, 5]

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) คือ เหล็กกล้าผสมซึ่งเป็นโลหะชนิดที่มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ และทนทานต่อการต้านการกัดกร่อนได้ดี โดยจะมีส่วนผสมระหว่างเหล็ก (Fe) ประมาณ 80% มีโครเมียมเป็นส่วนผสมอย่างน้อย 10% โดยน้ำหนัก โดยเราสามารถจำแนกประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิมได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเหล็ก โดยมีมาตรฐานเหล็กที่นิยม 4 มาตรฐานหลักคือ มาตรฐานเหล็กระบบอเมริกัน (AISI) มาตรฐานเหล็กระบบเยอรมัน (DIN) มาตรฐานเหล็กระบบญี่ปุ่น (JIS) มาตรฐานเหล็กระบบไทย (TIS) [6]

2.2 การทดสอบความแข็ง

ความแข็งแรงของวัสดุเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงกำลังวัสดุ ความยากง่ายเมื่อถูกแปรรูป และความต้านทานต่อการกัดให้เกิตรอยบวมบนผิวของวัสดุ สำหรับวัสดุที่เป็นโลหะแข็ง เป็นคุณสมบัติที่ชี้ให้เห็นถึงการตอบสนองของโลหะต่อกรรมวิธีทางกล หรือกรรมวิธีทางความร้อนที่กระทำต่อโลหะเพื่อปรับปรุงคุณภาพของโลหะนั้นๆ การทดสอบความแข็งที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม มี 3 วิธีหลักคือ การวัด

ความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) การวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vicker hardness test) และการวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness test) โดยในการสอบความแข็งของโลหะเหล็กหล่อ หัวฉีด จะเลือกใช้วิธี ร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness test) เนื่องจากการทดสอบทำได้ง่าย รวดเร็ว อ่านค่าได้ตรง แต่ก็อาจคาดเคลื่อนจากแรงกดทั่วไปได้ ทำให้ต้องพิถีพิถันในการเตรียมผิววัสดุที่ใช้ทดสอบให้เรียบร้อยชัดเจน [7]

การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness test) เป็นการทดสอบความแข็งที่สามารถอ่านค่าจากเครื่องวัดได้ทันที การวัดความแข็งแบบนี้ใช้ความลึกของรอยบวมที่เกิดจากการกดของหัวกด การทดสอบแบบร็อคเวลล์ มี 3 สเกลคือ

- 1) สเกล A ใช้หัวกดเพชรรูปกรวย แรงกดไม่เกิน 50 kg เหมาะกับวัสดุแข็งและบาง
- 2) สเกล B ใช้หัวกดลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/16 inch ใช้แรงกด 90 - 100 kg
- 3) สเกล C ใช้เพชรรูปกรวยเป็นหัวแรงกดสูงสุดไม่เกิน 150 kg (10 - 140 kg) [7]

การคำนวณค่าความแข็ง คำนวณจาก ระยะลึกประกอบไปด้วย 130 ช่อง แต่ละช่องสเกลมีค่า 0.002 mm = 1 HR หากวัดได้ 30 ช่อง = 100 - 30 = 70 HR

สำหรับหัวกดลูกบอลเหล็กแบบร็อคเวลล์ B ค่าความแข็งสามารถคำนวณจากสมการที่ 2.1 [8]

$$HR = 130 - \frac{h}{0.002 \text{ mm}} \quad (2.1)$$

เมื่อ HR คือ ค่าความแข็ง (HRB)

h คือ ระยะลึกของรอยกด (mm)

หลังการคำนวณความแข็งแรงเรียบร้อยจะได้ผลค่าความแข็งแรงในหน่วย HRB โดยเราจะเปลี่ยนหน่วยความแข็งแรง HRB สู่แรงดึง (tensile strength) จากสมการ 2.2 [9]

$$TS = 3.45 \times HR + 62.27 \quad (2.2)$$

เมื่อ TS คือ แรงดึง (N/mm²)

2.3 การทดสอบการทนความร้อน

การถ่ายโอนความร้อน หรือ การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) คือพลังงานความร้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิเชิงพื้นที่ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 รูปแบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยพฤติกรรมทางความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ [10]

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 3 มิติของวัสดุเหล็กครอบหัวฉีด พบว่าเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนจากหัวฉีดสู่ครอบหัวฉีดโดยจะใช้สมการรูปทั่วไปของการแพร่กระจายความร้อนโดยใช้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์กับสมดุลพลังงาน ดังสมการที่ 2.3 [11]

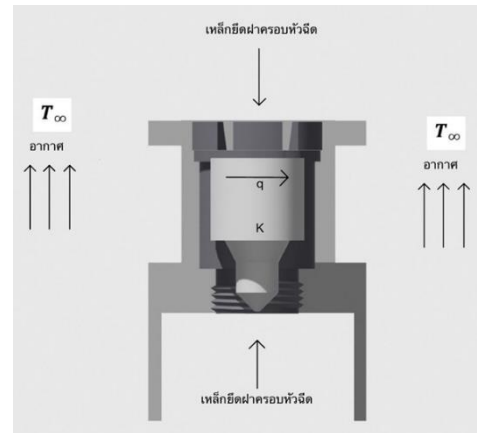
$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.3)$$

เมื่อ r คือ รัศมีทรงกระบอก (mm)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m·k)

ϕ คือ มุมแนวราบทรงกระบอก (Degree)

z คือ ความสูงทรงกระบอก (mm)



ภาพที่ 2.2 แสดงแนวโน้มนำความร้อนจากหัวฉีดสู่ฝาครอบหัวฉีด

ภาพที่ 2.2 แสดงแนวโน้มนำความร้อนจากหัวฉีดสู่ฝาครอบหัวฉีด โดยพื้นที่สัมผัสรอบนอกฝาครอบหัวฉีดบริเวณด้านซ้ายและขวาคืออากาศ และบริเวณด้านบนและด้านล่างเป็นเกลียวยึดฝาครอบหัวฉีด โดยใส่ขอบเขตเงื่อนไขเสมือนว่าอากาศอยู่นิ่ง ไม่มีการพาความร้อนเกิดขึ้น และเหล็กยึดเหล็กฝาครอบหัวฉีด ฝาครอบหัวฉีดและหัวฉีด คือวัสดุโลหะชนิดเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการคำนวณ

2.4 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ

การทดสอบการกัดกร่อนเป็นการทดสอบเพื่อดูการทนต่อการกัดกร่อนของวัสดุแต่ละชนิดโดยพิจารณาความบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน เช่น มีรูพรุน ผิวขรุขระ เปลี่ยนไปจากเดิม ผิวลอก ผิวพอง ผิวย่น เป็นต้น โดยทั่วไปมีการทดสอบด้วยกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ สเปรย์เกลือเป็นกลาง (Neutral Salt Spray or NSS) สเปรย์เกลือกรดอะซิติก (Acetic Acid Salt Spray or AASS) และ สเปรย์เกลือกรดอะซิติกเร่งทองแดง (Copper Accelerated Acetic Acid Salt Spray or CASS) โดยในการทดสอบชิ้นงานนี้จะใช้การพ่นละอองเกลือรูปแบบ สเปรย์เกลือกรดอะซิติกเร่งทองแดง (CASS) เนื่องจากเป็นวิธีการตรวจสอบแบบขั้นสูง

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

มักใช้กับวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนสูงเป็นพิเศษ จึงเลือกวิธีนี้เพื่อให้ได้วัสดุที่ทนทานและคุ้มค่าที่สุด ในการออกแบบ [12] Copper Accelerated Acetic Acid Salt Spray (CASS) เป็นวิธีการตรวจสอบแบบขั้นสูง มักใช้การทดสอบวิธีนี้กับชิ้นงานที่ทนต่อการกัดกร่อนสูงเป็นพิเศษ ซึ่งจะมีการเติมสารละลายกรดลงไปพร้อมกับการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อที่จะได้เห็นผลการทดสอบที่ชัดเจนที่สุด โดยอุณหภูมิที่ทดสอบที่ใช้กับวิธีนี้จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นมาอีกระดับหนึ่งด้วยกัน [13]

สำหรับเกลือที่นำมาใช้ต้องตรวจสอบว่าธาตุต่าง ๆ ต้องมีปริมาณธาตุอื่นๆ ผสมไม่เกินตามที่มาตรฐาน ASTM B117, ISO 9227, JIS Z 2371 ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้ [14]

ตาราง 2.1 แสดงรายละเอียดการเจือปนของสารละลายเกลือต่อวัสดุโลหะ [14]

Impurity Description	เกลือ Corro - Salt	ASTM B117	ISO 9227	JIS Z 2371
Total Impurities	< 0.1%	≤ 0.3%	≤ 0.5%	< 0.5%
Halides (sum of Br ⁻ , I ⁻ and F ⁻)	< 0.1%	< 0.1%	-	-
Copper (Cu)	< 0.3 ppm	< 0.3 ppm	< 0.001% (10 ppm)	< 0.001%
Nickel (Ni)	< 0.001%	-	< 0.001%	< 0.001%
Sodium iodide (I ⁻)	< 0.01%	-	≤ 0.1%	< 0.1%

โดยการเก็บผลการทดสอบจะสังเกตจากรูพรุน ผิวชิ้นงานเปลี่ยนไปจากเดิม ผิวลอก ผิวพอง ผิวย่น ที่เกิดขึ้นเทียบกับเวลา และนำชิ้นงานตัวอย่างไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิว ขนาด รูปร่างโครงสร้างจุลภาค ขอบเกรน และโครงสร้างขนาดเล็ก [14]



ภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการเก็บผลการทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ [14]

3. การดำเนินการวิจัย

การวิจัยจะใช้ชิ้นงานเหล็กกรอบหัวฉีดต้นแบบทำงานทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) เพื่อหาโลหะธาตุองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกรอบหัวฉีดและการทดสอบความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งวิเคราะห้แบบร็อคเวลล์ สเกล B หลังจากที่ทำธาตุดังกล่าวและองค์ประกอบและความแข็งของโลหะชิ้นงานแล้ว จะดำเนินการเลือกวัสดุที่ใกล้เคียง 4 ชนิดที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงจัดซื้อได้ในประเทศ มาจัดทำแบบจำลอง 3 มิติเพื่อ วิเคราะห์ความร้อนพื้นผิวนอก และวิเคราะห์จุดเสียดแตกหักด้วยหลักการไฟไนต์อีลิเมนต์ ผ่านโปรแกรม COMSOL Multiphysics และตรวจสอบการกัดกร่อนของวัสดุด้วยการทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ

3.1 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

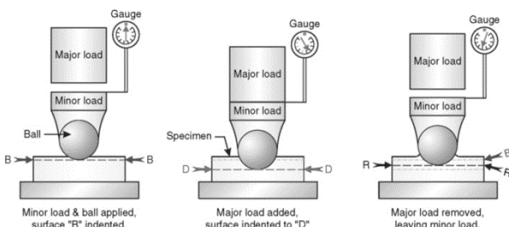
เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRF) เป็นเครื่องมือที่ใช้หาปริมาณธาตุองค์ประกอบของวัสดุและอโลหะที่อยู่ในรูปก้อนของแข็ง ผง หรือ ของเหลว โดยการวัดพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่างหลังจากถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูง โดยมีคุณลักษณะเทคนิคคือ สามารถทดสอบวัสดุตั้งแต่ระดับ 60 kV, 160 mA ขึ้นไป [15]



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (X-ray Fluorescence - WD - XRF) [15]

3.2 การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness test)

การทดสอบความแข็งชิ้นงาน เราจะใช้เครื่องวัดความแข็งวิเคราะห์แบบร็อคเวลล์ (Hardness Tester Type Rockwell) โดยวิเคราะห์ผลแบบสเกล B โดยเริ่มจากการเลือกหัวกดที่ทำจากลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1/16$ inch ใช้แรงกดนำ (Minor Load) 10 kgf กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบจากนั้นเพิ่มแรงกดหลัก (Major Load) อีก 90 kgf ค่าความแข็งจะถูกอ่านเมื่อนำแรงกดหลักออก ซึ่งเนื้อชิ้นงานที่ถูกกดจะคืนตัวกลับในปริมาณหนึ่ง และคงเหลือเพียงแรงกดนำ ซึ่งปลายหัวกดจะอยู่ ณ ตำแหน่งที่เกิดจากการยุบตัวอย่างถาวรของชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 3.2 [16, 17]



ภาพที่ 3.2 แสดงวิธีการใช้ลูกบอลเหล็กในการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ [17]

การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์บีเหมาะกับการทดสอบวัสดุอ่อน เพราะมีการยัดช่วงของ E เป็น 0.26 mm และแบ่งเป็น 130 ส่วน ส่วนละ 0.002 mm ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความแข็ง เพราะจะมีเข็มชี้บอกค่าความแข็ง หรือบางเครื่องเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถแสดงค่าความแข็งเป็นตัวเลขโดยตรง ดังแสดงในภาพที่ 3.3 [16]



ภาพที่ 3.3 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ที่ใช้ในการทดสอบจริง

3.3 วิเคราะห์ความร้อนพื้นผิววนอก และวิเคราะห์จุดเสียดแตกหัก

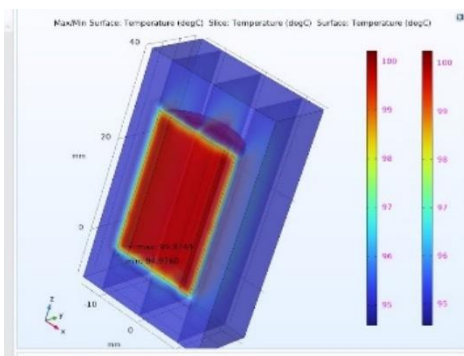
โปรแกรม COMSOL Multiphysics Version 6.1 เป็นซอฟต์แวร์ใช้ในการจำลอง (Simulation) ชิ้นงานเหล็กครอบหัวฉีด ในการวิเคราะห์ผล 2 ส่วนคืออุณหภูมิพื้นผิวภายนอก และการวิเคราะห์จุดเปราะบางหรือจุดเสียดแตกหักด้วยหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยวิเคราะห์ผลทาง 3 มิติ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

3.3.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นที่ผิวภายนอก

เป็นการวิเคราะห์ชิ้นงานรูปทรงกระบอกแบบ 3 มิติ โดยมีขอบเขตเงื่อนไข (Boundary Condition) ดังต่อไปนี้

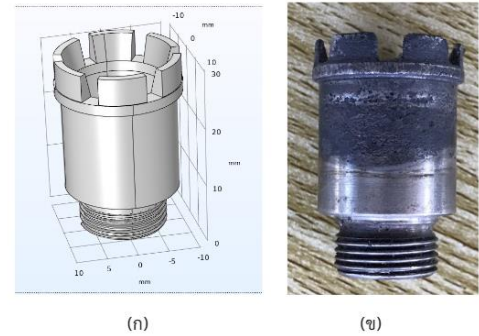
- การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนจากหัวฉีดสู่ฝาครอบหัวฉีด
- หัวฉีดและฝาครอบหัวฉีดเป็นวัสดุเหล็กชนิดเดียวกัน
- กำหนดอุณหภูมิเหล็กหัวฉีดที่ 100°C [18]
- กำหนดการถ่ายเทความร้อนไม่ขึ้นอยู่กับเวลา (Steady state)
- อุณหภูมิของอากาศบริเวณรอบฝาครอบหัวฉีดอยู่ที่ 25°C



ภาพที่ 3.4 แสดงภาพการจำลองชิ้นงานรูปทรงกระบอกแบบ 3 มิติ

3.3.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นที่ผิวภายนอกจุดเสี่ยงแตกหัก

การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นที่ผิวภายนอกจุดเสี่ยงแตกหักด้วยหลักการไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยวาดแบบจำลองรูปทรง 3 มิติ ตามขนาดของโครงสร้างจริงของเหล็กฝาครอบหัวฉีด เพื่อวิเคราะห์ผลด้วยหลักการไฟไนต์อีลิเมนต์ ผ่านการจำลองตามภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงภาพ (ก) การจำลองโครงสร้างชิ้นงานจริงแบบ 3 มิติ เปรียบเทียบกับ (ข) ชิ้นงานเหล็กฝาครอบหัวฉีดต้นแบบ

3.4 การทดสอบการกัดกร่อนโดยสารละลายเกลือ

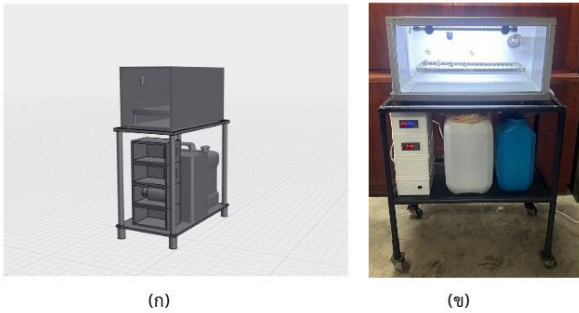
เครื่องทดสอบการกัดกร่อนจัดทำเพื่อทดสอบการทนทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุประเภทต่าง ๆ ที่ได้มาจากเครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี โดยขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย และขั้นการเก็บผลการทดสอบการกัดกร่อน

3.4.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ

โปรแกรม Shapr 3D CAD Modelling ถูกใช้สำหรับการวาดแบบเครื่องทดสอบการกัดกร่อนโดยอ้างอิงเครื่องทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ [19, 20] มีส่วนประกอบ 2 สำคัญได้แก่

- 1) ตู้ทดสอบสารละลายเกลือจากการออกแบบตู้ทดสอบและทำการจัดสร้าง ตู้ทดสอบทำจากอลูมิเนียมและกระจกมีขนาด กว้าง 60x30x30 cm โดยภายในตู้มีฮีตเตอร์ขนาด 2,200 W เป็นตัวให้ความร้อน และมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิให้มีค่า 50°C ดังรูปที่ 3.6

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



ภาพที่ 3.6 แสดงภาพ (ก) การจำลองเครื่องทดสอบแบบ 3 มิติ (ข) ตู้ทดสอบละอองเกลือ

2) การควบคุมอุณหภูมิทำโดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) โดยสามารถกำหนดอุณหภูมิภายในตู้ทดสอบให้อยู่ในช่วง 50°C และอุณหภูมิที่ถึงน้ำสารละลายเกลือ 63°C โดยมีฮีตเตอร์แบบขดขนาด 2,200 W 220 V เป็นตัวให้ความร้อนกับระบบดังกล่าว ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องควบคุมอุณหภูมิและฮีตเตอร์แบบขด

3.4.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

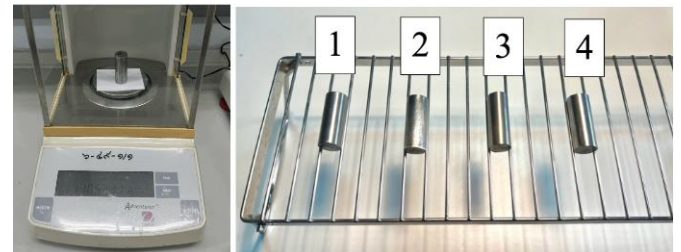
สารละลายที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้ มีอัตราส่วนเกลือ (Corro Salt) 5 ส่วน ต่อน้ำ (DI) 95 ส่วน โดยน้ำหนัก โดยผสมและบรรจุอยู่ในถังน้ำและติดตั้งระบบเพิ่มฟองอากาศเพื่อลดการตกตะกอนของสารละลาย ดังรูปที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงขั้นตอนการเตรียมสารละลายโดยการผสมน้ำเกลือ (Corro Salt) 5 ส่วน ต่อน้ำ (DI) 95 ส่วนโดยน้ำหนัก

3.4.3. ขั้นการเก็บผลการทดสอบการกัดกร่อน

ขั้นตอนการเก็บผลการทดสอบ เริ่มจากการนำวัสดุทดแทน 4 ชิ้น ได้แก่ เหล็กกล้าชนิด AISI 1045, AISI 1040, AISI 304 และ AISI D2 ขนาดยาวประมาณ 5 cm โดยทำการขัดทำความสะอาดชิ้นงานและชั่งน้ำหนักของชิ้นงานก่อนการทดสอบ จากนั้นนำไปวางในตู้ทดสอบการกัดกร่อนเป็นเวลา 72 hrs เมื่อครบตามเวลานำวัสดุที่ทดสอบมาเปรียบเทียบลักษณะภายนอก การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของชิ้นงานทางกายภาพ เช่น รูพรุน สนิม สีที่เปลี่ยนแปลง เป็นต้น และส่วนต่อน้ำหนักของชิ้นงานก่อน/หลังทดสอบ ดังรูปที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แสดงการชั่งน้ำหนักและเก็บผลการทดสอบการกัดกร่อน ของวัสดุ (1) AISI 1045 (2) AISI 4140 (3) AISI 304 และ (4) AISI D2

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลเครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอ็กซ์ (XRF)

การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอ็กซ์ (XRF) พบว่าพบว่ามีธาตุห้องค์ประกอบหลักคือ เหล็ก (Fe) 83.19% โครเมียม (Cr) 10.3 % อะลูมิเนียม (Al) 3.69 % และซิลิกอน (Si) 1.53% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของธาตุห้องค์ประกอบชิ้นงานเหล็กครอบหัวฉีด

ธาตุห้องค์ประกอบ	สัญลักษณ์	ผลการทดสอบ		ผลเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	
เหล็ก	Fe	82.828	83.558	83.193
โครเมียม	Cr	10.736	9.913	10.325
อะลูมิเนียม	Al	3.676	3.722	3.699
ซิลิกอน	Si	1.470	1.589	1.530
ธาตุอื่น ๆ	-	1.290	1.168	1.229
รวม	-	100.000	100.000	100.000

จากการวิเคราะห์พบว่าวัสดุโดยมีวัสดุทดแทนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง 4 ชนิด คือ เหล็กกล้าชนิด AISI 1045, AISI 4140, AISI 304 และ AISI D2 โดยมีธาตุห้องค์ประกอบทางเคมีแสดงตามตารางที่ 4.2 - 4.5 [21]

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของธาตุห้องค์ประกอบเหล็กกล้าชนิด AISI 1045 [21]

ธาตุห้องค์ประกอบ	สัญลักษณ์	ผลเฉลี่ย
เหล็ก	Fe	98.11%
แมงกานีส	Mn	0.90%
คาร์บอน	C	0.50%
ซิลิกอน	Si	0.40%
ธาตุอื่น ๆ	-	0.09%
รวม	-	100.000%

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของธาตุห้องค์ประกอบเหล็กกล้าชนิด AISI 4140 [21]

ธาตุห้องค์ประกอบ	สัญลักษณ์	ผลเฉลี่ย
เหล็ก	Fe	97.14%
โครเมียม	Cr	1.10%
แมงกานีส	Mn	1.00%
คาร์บอน	C	0.43%
โมลิบดีนัม	Mo	0.25%
ธาตุอื่น ๆ	-	0.08%
รวม	-	100.000%

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณสมบัติของธาตุห้องค์ประกอบเหล็กกล้าชนิด AISI D2 [21]

ธาตุห้องค์ประกอบ	สัญลักษณ์	ผลเฉลี่ย
เหล็ก	Fe	82.60%
โครเมียม	Cr	13.00%
คาร์บอน	C	1.60%
โมลิบดีนัม	Mo	1.20%
แมงกานีส	Mn	0.50%
ซิลิกอน	Si	0.60%
ธาตุอื่น ๆ	-	0.50%
รวม	-	100.00%

ตารางที่ 4.5 แสดงคุณสมบัติของธาตุห้องค์ประกอบเหล็กกล้าชนิด AISI 304 [21]

ธาตุห้องค์ประกอบ	สัญลักษณ์	ผลเฉลี่ย
เหล็ก	Fe	66.24%
โครเมียม	Cr	20.00%
นิกเกิล	Ni	10.50%
แมงกานีส	Mn	2.00%
ซิลิกอน	Si	1.00%
คาร์บอน	C	0.08%
ธาตุอื่น ๆ	-	0.18%
รวม	-	100.00%

4.2 การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์

(Rockwell Hardness test)

ผลการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ สเกล B โดยใช้การทดสอบ 3 ครั้ง พบว่าได้ค่าความแข็งของชิ้นงาน ผาครอบหัวฉีดมีค่าเฉลี่ยที่ 117 HRB แสดงข้อมูลตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ สเกล B

ครั้งที่	ผลการทดสอบความแข็ง (HRB)
1	116
2	117
3	118
เฉลี่ย	117

4.3 การทดสอบการทนความร้อน

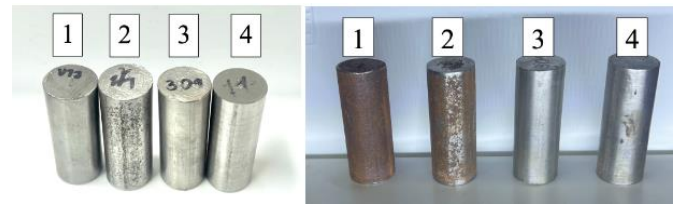
ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นที่ผิวภายนอกของเหล็กกล้า ทั้ง 4 ชนิดผ่านโปรแกรม Comsol Multiphysics version 6.1 พบว่าปัจจัยของการทนความร้อนขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อน ความหนาแน่น และค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุแต่ละชนิด โดยกำหนดอุณหภูมิเหล็กหัวฉีดอยู่ที่ 100°C ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุชิ้นงานทดสอบ และผลการคำนวณอุณหภูมิผิวภายนอกของชิ้นงานทดสอบ ทั้ง 4 ชนิด [11]

ลำดับ	ชิ้นงานทดสอบ	ค่าการนำความร้อน (W/m K)	ค่าความหนาแน่น (kg/mm ³)	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (J/kg K)	อุณหภูมิเฉลี่ยผิวบนของชิ้นงาน (°C)
1	AISI 1045 (เหล็กเพลาขาว)	50	7,850	490	96.662
2	AISI 4140 (เหล็กเพลาฟ้า)	42.7	7,850	460	97.878
3	AISI 304 (เหล็ก stainless 304)	16.2	7,930	500	96.747
4	AISI D2 (เหล็กเพลาหมัน)	25	7,700	460	97.404

4.4 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ

จากการทดสอบการกัดกร่อน ได้ผลเป็นภาพถ่ายชิ้นงาน แต่และชนิดก่อน/หลังการทดสอบ เปรียบเทียบลักษณะภายนอก การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของชิ้นงานทางกายภาพ เช่น รูพรุน สนิม สีที่เปลี่ยนแปลง ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะภายนอกของชิ้นทดสอบ ก่อน/หลังการทดสอบ ของวัสดุ (1) AISI 1045 (2) AISI 4140 (3) AISI 304 และ (4) AISI D2 ที่แช่ในสารละลายเกลือ

5. การวิเคราะห์ผลการวิจัย

5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานต้นแบบเปรียบวัสดุทดแทนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง 4 ชนิด แสดงตามตารางที่ 5.1 พบว่า เหล็ก AISI D2 องค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกับชิ้นงานต้นแบบมากที่สุด โดยมีองค์ประกอบของธาตุเหล็ก 82.60% ธาตุโครเมียม 13.00% และซิลิกอน 0.60%

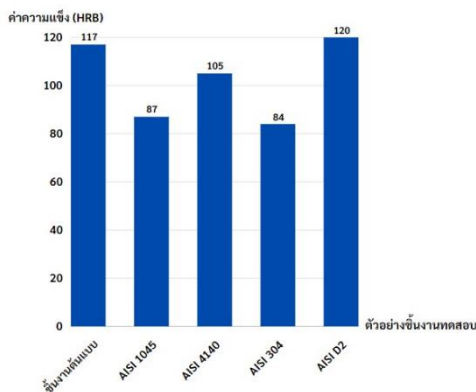
ตารางที่ 5.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานต้นแบบเปรียบวัสดุทดแทนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง 4 ชนิด

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ชิ้นงานทดสอบ	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
	เหล็ก (Fe)	โครเมียม (Cr)	อะลูมิเนียม (Al)	ซิลิกอน (Si)	คาร์บอน (C)	แมงกานีส (Mn)	โมลิบดีนัม (Mo)	นิกเกิล (Ni)
ชิ้นงานต้นแบบ	83.19	10.33	3.7	1.53	-	-	-	-
AISI 1045	98.11	-	-	0.40	0.50	0.90	-	-
AISI 4140	97.14	1.10	-	-	0.43	1.00	0.25	-
AISI 304	66.24	20.00	-	1.00	0.08	2.00	-	10.50
AISI D2	82.60	13.00	-	0.60	1.60	0.50	1.20	-

5.2 การวิเคราะห์ความแข็ง

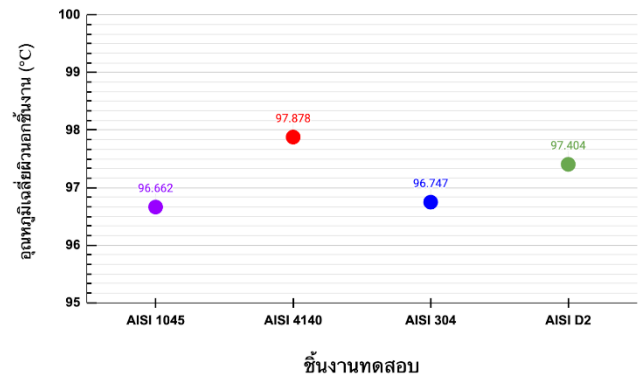
จากการทดสอบความแข็งของวัสดุชิ้นงานต้นแบบพบว่า มีค่าความแข็งที่ 117 HRB และวัสดุทดแทน 4 ชนิดที่นำมาทดสอบมีค่าความแข็งจากกราฟที่ 5.1 ผลการทดสอบพบว่า เหล็ก AISI D2 มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับชิ้นงานต้นแบบที่ความแข็ง 120 HRB



ภาพที่ 5.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานทดสอบกับค่าความแข็งของชิ้นงานในหน่วย HRB

5.3 การวิเคราะห์ความทนความร้อน

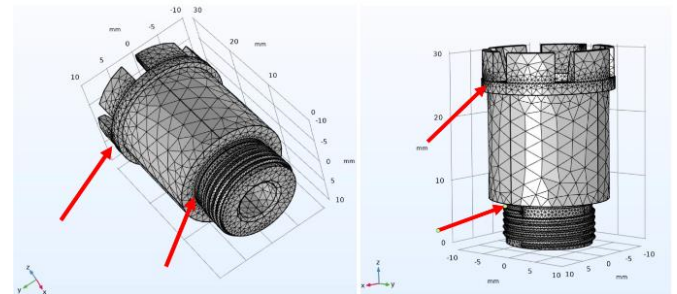
จากผลการวิเคราะห์ทดลองพบว่าอุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเหล็กกล้าที่มากที่สุดคือ เหล็กกล้า AISI 4140 ที่ 97.88 °C ในขณะที่เหล็กกล้า AISI 1045 มีอุณหภูมิภายนอกต่ำที่สุดที่ 96.66 °C แสดงในภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของชิ้นงานทดสอบ 4 ชนิด

5.4 การวิเคราะห์จุดเสี่ยงแตกหัก

การวิเคราะห์จุดเสี่ยงแตกหักด้วยหลักการไฟไนต์อีลิเมนต์ จากการจำลองชิ้นงาน 3 มิติ พบว่าจุดเสี่ยงหรือจุดเปราะบางพบที่บริเวณจุดเชื่อมต่อของมวงกุญชิ้นงานบริเวณยอดของชิ้นงานและบริเวณเกลียวของชิ้นงานแสดงดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 แสดงจุดเสี่ยงแตกหักด้วยหลักการไฟไนต์อีลิเมนต์

5.5 การวิเคราะห์การกัดกร่อนของวัสดุทดสอบ

จากการทดสอบการกัดกร่อนของเหล็กกล้าชนิดต่าง ๆ ด้วยสารละลายเกลือ พบว่า เหล็กกล้าชนิด AISI 304, AISI D2, AISI 4140 และ AISI 1045 มีการทดสอบการกัดกร่อนเรียงลำดับจากมากไปน้อย โดยวัดจากเปอร์เซ็นต์ส่วนต่างของน้ำหนักของชิ้นงาน ก่อน/หลังการทดสอบ ดังแสดงตามตารางที่ 5.2

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ตารางที่ 5.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความต่างของน้ำหนักของชิ้นงานก่อน/หลัง การทดสอบ ของการทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลายเกลือ

ลำดับ	ชิ้นงานทดสอบ	น้ำหนักก่อนการทดสอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)	ส่วนต่างน้ำหนัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความต่างของน้ำหนัก (%)
1	AISI 1045	107.3281	106.6934	0.6347	0.5914
2	AISI 4140	110.5126	110.0311	0.4815	0.4357
3	AISI 304	112.2081	112.201	0.0071	0.0063
4	AISI D2	109.6105	109.4533	0.1572	0.1434

6. สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของชิ้นงานต้นแบบกับวัสดุที่นำมาทดแทนพบว่า

- องค์ประกอบของธาตุทางเคมี: วัสดุต้นแบบที่มีค่าใกล้เคียงกับวัสดุต้นแบบมากที่สุดคือเหล็กกล้า AISI D2 มีค่าส่วนประกอบของเหล็กอยู่ที่ประมาณ 84.95% และโครเมียม 11%
- ความแข็งของวัสดุ: วัสดุเหล็กกล้า AISI D2 มีค่าความแข็ง 120 HRB ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวัสดุชิ้นงานต้นแบบมากที่สุดที่มีค่าความแข็ง 117 HRB
- การวิเคราะห์ถ่ายเทความร้อน: อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกที่สูงสุดของเหล็กกล้าคือเหล็กกล้า AISI 4140 ที่อุณหภูมิ 97.88 °C ขณะที่เหล็กกล้า AISI 1045 มีอุณหภูมิภายนอกต่ำที่สุดที่ 96.66 °C
- การวิเคราะห์จุดเสียดแทรก: จุดเสียดหรือจุดเปราะบางพบที่บริเวณจุดเชื่อมต่อของมังกูชิ้นงานบริเวณยอดของชิ้นงานและบริเวณเกลียวของชิ้นงาน
- การทดสอบการกัดกร่อน: เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักชิ้นงานก่อนและหลังการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลง

น้อยที่สุดอันดับสอง รองจาก AISI 304 คือที่ 0.0063 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 6.1 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ส่วนประกอบทางเคมี อุณหภูมิผิวนอกชิ้นงาน การทดสอบการกัดกร่อน และค่าความแข็งของวัสดุทดแทนทั้ง 4 ชนิด พบว่าวัสดุเหล็กกล้า AISI D2 มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับเหล็กหล่อชนิดต้นแบบ มีความแข็งที่ 120 HRB อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านนอก 97.40°C มีการทดสอบการกัดกร่อนในระดับสูง เหมาะสมสำหรับการนำวัสดุมาขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ (Prototype)

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของเหล็กหล่อชนิดต้นแบบกับชิ้นงาน ทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ลำดับ	ชิ้นงานทดสอบ	องค์ประกอบทางเคมี	อุณหภูมิผิวนอกชิ้นงาน (°C)	การทนการกัดกร่อน	ค่าความแข็ง (HRB)
1	AISI 1045	ใกล้เคียงน้อย	96.66	ต่ำ	87
2	AISI 4140	ใกล้เคียงน้อย	97.88	ต่ำ	105
3	AISI 304	ใกล้เคียงปานกลาง	97.40	สูง	84
4	AISI D2	ใกล้เคียงมาก	96.75	สูง	120

7. แนวความคิดในการขยายผล

- ตรวจหาร้านจัดจำหน่ายและราคาของวัสดุทดแทน
- การขึ้นรูปฝาครอบหัวฉีดเป็นชิ้นงานต้นแบบและทดสอบการใช้งานจริง

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณจัดทำโดยกองทุนวิจัยและพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า การทดลองและวิเคราะห์ผลการกัดกร่อนทางเคมีจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อุปกรณ์การทดสอบน้ำหนักจากกองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อุปกรณ์ทดสอบความแข็งของวัสดุจากกองวิชาวิศวกรรมสรรพวุฒ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนาย

ร้อยพระจุลจอมเกล้า และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจากคณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และความรู้มาตรฐานรถถังหลักจากกองพันทหารม้าที่ 2 รักษาพระองค์ กองพลทหารราบที่ 2 รักษาพระองค์

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิตยสารยุทธโศก 9(2013) T-84 OPLOT ปราการเหล็กใหม่ของกองทัพไทย ฉบับที่ 3 ประจำเดือนเมษายน - มิถุนายน 2556
- [2] ชมรมเรารักยานยนต์รบในอดีต (5 พ.ค. 2021) การแบ่งประเภทรถถัง
URL:http://www.cavalrycenter.com/former-tanks/index.php?option=com_content&view=article&id=120&Itemid=488 accessed on 01/08/2024
- [3] BBC News Thai (28 มี.ค. 2018) รถถัง Oplot: 5 ข้อน่ารู้เกี่ยวกับรถถังยูเครนที่ไทยซื้อ
URL: <https://www.bbc.com/thai/thailand-43552888> accessed on 01/08/2024
- [4] วิทยาลัยเทคนิคพิมาย วัสดุและโลหะวิทยา (2 ต.ค. 2014)
URL:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://km.pmitc.ac.th/files/1610241414425072_2106240993200.pdf accessed on 01/08/2024
- [5] บริษัท เอ็มแอนดีอี จำกัด (1978), “คู่มือการเลือกใช้วัสดุ”, บริษัทเอเซียเพรส จำกัด
- [6] บริษัท ก.ธนวัฒน์ เมทอล จำกัด (17 ก.พ. 2023) มาตรฐานเหล็กในอุตสาหกรรม มีอะไรบ้าง ความหมายต่างกันอย่างไร

URL:<https://www.ktmmetal.com/content/14?srsltid=AfmBOorJtkFguufbHBacRv2A-DWR4EsVZWCSCyetaNQdzzdG6YpN6kaD> accessed on 01/08/2024.

- [7] พันเอก ทองคำ ชุมพล (2005) วัสดุวิศวกรรม (Engineer Materials) ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
- [8] Tapany Patcharawit (2020) LAB 5 Hardness brief & instruction. YoutubeURL:<https://www.youtube.com/watch?v=NISjXcRBpoU> accessed on 01/08/2024.
- [9] ASM Handbook (2005) Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, where empirical formulas and conversion tables are provided (Vol. 1).
- [10] Pitts, D and Sissom, L เรียบเรียงโดย ดร.ธนาคมสุนทรชัยนาคแสง (1996) ทฤษฎีและตัวอย่างการถ่ายเทความร้อน, McGraw-Hill, Inc.
- [11] T. L. Bergman, Adrienne. Lavine, and F. P. Incropera, “Fundamentals of heat and mass transfer”. 2017, ISBN 9781119337676.
- [12] ASTR Instrument (11 ก.พ. 2020) Salt Spray test คืออะไร
URL:<https://www.astroinstrument.com/knowledge/what-is-salt-spray-test/>
- [13] Thai Parkerizing (13 ส.ค. 2021) การทดสอบการกัดกร่อน (Corrosion Test) ด้วยวิธี Salt Spray Test คืออะไร
URL:<https://www.thaiparker.co.th/th/articles/laboratory-services/corrosion-test-salt-spray-iso-astm-standard>

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

[14] Hanshin Neji (08 ก.ค. 2024) NEJIREDO.COM การทดสอบการกัดกร่อนด้วยไอเกลือ (Salt Spray Test) คืออะไร

URL: <https://www.nejiredo.com/th/blog/post/salt-spray-test>

[15] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (12 พ.ย. 2019) เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (X-Ray Fluorescence)

URL:<https://news.isit.or.th:8080/isit/2019/11/12/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B8%AB%E0%B9%8C%E0%B8%AA%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B8%A3/>

[16] อภิชาติ พานิชกุล และ อุษณีย์ กิตกัธ (n.d.) การวัดความแข็ง หน่วยวิจัยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางโลหะวิทยา สำหรับการขึ้นรูปโลหะ (IMIARU) สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

URL:
http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Measurement_Of_Hardness.html

[17] E. Alfredo Campo (2008) Selection of Polymeric Materials, How to Select Design Properties from Different Standards, Plastics Design Library Page 175 - 203.

[18] โรงเรียนทหารม้า ศูนย์การทหารม้า การใช้และการซ่อมบำรุง เล่มที่ 9 รหัสวิชา 0102240609

แผนกกีฬายานยนต์ กศ.รร.ม.ศม.

[19] Corrosion Test. (2021, December) Salt Spray Test”

[Online].Available:<https://www.thaiparker.co.th/th/articles/laboratory-services/corrosion-test-salt-spray-iso-astm-standard>

[20] Salt Spray Tester. (2024, July) เครื่องทดสอบละอองเกลือ” [Online].Available : <https://www.cal-laboratory.com/บทความ/วิธีการทดสอบการกัดกร่อนด้วยเครื่อง-salt-spray-tester-เครื่องทดสอบละอองเกลือ/>

[21] อภิชาติ พานิชกุล และ อุษณีย์ กิตกัธ (n.d.) ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าและเหล็กหล่อต่างๆ การอบชุบทางความร้อนของโลหะ หน่วยวิจัยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางโลหะวิทยาสำหรับการขึ้นรูปโลหะ (IMIARU) สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

URL:http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/metal_2.html

บทความทางด้านวัสดุและการก่อสร้าง
(Material and Construction)

การทดลองและการพัฒนาแบบจำลองของถังเก็บก๊วตฤระเบิด

EXPERIMENT AND NUMERICAL MODELLING OF BOMB BASKET

ธนากร พีระพันธุ์ (Thanakorn Pheeraphan)¹

ฉัตร ธารพานิช² (Chat Tharnpanich)²

¹รองผู้อำนวยการสำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (petevmi@alum.mit.edu)

¹อาจารย์พิเศษ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (thanakorn@ait.asia)

²นักศึกษบัณฑิตศึกษา สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้พัฒนาถังเก็บก๊วตฤระเบิด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 ซม. สูง 70 ซม. ที่ทำจากเหล็กกล้าให้สามารถทนแรงระเบิดแบบ TNT ได้ไม่น้อยกว่า 3 ปอนด์ การออกแบบถังนี้ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์หาความเครียดที่เกิดขึ้น โดยใช้ค่าแรงดันที่ได้จากการคำนวณ เมื่อทราบขนาดของระเบิด TNT ที่ใช้และระยะห่างระหว่างระเบิดกับแผ่นผนัง โดยแผ่นผนังแต่ละแผ่นได้รับการพิจารณาว่าวิบัติเมื่อค่าความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่าเกินกว่าค่าความเครียดที่ทำให้เกิดรอยร้าว รูปลักษณะของถังนี้เป็นแบบสองชั้นและสามชั้น ในการวิเคราะห์การวิบัติของถังแบบหลายชั้นนี้ใช้หลักการซ้อนทับโดยพิจารณาการวิบัติของแผ่นผนังทีละชั้นและนำผลที่ได้ในแต่ละชั้นมาหาค่าความสามารถในการทนต่อแรงระเบิดสูงสุดของถังนี้แบบจำลองที่สร้างขึ้นได้รับการเปรียบเทียบกับผลทดลองของถังที่ทำจากเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งพบว่าผลที่ได้สอดคล้องกันดี จากนั้นทำการออกแบบถังให้ทนแรงระเบิด TNT ได้ 2.25 ปอนด์โดยออกแบบเป็นถังแบบสองชั้นที่ทำขึ้นจากแผ่นเหล็กหนา 6 มม. และถังแบบสามชั้นที่ทำขึ้นจากแผ่นเหล็กหนา 4 มม. ที่ออกแบบให้สามารถทนแรงระเบิด TNT ได้ 1.85 ปอนด์ เมื่อทำการทดสอบจริงเพื่อหาค่าความสามารถในการต้านทานแรงระเบิดแบบขีดสุดของถังเหล่านี้พบว่าถังแบบสองชั้นที่ทำขึ้นจากแผ่นเหล็กหนา 6 มม. สามารถทนแรงระเบิด TNT ได้ 4 ปอนด์ และถังแบบสามชั้นที่ทำขึ้นจากแผ่นเหล็กหนา 4 มม. สามารถทนแรงระเบิด TNT ได้มากถึง 5 ปอนด์

คำสำคัญ: ถังเก็บก๊วตฤระเบิด, แรงระเบิด, ระเบิด TNT, เฟอร์โรซีเมนต์

1. ความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบัน ภาวะคุกคามจากการก่อการร้ายได้ทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อชีวิตและทรัพย์สินของภาครัฐ และเอกชน ตัวอย่างของการวางระเบิด ทั้งในสถานที่ราชการ ร้านค้า สนามบิน พาณิชยกรรม อาคารสาธารณะ บริเวณโครงสร้างของสะพาน ใต้ท้องรถยนต์ ในรถมอเตอร์ไซด์ เป็นต้นเพื่อให้เกิดความไม่สงบ การเก็บก๊วตฤระเบิด สามารถกระทำได้หลายวิธี อาทิเช่น การใช้ปืนฉีดน้ำแรงดันสูง การใช้หุ่นยนต์เก็บก๊วตฤระเบิด การใช้ถังเก็บก๊วตฤระเบิด เป็นต้น

การใช้ถังเก็บก๊วตฤระเบิด เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถกระทำได้ในการเก็บก๊วตฤระเบิด แต่ปัญหาเรื่องของจำนวนถังเก็บก๊วตฤระเบิดที่มีใช้ในปัจจุบันมีจำนวนไม่เพียงพอ การจัดหาถังเก็บก๊วตฤระเบิดต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาแพง

จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาถังเก็บก๊วตฤระเบิด เพื่อนำไปใช้ในงานป้องกันอันตรายที่อาจเกิดการแรงระเบิด เริ่มแรกได้มีการผลิตและทดสอบถังเก็บก๊วตฤระเบิดที่ทำจากเฟอร์โรซีเมนต์และเสริมกำลังด้วยเส้นใยคาร์บอน [1-2] ซึ่งพบว่าเฟอร์โรซีเมนต์ทนต่อแรง

กระแทกสูง ราคาถูก และทนต่อแรงระเบิด TNT ที่มีน้ำหนัก 1.5 ปอนด์ได้ แต่ถึงกับกั้ววัตถุระเบิดที่มีใช้อยู่จริงผลิตจากวัสดุคอมโพสิตและทนต่อแรงระเบิด TNT ที่ 3 ปอนด์ได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและผลิตถึงกับกั้ววัตถุระเบิดให้สามารถทนแรงระเบิด TNT ได้ไม่น้อยกว่า 3 ปอนด์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรากฏการณ์ของคลื่นแรงอัดจากการระเบิด

การปล่อยพลังงานอย่างรุนแรงจากการระเบิดทำให้เกิดแก๊สแรงดันสูงที่อุณหภูมิสูงมาก แรงดันที่อยู่แนวหน้าที่เกี่ยวข้องกับแก๊สแรงดันสูงนี้จะเคลื่อนตัวออกไปตามแนวรัศมีในบรรยากาศรอบ ๆ เป็นเสมือนคลื่นกระแทกรุนแรงที่ถูกขับเคลื่อนโดยแก๊สร้อนนี้ คลื่นกระแทกรุนแรงนี้อาจเรียกอีกอย่างว่าคลื่นแรงอัดจากการระเบิดซึ่งมีลักษณะพิเศษคือมีการเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันของแรงดันที่บรรยากาศปกติไปสู่แรงดันตกกระแทกที่มีค่าสูงที่ใช้สัญลักษณ์ P_{so} (overpressure) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

การเพิ่มขึ้นของแรงดันนี้หรือแรงดันหน้ากระแทกเคลื่อนที่ในแนวรัศมีจากจุดระเบิดด้วยความเร็วกระแทกที่ลดลง โมเลกุลของแก๊สหลังแนวคลื่นหน้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าเรียกว่าความเร็วของอนุภาคซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดันพลศาสตร์ที่มีค่าสูงสุดเท่ากับค่าแรงดันที่เกิดขึ้นจากลมที่ถูกสร้างขึ้นโดยการเคลื่อนผ่านของแรงดันหน้ากระแทก

ในขณะที่แรงดันหน้ากระแทกขยายไปสู่ปริมาตรของตัวกลางที่มากขึ้น แรงดันตกกระแทกสูงสุดที่แนวคลื่นหน้าจะลดลงและระยะเวลาของแรงดันจะเพิ่มขึ้น

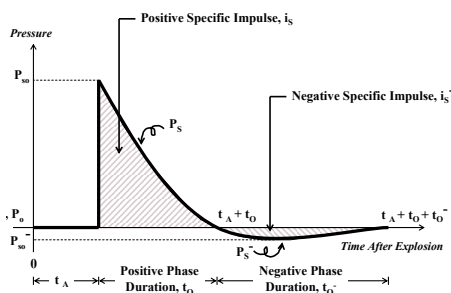
ที่จุดใด ๆ ห่างจากการระเบิด การแปรผันของแรงดันจะมีรูปร่างเหมือนกับที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 คลื่นหน้ากระแทกเคลื่อนที่มาถึงที่จุดกำหนดใช้เวลา t_A และหลังจากที่มีค่าขึ้นไปถึงจุดสูงสุดคือ P_{so} แล้ว แรงดันตกกระแทกจะลดลงจนถึงค่าปกติที่ความดันบรรยากาศในช่วงเวลาที่เรียกว่าช่วงแรงดันมีค่าเป็นลบเรียกว่า t_0 ส่วนช่วงเวลาที่ค่าแรงดันมีค่าเป็นลบเรียกว่า t_0^- ซึ่งโดยปกติจะมีค่ามากกว่าช่วงแรงดันบวก ช่วงเวลานี้สังเกตได้จากแรงดันที่มีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายถึงต่ำกว่าแรงดันที่บรรยากาศปกติโดยมีค่าสูงสุดคือ P_{so}^- และจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่สวนทางของอนุภาค โดยปกติในการออกแบบ ช่วงที่เกิดแรงดันเป็นลบมักจะไม่ค่อยสำคัญเท่าช่วงที่เกิดแรงดันบวก และขนาดของค่า P_{so}^- มีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันที่บรรยากาศปกติ P_0 สำหรับพื้นที่ได้กราฟของแรงดันและเวลาคือความหนาแน่นแรงตกกระแทก (incident impulse density) โดยกำหนดให้ i_s คือค่าในช่วงบวกและ i_s^- คือค่าในช่วงลบ

2.2 กฎการเทียบส่วน (Scaling law)

เนื่องจากการคำนวณแรงจากการระเบิดสิ่งที่ต้องการก็คือแรงดันและเวลาในช่วงที่แรงกระทำ ซึ่งในการคำนวณนี้จะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการเทียบส่วนของระเบิดที่เป็นมาตรฐานเช่น TNT ดังนั้น ถ้าทราบค่าแรงระเบิดจากวัตถุระเบิดหนัก W_1 วางไว้ห่างเป็นระยะทาง r_1 แล้วหากต้องการคำนวณแรงระเบิดที่มีขนาดเท่ากับที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นจากจากวัตถุระเบิดหนัก W_2 ดังนั้นระยะ r_2 ที่สมนัยกัน สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

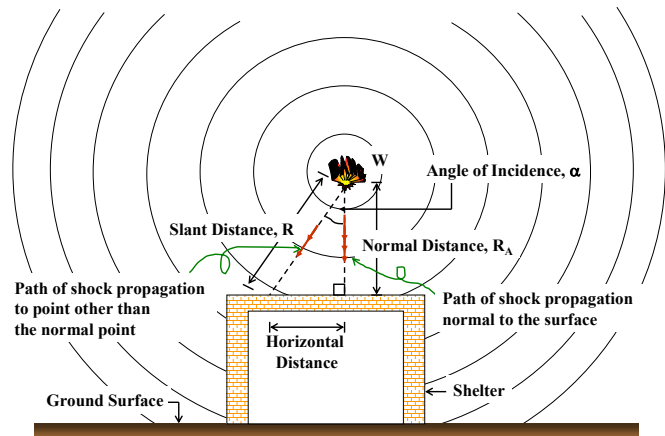
$$r_2 = r_1 \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{1/3} \tag{2.1}$$

รูปที่ 2.1 ลักษณะการแปรผันของแรงดันจากการระเบิดกับเวลา



2.3 การระเบิดในอากาศแบบอิสระ

ถ้าลักษณะการระเบิดที่เกิดขึ้นเกิดจากการวางระเบิดที่อยู่เหนือพื้นดินขึ้นไปก่อนไปบนอากาศแล้ว แรงระเบิดนั้นจะไม่มี การขยายแอมพลิจูด (Amplitude) ของหน้าคลื่นแต่อย่างใด (เนื่องมาจากเกิดการระเบิดอยู่สูงและห่างไกลออกไป) จะเรียกรูปแบบการระเบิดแบบนี้ว่า การระเบิดในอากาศแบบอิสระ แสดงดังรูปที่ 2.2 เมื่อเกิดการระเบิดขึ้น แรงดันตกกระทบ (Incident pressure, P_{so}) จะแผ่ออกไปจากจุดที่วางและไปกระทบกับโครงสร้าง หากโครงสร้างยังคงต้านทานการระเบิดนั้นได้ คลื่นตัวนั้นก็จะต้องถูกดันให้สะท้อนกลับเรียกว่าแรงดันสะท้อนกลับ (Reflected pressure, P_r) ซึ่งคลื่นสะท้อนนี้ก็จะถูกเสริมกำลังเพิ่มเข้าไปอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.3

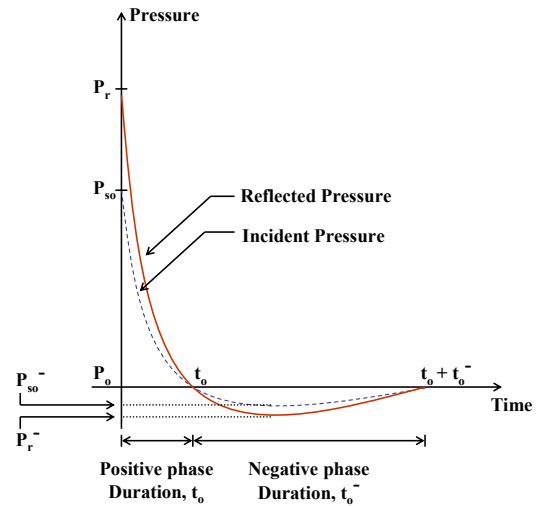


รูปที่ 2.2 การระเบิดในอากาศแบบอิสระ

ซึ่งเป็นที่ประจักษ์ว่าความรุนแรงของการระเบิดนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจากพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดการระเบิด (R) และน้ำหนักของระเบิด (W) ซึ่งถูกรวมพจน์ให้แสดงออกมาในรูปของพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวก็คือ ระยะทางเทียบส่วน (Scaled distance, Z) ซึ่งนิยามดังนี้

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \tag{2.2}$$

ซึ่งจะเห็นว่าแรงดันที่เกิดจากการระเบิดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ก็คือ ช่วงที่แรงดันบวกและช่วงที่แรงดันลบ



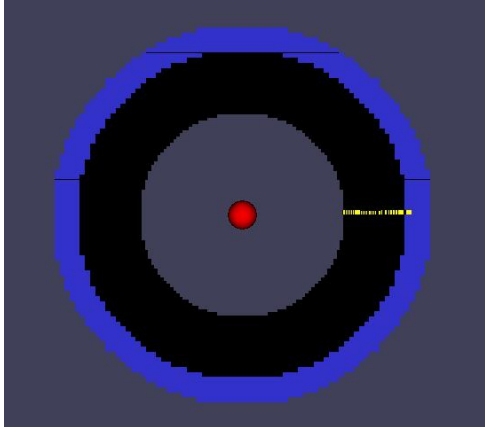
รูปที่ 2.3 การแปรผันของแรงดันกับเวลาของการระเบิดในอากาศแบบอิสระ

3. การทดลอง

3.1 การหาค่าแรงดันสะท้อนกลับสูงสุดเฉลี่ยและเวลา

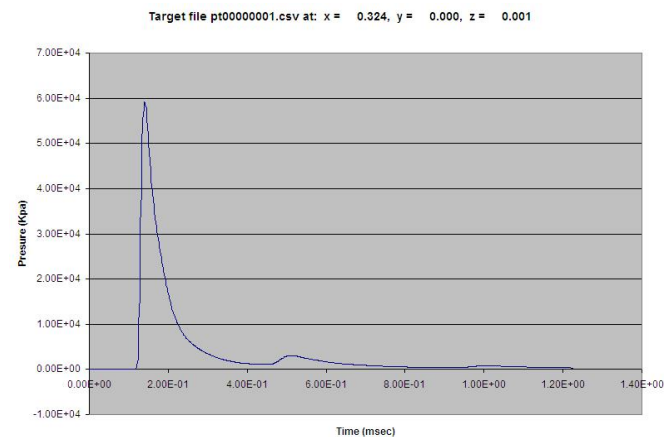
วิธีการสำหรับการหาค่าแรงดันสะท้อนกลับสูงสุดเฉลี่ยของแรงระเบิดที่เกิดขึ้นสามารถหาค่าได้จากการใช้โปรแกรม AIR3D [3] หรือ จากการใช้กราฟโดยอาศัยวิธีการหาค่าจากข้อมูลของ Baker [4] หรือจากการโปรแกรม CONWEP [5]

สำหรับตัวอย่างการหาค่าแรงดันสะท้อนกลับสูงสุดเฉลี่ยของแรงระเบิดโดยการใช้ โปรแกรม AIR3D ข้อมูลป้อนเข้าสำหรับตัวอย่างคือสร้างสิ่งกีดขวางรูปทรงกระบอกหนา 5 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 ซม.และสูง 70 ซม. โดยกำหนดให้ตำแหน่งของระเบิดขนาด 4.85 ปอนด์ TNT อยู่ที่จุดกึ่งกลางของสิ่งกีดขวางนี้ และวางอยู่สูง 35 ซม.จากพื้น ตำแหน่งที่ต้องการสังเกตแรงดันอยู่ที่ภายในของสิ่งกีดขวางรูปทรงกระบอกนี้ทุกระยะ 2 ซม.จากพื้น รูปที่ 3.1 แสดงรูปมอลงของตัวอย่างนี้

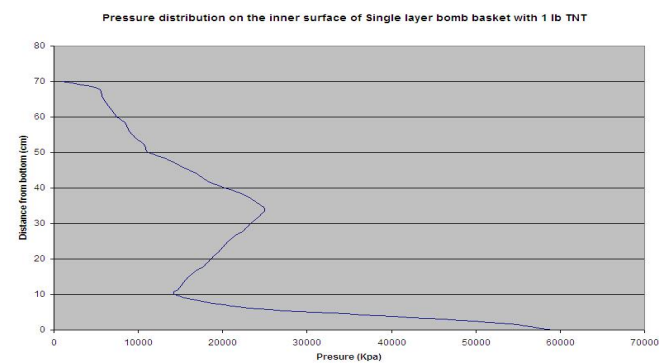


รูปที่ 3.1 รูปมองลงของตัวอย่างนี้ในโปรแกรม AIR3D

รูปที่ 3.2 แสดงกราฟแสดงค่าแรงดันสะท้อนกลับสูงสุดเฉลี่ยและเวลาที่ได้จากโปรแกรม AIR3D นี้ และสามารถวาดกราฟค่าแรงดันสะท้อนกลับสูงสุดเฉลี่ยกับระยะทางจากส่วนพื้นได้ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.3



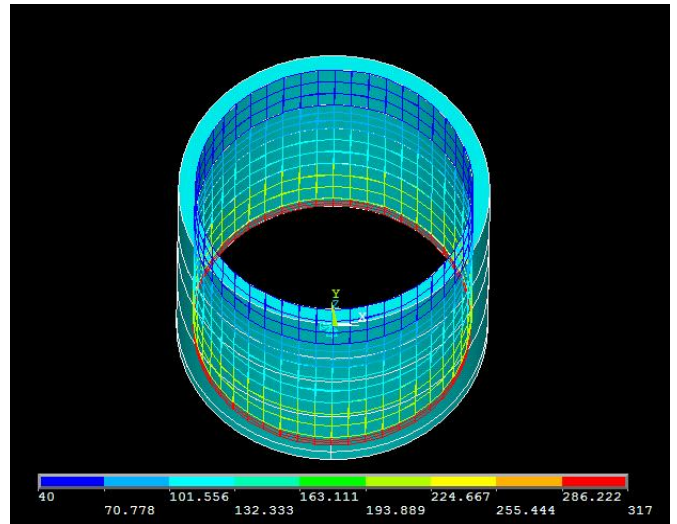
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างกราฟแสดงค่าแรงดันสะท้อนกลับสูงสุดเฉลี่ยและเวลาจากโปรแกรม AIR3D



รูปที่ 3.3 ค่าแรงดันสะท้อนกลับสูงสุดเฉลี่ยกับระยะทางจากส่วนพื้น

3.2 การสร้างแบบจำลอง

ตัวอย่างของการสร้างแบบจำลองที่มีแรงกระทำแสดงได้ตามรูปที่ 3.4 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างแบบจำลอง (ซึ่งจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้)



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของการสร้างแบบจำลองที่มีแรงกระทำ

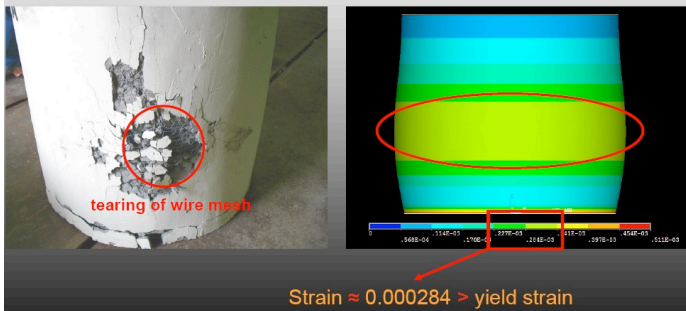
3.3 การทดสอบแบบจำลอง

เกณฑ์การวิบัติกำหนดโดยใช้การพิจารณาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าค่าความเครียดที่ทำให้เกิดรอยร้าวหรือไม่ ถ้าเกินแสดงว่าได้เกิดการวิบัติแล้ว

จากนั้นเปรียบเทียบผลจากการใช้แบบจำลองกับผลทดสอบจริงของถังเฟอร์โรซีเมนต์แบบผนังชั้นเดียว [1] ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 ซม. หนา 4 ซม. ระเบิด TNT หนัก 0.75 ปอนด์ โดยใช้ค่า $E_t = 2.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ค่ากำลังรับแรงดึงเท่ากับ 62 กก./ซม.² และมีค่าความเครียดที่ทำให้เกิดรอยร้าวเท่ากับ 0.00022

ผลการทดสอบจริงใน [1] และแบบจำลองในที่นี้ พบว่าให้ผลที่สอดคล้องตามรูปที่ 3.5

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



รูปที่ 3.5 การเปรียบเทียบผลทดสอบกับแบบจำลอง
ถังเฟอร์โรซีเมนต์แบบผนังชั้นเดียว



รูปที่ 3.6 ถังเหล็กแบบผนังสองชั้น



รูปที่ 3.7 ถังเหล็กแบบผนังสามชั้น

3.4 ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามรายละเอียดในตารางที่ 3.1 นี้ ซึ่งแบ่งเป็นถังแบบสองชั้นที่มีความหนาของผนังชั้นละ 6 มม. ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 และ 75 ซม. ตามลำดับ (รูปที่ 3.6) และถังแบบสามชั้นที่มีความหนาของผนังชั้นละ 4 มม. ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 55, 65 และ 75 ซม. ตามลำดับ (รูปที่ 3.7) โดยถังทั้งสองกลุ่มทำขึ้นจากเหล็กเกรด SS400 ที่มีค่ากำลังที่จุดคราก 2,400 กก./ตร.ซม. มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 2.06×10^6 กก./ตร.ซม. และค่าความเครียดที่ทำให้เกิดรอยร้าว 0.0012

นอกจากนี้แล้วผนังภายในของถังทั้งสองกลุ่มยังได้ทำการเจาะรูกลมไว้เป็นจำนวน 4% ของพื้นที่ทั้งหมดเพื่อช่วยในการระบายแรงอัดที่เกิดขึ้นจากแรงระเบิด

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ

กลุ่มที่	รายละเอียด	รหัส	ความหนาของวัสดุแต่ละชั้น	เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความสูง
			(ซม.)	(ซม.)	(ซม.)
1	ถังแบบผนังสองชั้น	D-S-1	0.6 / 0.6	60 / 75	70
	ถังแบบผนังสองชั้น	D-S-2	0.6 / 0.6	60 / 75	70
2	ถังแบบผนังสามชั้น	T-S-1	0.4 / 0.4 / 0.4	55 / 65 / 75	70

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดสอบความสามารถในด้านทานแรงระเบิดสำหรับถังเหล็กแบบผนังสองชั้น

รูปที่ 4.1 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นสำหรับถังเหล็กแบบผนังสองชั้นหนาชั้นละ 6 มม. ที่ทดสอบภายใต้แรงระเบิด TNT ขนาด 2.5 ปอนด์ ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตรวจสอบสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



รูปที่ 4.1 ความเสียหายของ D-S-1 จากการทดสอบด้วยระเบิด TNT 2.5 ปอนด์



รูปที่ 4.2 ความเสียหายของ D-S-2 จากการทดสอบด้วยระเบิด TNT 4.0 ปอนด์

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นของ D-S-1 จากการทดสอบด้วยระเบิด TNT 2.5 ปอนด์

	การตรวจสอบสภาพความเสียหาย	ถังเหล็กแบบผนังสองชั้น D-S-1	
		ผนังชั้นใน	ผนังชั้นนอก
1	ลักษณะการวิบัติ	เกิดการเสีรูปร่างมาก	ยังอยู่ในสภาพปกติ
2	การเสีรูปร่างที่ส่วนบนสุดของถังทดสอบ (ชม.) วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุด	68 (เดิมเท่ากับ 60 ชม.)	75 (เดิมเท่ากับ 75 ชม.)
3	การเสีรูปร่างที่ส่วนที่อยู่ระดับกึ่งกลางของถังทดสอบ (ชม.) วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุด	69 (เดิมเท่ากับ 60 ชม.)	75 (เดิมเท่ากับ 75 ชม.)

รูปที่ 4.2 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นสำหรับถังเหล็กแบบผนังสองชั้นหนาชั้นละ 6 มม. ที่ทดสอบภายใต้แรงระเบิด TNT ขนาด 4.0 ปอนด์ ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจสอบสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นของ D-S-2 จากการทดสอบด้วยระเบิด TNT 4.0 ปอนด์

	การตรวจสอบสภาพความเสียหาย	ถังเหล็กแบบผนังสองชั้น D-S-2	
		ผนังชั้นใน	ผนังชั้นนอก
1	ลักษณะการวิบัติ	-เกิดการเสีรูปร่างมาก -เหล็กเกิดการฉีกขาด	-เกิดการเสีรูปร่างมากที่ระดับกึ่งกลางของถังทดสอบ
2	การเสีรูปร่างที่ส่วนบนสุดของถังทดสอบ (ชม.) วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุด	68 (เดิมเท่ากับ 60 ชม.)	78.5 (เดิมเท่ากับ 75 ชม.)
3	การเสีรูปร่างที่ส่วนที่อยู่ระดับกึ่งกลางของถังทดสอบ (ชม.) วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุด	76 (เดิมเท่ากับ 60 ชม.)	83 (เดิมเท่ากับ 75 ชม.)

4.1.2 ผลการทดสอบความสามารถในด้านทานแรงระเบิดสำหรับถังเหล็กแบบผนังสามชั้น

รูปที่ 4.3 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นสำหรับถังเหล็กแบบผนังสามชั้นหนาชั้นละ 4 มม. ที่ทดสอบภายใต้แรงระเบิด TNT ขนาด 5.0 ปอนด์ ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจสอบสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



รูปที่ 4.3 ความเสียหายของ T-S-1 จากการทดสอบด้วย
ระเบิด TNT 5.0 ปอนด์

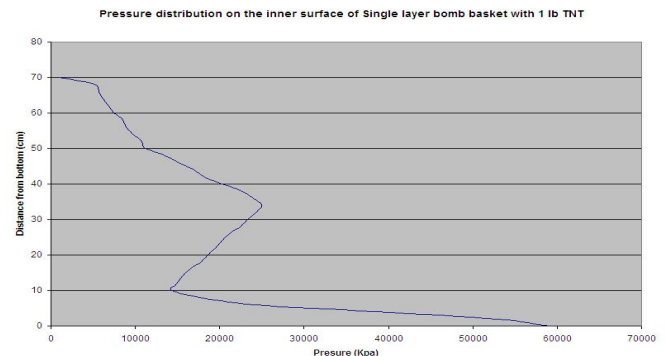
ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบสภาพความเสียหายที่
เกิดขึ้นของ T-S-1 จากการทดสอบด้วยระเบิด TNT 5.0
ปอนด์

	การตรวจสอบ สภาพความเสียหาย	ถังเหล็กแบบผนังสามชั้น T-S-1		
		ผนังชั้นใน	ผนังกลาง	ผนังชั้นนอก
1	ลักษณะการวิบัติ	-เกิดการ เสียหายมาก -เหล็กเกิด การฉีกขาด	-เกิดการเสีย รูปมาก -เหล็กเกิด การฉีกขาด	-เกิดการเสียรูป มากที่ระดับ กึ่งกลางของถัง ทดสอบ
2	การเสียรูปที่ส่วนบน สุดของถังทดสอบ (ชม.) วัดจากเส้นผ่าน ศูนย์กลางที่มากที่สุด	63 (เดิมเท่ากับ 55 ชม.)	71 (เดิมเท่ากับ 65 ชม.)	78 (เดิมเท่ากับ 75 ชม.)
3	การเสียรูปที่ส่วนที่ อยู่ระดับกึ่งกลางของ ถังทดสอบ (ชม.) วัด จากเส้นผ่าน ศูนย์กลางที่มากที่สุด	76 (เดิมเท่ากับ 55 ชม.)	78.5 (เดิมเท่ากับ 65 ชม.)	80 (เดิมเท่ากับ 75 ชม.)

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 ลักษณะของการวิบัติของถังเหล็ก

จากการเปรียบเทียบลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นกับถังเหล็กแบบผนังสองชั้นและแบบผนังสามชั้น พบว่ามีลักษณะของความเสียหายที่เหมือนกันกับรูปการกระจายแรงดันที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม AIR3D ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 นี้



รูปที่ 4.4 ลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นกับถังเหล็กเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม AIR3D

4.2.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการทนแรงระเบิดของถังเหล็ก

4.2.2.1 ถังเหล็กแบบผนังสองชั้น

จากการใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการทนแรงระเบิดของ D-S-1 และ D-S-2 พบว่าถังสามารถทนแรงระเบิด TNT ได้เท่ากับ 2.25 ปอนด์ ซึ่งในการทดสอบจริงพบว่าสามารถทนแรงระเบิด TNT ได้มากถึง 4.0 ปอนด์ ซึ่งแม้ว่าผนังภายในจะเกิดการวิบัติ แต่ผนังภายนอกยังไม่เกิดการวิบัติ จึงสามารถกล่าวได้ว่าถังเหล็กแบบผนังสองชั้นนี้สามารถทนแรงระเบิด TNT ได้มากที่สุดประมาณ 4.0 ปอนด์

4.2.2.2 ถังเหล็กแบบผนังสามชั้น

จากการใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการทนแรงระเบิดของ T-S-1 พบว่าถังสามารถทนแรงระเบิด TNT ได้เท่ากับ 1.85 ปอนด์ซึ่งในการ

ทดสอบจริงพบว่าสามารถทนแรงระเบิด TNT ได้มากถึง 5.0 ปอนด์ ซึ่งผลทดสอบแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าผนังภายในและผนังกลางเกิดการวิบัติ แต่ผนังภายนอกยังไม่วิบัติ จึงสามารถกล่าวได้ว่าถึงเหล็กแบบผนังสามชั้นนี้สามารถทนแรงระเบิด TNT ได้มากที่สุดประมาณ 5.0 ปอนด์

5. สรุป

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาแนวทางการออกแบบถังเก็บกักวัตถุระเบิดที่มีจำนวนชั้นของวัสดุที่มากกว่าหนึ่งชั้น โดยถังที่ใช้ทดสอบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกสุดเท่ากับ 75 ซม. สูง 70 ซม. และทำจากเหล็กกล้าเจาะรูพิเศษสามารถทนแรงระเบิดแบบ TNT น้ำหนัก 5 ปอนด์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนเพื่อการวิจัยโรงเรียนนายเรืออากาศ นวมินทราชภัฏธราธิราชที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย ขอคุณ รศ.ดร.พิชัย นิमितยงสกุล สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ที่ให้คำปรึกษา และศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการให้คำแนะนำในเพิ่มรูระบายแรงอัดอากาศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนากร พิระพันธ์ุ, พินิจ รัตนปรมากุล และ พิชัย นิमितยงสกุล. 4-6 พ.ค. 49. Experimental study on blast load resistance of ferrocement bomb baskets. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ “วิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 4 ในการประชุมใหญ่สามัญประจำปี สภาคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์แห่งประเทศไทยสมัยที่ 28 หน้า 303 ถึง 310.
- [2] ธนากร พิระพันธ์ุ, พินิจ รัตนปรมากุล และ พิชัย นิमितยงสกุล. 2-4 พ.ค. 50. Blast load test on ferrocement bomb basket strengthened with carbon fiber

reinforced polymer. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12.

- [3] Rose, Timothy A. 2006. AIR3D version 9 users' guide. Engineering Systems Department of Cranfield University.
- [4] Baker, W.E., P.A. Cox, P.S. Westine, J.J. Kulesz, and R.A. Strehlow. 1983. Explosion Hazards and Evaluation. New York: Elsevier Scientific Publishing Company Inc.
- [5] U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. 1991. CONWEP. Vicksburg, USA.

EXPERIMENTAL AND MODELLING EVALUATION ON THE PROTECTIVE PERFORMANCE OF BULLETPROOF PLATE COMPOSITES FOR BUILDING PROTECTION

Jensak Koschanin¹
Phongthorn Julphunthong^{2,*}
Panuwat Joyklad³

¹ Assistant Professor, Department of Construction Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University (jensakpanda@gmail.com)

² Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University (phongthornj@nu.ac.th)

³ Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University (panuwatj@g.swu.ac.th)

Abstract: This research aims to develop a material armor system that reinforces buildings to withstand bullet attacks on their walls. The goal is to develop armor materials that can protect against bullets, according to NIJ Standard 0108.01 Ballistic Resistant Protective Materials, Level III. The study examines both the materials and their arrangement to maximize efficiency. The selected materials emphasize those that are readily available in the country and not overly expensive. These include high-hardness steel plates with a Brinell hardness of approximately 450 HBW at the front to destroy the bullet tip, composite asphalt cement layered with fiberglass in the middle to dissipate bullet energy, and SS400 grade steel plates at the back. We tested the ballistic resistance in accordance with NIJ Standard 0108.01 Ballistic Resistant Protective Materials, Level III. We conducted field tests and used the finite element method with the ABAQUS program to model the materials' damage. We conducted testing at the standard testing unit of the Military Explosives Factory, Department of Military Industry, Defense Industry, and Military Energy Center in Nakhon Sawan Province.

Keywords: Bullet protection, NIJ Standard 0108.01, Composite materials, Finite element method

1. Introduction

Structures that are at high risk of being attacked by weapons, such as police stations, ranger company bases, and security checkpoints, are often not designed to withstand bullet attacks. If the existing building systems can be reinforced to withstand such attacks, particularly from bullets, it would not only reduce the loss of life and property but also boost the morale and confidence of personnel working in these areas. Additionally, it can be applied as part of military tactics.

Currently, there are no international standards specifically for bullet protection in buildings. However, the commonly accepted standard for evaluating bullet protection capability is related to testing methods, testing criteria, and the bullet resistance performance of body armor, as defined by the National Institute of Justice (NIJ) in the United States. Thailand and many other countries around the world use this standard for testing bulletproof vests. The NIJ standard classifies the bullet protection capabilities of body armor into six levels as follows:

Table 1 NIJ Standard -0108.01 Ballistic Resistant Protective Material [1].

Armor Type	Test Ammunition	Nominal Bullet Mass	Required Bullet Velocity
I	22 LRHV Lead	2.6g 40gr	320 ± 12m/s 1050 ± 40ft/s
	38 Special RN Lead	10.2g 158gr	259 ± 15m/s 850 ± 50ft/s
II - A	357 Magnum JSP	10.2g 158gr	381± 15m/s 1250± 50ft/s
	9mm FMJ	8.0g 124gr	332± 12m/s 1090± 40ft/s
II	357 Magnum JSP	10.2g 158gr	425± 15m/s 1395± 50ft/s
	9mm FMJ	8.0g 124gr	358± 12m/s 1175± 40ft/s
III - A	44 Magnum Lead	15.55g	426± 15m/s
	SWC Gas Checked	240gr	1400± 50ft/s

Armor Type	Test Ammunition	Nominal Bullet Mass	Required Bullet Velocity
	9mm FMJ	8.0g	426± 15m/s
		124gr	1400± 50ft/s
III	7.62mm 308 Winchester FMJ	9.6g	838± 15m/s
		150gr	2750± 50ft/s
IV	30-06AP	10.8g	868± 15m/s
		166gr	2850± 50ft/s

This study tests the bullet protection capability of materials according to NIJ Standard 0108.01 Ballistic Resistant Protective Material level III. The materials must be able to protect against 7.62x51 mm NATO M80 ball bullets weighing 9.6 grams with a velocity of 847 ± 9.1 meters per second. The selected materials include steel plate (Grade SS400), high hardness steel, (HS450, which shows HBW around 450), and asphalt cement material. The study of bullet protection capability will be conducted in the laboratory, modeled using the finite element method (FEM), and tested in the field.

2. Materials and method

The key mechanical properties of the materials used in this experiment for finite element analysis are shown in Table 2. However, some mechanical properties of HS450 are proprietary information of the manufacturer. Additionally, the mechanical properties of asphalt cement have not been tested and analyzed by the manufacturer, so they are not shown in Table 2. Therefore, the finite element analysis to analyze the properties of the materials after being struck by bullets will be conducted only on the SS400 material, which has complete engineering property data necessary for the analysis. In addition, in the finite element analysis for the bullet material, which consists of a lead core and brass jacket [2,3] as listed in Table 3. The Abaqus CAE program is used to develop a 3D FE model of the bulletproof steel plate [4,5].

Table 2 Engineering properties of SS400 and HS450 steels.

Properties	SS400	HS450
Density (kg/m ³)	7860	7898
Young's Modulus (GPa)	188	315
Poisson's ratio	0.3	
Yield stress (MPa)	246	450
Ultimate stress (MPa)	450	1250
Maximum equivalent plastic strain	0.329	
Fracture strain	0.35	
Displacement at Failure	0.4	

Table 3 Engineering properties of lead core and brass jacket of bullet.

Properties	Lead core	Brass jacket
Density (kg/m ³)	11340	8450
Shear modulus (MPa)	8600	3000
Yield stress (MPa)	8	
Ultimate stress (MPa)	100	
Maximum equivalent plastic strain	1	
c_0 (m/s)	2006	3726
s	1.429	1.434
Fracture strain	2	
Displacement at Failure	0.5	

For testing the bullet protection capability in the laboratory, the 7.62x51 mm NATO M80 bullet weighing 9.6 grams with a velocity of 847 ± 9.1 m/s will be fired according to NIJ Standard 0108.01 Ballistic Resistant Protective Material level III. Speed sensors were installed at the front and rear of the test material at a distance of 10 centimeters (Figure 1) to measure the bullet velocity before impact (v_i) and the bullet velocity after passing through the material (v_f). The kinetic energy absorbed by the material will then be calculated using Eq. 1.

$$\text{Percent Energy Adsorbed} = \frac{\left(\frac{1}{2}mv_i^2\right) - \left(\frac{1}{2}mv_f^2\right)}{\left(\frac{1}{2}mv_i^2\right)} \times 100\% \quad (1)$$

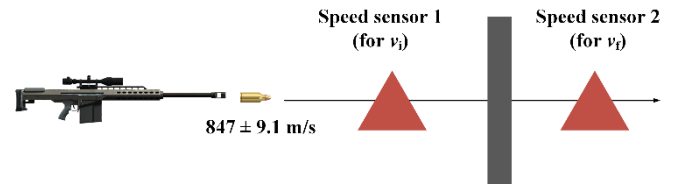


Fig.1. Experimental setup for bullet resistance ability of materials.



Fig.2. Photograph of the bullet protection capability test in the laboratory.

Table 4 shows the details of the bullet protection test, which include steel plates of various thicknesses, high hardness steel plates, and asphalt cement. These materials were tested for bullet protection capability in single layer, double layer, and sandwich panel configurations as listed in Table 5.

Table 4 Details of the materials selected for testing bullet protection testing.

Sample code	Description
SS400-3	Steel plate grade SS400 with 3 mm thick
SS400-6	Steel plate grade SS400 with 3 mm thick
HS450-3	High hardness steel plate grade (HBW = 450) with 3.2 mm thick
AC15	Asphalt cement which was packed in a container with a thickness of 15 mm.
AC25	Asphalt cement which was packed in a container with a thickness of 25 mm.

Table 5 Configuration of materials for bullet protection testing.

Test set	Number of layers	Materials
1	1	SS400-3
2	1	SS400-6
3	1	HS450-3
4	1	AC15
5	1	AC25
6	2	SS400-6/AC25
7	2	AC25/SS400-6
8	2	HS450-3/AC25
9	3	SS400-6/AC25/ SS400-6
10	3	HS450-3/AC25/ SS400-6

The model assumes the bullet impacts at a velocity of 838 m/s, and the target plate is fixed at all four edges. The bullet is sized 7.62x51 mm. The elements used in the calculations are 3D 8-noded solid elements (C3D8). The model comprises a total of 16,398 elements. The target plate is sized 300x300 mm. The elements used in the calculations are 3D 8-noded solid elements. The model contains 19,724 elements per 1 mm thickness. The element density is increased at the center of the target plate. The ABAQUS software is used for numerical calculations using the finite element method, considering the material's nonlinearity, as shown in Fig. 3.

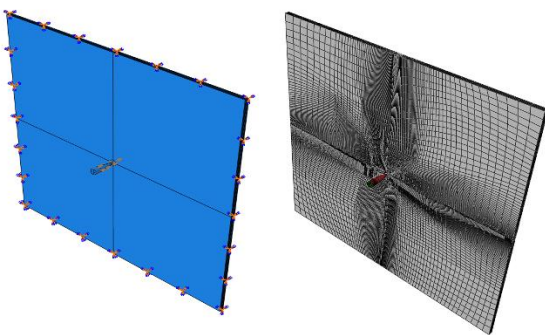


Fig.3. Developed model of steel plate for bullet resistance analysis with FEM.

3. Results and discussions

The decrease in speed of bullet after impacting single-layer materials and the absorbed energy are shown in Table 6. The test results indicate that doubling the thickness of the SS400 steel plate, from 3 mm to 6 mm, does not significantly reduce the bullet velocity. In contrast, the HS450-3 steel plate of a similar thickness (around 3 mm thick) reduces the bullet velocity more effectively than the SS400-3 steel plate of the same thickness. This is because the high hardness of the material causes the bullet to deform upon impact, reducing its penetration efficiency. The asphalt cement shows insignificant in reducing the bullet's speed due to its very low hardness. However, the high elasticity of asphalt cement has the potential to absorb the energy of a deformed bullet effectively. This will be tested further in the double-layer system.

Table 6 Bullet speed before and after penetrating the single layer material and percent energy adsorbed.

Sample	v_i (m/s)	v_f (m/s)	Percent Energy Adsorbed
SS400-3	841	739	22.72
SS400-6	842	674	35.81
HS450-3	844	711	28.95
AC15	840	809	7.11
AC25	847	798	11.13



Fig.4. Tested sample after 1 shot penetration.

Figs. 5-7 show the von Mises equivalent stress distribution on steel plates at various thicknesses. The thin steel plate (SS400-3) exhibits a significantly lower stress distribution than the thicker plate (SS400-12). The residual stress in a steel plate increases when the thickness of the plate increases after a bullet impact due to several reasons. The significance lies in the fact that thicker plates require more material to undergo deformation when struck by a bullet. This increased volume can generate more internal stresses as the material absorbs and redistributes the impact energy. Furthermore, in thicker plates, the material farther from the impact site acts as a constraint, limiting the material's ability to deform freely. This constraint can lead to higher localized stresses and, consequently, higher residual stresses after the impact [6].

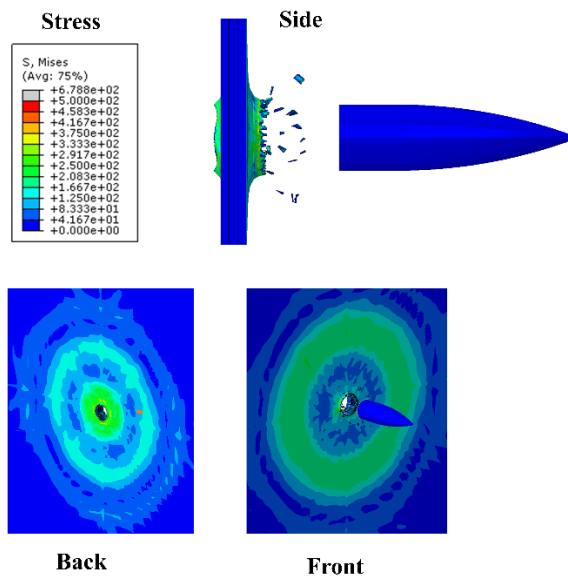


Fig.5. Stress distribution and damage of SS400-3 plate after 7.62x25 mm bullet impact from FEM analysis.

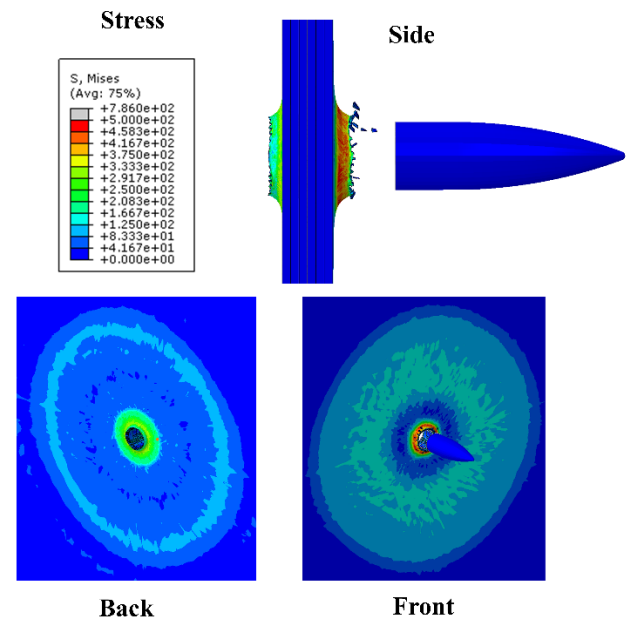


Fig.6. Stress distribution and damage of SS400-6 plate after 7.62x25 mm bullet impact from FEM analysis.

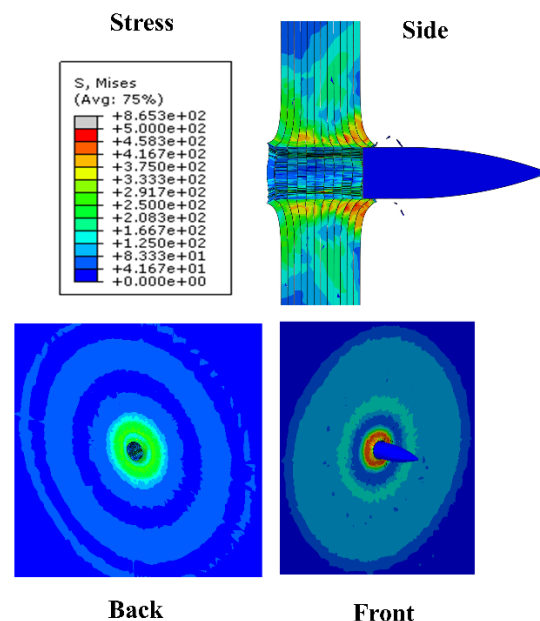


Fig.7. Stress distribution and damage of SS400-12 plate after 7.62x25 mm bullet impact from FEM analysis.

Fig. 8 shows the bullet speed-displacement relation of SS400 plates with various thicknesses from FEM analysis. The analysis results indicate that the bullet velocity penetrating the steel plate decreases as the plate thickness increases. However, the speed of bullet after penetrated obtained from the FEM analysis is significantly higher than the measured values. This cause from the analysis did not account for bullet deformation, leading to an overestimation of the bullet's ability to penetrate the material.

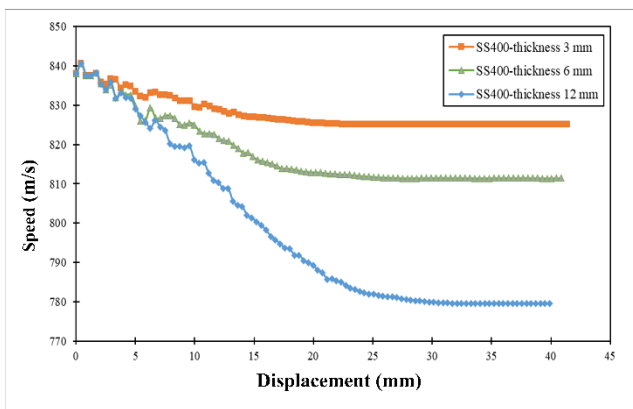


Fig.8. Bullet speed-Displacement relation of SS400 plates with various thickness from FEM analysis.

Bullet speed before and after penetrating the double-layer materials and sandwich panels, along with the percentage of energy absorbed, are listed in Table 7. It can be observed that in the single layer analysis (Table 6), the SS400-6 plate absorbed 35.81% of the bullet's energy, while the AC25 absorbed only 11.13%. However, when combining SS400-6 and AC25 with SS400-6 as the front layer, the bullet energy absorption increased to 62.39%. On the other hand, the double layer of SS400-6 and AC25 with AC25 as the front layer absorbed only 44.47%. This suggests that hard materials should be placed in the front layer to deform the bullet, while the absorbing layer at the back demonstrates greater energy absorption capability. In the case of combining HS450-3 and AC25 materials, the energy absorption was 78.35%, significantly higher than the SS400-6 and AC25 composite. This indicates that the hardness of the protective material is a crucial factor in reducing bullet speed, as the bullet deforms more when penetrating hard materials.

Table 7 Bullet speed before and after penetrating the double layer materials and sandwich panels with percent energy adsorbed.

Sample	v_i (m/s)	v_f (m/s)	Percent Energy Adsorbed
SS400-6/AC25	837	513	62.39
AC25/SS400-6	845	630	44.47
HS450-3/AC25	855	398	78.35
SS400-6/AC25/ SS400-6	851	0	100
HS450-3/AC25/ SS400-6	846	0	100

In the case of the sandwich panel, the SS400-6/AC25/SS400-6 and HS450-3/AC25/SS400-6 composites completely stopped the bullet. These results were confirmed by field tests, as shown in Fig. 9. The HS450-3/AC25/SS400-6 composite was selected for demonstration as a prototype and installed in buildings at risk of terrorist attacks due to its lower dead weight, making it more convenient for installation, as shown in Fig. 10

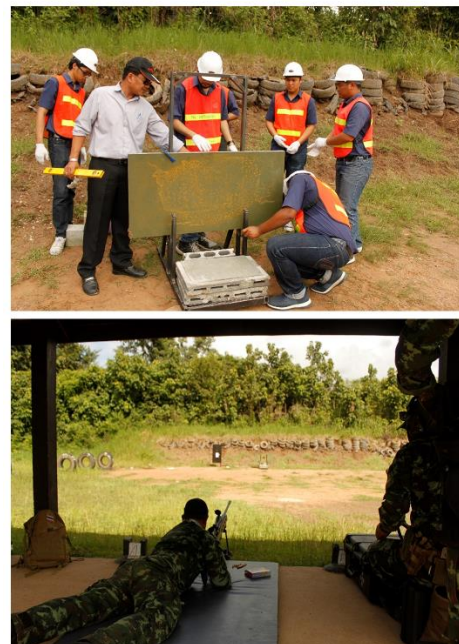


Fig.9. Field test for bullet resistance of HS450-3/AC25/SS400-6 composite panel.



Fig.10. Buildings installed the bulletproof panels from the study.

4. Conclusion

This study demonstrated the effective development and evaluation of composite materials for bulletproofing buildings according to NIJ Standard 0108.01 Level III. Laboratory and field tests, along with finite element method (FEM) analysis, revealed that high-hardness materials like HS450-3 steel, when used in the front layer of double-layer and sandwich panel configurations, significantly enhance bullet energy absorption. The HS450-3/AC25/SS400-6 combination, which completely stopped bullets, was validated in field tests and chosen for practical implementation due to its superior performance and ease of installation. These findings underscore the importance of material hardness and configuration in enhancing building protection against ballistic threats.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by the Ministry of Higher Education Science Research and Innovation through the research project on armaments to enhance the capabilities of the military and national defense Grant No. R2559A065. Additionally, the authors would like to express their appreciation to the Faculty of Engineering for their generous permission to utilize their facilities.

References

- [1] National Institute of Justice. NIJ Standard 0101.04, Ballistic Resistance of Personal Body Armor: U.S. Department of Justice; 2000.
- [2] Fehmi Mullaoglu, Fatih Usta, Halit S. Türkmen, Zafer Kazancı, Demet Balkan, Erdem Akay, Deformation Behavior of the Polycarbonat Plates Subjected to Impact Loading, *Procedia Engineering*, Volume 167, 2016, Pages 143-150, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.681>.
- [3] L.M. Bresciani, A. Manes, A. Ruggiero, G. Iannitti, M. Giglio, Experimental tests and numerical modelling of ballistic impacts against Kevlar 29 plain-woven fabrics with an epoxy matrix: Macro-homogeneous and Meso-heterogeneous approaches, *Composites Part B: Engineering*, Volume 88, 2016, Pages 114-130, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.10.039>.
- [4] C.T. Lim, V.P.W. Shim, Y.H. Ng, Finite-element modeling of the ballistic impact of fabric armor, *International Journal of Impact Engineering*, Volume 28, Issue 1, 2003, Pages 13-31, [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(02\)00031-3](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(02)00031-3).
- [5] T. He, H.M. Wen, Y. Qin, Finite element analysis to predict penetration and perforation of thick FRP laminates struck by projectiles, *International Journal of Impact Engineering*, Volume 35, Issue 1, 2008, Pages 27-36, <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2006.11.008>.
- [6] G.H. Majzoobi, R. Azizi, A. Alavi Nia, A three-dimensional simulation of shot peening process using multiple shot impacts, *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 164–165, 2005, Pages 1226-1234, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.139>.

CONCEPTUAL DESIGN AND FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR BLAST-RESISTANT GATE TO PREVENT TERRORISM

Panuwat Joyklad¹
Phongthorn Julphunthong², Sasikorn Leungvichcharoen³
Worajak Janwaen⁴

¹*Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, panuwatj@g.swu.ac.th*

²*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, pop_civil@hotmail.com*

³*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, sasikorn@nu.ac.th*

⁴*Civil Engineering Program, School of Engineering, University of Phayao, tontrakarn.w@gmail.com*

ABSTRACT: In society's conflict of ideas, the threat of terrorism is an unavoidable issue. Terrorists often target prominent buildings or high-profile areas, including the command building. Car bombing is a frequently used method. If we overlook improper design techniques, blast pressure from those modified cars can destroy a part or entire building. There are many different design levels available to protect structures from explosions. One option is to block the suspected car in the enclosed area and check in. If the bomb ignites, strong structural gate and walls are necessary. The author's experiences will explain how to design and evaluate the structural gate to prevent terrorist attacks. Important government buildings own the gates, necessitating high protection levels for blast-resistant design. This paper presents the conceptual idea of how to design a structural gate to be safe for people in high-profile areas. The rough dimensions through a straightforward manual calculation were initially estimated. Therefore, long iteration methods to balance the interaction between blast pressure and structural deformations was performed. After obtaining the detailed structural dimensions, a Nonlinear Finite Element Analysis (NFEA) to clarify complex behaviors and adjust the overall design dimensions was conducted. The analysis results showed that the designed gate performed well and fits the design criteria. A simple hand calculation yielded accurate dimensions and served as a basic tool for estimating initial dimensions. On the other hand, an advanced analysis using powerful software can boost engineering confidence and suggest a cost-effective design.

KEYWORDS: Blast, Nonlinear Finite Element Analysis, Gate, Terrorism

1. Introduction

Modern-day terrorism is dangerous because it can destroy a tremendous amount of property and human lives. Furthermore, terrorism has spread throughout all regions and is becoming more complex and intense every day. Because of this, nations all around the world—including Thailand—are giving this problem a lot of attention [1].

Bombings are a well-known type of terrorism, especially when the perpetrators hide explosives in cars—a tactic known as "car bombs" [2-4]. Figure 1 depicts a building that was the victim of a car bomb attack by terrorists [5]. The damage was significant, and from that day on, numerous agencies intensified their efforts to design and secure the residential building against such attacks.



Fig.1. The result of the large car bomb at the Murrah Federal Building on April 19, 1995, resulted in 168 fatalities [5].

U.S. security agencies, such as the Department of Defense and the Federal Emergency Management Agency [6-7], frequently cite their standards in the design of structural frameworks and important building components to mitigate the consequences of explosions. When designing blast protection systems for buildings, there are essentially two things to take into account: (1) the impact of the explosion on the structure, specifically the air blast pressure, which is based on the quantity of explosive material (TNT weight); and (2) the stand-off distance between the point of explosion and the entry

points of the building. In certain situations, one must also consider the risks posed by explosive fragmentation. Figure 2 illustrates nicely the concept of modeling explosions on structural frameworks.

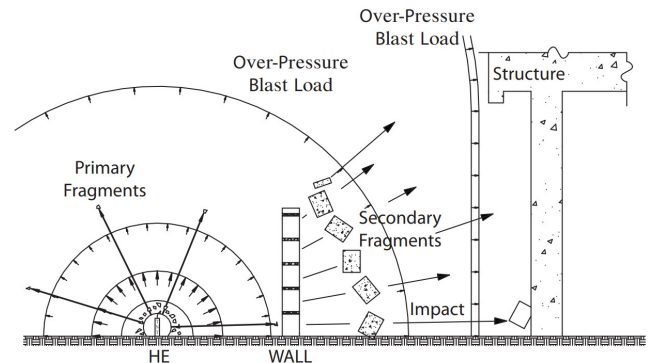


Fig.2. Concept of simulating explosions and their effects on structures [8].

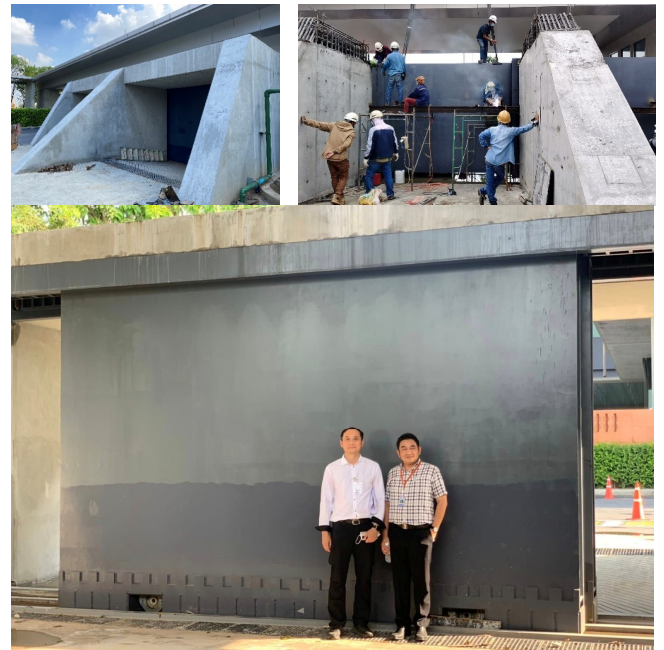


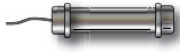









Fig.3. The blast-resistant steel gate and their stiff components, as designed by the authors, during the construction phase.

This paper presents a conceptual design for automobile bomb-resistant door, along with the results of validation using *Nonlinear Finite Element Analysis (NFEA)*. The author fully participated in the computation and design phases, grounding the design into an actual Thai project. However, due to security concerns, some crucial data were adjusted for public presentation.

The door, designed to detain suspicious cars before allowing them to enter the facility, resides in the screening sections. Should terrorists conceal an explosive device inside a vehicle and carry out a suicide assault by detonating it, or in any other manner, the door and its supporting structures will be able to withstand the pressure from the explosion. This ensures that the explosive force won't harm the staff or the building structure. Figure 3 shows the gate as mentioned thoroughly in this paper during the construction.

2. The estimation of explosion pressure

According to the rules in FEMA-428 [7], which can be seen in Figure 4, this design project needs to figure out the "TNT equivalent" of the potential explosive weight, which is based on the idea that a certain-sized vehicle will be brought into the area.

Threat Description		Explosives Mass* (TNT equivalent)
High Explosives (TNT Equivalent)	 Pipe Bomb	5 lbs 2.3 kg
	 Suicide Belt	10 lbs 4.5 kg
	 Suicide Vest	20 lbs 9 kg
	 Briefcase/ Suitcase Bomb	50 lbs 23 kg
	 Compact Sedan	500 lbs 227 kg
	 Sedan	1,000 lbs 454 kg
	 Passenger/ Cargo Van	4,000 lbs 1,814 kg
	 Small Moving Van/ Delivery Truck	10,000 lbs 4,536 kg
	 Moving Van/ Water Truck	30,000 lbs 13,608 kg
	 Semi-trailer	60,000 lbs 27,216 kg

* Based on the maximum amount of material that could reasonably fit into a container or vehicle. Variations are possible.

Fig.4. Consideration of TNT equivalent for various forms of terrorism [7].

Determining the severity of an explosion that hits the door also heavily depends on the distance between the explosion and the door, which should be equivalent to the amount of TNT, the materials used for the door or other parts of the building under examination, and the acceptable level of damage (shown in Figure 5).

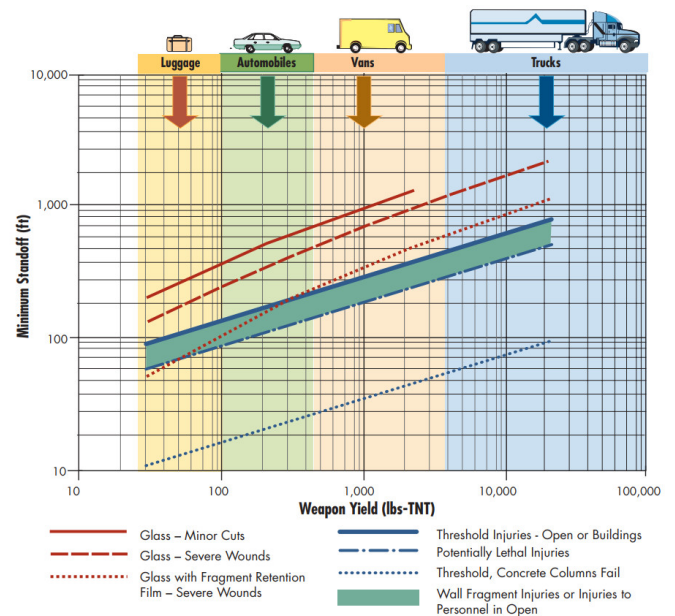


Fig.5. Stand-off distance values used in the design [7].

This project assumed that a compacted sedan conceals a 500-pound TNT-equivalent explosion. The design was incorporated the client's requests, requiring the suspicious vehicle to enter a screening area with a 5-meter horizontal gap between the point of detonation and the door. The estimated location of the explosion's core was 1.5 meters above the earth.

To find the relationship between reflected pressure and positive phase duration (P_r, t_r), follow the steps in UFC 3-340-02 [6]. These steps explain how to figure out the scaled distance (Z_A), which is given by $Z_A = R_A/W^{1/3}$, where R_A is the distance in feet from the center of the explosion to the center of the structure and W is the weight in pounds of TNT. This relationship with a triangle impulse graph, which demonstrates that the reflected pressure decreases to zero as the time (t) increases, was illustrated.

3. The estimation of building component size

Figure 6 illustrates the door's structural attributes. The constructions prohibit the top and bottom ends of the door from moving in a direction parallel to the explosion's pressure. However, the ends allow for free rotation, also referred to as pinned support. As a result, the door will operate like a vertically deflecting, simply supported beam.

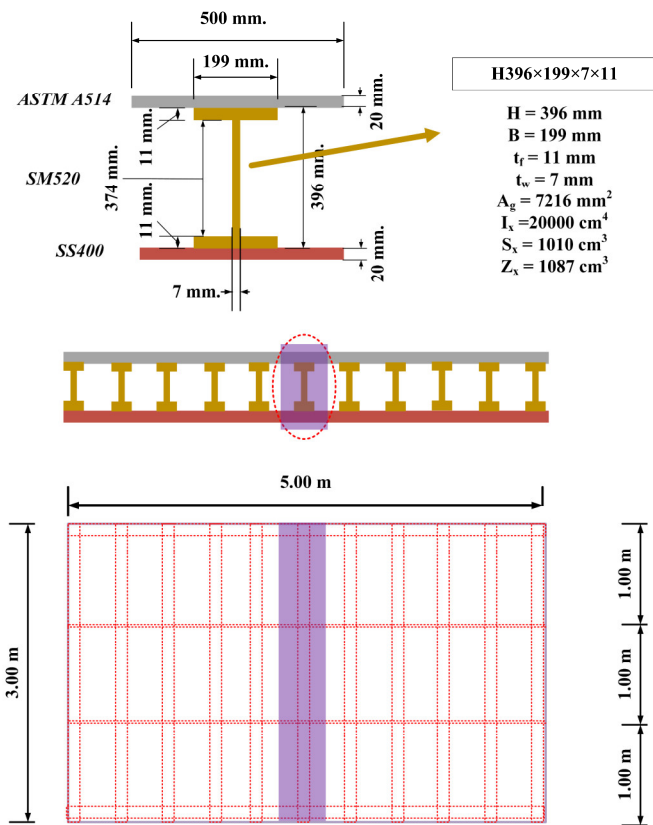


Fig.6. Structural model of the door.

The door was featured large vertical steel beams, referred to as the primary members, spaced at intervals of s . In addition, the design inserted horizontal steel plates to act as a diaphragm and guarantee uniform deformation of the primary members. Standard steel plate was covered the other side, while high-strength steel plate (ASTM A514) was covered the side facing the explosion pressure.

According to UFC 3-340-02 [6], the demand for the first evaluation of the door size must be based on the *Dynamic Load Factor (DLF)*, which accounted for sudden impact load rather than static load. Figure 7 shows an example of this amplification.

It is conceivable that the material's strength surpasses the specifications' set values for resistance. It is customary to take this reality into account when designing building components to resist explosive pressure in order to attain the required strength through the *Strength Increase Factor (SIF)*, also occasionally referred as the *Average Strength Factor (ASF)*. Table 1 provides suggested *SIF* values for various structural material types.

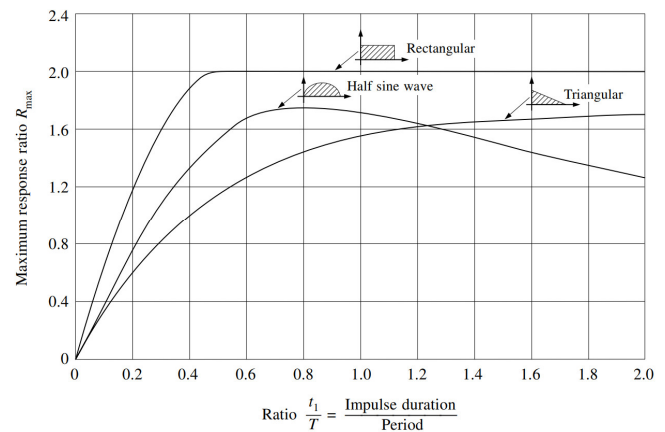


Fig.7. DLF values in the form of maximum response (R_{max}) for various impulse types [8].

It is conceivable that the material's strength surpasses the specifications' set values for resistance. It is customary to take this reality into account when designing building components to resist explosive pressure in order to attain the required strength through the *Strength Increase Factor (SIF)*, also occasionally referred as the *Average Strength Factor (ASF)*. Table 1 provides suggested *SIF* values for various structural material types.

Table 1 *SIF* values for different types of structural materials [9]

Structural Material	SIF
Structural Steel - Yield Strength of 345 MPa (50 ksi) or Less	1.1
Concrete-Reinforcing Steel of Grade 60 (420 MPa)	1.1
Prestressed Reinforcement	1.0
Cold-Formed Steel Cladding Panels:	
- Yield Strength of 228 MPa (33 ksi) or Less	1.2
- Yield Strength of 345 MPa (50 ksi) or More	1.1
Concrete and Masonry	1.0
Other Materials	1.0

It is commonly known that dynamic loading causes structural materials to become stronger. As a result, Table 2 indicates that the design needs to

modify the material strength using the *Dynamic Increase Factor (DIF)*, which depends on the type of material and the strain rate during abrupt loading.

Table 2 *DIF* for various grades of steel [6]

Material	Bending		Tension or Compression	
	Low Pressure ($\dot{\epsilon} = 0.10$ in/in/sec)	High Pressure ($\dot{\epsilon} = 0.30$)	Low Pressure ($\dot{\epsilon} = 0.02$)	High Pressure ($\dot{\epsilon} = 0.05$)
A36	1.29	1.36	1.19	1.24
A588	1.9	1.24*	1.12*	1.15*
A514	1.09	1.12	1.05	1.07

The *Yield Line Theory (YLT)* was used to design the size of the steel plate on the side exposed to the explosion pressure, which was raised by the *DLF* (with strength of plate enhanced by the *SIF·DIF*). The horizontal diaphragms and the primary members support the plate on all four sides. The plate's deformation pattern will be in accordance with *YLT* (refer to Figure 8), in which the plastic moment of resistance per unit width (m_p) is constant and uniform along the edge of the plate, with the exception of the corners, where the rotational resistance is greater. According to UFC 3-340-02 [6], in order to facilitate precise deformation calculations utilizing the virtual work principle and compatibility conditions, the plastic moment of resistance should be reduced to $2m_p/3$.

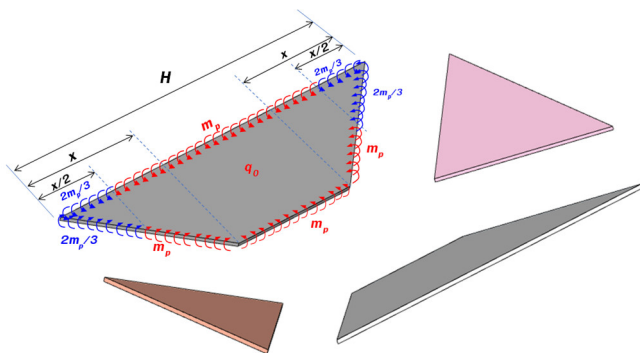


Fig.8. Bending of thin plates and the plastic moment of resistance according to YLT for analyzing the steel covered plate.

The idea is that M_u (the ultimate bending moment from the explosion, taking into account the effects of *DLF*) cannot be greater than ϕM_n , taking into account the effects of *SIF·DIF*, while evaluating the size of the major building members. It is imperative

to confirm the accuracy of the presumed *DLF*, though.

Since *DLF* is a function of the ductility ratio ($\mu = x_m/x_e$), where x_e represents the deformation resulting from static loading and x_m represents the ultimate deformation during explosive loading, x_e can be estimated in accordance with a predefined x_m . The graph provided by UFC 3-340-02 [6] can then be used to calculate the value of μ . When μ and *DLF* line up in a way that $\phi M_n \geq M_u$, the estimation of the primary members' size can be finished.

To figure out $\phi M_n \geq M_u$, on the other hand, the iterative methods are needed to account for how the material behaves at different loading states. This is because steel may behave in the plastic range under extreme conditions.

The design cross-section of primary member consists of several different materials (see figure 6), hence, the cross-section needed to homogenize using the transform section approach. Therefore, using the strain compatibility, the relationship between bending moments and the location of the neutral axis (y_{NA}) were determined. Next, as shown in figure 9, the curvature (ϕ) and flexural rigidity (EI) using the conjugate-beam approach to find the ultimate deformations (x_m) were calculated.

This project took the advice from UFC 3-340-02 [6] and assumed that μ is in category 2, or between 2-3. Table 3 suggests that the final rotation should not exceed 2.0 degrees, while the *DLF* should not be greater than 1.0.

Table 3 *DLF* values for evaluating the explosive pressure applied to the structure

Deflection Magnitude	Deformation*		DLF
	ϕ max	μ max	
Small	2	5	1.0
Moderate	4	10	0.8
Large	12	20	0.6

Based on manual calculations according to the recommendation by design standards, the primary member's cross-section was suitable for $\mu = 1.71$ & the door's edge rotation = 0.68 degrees. However, the *NFEA* need to apply to further verify this assumption.

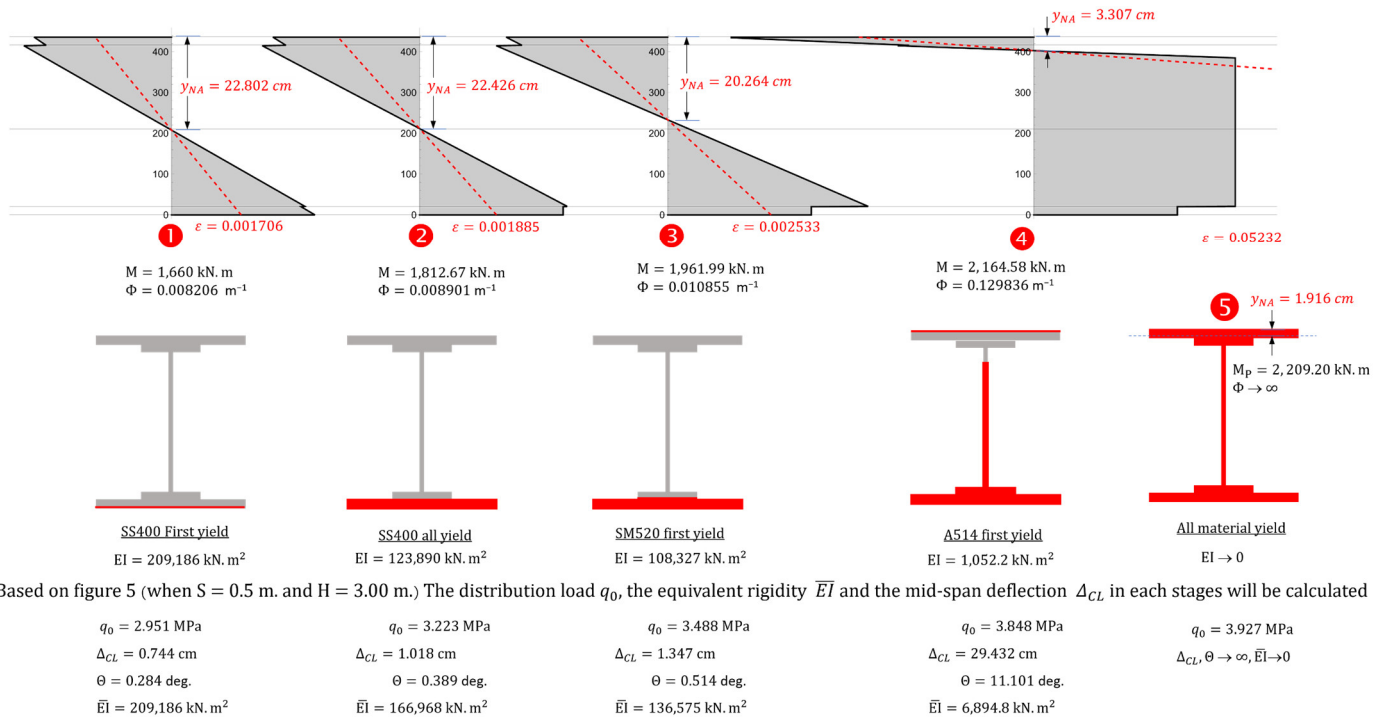


Fig.9. Example of the distribution of unit forces and stresses, the neutral axis position, and yielding area at various states.

4. Finite Element Models

After using the steps in Section 3 to get an idea of the door's preliminary dimensions, the next step is to use the nonlinear structural conditions to look at how the door reacts to simulate explosion loads. This mission used ABAQUS, a program based on the Finite Element Method (FEM). This program was selected due to its exceptional ability to analyze intricate structural engineering issues and provide sturdy, accurate, and high-performing solutions. It works excellently for routine design simulations, large-scale linear dynamic applications, and nonlinear challenges.

For the simulation using ABAQUS, the three-dimensional solid elements with eight node isoparametric elements were chosen undoubtedly. Figure 10 shows the expectation for comprehensive and easily comprehensible results of the design door.

The door's top and bottom margins were designed as structural supports or restraints. Roller bearings were secured at the top, while a pinned support restrained the bottom. Because the door will be pressed up against a panel of concrete with a high

degree of stiffness, which will cause deformation akin to that of a simply supported beam, both kinds of supports will be positioned continuously along the length of the major building members to simulate realistic behavior in the event of an explosion.

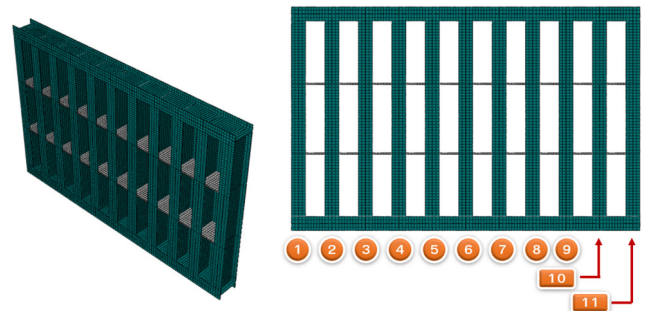


Fig.10. The main building components and secondary building components modeled using ABAQUS. The numbers were assigned for ease of reference, and it is noted that these numbers are under the condition that the steel plate conforming to ASTM A514 face towards the reader.

The goal of the model is to accurately mimic real-world behavior. Hence the fundamental material characteristics for this project were predetermined; the modification was needed until the reveal

behavior align with the material's dynamic behavior. In addition, the figure 11 shows a model of the structural steel sections used in the project.

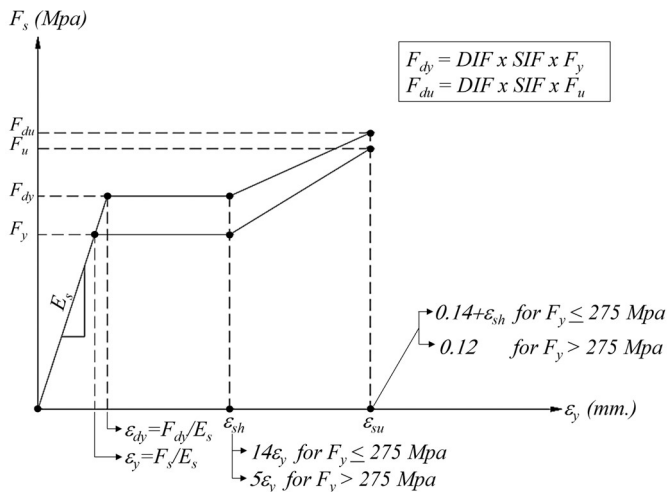


Fig.11. Model of the structural steel sections used in the project.

5. Nonlinear Finite Element Analysis

The risk associated with applying sophisticated software to intricate structural issues is that the outcomes could be challenging for an analyst with limited analytical expertise or common sense to evaluate, especially if the engineer is not well-versed in structural mechanics. Human error could result in undesirable outcomes.

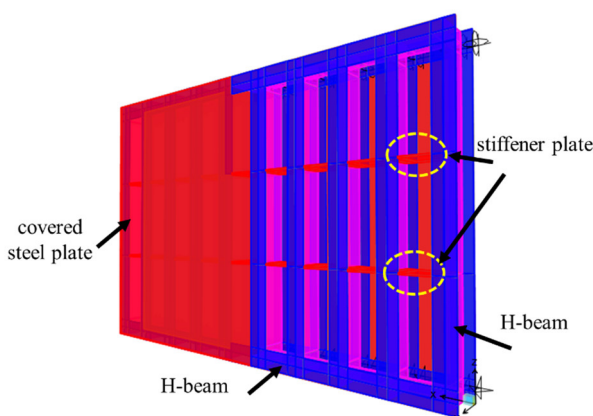


Fig.12. Model in SAP2000 using thin shell elements.

Another model using SAP 2000 was chosen to provide early validation, simulating the structure with thin shell elements. While this method is

simpler than solid elements, it is more intricate than beam elements. The material properties used in the simulation were identical to those in ABAQUS. Figure 12 displays the attributes of this validation model.

For analysis, the linear elastic material behavior was selected, which means that the results will only respond linearly. This is a significant but crucial distinction. Table 4 presents independent checks that demonstrate the reliability of the data obtained from all three procedures.

Table 4 Verification through SAP2000 and ABAQUS

Conditions	Hand	SAP2000	ABAQUS
Self-weight (kN)	84.54	73.35	77.55
Reaction (kN)	30,675	30,757	32,676
Period (sec)	5.71	9.02	7.73

After verifying the accuracy of the model, a more thorough examination of the program was conducted. ABAQUS divides the analysis approach into two cases: (1) static, which utilizes the implicit mode, and (2) dynamic, which employs the explicit mode and varies the pressure over time.

In case 1, the ABAQUS was used to analyze linear elastic material properties (also known as *Linear Elastic Static*, or *LES*) without accounting for geometric nonlinearity.

In case 2, the identical software was utilized to look at a material that had (2.1) linear-elastic behavior (also called *Linear Elastic Dynamic*, *LED*), which didn't take into account geometric nonlinearity, and (2.2) inelastic behavior (also called *Nonlinear Inelastic Dynamic*, *NID*), which did take into account both geometric and material nonlinearities. This analysis required ABAQUS to perform plastic analysis.

The *LED* and *NID* were compared to see how they behave under geometric and material nonlinearity. Figure 13 illustrates the reaction forces generated by *NID*. It is possible that this was because the material behavior was in the inelastic region, which explain why the reaction forces responsible for nonlinearity were less variable. Furthermore, inertia, friction forces, and energy dissipation from material bending could explain why *NID* response forces were significantly lower than *LED* reaction forces.

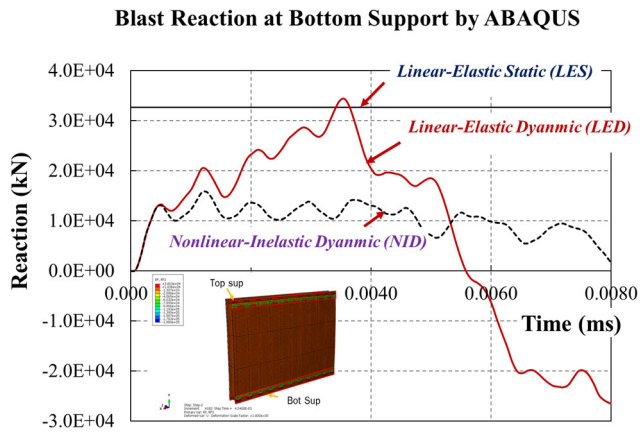


Fig.13. Time history of the reaction forces at the lower supports as obtained from FEA.

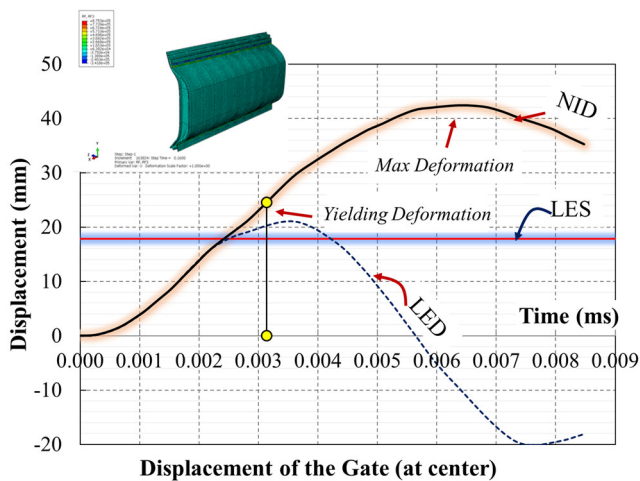


Fig.14. Deflection of the door under blast pressure analyzed using different methods by FEA.

Figure 14 displays the door's maximum deflection in each of the conditions. SAP2000 and ABAQUS produced 26.79 mm and 17.82 mm displacements from *LES* analysis, respectively, but did not draw any definitive conclusions at this stage. This discrepancy may be due to the increased stiffness of the elements examined by ABAQUS, as previously mentioned.

There were very slight variations in the deflection between *LES* and *LED*, indicated that the *DLF* did not rise appreciably. For *NID* analysis, as Figure 14 illustrates, the maximum deflection at the top of the graph, 450 mm below the door's upper edge, was 42.44 mm, the ductility ratio of 1.73. The primary member's bending caused a maximum deflection at center of beam of 24.53 mm.

The rotation angle served as a target for evaluating the door's effectiveness under explosive pressure, much like the deflection analysis did. Figure 15 demonstrates that, when studied using the *LES*, *LED*, and *NID* techniques, respectively, the maximum rotation angles at the door edge were 1.33 degrees, 1.55 degrees, and 4.23 degrees.

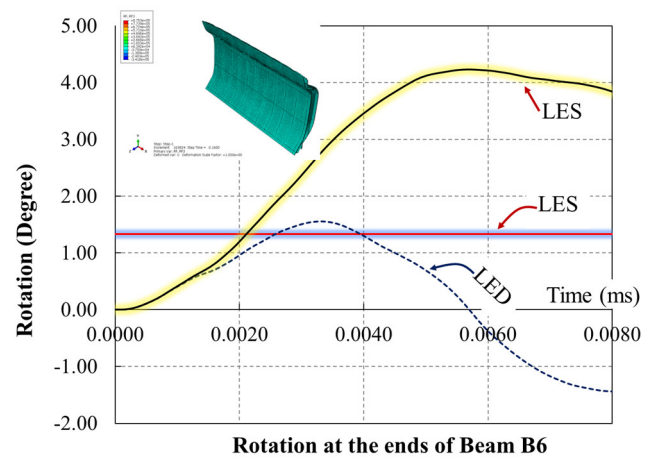


Fig.15. Rotation angle at the end of the primary structure under blast pressure analyzed using different methods in FEA.

Conclusions

It can be concluded that several design guidelines are necessary for creating structures that can survive blast effects. Determining the blast's intensity based on the number of explosives, the surrounding circumstances, and the standoff distances is essential to this process in order to analyze the pressure-time behavior applied to the structure.

This design assumed that a 500-pound TNT explosion occurred 5.0 meters horizontally from the entrance construction. In accordance with UFC-3-340-02 rules [6], the initial structural design assumes that the door structure will react to pressure with dynamic behavior. This case study's design theory is based on plastic theory, according to UFC 3-340-02 [6]. The proposed rotation angle at the door edge should not be greater than 2.0 degrees, and the design considered that the door will deform in mode 2, or permanent deformation, with the main material having a ductility ratio between 2.0 and 3.0. SM520 steel, with vertical primary members spaced 500 millimeters apart, forms the primary construction of

the door (H396x199x7x11 kg/m). Furthermore, 20-millimeter-thick SS490 steel plate for transverse reinforcement at 1/3 and 2/3 of the door height were used. The ASTM A514 steel plate as front covered plate to withstand blast pressure and SS400 steel plate as rear covered plate was employed. Shear and bending failures of the covered plate, as well as the main structure, were among the failure modes. The next step involved verifying the deformation and other design-specified factors. Its purpose is to ensure that all parameters are within acceptable limits.

According to UFC 3-340-02 [6], preliminary inspections revealed that the material had a ductility ratio of 1.71 and a rotation angle of 0.68 degrees at the door edges, indicated that the door deformed less than initially thought. Applying different variables, such as the *DLF* and *DIF*, resulted in numbers that were lower than the initial estimate, putting the design within a safe range. In addition, the door structure was checked using a nonlinear finite element approach. The results showed that the door's deformation behavior deviated marginally from the estimates provided by UFC 3-340-02 [6]. The maximum deformation was 450 millimeters below the top edge of the door rather than at its mid-height, with a ductility ratio of 1.73 and a rotation angle at the door edge of 4.23 degrees, as specifically found. This discrepancy was due to UFC 3-340-02 [6]'s assumption that the transverse diaphragm had no influence on the strength of the main structure, which deformed into a simply supported beam with support at both ends. However, the 1.73 ductility ratio was still within the permissible range for Level 2 deformation safety concerns, which included permanent deformation with a ductility ratio between 2.0 and 3.0.

This human verification confirmed that the advanced FEA and its results were within acceptable bounds. Such a program's application improved cost-effectiveness and design confidence.

Acknowledgement

We would like to express our gratitude to Dr. Athasit Sirisonthi for providing engineering data, and to Assoc.Prof.Suniti Supap (D.Eng) for the continuous consultation throughout the project.

Special thanks also to Mr.Pagornphat Budcha for his assistance with analysis and preparation of the manuscript.

References

- [1] H. Solomon. *Directions in international terrorism, theories, trends and trajectories*. Palgrave Macmillan, 2021.
- [2] W. G. Corley. "Lessons learned on improving resistance of buildings to terrorist attacks", *Journal of performance of constructed facilities*, 18(2), 68-78, 2004.
- [3] P. Joyklad., T. Pheeraphan. & P. Nimityongskul. "Development of ferrocement panel to resist blast load", *Paper presented at the in proceedings of the 10th national convention on civil engineering (NCCE10)*, Pattaya, Thailand. 2005.
- [4] Thairath Online. Hatyai is chaotic There was an explosion at the Lee Gardens Plaza Hotel. [Internet]. 2012. Available from: <https://www.thairath.co.th/content/249810>
- [5] W. G. Corley., P. F. Mlakar., M. A. Sozen., & C. H. Thornton. "The Oklahoma City bombing: summary and recommendations for multi-hazard mitigation". *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 12(3), 100-112, 1998
- [6] UFC 3-340-02. *Structures to resist the effects of accidental explosions, the department of defense*, United States of America, 2008.
- [7] FEMA-428/BIPS-07. *Buildings and Infrastructure Protection Series- Primer to Design Safe School Projects in Case of Terrorist Attacks and School Shootings*, Homeland Security Science and Technology, 2012.
- [8] R. W. Clough., & J. Penzien. *Dynamics of Structures*, 3rd edition. Computers & Structures, Inc., Berkeley, USA. 2003.
- [9] PIP STC01018. *Blast resistant building design criteria. Process Industry Practices Structural*. West Braker Lane, Austin, Texas, 2014.

EFFECT OF CARBON FIBER PATTERNS APPLIED ON ALUMINUM SUBSTRATE TO REDUCE RADAR REFLECTION

Jakraphan Ninlachart^{1*}
Boonyarit Kumkhet²
Jeeraphat Sittisorn¹
Chananchai Dechraksa¹
Thanapol Jiraksa¹

¹*Department of Marine Engineering, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy (palm_kalin@hotmail.com, jeerapatsittisorn1@gmail.com, minchananchai@gmail.com, tanapon231043@gmail.com)*

²*Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (boonyarit.k@en.rmutt.ac.th)*

ABSTRACT: The reduction of radar reflection of carbon fiber composite coated on aluminum alloy 5083 substrates was investigated. The oriented patterns of carbon fiber such as 1-layer twill carbon fiber, 2-layer twill carbon fiber, 1-layer chopped carbon fiber, and 2-layer chopped carbon fiber were compared to as-received aluminum alloy 5083. From the frequency of 5 GHz to 19 GHz, the 2-layer chopped carbon fiber composite shows the best reduction of radar reflection, whereas the 2-layer twill carbon fiber sample increases radar reflection. The 1-layer twill carbon fiber sample has similar reflection ability to the as-received aluminum alloy 5083, while the 1-layer chopped carbon fiber composite can reduce radar reflection, but not as good as the 2-layer chopped carbon fiber sample. The patterns affect the ability of carbon fiber to reduce radar reflection.

KEYWORDS: Carbon fiber composite, Radar absorbing materials, Radar cross section

1. Introduction

Radar (Radio Detection and Ranging) is used in many sections, for example, in commercial aircraft and ship, weather service section, and military section. Both commercial ships and warships use radar for surveillance while the ships are underway. Surveillance radar serves as the safety device for the ships as it can warn the pilot in case there is an out-of-control ship comes toward or in traffic area such as in straits. During wartime, warships use radar to identify the suspected ships. Echo size or radar cross section (RCS), course, and speed of the target ships reported on the radar monitor help to anticipate whether or not the ships are hostile. On the other hand, the warships need to reduce the RCS, so that the enemy cannot detect by using radar. There are 4 main methods to reduce RCS such as shaping, active cancellation, passive cancellation, and radar absorbing materials (RAMs). Shaping can be applied to only when the ships are built. It depends on the navy what design or class it wants. For active and passive cancellation, the equipment is needed to install in the ships. The last method to reduce RCS is radar absorbing materials. This method can be applied to the new ships or aircraft in the process of material selection for structure or used as coating material for commissioned ships and aircraft. One or more methods can be applied on one platform to reduce RCS.

Many materials are used as radar absorbing materials, for example, magnetic ferrite, SiC, and carbon allotropes [1]. Sasria et al. [2] synthesized BaFe₁₂O₁₉/poly(aniline, pyrrole, ethylene terephthalate) composites coating. The composite was a 6-mm-thick soft magnetic Jaumann Layer which reduced the reflection to -48.720 dB at 8.1 GHz. Mudasar and co-workers [3] synthesized W-type hexagonal ferrite BaCo_{1.2}Zn_{0.8}Fe₁₆O₂₇ and V₂CT_x-MXene. This composite acted as an electromagnetic absorption by changing electromagnetic energy into ohmic losses. The absorption was below -10 dB at the frequency between 10 and 18 GHz.

Carbon-based materials are also widely developed for RCS purposes. Shubham et al. [4] studied different weight percentages of Exfoliated Graphite (EGG) in fixed weight percentage of U-type barium hexaferrite based epoxy. The 3-mm-

thick composite of 0.75 wt% EG showed maximum permittivity and permeability and showed the reflection loss of -8.34 dB in X-band. Hui Zhao and co-workers [5] designed absorbing composite material by using carbon fibers/epoxy as a substrate, FeNi alloy powder/epoxy nanocomposite as the interlayer to absorb electromagnetic wave, and the glass fiber/epoxy prepreg as the outer layer. They proposed that the 2-mm-thick interlayer and the 3-mm-thick outer layer showed the best broadband wave-absorbing properties. The frequency from 4.93 to 8.79 GHz and from 14.96 to 18.0 GHz showed that the reflection loss was more than -10 dB. Balci and co-workers [6] used graphene electrodes as the electrical control of radar-absorbing surfaces. They adjusted voltage supplied to graphene electrode and found that reflection and transmission of microwave on the surface was changed. Reflection decreased 50 dB with voltages were less than 5V.

Most experiment used special techniques to develop radar absorbing material and did not study special pattern of coating. In contrast, this research used simple technique which can be applied to the stealth and non-stealth warships or military equipment.

2. Experimental Methods

In this experiment, the aluminum alloy 5083 was cut into 150 x 200 x 0.4 mm sheet. The substrates were ground with 100-grit SiC paper, rinsed with distilled water, and dried in air. Type of carbon fiber is TR30S 3K. Density of twill fabric is 245 g/m². Carbon fiber composite was applied on aluminum alloy substrates in 4 conditions which were twill carbon fiber 1 layer (CF1), twill carbon fiber 2 layers (CF2), chopped (forged) carbon fiber 1 layer (CC1), and chopped carbon fiber 2 layers (CC2). The hand lay-up technique was used to apply carbon fiber and unsaturated polyester resin on the substrate. On the last carbon fiber layer, 5 layers of polyester resin were applied. The thickness of polyester resin was controlled by using weight of the resin; however, the thickness of each layer was not measured. The layers of the samples are shown in Fig. 1.

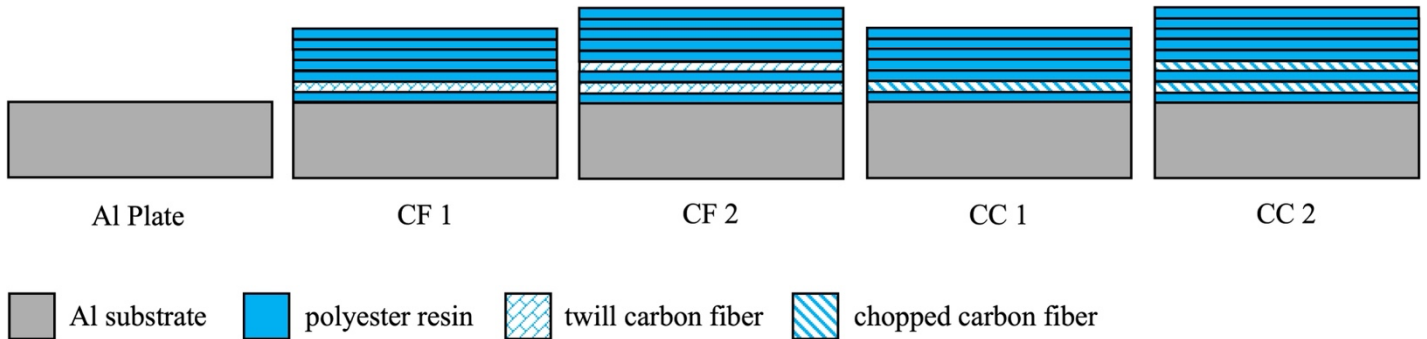


Fig.1. Layers of the samples in different patterns

The radar reflection experiment was conducted in the anechoic chamber, and the vector network analyzer (VNA) Agilent E8363B was used to measure the radar reflection of the samples. The transmitter and receiver antennas were aligned to each other and perpendicular to the front of the samples as shown in Fig. 2. The distance between the antennas and the samples was 1.2 m. The frequency of the VNA swept from 0 – 20 GHz where port 1 was the transmitter and port 2 was the receiver.

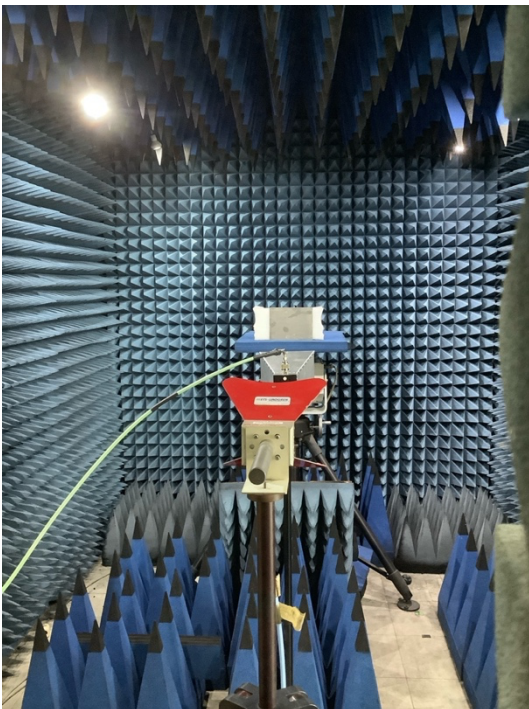


Fig.2. Configuration of the transmitter and the receiver antennas in the anechoic chamber

3. Results and Discussion

3.1 Macrostructural Investigation

Fig. 3 shows the macrostructure of carbon fiber composite in different pattern. Fig. 3a and Fig. 3b have the same pattern which is twill. The carbon fabric is aligned uniformly and tight; as a result, the substrates could not be seen. The chopped carbon fiber of the CC1 sample in Fig. 3c and of the CC2 sample in Fig. 3d aligned randomly; however, the composite layer of the CC2 sample is denser than that of the CC1 sample.

Table 1 shows thickness of the samples. The thickness of CF1, CF2, and CC1 increases around 2 mm, while the thickness of CC2 increases around 3 mm. The pattern of twill carbon fiber samples is fixed, whereas the pattern of chopped carbon fiber samples is random. As a result, the twill carbon fiber can be controlled thickness easier than the chopped carbon fiber samples.

Table 1 Thickness of the samples

Sample	Thickness (mm)
Al sheet	4.20
CF1	5.50
CF2	6.00
CC1	6.40
CC2	7.25

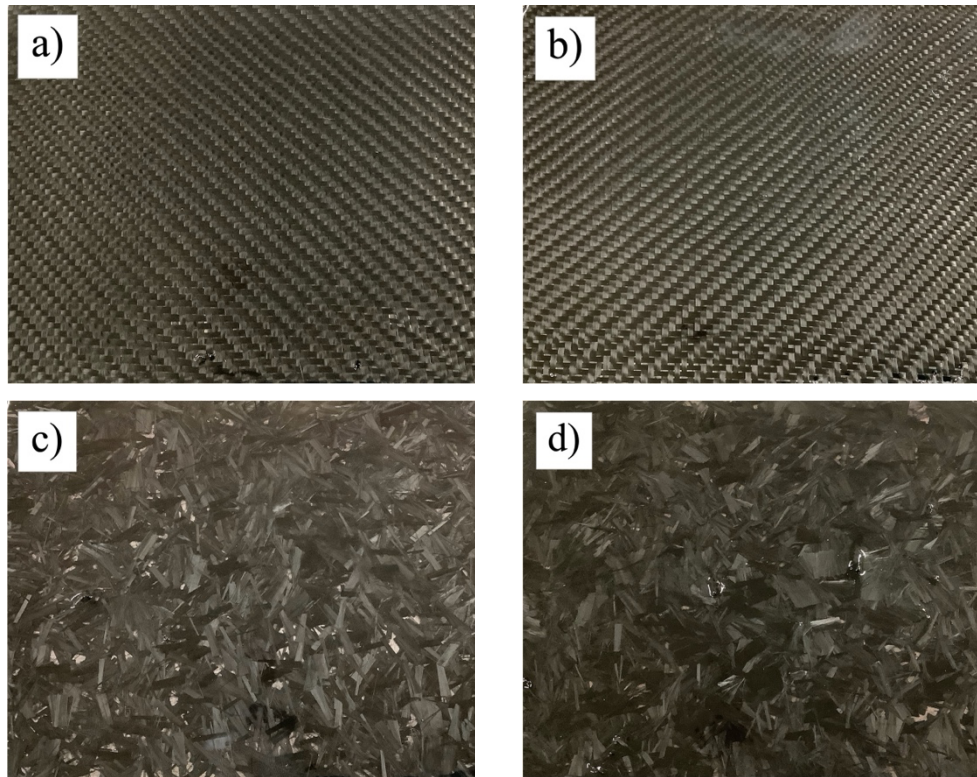


Fig.3. The macrostructure of carbon fiber composite, a) CF1, b) CF2, c) CC1, and d) CC2

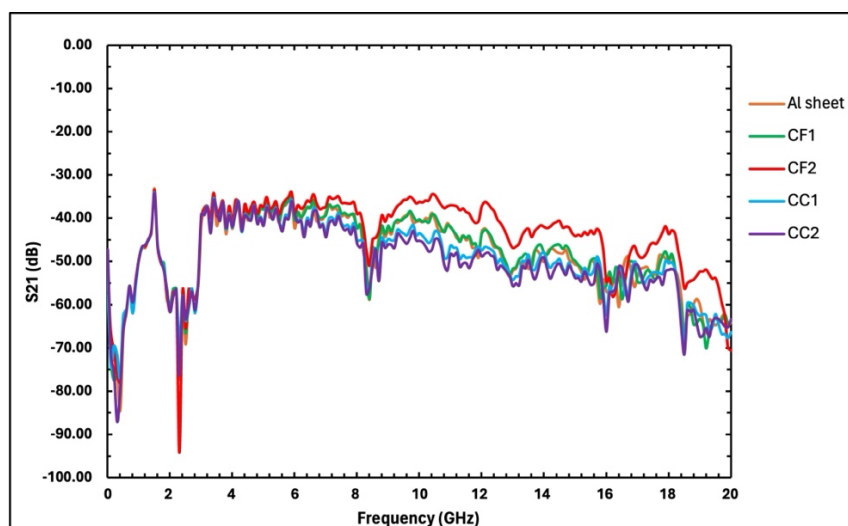


Fig.4. Reflection form of Al sheet, CF1, CF2, CC1, and CC2 samples

3.2 Radar Reflective Properties

Fig. 4 shows the reflection form of the samples. The frequency of VNA sweeps from 0 to 20 GHz,

and the reflection values represent in terms of S21 whose unit is dB. Port 1 is a transmitter and port 2 is a receiver. From 0 to 3 GHz, the reflection pattern

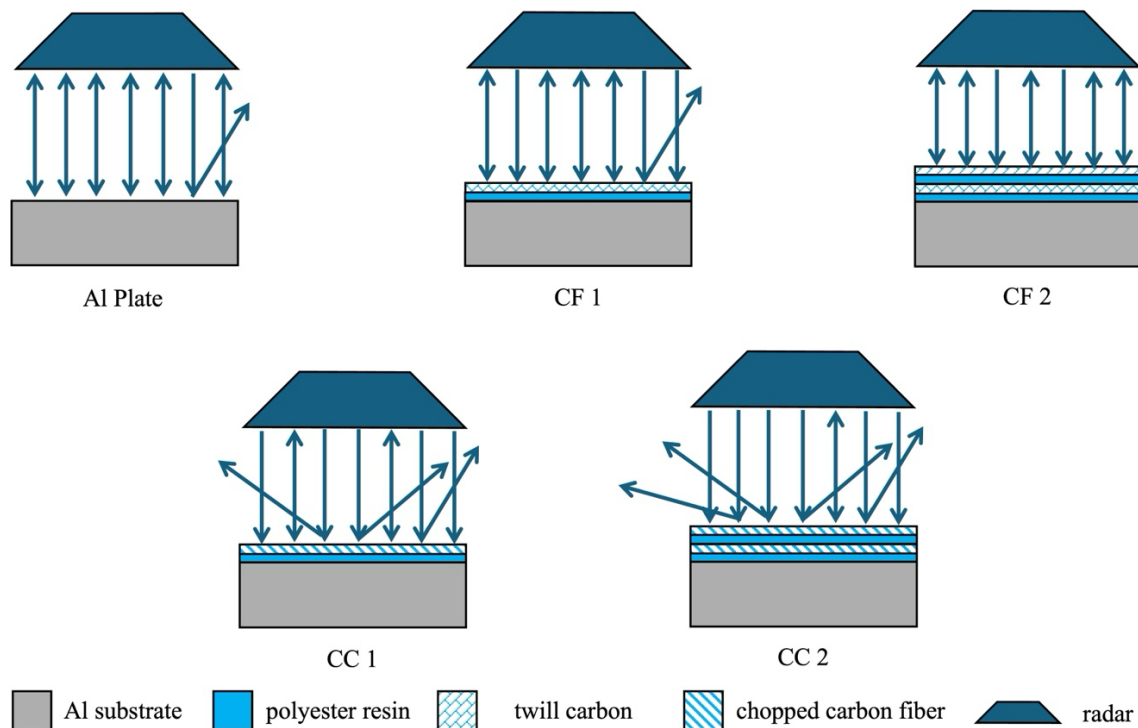


Fig.5. Schematic of scattering and absorbing of radar reflective ray in each condition

extremely swings from -33 dB to -95 dB in all conditions. In addition, the swing patterns are almost the same at this range of frequency. This might be the initial state of the VNA to generate the magnetic wave. After 3 GHz, the graphs swing in a narrow range, and the clear trend of reflective rays could be noticed. From 3 to 4.3 GHz, carbon fiber does not improve the radar reduction property. The S21 values swing in the range between -38 dB to -42 dB. From 5 to 19 GHz, it can be seen that the CC2 sample shows the best S21, followed by the CC1 sample. This might be because the random orientation of carbon fiber creates different angles of reflection which causes the scatter of reflective ray, as well as complex absorbing mechanism inside random carbon fiber [7] as shown in Fig. 5. The difference of S21 values between the aluminum sheet and the CC2 sample approximates 5 dB. The S21 value of CC2 sample decreases significantly to -66.26 dB at 16 GHz and to -67.39 dB at 19 GHz, compared to -56.95 dB and -59.97 dB of the aluminum sheet as shown in Table 2.

The reflection loss of CC2 at 16 GHz is 10 dB and 8 dB at 19 GHz, compared to the same frequency of the Al-sheet sample. The CF1 sample

Table 2 S21 values of the selected frequencies of the samples

Sample S21 (dB)	Al sheet	CF1	CF2	CC1	CC2
4 GHz	-42.45	-41.42	-41.04	-42.21	-41.99
6 GHz	-42.34	-40.48	-38.63	-39.52	-39.28
8 GHz	-42.38	-42.35	-38.98	-45.16	-45.88
10 GHz	-40.63	-40.28	-36.20	-43.50	-45.22
12 GHz	-43.04	-43.61	-37.28	-47.48	-48.83
14 GHz	-50.08	-47.94	-41.97	-48.01	-49.13
16 GHz	-56.95	-55.49	-54.61	-62.43	-66.26
19 GHz	-59.97	-63.27	-52.32	-62.59	-67.39

shows similar reflection pattern to the Al-sheet sample. As a result, the uniform twill carbon fiber cannot reduce radar reflection. In addition, the CF2 sample shows good radar reflection at all frequencies except at 14 and 20 GHz. The reflection ability may increase because carbon fibers are tight and oriented uniformly. Moreover, the 2-dense-twill

carbon layer might decrease voids between fiber, and incident ray cannot transmit through voids. On the other hand, the dense carbon layers might act as a reflector. Ban and co-workers [8] studied carbon fiber content prepared by water-based embedded in polyurethane resin. They found that 0.8 wt% of carbon fiber with the 1.2-mm-thick coating showed the maximum reflection loss with -11.01 dB in the frequency range of 8 – 18 GHz. On the other hand, when carbon fiber content decreased or increased, reflection ability was lowered.

4. Conclusions

1. At the frequency below 4 GHz, all carbon fiber patterns do not reduce radar reflection.
2. The frequency from 5 – 19 GHz, the two-layer chopped carbon fiber shows the best radar loss, followed by one-layer chopped carbon fiber. In contrast, the uniform twill carbon fiber cannot reduce radar reflection. This can be summarized that pattern or orientation of carbon fiber affected the ability to reduce radar reflection.

Acknowledgement

The support provided by the Royal Thai Navy and Royal Thai Naval Academy is acknowledge. The researchers acknowledge the anechoic chamber support by Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

References

- [1] A. Kumar, and S. Singh. “Development of Coatings for Radar Absorbing Materials at X-band”. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 330 (012006), pp. 1 – 9, June. 2017.
- [2] N. Sasria, H. Ardhyanta, R. Fajarin and Widyastuti. “Synthesis and Characterization of BaFe₁₂O₁₉/Poly (aniline, pyrrole, ethylene terephthalate) Composites Coatings as Radar Absorbing Material (RAM)”. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 877 (012057), pp. 1 – 10. 2017.
- [3] M. Mudasar, Z.H. Xu, S.Y. Lian, X. Li, J. Wang and X. Cheng. “Featuring Heterogeneous Composite of W-Type Hexagonal Ferrite with 2D Vanadium Carbide Mxane for Wideband Microwave Absorption”. *Journal of Materials Research and Technology*, 28, pp. 2699 – 2713, December. 2023.
- [4] S. Mishra, V. Pratap, A. K. Chaurasia, A. K. Soni, A. Dubey and A. K. Dixit. “Combined effect of exfoliated graphite/ferrite filled epoxy composites on microwave absorbing and mechanical properties”. *Physics Open*, 14 (100138), pp. 1 – 9, January. 2023.
- [5] H. Zhao, Z. Zhu, Y. Xu, Z. Wang and J. Zhou “Design and preparation of an epoxy resin matrix composite structure with broadband wave-absorbing properties”. *Results in Physics*, 57 (107353), pp. 1 – 9, January. 2024.
- [6] O. Balci, E. O. Polat, N. Kakenov and C. Kocabas “Graphene-enabled electrically switchable radar-absorbing surfaces”. *Nature Communications*, 6 (6628), pp. 1 – 9, March. 2015.
- [7] N. Zhao, T. Zou, C. Shi, J. Li and W. Guo. “Microwave absorbing properties of activated carbon-fiber felt screens (vertical-arranged carbon fibers)/epoxy resin composites”. *Materials Science and Engineering: B*, 127, pp. 207 – 211, February. 2006
- [8] G-d. Ban, Z-h Liu, S-t Ye, H-b Yang, R. Tao and P. Luo. “Microwave absorption properties of carbon fiber radar absorbing coatings prepared by water-based technologies”. *RSC Advances*, 7, pp. 26658 – 26664, May. 2017.

การประเมินคอนกรีตผสมขยะผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน

EVALUATION OF CONCRETE WITH RECYCLED ASPHALT PAVEMENT WASTE AS SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS

พัชรินทร์ ศรีทอง¹ (Patcharin Sritong)¹

จักษดา ชำรงวุฒิ^{2*} (Jaksada Thumrongvut)^{2*}

รัฐพล สมณา² (Rattapon Somna)²

ศักดิ์สิทธิ์ พันทวี³ (Saksith Pantawee)³

โกศวัต ช่างจตุรัส³ (Kosawat Changjutturas)³

พรรัตน์ ชำรงวุฒิ⁴ (Pawnat Thumrongvut)⁴

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*e-mail: jaksada.th@rmuti.ac.th

³ อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

⁴ อาจารย์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล (recycled asphalt pavement, RAP) แทนที่มวลรวมละเอียดในปริมาณร้อยละ 5 10 15 20 25 และ 30 โดยน้ำหนัก คอนกรีตถูกออกแบบตามมาตรฐาน ACI 211.1 โดยมีกำลังอัดตามเป้าหมายเท่ากับ 18 MPa 30 MPa และ 42 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางละเอียดแอสฟัลต์รีไซเคิล (fine recycled asphalt pavement, Fine-RAP) แทนที่มวลละเอียดและเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ จากการประเมินพบว่า ปริมาณการแทนที่ Fine-RAP ในส่วนผสมมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณการแทนที่ Fine-RAP ที่เพิ่มขึ้น สุดท้ายนำเสนอสมการทำนายกำลังในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางละเอียดแอสฟัลต์รีไซเคิลต่อคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติและปริมาณการแทนที่ Fine-RAP

คำสำคัญ: ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล, มวลรวมละเอียด, กำลังอัด, สมการทำนายกำลัง

1. บทนำ

ในปัจจุบันเส้นทางคมนาคมในประเทศไทยมีการก่อสร้างเพิ่มขึ้น รวมถึงมีการปรับปรุงซ่อมแซมผิวทางเก่าเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามผิวทางแอสฟัลต์เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่ง มักเกิดความเสียหายเนื่องจากอายุการใช้งาน น้ำหนักบรรทุกของพาหนะเกินกว่าที่กำหนด หรือภัยพิบัติจากธรรมชาติ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการบูรณะซ่อมแซมผิวทางดังกล่าว โดยทั่วไปการซ่อมแซมผิวทางแอสฟัลต์ที่ชำรุดเพื่อสร้างผิวทางใหม่ จำเป็นต้องลอกผิวทางเก่าที่ชำรุดออกจนถึงชั้นพื้นทาง ผิวทางแอสฟัลต์ที่รีไซเคิลถูกนำไปกองเก็บในสถานที่ต่าง ๆ ทำให้มีปริมาณขยะผิวทางแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบ [1] การแทนที่มวลรวมธรรมชาติด้วยผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล (recycled asphalt pavement, RAP) ในคอนกรีตมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากแนวคิดดังกล่าวช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่หมุนเวียน เช่น มวลรวมธรรมชาติ (หินและทราย) [2] นอกจากนี้ ยังช่วยลดพื้นที่ฝังกลบซึ่งนำไปสู่การลดมลพิษทางอากาศและน้ำ [3] วัสดุชนิดนี้สามารถใช้แทนบางส่วนของวัสดุคัดเลือกในงานชั้นพื้นทางเดิมหรือชั้นรองพื้นทาง อย่างไรก็ตามวัสดุผิวทางแอสฟัลต์เหลือทิ้งไม่ได้ถูกใช้งานเป็นจำนวนมาก [4] วัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลเป็นวัสดุผสมระหว่างยางแอสฟัลต์และมวลรวม เมื่อถูกรื้อออกคุณสมบัติของแอสฟัลต์จะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเสื่อมสภาพตามอายุของวัสดุประสาน แต่การเสื่อมสภาพส่วนใหญ่อยู่ในรูปการเสีรูปร่างของยางแอสฟัลต์โดยมวลรวมของผิวทางแอสฟัลต์ยังคงสภาพสมบูรณ์และเหมาะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง [5], [6]

จากปัญหาข้างต้น จึงมีแนวคิดปรับลดการใช้วัสดุมวลรวมธรรมชาติ ด้วยการพัฒนานำวัสดุเหลือทิ้งหรือขยะผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลกลับมาประยุกต์ใช้ใหม่ โดยมีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมแทนที่มวลรวมธรรมชาติบางส่วน ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเมินกำลังอัด

ของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียดโดยน้ำหนักของส่วนผสมคอนกรีต โดยนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลละเอียด (fine recycled asphalt pavement, Fine-RAP) ต่อคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ ดังนั้นการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลมาประยุกต์ใช้ทดแทนหรือแทนที่มวลรวมธรรมชาติในงานคอนกรีตจะช่วยลดปัญหาขยะมลพิษผิวทาง ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงยังเป็นวัสดุก่อสร้างที่ยั่งยืนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งต่อการพัฒนาเชิงพาณิชย์ในการสร้างความเข้มแข็งต่อภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างและเศรษฐกิจของประเทศต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1) ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15-2562 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.03

2) มวลรวมหยาบธรรมชาติ (natural coarse aggregate) หรือหิน มีขนาดโตสุดเท่ากับ 20 mm โดยล้างทำความสะอาดขจัดสิ่งสกปรกและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 3/4"

3) มวลรวมละเอียดธรรมชาติ (natural fine aggregate) หรือทราย ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

4) วัสดุผิวทางละเอียดแอสฟัลต์รีไซเคิล (fine recycled asphalt pavement, Fine-RAP) ที่ใช้ในงานวิจัย ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เช่นเดียวกับมวลรวมละเอียดธรรมชาติ

การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย โมดูลัสความละเอียด ความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนักแห้งกระทุ้งแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ และปริมาณยางแอสฟัลต์ สมบัติของมวลรวมดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของมวลรวม

คุณสมบัติทางวิศวกรรม	หิน	ทราย	Fine-RAP
โมดูลัสความละเอียด, FM	7.44	2.50	3.53
ความถ่วงจำเพาะ	2.69	2.66	2.31
หน่วยน้ำหนักแห้งกระทุ้งแน่น	1,067.8	1,637.36	1,637.36
ค่าการดูดซึมน้ำ (WA, %)	0.62	0.74	0.62
ปริมาณยางแอสฟัลต์ (AS, %)	-	-	4.50

2.2 อัตราส่วนผสมและการทดสอบ

คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาออกแบบตามปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตของ ACI 211.1 [7] กำลังรับแรงอัดประลัย (ultimate compressive strength) ตามเป้าหมายเท่ากับ 18 MPa 30 MPa และ 42 MPa (ประมาณ 180 kg/cm² 300 kg/cm² และ 420 kg/cm² ตามลำดับ) และใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล (Fine-RAP) แทนที่มวลรวมละเอียดในปริมาณร้อยละ 5 10 15 20 25 และ 30 โดยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลเป็นมวลรวมละเอียดจะถูกเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm และสูง 200 mm การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม ควบคุมค่ายุบตัว (slump) ของคอนกรีตสดอ้างอิงเท่ากับ 100 ± 25 mm

ตัวอย่างทดสอบถูกกำหนดชื่อโดยใช้สัญลักษณ์ CXX-FRYY มีหลักการต่อไปนี้ CXX หมายถึง การออกแบบตามปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดประลัยตามเป้าหมาย สุดท้าย FRYY หมายถึง ปริมาณการแทนที่ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียด (Fine-RAP) ในหน่วยร้อยละ ตัวอย่างเช่น C42-FR10 หมายถึง คอนกรีตที่มีการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมให้กำลังรับแรงอัดประลัยตามเป้าหมายเท่ากับ 42 MPa และใช้ปริมาณผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ตารางที่ 2 แสดงปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์

รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียดโดยน้ำหนักต่อปริมาตรหนึ่งลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียดโดยน้ำหนักต่อปริมาตรหนึ่งลูกบาศก์เมตร

สัญลักษณ์	ซีเมนต์ (kg)	หิน (kg)	ทราย (kg)	Fine-RAP (kg)	น้ำ (kg)
C18	294.06	1,045	783.31	0.00	200
C18-FR5	294.06	1,045	744.14	39.17	200
C18-FR10	294.06	1,045	704.98	78.33	200
C18-FR15	294.06	1,045	665.81	117.50	200
C18-FR20	294.06	1,045	626.65	156.66	200
C18-FR25	294.06	1,045	587.48	195.83	200
C18-FR30	294.06	1,045	548.31	234.99	200
C30	393.63	1,045	695.90	0.00	200
C30-FR5	393.63	1,045	661.10	34.79	200
C30-FR10	393.63	1,045	626.31	69.59	200
C30-FR15	393.63	1,045	591.51	104.38	200
C30-FR20	393.63	1,045	556.72	139.18	200
C30-FR25	393.63	1,045	521.92	173.97	200
C30-FR30	393.63	1,045	487.13	208.77	200
C42	634.79	1,045	484.19	0.00	200
C42-FR5	634.79	1,045	459.98	24.21	200
C42-FR10	634.79	1,045	435.77	48.42	200
C42-FR15	634.79	1,045	411.56	72.63	200
C42-FR20	634.79	1,045	387.35	96.84	200
C42-FR25	634.79	1,045	363.14	121.05	200
C42-FR30	634.79	1,045	338.93	145.26	200

ตัวอย่างคอนกรีตเตรียมขึ้นภายในห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน การหล่อตัวอย่างตามอัตราส่วนผสมและบ่มคอนกรีตโดยวิธีใช้แผ่นพลาสติกกันความชื้นเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยตามมาตรฐาน ASTM C39

[8] จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ บันทึกแรงอัดสูงสุดเพื่อคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีต

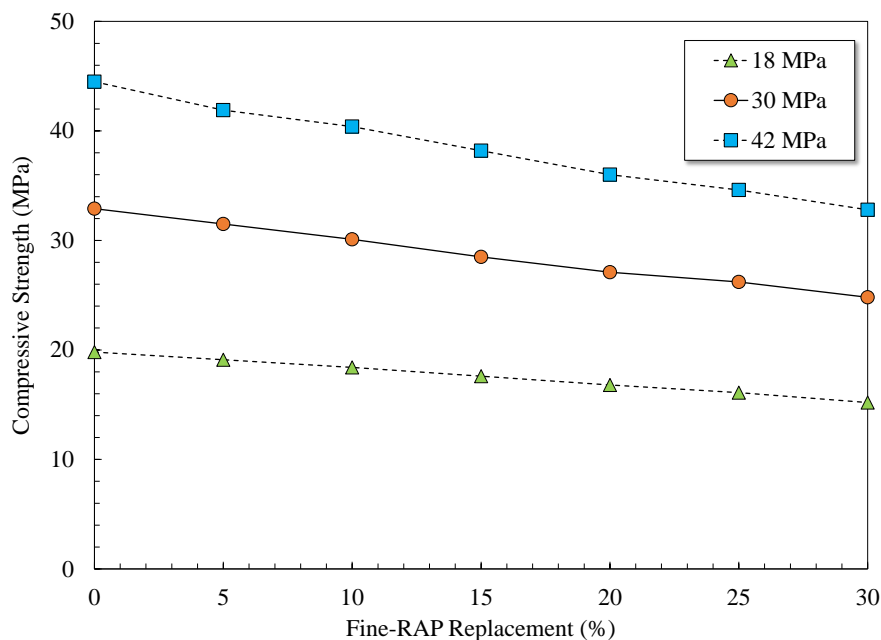
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียด

ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยและปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยวัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล (Fine-RAP) จากรูปพบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่วัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง เฉลี่ยร้อยละ 1.56 2.76 4.30 5.76 6.76 และ 8.13 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตอ้างอิง สำหรับปริมาณการแทนที่ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลละเอียดร้อยละ 5 10 15 20 25 และ 30 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ คอนกรีตที่ใช้ Fine-RAP แทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเฉลี่ยของคอนกรีตต่ำที่สุดในทางตรงกันข้าม สำหรับ Fine-RAP ปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเฉลี่ยของคอนกรีตสูงสุด

เมื่อเปรียบเทียบกับการแทนที่ Fine-RAP ที่อัตราส่วนอื่น และกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ทดสอบได้มีค่าผ่านเกณฑ์กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยตามเป้าหมายที่ออกแบบไว้

ดังนั้นปริมาณการใช้ Fine-RAP แทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากวัสดุ Fine-RAP มีปริมาณยางแอสฟัลต์เท่ากับร้อยละ 4.50 และมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่ามวลรวมละเอียดธรรมชาติเล็กน้อย [9] รวมถึงการลดลงของประสิทธิภาพแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเชื่อมประสานและพื้นที่ผิวของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล [6] อย่างไรก็ตาม คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลมีความสามารถด้านความเหนียวเพิ่มขึ้น [10] ซึ่งเหมาะสมสำหรับชั้นส่วนโครงสร้างที่ไม่ต้องการกำลังรับแรงอัดที่สูงมาก แต่ต้องการความเหนียวของส่วนประกอบโครงสร้างที่ดี ทำให้คอนกรีตที่ใช้วัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวม เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในส่วนประกอบโครงสร้างอาคารขนาดเล็ก เช่น บ้านพักอาศัย และอาคารพาณิชย์ เป็นต้น

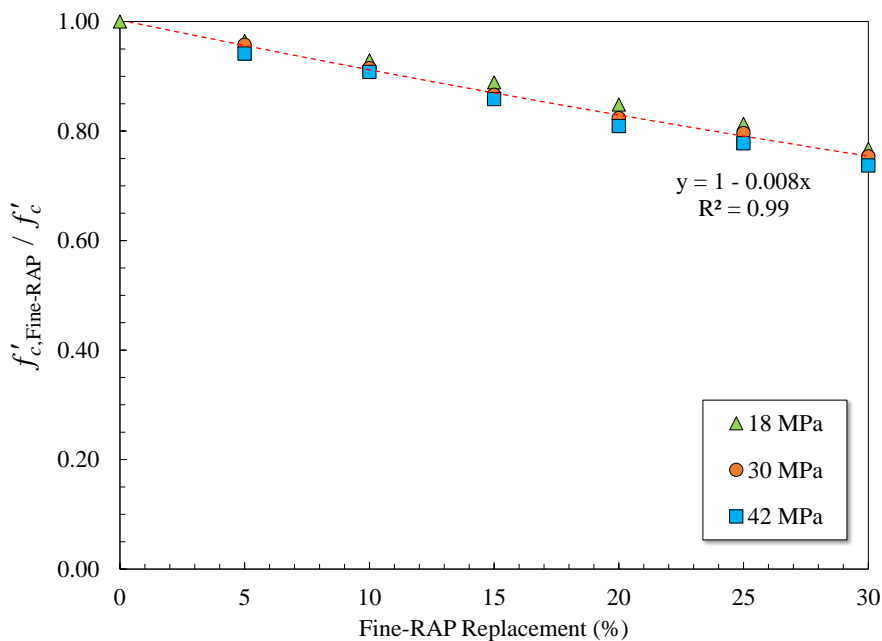


ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยและปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยวัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิล

3.2 สมการทำนายกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียด

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ผิวทางละเอียดแอสฟัลต์รีไซเคิล (Fine-RAP) แทนที่มวลรวมละเอียด ($f'_{c, \text{Fine-RAP}}$) ต่อกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตอ้างอิง (f'_c) ที่อายุบ่ม 28 วัน และปริมาณ แทนที่มวลรวมละเอียดแสดงในภาพที่ 2

จากภาพพบว่า การ Normalize ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ Fine-RAP แทนที่มวลรวมละเอียดต่อคอนกรีตอ้างอิงด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) สามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปแบบของสมการเชิงเส้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลต่างของการสูญเสียกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่อปริมาณการแทนที่วัสดุผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลดังแสดงในสมการที่ (1)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ Fine-RAP แทนที่มวลรวมละเอียดต่อคอนกรีตอ้างอิง

$$\frac{f'_{c, \text{Fine-RAP}}}{f'_c} = 1 - 0.008(\%_{\text{Fine-RAP}}) \quad (1)$$

โดยที่ $\%_{\text{Fine-RAP}}$ คือ ปริมาณผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียดโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)

สมการที่ (1) แสดงผลการ Normalize จากผลทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ Fine-RAP แทนที่มวลรวมต่อคอนกรีตอ้างอิงที่กำลังอัดประลัยต่าง ๆ โดยมีค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R-Square) เท่ากับ 0.99

ดังนั้น สมการทำนายกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ Fine-RAP แทนที่มวลรวมละเอียด ($f'_{c, \text{Fine-RAP}}$) ภายใต้ขอบเขตที่ศึกษาในงานวิจัยนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$f'_{c, \text{Fine-RAP}} = [1 - 0.008(\%_{\text{Fine-RAP}})]f'_c \quad (2)$$

สุดท้าย สมการทำนายกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ Fine-RAP แทนที่มวลรวมละเอียดสามารถใช้ในการประเมินกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตภายใต้ความ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

คลาดเคลื่อนในทางวิศวกรรมที่ยอมรับได้ ตลอดจนช่วยส่งเสริมการนำวัสดุเหลือทิ้งประเภทนี้ในการประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตและโครงสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปริมาณวัสดุก่อสร้างจากธรรมชาติต่อไป

4. สรุปผล

1) การใช้ผิวทางละเอียดแอสฟัลต์รีไซเคิล (Fine-RAP) แทนที่มวลรวม ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าลดลง และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแทนที่ Fine-RAP เนื่องจาก Fine-RAP มีปริมาณยางแอสฟัลต์เคลือบผิว ส่งผลให้ประสิทธิภาพแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเชื่อมประสานและผิวทางแอสฟัลต์รีไซเคิลมีค่าลดลง

2) ปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วย Fine-RAP ที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยเมื่อปริมาณการแทนที่ Fine-RAP เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตอ้างอิงเฉลี่ยร้อยละ 1.56 2.76 4.30 5.76 6.76 และ 8.13 สำหรับปริมาณการแทนที่ Fine-RAP ร้อยละ 5 10 15 20 25 และ 30 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

3) สมการทำนายกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ Fine-RAP แทนที่มวลรวมละเอียดสามารถใช้ทำนายกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตในช่วงระหว่าง 18 MPa ถึง 42 MPa ภายใต้ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ โดยมีค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองเท่ากับ 0.99

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 สัญญาเลขที่ NKR2567INC030 สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Huang, B., Shu, X., & Li, G. (2005). Laboratory investigation of Portland cement concrete containing recycled asphalt pavements. *Cement and Concrete Research*, 35(10), 2008-2013.
- [2] Modarres, A., & Hosseini, Z. (2014). Mechanical properties of roller compacted concrete containing rice husk ash with original and recycled asphalt pavement material. *Materials & Design*, 64, 227-236.
- [3] Huang, B., Shu, X., & Burdette, E. G. (2006). Mechanical properties of concrete containing recycled asphalt pavements. *Magazine of Concrete Research*, 58(5), 313-320.
- [4] Al-Oraimi, S., Hassan, H. F., & Hago, A. (2009). Recycling of reclaimed asphalt pavement in Portland cement concrete. *The Journal of Engineering Research*, 6(1), 37-45.
- [5] Sanchaiwut, M., Thumrongvut, J., Pantawee, S., & Seangatith, S. (2022). Effects of substitution of fine aggregate with recycled asphalt pavement on compressive strength of normal concrete. *Key Engineering Materials*, 922, 163-168.
- [6] Zhang, J., Sesay, T., You, Q., & Jing, H. (2022). Maximizing the application of RAP in asphalt concrete pavements and its long-term performance: a review. *Polymers*, 14(21), 4736.
- [7] ACI Committee 211, 2009, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI 211.1-91, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.
- [8] ASTM C39. (2018). Standard Test Methods for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM: West Conshohocken, PA, USA.
- [9] Rout, M.K.D., Sahdeo, S.K., Biswas, S., Roy, K., & Sinha, A.K. (2023). Feasibility study of reclaimed asphalt pavements (RAP) as recycled aggregates used in rigid pavement construction. *Materials*, 16, 1504.
- [10] Li-Ping, G., Miao, W., Cong, D., & Li-Juan, C. (2020). Effect of incorporating reclaimed asphalt pavement on macroscopic and microstructural properties of high ductility cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 260, 119956.

Evaluating designed biochar kilns-based 3D model for circular economy

Yaowaret Jantakat¹, Pongpun Juntakut², Pradeep Kumar Shrestha³, Pakawat Boonpakob⁴,
Chomphak Jantakat⁵, Wasin Treesinthuros⁶

^{1,6}*Rajamangala of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand and yaowaret.ja@rmuti.ac.th, wasin.tr@rmuti.ac.th*

²*Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok, Thailand and pongpun.ju@crma.ac.th*

³*Pulchowk Campus, Tribhuvan University, Nepal and pradeep.shrestha@pcampus.edu.np*

⁴*Royal Forest Department, Bangkok, Thailand and pakawat.forest57@gmail.com*

⁵*Vongchavalitkul University, Nakhonratchasima and chomphak_jan@vu.ac.th*

ABSTRACT: Among the various strategies being researched and adopted to tackle climate change, biochar is one critical solution of removal CO₂ for achieving agricultural and environmental management. However, Center for Promoting the Utilization of Vetiver Grass (CPUVG) of Forest Royal Department (FRD) under the Royal Initiative Project, Phetchabun province, Thailand is presently not application of biochar production including knowledge of biochar technology to disseminate in the surrounding CPUVG's communities. Therefore, this study proposes using the 3D model to design five types of biochar kiln (flame curtain kiln, drum kiln, pyrolytic TLUC, retort kiln and masonry kiln). These designed biochar kilns were related to existing resource conditions of CPUVG. This study uses the 3D model from Autodesk Inventor Software for helping design of biochar kiln prototype. And then cost-effectiveness of designed biochar kilns was evaluated by multi-criteria analysis-based Ordered Weighted Averaging (OWA). In this work, we used three main factors: budget, feedstocks, construction materials to select most suitable the designed biochar kiln. Consequently, drum kiln will be considered to implement in field at CPUVG further.

KEYWORDS: Biochar, Circular economy, The 3D model, Multi-Criteria Analysis, Ordered Weighted Averaging

1. Introduction

Biochar should serve the interests of local people in developing countries — all while protecting biodiversity [1]. For reasons, the application of biochar is coherent with modern green development concepts as it plays critical roles in maintaining ecosystem balance, controlling soil pollution, and the sustainable development of the forest and agricultural environment [2,3]. Moreover, biochar as an adsorbent possesses numerous advantages, such as being eco-friendly, low-cost, and easy to use; various precursors are available in abundance to be converted into biochar, it also has recyclability potential and higher adsorption capacity than other conventional adsorbents [4].

Moreover, climate change will have serious impacts on the entire global territory. The nature of these impacts will vary throughout the world given ambient geomorphologic and climatic factors. For one critical cause, the increasing concentrations of greenhouse gases are trapping more heat in the atmosphere, which causes global warming [5]. Among several approaches to circular economy and zero-waste concepts, “biochar production” is a scientifically and ecologically interesting example and might be a way to push the economy to a carbon neutral balance [6,7].

Therefore, the objectives of this study were (1) to design biochar kilns based on 3D model and (2) to evaluate the outputs of designed biochar kiln based on multi-criteria analysis.

2. Methods

2.1 Study area

Center for Promoting the Utilization of Vetiver Grass (CPUVG) of Forest Royal Department (FRD) under the Royal Initiative Project was selected as study area where establishes in Phetchabun province, Thailand. CPUVG is approximately 4,014 ha (40.14 km²) with the geographic coordinates between latitude 16.423566° N - 16.511680°N and longitude 101.005158°E - 101.105932°E and altitude is between 200-750 meters above mean sea level (as Fig.1).

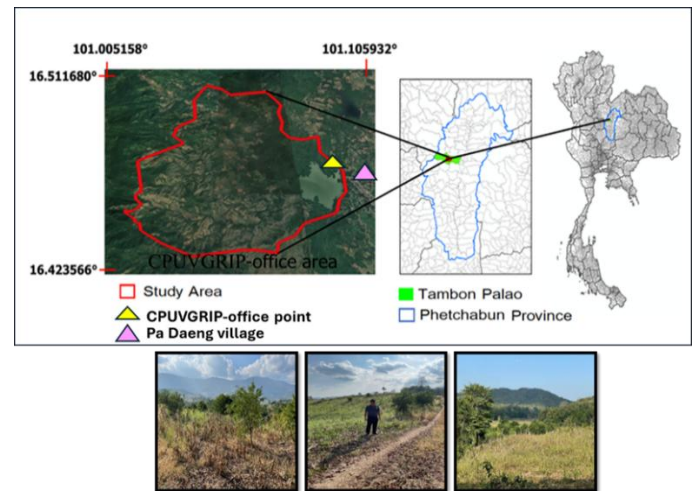


Fig.1. The location of CPUVG at Phetchabun province, Thailand

2.2 Designing biochar kilns

In this work, the biochar kiln prototype was modified from report of Namaswa et al. [8]. This report presented categorization of biochar production kilns, included (1) flame curtain kiln, (2) drum kiln, (3) pyrolytic top-lit updraft cookstoves, (4) retort kiln, and (5) masonry kiln. Importantly, the biochar kiln prototype was restively designed for biomass waste at CPUVG, Phetchabun province, Thailand. The 3D model of the biochar kiln prototype was created in Autodesk Inventor software that

2.3 The multi-criteria analysis-based Ordered Weighted Averaging (OWA)

OWA was used for analyzing multi-criteria to select the suitable biochar kilns in 2.2. Prior to analyzed data, we must determine framework of multi-criteria analysis-based OWA according to report of Maczewski [9], included goal, objective and decision makers as follows:

1. Goal: Using the suitable biochar kiln for CPUVG
2. Objective: To assess the suitable biochar kiln
3. Decision maker: OWA

2.3.1 Deriving commensurate criterion value

Due to a variety of data on which criteria are measured, multi-criteria decision analysis required various criterion values were commensurate to

compare units. Therefore, linear scale transformation was simple method for converting from raw data into standardized score. These standardized scores were determined as minimization and maximization.

In this paper, there were three factors: budget, feedstocks, construction materials. These factors were defined by a pessimistic perspective, based on assumptions as follows:

- Budget was not cost or the lowest and this condition should be used as maximized criterion.
- Feedstocks was a higher variety, and this condition should be used as maximized criterion.
- Construction materials was most locally available materials, and this condition should be used as maximized criterion.

2.3.2 Estimating normalized criterion weight

In multi-criteria analysis, the estimation of factor weight aims to express the importance of each factor relative to other factors [9]. Such mentioned three factors in OWA analysis were determined by weight, was based on approach of Stillwell et al. [10], Malczewski [11] and Jantakat et al. [12]. Therefore, this study proposed three factors ranked in order of importance that had the six possible group as follows:

- The first: budget, feedstock and construction material.
- The second: budget, construction material and feedstock.
- The third : feedstock, construction material and budget.
- The fourth: feedstock, budget and construction material.
- The fifth: construction material, budget and feedstock.
- The sixth: construction material, feedstock and budget.

Consequently, these above the six sets of possible ranking were used for estimating normalized criterion weight to calculate in OWA continuously as Table 1.

Table 1 The six sets of possible ranking for OWA

Possible group	Straight rank	Weight (n- r _j + 1)	Normalized weighting
1st			
Budget	1	3	0.5
Feedstock	2	2	0.33
Material	3	1	0.17
Sum		6	1
2nd			
Budget	1	3	0.5
Material	2	2	0.33
Feedstock	3	1	0.17
Sum		6	1
3rd			
Feedstock	1	3	0.5
Material	2	2	0.33
Budget	3	1	0.17
Sum		6	1
4th			
Feedstock	1	3	0.5
Budget	2	2	0.33
Material	3	1	0.17
Sum		6	1
5th			
Material	1	3	0.5
Budget	2	2	0.33
Feedstock	3	1	0.17
Sum		6	1
6th			
Material	1	3	0.5
Feedstock	2	2	0.33
Budget	3	1	0.17
Sum		6	1

(Modified from Jantakat et al. (2009))

2.3.3 Reordering factors' score and weight

This step provided reordering factors' score and weight in each designed biochar kiln for calculating OWA. This OWA calculation used three operators: MIN, AVERAGE and MAX from the ready-made table of Malczewski (1999) (see Table 2) for 6 possible sets from Table 1. The output of OWA presented OWA wide ranges and values for each designed biochar kiln.

Table 2 Trade-off selected Ordered Weighted Averaging Operators

OWA operators	Order weights	ANDness	ORness	Trade-off
MIN	1,0,0	1	0	0
	0.7,0.2,0.1	0.80	0.20	0.44
	0.5,0.3,0.2	0.65	0.35	0.74
Average	0.33,0.33,0.33	0.50	0.50	1
	0.2,0.3,0.5	0.35	0.65	0.74
	0.1,0.2,0.7	0.20	0.80	0.44
MAX	0,0,1	0	1	0

(Refer from Malczewski (1999))

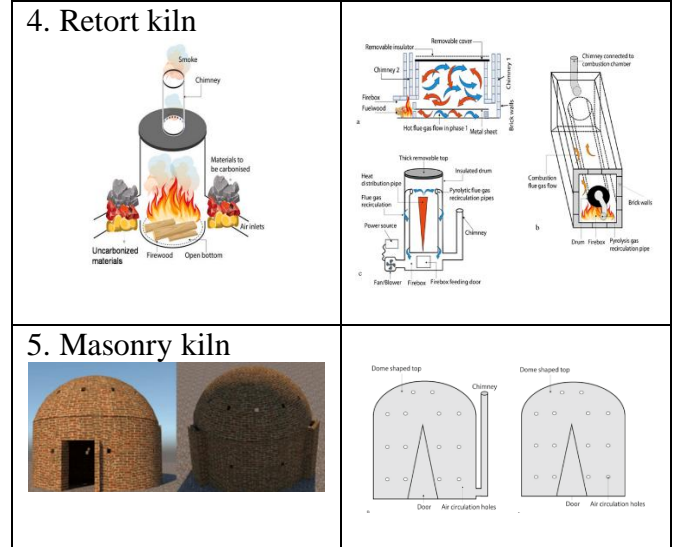
3. Results

3.1 The designed biochar kiln-based 3D model

Outputs of biochar kiln were designed by 3D model as Table 3.

Table 3 Types of designed biochar kiln-based 3D model

Outputs	Designing-based 3D
<p>1. Flame curtain kiln</p>	
<p>2. Drum kiln</p>	
<p>3. Pyrolytic top-lit updraft cookstoves (TLUC)</p>	



3.2 Ranking the suitable biochar kiln-based OWA

In this study, there were five designed biochar kilns that explicated by OWA range of the six possible sets as example in Fig.2.

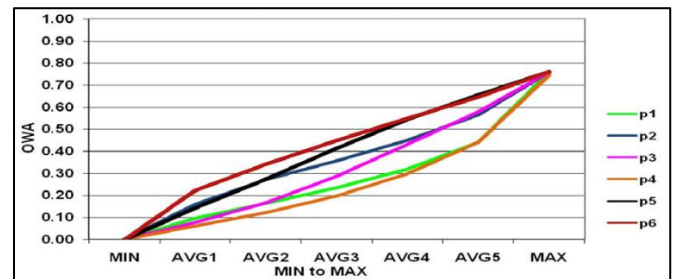


Fig. 2. OWA range-based 6 possible sets for retort kiln

This OWA wide range of each designed biochar kiln was taken by comparison to select the suitable biochar kiln-based OWA. The results were found that drum kiln is the first suitable biochar production while other appropriate designed types, respectively, are: TLUC, retort kiln, Flame curtain kiln and Masonry kiln. Consequently, drum kiln will be considered to implement in field at CPUVG of Phetchabun province, Thailand further.

Conclusions

This study proposes using the 3D model to design five types of biochar kiln (flame curtain kiln, Drum kiln, pyrolytic TLUC, retort kiln and masonry kiln). These designed biochar kilns were related to existing resource conditions of CPUVG. This study uses the 3D model from Autodesk Inventor Software for

helping design of biochar kiln prototype. And then cost-effectiveness of designed biochar kilns was evaluated by multi-criteria analysis-based OWA. In this work, we used three main factors: budget, feedstocks, construction materials to select most suitable the designed biochar kiln. Consequently, drum kiln will be considered to implement in field at CPUVG of Phetchabun province, Thailand further.

Acknowledgement

Very thank you for data of biochar production (feedstock or biomass waste and locally available construction materials) from Center for Promoting the Utilization of Vetiver Grass (CPUVG) of Forest Royal Department (FRD) under the Royal Initiative Project, Phetchabun province, Thailand. Thank you for Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan (www.rmuti.ac.th) that has supported programs and facilities for this study.

References

- [1] IBI “Why Biochar in Developing Countries” . Available from <https://biochar-international.org/about-biochar/biochar-in-developing-countries/>, assessed June 2024.
- [2] Y. Zhang, J. Wang, R. Feng “The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review”. *Catena*, 202, 105284, July 2021.
- [3] S. Khan, S. Irshad, K. Mehmood, Z. Hasnain, M. Nawaz, A. Rais, S. Gul, M.A. Wahid, A. Hashem, E.F.Abd_Allah, D. Ibrar “Production and Characteristics, Its Impacts on Soil Health, Crop Production, and Yield Enhancement: A Review”. *Biochar. Plants*, 13, 166, January 2024.
- [4] P. Srivatsav, B.S. Bhargav, V. Shanmugasundaram, J. Arun, K.P. Gopinath, A. Bhatnagar “Biochar as an Eco-Friendly and Economical Adsorbent for the Removal of Colorants (Dyes) from Aqueous Environment: A Review”. *Water*, 12, 3561, December 2020.
- [5] FAO “FAO's work on climate change”. Available from <https://www.fao.org/climate-change/en>, assessed June 2024.
- [6] Hu et al. “Biochar industry to circular economy”. *Science of The Total Environment*, 757, 25, 143820, February 2021.
- [7] J. Carvalho, L. Nascimento, M. Soares, N. Valério, A. Ribeiro, L. Faria, A. Silva, N. Pacheco, J. Araújo, C. Vilarinho “Life Cycle Assessment (LCA) of Biochar Production from a Circular Economy Perspective”. *Processes*, 10, 2684, February 2021.
- [8] T. Namaswa, D.F.R.P. Burslem, J. Smith “Emerging trends in appropriate kiln designs for small-scale biochar production in low to middle income countries”. *Bioresource Technology Reports*, 24, 101641, September 2023.
- [9] J. Malczewski, T. Chapman, C. Flegel, D. Walters, D. Shrubsole, M.A. Healy “GIS multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing watershed management strategies”. *Environment Planning*, 35(10), pp. 1769–1784, October 2003.
- [10] W. G. Stillwell, D. A. Seaver, W. Edwards “A comparison of weight approximation techniques in multi-attribute utility decision making”. *Organizational Behavior and Human Performance*, 28(1), pp. 62-77, August 1981.
- [11] J. Malczewski, C. Rinner “Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: A case study of residential quality evaluation”. *Journal of Geographic System*, 7(2), pp. 249–268, June 2005.
- [12] Y. Jantakat, S. Sarapirome, S. Ongsomwang, S., and P. Littidej “Risk ranking of road sections on highways using ordered weight averaging (OWA) Decision rule”, *Proceeding of Asian Conference on Remote Sensing (ACRS)*, 2010, pp. 411-416.

บทความทางด้านเทคโนโลยี
วิจัย นวัตกรรมและการจัดการ
(Technology, research, innovation
and management)

แนวทางการพัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้น แบบบูรณาการของกองทัพอากาศ

A Guideline for development of RTAF Multi-Layered IADS to response modern air threats

นาวาอากาศโท สมคะเน มีสะอาด

นาวาอากาศโท ยุทธการ ประเสริฐ

โรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาขีดความสามารถและแนวคิดการวางกำลังระบบป้องกันภัยทางอากาศ รวมถึงภัยคุกคามในมิติทางอากาศที่มีผลกระทบต่อการทำงานของกองทัพอากาศ เพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการที่เหมาะสมต่อกองทัพอากาศในการรับมือกับภัยคุกคามมิติทางอากาศสมัยใหม่ โดยวิธีดำเนินการวิจัยที่ใช้ในการศึกษา คือ วิธีการวิจัยเอกสาร (Documentary research) จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ซึ่งประกอบด้วยเอกสารราชการ ตำราต่าง ๆ เอกสารวิจัย บทความทางวิชาการ และแหล่งข้อมูลเปิดที่เป็นความจริงและมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและค้นคว้า ด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) เพื่อแยกแยะประเด็นที่เหมือนและแตกต่างกัน นำมาเป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการใช้แบบจำลองวงรอบการทำลายของระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบบูรณาการ (IADS Kill Chain Model) ทำการวิเคราะห์หาแนวทางการพัฒนาขีดความสามารถระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการของกองทัพอากาศเพื่อรับมือกับภัยคุกคามมิติทางอากาศสมัยใหม่อย่างเป็นระบบ ผลการศึกษาที่ได้รับจากวิเคราะห์ข้อมูล แสดงให้เห็นแนวทางการพัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศของกองทัพอากาศ ใน ๓ องค์ประกอบหลักสำคัญ ได้แก่ การเฝ้าตรวจทางอากาศ (Air Surveillance) การจัดการรบ (Battle Management) และการควบคุมระบบอาวุธ (Weapon Control) ในด้านขีดความสามารถ ด้านเทคโนโลยีและยุทธวิธี ซึ่งแนวทางการพัฒนาในแต่ละองค์ประกอบหลักสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับบริบทของกองทัพอากาศได้

คำสำคัญ: ระบบป้องกันภัยทางอากาศ, การเฝ้าตรวจทางอากาศ, อากาศยานไร้คนขับ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

จากภัยคุกคามทางทหารในมิติทางอากาศปัจจุบันที่มีการถูกนำมาใช้ในสถานการณ์ความขัดแย้งทั่วโลก อาทิ สถานการณ์ความขัดแย้งรัสเซีย-ยูเครน สถานการณ์ความขัดแย้งอิสราเอล-ฮามาสชี้ให้เห็นว่า ภัยคุกคามทางทหารมิติทางอากาศสมัยใหม่ เช่น อากาศยานที่ถูกตรวจพบได้ยาก (Low observable aircraft) อากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดรน (Drone) อาวุธปล่อยระยะไกล (Standoff-weapon) และจรวดนำวิถี (Missile) เป็นต้น ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในการทำสงครามมากขึ้น ซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการปฏิบัติการทางอากาศในการทำสงคราม

กองทัพอากาศ (ทอ.) มีภารกิจในการเตรียมกำลังกองทัพอากาศ ป้องกันราชอาณาจักรและดำเนินการเกี่ยวกับการใช้กำลังกองทัพอากาศ ตามอำนาจหน้าที่ที่ได้รับมอบจากกระทรวงกลาโหม (กห.) ตระหนักถึงการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบภัยคุกคามที่เกิดขึ้น ทำให้นโยบายของผู้บัญชาการทหารอากาศ ปี พ.ศ.๒๕๖๗ - ๒๕๖๘ ด้านยุทธการและการฝึก ข้อที่ ๓.๒ ได้กล่าวถึง การเสริมสร้างขีดความสามารถการป้องกันภัยทางอากาศแบบบูรณาการ (Integrated Air Defense System : IADS) ตลอดจนกำหนดกรอบการวิจัยและพัฒนา เพื่อให้ตอบสนองการใช้งานในภารกิจของกองทัพอากาศ (กองทัพอากาศ, ๒๕๖๖)

ทั้งนี้ หลักนิยมปฏิบัติการกองทัพอากาศ พ.ศ.๒๕๖๖ กล่าวถึง หลักการปฏิบัติการป้องกันทางอากาศเชิงรุกว่า เป็นการปฏิบัติการในการใช้กำลังเข้าต่อต้านกำลังทางอากาศของฝ่ายข้าศึกที่เข้าโจมตีทางอากาศ ไม่ว่าจะเป็นอากาศยานหรืออาวุธปล่อย โดยการปฏิบัติการป้องกันทางอากาศเชิงรุกเป็นจุดเริ่มการปฏิบัติการโดยฝ่ายเรา เช่น หน่วยบินขับไล่สกัดกั้นยุทธวิธี หน่วยบินค้นหาและแจ้งเตือน และหน่วยอาวุธต่อสู้อากาศยาน เป็นต้น (กองทัพอากาศ, ๒๕๖๖) ซึ่งตามแนวคิดในปัจจุบันยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากขีดความสามารถไม่ตอบสนองในการรับมือกับภัยคุกคามทางทหารมิติทางอากาศ และแนวความคิดการป้องกันทางอากาศ (Air Defense Concept of Operations : AD CONOPs) ของ ทอ. ยังไม่ได้กล่าวถึงแนวทางการปฏิบัติการเมื่อใช้ระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการ (กองทัพอากาศ, ๒๕๖๓)

๒. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- ๒.๑ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการ
- ๒.๒ เพื่อหาแนวทางการพัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการของ ทอ.

๓. แนวความคิดการป้องกันภัยทางอากาศของกองทัพอากาศ

๓.๑ แนวความคิดการควบคุมห้วงอากาศในการป้องกันภัยทางอากาศ

กำหนดเขตการยิงอิสระ รัศมี ๑๕ ไมล์ทะเล จากจุดกึ่งกลางของพื้นที่สำคัญ และมีความสูงจากพื้นดิน ๑๕,๐๐๐ ฟุต หรือระยะที่ได้รับการประสานระหว่างหน่วยปฏิบัติในกรณีที่หน่วยปฏิบัติมีขีดความสามารถของอาวุธที่มากกว่ากำหนด ซึ่งมีรัศมีเท่ากับระยะที่จะเกิดอันตรายของอาวุธต่อสู้อากาศยาน ก่อนเข้าสู่เขตการยิงอิสระ บ.จะบินผ่านเขต หรือแนววงกลมสมมติ ๒ เขตตามลำดับ (กองทัพอากาศ, ๒๕๖๓) คือ

- ๓.๑.๑ เขตการแจ้งเตือน (Warning Zone) เป็นเส้นวงกลมสมมติที่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ ๒๐ - ๓๐ ไมล์ทะเล
- ๓.๑.๒ เขตบินเลี้ยวออก (Break Away Zone) อยู่ระหว่างระยะ ๑๕ - ๒๐ ไมล์ทะเลจากจุดศูนย์กลาง ซึ่งเป็นเขตที่

บ.สกัดกั้นฝ่ายเราจะทำการบินเลี้ยวออกเพื่อไม่ให้วงเลี้ยวของตนเองเข้าไปอยู่เขตการยิงอิสระ ซึ่งเขตนี้เรียกว่า เขตกันชน (Buffer Zone)

๓.๒ หลักการในการป้องกันภัยทางอากาศ

หลักการในการป้องกันภัยทางอากาศเป็นหลักการในการพิจารณาขีดความสามารถในการป้องกันภัยทางอากาศของหน่วยประกอบไปด้วย ๓ ด้าน ดังนี้

- ๓.๒.๑ อำนาจการยิง (Fire Power)

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

๓.๒.๑.๑ ความแม่นยำ (Precision) เช่น การใช้ระบบอาวุธนำวิถีทำลายเป้าหมายที่ไกลเกินระยะสายตา และความสามารถในการปฏิบัติการในเวลากลางคืน เป็นต้น

๓.๒.๑.๒ ฐานยิง (Platform) เช่น ระบบต่อต้านอากาศยานไร้คนขับ ระบบป้องกันภัยทางอากาศระยะประชิด (Very Short Range Air Defense : V-SHORAD) ระบบป้องกันภัยทางอากาศระยะใกล้ (Short Range Air Defense : SHORAD) และระบบป้องกันภัยทางอากาศระยะใกล้ถึงปานกลาง (Medium to Short Range Air Defense : MEDSHORAD)

๓.๒.๒ ความคล่องตัว (Mobility) พิจารณาปัจจัย เช่น ระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบอัตโนมัติ (Mobile Air Defense Weapon) และหน่วยภาคพื้นอากาศโยธินเคลื่อนที่เร็ว (Rapid Deployment Force : RDF) เป็นต้น

๓.๒.๓ ความอยู่รอด (Survivability)

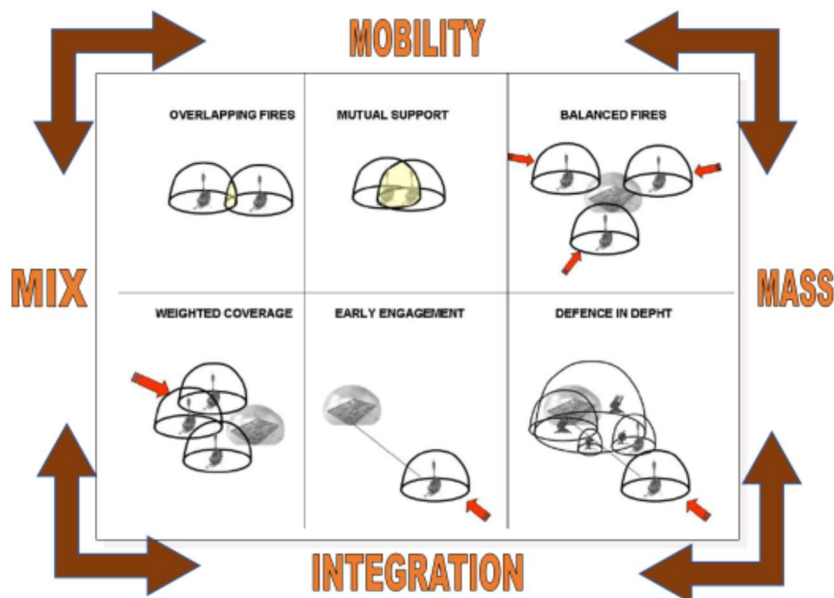
๓.๒.๓.๑ โครงสร้างการจัดของหน่วยที่เหมาะสม ทั้งในการเตรียมกำลัง และระบบใช้กำลังสอดคล้องกันทั้งกำลังพลและสิ่งยุทธโปกรณ์

๓.๒.๓.๒ การส่งกำลังบำรุง ต้องมีการส่งกำลังบำรุงตนเองในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถปฏิบัติการกิจได้อย่างสมบูรณ์

๓.๒.๓.๓ การป้องกันเชิงรับ คือขีดความสามารถในมาตรการที่กระทำเพื่อลดโอกาส ที่จะเกิดความเสียหายและเพื่อลดผลเสียหายที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการของข้าศึกให้เหลือน้อยที่สุด

๓.๓ แนวทางการใช้กำลังการป้องกันภัยทางอากาศ

เป็นแนวทางสำคัญที่ใช้ประกอบในการวิเคราะห์ภารกิจ เพื่อวิเคราะห์และจัดทำแผน การป้องกันภัยทางอากาศ ซึ่งแนวทางประกอบไปด้วย



ภาพที่ ๒ - ๒ แนวทางการใช้กำลังการป้องกันภัยทางอากาศ

ที่มา : กองทัพอากาศ, แนวความคิดการป้องกันภัยทางอากาศของกองทัพอากาศ (๒๕๖๓, ๑๖)

๓.๓.๑ การสนับสนุนซึ่งกันและกัน (Mutual Support and Overlapping Fires) สามารถทำการยิงสนับสนุนซึ่งกันและกันได้ ทำให้ไม่เกิดช่องว่างในการป้องกัน

๓.๓.๒ ป้องกันรอบตัว (Balanced Fires) สามารถป้องกันได้รอบตัวและมีอำนาจการยิงสมดุลทุกทิศทางของตำบลที่ทำการป้องกัน

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

๓.๓.๓ การวางน้ำหนักป้องกัน (Weighted Coverage) เพิ่มน้ำหนักการป้องกันไปยังทิศทางที่คาดว่าข้าศึกจะเข้ามาโจมตี

๓.๓.๔ การติดพันแต่เนิ่น (Early Engagement) วางระบบอาวุธต่อสู้อากาศยานเพื่อให้สามารถทำการติดพันได้ก่อนที่จะถึงระยะปลดอาวุธของ บ.ฝ่ายตรงข้าม

๓.๓.๕ การป้องกันทางลึก (Defense In Depth) วางระบบอาวุธต่อสู้อากาศยานเพื่อทำให้ บ.ฝ่ายตรงข้ามต้องเผชิญกับอำนาจการยิงที่มากขึ้น ในขณะที่ใช้เส้นทางเข้าโจมตีฝ่ายเรา

๔. ภัยคุกคามทางอากาศ

สามารถแบ่งประเภทภัยคุกคามทางอากาศได้เป็น ๔ ประเภทหลักประกอบด้วย อากาศยาน อากาศยานไร้คนขับ อากาศยานไร้คนขับเชิงพาณิชย์ อาวุธปล่อยและขีปนาวุธ (กองทัพอากาศ, ๒๕๖๓)

๔.๑ อากาศยาน

๔.๑.๑ แบ่งตามลักษณะของปีก แบ่งออกเป็น ๒ ประเภท ได้แก่ เครื่องบิน คืออากาศยานที่มีปีกติดกับลำตัว และเฮลิคอปเตอร์ คือ อากาศยานปีกหมุนรอบแนวตั้งฉากกับลำตัว

๔.๑.๒ แบ่งตามคุณลักษณะตามแบบกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ เครื่องบินโจมตี (Attack) เครื่องบินทิ้งระเบิด (Bomber) เครื่องบินลำเลียง (Cargo) เครื่องบินต่อต้านอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) เครื่องบินขับไล่ (Fighter) เฮลิคอปเตอร์ (Helicopter) เครื่องบินเติมน้ำมันกลางอากาศ (Tanker) เครื่องบินตรวจการณ์ (Observation) เครื่องบินลาดตระเวนรบ (Patrol) เครื่องบินลาดตระเวน (Reconnaissance) เครื่องบินยุทธศาสตร์ (Strategic) เครื่องบินฝึก (Trainer) เครื่องบินใช้งานทั่วไป (Utility) เครื่องบินขึ้นลงทางตั้ง (Vertical) เครื่องบินทดลอง (Experimental) และเครื่องบินต้นแบบ (Prototype)

๔.๑.๓ แบ่งตามผู้ออกแบบ/บริษัทสร้างตามแบบของกองทัพโซเวียต เช่น เครื่องบินลำเลียง (Antonov) เฮลิคอปเตอร์ (Mil) เครื่องบินขับไล่ (Mikoyan, Sukhoi) เครื่องบินทิ้งระเบิด ลาดตระเวน ลำเลียงหรือขับไล่ (Tupolev, Yakolev) เป็นต้น

๔.๑.๔ การแบ่งอากาศยานที่เป็นเครื่องบินขับไล่ตามยุค หรือ Generation เช่น เครื่องบินขับไล่ยุคแรก (พ.ศ.๒๔๘๘ - ๒๔๙๘) เครื่องบินขับไล่ยุคที่ ๒ (พ.ศ.๒๔๙๘ - ๒๕๐๓) เครื่องบินขับไล่ยุคที่ ๓ (พ.ศ.๒๕๐๓ - ๒๕๑๓) เครื่องบินขับไล่ยุคที่ ๔ (พ.ศ.๒๕๑๓ - ๒๕๓๓) เครื่องบินขับไล่ยุคที่ ๔.๕ (พ.ศ.๒๕๓๓ - ๒๕๔๓) และเครื่องบินขับไล่ยุคที่ ๕ (พ.ศ.๒๕๔๓ - ปัจจุบัน) เป็นต้น

๔.๑.๕ เทคนิคการปล่อยอาวุธของ บ.ขับไล่ทิ้งระเบิด เครื่องบินโจมตีต่อเป้าหมายพื้นดินสามารถใช้วิธีการปล่อยอาวุธได้ดังนี้

๔.๑.๕.๑ การทิ้งระเบิดระดับสูง (High-Altitude)

๔.๑.๕.๒ การดำทิ้งระเบิด (Dive)

๔.๑.๕.๓ การทิ้งระเบิดระดับต่ำ (Low-Altitude)

๔.๑.๕.๔ การโจมตีระยะไกล (Standoff)

๔.๑.๕.๕ เทคนิคการบินไต่ขึ้นสูง (Pop-Up)

๔.๑.๕.๖ การทิ้งระเบิดแบบปล่อยลง (Lay-Down)

๔.๑.๖ การโจมตีด้วยเฮลิคอปเตอร์ (Attack Helicopter) จะใช้การบินไปด้วยความสูงต่ำและมักจะบินลัดเลาะไประหว่างต้นไม้หรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ใช้ที่กำบังจากภูมิประเทศ โดยซ่อนตัวอยู่เบื้องหลังภูมิประเทศซึ่งยากที่จะติดตามด้วยเรดาร์

๔.๒ อากาศยานไร้คนขับ

๔.๒.๑ ประเภทอากาศยานไร้คนขับของ North Atlantic Treaty Organization (NATO) โดยแบ่งออกเป็น ๓ Class ตามน้ำหนักและเพดานบิน ได้แก่ Class I น้ำหนักต่ำกว่า ๑๕๐ กิโลกรัมและเพดานบินไม่เกิน ๕,๐๐๐ ฟุต Class II น้ำหนัก

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ระหว่าง ๑๕๐ - ๖๐๐ กิโลกรัม เพดานบินไม่เกิน ๑๐,๐๐๐ ฟุต จำเป็นต้องได้รับการรับรองจาก NATO และ Class III น้ำหนักเกินกว่า ๖๐๐ กิโลกรัม เพดานบินไม่เกิน ๖๕,๐๐๐ ฟุต

๔.๒.๒ การแบ่งอากาศยานไร้คนขับทางทหารตามกระทรวงกลาโหมสหรัฐ (Department of Defense : DOD) โดยแบ่งตามน้ำหนักและเพดานบินออกเป็น ๕ กลุ่ม กลุ่มที่ ๑ น้ำหนักไม่เกิน ๒๐ ปอนด์และเพดานบินไม่เกิน ๑,๒๐๐ ฟุต กลุ่มที่ ๒ น้ำหนักระหว่าง ๒๑ - ๕๕ ปอนด์ และเพดานบิน ไม่เกิน ๓,๕๐๐ ฟุต กลุ่มที่ ๓ น้ำหนักไม่เกิน ๑,๓๒๐ ปอนด์ และเพดานบินไม่เกิน ๑๘,๐๐๐ ฟุต กลุ่มที่ ๔ น้ำหนักเกิน ๑,๓๒๐ ปอนด์ และเพดานบินไม่เกิน ๑๘,๐๐๐ ฟุต และกลุ่มที่ ๕ น้ำหนักเกิน ๑,๓๒๐ ปอนด์ และเพดานบินเกิน ๑๘,๐๐๐ ฟุต

๔.๒.๓ การแบ่งประเภทตามการใช้งาน เช่น เป้าทดสอบและเป้าลวง ลาดตระเวน ภารกิจ ISR, BDA, SAR เป็นต้น ใช้ในการรบ โดยมีขีดความสามารถในการใช้อาวุธต่อเป้าหมาย เพื่อรองรับภารกิจที่มีความเสี่ยงสูง เช่น การใช้อาวุธโจมตี การพุ่งชนเป้าหมาย ส่งกำลังบำรุง เป็นต้น ใช้ในการลำเลียงส่งสิ่งของ งานวิจัยใช้ในการพัฒนาและวิจัยเทคโนโลยีทาง UAV การใช้งานทางพลเรือน เช่น การเกษตร การถ่ายภาพทางอากาศ การถ่ายทำภาพยนตร์ และการรวบรวมข้อมูล เป็นต้น

๔.๒.๔ การแบ่งประเภทตามเอกสารแนวความคิดอากาศยานไร้คนขับของกองทัพอากาศ แบ่งออกเป็น ๒ กลุ่ม กลุ่มที่ ๑ อากาศยานไร้คนขับที่มีระบบซับซ้อนเชิงเทคนิค ต้องการสนามบินเพื่อขึ้นลง ต้องการแผนและแนวทางการส่งกำลังบำรุงเป็นระบบ มีขีดความสามารถปฏิบัติการระยะไกล มีผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นวงกว้างหากเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติการณ์ และกลุ่มที่ ๒ อากาศยานไร้คนขับที่มีระบบไม่ซับซ้อน ไม่ต้องการสนามบินเพื่อขึ้นลง ใช้งานและซ่อมบำรุงไม่ยุ่งยากมีสมรรถนะและขีดความสามารถจำกัด ปฏิบัติการได้ในระยะใกล้ มีผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สิน ในวงจำกัดหากเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติการณ์

๔.๓ อากาศยานไร้คนขับเชิงพาณิชย์

๔.๓.๑ ประเภทอากาศยานไร้คนขับเชิงพาณิชย์ที่มีจำหน่ายส่วนใหญ่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น ๒ ประเภท ได้แก่ อากาศยานไร้คนขับเชิงพาณิชย์แบบพร้อมใช้งาน (Ready to Fly) และอากาศยานไร้คนขับเชิงพาณิชย์ประกอบเอง (Build and Fly)

๔.๓.๒ หลักเกณฑ์การอนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ.๒๕๕๘ โดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย โดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้อากาศยานไร้คนขับเชิงพาณิชย์และขนาดเป็นสำคัญ ดังนี้ ประเภท ๑ ใช้เพื่อการเป็นงานอดิเรก บันทึกรายการกีฬา น้ำหนักไม่เกิน ๒ กิโลกรัม ไม่ต้องขึ้นทะเบียน หากน้ำหนักเกิน ๒ กิโลกรัม แต่ไม่เกิน ๒๕ กิโลกรัม ต้องขึ้นทะเบียน ประเภทที่ ๒ ใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์อื่น เช่น รายงานข่าว รายการโทรทัศน์หรือภาพยนตร์ วิจัยและพัฒนาอากาศยาน หรือเพื่อการอื่น ๆ ขนาดไม่เกิน ๒๕ กิโลกรัม ต้องขออนุญาตรัฐมนตรีว่าการกระทรวงคมนาคม ก่อนขึ้นทะเบียน โดยมีวงรอบ ๒ ปี หากเกิน ๒๕ กิโลกรัม ผู้บังคับหรือผู้ปล่อยอากาศยานต้องยื่นขออนุญาตจากรัฐมนตรีว่าการกระทรวงคมนาคมเป็นรายกรณีไป

๔.๓.๓ การควบคุมอากาศยานไร้คนขับเชิงพาณิชย์แบ่งตามระยะได้ดังนี้ ระยะใกล้ ไม่เกิน ๒๐ เมตร ระยะกลางเกิน ๒๐ เมตร แต่ไม่เกิน ๗๕ กิโลเมตร และระยะไกลเกินระยะ ๗๕ กิโลเมตรขึ้นไป

๔.๔ อากาศปล่อยและชิปนาวิ

๔.๔.๑ ลูกกระเบิดอากาศ เป็นอาวุธตามแบบมีรูปร่างทรงกระบอก ลำตัวลูกกระเบิดส่วนใหญ่ ทำด้วยเหล็ก ภายในบรรจุด้วยวัตถุระเบิด สารเคมีหรือวัตถุอื่นตามต้องการ เมื่อปล่อยลูกกระเบิดอากาศออกจากอากาศยาน ลูกกระเบิดอากาศจะวิ่งเข้าสู่เป้าหมายด้วยแรงเฉื่อย โดยสามารถกำหนดการระเบิดได้ตามความต้องการ โดยการเลือกใช้และตั้งค่าชนวนลูกกระเบิดอากาศที่มีความเหมาะสมกับภารกิจ ระยะและความแม่นยำของลูกกระเบิดอากาศขึ้นอยู่กับระบบของอากาศยานและความชำนาญของนักบิน

๔.๔.๒ ลูกกระเบิดอากาศที่ติดตั้งชุดนำวิถี เป็นลูกกระเบิดอากาศที่ถูกเพิ่มความแม่นยำ โดยการติดตั้งชุดนำวิถีจัดเป็นอาวุธฉลาด (Smart Weapon) อาวุธชนิดนี้จะเข้าทำลายเป้าหมายตามสัญญาณที่ได้รับจากชุดนำวิถี เช่น นำวิถีด้วยแสงเลเซอร์ นำวิถีด้วยพิกัดจากระบบ GPS อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อจำกัดด้านระยะเนื่องจากยังอาศัยแรงเฉื่อยจากอากาศยานในการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

๔.๔.๓ อวูรปล่อยนำวิถี เป็นอวูรโจมตีเป้าหมายภาคพื้นที่มีระยะไกลโดยมีแรงขับในตนเอง อีกทั้งมีความแม่นยำจากชุดนำวิถี เช่น Inertial Navigation System (INS) หรือ GPS ทำให้โดยทั่วไปมีระยะในการทำลายเป้าหมายถึง ๓๐ - ๑๐๐ กิโลเมตร เป็นต้น

๔.๔.๔ ซีปนาวุธ (Ballistic Missile) เป็นอวูรพื้นผิวสู่พื้นผิว (Surface to Surface) มีพิสัย ในการทำลายระยะไกล ในการยิงแบ่งออกเป็น ๓ ระยะ ระยะแรกจะเป็นการส่งซีปนาวุธขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ เมื่อถึงชั้นอวกาศแล้วจะเข้าสู่ระยะที่ ๒ ซีปนาวุธจะเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้งในห้วงอวกาศ และระยะที่ ๓ เมื่อเข้าใกล้เป้าหมายซีปนาวุธจะกลับเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ และเคลื่อนที่ด้วยความเร่งจากแรงโน้มถ่วงเข้าทำลายเป้าหมาย อาจมีการปล่อยหัวรบลง หรือกระจายหัวรบออกเป็นหลายส่วนเพื่อครอบคลุมพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งยากแก่การป้องกัน

๔.๔.๕ จรวด กระสุนปืนใหญ่ และกระสุนเครื่องยิงลูกระเบิด เป็นอวูรใช้ทำลายเป้าหมายระยะไกล ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาให้มีความแม่นยำ โดยจรวด คืออวูรพุ่งชนิดหนึ่งที่ได้โดยแรงขับ แต่ไม่มีระบบการนำวิถีในตัวเอง โดยความแม่นยำขึ้นอยู่กับกระสุนปืนใหญ่และกระสุนเครื่องยิงลูกระเบิดมีลักษณะคล้ายกัน เป็นการยิงด้วยวิถีโค้งจากเครื่องยิง อาศัยการขับเคลื่อนจากแรงระเบิดของดินขับ โดยกระสุนปืนใหญ่มีอำนาจการทำลายสูงกว่ากระสุนเครื่องยิงลูกระเบิด ขณะที่เครื่องยิงลูกระเบิดสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและรวดเร็วกว่า

จากการศึกษาค้นคว้าระบบป้องกันภัยทางอากาศของรัสเซีย อิสราเอล และสิงคโปร์ ซึ่งมีความแตกต่างกันเช่น รัสเซียเน้นป้องกันพื้นที่ขนาดใหญ่ ทำให้ต้องแบ่งกำลังออกเป็น ส่วน ๆ รับผิดชอบแต่ละพื้นที่ มีการจัดสรรยุทธโศปกรณ์ในการป้องกันภัยทางอากาศในแต่ละพื้นที่ ถึงแม้ว่า จะไม่มีข้อมูลลำดับขั้นของการวางระบบป้องกันภัยทางอากาศที่ชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาจากชนิด ของระบบป้องกันภัยทางอากาศในแต่ละพื้นที่ เช่น S-400, S-300, SA-17, SA-15 และ Pantsir-S1 ก็ทำให้ทราบได้ชัดเจนว่า มีการวางระบบป้องกันภัยทางอากาศเป็นลำดับขั้นอย่างแน่นอน มีการบูรณาการร่วมกันระหว่างส่วนลาดตระเวนทางอากาศและแจ้งเตือน ส่วนบัญชาการ และส่วนของอวูรต่อต้าน ภายใต้เครือข่ายการรายงาน สั่งการและการบังคับบัญชา ในขณะที่อิสราเอล เป็นการป้องกันพื้นที่ขนาดเล็ก และภัยคุกคามเป็นอวูรปล่อยและซีปนาวุธเป็นหลัก ทำให้มีการวางระบบป้องกันภัยทางอากาศ ที่มีขีดความสามารถในการรับมือกับอวูรปล่อยและซีปนาวุธในทุกลำดับขั้น ซึ่งเป็นการลงทุนที่ใช้งบประมาณสูงและอาจต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการสกัดกั้นภัยคุกคามแต่ละครั้งสูงตามมามากด้วยเช่นกัน แต่ก็ทำให้สามารถเชื่อมั่นได้ว่าจะสามารถป้องกันภัยคุกคามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนของสิงคโปร์เป็นการนำเอาระบบป้องกันภัยเดิมที่ทำงานแยกกัน มาปรับปรุงด้วยการพัฒนาระบบเครือข่ายการรบและระบบจัดการการรบ จนเกิดการบูรณาการร่วมกันระหว่างระบบลาดตระเวนทางอากาศ ระบบจัดการการรบ และระบบควบคุมอวูร บนเครือข่ายการรบที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันภัยทางอากาศ ทำให้เพิ่มขีดความสามารถของระบบเดิม นอกจากนี้ยังมีการกำหนดลำดับขั้นของการป้องกันที่ชัดเจน

เมื่อพิจารณาจากแนวคิดการวางระบบป้องกันภัยทางอากาศของทั้ง ๓ ประเทศ แล้วนั้น จะเห็นได้ว่า ปัจจัยหลักในการวางระบบป้องกันภัยทางอากาศมีด้วยกัน ๓ ประการ ดังนี้ ๑) ขนาดของพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน เป็นปัจจัยกำหนดลักษณะของการวางกำลัง หากพื้นที่มีขนาดใหญ่มาก อาจต้องแบ่งกำลังเป็นส่วน ๆ เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ ๒) ชนิดและรูปแบบของภัยคุกคามที่อาจต้องเผชิญ เป็นปัจจัยที่กำหนดขีดความสามารถของระบบตรวจจับและระบบอวูรต่อต้านเพื่อให้สามารถป้องกันภัยทางอากาศที่ต้องการได้ และ ๓) ความสามารถในการพัฒนาหรือเข้าถึงเทคโนโลยีสำหรับโครงสร้างพื้นฐานของระบบ เช่น การพัฒนาให้สามารถส่งข้อมูลจากยุทธโศปกรณ์หลากหลายชนิด ลงไปในเครือข่ายการรบเดียวกันได้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการบูรณาการระบบป้องกันภัยทางอากาศ เป็นต้น

๕. ภัยคุกคามมิติทางอากาศที่มีผลต่อการปฏิบัติของกองทัพอากาศ

จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาสามารถแบ่งภัยคุกคามมิติทางอากาศตามลักษณะออกได้เป็น ๔ กลุ่มหลัก คือ ๑) อากาศยาน ๒) อากาศยานไร้คนขับ ๓) อวูรปล่อยและซีปนาวุธ และ ๔) จรวด กระสุนปืนใหญ่ และกระสุนเครื่องยิงลูกระเบิด ในการพิจารณาถึง

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ภัยคุกคามที่มีผลต่อการปฏิบัติของกองทัพอากาศ เป็นการพิจารณาจากขีดความสามารถของประเทศในภูมิภาคเดียวกัน โดยสรุป ภัยคุกคามมิติทางอากาศได้ดังนี้

๕.๑ อากาศยานที่ถูกตรวจพบได้ยาก (Low observation aircraft) อากาศยานในกลุ่มนี้เป็นอากาศยานในยุคที่ ๕ ที่มีประจำการในภูมิภาคและเป็นภัยคุกคามที่อาจเล็ดลอดระบบป้องกันภัยทางอากาศเข้าโจมตีเป้าหมายที่ตั้งของฝ่ายเราได้ โดยภัยคุกคามในกลุ่มนี้นั้นถึงแม้ว่าจะมีขีดความสามารถสูง แต่โอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติการของ ทอ. ในสภาวะปัจจุบันอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากปัจจุบันมีเพียงไม่กี่ประเทศในภูมิภาคที่มีอากาศยานกลุ่มนี้เข้าประจำการ อย่างไรก็ตาม ภัยคุกคามนี้ยังเป็นข้อจำกัดของระบบป้องกันภัยทางอากาศของกองทัพอากาศ

๕.๒ อากาศยานไร้คนขับขนาดกลางและขนาดเล็ก (น้ำหนักน้อยกว่า ๖๐๐ กก.) อากาศยานไร้คนขับในกลุ่มนี้สามารถนำมาใช้เพื่อการทหารได้ ในขณะเดียวกันระบบตรวจจับอากาศยานปกติอาจไม่สามารถตรวจจับได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าอากาศยานปกติ รวมไปถึงการทำลายภัยคุกคามกลุ่มนี้จำเป็นต้องใช้ระบบอาวุธที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ

๕.๓ อาวุธปล่อยอากาศสู่พื้น เป็นภัยคุกคามที่มีผลต่อการปฏิบัติของกองทัพอากาศ เนื่องจากอาวุธชนิดนี้มีระยะในการยิงที่หวังผลได้ในระยะไกล (๑๐ - ๔๐๐ ไมล์ทะเล) และไม่สามารถใช้อากาศยาน ในการสกัดกั้นและทำลายภัยคุกคามนี้ได้ทั้งหมด

๕.๔ ซีปนาวุธพิสัยไกล (พิสัยยังไม่เกิน ๑,๐๐๐ กม.) แม้ว่าภัยคุกคามชนิดนี้จะไม่ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในภูมิภาค แต่หากถูกใช้งานเพื่อโจมตีเป้าหมายทางยุทธศาสตร์ของฝ่ายเราจะเกิดผลกระทบต่อปฏิบัติการปฏิบัติของกองทัพอากาศได้ในระดับสูงหากกองทัพอากาศไม่มีขีดความสามารถในการป้องกัน

เมื่อวิเคราะห์จากภัยคุกคามมิติทางอากาศทั้ง ๔ แล้วนั้น ภัยคุกคามที่มีผลต่อการปฏิบัติของกองทัพอากาศที่ควรให้ความสำคัญอย่างยิ่ง มี ๒ กลุ่ม คือ ๑) อากาศยานไร้คนขับขนาดกลางและขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นอาวุธที่มีต้นทุนต่ำ พัฒนาได้ง่ายสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย จึงมีโอกาที่จะถูกใช้งานในสงครามสูง แม้ว่าจะมีขีดความสามารถด้านอำนาจการโจมตีที่ไม่สูงนัก แต่หากใช้ในจำนวนมาก อาจทำให้ป้องกันได้ยากและส่งผลกระทบต่อปฏิบัติการปฏิบัติของกองทัพอากาศได้ ๒) อาวุธปล่อยอากาศสู่พื้น เป็นอาวุธที่มีอำนาจการทำลายสูงและมีระยะการโจมตีไกล มีประจำการหลายประเทศในภูมิภาค เมื่อถูกโจมตีด้วยอาวุธชนิดนี้ต่อเป้าหมายสำคัญ อาจทำให้เกิดความเสียหายซึ่งมีผลกระทบเป็นวงกว้าง และส่งผลกระทบต่อปฏิบัติการปฏิบัติของกองทัพอากาศในระดับสูงได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีขีดความสามารถในการป้องกันภัยดังกล่าว

ผลการวิจัยและสรุปผล

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์เนื้อหาทั้งในส่วนของหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการ แนวความคิดระบบป้องกันภัยทางอากาศของต่างประเทศ และภัยคุกคามมิติทางอากาศที่มีผลต่อการปฏิบัติของกองทัพอากาศ แล้วนั้น จึงนำแบบจำลองวงรอบการทำลายของระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบบูรณาการ (IADS Kill Chain Model) มาใช้เพื่อวิเคราะห์แนวทาง การพัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการของกองทัพอากาศ ในการรับมือกับภัยคุกคามที่มีผลต่อการปฏิบัติของกองทัพอากาศ สรุปได้ดังนี้

๑. การเฝ้าตรวจทางอากาศ (Air surveillance) ต้องมีขีดความสามารถในการตรวจจับ (Detect) อาวุธปล่อยและซีปนาวุธ รวมทั้งอากาศยานไร้คนขับขนาดกลางและขนาดเล็ก และควรมีความสามารถในการตรวจจับอากาศยานที่ถูกตรวจจับได้ยากสามารถนำข้อมูลการตรวจจับส่งต่อไปยังเครือข่ายการรบได้ (Initiate) สามารถพิสูจน์ฝ่าย (Identify) หรือทราบตำแหน่งของอากาศยานฝ่ายเดียวกันได้ทั้งหมด และสามารถพิสูจน์ฝ่ายและทราบชนิดของภัยคุกคามได้ รวมถึงสามารถพิสูจน์ฝ่ายอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กได้ มีการวางตำแหน่งให้รัศมีการตรวจจับมีความทับซ้อนกันในพื้นที่เฝ้าระวังระหว่างอุปกรณ์การตรวจจับ เพื่อให้สามารถใช้อุปกรณ์การตรวจจับในการเชื่อมโยงเป้าหมายได้ (Correlate) มีการวางระบบการเฝ้าตรวจแบบเคลื่อนที่ในจุดที่ระบบหลักไม่สามารถตรวจจับได้ เพื่อให้สามารถรักษาการติดตามเป้าหมายไว้ได้ (Maintain) ซึ่งปัจจุบันระบบป้องกันภัยทางอากาศของกองทัพอากาศใช้เรดาร์ภาคพื้นคงที่ (Fixed ground-based radar) เป็นระบบหลักในการเฝ้าตรวจ ระบบนี้มีข้อดีคือ ครอบคลุม

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

พื้นที่การเฝ้าตรวจเป็นวงกว้างและมีระยะการตรวจจับที่ไกล แต่มีข้อจำกัดในการตรวจจับเป้าหมายที่ใช้ความสูงต่ำและไม่สามารถทำการเคลื่อนย้ายระบบได้ นอกเหนือจากระบบหลักนั้นกองทัพอากาศใช้เรดาร์ภาคพื้นเคลื่อนที่ (Mobile ground-based radar) ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งในพื้นที่ที่ระบบหลักไม่สามารถเฝ้าตรวจได้ (Gap filling) แต่เรดาร์ชนิดนี้มีข้อจำกัดคือ ระยะการเฝ้าตรวจสั้นและต้องพึ่งพาการส่งกำลังบำรุง รวมไปถึงมีการใช้เรดาร์แจ้งเตือนล่วงหน้าทางอากาศ (Airborne early warning radar) ที่ช่วยในการเฝ้าตรวจเป้าหมายที่ใช้ความสูงต่ำเพื่อเล็ดลอดระบบการเฝ้าตรวจ แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถเฝ้าตรวจอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาได้ ซึ่งเรดาร์เฝ้าตรวจทั้ง ๓ ชนิดนั้นถูกออกแบบมาเพื่อใช้ตรวจจับอากาศยานทั่วไป ทำให้มีข้อจำกัดในการตรวจจับภัยคุกคามบางกลุ่ม เช่น อากาศยานที่ถูกตรวจพบได้ยาก อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กและกลาง อากาศพลอย และ ชิปนาวุธ เป็นต้น โดยระบบการเฝ้าตรวจส่วนใหญ่สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังเครือข่ายการรบได้โดยอัตโนมัติ แต่มีบางส่วนที่ต้องส่งต่อข้อมูลด้วยกำลังพล มีความสามารถในการพิสูจน์ฝ่ายด้วยระบบ Identification Friend or Foe (IFF) และการพิสูจน์ฝ่ายด้วยขั้นตอนการปฏิบัติ (Procedural identification) มีขีดความสามารถในการเชื่อมโยงเป้าหมายและติดตามเป้าหมายได้ในระบบการเฝ้าตรวจหลัก

๒. การจัดการรบ (Battle management) มีกระบวนการในการประเมินภัยคุกคาม (Threat evaluation) ที่จะเกิดขึ้นหลังจากได้รับข้อมูลการตรวจพบและยืนยันภัยคุกคามดังกล่าว มีการตัดสินใจในการใช้การต่อต้านกับภัยคุกคาม (Engagement decision) มีการเลือกชนิดอาวุธ (Weapon type selection) ที่จะใช้ต่อต้านกับภัยคุกคามอย่างเหมาะสมและคุ้มค่า และมีกระบวนการในการยืนยันและอนุญาตให้ใช้การต่อต้าน (Engagement authority) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้อาจเกิดขึ้นในระดับพื้นที่การป้องกันหรือเกิดจากการประเมินและสั่งการโดยส่วนบัญชาการก็ได้ อีกทั้งในบางกระบวนการอาจมีระบบคอมพิวเตอร์ในการประเมินหรือเลือกชนิดของอาวุธแบบอัตโนมัติได้ กองทัพอากาศมีระบบการจัดการการรบผ่านโครงสร้างการใช้อากาศทางอากาศของศูนย์ยุทธการทางอากาศ (ศยอ.) มีขั้นตอนในการประเมินภัยคุกคาม การตัดสินใจ การเลือกชนิดอาวุธ และการยืนยันเพื่ออนุญาตให้ทำการต่อต้าน แต่ขั้นตอนทั้งหมดกระทำโดยกำลังพลในห้องบัญชาการควบคุม จึงมีข้อจำกัดที่อาจทำให้เกิดความผิดพลาดหากต้องดำเนินการตามขั้นตอนทั้งหมดภายใต้เวลาที่จำกัด

๓. การควบคุมระบบอาวุธ (Weapon control) จะต้องมีการวางระบบอาวุธให้สอดคล้องกับภัยคุกคามที่คาดว่าจะปรากฏในพื้นที่ป้องกัน ควรมีขีดความสามารถในการต่อต้านอาวุธพลอยและชิปนาวุธ ระบบอาวุธแต่ละส่วนจะต้องสามารถเชื่อมต่อข้อมูลกันได้ มีการจับคู่ระบบอาวุธยิงที่เหมาะสมในการต่อต้าน (Weapon pairing) มีการรับมอบเป้าหมาย (Acquiring) การติดตามเป้าหมาย (Tracking) การนำวิถี (Guiding) การทำลาย (Killing) และการประเมินผล (Assessing) และสามารถส่งข้อมูลกลับเข้าสู่ระบบเครือข่ายได้ การวางระบบอาวุธต้องคำนึงถึงลำดับขั้นของการป้องกันกับระยะที่ภัยคุกคามอาจสร้างความเสียหายให้กับฝ่ายเราได้ การกำหนดเขตการยิงอิสระต้องไม่เป็นการจำกัดการปฏิบัติการของฝ่ายเดียวกัน ปัจจุบันกองทัพอากาศมีขั้นตอนการจับคู่ระบบอาวุธยิงผ่านศูนย์ปฏิบัติการหรือศูนย์บัญชาการของหน่วยในพื้นที่ที่มีระบบอาวุธตั้งอยู่ มีขั้นตอนการรับมอบเป้าหมาย การติดตามเป้าหมาย การนำวิถี การทำลาย และการประเมินผล โดยหน่วยยิง ซึ่งการดำเนินการตามขั้นตอนดังกล่าวนี้ ใช้การส่งต่อข้อมูลด้วยเสียงผ่านระบบวิทยุสื่อสารโดยกำลังพล จึงมีข้อจำกัดในการปฏิบัติหากต้องรับมือกับภัยคุกคามจำนวนมากในเวลาเดียวกัน เช่น อากาศยานจำนวนมากหลายลำที่เข้าโจมตีจากหลายทิศทาง นอกจากนั้นขีดความสามารถในการทำลายยังมีข้อจำกัดในด้านของอำนาจการยิงของระบบต่อต้านจากจุดที่ป้องกันหรือวางกำลังมีระยะสั้น (๓๐ กิโลเมตร) และไม่ตอบสนองในการใช้งานเพื่อต่อต้านอาวุธพลอย ชิปนาวุธ และอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กถึงขนาดกลาง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ขีดความสามารถของระบบป้องกันภัยทางอากาศที่ตอบสนองต่อภัยคุกคามมิติทางอากาศสมัยใหม่และขีดความสามารถซึ่งเป็นข้อจำกัดของกองทัพอากาศในปัจจุบันสามารถสรุปได้เป็นตารางรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ ๑ การวิเคราะห์ขีดความสามารถระบบป้องกันภัยทางอากาศด้วย IADS Kill Chain

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

IADS Kill Chain Model	ขีดความสามารถที่ตอบสนองภัยคุกคาม มิติทางอากาศ	ขีดความสามารถซึ่งเป็นข้อจำกัดของ กองทัพอากาศ
การเฝ้าตรวจทางอากาศ (Air surveillance)	<ul style="list-style-type: none"> - ตรวจจับอาวุธปล่อย ขีปนาวุธ อากาศยาน ไร้คนขับขนาดกลางและขนาดเล็ก - ส่งต่อข้อมูล พิสูจน์ฝ่าย ผ่านระบบเครือข่ายป้องกันทางอากาศหลัก - เชื่อมโยงเป้าหมายด้วยข้อมูลจากหลายแหล่งตรวจจับ - ติดตามเป้าหมายในพื้นที่ที่ต้องการเฝ้าตรวจได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - การตรวจจับอาวุธปล่อย ขีปนาวุธ อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก - การส่งต่อข้อมูลการตรวจจับบางส่วนต้องใช้กำลังพลในการดำเนินการ - การพิสูจน์ฝ่ายอากาศยาน ไร้คนขับขนาดเล็กของหน่วยเฝ้าตรวจในพื้นที่
การจัดการการรบ (Battle management)	<ul style="list-style-type: none"> - มีขั้นตอนการประเมินภัยคุกคาม การตัดสินใจ การเลือกชนิดอาวุธ และการยืนยันเพื่ออนุญาตในการต่อต้าน 	<ul style="list-style-type: none"> - ขั้นตอนการจัดการการรบกระทำโดยใช้ขีดความสามารถของกำลังพล ทำให้มีโอกาสผิดพลาดเมื่อต้องดำเนินการภายใต้เวลาที่จำกัด
การควบคุมระบบอาวุธ (Weapon Control)	<ul style="list-style-type: none"> - มีการวางระบบอาวุธให้สอดคล้องกับภัยคุกคามที่คาดว่าจะปรากฏในพื้นที่ป้องกัน - ระบบอาวุธแต่ละส่วนจะต้องสามารถเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างกันและเชื่อมต่อกับเครือข่ายป้องกันภัยหลักได้ - มีขั้นตอนการจับคู่ระบบอาวุธยิง การรับมอบเป้าหมาย การติดพันเป้าหมาย การนำวิถี การทำลาย และการประเมินผล 	<ul style="list-style-type: none"> - อำนาจการทำลายไกลที่สุดจากจุดวางกำลังมีระยะสั้น - ขีดความสามารถในการทำลายมีข้อจำกัดไม่ตอบสนองภัยคุกคาม - ใช้การส่งต่อข้อมูลด้วยเสียงผ่านระบบวิทยุสื่อสารโดยใช้กำลังพลในการประสานในแต่ละขั้นตอน

๑. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการของกองทัพอากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาขีดความสามารถและแนวคิดการวางกำลังระบบป้องกันภัยทางอากาศ รวมถึงภัยคุกคามในมิติทางอากาศที่มีผลกระทบต่อการทำงานของกองทัพอากาศ โดยการรวบรวมข้อมูลและเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง นำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) และแบบจำลองวงรอบการทำลายของระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบบูรณาการ (IADS Kill Chain Model) เป็นเครื่องมือในการวิจัยเพื่อหาคำตอบว่า แนวทางการพัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการในการรับมือกับภัยคุกคามมิติทางอากาศสมัยใหม่ที่ส่งผลกระทบต่อปฏิบัติการของกองทัพอากาศควรเป็นอย่างไร

ผลการวิจัย พบว่า สามารถกำหนดแนวทางการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีและยุทธวิธีของระบบป้องกันภัยทางอากาศฯ ใน ๒ ส่วน ได้แก่ การบูรณาการระบบป้องกันภัยทางอากาศ และการวางระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบหลายชั้น มีรายละเอียดดังนี้

การบูรณาการระบบป้องกันภัยทางอากาศ ต้องมีโครงสร้างพื้นฐานที่รองรับการส่งต่อข้อมูลด้านการป้องกันภัยทางอากาศ ซึ่งรองรับการทำงานทั้งในส่วนของการเฝ้าตรวจทางอากาศ (Air surveillance) ระบบการจัดการการรบ (Battle management) และการควบคุมระบบอาวุธ (Weapon control) มีการกำหนดมาตรฐานในการเชื่อมต่อและรับ-ส่งข้อมูลหรือคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันภัยทางอากาศให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้เกิดการนำข้อมูลหรือส่งคำสั่งในการป้องกันทางอากาศที่มีประสิทธิภาพและ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบป้องกันภัยทางอากาศที่อาจมีเพิ่มขึ้นในอนาคตได้ ต้องมีขีดความสามารถในการตรวจจับ พิสูจน์ฝ่าย และทำลาย อากาศยาน อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กและขนาดกลางในพื้นที่เฝ้าระวังได้ ควรมีขีดความสามารถในการตรวจจับ พิสูจน์ฝ่าย และทำลาย อาวุธปล่อย ขีปนาวุธ และอากาศยานที่ถูกตรวจพบได้ยาก อีกทั้งควรมีระบบคอมพิวเตอร์ช่วยการจัดการ การรบ (Computer-based battle management system) ในขั้นตอนการประเมินภัยคุกคาม (Threat evaluation) การเลือกชนิดอาวุธ (Weapon type selection) และการจับคู่ระบบอาวุธที่เหมาะสม (Weapon pairing) ที่สามารถส่งต่อข้อมูลแบบอัตโนมัติไปยังหน่วย อาวุธยิงที่ใช้ในการต่อต้านได้

การวางระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบหลายชั้น ควรมีการวางระบบป้องกันภัยทางอากาศเป็นแนวชั้นป้องกันในทางลึก และ ลำดับชั้นการป้องกันจากจุดที่ป้องกัน โดยต้องสอดคล้องกับลักษณะของภัยคุกคามและทิศทางที่คาดว่าจะอาจถูกโจมตีได้ ตัวอย่างเช่น การวางระบบป้องกันภัยทางอากาศระยะไกลเพื่อลดทอนจำนวนอากาศยานของข้าศึกก่อนเข้าถึงระยะกลาง วางระบบ ป้องกันภัยทางอากาศระยะกลางเพื่อลดทอนอากาศยาน อาวุธปล่อยและขีปนาวุธของข้าศึก วางระบบป้องกันภัยทางอากาศระยะใกล้ เพื่อทำลายภัยคุกคามที่เป็นภัยและผ่านเข้ามาในระยะใกล้ได้ ร่วมกับการวางแนวชั้นการป้องกันในทางลึก ด้วยอาวุธต่อสู้อากาศยาน แบบ MANPADs ในทิศทางที่คาดว่าจะข้าศึกจะใช้ในการโจมตี เช่น แนวสันเขา แนวอาคารสูง เป็นต้น ในการวางระบบป้องกันภัยทาง อากาศแบบหลายชั้นนั้นจะต้องกำหนดพื้นที่รับผิดชอบและเขตการยิงอิสระที่ชัดเจน และต้องสอดคล้องกับขีดความสามารถของระบบ อาวุธต่อต้าน ที่ใช้ในแต่ละชั้น เพื่อป้องกันการยิงอากาศยานฝ่ายเดียวกันเอง และเพื่อให้อากาศยานฝ่ายเราสามารถปฏิบัติการได้อย่าง เต็มขีดความสามารถ

จากผลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยพบว่า แนวทางการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีและยุทธวิธีของระบบป้องกันภัยทางอากาศ ในทั้ง ๒ ส่วน คือ การบูรณาการระบบป้องกันภัยทางอากาศและการวาง ระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบหลายชั้น มีความคล้ายคลึง กับแนวความคิดการวางระบบป้องกันภัยทางอากาศของต่างประเทศทั้ง รัสเซีย อิสราเอล และสิงคโปร์ ซึ่งมีความแตกต่างกันใน บริบทของรูปแบบภัยคุกคาม ความสามารถทางเทคโนโลยี ข้อจำกัดด้านงบประมาณ และขนาดของพื้นที่ อย่างไรก็ตามในการบูรณาการระบบป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นนั้น มีปัจจัยหลักคือ โครงสร้างพื้นฐานในการส่งต่อข้อมูล การกำหนดมาตรฐานการ เชื่อมต่อข้อมูลในแต่ละองค์ประกอบของระบบ รวมไปถึงเทคโนโลยีของระบบอาวุธและรูปแบบการวางลำดับชั้นนั้นจะส่งผลถึงขีด ความสามารถของระบบในภาพรวม

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยเรื่องนี้ เห็นสมควรให้ ยก.ทอ.ในฐานะหัวหน้าฝ่ายอำนวยการที่มีหน้าที่กำหนดนโยบายของ กองทัพอากาศ ทำหน้าที่เป็นหน่วยรับผิดชอบหลักในการนำผลการวิจัยจากเอกสารวิจัยฉบับนี้ไปศึกษา พัฒนา หรือประยุกต์ใช้ ภายใต้อำนาจเสนอแนะดังนี้

๓.๑ ทำการวิเคราะห์ขั้นตอนและขีดความสามารถของระบบป้องกันภัยทางอากาศของ ทอ. ว่าสอดคล้องกับภัยคุกคามใน ปัจจุบันที่มีผลต่อการปฏิบัติการของ ทอ. หรือไม่ อย่างไร เพื่อให้เข้าใจสถานภาพขีดความสามารถในการป้องกันภัยทางอากาศของ ทอ. ในปัจจุบัน รวมถึงข้อจำกัดในการ บูรณาการระบบป้องกันภัยทางอากาศของ ทอ.

๓.๒ ดำเนินการพัฒนาแนวคิดในการป้องกันภัยทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการ ร่วมกับ คปอ. และ อย. เพื่อเป็นแนวทางใน การปฏิบัติและบูรณาการระบบป้องกันภัยทางอากาศ ตลอดจนเป็นทิศทางในการพัฒนาองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับระบบป้องกันภัย ทางอากาศหลายชั้นแบบบูรณาการ อาทิ โครงสร้างพื้นฐานในการเชื่อมต่อข้อมูลระบบป้องกันภัยทางอากาศ การเฝ้าตรวจทางอากาศ การจัดการการรบ การควบคุมระบบอาวุธ รูปแบบของการวางกำลังในลำดับชั้น ขั้นตอนในการป้องกันภัยทางอากาศ คู่มือ และ ระเบียบ.ใน การปฏิบัติงาน

๓.๓ จัดทำข้อพิจารณาในการพัฒนาหรือจัดหา โครงสร้างพื้นฐาน ระบบการเฝ้าตรวจ ระบบการจัดการการรบ และระบบอาวุธ ต่อต้าน เพิ่มเติม ร่วมกับ คปอ. และ อย. โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นข้อจำกัดของระบบป้องกันภัยทางอากาศในปัจจุบันที่มีผลกระทบต่อ การปฏิบัติการของ ทอ. เพื่อให้มีขีดความสามารถเพียงพอในการรับมือกับภัยคุกคามมิติทางอากาศที่อาจเป็นภัยในปัจจุบัน

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

บรรณานุกรม

- Asymmetric Warfare Group. (2016). Russian New Generation Warfare Handbook. Public Intelligence. Retrieved from <https://info.publicintelligence.net/AWG-RussianNewWarfareHandbook.pdf>
- Br.Gen, & FRYC, D. G. (2023). Integrated Air and Missile Defense Battle Command System (IBCS). IAMD CoE's Annual Journal, 1. Retrieved from https://iamd-coe.org/wp-content/uploads/2023/11/IAMD_CoE_Journal_2023.pdf
- Defence Science & Technology Agency. (n.d.). What We Do. Transforming Air Defence. Retrieved from <https://www.dsta.gov.sg/what-we-do/detail?title=transforming-air-defence&category=e>
- Dolov, G. M. (2016). Interoperability in Multi-layered Active Defense: The need for commonality and robustness between Active Defense weapon systems. Air University. Air War College. Retrieved from <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1036894.pdf>
- Fridbertsson, N. T. (2022). Technological innovation for future warfare. Retrieved from <https://www.nato-pa.int/document/2022-future-warfare-report-fridbertsson->
- Karagiannis, E. (2023). The Russian Military Strategy in Ukraine and IAMD Lessons. IAMD CoE's Annual Journal, 1. Retrieved from https://iamd-coe.org/wp-content/uploads/2023/11/IAMD_CoE_Journal_2023.pdf
- Katsamakos, M. (2022). C-RAM Systems: Beyond the Conventional Way of Employment - Utilizing the Highly Reactive Capability in a Multi-Dimensional Environment. IAMD CoE's Annual Journal, 1. Retrieved from <https://iamd-coe.org/wp-content/uploads/2023/01/IAMD-COE-JOURNAL.pdf>
- Leventopoulos, S. A. (2023). Hybrid Threats - How they affect Integrated Air and Missile Defence (IAMD). IAMD CoE's Annual Journal, 1. Retrieved from https://iamd-coe.org/wp-content/uploads/2023/11/IAMD_CoE_Journal_2023.pdf
- Mattes, P. W. (2019, June 24). Systems of Systems: What, Exactly, is an Integrated Air Defense System? The Mitchell Forum. Retrieved from <https://mitchellaerospacepower.org/systems-of-systems-what-exactly-is-an-integrated-air-defense-system/>
- Mattes, P. W. (2019, October 1). What is a Modern Integrated Air Defense System. Air and Space Forces Magazine. Retrieved from <https://www.airandspaceforces.com/article/What-is-a-Modern-Integrated-Air-Defense-System/>

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมาร์ตกริดและการจัดการพลังงานกับการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ

Application of Smart Grid Technology and Energy Management to
Royal Thai Air Force's Multi-Domain Operations

นาวาอากาศเอก กฤษณะ สุขดี¹ (Group Captain Kritsana Sukdee, Ph.D.)¹

¹ผู้บังคับการกรมนักเรียนนายเรืออากาศรัษฎาพรองค์ โรงเรียน นายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, Kritsana@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ:

ภาวะโลกร้อน และวิกฤตพลังงานโลก เป็นปัญหาระดับโลกที่ต้องร่วมกันแก้ไข นอกจากนี้ จากบทเรียนสงครามรัสเซีย-ยูเครน ทำให้เห็นถึงแนวคิดสงครามสมัยใหม่ ในรูปแบบการปฏิบัติการหลายมิติ (Multi-Domain Operations) ซึ่งจุดเริ่มต้นสงคราม จะเปิดฉากโจมตีด้านไซเบอร์ และด้าน พลังงานก่อนโจมตีทางกายภาพ เพื่อลดความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy Assurance) ที่ใช้หล่อเลี้ยงระบบควบคุมสั่งการ และลดทอนขีดความสามารถการปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง จากงานวิจัยพบว่า การนำเทคโนโลยีสมาร์ตกริด (Smart Grid) และการจัดการพลังงานมาประยุกต์ใช้กับการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ จะสามารถแก้ไขความต้องการพลังงานไม่เพียงพอ และป้องกันความมั่นคงด้านพลังงาน เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างความต้องการใช้พลังงาน (Demand Respond) และควบคุมเสถียรภาพที่กำเนิดจากพลังงานทดแทน

ผลการวิจัยพบว่า กองทัพอากาศควรเร่งดำเนินการจัดทำแผนกลยุทธ์ เพื่อนำเทคโนโลยีสมาร์ตกริดและการจัดการพลังงานมาประยุกต์ใช้กับการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ โดยจัดทำแนวทางการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ, ควรจัดการอบรม สร้างความรู้ให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องมีความเข้าใจแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมาร์ตกริดและการจัดการพลังงานที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีแบบหักศอก (Technology Disruption) โดยอ้างอิงตามแผนของกระทรวงพลังงานหรือรัฐบาลกำหนด ส่งเสริมสร้างงานวิจัยพัฒนาเพื่อทดลองหรือสร้างโมเดลต้นแบบของกองทัพอากาศตามบริบทการปฏิบัติการโดยใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง รวมถึงจัดลำดับความต้องการใช้พลังงาน และปรับปรุงยุทธศาสตร์พลังงานทดแทน และยุทธศาสตร์ 20 ปี ของกองทัพอากาศให้สอดคล้องตามแผนแม่บทสมาร์ตกริด เพราะ การปฏิบัติการโดยใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลางมีความต้องการระบบสารสนเทศ และพลังงานไฟฟ้าสนับสนุนจำนวนมาก เพื่อให้มั่นใจว่ากองทัพอากาศจะมีพลังงานใช้เพียงพอภายใต้วิกฤตสงคราม

คำสำคัญ: สมาร์ตกริด (Smart Grid), การปฏิบัติการหลายมิติ (Multi-Domain Operations), ความต้องการใช้พลังงาน (Demand Respond), พลังงานทดแทน (Renewable Energy), ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy Assurance)

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประชุม COP27 ได้นำประเด็น ภาวะโลกร้อน มลภาวะในอากาศ และวิกฤตพลังงานโลก มาจัดทำ ประชามติ ให้ภาคีสมาชิกร่วมมือแก้ไขปัญหากับ สภาวะการณ์ที่เกิดขึ้นกับโลก ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี สมาร์ทกริด (Smart Grid) แก้ไขความต้องการพลังงานไม่ เพียงพอ และความไม่มั่นคงด้านพลังงาน ด้วยการจัดการ และบริหารพลังงานในรูปแบบดิจิทัล เพื่อให้เกิดความ สมดุลระหว่างความต้องการใช้พลังงาน (Demand) และ ควบคุมความไม่เสถียรภาพที่นำมาใช้จากพลังงานทดแทน (Renewable Energy) ให้เพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่ง เทคโนโลยีสมาร์ทกริด และการนำพลังงานทดแทนมา ประยุกต์ใช้ ถือว่าเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาที่ เกิดขึ้น อาทิ กองทัพอากาศสหรัฐ (US Air Force: USAF) ได้นำสมาร์ทกริดเทคโนโลยี (Smart Grid) มาประยุกต์ใช้ เพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy Assurance) ให้กับอาคารเครื่องบินจำลองของเครื่องบิน F-22 ณ ฐาน ทหาร่วม Pearl Harbor Hickam บนเกาะ Hawaii เป็นต้น

นอกเหนือไปจากนี้ บทเรียนสงครามรัสเซีย-ยูเครน ทำให้มองเห็นถึงรูปแบบสงครามสมัยใหม่ ในรูปแบบการ ปฏิบัติการหลายมิติ (Multi-Domain Operations) โดย นิยามของคำว่า มิติ (Domain) หมายถึง ขอบเขตหรือพื้นที่ ปฏิบัติการ ซึ่งมีความสอดคล้องเชื่อมโยงกัน สามารถ ปฏิบัติการได้ทั้งภายในมิติ และข้ามระหว่างมิติ ประกอบด้วย มิติทางกายภาพ (Physical Domain) ได้แก่ มิติทางพื้นดิน มิติทางทะเล มิติทางอากาศ และมิติทางอวกาศ และมิติที่ ไม่ใช่กายภาพ (Non-Physical Domain) ได้แก่ มิติไซเบอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจุดเริ่มต้นสงคราม ก่อนเกิดการโจมตีเชิง กายภาพ (Physical Infrastructure) จะเปิดฉากด้วยการ โจมตีด้านไซเบอร์ และด้านพลังงาน เพื่อทำลายความมั่นคง ด้านพลังงาน (Energy Assurance) ที่หล่อเลี้ยงระบบ

ควบคุมสั่งการ และลดทอนขีดความสามารถในการ ปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง

จากประเด็นความท้าทายดังกล่าว จึงเป็นที่มาของปัญหา การวิจัยนี้ ที่มีวัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่กองทัพอากาศจะนำ เทคโนโลยีสมาร์ทกริดและการจัดการพลังงานมาประยุกต์ใช้ กำหนดแนวทางและพัฒนายุทธศาสตร์ด้านพลังงานของ กองทัพอากาศเพื่อเสริมสร้างความมั่นคงพลังงานของการใช้ กำลังทางอากาศเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการหลายมิติและ รูปแบบภัยคุกคามในปัจจุบัน และประโยชน์ทางอ้อมในการ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับกองทัพอากาศ ด้านการมีส่วนร่วม สนับสนุนยุทธศาสตร์ศิลป์ (Strategic Art) ของรัฐบาลด้านการ ขับเคลื่อนการใช้เทคโนโลยีมาบริหารจัดการพลังงานให้มีความ สมดุล ตามแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ของประเทศไทย พ.ศ. 2548–2579 ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการความมั่นคง พลังงานของการปฏิบัติการหลายมิติ

2.2 เพื่อเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี สมาร์ทกริดและการจัดการพลังงานกับการปฏิบัติการหลาย มิติของกองทัพอากาศ

3. นิยามศัพท์

3.1 สมาร์ทกริด (Smart Grid) คือ การพัฒนาระบบ ไฟฟ้าให้ตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างชาญฉลาดมากขึ้น ใช้ทรัพยากรน้อยลง มีการสื่อสารระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้แบบ สองทางผ่านระบบกระจายไฟฟ้า ครอบคลุมทั่วทั้งระบบ ไฟฟ้า ระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และระบบผู้ใช้ ไฟฟ้า โดยนำเทคโนโลยีระบบสื่อสารสารสนเทศ ระบบ เซนเซอร์ ระบบเก็บข้อมูล และเทคโนโลยีทางด้านการ ควบคุมอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างความมั่นคงด้าน พลังงาน

3.2 ความมั่นคงพลังงาน (Energy Assurance) คือ ความมั่นใจที่การตอบสนองด้านโหลดมีพลังงานไฟฟ้าใช้

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

อย่างเพียงพอ มีเสถียรภาพ ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบ และสามารถดำรงขีดความสามารถการปฏิบัติการทางอากาศได้ ณ ห้วงเวลานั้น

3.3 การตอบสนองด้านพลังงาน (Demand Response: DR) คือ ความต้องการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า หรือความต้องการใช้พลังงานของระบบบัญชาการและควบคุม ทั้งนี้ ศัพท์ทางวิศวกรรมไฟฟ้าที่กระทรวงพลังงานกำหนด ได้ใช้คำว่า การตอบสนองด้านโหลด ดังที่ปรากฏในแผนแม่บทสมรรถนะของประเทศไทย

3.4 มิติ (Domain) หมายถึง ขอบเขตหรือพื้นที่ปฏิบัติการที่ต้องการความมั่นคงพลังงาน ประกอบด้วย มิติทางกายภาพ (Physical Domain) ได้แก่ มิติทางพื้นดิน มิติทางทะเล มิติทางอากาศ และมิติทางอวกาศ และมิติที่ไม่ใช่กายภาพ (Non-Physical Domain) ได้แก่ มิติไซเบอร์

3.5 การปฏิบัติการหลายมิติ (Multi-Domain Operation: MDO) เป็นการบูรณาการขีดความสามารถจากความมั่นคงพลังงานและประสานสอดคล้องการปฏิบัติจากทุกมิติ เพื่อโจมตีกับจุดอ่อนของฝ่ายตรงข้าม ทำให้ฝ่ายตรงข้ามไม่สามารถรับมือได้ทัน

4. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

4.1 แนวทางการเตรียมการความมั่นคงทางพลังงานของการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ

4.2 แนวทางการปรับปรุงหรือเพิ่มเติมยุทธศาสตร์ความมั่นคงพลังงานในแผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนกองทัพอากาศ พ.ศ.2553-2568 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2559) ให้มีความทันสมัย สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมถึงสอดคล้องตามนโยบายของรัฐบาล และโลกาภิวัตน์ (Globalization)

4.3 กองทัพอากาศมีส่วนร่วมสนับสนุนยุทธศาสตร์ศิลป์ (Strategic Art) ของรัฐบาลด้านการใช้เทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้จัดการและอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงการแก้ไข

ปัญหาภาวะโลกร้อน จากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change)

5. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 ธรรมชาติของสงครามกับการปฏิบัติการหลายมิติ

5.1.1 ด้านทหาร General Chales Q.Brown, JR. ผู้บัญชาการทหารอากาศสหรัฐ (Air Force Chief of Staff) ท่านที่ 22 ได้กล่าวไว้ในเอกสารทำความเข้าใจยุทธศาสตร์ (Strategic Approach) เพื่อการสร้างความรู้ให้กับกำลังพลในทราบถึงความสำคัญของการปฏิบัติการหลายมิติ (Multi-Domain Operations) ในการเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญของกองทัพอากาศสหรัฐ โดยกล่าวถึงสั่งการเร่งด่วน (Action Order) ที่ต้องปฏิรูป 4 ด้าน ได้แก่ กำลังพล (Airmen), ระบบราชการ (Bureaucracy), การแข่งขัน (Competition), และ การออกแบบการดำเนินการ (Design 5mplement) โดยพิจารณาจากผลประโยชน์และความต้องการของชาติ (National Needs) และความต่อเนื่องของหลักการการปฏิบัติการร่วมยุคใหม่ โดยเน้นการพัฒนาในสอดคล้องกับจากภัยคุกคามจากรัสเซีย และจีน¹

5.1.2 ด้านพลังงาน “The war in Ukraine is the first major conflagration between two technologically advanced powers in the age of cyber. It prompts us to question the nature of modern warfare and the role of cyber in its operation.” (Andy Townsend, 2023) จุดเริ่มต้นสงครามสมัยใหม่ เช่น สงครามรัสเซีย-ยูเครน ได้มีการเปลี่ยนรูปแบบการโจมตีฝ่ายตรงข้าม เห็นจุดอ่อนของการปฏิบัติการหลายมิติโดยใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Operations: NCOs) หากขาดมาตรการการเฝ้าระวังด้านไซเบอร์ไม่เพียงพอ โดยจะเริ่มโจมตีมิติที่ไม่ใช่กายภาพ (Non-Physical Domain) ก่อน ด้วยการเปิดฉากโจมตีด้านไซเบอร์

¹ CSAF Action Orders: To Accelerate Change Across the Air Force, 2022

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

รวมถึง ลดทอน, ตัดขาด หรือทำลายพลังงาน เช่น โรงงานไฟฟ้า หรือระเบิดโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ด้วยการเร่งความร้อนระบบปฏิกรณ์ เป็นต้น เพื่อลดทอนขีดความสามารถระบบบัญชาการและควบคุม (Command and Control: C2) และเข้าควบคุมพลังงานไฟฟ้าของฝ่ายตรงข้าม แล้วจึงดำเนินการยุทธวิธีเชิงกายภาพ (Physical Infrastructure) ตามลำดับ เนื่องจากการปฏิบัติการโดยใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่ายเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยพลังงานนำหล่อเลี้ยงระบบควบคุมสั่งการ (Command and Control: C2), มีการสั่งการในระยะไกล (Remote) และการบูรณาการการตรวจจับ (Sensor Integration) เพื่อให้ดำรงขีดความสามารถของวงรอบการตัดสินใจ (OODA loop) ให้เหนือกว่าฝ่ายตรงข้าม²

5.2 สถานการณ์ด้านความไม่มั่นคงด้านพลังงานของประเทศไทย

ปัญหาความมั่นคงพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ภาคใต้ สถานการณ์ความไม่มั่นคงพลังงานในพื้นที่ภาคใต้ ที่ยังคงประสบปัญหาไฟฟ้าดับ ไฟฟ้ากระชากอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อระบบบัญชาการและควบคุมของกองทัพอากาศอากิ ในพื้นที่ภาคใต้ ณ ที่ตั้งกองบิน ๗ เกิดความเสียหายสาเหตุจากไฟฟ้าดับ (Blackout), ไฟฟ้าไม่เสถียร (Brownout), ไฟฟ้าถูกตัดขาดเมื่อฝนตกหนักสาเหตุจากเสาไฟฟ้าล้ม และไฟฟ้าดับเมื่อน้ำท่วม³ ข้อเท็จจริงของปัญหาความมั่นคงในพื้นที่ภาคใต้ กรณีศึกษาของกองบิน ๗ สรุปได้ดังนี้

5.2.1 ระบบสายส่งของภาคใต้ต่างจากภาคอื่น ๆ ของประเทศไทย เนื่องจากระบบสายส่งในภาคใต้จะอยู่แยกอิสระ ต่างจากภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียง

เชื่อมต่อเป็นโครงข่ายพลังงานสามารถโอนถ่ายโหลดจากภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงใต้ไปยังภาคกลางได้ ซึ่งภาคใต้ยังไม่ถูกเชื่อมต่อในโครงข่าย

5.2.2 ระบบไฟฟ้าภาคใต้ รับไฟฟ้าจากระบบสายส่งกระแสตรงแรงดันสูง (High Voltage Direct Current Transmission System: HVDC) ที่ กฟผ.รับซื้อไฟฟ้ามาจากสถานีไฟฟ้ายูนิ การไฟฟ้ามาเลเซีย (Tenaga Nasional Berhad: TNB) ปริมาณซื้อขายสูงสุด 300 MW หาก HVDC ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไทยได้ มีโอกาสที่ระบบไฟฟ้าของภาคใต้ถูกแยกออกจากระบบไฟฟ้าหลักของประเทศไทย

5.2.3 หากไฟฟ้าดับในภาคใต้ มีโอกาสดับได้พร้อมกันทั้ง 14 จังหวัด ต่างจากภาคกลางที่มีความเสี่ยงไฟฟ้าดับเช่นกัน แต่จะดับจะเป็นลักษณะพื้นที่โซน หรือแอเรีย

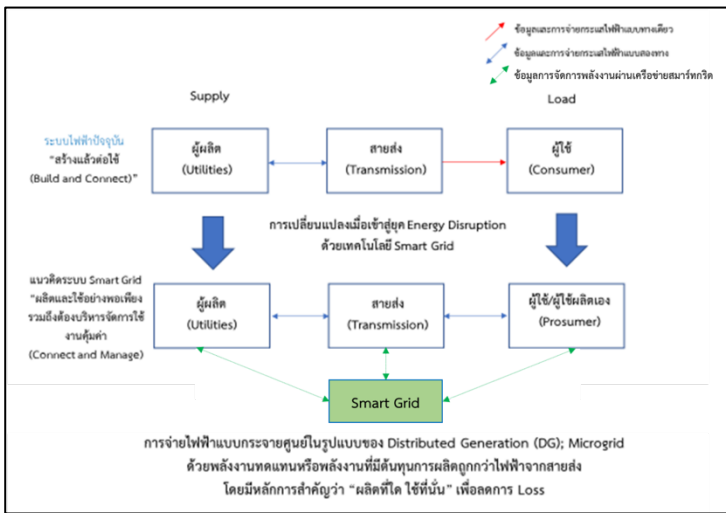
5.3 ทฤษฎี และนิยามสมาร์ทกริด

สมาร์ทกริด (Smart Grid) หรือโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ คือ หนึ่งในแนวทางเทคโนโลยี ของอุตสาหกรรมไฟฟ้ายุคใหม่ที่ถูกนำมาใช้แก้ไขปัญหาความมั่นคงด้านพลังงาน ที่ขาดดุลยภาพระหว่างความต้องการใช้ไฟฟ้าและความสามารถผลิตไฟฟ้า (Demand vs Supply) ให้สอดคล้องกับสมดุลความต้องการระหว่างผู้บริโภคและผู้ผลิต (Consumer vs Producer/Utility) ณ ช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานนั้น ๆ ซึ่งพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย มีความต้องการใช้พลังงานเกินมากกว่าขีดความสามารถในการผลิต และต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่มาเชื่อมต่อระบบนอกจากจะลงทุนสูง ใช้เวลาก่อสร้าง มักมีอุปสรรคการไม่ยอมรับจากชุมชนในท้องถิ่นที่ไม่มั่นใจในความปลอดภัยจากมลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงถ่านหินหรือนิวเคลียร์ (Chris Bread, Logica, 2010)

² National Defense University Press Publications (NDU Press). (2023). The Lessons From Cyberwar, Cyber-in-War and Ukraine

³ สุทัศน์ ปัทมสิริวัฒน์, ผู้ว่าการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2556, สรุปเหตุการณ์ 14 จังหวัดภาคใต้สุดวิสัย ความมั่นคงของระบบไฟฟ้าในพื้นที่ภาคกลางและภาคใต้

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

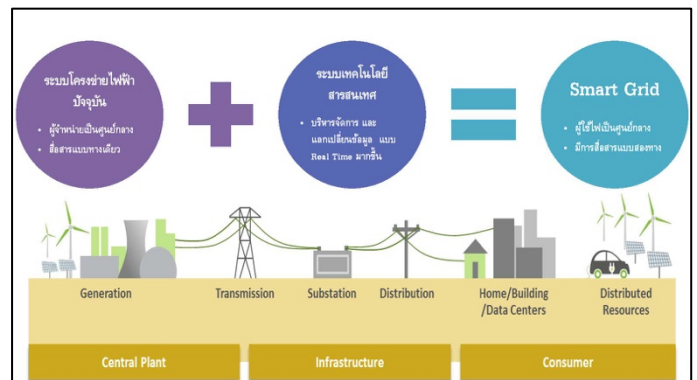


ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระบบไฟฟ้าดั้งเดิมไปเป็นสมาร์ทกริด

จากภาพที่ 1 สิ่งที่สมาร์ทกริดจะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงด้านอุตสาหกรรมพลังงานอย่างสิ้นเชิง (Energy Disruption) ดังที่กลุ่มประเทศยุโรปได้ดำเนินการ ไปก่อนหน้านี้แล้ว ทำให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีความสามารถ (European Parliament, 2012) และพัฒนา เพิ่มขึ้นจากระบบไฟฟ้าดั้งเดิม ได้แก่ ฉลาดขึ้น ใช้ทรัพยากร การผลิตน้อยลง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความน่าเชื่อถือ และปลอดภัยมากขึ้น รวมถึงสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน ระหว่างผู้ใช้และผู้ผลิตได้ทันทีตามห้วงเวลาจริง (Real Time) หรือใกล้เคียงเวลาจริง โดยมีเทคโนโลยีสื่อสาร สารสนเทศ (Information Communication Technology: ICT) และเซ็นเซอร์ (Sensor) (กระทรวงพลังงาน, 2558) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณและข้อมูลการรับรู้ไปให้ระบบการบริหาร จัดการพลังงานแบบรวมการที่ศูนย์ข้อมูล (Data Center) หรือ Internet of Thing (IoT) ส่งไฟฟ้าจากผู้ให้บริการไปยัง ผู้ใช้บริการด้วยการสื่อสารแบบสองทาง (Two way Communications) โดยมีการจัดการด้านความต้องการ

⁴ วัฒนพงศ์ รักขวิเชียร, Smart Grid Introduction, 2559.

โหลด (Demand Side Management) เป็นหัวใจในการ บริหารจัดการความต้องการโหลด หรือความต้องการใช้ พลังงาน (Demand Response) ด้วยส่งข้อมูลให้ระบบ เซนเซอร์ ระบบเก็บข้อมูล นำข้อมูลมาสั่งการระบบควบคุม อัตโนมัติเพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power grid)⁴ และ แหล่งพลังงานที่อยู่อย่างกระจายตัว (Distributed Energy Resources: DER) สามารถรับรู้ข้อมูลสถานะต่าง ๆ ใน ระบบมากขึ้น เพื่อใช้ในการตัดสินใจอัตโนมัติตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่ได้ออกแบบไว้ ทั้งนี้ กระบวนการเหล่านี้จะต้อง เกิดขึ้น ที่ทั้งระบบไฟฟ้าครอบคลุม ระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และระบบผู้ใช้ไฟฟ้า⁵



ภาพที่ 2 แนวคิดโครงข่ายสมาร์ทกริด

5.4 สมาร์ทกริดกับการแก้ไขปัญหาความมั่นคงพลังงาน ประเทศไทย

กระทรวงพลังงาน (2558) ได้ให้ความเห็นผลลัพธ์ ของการพัฒนาาระบบสมาร์ทกริด จะสามารถช่วยแก้ปัญหา ระบบไฟฟ้าในประเทศไทยได้ ส่งผลให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้า เดิม มีความมั่นคงพลังงาน มีประสิทธิภาพการใช้งานดีขึ้น มีความยืดหยุ่น สามารถปรับการตอบสนองความต้องการ

⁵ วิลาศ งามแสงรุ่งโรจน์, ผู้ว่าการวางแผนและพัฒนา ระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟผ.), 2559..

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ผลิตและใช้พลังงานให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพเศรษฐกิจและสังคมได้อย่างทันทั่วถึง ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเติบโตด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทย นอกจากนี้ยังสามารถแก้ไขปัญหาความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศได้อย่างยั่งยืน⁶ ดังนี้

5.4.1 รักษาเสถียรภาพคุณภาพไฟฟ้าที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการบิน และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ช่วยให้ดำรงประสิทธิภาพการดำเนินการได้ และลดต้นทุนการผลิตจากค่าไฟฟ้า และ การใช้ไฟฟ้าไม่คุ้มค่า ส่งผลกระทบโดยตรงให้อุตสาหกรรมไทยมีความสามารถในการแข่งขันสูงขึ้น

5.4.2 ลดมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐกิจ และค่าเสียโอกาสที่เหตุเกิดจากไฟฟ้าตกหรือไฟฟ้ายดับ ต้องมีความมั่นคงด้านพลังงาน

5.5 นโยบายด้านพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกระทรวงพลังงาน

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (สนพ.) ได้สรุปแนวทางพัฒนาด้านพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (นาย สาร์รัฐ ประกอบชาติ, 2565 รองผู้อำนวยการสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน)⁷ โดยได้กำหนดแนวทางอ้างอิงจากพันธะสัญญาที่ทำน ประยุทธ์ จักรพรรดิ อติตนายกรัฐมนตรี ได้ให้คำมั่นสัญญาความร่วมมือเมื่อวันที่ 1 พ.ย.2564 ในการประชุม COP 26 ณ เมืองกลาสโกว์ ประเทศสกอตแลนด์ ว่าประเทศไทย จะให้ความร่วมมือในตัวชี้วัด ในปี ค.ศ.2030 มีค่า NDC (Nationally Determined Contribution) ที่ร้อยละ 40, ในปี ค.ศ.2050 เข้าสู่เป้าหมาย Carbon Neutrality, และในปี 2050 เข้าสู่เป้าหมาย Net Zero Emission

	Decarbonization	Digitalization	Decentralization	Deregulation	Electrification
Elec	<ul style="list-style-type: none"> Build new clean coal power plants Expand coal power plant replacement Develop CCS Increase power generation efficiency Reduce share of Coal Promote RES/Coal synergy Promote power trading with neighboring countries 	<ul style="list-style-type: none"> Develop Grid Modernization Develop Smart Grid (Energy Management System like Smart Meter) Develop Virtual Power Plant (e.g. Demand Response and VPP) Develop load forecasting for power system planning 	<ul style="list-style-type: none"> Develop flexible DC management system Develop Smart Micro Grid Develop Grid Modernization Develop Smart Grid RE-RES Develop power infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> Introduce Provide Peer-to-Peer and Net Metering Electricity market Liberalization Power trading with neighboring countries Restructure electricity pricing Third Party Access in power sector Promote Sharing Charge system 	<ul style="list-style-type: none"> Promote EV Charging Station Promote ESS Electricity management to support EV
Gas	<ul style="list-style-type: none"> LNG management Promote the use of LNG in industry and transportation sector 	<ul style="list-style-type: none"> Develop a system for evaluating potential and regulating petroleum resources 	<ul style="list-style-type: none"> Develop Gas Infrastructure (Piping and net system, LNG receiving terminal) 	<ul style="list-style-type: none"> Gas market liberalization Efficient management of offshore and onshore gas Restructure gas pricing Regulate gas safety 	
Oil	<ul style="list-style-type: none"> Upgrading refinery standard (EURO 5) Management of LNG and NGV Promoting the proper use of Biofuel in the transport sector 	<ul style="list-style-type: none"> Develop a system to control, supervise and collect fuel information 	<ul style="list-style-type: none"> Develop Oil Infrastructure (SR depots, oil pipelines, rail transport) 	<ul style="list-style-type: none"> Restructure oil pricing Biofuel Cost Management Regulate gas safety 	<ul style="list-style-type: none"> Management of the fuel industry to support bio Change the use of LPG stoves to electric stoves
RE	<ul style="list-style-type: none"> Expand renewable generation from RE MSD program To be the leader of the Circular Economy Promote investment in RE technology market 	<ul style="list-style-type: none"> Set up a Data Platform and develop a RE Carbon Credit data center 	<ul style="list-style-type: none"> Develop Microgrid Develop RE at the community level to support farmers' income and the basic economy 	<ul style="list-style-type: none"> No 100 package Promotion of RE trading in power market and EEP Development of Carbon Credit Mechanism (RE/Carbon Payment) Determination of the purchase price of RE Develop business model for electricity and fuel generation 	
EE	<ul style="list-style-type: none"> Evaluate new potential, increase RE Green Industry Increase EE in homes, buildings and industrial plants Develop EV Data Platform for energy conservation 	<ul style="list-style-type: none"> Provide Smart Energy Management system Develop Digital Platform for energy conservation Develop EV Data Platform 	<ul style="list-style-type: none"> Develop Infrastructure (Charging station) to support the use of EV 	<ul style="list-style-type: none"> Determine the government's E2C measure Establish compulsory measures for RE Using market mechanisms to promote energy conservation Enhance energy conservation techniques for energy producers/distributors 	

ภาพที่ 3 กลยุทธ์ 4D1E ที่ใช้ในการปรับปรุงแผนพลังงานของประเทศไทย

สนพ. จึงได้มีแนวทางปรับปรุงแผนพลังงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายโดยกำหนดกลยุทธ์ที่เรียกว่า “D41E” ประกอบด้วย Decarbonization, Digitalization, Decentralization, Deregulation และ Electrification ดังภาพที่ 3 ซึ่งหากพิจารณาแนวทางที่เป็นไปได้ของกองทัพอากาศตามแผนยุทธศาสตร์ กองทัพอากาศควรกำหนดเป้าหมายในการพัฒนาไปในด้านประเด็นยุทธศาสตร์ Elec เป็นประเด็นหลัก และควรปรับยุทธศาสตร์และตัวชี้วัดด้านพลังงานของหน่วยให้มีความเชื่อมโยงกับนโยบาย ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) สอดคล้องกับวัตถุประสงค์กลยุทธ์ “4D1E” กำหนด

6. ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้สมาร์ตกริดเทคโนโลยี

กระทรวงพลังงาน (2558)⁸ ได้กล่าวถึงประโยชน์ที่ระบบไฟฟ้า ผู้ใช้บริการไฟฟ้า และเศรษฐกิจของประเทศที่คาดว่าจะได้รับจากการประยุกต์ใช้สมาร์ตกริด สรุปได้ดังนี้

6.1 เกิดความมั่นคงพลังงาน เพิ่มความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย

⁶ กระทรวงพลังงาน, แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดของประเทศไทย 2558-2579, 2558.

⁷ สาร์รัฐ ประกอบชาติ รอง ผอ.สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2565.

⁸ กระทรวงพลังงาน, ประโยชน์การพัฒนาสมาร์ตกริด, 2558.

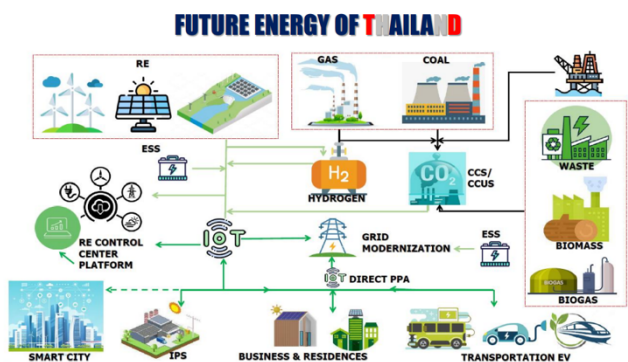
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

6.2 เพิ่มความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าที่ประชาชนจะได้รับ

6.3 พัฒนาการทำงานและการให้บริการของผู้ให้บริการไฟฟ้า ให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ และคุณภาพชีวิตของประชาชน

6.4 แก้ปัญหามาตรฐานการเข้ากันได้ของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

6.5 พัฒนาศักยภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศในธุรกิจใหม่ที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด



ภาพที่ 4 อนาคตพลังงานของประเทศไทย

นอกจากนี้ ผลของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ต่อนโยบายทางด้านการอนุรักษ์พลังงาน อาทิ การจัดการตอบสนองด้านโหลด (Demand Side Management: DSM) ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy System: BEMS) เทคโนโลยีการตอบสนองของโหลด (Demand Response) เพิ่มทางเลือกให้กับภาครัฐ ด้านการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ลดการใช้พลังงาน และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้มากขึ้น รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่ายไฟฟ้าให้มีขีดความสามารถด้านดิจิทัล (Grid Modernization) ตามวัตถุประสงค์ของแนวทางการพัฒนาแผนพลังงานของประเทศ ดังภาพที่ 4 และจะช่วยลด

ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศอย่างมีนัยสำคัญ

7. การจัดการความเสี่ยงด้านไซเบอร์ความมั่นคงพลังงานทางทหาร

Brian L. Magnuson, Colonel (2010)⁹ ได้กล่าวถึงพลังงานเป็นจุดศูนย์กลาง (Center of Gravity: COG) ของการปฏิบัติการรบของกระทรวงกลาโหมสหรัฐ (Department of Defence: DoD) ในยุคของการปฏิบัติการโดยใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Operation: NCO) ไวในงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างความมั่นคงพลังงาน (Energy Assurance) หรือใช้อีกชื่อว่า ความปลอดภัยพลังงาน (Energy Security) ด้วยระบบไมโครกริดตามนิยามของ DoD เพราะหากขาดเสถียรภาพด้านพลังงาน หรือพลังงานถูกทำลายจากข้าศึกฝ่ายตรงข้ามแล้ว จะทำให้ขีดความสามารถในสิ่งการทางการปฏิบัติการแบบทันทีทันใด (Real time) สูญเสียไป โดยเทคนิคการเชื่อมต่อที่ DoD ใช้ติดตั้งไมโครกริด มี 2 รูปแบบ คือ แบบแรกเป็นแบบสมาร์ทกริดไม่เต็มรูปแบบ (Partial Smart Grid) คือ มีติดตั้งไมโครกริดหลังมิเตอร์ไฟฟ้า “Behind the Meter” พร้อมสมาร์ทมิเตอร์ และระบบจัดการตอบสนองด้านโหลด (DSM) สาเหตุจากข้อจำกัดด้านกฎหมายและมาตรฐานไฟฟ้า ในบางพื้นที่ของประเทศสหรัฐ ฯ การแผนงานและออกแบบติดตั้ง จะใช้งานร่วมกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ และระบบสำรองไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel Generator) เดิมที่มีอยู่ โดยไม่เชื่อมสายต่อการไฟฟ้าในภูมิภาคเนื่องจากข้อจำกัดด้าน Grid Code โดย ไมโครกริดจะถูกควบคุม และสั่งการทำงานโดยอัตโนมัติในสองโหมด คือ โหมดขนานไฟฟ้า (Parallel Mode) มีการรับไฟจากการไฟฟ้าเข้ามาชดเชยการตอบสนองด้านโหลด (DR) หรือโหมดสันโดษ (Islanded

⁹ Brian L. Magnuson, Colonel., United States Marine

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

Mode) ที่ทำงานอิสระแยกการเชื่อมต่อจากการไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ เมื่อระบบพิจารณาแล้วว่าการผลิตไฟฟ้าจากการไฟฟ้าขาดเสถียรภาพ หรือเป็นข้อขัดข้อง (Threat) ที่ก่อให้เกิดความเสี่ยง (Risk) ในโครงข่ายไฟฟ้าของตนเอง และลดความเสี่ยงด้านภัยคุกคามไซเบอร์ (Cyber Security) โดยไม่มีการซื้อขายพลังงาน ในส่วนรูปแบบการติดตั้งแบบที่สอง คือระบบสมาร์ทกริดเต็มรูปแบบ (Full Smart Grid Integration) เข้ากับการไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีความพร้อมตามมาตรฐานสมาร์ทกริดที่ IEEE กำหนด จะมีออกแบบมาเพื่อการให้บริการการตอบสนองด้านโหลดขนาดใหญ่ (Large Demand Response) และมีการซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงาน

Brian L. Magnuson, Colonel (2010)¹⁰ ได้กล่าวถึงความเสี่ยง (Risk) จากภัยคุกคาม (Threat) ที่ใช้สมาร์ทกริดเทคโนโลยีเข้ามาใช้แก้ปัญหาค่าความมั่นคงพลังงานประกอบด้วย

ความเสี่ยงที่ 1 : ความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ (Natural Events) ประกอบด้วย ความเสี่ยงที่โอกาสการเกิดต่ำ เช่น พายุเฮอริเคนทำให้โรงไฟฟ้าหรือ DER เสียหาย, ความเสี่ยงที่โอกาสการเกิดสูง เช่น พายุทิมะ พายุน้ำแข็ง พายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm) มรสุม ลมกระโชกแรง จากบันทึกสถิติความรุนแรงที่เกิดขึ้นสามารถทำให้ไฟฟ้าดับยาวนาน (Blackouts) หลักนาที่ถึงหลักวัน ,และความเสี่ยงที่โอกาสเกิดต่ำมาก ได้แก่ แผ่นดินไหว น้ำท่วม และไฟไหม้ (North American Electric Reliability Corporation (NERC). 2010)

ความเสี่ยงที่ 2 : ความเสี่ยงจากการขาดความถูกต้องในการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าในระยะยาว ก่อให้เกิดไฟฟ้าดับสนิท (Blackout) ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 1 การลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าในการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าเพิ่มในยามที่ DR เพิ่มในระยะสั้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปกลายเป็นผลิตเกิน

เนื่องจาก DR มีความต้องการใช้ไฟฟ้าลดลง (Decrease Demand) หรือมีการผลิตใช้เอง (Prosumer) และกรณีศึกษาที่ 2 การผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอในระยะยาว เนื่องจากอุปกรณ์เสื่อมประสิทธิภาพจากอายุการใช้งาน (Aging), เทคโนโลยีที่ล้าสมัย (Obsolete), กฎหมายสิ่งแวดล้อมใหม่ ๆ หรือ ภาวะโลกร้อนทำให้มีอัตราการใช้เครื่องปรับอากาศสูงขึ้น

ความเสี่ยงที่ 3 : ความเสี่ยงจากการถูกโจมตีหรือทำลายในเชิงกายภาพของระบบไฟฟ้า (Physical Attack) เมื่อมีสงคราม หรือมีเหตุการณ์ จะมีการทำลายโรงงานไฟฟ้า โรงงานน้ำมัน สายส่งไฟแรงสูง สถานีจ่ายไฟฟ้า และสถานีย่อย ดังนั้นในจุดดังกล่าว ต้องมีมาตรการและระบบการรักษาความปลอดภัยในพื้นที่ (Physical Security Measure) ที่มีประสิทธิภาพด้วย

ความเสี่ยงที่ 4 : ความเสี่ยงการถูกโจมตีทางไซเบอร์ (Cyber-Attack) จากการใช้สมาร์ทกริดเทคโนโลยี (Nexus of Smart Grid) ที่มีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบสองทางระหว่างกริดไฟฟ้า, ผู้ใช้ไฟฟ้า และผู้ผลิตไฟฟ้า และการติดตั้งนวัตกรรมพลังงานสมัยใหม่ (Energy Modernization) บริษัท McAfee ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีความปลอดภัยและศูนย์ยุทธศาสตร์และการวิจัยนานาชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รายงานที่ตรวจพบช่องโหว่ในโครงข่ายสมาร์ทกริดที่อาจเป็นช่องทางการถูกโจมตีทางไซเบอร์ได้ ได้แก่

1) McAfee (2018) ตรวจพบไวรัส Stuxnet ในคอมพิวเตอร์ระบบเครือข่ายไฟฟ้าร้อยละ 40-60 การทำลายโครงข่ายสมาร์ทกริดจะใช้ช่องทางควบคุมผ่านสมาร์ทมิเตอร์ที่เป็นอุปกรณ์สนาม (Field Equipment) ที่ไม่มีมาตรการรักษาความปลอดภัย โดยฝังไวรัสโหลดไว้ใน Software ที่ใช้ควบคุมโครงสร้างพื้นฐานมิเตอร์ขั้นสูง หรือ AMI (Advanced Metering Infrastructure) โดยเข้าไปขโมย

¹⁰ McAfee, 2018.

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

เปลี่ยนแปลง หรือใส่ข้อมูลปลอมเข้าไปในโครงสร้างและ เทคโนโลยีข้อมูลข่าวสารที่ใช้สื่อสารข้อมูลสารสนเทศ รายละเอียดของการใช้ไฟฟ้า และสถานะ ที่รวบรวมได้จาก สมาร์ทมิเตอร์

2) ถูกโจมตีผ่านเครือข่ายสมาร์ทมิเตอร์ไร้สาย (Wireless Smart Meter) เครือข่ายไร้สายเป็นช่องทาง (Access Point) ในการเข้าไปฝังซอฟต์แวร์ไวรัส

3) เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในเครือข่ายติดต่อสื่อสารไม่ได้ ตามมาตรฐานการรักษาความปลอดภัย (Lack of Security Standard) เนื่องจากยังไม่มีกำหนดมาตรฐานการ แต่มีการเริ่มใช้งานเทคโนโลยี (Implementation) ไปก่อนหน้า แล้ว เกิดช่องโหว่จากช่องว่าง (Gap) ของการเปลี่ยน เทคโนโลยีจากกริดไฟฟ้าดั้งเดิมไปสู่สมาร์ตกริด (Grid to Smart Grid) ที่ต้องมีการเพิ่มมาตรการรักษาความปลอดภัย ในระบบควบคุม กริดไฟฟ้า, ปรับปรุงสายส่ง, การติดตั้ง สถานีจ่ายไฟฟ้าและสถานีย่อยที่ทำงานโดยอัตโนมัติ และการติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์

ความเสี่ยงที่ 5: ความเสี่ยงในการผิดระเบียบ กฎหมาย หรือพระราชบัญญัติ (พ.ร.บ.) ในการจัดซื้อจัดจ้าง (Procurement) กรณีที่การจัดซื้อจัดจ้างนั้นเป็นการใช้งาน จริง ไม่ใช่งานวิจัย เนื่องจากยังไม่ทราบมาตรฐานและทิศทาง เทคโนโลยีที่ชัดเจน หากเสี่ยงลงทุนเชิงพาณิชย์ไปก่อนและ มาตรฐานที่ออกตามมาภายหลังไม่ตรงตามกับระบบที่ได้ ออกแบบและลงทุนไว้ก่อนหน้า จะทำให้ไม่สามารถได้รับ ใบอนุญาตให้มาเชื่อมต่อกับโครงข่ายสมาร์ตกริดได้ นอกจากนี้หากเป็นหน่วยงานของรัฐบาล อาจจะทำให้ผิด พ.ร.บ.จัดซื้อจัดจ้าง ซึ่งมีผลสูงสุดถึงออกจากราชการ หรือ จำคุกได้

8. ความมั่นคงพลังงาน

ความมั่นคงพลังงาน (Energy Assurance)¹¹ เป็น องค์ประกอบสำคัญสำหรับการปฏิบัติมิตติ รวมถึงใน วิวัฒนาการอนาคตที่จะมีการนำปัญญาประดิษฐ์ วิทยาการ หุ่นยนต์ มามีส่วนร่วมในสงครามมากขึ้น และการโจมตีใน ระยะไกลแทนที่จะอยู่ใกล้ ๆ ซึ่งทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับ วิวัฒนาการเทคโนโลยีไซเบอร์ การเชื่อมโยงสงครามสมัยใหม่ กับ DIME Analysis ซึ่งเป็นคำย่อแทนความหมายของ การ ทูต (D), สงครามข้อมูล (I) เครื่องมือทางทหาร (M) และ เครื่องมือทางเศรษฐกิจ (E) Sam Curry ผู้บริหารตำแหน่ง CSO ของ Cybereason (2023) ได้กล่าวไว้ว่า “ขีด ความสามารถด้านมิติไซเบอร์เป็นทั้งการเสริมสร้างขีด ความสามารถด้านอาวุธในหมวด 'I' และเป็นปัจจัยกำลังทวีคูณ ให้กับสำหรับสำหรับ 'D', 'M' และ 'E'” จากปัจจัยดังกล่าว การนำด้วยการทูตเป็นเพียงแง่มุมหนึ่งของสงครามจิตวิทยา เท่านั้น สงครามยุคใหม่ ณ ขณะนี้ ทุกมิติล้วนปะปนกันทั้งใน เวลาและสถานที่ไม่สามารถแยกออกได้ หากสามารถควบคุม มิติอำนาจด้านไซเบอร์ได้”

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (2559)¹² การตอบสนอง ด้านโหลด หรือ Demand Response (DR) คือ การตอบสนอง ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบปกติ โดยวิธีการ จัดการการตอบสนองด้านโหลดอย่างเหมาะสม นำมาบูรณาการ ร่วมกับแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในโครงข่ายสมาร์ตกริด ทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าจากรูปแบบเดิม สิ้นเปลืองลดลง เพิ่มความมั่นคงพลังงาน เพื่อตอบสนองต่อ ราคาค่าไฟในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการลดความ ต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) อันจะเป็นประโยชน์ต่อ การจัดการสภาวะวิกฤต และเสริมความมั่นคงด้านพลังงาน ไฟฟ้า ซึ่งมีความสอดคล้องต่อการแก้ปัญหาความมั่นคง พลังงานในภาคใต้ที่กำลังผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความ

¹¹ European Parliament., 2012..

¹² สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2559.

ต้องการที่มีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมาตรการตอบสนองด้านโหลด มี 2 รูปแบบ ได้แก่

1. มาตรการตอบสนองด้านโหลดต่อความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability-based Options) เป็นรูปแบบการตอบสนองด้านโหลดต่อช่วงเวลาที่ความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าต่ำ เหตุการณ์ผิดปกติ หรือเหตุฉุกเฉิน ซึ่งมีความเสี่ยงต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

2. มาตรการตอบสนองด้านโหลดต่อกลไกราคา (Price-based Options) เป็น การตอบสนองด้านโหลดโดยใช้กลไกราคา ตั้งราคาค่าไฟฟ้าให้มีราคาสูงในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง หรือช่วงที่มีความเสี่ยงต่อที่จะเกิดเหตุการณ์ผิดปกติในระบบไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าลดการใช้ไฟฟ้า หรือหลีกเลี่ยงไปใช้ไฟฟ้าในห้วงที่มีราคาแพง

8. กรอบแนวคิดในการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาภายใต้ขอบเขตเนื้อหาของความเป็นไปได้ตามกรอบนโยบายของรัฐบาล ที่กระทรวงพลังงานกำหนดไว้ในแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 เพื่อจัดทำแนวทางการเตรียมการความมั่นคงทางพลังงานของการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ และปรับปรุงหรือเพิ่มเติมยุทธศาสตร์ความมั่นคงพลังงานในแผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนกองทัพอากาศ พ.ศ.2553-2568 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.๒๕๕๙) ให้มีความทันสมัย สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นต่อไป

9. วิธีดำเนินการวิจัย

9.1 การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ในรูปแบบการวิจัยเอกสาร (Document Research) เพื่อศึกษาปัญหาและความต้องการ ซึ่งได้ใช้ข้อมูลจากวารสารทางวิชาการ เอกสารวิจัยส่วนบุคคล และเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ จากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ

9.2 แหล่งข้อมูลการวิจัยเป็นแบบทุติยภูมิ ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น ยุทธศาสตร์พลังงานและความมั่นคง นโยบายกระทรวงพลังงาน

บทความทางวิชาการ เอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) โดยมีอาจารย์ที่ปรึกษาด้านพลังงานเป็นผู้ให้ข้อมูล (Key Informant)

9.3 วิเคราะห์ความต่างด้วยเครื่องมือ Gap Analysis นำผลลัพธ์ที่ได้นำมากำหนดกลยุทธ์ เพื่อนำเทคโนโลยีสมาร์ทกริดมาประยุกต์ใช้

9.4 การสรุปผลโดยการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาจัดทำแผนการพัฒนาระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว

9. ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่กำหนดไว้ ได้แก่ ศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการความมั่นคงพลังงานของการปฏิบัติการหลายมิติ และเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมาร์ทกริดและการจัดการพลังงานกับการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ สรุปได้ดังนี้

9.1 สภาพปัญหาและความต้องการความมั่นคงพลังงานของการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ

9.1.1 ปัญหาที่เกิดจากปัจจัยภายนอกที่สำคัญประกอบด้วย ความร่วมมือในการแก้ไขความไม่มั่นคงพลังงานโดยรัฐบาล ภาครัฐและเอกชน รวมถึงผู้ให้บริการไฟฟ้า อยู่ระหว่างดำเนินการ, มาตรฐานกลางด้านสมาร์ทกริดอยู่ระหว่างพิจารณาความเหมาะสมตามแผนแม่บท, และประเทศไทยยังคงมีปัญหาความไม่มั่นคงพลังงาน รวมถึงยังมีบางพื้นที่ที่เข้าถึงไฟฟ้าได้ยาก ซึ่งรัฐบาลมีการแก้ไขมีนโยบายในการแก้ไขโดยให้ซื้อขายไฟฟ้ารายย่อยที่การไฟฟ้ารับรองมาตรฐานให้เชื่อมต่อขนานโครงข่ายไฟฟ้า รวมถึงส่งเสริมนโยบายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบกระจายศูนย์ เช่น ไมโครกริด ประเภท Off Grid เพื่อให้ประชาชนที่อยู่พื้นที่ห่างไกลสามารถเข้าถึงในพื้นที่ได้ แต่ปัจจุบันเนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานยังคงมีต้นทุนสูง จึงมีข้อจำกัดของโอกาสในเข้าถึงเทคโนโลยีนี้ในทุกครัวเรือน

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

9.1.2 ปัญหาที่เกิดจากปัจจัยภายในที่สำคัญ ประกอบด้วย บุคลากรของกองทัพอากาศยังขาดประสบการณ์และความรู้เชิงปฏิบัติการในการนำเทคโนโลยีสามารถทริตมาประยุกต์ใช้, ขอบเขตของยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของกองทัพอากาศ และโครงสร้างของคณะกรรมการพลังงานทดแทนของกองทัพอากาศ อาจจะไม่เพียงพอต่อภารกิจการพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัลด้านพลังงานสะอาด รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสามารถทริตเพื่อบริหารจัดการความมั่นคงพลังงานและป้องกันภัยคุกคามด้านไซเบอร์ของกองทัพอากาศในอนาคต

9.2 แนวทางแก้ปัญหาเพื่อให้เกิดความมั่นคงพลังงาน ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสามารถทริตและการจัดการพลังงานกับการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ มีสิ่งที่จะต้องดำเนินการเร่งด่วน ประกอบด้วย สรุปแนวคิดและแนวทางการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ เพื่อนำมากำหนดรูปแบบ (Style) ของระบบการบัญชาการควบคุมและสั่งการใช้กำลังทางอากาศ, การอบรม สร้างความรู้ให้กับผู้ที่เกี่ยวข้อง ให้มีความเข้าใจแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสามารถทริตและการจัดการพลังงานที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีแบบหักศอก (Technology Disruption) ควรมีการเตรียมการในส่วนที่เกี่ยวข้องโดยอ้างอิงตามแผนงานของกระทรวงพลังงานหรือรัฐบาลกำหนด รวมถึงควรเสริมสร้างงานวิจัยพัฒนาเพื่อทดลองหรือสร้างโมเดลต้นแบบของกองทัพอากาศ เพื่อให้รูปแบบการจัดการพลังงานโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสามารถทริตของกองทัพอากาศ เป็นไปตามบริบทการปฏิบัติการโดยใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง, และการจัดลำดับความสำคัญของ Demand Respond ภายในกองทัพอากาศ นอกจากนี้ ควรมีการปรับปรุงยุทธศาสตร์พลังงานทดแทน กองทัพอากาศ และยุทธศาสตร์ 20 ปี ของกองทัพอากาศให้มีความสอดคล้องตามแผนแม่บทสามารถทริต เนื่องการปฏิบัติการโดยใช้เครือข่ายเป็น

ศูนย์กลางมีความต้องการระบบสารสนเทศ และไฟฟ้าในการสนับสนุนเป็นจำนวนมาก เพื่อให้แน่ใจว่ากองทัพอากาศจะมีพลังงานใช้ในส่วนที่สำคัญเพียงพอ ภายใต้วิกฤตสถานการณ์ความไม่มั่นคงพลังงาน

10. การอภิปรายผล

จากสรุปข้อมูลผลการวิจัย เพื่อดำเนินการแก้ปัญหาด้านพลังงาน ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสามารถทริตและการจัดการพลังงานกับการปฏิบัติการหลายมิติของกองทัพอากาศ มีความสอดคล้องตามกรอบนโยบายของรัฐบาล ที่กระทรวงพลังงานกำหนดไว้ในแผนแม่บทการพัฒนา ระบบโครงข่ายสามารถทริตของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 รวมถึงสามารถแก้ไขสภาพปัญหาและความต้องการความมั่นคงพลังงานในประเทศไทย พบว่าแนวทางที่กองทัพอากาศปฏิบัติ หรือเตรียมการอยู่มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับนโยบายของรัฐบาล แต่มีความล่าช้าในด้านเตรียมความพร้อมด้านการจัดทำ Demand Response Program และการปรับปรุงแผนในยุทธศาสตร์พลังงานในเท่าทันกรอบเวลาที่รัฐบาลตั้งเป้าหมายไว้ ซึ่งแนวทางการจัดทำกลยุทธ์ และ Conceptual Model โดยผู้วิจัยมีแนวคิดว่าควรเริ่มต้นที่ส่วนใช้กำลังและส่วนปฏิบัติก่อน เช่น กองบิน และศูนย์ปฏิบัติการทางอากาศ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. (2558). *แผนแม่บทการพัฒนา ระบบโครงข่ายสามารถทริตของประเทศไทย 2558-2579*. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน, น. 2, 5.
- [2] ธนา พุฒรังสี. (2556). *กฟผ. แจงใต้ไฟดับความต้องการมากเกินกำลังผลิต. รองผู้ว่าการระบบส่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. สืบค้น 6 มิถุนายน 2561, จาก www.posttoday.com/social/local/223612*
- [3] วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร. (2559). *Smart Grid Introduction*. หลักสูตร มหาศุขภูมิบัณฑิต การจัดการ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

- การพลังงานและสมรรถกิตเทคโนโลยี รุ่นที่ 1. วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา.
- [4] วิลาศ งามแสงรุ่งสาโรจน์. (2559). *กรณีการศึกษา Smart Grid ของไทย*. รูปแบบการจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดที่กระจายอยู่ทั่วไป (Distributed Energy Resource: DER). รองผู้อำนวยการวางแผนและพัฒนาาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟผ.). การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, น. 8, 10, 12.
- [5] สมาร์ทกริดไทยแลนด์ (Smartgrid Thailand). (2561). *3 เสาหลักการดำเนินการด้านสมาร์ตกริดในประเทศไทย*. คณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน (กบง.). สืบค้น 21 มกราคม 2563, จาก <https://thai-smartgrid.com/>
- [6] สาร์รัฐ ประกอบชาติ. (2565). *Thailand's Energy/Decarbonization Policy*. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, น. 10, 12.
- [7] Abbhijit Singi. (2023). *Lessons from the Ukraine-Russia conflict*. ORF (orfonline.org). Retrieved 2 February 2023, /from <https://www.orfonline.org/expert-speak/lessons-from-the-ukraine-russia-conflict/>.
- [8] Brian L. Magnuson, Colonel., United States Marine Corps (2012). *Risk from Energy Security. DoD 5nstation Energy Security: Evolving to a Smart Grid*. Strategy Research Project. United States Army War College Class of 2012. Carlisle Barracks. Pennsylvania. p.13-16.
- [9] Chris Bread, Logica. (2010). *Smart Grid Defination*. Smart grids for Dummies-Logica Limited Edition. John Wiley & Sons, Ltd. England. Retrieved 12 March 2017, /from www.smartgrid.gov/files/Smart_Grids_for_Dummies_201005.pdf
- [10] GEN Charles Q. Brown JR., AirForce Chief of Staff. (2020). *CSAF Action Orders: To accelerate Change Across the Air Force*. Retrieved 7 Feb 2022, /from https://www.af.mil/Portals/1/documents/2020SAF/CSAF_Action_Orders__Letter_to_the_Force_Dec_20.pdf.
- [11] National Defense University Press Publications (NDU Press). (2023). *The Lessons From Cyberwar, Cyber-in-War and Ukraine - SecurityWeek.Airpower and Globalization Effects: Rethinking the Five Rings*. Retrieved 5 Feb 2023, /from <https://www.securityweek.com/the-lessons-from-cyberwar-cyber-in-war-and-ukraine/>.
- [12] U.S. Air Force. (2013). *A Strategic Approach to Energy in the Air Force*. USAF Energy Strategic plan 2013, p. 8-9.

การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วปนเปื้อนในดินบริเวณสนามยิงปืน
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์

**ANALYSIS OF LEAD CONTAMINATION IN SOILS AT CHULACHOMKLAO
ROYAL MILITARY ACADEMY SHOOTING RANGE USING ATOMIC
ABSORPTION SPECTROMETER**

พีรณัฐ กล้าเพียร, พงศศักดิ์ โชติประดิษฐ์, พลภัทร ทรัพย์ประสาธ, ถิรวัดน์ วิเศษสมุน, ณัฐภัทร ธวัชภาณิชย์, เรืองศักดิ์ อยู่ชา,
พัชชา เพิ่มพิพัฒน์, พนมวรรณ ปานสีทา

กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า นครนายก 26001 ประเทศไทย

E-mail : Patcha.ph@crma.ac.th

บทคัดย่อ: ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูง ซึ่งอาจพบการปนเปื้อนได้ในสิ่งแวดล้อมบริเวณสนามยิงปืน ซึ่งสาเหตุการปนเปื้อนของตะกั่วในดินบริเวณสนามยิงปืนมาจากหัวกระสุน หรือเขม่าดินปืนที่เกิดจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายปลอกกระสุน ทั้งนี้ตะกั่วที่เกิดขึ้นหลังจากการยิงปืนอาจทำให้เกิดการสะสมของตะกั่วในปริมาณมากบนผิวดิน และเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้ เมื่อตะกั่วบนผิวดินถูกน้ำฝนชะล้างออกไปในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของทหาร สัตว์น้ำ และพืชโดยรอบสนามยิงปืน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในดินบริเวณสนามยิงปืนโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าโดยการเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณแนวยิงที่ 28 และ 33 สกัดสารตะกั่วจากดินตัวอย่างตามวิธีการของ United States Environmental Protection Agency, U.S. EPA method 3050B จากนั้นนำสารที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer จากผลการทดลองพบว่าดินบริเวณหลังเป่ายิงระยะ 50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นแนวกันกระสุน เป็นบริเวณที่มีปริมาณตะกั่วมากที่สุด โดยแนวยิงที่ 28 มีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยอยู่ที่ $13,426.56 \pm 1,721.67$ มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และบริเวณแนวยิงที่ 33 มีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยอยู่ที่ $23,147.92 \pm 6,227.80$ มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม นอกจากนี้พบว่าปริมาณตะกั่วในดินจะลดลงเมื่อระยะห่างจากแนวกันกระสุนเพิ่มขึ้น โดยดินบริเวณหลังเป่ายิงระยะ 20 เซนติเมตร มีปริมาณตะกั่วลดลงจากดินบริเวณแนวกันกระสุนมากกว่า 70% สำหรับดินบริเวณแนวยิงพบว่าปริมาณตะกั่วไม่แตกต่างจากค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษซึ่งระบุปริมาณตะกั่วในดินที่ใช้ประโยชน์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมและอื่น ๆ โดยกำหนดค่าไว้ไม่เกิน 800 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม

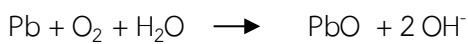
คำสำคัญ: การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในดิน, การปนเปื้อนของตะกั่วในสนามยิงปืน, Atomic absorption spectrometer

1. บทนำ

ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีพิษสูง หากมีการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมมักจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ทำให้การทำงานของระบบประสาท

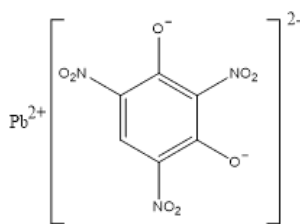
ลดลง และอวัยวะภายใน เช่น ตับและไตอาจทำงานผิดปกติ อนุภาคตะกั่วจะมีขนาดเล็ก และสามารถคงอยู่หรือสะสมในดิน น้ำ และอากาศ [1] ในสนามฝึกซ้อมยิงปืนของหน่วยทหาร อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม เพราะตะกั่วที่ตกค้าง

ในสนามยิงปืนมาจาก 2 สาเหตุที่สำคัญ โดยสาเหตุแรกเกิดจากหัวกระสุนปืนที่ส่วนใหญ่มักมีตะกั่วเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งโดยทั่วไปหัวกระสุนปืนที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบมีสถานะเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำและแยกจากดินในสนามยิงปืนอย่างชัดเจน แต่หัวกระสุนปืนตะกั่วดังกล่าวอาจเกิดการซีดขุ่นจนกลายเป็นอนุภาคตะกั่วขนาดเล็กปนเปื้อนอยู่ในดินและสิ่งแวดล้อม [2] นอกจากนี้เมื่อหัวกระสุนตะกั่วดังกล่าวสัมผัสกับดินจะเกิดการกัดกร่อนและถูกออกซิไดซ์เป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO) ดังสมการ



ตะกั่วออกไซด์ที่เกิดขึ้นดังสมการข้างต้นสามารถทำปฏิกิริยาต่อเกิดเป็นสารประกอบของตะกั่วประเภทตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO_3) และตะกั่วซัลเฟต (PbSO_4) ปนเปื้อนอยู่ในดินต่อไป [3, 4]

สำหรับสาเหตุการปนเปื้อนของตะกั่วในสนามยิงปืนประการที่ 2 เนื่องมาจากในลูกกระสุนปืนจะมีขบวนการถ่ายโอนตะกั่วที่ทำหน้าที่สำคัญในการจุดดินส่งกระสุนในกระสุนปืนให้เกิดการเผาไหม้ โดยในขบวนการถ่ายโอนตะกั่วส่วนใหญ่จะมีสารประกอบของตะกั่ว คือ Lead styphnate ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_3$) เป็นส่วนประกอบ โดยโครงสร้างของ Lead styphnate แสดงดังภาพที่ 1 [5]



ภาพที่ 1 โครงสร้างของ Lead Styphnate
(Lead 2,4,6-Trinitroresorcinate, $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_8\text{Pb}$)

สารประกอบของตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในสนามยิงปืนเหล่านี้ อาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและพืชรอบ ๆ สนามยิงปืน และอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพทหาร [6] ตามมาตรฐานคุณภาพดินที่ประกาศโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติของประเทศไทย ระบุว่าปริมาณตะกั่วในดินเขตที่อยู่อาศัยต้องมีตะกั่วไม่เกิน

400 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมต้องให้มีตะกั่วไม่เกิน 800 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในดินบริเวณสนามยิงปืนโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (ร.ร.จปร.) โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer, AAS) เนื่องจากมีความแม่นยำ ความไว และความเฉพาะเจาะจงสูง [7]

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในดินบริเวณสนามยิงปืนโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hardison Jr, D. W., Ma, L. Q., Luongo, T., & Harris, W. G. [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยการสึกหรอทางกายภาพของกระสุนตะกั่วที่ทะลุผ่านชั้นดินซึ่งส่งผลต่อปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วในดินในสนามยิงปืนอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองใช้กระสุนขนาด 0.22 ซึ่งเป็นกระสุนขนาดเล็กที่สุดที่มักใช้ในสนามยิงปืน ในการทดลองศึกษาการสึกหรอของกระสุน สรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของการปนเปื้อนตะกั่วเป็นผลมาจากรูปแบบการสึกหรอทางกายภาพที่เพิ่มขึ้นของกระสุน

Rooney, C. [4] ศึกษาการสะสมของตะกั่วในดินของสนามยิงปืนไรเฟิลและปืนพก พบว่าปริมาณของตะกั่วในดินที่มากกว่า 10,000 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เป็นค่าที่พบได้ทั่วไปในสนามยิงปืนทั่วโลก เช่น นิวซีแลนด์ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ เยอรมนี ดังนั้นการปนเปื้อนของตะกั่วในสนามยิงปืนเรื่องปกติ

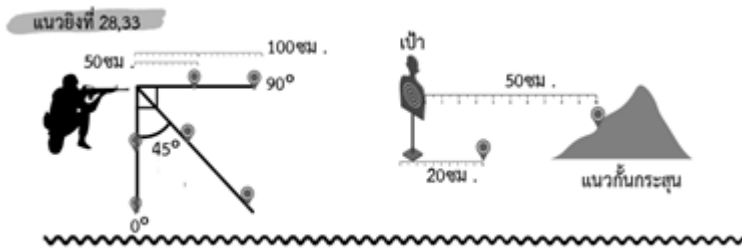
Ding, N. & Cao, Q [8] ได้พัฒนาวิธีการต่าง ๆ สำหรับการวิเคราะห์ตะกั่ว และเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีความไวและความแม่นยำ และจัดเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการตรวจหาปริมาณสารตะกั่ว

4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาปริมาณตะกั่วที่สะสมในดินจากการสู่มั่วอย่างดินบริเวณแนวยิงที่ 28 และ 33 โดยการสกัดสารตะกั่วจากดินตัวอย่างตามวิธีการของ United States Environmental Protection Agency จากนั้นนำสารที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

4.1 การเก็บตัวอย่างดินบริเวณสนามยิงปืน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่ต่างๆ ภายในสนามยิงปืน รร.จปร. โดยเก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ด้านหน้า ด้านข้างของแนวยิง และบริเวณแนวกันกระสุน วิธีการเก็บตัวอย่างดิน แสดงในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 แสดงบริเวณดินที่เก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 3 แสดงวิธีเก็บตัวอย่างดิน

4.2 การสกัดตะกั่วออกจากดินบริเวณสนามยิงปืน

งานวิจัยนี้ทำการสกัดตะกั่วออกจากดินบริเวณสนามยิงปืนด้วยวิธีตามมาตรฐานของ US EPA 3050B [9]

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสารละลายที่สกัดได้โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

สารละลายที่มีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้จากดินบริเวณสนามยิงปืน รร.จปร. นำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ยี่ห้อ Thermo fisher รุ่น ICE 3000

5. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณตะกั่วโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ของดินบริเวณสนามยิงปืนแสดงดังตารางที่ 1 โดยการวัดปริมาณตะกั่วเฉลี่ยจากตัวอย่างดินแต่ละบริเวณทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 1 ปริมาณตะกั่วที่ได้จากดินตัวอย่างสนามยิงปืน บริเวณต่าง ๆ

แนวยิง	มุม	ระยะห่างจากแนวการยิง (ชม.)	ปริมาณตะกั่ว (มก.) ต่อดิน 1 กก.	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
28	0	50	1,207.32	503.36
	0	100	1,151.59	237.31
	45	50	3,240.13	235.70
	45	100	1,953.64	328.15
	90	50	1,526.51	129.85
	90	100	990.86	135.63
	0	20 ชม. จากเป้า	2,980.40	385.90
	0	50 ชม. จากเป้า (แนวกันกระสุน)	13,426.56	1,721.67
33	0	50	292.84	24.47
	0	100	480.34	193.62
	45	50	304.83	116.28
	45	100	415.63	96.80
	90	50	559.42	459.08
	90	100	358.98	217.92
	0	20 ชม. จากเป้า	6,704.77	1,014.24
	0	50 ชม. จากเป้า (แนวกันกระสุน)	23,147.92	6,227.80

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

จากตารางที่ 1 พบว่าพื้นที่ที่พบปริมาณตะกั่วสูงที่สุดในสนามยิงปืน คือบริเวณดินที่แนวกันกระสุนซึ่งอยู่หลังเป้ายิงระยะ 50 ซม. โดยแนวยิงที่ 28 มีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยอยู่ที่ $13,426.56 \pm 1,721.67$ มก.ต่อดิน 1 กก. และบริเวณแนวยิงที่ 33 มีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยอยู่ที่ $23,147.92 \pm 6,227.80$ มก.ต่อดิน 1 กก. และพื้นที่ด้านหลังเป้ายิงที่ระยะ 20 ซม. (ห่างจากแนวกันกระสุน 30 ซม.) มีปริมาณตะกั่วในดินอยู่ในช่วง 2,686.02-7,650.19 มก.ต่อดิน 1 กก. และสำหรับดินบริเวณแนวยิงมีปริมาณตะกั่วในดินอยู่ในช่วง 292.84 – 3,240.13 มก.ต่อดิน 1 กก.

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าดินบริเวณหลังเป้ายิงระยะ 50 ซม. ซึ่งเป็นแนวกันกระสุน เป็นบริเวณที่มีปริมาณตะกั่วมากที่สุด มีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในดินมากกว่า 10,000 มก.ต่อดิน 1 กก. และพบว่าปริมาณตะกั่วในดินจะลดลงเมื่อระยะห่างจากแนวกันกระสุนเพิ่มขึ้น โดยดินบริเวณหลังเป้ายิงระยะ 20 ซม. (ห่างจากแนวกันกระสุน 30 ซม.) มีปริมาณตะกั่วลดลงจากดินบริเวณแนวกันกระสุนมากกว่า 70% สำหรับดินบริเวณแนวยิงพบว่าปริมาณตะกั่วไม่แตกต่างมากจากค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษซึ่งระบุปริมาณตะกั่วในดินที่ใช้ประโยชน์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมและอื่น ๆ โดยกำหนดค่าไว้ไม่เกิน 800 มก.ต่อดิน 1 กก.

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างดินในแต่ละบริเวณในการหาปริมาณตะกั่วให้มากขึ้นเพื่อได้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น และควรทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการหาปริมาณตะกั่วในบริเวณพื้นที่ที่ห่างจากแนวกันกระสุนที่ระยะต่าง ๆ รวมทั้งหาปริมาณตะกั่วบริเวณรอบสนามยิงปืน ตลอดจนหาปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำและพืชที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณาจารย์กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าในการให้คำปรึกษา

และอนุเคราะห์เครื่องมือวิจัยและเจ้าหน้าที่สนามยิงปืนโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าในการอำนวยความสะดวกและให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างดิน จนทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wisang, Y. F., Sulistyarti, H., Andayani, U. & Sabarudin, A. (2019). Microfluidic Paper-based Analytical Devices (μ PADs) For Analysis Lead Using Naked Eye and Colorimetric Detections. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 546, 032033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/3/032033>.
- [2] Hardison Jr, D. W., Ma, L. Q., Luongo, T., & Harris, W. G. (2004). Lead contamination in shooting range soils from abrasion of lead bullets and subsequent weathering. *Science of The Total Environment*, 328(1-3), pp. 175-183.
- [3] Kelebemang, R., Dinake, P., Sehuba, N., Daniel, B., Totolo, O., Laetsang, M. (2017). *Speciation and mobility of lead in shooting range soils*. Chemical Speciation & bioavailability.29, pp. 143-152.
- [4] Rooney, C. (n.d.). *Lead Contamination at Shooting Ranges*. Retrieved December 1, 2023. Website: <https://lead.org.au/fs/shooting-ranges.pdf>
- [5] Akhavan, J. (2004). *The Chemistry of Explosives*. 3rd ed. The Royal Society of Chemistry, pp. 74-102.
- [6] Laidlaw, M. A., Filippelli, G., Mielke, H., Gulson, B., & Ball, A. S. (2017). Lead exposure at firing ranges-a review. *Environmental health : a global access science source*, 16(1), p.34. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0246-0>.
- [7] Phempornsagul, Y., Arepornrat, S., Na Ayuthaya, W. P. & Khaenamkaew, P. (2020). A Comparative Study of SEM-EDX and ICP-MS Detection Based on Gunshot Residue Originated from AK-47 and M16 Rifles. *American Journal of Applied Sciences*, 17(1), 69-82. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2020.69.82>.
- [8] Ding, N., Cao, Q., Zhao, H., Yang, Y., Zeng, L., He, Y., Xiang, K., & Wang, G. (2010). Colorimetric assay for determination of lead (II) based on its incorporation into gold nanoparticles during their synthesis. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 10(12), 11144–11155. <https://doi.org/10.3390/s10121144>.
- [9] US EPA (1996). *Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils*, Revision 2. Washington, DC.

กรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตจากชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองกับฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียเบื้องต้น

HYPOCHLOROUS ACID PRODUCED FROM A SELF-INVENTED DEVICE WITH PRELIMINARY ANTIBACTERIAL ACTIVITY

ภัทรพล คงสุข¹, สุตธาภณ สี้อมาก², นววรรณ กลั่นเกิด³, ชรัล เขียวดี³ และ ป่วย อุ่นใจ³

Pattarapol Khongsuk¹, Suttabot Suemark², Nawawan Klankoet³, Charal Khiewdee³ and Puey Ounjai³

¹กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

²กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

³ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

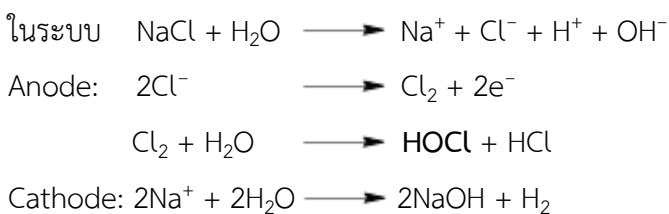
Email address: pattarapol.kh@crma.ac.th

บทคัดย่อ: ชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองได้ถูกพัฒนาให้สามารถผลิตกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid; HOCl) ได้อย่างง่าย สำหรับใช้ในการฆ่าเชื้อโรคภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าจากช่วงสถานการณ์การระบาดของโรคโควิด-19 ที่ผ่านมา โดยกรดไฮโปคลอรัสที่เตรียมได้มีค่า pH 4.78–4.51 ค่าความต่างศักย์ของการออกซิเดชัน-การรีดิวซ์ (Oxidation-reduction potential; ORP) มีค่ามากกว่า +848 mV และคลอรีนที่มีค่าอยู่ (Available chlorine concentration; ACC) ในรูปของกรดไฮโปคลอรัส 100% ที่ความเข้มข้นประมาณ 200 ppm เมื่อนำกรดไฮโปคลอรัสมาทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียเบื้องต้นบนจานเพาะเชื้อ โดยใช้ *Escherichia coli* BL21(DE3) เป็นแบคทีเรียตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า กรดไฮโปคลอรัสที่ความเข้มข้น 200 ppm เวลาสัมผัส 5 นาที สามารถยับยั้ง *E. coli* ได้ นอกจากนี้ กรดไฮโปคลอรัสยังมีฤทธิ์ยับยั้งในเชิงคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้ 70% v/v เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเจริญเติบโตบนจานเพาะเชื้อ

คำสำคัญ: กรดไฮโปคลอรัส, ชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง, การยับยั้งแบคทีเรีย, เอทิลแอลกอฮอล์

1. บทนำ

กรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid; HOCl) จัดเป็นน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด (Acidic electrolyzed water; AEW) ซึ่งถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารฆ่าเชื้อโรค ในการกำจัดเชื้อไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา รวมไปถึงสปอร์ของเชื้อราได้ [1] อีกทั้งมีคุณสมบัติ ที่ไม่มีสารพิษ มีความเสถียร ราคาไม่แพง และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน [2] โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกรดไฮโปคลอรัส เกิดจากการให้กระแสไฟฟ้าผ่านในสารละลายเกลือ (NaCl) เกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) ในระบบจะมีไอออน ซึ่งไอออนทั้งหมดจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วตรงข้ามของประจุไฟฟ้า ซึ่งไอออนบวกของ H^+ และ Na^+ จะเคลื่อนไปที่ขั้วไฟฟ้าลบ (Cathode) ขณะที่ไอออนลบของ OH^- และ Cl^- เคลื่อนไปที่ขั้วไฟฟ้าบวก (Anode) [3] เกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ คือ HOCl ดังสมการ



สำหรับประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคของกรดไฮโปคลอรัส มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ (1) ค่าความต่างศักย์ของการออกซิไดซ์-การรีดิวซ์ (Oxidation-Reduction Potential; ORP) พบว่าค่า ORP มากกว่า +848 mV จะมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้ [4], (2) ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ ในที่นี้หมายถึงความเข้มข้นคลอรีนที่มีค่าอยู่ (Available Chlorine Concentration; ACC) ในรูปกรดไฮโปคลอรัสเพียงชนิดเดียวจากคลอรีนอิสระที่พบได้อีก 2 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคลอรีน (Chlorine gas; Cl_2) ในรูปสารละลาย และไฮโปคลอไรท์ไอออน (Hypochlorite ion; ClO^-) และ (3) ช่วงค่า pH ที่ 4–5.33 สามารถบอกถึงปริมาณร้อยละของความเข้มข้นคลอรีนที่มีค่าอยู่ (%ACC) ในรูปกรดไฮโปคลอรัส 100% [5]

เมื่อศึกษารายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของสารละลายกรดไฮโปคลอรัส โดย วียดา และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาโดยนำสารละลายกรดที่เตรียมได้มาทดสอบคุณสมบัติการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีพบว่า ORP มีค่า $+1,090.50 \pm 29.62$ mV, คลอรีนอิสระ 136.50 ± 6.40 ppm และสารละลายมีคุณสมบัติเป็นกรดที่ pH 2.45 ± 0.08 ผลที่ได้แสดงการเป็นสารที่สามารถฆ่าเชื้อได้ และ Block และ Rowan [7] รายงานว่าสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ได้แนะนำสารฆ่าเชื้อสำหรับต้านโควิด-19 รวมถึงกรดไฮโปคลอรัส ซึ่งพิสูจน์แล้วว่าสามารถยับยั้งไวรัสหลายชนิดรวมถึงเชื้อโคโรนาไวรัส โดยกรดไฮโปคลอรัสมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อบริเวณพื้นผิวสัมผัสที่มีเชื้อโคโรนาไวรัส ได้ภายในเวลาสัมผัส 1 นาที ที่ความเข้มข้น 200 ppm

สำหรับการผลิตกรดไฮโปคลอรัสในปัจจุบัน เป็นการผลิตจากชุดอุปกรณ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดตั้งแต่ชุดอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนขนาดถึงความจุในหน่วยมิลลิลิตร ถึงขนาดถึงความจุมากกว่า 1 ลิตร จนถึงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในครัวเรือนซึ่งบุคคลทั่วไปที่มีความสนใจสามารถประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ขึ้นมาใช้งานได้เอง [8-11] และชุดอุปกรณ์ที่คณะผู้วิจัยประดิษฐ์ขึ้นเองได้ถูกพัฒนาให้สามารถผลิตกรดไฮโปคลอรัส สำหรับใช้ในการฆ่าเชื้อโรคภายในโรงเรียน นายร้อยพระจุลจอมเกล้าจากช่วงสถานการณ์การระบาดของโรคโควิด-19 ที่ผ่านมา [12]

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้ 1) เพื่อแสดงผลการพัฒนาชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองพร้อมกับสมบัติกรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้ และ 2) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเบื้องต้นของกรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้ โดยการใช้ *Escherichia coli* BL21(DE3) เป็นแบคทีเรียตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ แสดงถึงชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองว่าถูกพัฒนาให้สามารถนำมาใช้งานได้และได้กรดไฮโปคลอรัสที่มีฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียเบื้องต้นได้จริง

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ผลิตกรดไฮโปคลอรัส

ทำการศึกษาข้อมูลจากชุดอุปกรณ์ที่มีวางจำหน่ายและทางสื่อออนไลน์ เพื่อพัฒนาเป็นชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง [12] โดยมีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

- 1) หม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับเป็นแหล่งให้กระแสไฟฟ้า
- 2) แท่งแกรไฟต์ สำหรับเป็นขั้วอิเล็กโทรด
- 3) ถังพลาสติก PET สำหรับเป็นถังชุดอุปกรณ์ผลิต

4) อุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ ส่วนประกอบในชุดอุปกรณ์ เช่น คลิปปากจระเข้ (ใช้จับขั้วอิเล็กโทรด) สายไฟฟ้า เป็นต้น และเครื่องมือสำหรับประกอบชุดอุปกรณ์ เช่น ปากกาบัดกรี คีมจับสายไฟฟ้า คีมตัดสายไฟฟ้า ไขควง เป็นต้น

2.2 ขั้นตอนการผลิตและตรวจสอบสมบัติกรดไฮโปคลอรัส

สารละลายที่เตรียมไว้ปริมาตร 10 ลิตร ประกอบด้วย (1) น้ำประปา (2) เกลือ NaCl และ (3) น้ำส้มสายชู (ความเข้มข้น 5% v/v) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านไปจนครบเวลาที่ตั้งไว้จึงทำการหยุดให้กระแสไฟฟ้า โดยการศึกษาที่ผ่านมา มีการใช้น้ำประปาจากโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า [12] แต่ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำประปาจากสถานที่ทดสอบ คือ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สำหรับการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของกรดไฮโปคลอรัส เพื่อนำมาทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบ ดังนี้ (1) การตรวจสอบค่า pH ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา (Pen Type pH meter) [AMT03 AMTAST[®] pH METER, Neonics] [14], (2) การตรวจสอบความเข้มข้นของคลอรีนที่มีค่าอยู่ (ACC) ด้วยแถบทดสอบคลอรีนแบบกระดาษ ได้แก่ แถบทดสอบคลอรีน (USA.) (Chlorine Test strip) [WaterWorks[™], Free Chlorine Check Ultra High, ITS, USA.] และแถบทดสอบคลอรีน (China) (Chlorine Test paper strip) [HANGZHOU SPECIAL PAPER INDUSTRY CO.,LTD (NEWSTAR), China] [13] และ (3) การตรวจสอบค่า ORP ด้วยเครื่องโออาร์พีมิเตอร์

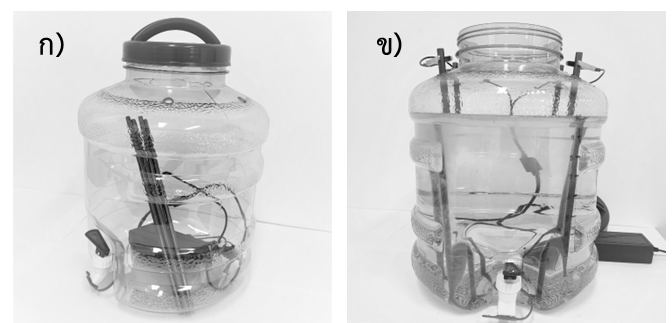
แบบปากกา (Pen Type ORP meter) [AMT03 AMTAST[®] ORP METER, Neonics] [7,13-14]

2.3 การศึกษากรดไฮโปคลอรัสกับฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียที่เรียทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* BL21(DE3) โดยเลี้ยง *E. coli* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ LB Broth จนมีค่า optical density ที่ 600 nm (OD₆₀₀) เท่ากับ 0.6 แล้วปั่นแยก LB Broth ที่เหลือเฉพาะ *E. coli* จากนั้นเติมกรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้ (1) ที่ความเข้มข้น 200 ppm และ (2) เจือจางด้วยน้ำประปา ที่ความเข้มข้น 100 ppm โดยการแช่กรดไฮโปคลอรัสกับ *E. coli* ที่เวลา 5, 10 และ 30 นาที แล้วปั่นล้าง *E. coli* ด้วย LB Broth จากนั้นนำมาเชื้อมาเลี้ยงบนจานเพาะเชื้อเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของ *E. coli* นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบเบื้องต้นกับการใช้ 70% v/v เอทิลแอลกอฮอล์ ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* บนจานเพาะเชื้อ

3. ผลการดำเนินการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ชุดอุปกรณ์ผลิตกรดไฮโปคลอรัสประดิษฐ์ขึ้นเอง

การพัฒนาชุดอุปกรณ์ผลิตกรดไฮโปคลอรัสที่ประดิษฐ์ขึ้นเองตามภาพที่ 1 [12] เป็นไปตามแนวทางที่วางไว้ โดยเน้นที่ทำได้ง่ายและใช้งานได้จริง อีกทั้งสามารถจัดหาวัสดุที่สั่งซื้อได้สะดวกและราคาไม่แพง โดยมีราคาชุดอุปกรณ์สำหรับสารละลายที่เตรียมไว้ปริมาตร 10 ลิตร ต่อ 1 ชุด ที่ราคาประมาณ 960.00 บาท (เก้าร้อยหกสิบบาทถ้วน)



ภาพที่ 1 ก) ชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์เสร็จแล้ว และ ข) ชุดอุปกรณ์ขณะใช้งาน

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

3.2 ผลรายงานการผลิตและสมบัติของกรดไฮโปคลอรัส

กรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มาจาก น้ำประปา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จากแหล่ง แหล่งน้ำการประปานครหลวง การผลิตเริ่มจากการเติม 1% w/v เกลือ NaCl และ 0.6% v/v น้ำส้มสายชู ในน้ำประปา ปริมาตร 10 ลิตร หลังการให้กระแสไฟฟ้า 5A, 24V เป็น เวลา 60 นาที วัดค่า ORP ได้ +1000 mV; ค่า ACC 200 ppm; ค่า pH 4.78 ขณะที่น้ำประปาโรงเรียนนายร้อย พระจุลจอมเกล้าที่ผลิตขึ้นใช้เองภายในโรงเรียน ใช้ความ เข้มข้นน้ำส้มสายชูและใช้เวลาให้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่า โดยวัดค่า ORP ได้ +934 mV; ค่า ACC 200 ppm; ค่า pH 4.51 [12] รายละเอียดตามตารางที่ 1 แม้ค่าของน้ำประปา เริ่มต้นอาจต่างกันบ้าง แต่สุดท้ายผลที่ได้ยังสอดคล้องตาม สมบัติของกรดไฮโปคลอรัสจากงานวิจัยที่ผ่านมา [1-7,14]

ตารางที่ 1 ค่า ORP, ค่า ACC และค่า pH ที่วัดได้จากการใช้ชุดอุปกรณ์ที่ ประดิษฐ์ขึ้นเอง เริ่มจากน้ำประปาที่ใช้งานถึงการเกิดกรดไฮโปคลอรัส

	(1) น้ำประปา รร.จปร.				(2) น้ำประปาคณะวิทยาศาสตร์			
	(1.1)	(1.2)	(1.3)	(1.4)	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(2.4)
ORP (mV)	+265	+269	+314	+934	+638	+644	+672	+1000*
ACC (ppm)	0	0	0	200	0	0	0	200
pH	6.64	6.64	3.83	4.51	7.35	7.34	4.30	4.78

- (1) น้ำประปาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าที่ผลิตขึ้นใช้เองภายในโรงเรียน
(2) น้ำประปาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จากแหล่งน้ำการประปานครหลวง
(1.1) และ (2.1) น้ำประปาที่ปริมาตร 10 ลิตร
(1.2) และ (2.2) น้ำประปา + 1% w/v เกลือ NaCl
(1.3) น้ำประปา + เกลือ NaCl + 0.3% v/v น้ำส้มสายชู ที่เวลา 0 นาที (ก่อนให้กระแสไฟฟ้า)
(1.4) น้ำประปา + เกลือ NaCl + 0.3% v/v น้ำส้มสายชู ใช้เวลา 35 นาที (หยุดให้กระแสไฟฟ้า)
(2.3) น้ำประปา + เกลือ NaCl + 0.6% v/v น้ำส้มสายชู ที่เวลา 0 นาที (ก่อนให้กระแสไฟฟ้า)
(2.4) น้ำประปา + เกลือ NaCl + 0.6% v/v น้ำส้มสายชู ใช้เวลา 60 นาที (หยุดให้กระแสไฟฟ้า)
*การวัดค่า ORP จากเครื่อง วัดได้ในช่วง -999 - +999 mV ค่าที่วัดเกิน > +999 จึงรายงานเป็น +1000

3.3 ผลของกรดไฮโปคลอรัสกับฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียเบื้องต้น

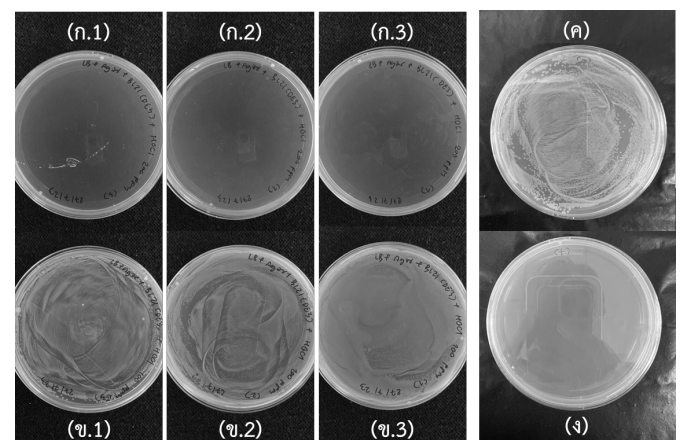
ผลของกรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้ ที่ความเข้มข้น (ACC) 200 ppm นำมาแช่กับ *E. coli* ที่เวลา 5, 10 และ 30 นาที พบว่ามีฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* บนจานเพาะเชื้อ จากนั้นศึกษาผลความเข้มข้นของกรดไฮโปคลอรัส ที่ความเข้มข้น 200 ppm และที่ความเข้มข้น 100 ppm

(แช่กับ *E. coli* ที่เวลา 5 นาที เหมือนกัน) และตรวจสอบ ฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* บนจานเพาะเชื้อ โดยดูจากโคโลนีของ *E. coli* ที่พบตามตารางที่ 2 โดยที่ค่า ความเข้มข้น 200 ppm ไม่พบมีโคโลนีบนจานเพาะเชื้อตาม ภาพที่ 2 (ก.1-ก.3) และที่ค่าความเข้มข้น 100 ppm พบ โคโลนีขึ้นบนจานเพาะเชื้อตามภาพที่ 2 (ข.1-ข.3) แสดงถึง ประสิทธิภาพของฤทธิ์การยับยั้งของกรดไฮโปคลอรัสที่ลดลง เมื่อทำการเจือจางความเข้มข้นเดิมลงครึ่งหนึ่ง

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น (ACC) ของกรดไฮโปคลอรัสที่ เวลา 5 นาที จากการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* บนจานเพาะเชื้อ

HOCl (ppm)	จำนวนโคโลนี (colonies)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
200	0	0	0
100	>300	>300	>300

ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฤทธิ์การยับยั้งระหว่าง 200 ppm กรดไฮโปคลอรัส และ 70% v/v เอทิลแอลกอฮอล์ (แช่กับ *E. coli* ที่เวลา 5 นาที เหมือนกัน) พบว่าไม่พบมี โคโลนีเกิดขึ้นตามภาพที่ 2 (ง) แสดงถึงประสิทธิภาพของ ฤทธิ์การยับยั้งในเชิงคุณภาพบนจานเพาะเชื้อใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 2 โคโลนีของ *E. coli* บนจานเพาะเชื้อ ซึ่งแช่กับสารทดสอบ (ก-ง) ที่เวลา 5 นาที: (ก) 200 ppm HOCl ซ้ำ 3 ครั้ง (ก.1-ก.3); (ข) 100 ppm HOCl ซ้ำ 3 ครั้ง (ข.1-ข.3); (ค) LB Broth, negative control และ (ง) 70% v/v เอทิลแอลกอฮอล์, positive control.

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

4. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองสามารถทำได้ง่ายและใช้งานได้จริง สำหรับสมบัติของกรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้ที่ความเข้มข้น 200 ppm เมื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของฤทธิ์การยับยั้ง *E. coli* BL21(DE3) บนจานเพาะเชื้อ พบว่าสามารถยับยั้งได้จริงและมีฤทธิ์ในเชิงคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้ 70% v/v เอทิลแอลกอฮอล์

5. กิตติกรรมประกาศ

การพัฒนาชุดอุปกรณ์ประดิษฐ์ขึ้นเอง ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนพัฒนา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (กทพ.ร.จปร.) ประจำปี 2564 และการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียได้รับความร่วมมือจากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rahman, S.M.E., Khan, I., and Oh D.-H., (2016). Electrolyzed Water as a Novel Sanitizer in the Food Industry: Current Trends and Future Perspectives. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 15: 471–490.
- [2] Huang, Y-R., Hsieh, H-S., Lin, S-Y., Lin, S-J., Hung, Y-C. and Hwang, D-F., (2006). Application of electrolyzed oxidizing water on the reduction of bacterial contamination for seafood. *Food Control.* 17: 987–993.
- [3] ศิริอุมา เจาะจิตต์, วาริท เจาะจิตต์, ปณิตดา พิบูลย์, ภาณุพงศ์ เลี่ยมสว่าง และ อรุณลักษณ์ กาญจนพิทักษ์, (2562). การประยุกต์ใช้น้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดเพื่อฆ่าเชื้อโรคในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา. *ว.วทช. มช.*, 47(3): 520–528.
- [4] Stevenson, S.M.L., Cook, S.R., Bach, S.J., and Mcallister, T.A., (2004). Effects of Water Source, Dilution, Storage, and Bacterial and Fecal Loads on the Efficacy of Electrolyzed Oxidizing Water for the Control of *Escherichia coli* O157:H7. *J. Food Prot.*, 67(7): 1377–1383.
- [5] World Health Organization., (2020). Hypochlorous Acid (HOCl) for disinfection, antiseptics, and wound care in. Core Categories 15.1, 15.2, and 13. Retrieved on Jun 20, 2021, from https://cdn.who.int/media/docs/default-source/essential-medicines/2021-eml-expert-committee/applications-for-addition-of-new-medicines/a.18_hypochlorous-acid.pdf?sfvrsn=35222172_4
- [6] วิทยา กวานเทียน, ดลฤดี ดวงสิน และ สุนิษา ฐานะภักดี, (2562). คุณสมบัติการฆ่าเชื้อก่อโรคของน้ำออกซิไดซ์. *วารสารพิษวิทยาไทย.* 34(1): 53–69.
- [7] Block, M.S. and Rowan, B.G., (2020). Hypochlorous Acid: A Review. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 78: 1461–1466.
- [8] มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะวิทยาศาสตร์, (2564). นักวิจัย ม.อ. ผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโควิด-19 พร้อมถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน [ข่าวในสื่อ]. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://www.sci.psu.ac.th/wp-content/uploads/2021/05/นักวิจัยม-อ-ผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโควิด-19-พร้อมถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน.pdf>
- [9] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, คณะศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์, (2564). คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโรคจากกรดไฮโปคลอรัส (HYPOCHLOROUS ACID) ใช้แทนแอลกอฮอล์ [ข่าววิทยาเขต]. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://kps.ku.ac.th/v8/index.php/th/news-all/kps-news/1515-คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์-ผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโรคจากกรดไฮโปคลอรัส-hypochlorous-acid-ใช้แทนใช้แทนแอล>
- [10] มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. (ม.ป.ป.). ระบบทำน้ำยาฆ่าเชื้อโรคด้วยกรดไฮโปคลอรัสเข้มข้นจากน้ำเกลือด้วยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส [ข่าวสาร]. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://www.pbpu.ac.th/pbpu/news/15290>
- [11] Hypo Source, (2021). NEW Hypo 7.5 Hypochlorous Acid Generator. Make 2 gallons HOCl in 8 minutes. Retrieved on Jun 20, 2021, from <https://hyposource.com/collections/hypochlorous-acid-generators/products/hypo-7-5>
- [12] ภัทรพล คงสุข และ สุทธธล ชี้อมาก, (อยู่ระหว่างการตอบรับจากวารสาร). การประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์และการหาสูตรผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสเพื่อการฆ่าเชื้อโรคสำหรับใช้ในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ.*
- [13] นวลใย ญารักษา, ชัดชัย แก้วตา, ศุภาวีร์ มากดี และ ธีระ สาธุพันธ์. (2564). ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการฆ่าเชื้อโรค. *วารสารเกษตรพระวรุณ,* 18(2): 41–48.
- [14] Farah, R.I., and Al-Haj Ali, S.N., (2021). Electrolyzed Water Generated On-Site as a Promising Disinfectant in the Dental Office During the COVID-19 Pandemic. *Front. Public Health,* 9: 1–5.

อาหารบรรจุถุงรีทอร์ทพร้อมทานจากผลผลิตทางการเกษตร โครงการทหารพันธุ์ดี

**Ready-to-Eat Retort Pouch Curry from Agricultural Products of
the Good soldier Project**

น.ร.ธิติพันธ์ บูรณะหิรัญวงษ์ (Thitipan Buranahirunwong)

น.ร.ปราชญ์ ปัญญาเทพ (Prach Panyathep)

น.ร.ธนวิทย์ ปลอดปล้อง (Tanawit Plodplong)

น.ร.พงศธร คู่กระสังข์ (Pongsatorn Khukrasang)

น.ร.ภูมิกัทร ขุนบรรเทา (Phoomipat Khunbunthao)

น.ร.ชยารพ ขานโคกกรวด (Chayarop Khankhokkrud)

น.ร.ชัยชวิน มุลประดับ (Chaichawin Moolpradub)

พ.ต. ดร.ปัญญาวุฒิ จันทรณอมสุข (Panyawut Janthanomsuk)*

กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

* Corresponding author, e-mail: panyawutmai@hotmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเสปียงอาหารพร้อมทานบรรจุในถุงรีทอร์ทสำหรับใช้ในราชการสนามของกองทัพบก เสปียงรูปแบบนี้มี น้ำหนักเบา พกพาสะดวก สามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิปกติ การปรุงอาหารจะใช้วัตถุดิบทางการเกษตรจาก โครงการทหารพันธุ์ดี โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า อาทิ พริกเขียว และมะเขือเปราะ มาผ่านกระบวนการปรุงตามสูตรอาหารของกรมพลธิการทหารบก ซึ่งได้เลือกทำ 2 รายการได้แก่ สูตร ผ.7 แกงเผ็ดไก่กับพริก และสูตร ผ.17 ผัดเผ็ดมะเขือเปราะกับหมู จากนั้นนำอาหารมาบรรจุลงในถุงรีทอร์ท แล้วนำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อในรีทอร์ท ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 20 min จากนั้นทำการตรวจสอบการร้าวซึมและติดฉลาก จากการคำนวณพลังงานของผลิตภัณฑ์สูตร ผ.7 และ ผ.17 ให้พลังงานอยู่ที่ 445 และ 294 kcal ตามลำดับ รสสัมผัสของเสปียงได้ถูกประเมินโดยทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยนักเรียนนายร้อย 30 นาย พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจแก่ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตร ในระดับ “พึงพอใจ” ถึง “พึงพอใจมาก” โดยค่าคะแนนการยอมรับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับ อาหารที่ปรุงสุกใหม่ตามสูตรอาหารของ พธ.ทบ. ซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อแบบรีทอร์ท นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในภาคสนาม โดยพบว่าได้รับคะแนนโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ “พึงพอใจมาก”

คำสำคัญ: เสปียงอาหารพร้อมทาน, ถุงรีทอร์ท, โครงการทหารพันธุ์ดี

1. บทนำ

การเลี้ยงดูเหล่าทหารที่ปฏิบัติหน้าที่ในยามสงครามให้มีสุขภาพที่ดี เป็นภาระกิจหนึ่งอันสำคัญยิ่ง โดยจะต้องคำนึงถึงหลักโภชนาการ สุขอนามัย รสชาติและความพึงพอใจของทหาร หากการเลี้ยงดูทหารมีมาตรฐานที่ดี จะทำให้ทหารมีขวัญและกำลังใจในการปฏิบัติงาน อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและอำนาจการรบที่ไม่มีตัวตนให้มากยิ่งขึ้น [1] เพื่อให้การเลี้ยงดูทหารของหน่วยที่ปฏิบัติหน้าที่ในสนามเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ กองทัพบก (ทบ.) ได้มีการจัดหาเสบียงรบประจำบุคคล ซึ่งประกอบไปด้วย เเสบียงอาหารแห้ง หรืออาหารกึ่งสำเร็จรูป (เสบียง ข.) และเสบียงอาหารพร้อมทาน (เสบียง ค.) หรือ Meal Ready to eat (MRE) โดยเสบียงรบประจำบุคคลเหล่านี้มีความมุ่งหมายเพื่อใช้แทนเสบียงอาหารสด หรือเสบียง ก. เมื่อไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวกในการเก็บเย็น ใช้ในกรณีรบติดพันหรือลาดตระเวนในสนาม [2] โดยเสบียงประเภทนี้สามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิปกติ อายุการเก็บรักษา 1-2 ปี สามารถใช้บริโภคได้ทันที เเสบียงรบประจำบุคคลจึงจัดเป็นเสบียงที่สำคัญในการรบ [3]

การจัดหาเสบียงรบประจำบุคคลของ ทบ. นั้น ในปัจจุบัน เเสบียง ข. จะถูกผลิตในรูปของ เนื้อกระเทียม-พริกไทยกระป๋อง โดยแผนกส่งกำลังเสบียง กองทัพบก กรมพลธิการทหารบก (พธ.ทบ.) ซึ่งเสบียงในรูปแบบบรรจุกระป๋องนั้น มีน้ำหนักมาก ไม่สะดวกต่อการพกพาไปใช้ในสนามรบ ส่วน เเสบียง ค. จะใช้การจัดซื้อจากบริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ และส่งกำลังให้แก่หน่วยต่าง ๆ ในราคา 98 บาทต่อบรรจุภัณฑ์ (ต่อมื้อ) [2] ซึ่งถือว่ามีราคาแพง อีกทั้งในปัจจุบัน ทบ. ยังขาดองค์ความรู้ในการพัฒนาเสบียง ค. หรือ MRE เป็นของตนเอง

MRE นั้นถูกพัฒนาขึ้นโดยกองทัพสหรัฐอเมริกา สำหรับกองกำลังพิเศษและหน่วยลาดตระเวนในสงครามเวียดนาม และใช้แจกจ่ายให้กับพลเรือนในช่วงที่เกิดภัยธรรมชาติ

เป็นอาหารสำเร็จรูปทานได้ทันทีโดยไม่ต้องทำการหุงต้ม โดยบรรจุอยู่ในถุงรีทอร์ท หรือ retort pouch [4] ถุงรีทอร์ทจัดเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว ทำจากวัสดุหลายชนิด มาเชื่อมประสาน ขึ้นรูปเป็นถุง แข็งแรง ทนต่อความร้อนและความดันสูงได้ สามารถบรรจุอาหารแล้วปิดผนึกให้สนิทแล้วนำไปที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูงได้ เหมือนกับกระป๋อง โดยมักฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อภายใต้แรงดัน (retort) ชนิด water spray retort อาหารในถุงรีทอร์ทที่ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ นาน 1-2 ปี [5]

“โครงการทหารพันธุ์ดี” เป็นโครงการที่จัดตั้งอยู่ในพื้นที่หน่วยทหารของ ทบ. เกือบทุกหน่วย โดยเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่ส่งเสริมให้กำลังพลของ ทบ. และครอบครัวสามารถผลิตอาหารที่ปลอดภัยสำหรับบริโภคในครัวเรือนได้เอง ดำเนินงานด้วยวิธีเกษตรอินทรีย์ตามแนวทางพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร [4]

งานวิจัยนี้มีแนวคิดการพัฒนาและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจาก โครงการทหารพันธุ์ดี กองพันทหารราบ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (รร.จปร.) เป็นเสบียงบรรจุถุงรีทอร์ทพร้อมทาน ประุงขึ้นโดยใช้สูตรอาหาร 4 ภาคของ พธ.ทบ. [6] ซึ่งได้เลือกทำ 2 รายการได้แก่ สูตร ผ.7 แกงเผ็ดไก่กับผัก และสูตร ผผ.17 ผัดเผ็ดมะเขือเปราะกับหมู ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายใต้แรงดัน หรือรีทอร์ท จึงเป็นการนำผลผลิตที่ได้จากโครงการทหารพันธุ์ดีมาใช้ประโยชน์ทางการทหาร อีกทั้งเป็นการสร้างองค์ความรู้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารรูปแบบใหม่ให้แก่ ทบ.

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

2.1 วัตถุดิบ

เสบียงอาหารที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ปรุงด้วยวัตถุดิบทางการเกษตรจาก โครงการทหารพันธุ์ดี กองพันทหารราบ รร.จปร. ได้แก่ พริกเขียว มะเขือเปราะ พริกชี้ฟ้า ไบโหระพา และใบมะกรูด สำหรับวัตถุดิบอื่น ๆ ได้แก่ เนื้อสัตว์ และเครื่องปรุง จัดซื้อจากตลาด รร.จปร.

2.2 สูตรอาหาร 4 ภาค ของ พท.ทบ.

เสบียงอาหารที่นำเสนอประกอบโดยใช้สูตรอาหารของ พท.ทบ. [6] ได้แก่ สูตร ผ.7 แกงเผ็ดไก่กับพริก และสูตร ผผ. 17 ผัดเผ็ดมะเขือเปราะกับหมู ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แกงเผ็ดไก่กับพริก (สูตร ผ.7)

ส่วนผสม	ปริมาณ ต่อ 1 ถ้วย	หน่วยนับ
ไก่สด	70	g
พริก	200	g
น้ำพริกแกงเผ็ด	15	g
มะพร้าวขูด	60	g
น้ำตาลปี๊บ	5	g
พริกชี้ฟ้าสด	5	g
ไบโหระพา	5	g
ใบมะกรูด	1	g
น้ำปลา	100	mg

2.3 กระบวนการผลิตเสบียงบรรจุถุงพร้อมทาน

2.3.1 นำอาหารบรรจุถุงพร้อมทาน ที่ปรุงสุกเสร็จแล้วตามสูตรในข้อ 2.2 มาบรรจุลงในถุงรีโอร์ท วัสดุ RCPP, PA, อะลูมิเนียม, PET หนา 4 ชั้น (0.22 มม.) ขนาด 20*30 ซม. นำไปซีลด้วยเครื่องซีลปิดปากถุง

ตารางที่ 2 ผัดเผ็ดมะเขือเปราะกับหมู (สูตร ผผ.17)

ส่วนผสม	ปริมาณ ต่อ 1 ถ้วย	หน่วยนับ
หมูสด	50	g
มะเขือเปราะ	150	g
น้ำพริกแกงเผ็ด	15	g
ไบโหระพา	5	g
น้ำตาลปี๊บ	5	g
น้ำมันพืช	1	g
น้ำปลา	100	mg

2.3.2 นำถุงรีโอร์ทที่ซีลปิดแล้วมาทำการฆ่าเชื้อในเครื่อง Autoclave (Tomy ES215) ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 20 min

2.3.3 ตรวจสอบการรั่วซึมของถุงรีโอร์ทที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว และติดฉลากเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการ

2.4 การคำนวณพลังงาน

คำนวณพลังงานและสารอาหารของผลิตภัณฑ์เสบียงบรรจุถุงพร้อมทาน ทั้ง 2 สูตร โดยใช้โปรแกรมคำนวณคุณค่าสารอาหารของอาหารไทย INMUCAL V.3.0 [3]

2.5 การทดสอบประสาทสัมผัส

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ นักเรียนนายร้อย (นร.) ของ รร.จปร. จำนวน 30 นาย ทำการเปรียบเทียบตัวอย่างอาหาร 2 คู่ ได้แก่ 1) และ 2) แกงเผ็ดไก่กับพริก ที่ปรุงสุกใหม่ตามสูตรอาหารของ พท.ทบ. (ไม่ได้ผ่านกระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อแบบรีโอร์ท) และ ผลิตภัณฑ์เสบียงบรรจุถุงพร้อมทาน สูตร ผ.7 ตามลำดับ และ 3) และ 4) ผัดเผ็ดมะเขือเปราะกับหมู ที่ปรุงสุกใหม่ตามสูตรอาหารของ พท.ทบ. (ไม่ได้ผ่านกระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อแบบรีโอร์ท) และ ผลิตภัณฑ์เสบียงบรรจุถุงพร้อมทาน สูตร ผผ.17 ตามลำดับ

ทดสอบคุณภาพด้านรสสัมผัส 5 ด้าน ได้แก่ 1) ลักษณะปรากฏและสี 2) กลิ่นรส 3) รสชาติ 4) เนื้อสัมผัส และ 5)

การยอมรับโดยรวม ระดับความชอบในการประเมิน 5 ระดับ คือ 1. ไม่พอใจมาก 2. ไม่พอใจ 3. เฉย ๆ 4. พึงพอใจ และ 5. พึงพอใจมาก

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

2.6 การประเมินความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในภาคสนาม

ให้ผู้เข้าร่วมทดสอบคือ นนร. จำนวน 30 นาย พกพาผลิตภัณฑ์เสบียงบรรจุจุกจุกพร้อมทาน สูตร ผ.7 ไปใช้ในการฝึกภาคสนาม แล้วประเมินคุณลักษณะ 4 ด้านดังนี้ 1) ความเหมาะสมของปริมาณอาหาร 2) ความสะดวกในการพกพา 3) ความสะดวกในการรับประทาน และ 4) รูปแบบบรรจุภัณฑ์ ระดับความชอบในการประเมิน 5 ระดับ คือ 1. ไม่พอใจมาก 2. ไม่พอใจ 3. เฉย ๆ 4. พึงพอใจ และ 5. พึงพอใจมาก

3. ผลการดำเนินงานและการวิจารณ์

3.1 ผลิตภัณฑ์เสบียงบรรจุจุกจุกพร้อมทาน

ผลิตภัณฑ์เสบียงบรรจุจุกจุกพร้อมทาน ถูกแสดงในภาพที่ 1 โดยผลิตภัณฑ์นี้ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก เบา สะดวกต่อการใช้บริโภคในสนาม โดยสามารถฉีกจุกแล้วรับประทานได้ทันที กระบวนการผลิตง่าย สามารถผลิตโดยกรรมวิธีที่ไม่ซับซ้อนภายใต้ขีดความสามารถที่มีของ ทบ. อีกทั้งเสบียงประเภทนี้สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน 1-2 ปี [5] เเสบียงบรรจุจุกจุกพร้อมทาน สูตร ผ.7 และสูตร ผ.17 มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยต่อจุกโดยประมาณอยู่ที่ 350 g และ 250 g ตามลำดับ ลักษณะของอาหารเมื่อฉีกออกจากจุกจุกพร้อมทานแสดงใน ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์เสบียงบรรจุจุกจุกพร้อมทาน (ซ้าย) และลักษณะของอาหารสูตร ผ.7 เมื่อเทออกจากจุก (ขวา)

3.2 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

คุณค่าทางโภชนาการถูกแสดงในตารางที่ 3 โดยสูตร ผ.7 และสูตร ผ.17 ให้พลังงาน 445.11 kcal และ 294.03 ต่อจุก ตามลำดับ เมื่อบริโภคเสบียงนี้ 1 จุก ร่วมกับข้าว (มีพลังงานประมาณ 500 kcal) จะให้พลังงานทั้งหมดอยู่ที่ประมาณ 800-950 kcal ต่อมื้อ ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมที่เพียงพอต่อวัน ตามหนังสือประกาศของ ทบ. ที่ได้กำหนดว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงดูทหารนั้นจะต้องมีปริมาณพลังงานที่ 2,400 kcal ต่อวัน [7] ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณพลังงานที่ทหารอเมริกันบริโภคต่อวันที่ 2,466 kcal [8]

สถาบันการแพทย์แห่งชาติของสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ผู้ชาย อายุ 19-50 ปี บริโภคโปรตีนวันละ 56 g โดยทหารหรือนักกีฬาอาจต้องได้รับเพิ่ม [9] ปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากเสบียง สูตร ผ.7 และสูตร ผ.17 คือ 20.78 และ 16.73 g จึงคิดเป็นร้อยละ 37 และ 30 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นว่าหากทหารบริโภคเสบียงเหล่านี้จำนวน 3 จุกต่อวัน จะได้รับโปรตีนที่เพียงพอ

3.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดย นนร. จำนวน 30 นาย พบว่าความพึงพอใจของผู้บริโภค ต่อผลิตภัณฑ์เสบียงอาหารทั้ง 2 สูตร อยู่ในเกณฑ์ “พึงพอใจ” ถึง “พึงพอใจมาก” ในทุกด้านของการประเมิน (ตารางที่ 4) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอาหารที่ปรุงสุกใหม่ และ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ สูตร ผ.7
แกงเผ็ดไก่กับผัก และ ผผ.17 ผัดเผ็ดมะเขือเปราะกับหมู

ส่วนผสม	สูตร ผ.7	สูตร ผผ.17
พลังงาน (kcal)	445.11	294.03
คาร์โบไฮเดรต (g)	37.32	20.67
ไขมัน (g)	23.39	15.77
โปรตีน (g)	20.78	16.73
แคลเซียม (mg)	63.62	73.38
เหล็ก (mg)	3.96	3.57
วิตามิน เอ (mg)	128.18	24.95
โทอะมิน (mg)	0.18	1.71
ไรโบเฟลวิน (mg)	0.26	0.22
วิตามิน ซี (mg)	28.24	16.77
ไนอะซิน (mg)	6.05	6.42

* คุณค่าทางโภชนาการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคำนวณคุณค่าสารอาหารของอาหารไทย INMUCAL V.3.0

ผลิตภัณฑ์เสปียงอาหารพร้อมทาน ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการรีทอร์ทแล้วเก็บผักถุนรีทอร์ทไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลคะแนนที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกด้านของการประเมิน (ตารางที่ 4) ทั้งสูตร ผ.7 และ สูตร ผผ.17 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยรีทอร์ท ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านรสสัมผัสของอาหารอย่างมีนัยสำคัญ

3.4 ความเหมาะสมต่อการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ปฏิบัติงานในภาคสนาม

นำผลิตภัณฑ์ สูตร ผ.7 ให้กลุ่มตัวอย่างประเมินความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ปฏิบัติงานในภาคสนาม แล้วตอบแบบสอบถาม โดยผลคะแนนที่ได้ คือ 1) ด้านความเหมาะสมของปริมาณอาหาร อยู่ที่ 4.7 ± 0.5 คะแนน (พึงพอใจมาก) 2) ความสะดวกในการพกพา อยู่ที่ 4.6 ± 0.3 คะแนน (พึงพอใจมาก) 3) ความสะดวกในการรับประทาน อยู่ที่ 4.5 ± 0.2 คะแนน (พึงพอใจมาก) และ 4) รูปแบบบรรจุภัณฑ์ อยู่ที่ 4.5 ± 0.4 คะแนน (พึงพอใจมาก) จึงสามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมต่อการพกพาไปใช้ในการฝึก หรือราชการสนาม ของ นนร.

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยนักเรียนนายร้อย ต่อผลิตภัณฑ์เสปียงอาหารทั้ง 2 สูตร

ลักษณะที่ทดสอบ	แกงเผ็ดไก่กับผัก (สูตร ผ.7)		ผัดเผ็ดมะเขือเปราะกับหมู (สูตร ผผ.17)	
	ที่ปรุงสุกใหม่	ผลิตภัณฑ์เสปียงพร้อมทาน	ที่ปรุงสุกใหม่	ผลิตภัณฑ์เสปียงพร้อมทาน
ลักษณะปรากฏและสี	4.5 ± 0.2^a	4.2 ± 0.5^a	4.4 ± 0.4^A	4.1 ± 0.5^A
กลิ่นรส	4.4 ± 0.3^a	4.1 ± 0.6^a	4.6 ± 0.2^A	4.2 ± 0.6^A
รสชาติ	4.6 ± 0.4^a	4.3 ± 0.3^a	4.7 ± 0.4^A	4.4 ± 0.1^A
เนื้อสัมผัส	4.5 ± 0.2^a	4.2 ± 0.5^a	4.5 ± 0.2^A	4.1 ± 0.4^A
การยอมรับโดยรวม	4.4 ± 0.1^a	4.3 ± 0.3^a	4.6 ± 0.3^A	4.4 ± 0.2^A

* ผู้เข้าร่วมทดสอบ 30 นาย ระดับความชอบ คือ 1. ไม่พอใจมาก 2. ไม่พอใจ 3. เฉย ๆ 4. พึงพอใจ และ 5. พึงพอใจมาก

^a (ตัวพิมพ์เล็ก) แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของตัวอย่างอาหาร สูตร ผ.7 ทั้ง 2 ชนิด และ ^A (ตัวพิมพ์ใหญ่) แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของตัวอย่างอาหาร สูตร ผผ.17 ทั้ง 2 ชนิด

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเสบียงรบประจำบุคคลประเภท ค. รูปแบบใหม่ของ ทบ. คือ "เสบียงอาหารพร้อมทานบรรจุถุงรีโอร์ท" โดยมีข้อดีคือ น้ำหนักเบา สะดวกต่อการใช้บริโภคในสนาม สามารถฉีกถุงแล้วรับประทานได้ทันที กระบวนการผลิตที่นำเสนอใช้เทคโนโลยีที่ง่าย ค่าใช้จ่ายไม่สูง โดยได้มีการนำผลผลิตทางการเกษตรจากโครงการทหารพันธุ์ดี ซึ่งหาได้ในหน่วยทหารมาเป็นวัตถุดิบ และปรุงตามสูตรอาหารของ พธ.ทบ. ทำให้มีคุณค่า-สารอาหารและพลังงานที่เพียงพอต่อภาระกิจประจำวันของทหาร ตรงตามข้อกำหนดของ ทบ. อีกทั้งผลิตภัณฑ์ยังมีรสสัมผัสเป็นที่พึงพอใจของ นนร. และมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการฝึกภาคสนามอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกิจกรรมส่งเสริมและสร้างนักเรียนนายร้อยให้เป็นนักวิจัย (ทุน วท.ภท.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมส่งกำลังบำรุงทหารบก, 2549. ระเบียบกองทัพบก ว่าด้วยการเลี้ยงดูทหาร (ประกาศใช้วันที่ 22 กันยายน พ.ศ.2549), กรมส่งกำลังบำรุงทหารบก
- [2] กรมพลธิการทหารบก, 2563. คู่มือราชการสนามว่าด้วยการเลี้ยงดูและประกอบเลี้ยงในสนาม, กรมพลธิการทหารบก
- [3] ปัญญาวุฒิ จันทรถนอมสุข, มารุต วัชรระคุปต์, และจินตนา แสนวงศ์, 2566. การพัฒนากระบวนการผลิต “ข้าวหอมมะลิกิ่งสำเร็จรูป” เพื่อใช้เป็นเสบียงรบประจำบุคคล. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 21 : 109-119.
- [4] Janthanomsuk P., Vajcharakup M., and Kaewkornmaung P., 2024. Development of “nutrition-supplemented instant riceberry combat ration” from agricultural products of Thaharn-Phandee project. Journal of Science and Agricultural Technology, 5 (2).
- [5] อนุกุล วัฒนสุข และ ทวีพัฒน์ วิจิตรปัญญารักษ์, 2567. ผลของความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อต่อความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวชนิดถุงตั้งได้. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 23 (3).
- [6] กรมพลธิการทหารบก, 2559. คู่มือการจัดการองค์ความรู้พัฒนาสูตรอาหาร, กรมพลธิการทหารบก
- [7] กรมส่งกำลังบำรุงทหารบก, 2564. หนังสือกรมส่งกำลังบำรุงทหารบกที่ กท.0404/3970 ลง 30 พ.ย. 64, เรื่องขอปรับปรุงและพัฒนาแนวทางการประกอบเลี้ยงแก่ทหารกองประจำการ, กรมส่งกำลังบำรุงทหารบก
- [8] McAdam J., McGinnis K., Ory R., Young K., Frugé A., Roberts M., and Sefton J., 2018. “Estimation of energy balance and training volume during Army Initial Entry Training,” Journal of International Society of Sports and Nutrition, vol. 15, no. 55.
- [9] Lemon, P.W., 2000. Beyond the zone: protein needs of active individuals. Journal of the American College of Nutrition, 19(5) : 513–521.

การศึกษาการกรองอนุภาคด้วยโฟมอะลูมิเนียมโดยหลักการไฟฟ้าสถิต

Study on Particle Filtration with Aluminum Foam by Electrostatic Principles

นนอ.กรรกร แสนกรุง¹ (Air-cadet Kankorn Sankrung)

นนอ.ศักดิสิทธิ์ จันทร์นุ่ม² (Air-cadet Saksit Junnum)

¹นักเรียนนายเรืออากาศ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช kankorn121043@gmail.com

²นักเรียนนายเรืออากาศ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช lsfom3@gmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกรองอนุภาคด้วยโฟมอะลูมิเนียมโดยหลักการไฟฟ้าสถิต เพื่อใช้ในการกรองอนุภาคขนาด 2.5 ไมครอนที่ส่งผลต่อสุขภาพ และเป็นมลพิษทางอากาศมีเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน โดยงานวิจัยนี้ใช้แผ่นโฟมอะลูมิเนียม 7075 ขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร และความสูง 3 เซนติเมตร และศึกษาประสิทธิภาพการกรองอนุภาค ตัวแปรที่ศึกษาคือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 400 กิโลโวลต์ 800 กิโลโวลต์ และ 1,000 กิโลโวลต์ และความหนาของแผ่นโฟมอะลูมิเนียม 7075 ที่ใช้เป็นแผ่นดักจับอนุภาคที่มีประจุความหนา 3 เซนติเมตร 6 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร ศึกษาประสิทธิภาพการกรองโดยการฉีดควันจากบุหรี่ด้วยหลอดฉีดยาปริมาตร 3 มิลลิลิตร เข้าไปในชุดกรองอนุภาค และทำการวัดปริมาณอนุภาคหลังจากผ่านชุดกรองอนุภาคเพื่อหาประสิทธิภาพการกรองอนุภาค พบว่าประสิทธิภาพการกรองสูงสุดคือ ใช้ค่าความต่างศักย์ที่ 1,000 กิโลโวลต์ และความหนาของโฟมอะลูมิเนียมดักจับอนุภาคที่มีประจุ 9 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคร้อยละ 98.47

คำสำคัญ: ความต่างศักย์ไฟฟ้า, โฟมอะลูมิเนียม

1. บทนำ

1.1 ปัญหาและสาเหตุ

ปัจจุบันปริมาณมลพิษในอากาศในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสองปีที่ผ่านมา สาเหตุเนื่องมาจากไฟฟ้าเป็นหลัก และการเผาเศษวัสดุพืชไร่ในไร่อการเกษตร ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ในเรื่องระบบทางเดินหายใจ นำมาสู่การพัฒนาเครื่องกรองอนุภาค โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนามาจากเครื่องกรองอนุภาคหลักการไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator : ESP) ที่ใช้หลักการไฟฟ้าสถิตเหมือนกัน แต่จะเปลี่ยนจากเส้นลวดทองแดง และวัสดุแผ่นกรองที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีลักษณะเป็นแผ่นทึบมาเป็นแผ่นกรองที่ทำจากโพลีเอทิลีนที่มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีรูเปิดอยู่ทั่วแผ่นกรอง ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า เพื่อต้องการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของแผ่นกรองและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกรองอนุภาคให้มากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

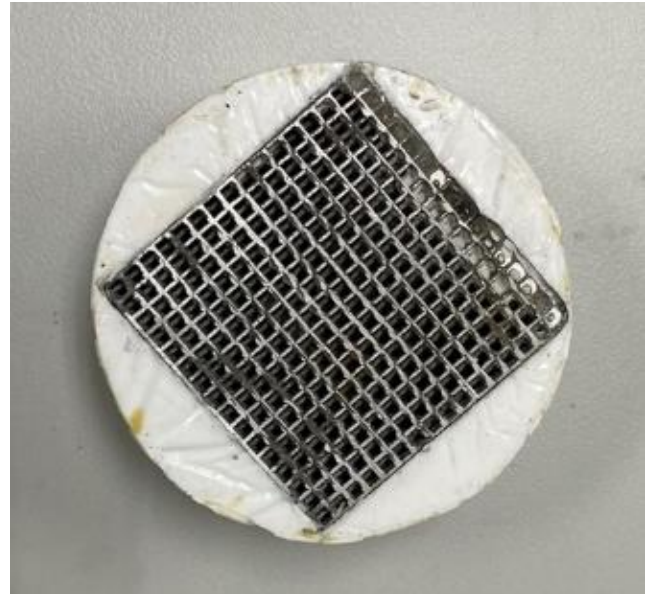
1.2.1 เพื่อศึกษาระยะห่างที่เหมาะสม ระหว่างแผ่นให้ประจุกับอนุภาคและแผ่นดักจับอนุภาคที่มีประจุ

1.2.2 เพื่อศึกษาความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการกรองอนุภาค

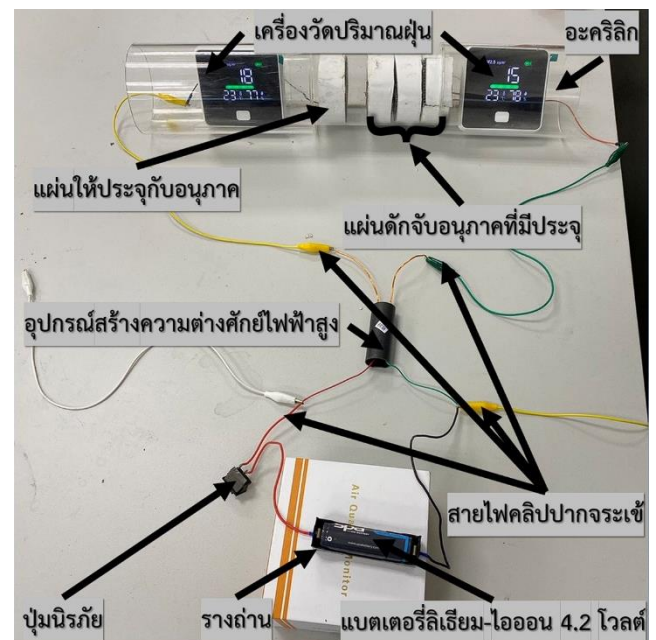
1.2.3 เพื่อศึกษาความหนาของแผ่นโพลีเอทิลีนที่เหมาะสมในการดักจับอนุภาค

2. วิธีการดำเนินการศึกษา

การวิจัยนี้เริ่มจากการสร้างแม่พิมพ์ โดยเครื่องพิมพ์สามมิติรุ่นแบบบูเอกซ์วิน-คาร์บอน จากนั้นนำชิ้นงานไปทำแม่พิมพ์หล่อโลหะเพื่อทำการขึ้นรูปแผ่นโพลีเอทิลีนรูเปิดรูปทรงลูกบาศก์ขนาดรู 0.78 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปสร้างอุปกรณ์กรองอนุภาคหลักการไฟฟ้าสถิตและทำการศึกษาค้นคว้าต่าง ๆ คือ ศึกษาระยะห่างของแผ่นโพลีเอทิลีนทั้งสองชั้น และการศึกษาความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาของแผ่นกรองที่เหมาะสม



ภาพที่ 1 แผ่นโพลีเอทิลีน



ภาพที่ 2 ชุดอุปกรณ์การกรอง

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

3. ผลการศึกษา

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระยะห่างของแผ่นโพลีเอทิลีนทั้งสองขั้วไว้ที่ไม่เกิดการสปาร์คเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกรองสูงสุดเมื่อใช้อุปกรณ์สร้างความต่างศักย์สูงขนาด 400 กิโลโวลต์ 800 กิโลโวลต์ 1,000 กิโลโวลต์ พบว่าระยะห่างของแผ่นโพลีเอทิลีนทั้งสองขั้วไว้ที่ 3 เซนติเมตร 3.5 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกรองที่ความต่างศักย์และความหนาของโพลีเอทิลีนดักจับอนุภาคที่มีประจุต่างกันได้ผลลัพธ์ดังที่แสดงในตาราง

ตารางที่ 1 ผลทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคหลักการไฟฟ้าสถิตโดยใช้แผ่นกรองโพลีเอทิลีน

ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคหลักการไฟฟ้าสถิตโดยใช้แผ่นกรองโพลีเอทิลีน (%)			
ความต่างศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ความหนาของแผ่นดักจับอนุภาคที่มีประจุ (เซนติเมตร)		
	3	6	9
400	86.30 ± 0.48	89.89 ± 1.35	92.52 ± 3.12
800	91.94 ± 1.72	93.32 ± 1.40	95.82 ± 0.89
1,000	95.19 ± 1.60	97.12 ± 0.80	98.47 ± 0.62

4. สรุปผล

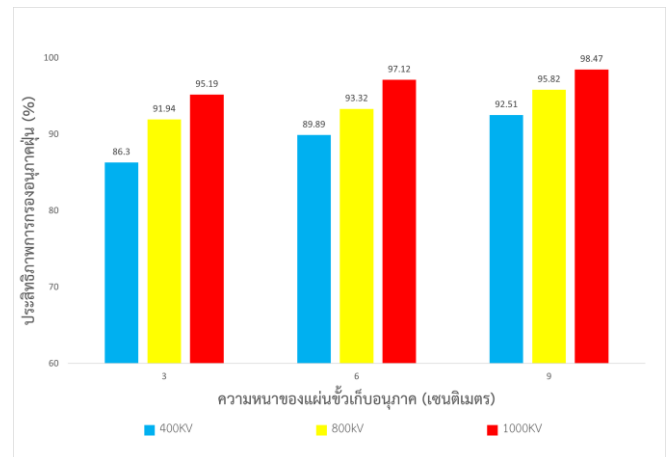
งานวิจัยเพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของการกรองอนุภาคหลักการไฟฟ้าสถิต โดยใช้แผ่นโพลีเอทิลีนแบบรูเปิดที่มีรูขนาด 0.78 มิลลิเมตร โดยการวัดอนุภาคขนาด 2.5 ไมครอน ใช้ความต่างศักย์ และความหนาของแผ่นดักจับอนุภาคที่มีประจุที่ต่างกัน

4.1 เมื่อความต่างศักย์สูงขึ้น ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ต้องมากขึ้น เพื่อป้องกันการอาร์ค และทำให้เกิดการสะสมประจุมากที่สุดที่แผ่นให้ประจุกับอนุภาค

4.2 ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น และความหนาของแผ่นโพลีเอทิลีนดักจับอนุภาคมากขึ้น

4.3 การเพิ่มความต่างศักย์จะมีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคมากกว่าเพิ่มความหนาของแผ่นโพลีเอทิลีนดักจับอนุภาค

4.4 ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคสูงสุดที่ความต่างศักย์สูงสุดและความหนาของแผ่นโพลีเอทิลีนดักจับอนุภาคมากที่สุด



ภาพที่ 1 ผลทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคหลักการไฟฟ้าสถิต

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณาจารย์สาขาวิศวกรรมวิชาการทหารและอากาศยาน โรงเรียนนายเรืออากาศ นวมินทราชตรียาธิราช กองทัพอากาศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัญช่อเนก ดินตะชาติ และ วรพรรณ หน่อแก้ว (2015), การปรับปรุงและการทดสอบภาคสนามต้นแบบเครื่องบำบัดและฆ่าเชื้อโรคในอากาศภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] ธวัชชัย แสนหาญ, จันนุสรณ์ ดีแก่, ชัยพร ปานยินดี (2020), เครื่องฟอกอากาศราคาประหยัดขนาดเล็ก ควบคุมโดยสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
- [3] สมพงษ์ ศรีมโนเสาวภาคย์ และ นายไพบุลย์ วัฒนภรณ์, “การผลิตโพลีเอทิลีนแบบเซลล์เปิดที่มีต้นทุนต่ำ และควบคุมขนาดโพรงได้”

- [4] สาโรช พันธุ์แพ, วิเชียร ลิ้มสกุล (1980), **การชุบเคลือบผิวพลาสติก ABS ด้วยโลหะ ทองแดง นิกเกิล และโครเมียม**, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สจ.ธ.
- [5] The World Bank (2022). **The global health cost of PM2.5 air pollution: A case for action beyond 2021**. Washington, DC: World Bank License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.
- [6] Intra, Assoc.Prof.Dr. Panich & Siri-achawawath, Thanavorn & Ngoenthok, Wuttipong. (2021), **Development and performance evaluation of an electrostatic air cleaner for removal particulate matter and bioaerosol from indoor air**, Rajamangala University of Technology Lanna.
- [7] Apichart Jinnapat (n.p.), MSc “**The manufacture and characterization of aluminium foams made by investment casting using dissolvable spherical sodium chloride bead preforms**”
- [8] Banhart J. , Manufacturing (n.p.), **Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams. Progress in Materials Science.**
- [9] Cha-Lee Myung, Juwon Kim, Wonwook Jang, Donyoung Jin, Simsoo Park, Jeongmin Lee (2015), **Nanoparticle Filtration Characteristics of Advanced Metal Foam Media for a Spark Ignition Direct Injection Engine in Steady Engine Operating Conditions and Vehicle Test Modes**, School of Mechanical Engineering, Korea University.
- [10] Dong Yun Choi, Eun Jeong An, Soo-Ho Jung, Dong Kuen Song, Yong Suk Oh, Hyung Woo Lee, Hye Moon Lee (2018), **Al-Coated Conductive Fiber Filters For High-Efficiency Electrostatic Filtration: Effects of Electrical and Fiber Structural Properties**, Scientific Reports.
- [11] Enze Tian, Jinhan Mo, Xiaofeng Li, **Electrostatically assisted metal foam coarse filter with small pressure drop for efficient removal of fine particles: Effect of filter medium**, Building and Environment.
- [12] Kai Liu, Davis (2019), **Nanoporous Metal Foam Gas Filters**, The Regents of the University of California.
- [13] P. Intra, 2021: 166-175 **Development and Performance Evaluation of Electrostatic Air Cleaner for Removing Particulate Matter and Bioaerosol from Indoor Air**, Laddkrabang Engineering Journal.
- [14] P.Intra (2016), **Electrostatic Aerosol Measurement and Control Technology**, ChulaPress.

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก
โดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน

**AN EVALUATION OF ACCURACY POSITION OF ORTHOPHOTO
DERIVED FROM A SMALL UAV WITHOUT GROUND CONTROL POINT**

เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ¹ และ ปญญารักษ์ โกศลวัฒน์²

¹อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, kiatkulchai@rtaf.mi.th

²อาจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, panyarak@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ: การศึกษานี้เป็นการทำแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto) ด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้น (Ground Control Point) เพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายออร์โธแสดงตำแหน่งของอาคารสถานที่และพื้นที่อื่น ๆ ของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และประเมินหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ การดำเนินการศึกษาใช้อากาศยานไร้คนขับถ่ายภาพที่ Ground Sampling Distance (GSD) เท่ากับ 3.6 เซนติเมตร/จุดภาพ ระยะซ้อนทับด้านหน้า 80 เปอร์เซ็นต์ และระยะซ้อนทับด้านข้าง 75 เปอร์เซ็นต์ นำภาพที่ได้ทั้งหมดไปประมวลผลสร้างภาพถ่ายออร์โธด้วยระบบคลาวด์แพลตฟอร์ม Drone Deploy (Cloud Platform) หลังจากนั้นนำภาพถ่ายออร์โธมาประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งในแนวราบ ซึ่งเป็นการวัดตำแหน่งบนภาพถ่ายออร์โธกับการวัดภูมิประเทศจริงโดยใช้กลุ่มตัวอย่างจากการเก็บตำแหน่ง 5 จุด พบว่าภาพออร์โธที่ได้นั้นมีค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวราบ (Relative Error) ระหว่าง 0.052 - 0.538 เมตร ซึ่งสามารถใช้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้ในงานความถูกต้องปานกลางถึงสูง ดังนั้น เทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นจึงนับเป็นเทคโนโลยีที่ประหยัดทั้งค่าใช้จ่าย เวลา และ แรงงานในการทำงานในภาคสนามได้มาก สามารถนำภาพถ่ายออร์โธไปใช้งานเชิงพื้นที่และใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ได้ โดยเฉพาะในช่วงกรณีเร่งด่วนหรือช่วงกรณีวิกฤต (Emergency Case) ที่ต้องการข้อมูลเร่งด่วนในขณะที่ไม่มีเครื่องมือและทรัพยากรพร้อมใช้งานได้ในเวลาที่จำกัด

คำสำคัญ: ภาพถ่ายออร์โธ, อากาศยานไร้คนขับ, ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง, โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

1. บทนำ

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics) เป็นวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับภูมิศาสตร์ คือ การรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographical Information Systems หรือ GIS) และระบบการนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) โดยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นวิทยาการที่กำลังเข้ามามีบทบาทในการประยุกต์ใช้ช่วยเหลือในการบริหารและการตัดสินใจเชิงพื้นที่ทุกชนิดสามารถใช้ประมวลผลและแสดงผลข้อมูลทางภูมิศาสตร์ในลักษณะของรูปภาพได้ [1] จึงเป็นวิทยาการที่สำคัญที่หลายหน่วยงานได้นำมาใช้แก้ปัญหาและพัฒนาในหลากหลายด้าน เช่น ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การเกษตร การผังเมือง การติดตามความก้าวหน้าโครงการก่อสร้าง การจราจร และการขนส่ง ความมั่นคงทางทหาร และการจัดการด้านภัยธรรมชาติ [2] ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยเทคโนโลยีด้านภูมิสารสนเทศสามารถนำมาประกอบการวางแผนเพื่อช่วยในการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

ปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) กำลังได้รับการประเมินสำหรับการวิเคราะห์และการจัดการปัญหาเชิงพื้นที่ เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลจากดาวเทียม [3] [4] [5] โดยเฉพาะภารกิจการใช้อากาศยานไร้คนขับในการเก็บข้อมูลและประมวลผลเพื่อสร้างแผนที่ทางอากาศของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ซึ่งปรับย้ายมาอยู่ที่ตั้งแห่งใหม่ใน พ.ศ.2566 ณ อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี และด้วยเหตุนี้โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชจึงมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ค่อนข้างมากในช่วงปีที่ปรับย้ายจนถึงปัจจุบัน ยกตัวอย่างเช่น การสร้าง/พัฒนาสนามกีฬา การปลูกสวนป่า การปรับปรุงเส้นทางถนน และการปรับภูมิทัศน์อื่น ๆ ดังนั้น การถ่ายภาพทางอากาศของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชด้วยอากาศยานไร้คนขับจึงต้อง

ดำเนินการหลายครั้งในหลายช่วงเวลาเพื่อข้อมูลภาพถ่ายออร์โธ (Orthomosaic) มาใช้ในการสนับสนุนและช่วยเหลือตกลงใจในการพัฒนาเชิงพื้นที่โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช แต่ด้วยการถ่ายภาพทางอากาศต้องใช้เวลาและทรัพยากรมาก เช่น จุดควบคุมภาคพื้น (Ground Control Point: GCP) เครื่องรับพิกัดสัญญาณดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) รวมถึงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตรึงพิกัดภาพ (Georeferencing) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างแผนที่ภาพถ่ายออร์โธของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินในขณะที่ภาพถ่ายออร์โธยังมีคุณภาพเพียงพอสามารถนำไปใช้สนับสนุนและช่วยเหลือตกลงใจในด้านการพัฒนาเชิงพื้นที่โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชได้ ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ

- 1) เพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก และ
- 2) เพื่อประเมินหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ

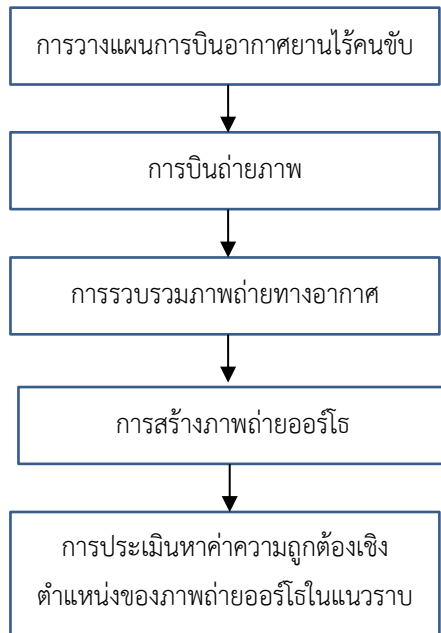
2. การดำเนินการศึกษา

การสร้างภาพถ่ายทางอากาศของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กและประเมินหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบมีขั้นตอนศึกษา 2 ขั้นตอนใหญ่ดังนี้

- 1) การใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กบินถ่ายภาพสำหรับการผลิตภาพถ่ายออร์โธ
- 2) การประเมินหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ

โดยวิธีดำเนินการทั้ง 3 ขั้นตอนนั้นมีกระบวนการดำเนินการย่อยดังแสดงตามภาพที่ 1

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา

2.1 เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

การศึกษานี้ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ตามภาพที่ 2 ในการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ คือ อากาศยานไร้คนขับยี่ห้อ/รุ่น DJI Phantom 4 Pro V.2 ที่มีกล้องบันทึกภาพถ่ายในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible Spectral: RGB) ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สำคัญดังแสดงตามตารางที่ 1 และสามารถบินบันทึกภาพได้นานถึง 25-30 นาทีต่อแบตเตอรี่หนึ่งก้อน



ภาพที่ 2 อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก DJI Phantom 4

โดยการศึกษานี้ได้กำหนดการบันทึกภาพของกล้องจาก DJI Phantom 4 Pro V.2 มีสัดส่วนและขนาดของภาพที่บันทึกเป็น 4:3 Aspect Ratio: 4864x3648 และการ

ได้มาของภาพต้องดำเนินการบินบันทึกภาพภายใต้ท้องฟ้าที่แจ่มใสและความเร็วลมต่ำในช่วงเวลาระหว่าง 10.00 นาฬิกา ถึง 14.00 นาฬิกาตามเวลาประเทศไทย ระดับความสูงในการบินบันทึกภาพ 120 เมตร ถ่ายภาพให้มีระยะซ้อนด้านหน้า (Frontlap) 80% และระยะซ้อนด้านข้าง (Sidelap) 75%

ตารางที่ 1 องค์ประกอบกล้องบันทึกภาพของ DJI Phantom 4 Pro V.2

องค์ประกอบ	คุณลักษณะ
เซนเซอร์	1-inch CMOS, Effective pixels: 20M
เลนส์	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8-f/11 auto focus at 1 m-∞
สัดส่วนและขนาดภาพที่บันทึก	3:2 Aspect Ratio: 5472x3648
	4:3 Aspect Ratio: 4864x3648
	16:9 Aspect Ratio: 5472x3078
ชนิดไฟล์ภาพที่บันทึก	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG

2.2 การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศได้ใช้ระบบคลาวด์แอปพลิเคชัน Drone Deploy (www.dronedeploy.com) สำหรับเป็นเครื่องมือในการวางแผนการบินเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศรวมถึงการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศด้วย ซึ่งการเก็บข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การวางแผนการบินอากาศยานไร้คนขับ การบินถ่ายภาพทางอากาศ การเก็บรวบรวมภาพถ่ายทางอากาศ และการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ (ภาพถ่ายออร์โธ)

2.3 การประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ

การทดสอบความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ ซึ่งการศึกษานี้จะวัดค่าความผิดพลาด

สัมพัทธ์ (Relative Error) หรือ Percent Error (%E) คือ ค่าร้อยละความผิดพลาดที่ได้จากค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริงตามสมการการหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ ดังต่อไปนี้

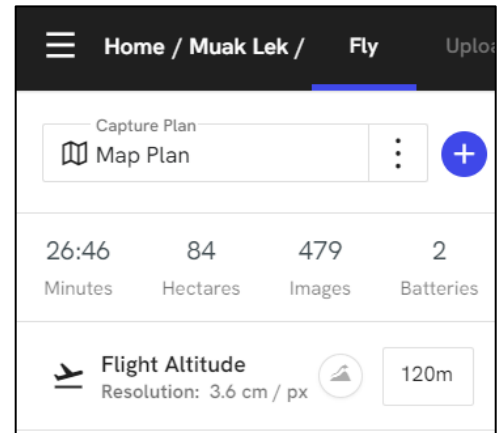
$$\%relative\ error = \left| \frac{x_t - x_m}{x_t} \right| \times 100$$

โดยที่ x_t คือค่าจริง และ x_m คือค่าที่วัดได้ ซึ่งในการศึกษานี้ ค่าจริง คือ ค่าที่วัดระยะทางจากจุดอ้างอิงหนึ่งไปยังอีกจุดอ้างอิงหนึ่งของสภาพพื้นที่จริงภายในโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (ค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการวัดจริง 5 ครั้ง) ส่วนค่าที่วัดได้ คือ ค่าที่วัดระยะทางจากจุดอ้างอิงเดิมทั้ง 2 จุด ซึ่งเป็นการวัดระยะทางบนภาพถ่ายออร์โธเพื่อหาค่า Percent Error

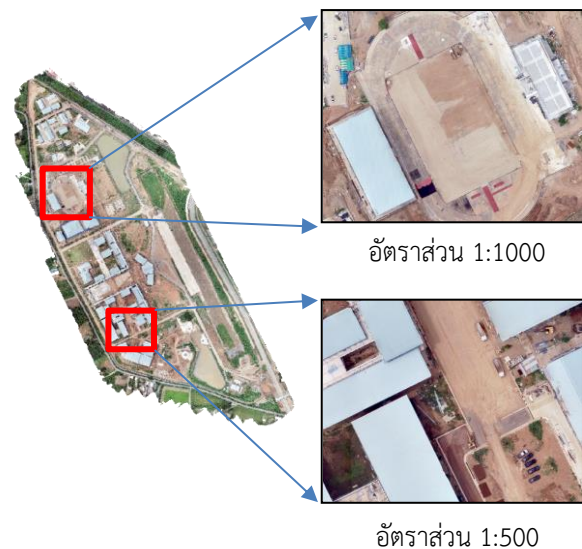
3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการบินถ่ายภาพทางอากาศ

การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศในการศึกษานี้ใช้แอปพลิเคชัน Drone Deploy เป็นเครื่องมือในการวางแผนการบินรวมถึงการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งผลการประมวลผลภาพบนระบบคลาวด์ของแอปพลิเคชัน Drone Deploy จะได้ข้อมูลภาพออร์โธของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชที่มีความละเอียดภาพที่ 3.6 เซนติเมตร/พิกเซล โดยมีค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ระยะทำการบินที่ความสูง 120 เมตร เวลาการบินประมาณ 27 นาที ใช้แบตเตอรี่ 2 ก้อน และได้ภาพทั้งหมด 479 ภาพในพื้นที่ทั้งหมด 84 เฮกเตอร์ ดังแสดงรายละเอียดตามภาพที่ 3 โดยภาพที่ได้นั้นครอบคลุมโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชและเป็นภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดสูงเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากดาวเทียมหรือจาก Google Map ทั้งยังมีรายละเอียดที่เป็นปัจจุบันสามารถนำไปใช้ประโยชน์เชิงพื้นที่ได้อย่างทันท่วงที ซึ่งผลการประมวลผลภาพออร์โธนั้นแสดงตามภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวางแผนการบิน



ภาพที่ 4 ผลการประมวลผลภาพถ่ายออร์โธ

3.2 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ

เมื่อได้ผลภาพออร์โธของพื้นที่โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชแล้วนั้น การศึกษานี้ได้ทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของภาพออร์โธในแนวราบ โดยได้เลือกตำแหน่งการวัดระยะทางเปรียบเทียบระหว่างการวัดระยะจากภาพถ่ายและการวัดระยะบนพื้นโลกจริง ๆ ซึ่งเป็นการเลือกแบบสุ่ม (Random) มา 5 ตำแหน่ง คือ (A) ลานหน้าพระบรมราชานุสาวรีย์ รัชกาลที่ 9

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

(B) ลานหน้าอาคารกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม (C) ลานข้างอาคารสนามกีฬา (D) ลานหลังอาคารกองบัญชาการ และ (E) ลานหน้าอาคารพุทธสถาน ดังแสดงตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตำแหน่งการหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ

ซึ่งผลการวัดค่าความคาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ มีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลค่าการวัดและค่าความคาดเคลื่อนของการวัด ณ ตำแหน่ง A-E

ตำแหน่ง	ค่าเฉลี่ยการวัดระยะจริง (เมตร)	ค่าการวัดระยะบนภาพถ่ายออร์โธ (เมตร)	ค่าความคาดเคลื่อน (% error)
A	50.43	50.24	3.8%
B	27.19	27.12	2.64%
C	7.79	7.84	5.38%
D	20.86	20.84	1.05%
E	22.75	22.74	0.52%

โดยผลการวัดค่าความคาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบในตารางที่ 2 นั้น ค่าเฉลี่ยการวัดระยะจริงบนพื้นโลกได้จากการวัดจริงจำนวน 5 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าระยะทางที่วัดบนภาพถ่ายออร์โธ ซึ่งค่าค่าการวัดและค่าความคาดเคลื่อนของการวัด ณ ตำแหน่ง A-E นั้นมีค่าความคาดเคลื่อนในแนวราบอยู่ระหว่าง 0.52% - 5.38%

4. บทสรุป

การศึกษานี้เป็นการทำแผนที่ภาพถ่ายออร์โธด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายออร์โธแสดงตำแหน่งของอาคารสถานที่และพื้นที่อื่น ๆ ของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และประเมินหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธในแนวราบ การดำเนินการศึกษาใช้อากาศยานไร้คนขับถ่ายภาพความละเอียด 3.6 เซนติเมตร/จุดภาพ โดยบินถ่ายภาพที่ความสูง 120 เมตร ระยะซ้อนทับด้านหน้า 80 เปอร์เซ็นต์ และระยะซ้อนทับด้านข้าง 75 เปอร์เซ็นต์ นำภาพที่ได้ทั้งหมดไปประมวลผลสร้างภาพถ่ายออร์โธด้วยระบบคลาวด์แพลตฟอร์ม Drone Deploy หลังจากนั้นนำภาพถ่ายออร์โธมาประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งในแนวราบ ซึ่งเป็นการวัดตำแหน่งบนภาพถ่ายออร์โธกับการวัดภูมิประเทศจริงโดยใช้กลุ่มตัวอย่างจากการเก็บตำแหน่ง 5 จุด พบว่าภาพออร์โธที่ได้นั้นมีค่าค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวราบ (Relative Error) ระหว่าง 0.052 - 0.538 เมตร ซึ่งสามารถใช้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้ในงานความถูกต้องปานกลางถึงสูง ดังนั้น เทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นจึงนับเป็นเทคโนโลยีที่ประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายเวลา และ แรงงานในการทำงานในภาคสนามได้มาก สามารถนำภาพถ่ายออร์โธไปใช้งานเชิงพื้นที่และใช้ในการสนับสนุนการตกลงใจเกี่ยวกับการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ได้

โดยเฉพาะในช่วงกรณีเร่งด่วนหรือช่วงกรณีวิกฤตที่ต้องการข้อมูลเร่งด่วนในขณะที่ไม่มีเครื่องมือและทรัพยากรพร้อมใช้งานได้ในเวลาที่จำกัด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเป็นนออย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาและกลั่นกรองโครงการทุกท่านที่ได้กรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบ แก้ไข และติดตามความคืบหน้า ตลอดจนมอบความกรุณาดูแลเอาใจใส่ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วง นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาทุกท่านที่อนุเคราะห์ให้ใช้พื้นที่สำหรับการศึกษาวิจัย รวมถึงขอขอบคุณบุคลากรที่เกี่ยวข้องที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

- [1] อัญญา บูชายันต์, วณมพร พาหะนิชย์ และภูมิ สาทสินธุ์. (2561). เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศกับการรู้เรื่องภูมิศาสตร์. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 20(2), 385-397.
- [2] ธัญวรัช จรุงภัทรพงษ์, อภิรดา นามแสง และ นวทัศน์ ก้องสมุทร (2564). การเปรียบเทียบหลักเกณฑ์การใช้งานอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินเพื่อการเกษตร ในประเทศไทยและต่างประเทศ. วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 21(1), 105-121.
- [3] เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ, ฐาปนัต บัวภิบาล และ อานนท์ ศรีประเสริฐ. (2563). การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อสร้างแผนที่ดิจิทัล. วารสารศรีปทุมปริทัศน์, 12, 93-105.
- [4] พนัส นัถฤทธิ์ (2564). การควบคุมอากาศยานไร้คนขับโดยสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรม. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร, 16(1), 140-154.

- [5] รัฐพล พรหมมาศ และ จักรพงษ์ ไชยวงษ์ (2564). การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนบินขนาดเล็กในการสำรวจตรวจสอบพื้นที่และทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่อำเภอแม่แจ่ม โดยชุมชนมีส่วนร่วม. วารสารนิเทศศาสตร์ปริทัศน์, 25(2), 110-125.

การศึกษาแมลงศัตรูพืชตามฤดูกาลที่พบในพื้นที่ทหารพันธุ์ดี กองพันทหารราบ
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

**Study of Seasonal Insect Pests in Thaharn Phandee Project
Area of Infantry Battalion in Chulachomklao Royal Military Academy**

พันโท ผศ. สามารถ พรเจริญ¹

¹อาจารย์ส่วนการศึกษา กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก 26000

Email: Samart.po@crma.ac.th

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและการเปลี่ยนแปลงประชากรตามฤดูกาลของแมลงในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี กองพันทหารราบ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า โดยการสุ่มอย่างง่ายสำรวจประชากรแมลงในพื้นที่การปลูกผักใน 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (มี.ค. 2566 – พ.ค. 2566), ฤดูฝน (มี.ย.2566-ต.ค. 2566) และ ฤดูหนาว (พ.ย.2566 - ก.พ.2567) การดักจับแมลงในแปลงด้วยวิธีการ 2 วิธี คือ 1) ใช้สวิงโฉบ และ 2) ใช้กับดักด้วยเหยื่อสารล่อแมลงที่ได้พัฒนาขึ้นมาจากสารสกัดจากใบกะเพราและสารสกัดจากดอกดาวเรือง ในอัตราส่วน 3:1 มีประสิทธิภาพในการดักจับแมลงต่อหนึ่งกับดักได้สูงสุด เมื่อทำการสำรวจจำนวนแมลงตลอดทั้งปี 3 ฤดูกาล จากการศึกษาพบว่า แมลงศัตรูพืชที่มีปริมาณมากที่สุด 3 ชนิดแรก ได้แก่ ตัวงเต่าแดงแดง (วงศ์ Chrysomelidae) แมลงวันทอง (วงศ์ Tephritidae) และ เพลี้ยอ่อน (วงศ์ Aphididae) โดยฤดูร้อนพบจำนวนแมลงศัตรูพืชมากที่สุด 5,223 ตัว รองลงมาคือ ฤดูหนาว และฤดูฝน มีจำนวน เท่ากับ 3,281 และ 2,267 ตัว ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบแมลงศัตรูธรรมชาติ ได้แก่ ตัวงเต่าลายจุด และมวนพิฆาต ซึ่งมีสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการควบคุมศัตรูพืชโดยธรรมชาติให้อยู่ในสภาวะที่สมดุล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการบริหารและจัดการศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: แมลงศัตรูพืช, แมลงศัตรูธรรมชาติ, สารล่อแมลง, การแพร่ระบาดตามฤดูกาล, โครงการทหารพันธุ์ดี

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

1. บทนำ

โครงการทหารพันธุ์ดี มีวัตถุประสงค์เพื่อนำแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศรมหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร มาดำเนินการให้เห็นผลเป็นรูปธรรม ดำเนินการด้วยวิถีเกษตรธรรมชาติ ตลอดจนส่งเสริมให้กำลังพลของกองทัพบกและครอบครัวสามารถที่จะผลิตอาหารที่ปลอดภัยสำหรับบริโภค ลดภาระค่าใช้จ่ายและเพิ่มรายได้ให้แก่ครอบครัวเรือน และที่สำคัญยังเป็นแหล่งการเรียนรู้ของกำลังพลและประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นแล้ว การศึกษาชนิดและปริมาณของแมลงศัตรูพืชและแมลงศัตรูธรรมชาติ รวมทั้งแมลงที่ช่วยผสมเกสรในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดีจึงมีความสำคัญต่อการทำเกษตรอินทรีย์ที่ได้ดำเนินการในโครงการนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการวางแผนการปลูกและการเฝ้าระวัง รวมถึงการควบคุมแบบทางชีววิธีเพื่อให้ผลผลิตที่ได้มีความปลอดภัยต่อผู้ปลูกและผู้บริโภค

ปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ฤดูกาล ซึ่งพบว่า ในแต่ละพื้นที่การเพาะปลูกในฤดูกาลปลูกที่แตกต่างกัน จะมีการระบาดของแมลงศัตรูพืชที่แตกต่างกัน จากการศึกษาวิจัยของ Zida Issaka และคณะ (2020) ในช่วงฤดูฝนมักจะมี การฝนตกบ่อยครั้ง สภาพแวดล้อมชื้นช่วยสร้างสภาพอากาศที่เหมาะสมให้แมลงศัตรูพืชอยู่ในระหว่างฤดูกาลนี้ มีการแพร่กระจายอย่างแพร่หลาย ช่วงฤดูร้อน แมลงศัตรูพืชอาจมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอากาศร้อนขึ้นทำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของแมลง นอกจากนี้

จากการศึกษาของ Kumar, P., & Bhowate, S. (2020) พบว่าช่วงฤดูหนาวมักจะมีสภาพอากาศหนาวเย็น ซึ่งอาจทำให้แมลงศัตรูพืชหยุดเจริญเติบโต การศึกษาแมลงศัตรูพืชในช่วงฤดูหนาว จะช่วยให้เกษตรกรเตรียมความพร้อมในการจัดการกับแมลงศัตรูพืชในฤดูกาลถัดไปได้

โดยสรุปแล้ว การศึกษาแมลงศัตรูพืชตามฤดูกาลเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเข้าใจและควบคุมศัตรูพืชในแต่ละช่วงเวลาของปีทั้งนี้เนื่องจาก แมลงศัตรูพืชมีพฤติกรรมและรูปแบบการพัฒนาที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นการศึกษาและติดตามความเคลื่อนไหวของแมลงศัตรูพืชในแต่ละฤดูกาลช่วยให้เกษตรกรได้ทำความเข้าใจและวางแผนการจัดการศัตรูพืชได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาสารล่อแมลงจากสมุนไพรในการดักจับแมลงในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี กองพันทหารราบ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

2.2 เพื่อศึกษาชนิดของแมลงศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติที่สำคัญในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดีกองพันทหารราบ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

3. การดำเนินการวิจัย

3.1. การพัฒนาสารล่อแมลงจากสมุนไพรในการดักจับแมลงในพื้นที่โครงการ ฯ

ผู้วิจัยได้พัฒนาโดยประยุกต์ใช้สูตรผสมระหว่าง สารล่อแมลงจากสมุนไพร โดยใช้สารสกัดจากสารสกัดจากใบกะเพราที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (V/V)และสารสกัดจากดอกดาวเรืองที่ความ

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ (V/V) โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ประกอบด้วย ชุดทดลอง 3 ทรีตเมนต์แต่ละความเข้มข้นทำการทดลอง 5 ซ้ำ ดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 สารสกัดจากใบกระเพรา : สารสกัดจากดอกดาวเรือง = 1:1 V/V

ทรีตเมนต์ที่ 2 น้ำ : สารสกัดจากใบกระเพรา : สารสกัดจากดอกดาวเรือง = 1:1:1 V/V

ทรีตเมนต์ที่ 3 สารสกัดจากใบกระเพรา : สารสกัดจากดอกดาวเรือง = 3:1 V/V

โดยการวางกับดักมีลักษณะดังภาพที่ 1 และแผนผังการวางตามภาพที่ 2



ภาพที่ 1 การวางกับดักที่ใช้เหยื่อล่อ



ภาพที่ 2 แผนผังจุดกับดักที่ใช้เหยื่อล่อ

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ด้วยวิธีการ Least Significant Difference : LSD)

3.2 สํารวจและเก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี ฯ

ซึ่งมีการปลูกตลอดช่วงที่ทำการทดลองวิจัยในระยะเวลา 1 ปี แบ่งเป็น 3 ช่วงตามฤดูกาลคือ

- ช่วงฤดูร้อน เก็บผลการทดลอง ตั้งแต่ มี.ค.66 – พ.ค. 66
- ช่วงฤดูฝน เก็บผลการทดลอง ตั้งแต่ มิ.ย.66 – ต.ค. 66
- ช่วงฤดูหนาว เก็บผลการทดลอง ตั้งแต่ พ.ย.66 – ก.พ. 67

เก็บตัวอย่างแบบสุ่มอย่างมีระบบแบบ Stratified random sampling โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาย่อยจำนวน 3 แปลงตามชนิดของผักที่ปลูก จากนั้นสุ่มตัวอย่างด้วยหน่วยสุ่มขนาด 1 ตารางเมตร จำนวน 5 หน่วยสุ่มจากแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย ด้วยวิธีการใช้สวิงโอบ (วัฒนา, 2563) สัปดาห์ละ 1 ครั้ง และมีการประยุกต์ใช้ กับดักกาวน้ำดักจับแมลงเพื่อดักจับแมลงแสดงดังภาพที่ 3

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



ภาพที่ 3 กัดักกาวน้ำดักจับแมลงที่ผสมสารล่อแมลง

4.1 การพัฒนาสารล่อแมลงจากสมุนไพรในการดักจับแมลง
ในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี ฯ

เมื่อวางกับดักที่ใช้เหยื่อล่อ เป็นเวลา 3 เดือน ทางคณะผู้วิจัยได้
ทำการเก็บและนับจำนวนแมลงที่อยู่ในขวดดักจับแมลง จากนั้น
นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้
Analysis of Variance (ANOVA) ด้วยวิธี Least Significant
Difference : LSD) ได้ผลดังตารางที่ 1

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนแมลงตามจุดต่าง ๆ ในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี

เดือน	จำนวนแมลงเฉลี่ยที่จับได้ต่อ 1กับดัก ± SD ในแต่ละสูตรต่าง ๆ		
	กะเพรา : ดาวเรือง (3:1)	กะเพรา : ดาวเรือง (1:1)	น้ำ:กะเพรา : ดาวเรือง(2:1:1)
ธ.ค.65	85.74± 98.14 ^c	64± 63.79 ^c	51± 33.79 ^{bc}
ม.ค.66	107.56± 98.14 ^{bc}	79.70 ± 87.21 ^{abc}	81.48 ± 75.04 ^{abc}
ก.พ.66	192.81± 158.81 ^a	129.70 ± 95.34 ^{ab}	96.76 ± 59.17 ^{abc}

*** Mean within the same row and column followed by the same letters are not significantly different at the 0.05 level by LSD

จากผลการทดลองพบว่า สารล่อแมลงที่ประกอบด้วย
สารสกัดจากใบกะเพราและสารสกัดจากดอกดาวเรือง ใน
อัตราส่วน 3:1 สามารถดักจับแมลงต่อหนึ่งกับดักได้สูงสุด โดยมี
จำนวนเท่ากับ 192.81± 158.81 ตัว และในอัตราส่วนของ น้ำ:
กะเพรา : ดาวเรือง (2:1:1) ดักจับแมลงต่อหนึ่งกับดักได้ต่ำสุด
โดยมีจำนวนเท่ากับ 96.76 ± 59.17 ตัว ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ นุชนาฏ และคณะ (2562) ที่ศึกษาการใช้สารสกัด
ใบกะเพราและดอกดาวเรืองเป็นสารล่อแมลงวันในสวนมะม่วง
พบว่าที่อัตราส่วนสารสกัดจากกะเพราร่วมกับสารสกัดจากดอก
ดาวเรือง ที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ 100 % มีประสิทธิภาพในการ
ดักจับแมลงวันได้สูงสุด

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

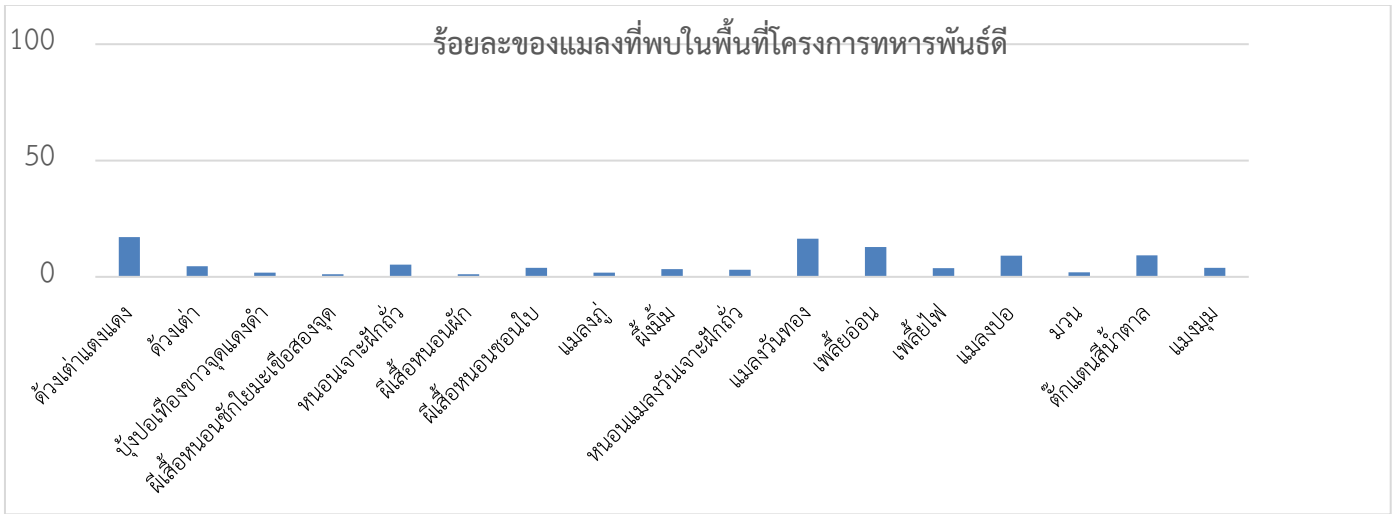
4.2 การสำรวจและศึกษาชนิดของแมลงในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดีฯ

จากการศึกษาและสำรวจชนิดและปริมาณของแมลงในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี กองพันทหารราบ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ซึ่งมีการปลูกตลอดช่วงที่ทำการทดลองวิจัยในระยะเวลา 1 ปี จากการเก็บตัวอย่างแมลงในแปลงพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี ฯ พบว่า จำนวนแมลงที่ดักจับได้มีปริมาณที่แปรผันตามฤดูกาลต่างๆ จากการทดลองพบว่า จำนวนแมลงที่สามารถดักจับได้มีจำนวนมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน (7,430 ตัว) และจำนวนแมลงที่สามารถดักจับได้น้อยที่สุดใน ช่วงฤดูฝน (3,251 ตัว) ซึ่งช่วงฤดูร้อนดังกล่าวนี้ เป็นช่วงที่ปลูกพืชผักหลายชนิด ได้แก่ พริกชี้ฟ้า ผักบุงจีน ถั่วฝักยาว และแตงกวา และบริเวณโดยรอบแปลงมีแหล่งอาหารที่อุดมสมบูรณ์ไม่ว่าจะเป็นสวนมะยมชนิดที่กำลังออกผลแก่เต็มที่ สังเกตได้จาก จำนวนแมลงวันทองที่เป็นศัตรูพืชของมะยมชนิดนี้มีปริมาณที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับฤดูกาลอื่น ๆ และช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของแมลงต่างๆ ซึ่งจากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทวีศักดิ์และคณะ (2562) ที่ศึกษาความผันแปรตามฤดูกาลของประชากรแมลงวันผลไม้ ในจังหวัดลพบุรี พบว่า แมลงวันผลไม้มีปริมาณมากที่สุดในช่วงฤดูร้อนที่มี

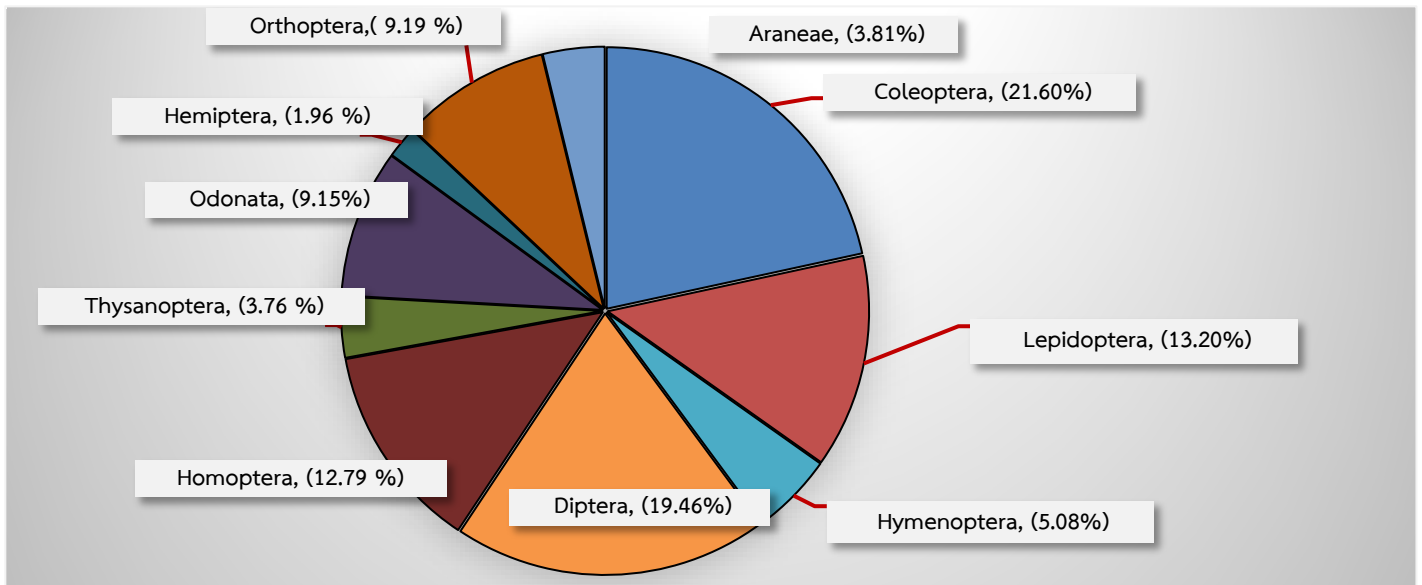
แหล่งอาหารอุดมสมบูรณ์ในสวนผลไม้ที่กำลังแก่และสุกเต็มที่ นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่า แต่ละประเภทและชนิดของแมลงก็จะแตกต่างกันไปตามชนิดของผักที่ปลูกในแปลงทดลองด้วย เช่น จากการทดลอง หนอนแมลงวันเจาะฝักถั่วซึ่งเป็นแมลงศัตรูพืชจะพบได้ในแปลงที่ ปลูกถั่วฝักยาวเท่านั้น นอกจากนี้ฤดูกาลต่างๆ ก็มีผลต่อระบาดของศัตรูพืชในแต่ละชนิด เช่น เพลี้ยอ่อน มีจำนวนมากในช่วงฤดูหนาว ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเพลี้ยอ่อนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nozato, K. (1987) ที่ศึกษาจำนวนของ เพลี้ยอ่อนในแปลงปลูกผักในจังหวัด Kochi Prefecture ประเทศญี่ปุ่น พบว่า ในช่วงฤดูหนาวจะพบการระบาดของเพลี้ยอ่อนในแปลงผักมากขึ้น

จากภาพที่ 4 พบว่า ตัวง่าเต่าแดงมีจำนวนมากที่สุดในพื้นที่โครงการฯ คิดเป็นร้อยละ 17.1 และแมลงวันทองมีจำนวนคิดเป็นร้อยละ 16.40 ซึ่งแมลงทั้งสองชนิดเป็นแมลงศัตรูพืชผักที่สำคัญในพื้นที่โครงการ ฯ แต่จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างแมลงศัตรูธรรมชาติได้แก่ ตัวง่าลายจุด แมลงปอ มวนพิฆาต ก็มีปริมาณเพียงพอในการควบคุมศัตรูพืชผักให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้การระบาดของแมลงศัตรูพืชยังไม่ได้สร้างความเสียหายให้กับแปลงผักที่ปลูกในพื้นที่โครงการ เมื่อจำแนกแมลงเป็นคลาสต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 5

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
 THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

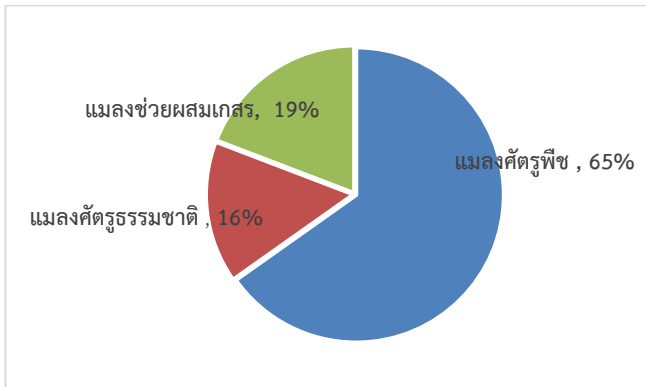


ภาพที่ 4 ร้อยละของแมลงที่พบในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี



ภาพที่ 5 แสดงสัดส่วนของแมลงคลาสต่าง ๆ ที่พบในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดี

เมื่อจำแนกตามประเภทของแมลงในพื้นที่โครงการ
 ทหารพันธุ์ดี ๖ แสดงได้ดังรูปภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงสัดส่วนเป็นร้อยละของประเภทของแมลงที่พบในพื้นที่
โครงการทหารพันธุ์ดีฯ

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 การพัฒนาสารล่อแมลงจากสมุนไพรในการดักจับ
แมลงในพื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดีฯ

จำนวนแมลงที่ได้ดักได้มีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละ
สูตรของสารล่อแมลงและช่วงเวลาของการศึกษา โดยแมลง
ติดกับดักน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าว
เป็นฤดูหนาว เมื่อเปรียบเทียบแต่ละสูตรของสารล่อแมลงใน
ช่วงเวลาเดียวกัน สารล่อแมลงที่ประกอบด้วยสารสกัดจาก
ใบกะเพราและสารสกัดจากดอกดาวเรือง ในอัตราส่วน 3:1
สามารถดักจับแมลงต่อหนึ่งกับดักได้สูงสุด โดยมีจำนวน
เท่ากับ 192.81 ± 158.81 ตัว และในอัตราส่วนของ
น้ำ:กะเพรา : ดาวเรือง(1:1:1) ดักจับแมลงต่อหนึ่งกับดักได้
ต่ำสุดโดยมีจำนวนเท่ากับ 96.76 ± 59.17 ตัว

5.2 ชนิดของแมลงศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติที่สำคัญใน
พื้นที่โครงการทหารพันธุ์ดีฯ

ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่าง ประชากรแมลงในพื้นที่
การปลูกผักใน 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (มี.ค. – พ.ค.2566)
ฤดูฝน (มี.ย.-ต.ค.2566) และ ฤดูหนาว (พ.ย.2566 -ก.พ.
2567) การดักจับแมลงในแปลงด้วยวิธีการ 2 วิธี คือ

1) ใช้สวิงโฉบ และ 2) ใช้กับดักที่มีสารล่อแมลงที่ได้
พัฒนาขึ้นมา โดยวิธีการใช้สวิงโฉบ พบแมลงในพื้นที่จำนวน
ทั้งสิ้น 10 อันดับ ได้แก่ Coleoptera, Lepidoptera,
Hymenoptera, Diptera, Homoptera, thysanoptera,
Odonata, Hemiptera, Orthoptera, และ Araneae ซึ่ง
จำแนกได้เป็น 17 วงศ์ จากผลการทดลองพบว่า แมลง
ศัตรูพืชที่มีปริมาณมากที่สุด 3 ชนิดแรก ได้แก่ ตัวงเต่าแดง
แดง (วงศ์ Chrysomelidae), แมลงวันทอง (วงศ์
Tephritidae) และ เพลี้ยอ่อน (วงศ์ Aphididae) คิดเป็น
ร้อยละ 17.1, 16.4, และ 12.8 ตามลำดับ โดยสามารถแบ่ง
แมลงที่พบออกได้เป็น แมลงศัตรูพืช (ร้อยละ 65), แมลงศัตรู
ธรรมชาติ (ร้อยละ 16), แมลงช่วยผสมเกสร (ร้อยละ 19) ซึ่ง
ประเภทของแมลงศัตรูธรรมชาติที่พบในพื้นที่มีสัดส่วนที่
เหมาะสมต่อการควบคุมศัตรูพืชโดยธรรมชาติให้อยู่ใน
สถานะที่สมดุลได้ นอกจากนี้ จากการศึกษาวิจัยพบว่า ฤดู
ร้อนมีจำนวนแมลงศัตรูพืชมากที่สุด 5,223 ตัว รองลงมาคือ
ฤดูหนาว และฤดูฝน มีจำนวน เท่ากับ 3,281 และ 2,267
ตัว ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อย
พระจุลจอมเกล้า ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย ขอขอบคุณ
อาจารย์กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่อำนวยความสะดวกใน
การดำเนินการงานวิจัยทางด้านเครื่องมือและข้อเสนอแนะ
อันเป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ บรรลุ
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ทำให้เกิดประโยชน์แก่โรงเรียน
นายร้อยพระจุลจอมเกล้าและกองทัพบก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zida, I., Nacro, S., Dabiré, R., & Somda, I. (2020). Seasonal abundance and diversity of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in three types of plant formations in Western Burkina Faso, West Africa. *Annals of the Entomological Society of America*, 113(5), 343-354.
- [2] Kumar, P., & Bhowate, S. (2020). Diversity and Abundance of Beneficial Insects in Forest Ecosystem of Madhya Pradesh. In *Biological Forum—An International Journal* (Vol. 12, No. 1, pp. 40-45).
- [3] วัฒนา ศักดิ์ชูวงศ์, (2563). *วิธีการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแมลง การสุ่มตัวอย่างและวิเคราะห์ความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงในดินเบื้องต้น*.
- [4] นุชนาฏ บุญชู และคณะ, (2562). การใช้สารสกัดจากใบกะเพราและดอกดาวเรืองเป็นสารล่อและเหยื่อพิษเพื่อควบคุมแมลงวันผลไม้ในสวนมะม่วง. *วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มร ย.*, 4(1), 1-7.
- [5] ทวีศักดิ์และคณะ, (2562). ความหลากหลายชนิดและการแพร่ระบาดของมดลูกของแมลงวันผลไม้ในสวนกระท้อนจังหวัดลพบุรี. *Thai Agricultural Research Journal*, 39(1).

ความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงในพื้นที่นาข้าวอินทรีย์
แปลงนาสาธิตโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
**Biodiversity of Insects in Organic Rice Fields
,Chulachomkiao Royal Military Academy**

นักเรียนนายร้อย ธิติทัศน์ ปัญญาธิม¹ นักเรียนนายร้อย จุล จุลปานะ¹
นักเรียนนายร้อย ประภฤทธิ อินทรารุธ¹ นักเรียนนายร้อย ณัฐภัทร แสนทวี¹
นักเรียนนายร้อย วงศ์วิรัช จิตรดารานนท์¹
พันโท ผศ. สามารถ พรเจริญ²

¹นักเรียนนายร้อย กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก 26000
Email: thititap2544@gmail.com

²อาจารย์ที่ปรึกษา กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก 26000
Email: Samart.po@crma.ac.th

บทคัดย่อ: บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของแมลงในพื้นที่นาข้าวอินทรีย์แปลงนาสาธิต โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าช่วงตั้งแต่เดือน กรกฎาคมถึง ตุลาคม 2566 โดยใช้แผนการสุ่มแบบธรรมดาโดยใช้สวิงโฉบ ผลการศึกษาพบแมลง 7 ชนิด (520 ตัว) แมลงที่พบมีจำนวน 6 อันดับ 7 วงศ์ โดยพบแมลงอันดับ Araneae (32.31 %) มีจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือ อันดับ Odonata (22.88%) จำแนกตามความสำคัญได้ดังนี้ คือ แมลงศัตรูพืชจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ หนอนกอข้าว และด้กัแตน คิดเป็นร้อยละ 14.62 แมลงศัตรูธรรมชาติจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ตัวงเต่า แมลงปอ มวนดูดไข่ คิดเป็นร้อยละ 44 และแมลงผสมเกสร ได้แก่ ผีเสื้อ และแมงมุม คิดเป็นร้อยละ 41.73 เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของ แซนนอน - ไวเนอร์ (H') พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.639 ค่าสมเอนท์ (J') มีค่าเท่ากับ 0.640 และมีค่าความเด่น(C) เท่ากับ 0.226 เมื่อพิจารณาสัดส่วนของปริมาณที่พบระหว่างศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติ พบว่า จำนวนแมลงศัตรูธรรมชาติมีมากกว่าศัตรูพืช ซึ่งปริมาณของแมลงศัตรูธรรมชาติที่มากกว่าศัตรูพืชมีผลดีต่อแปลงนาข้าวอินทรีย์ซึ่งทำให้ไม่ได้รับความเสียหายจากแมลงศัตรูพืช

คำสำคัญ: ความหลากหลายทางชีวภาพ, แมลงในนาข้าว, นาข้าวอินทรีย์, แปลงนาสาธิตโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

1. บทนำ

การทำเกษตรธรรมชาติ เป็นปัญหาที่สำคัญและมีความจำเป็นที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนคือ การจัดการการระบาดของแมลงศัตรูพืช ซึ่งพบว่า ในบางพื้นที่ก่อให้เกิดความล้มเหลวของการเกษตรในอดีต เช่น การระบาดของแมลงบัวในนาข้าวจังหวัดอุบลราชธานี ทำให้ชาวนาต้องอพยพถิ่นฐาน เป็นต้น นอกจากนี้พบว่า แมลงศัตรูพืชบางชนิดมีการขยายพันธุ์รวดเร็ว ทำให้มีการทำลายพืชผลทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก และเป็นวงกว้าง แมลงศัตรูพืชบางชนิด ยังสามารถปรับตัวและต้านทานต่อยาปราบศัตรูพืช

จากการดำเนินโครงการในพื้นที่แปลงนาสาธิต โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า มาตั้งแต่ปี 2549 ในพื้นที่การทำเกษตรธรรมชาติ ยังไม่มีการสำรวจแมลงศัตรูพืช ดังนั้นแล้วโครงการนี้จึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งต่อการดำเนินโครงการทหารพันธุ์ดี ซึ่งข้อมูลชนิด และจำนวนของแมลงศัตรูพืช ที่จะสำรวจและบันทึกไว้ จะเป็นฐานข้อมูลที่น่าไปใช้ประโยชน์ได้จริง ในการติดตามสถานการณ์ศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของแมลงที่สำคัญในพื้นที่แปลงนาสาธิต โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
2. เพื่อจัดทำฐานข้อมูลเกี่ยวกับแมลงที่สำคัญในพื้นที่แปลงนาสาธิต โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

3. การดำเนินการวิจัย

ทำการสำรวจแมลงพื้นที่แปลงนาข้าวอินทรีย์ จำนวน 8 แปลง ขนาดแปลงนา 0.50 -1.44 ไร่ ด้วยวิธีการสุ่มธรรมดา คือ การใช้สวิงโอบตามเส้นทแยงมุมของพื้นที่นา ทุกสัปดาห์ ดังแสดงดังภาพที่ 1 เก็บตัวอย่างแมลงในภาชนะพลาสติก บันทึกชนิด จำนวนของแมลงที่พบ และบันทึกภาพ



ภาพที่ 1 ดักจับแมลงโดยใช้สวิงโอบ

วิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ทำการทดลอง โดยใช้สมการของแซนนอน - ไวเนอร์ ได้แก่

$$\text{สูตร } H' = - \sum P_i \ln P_i$$

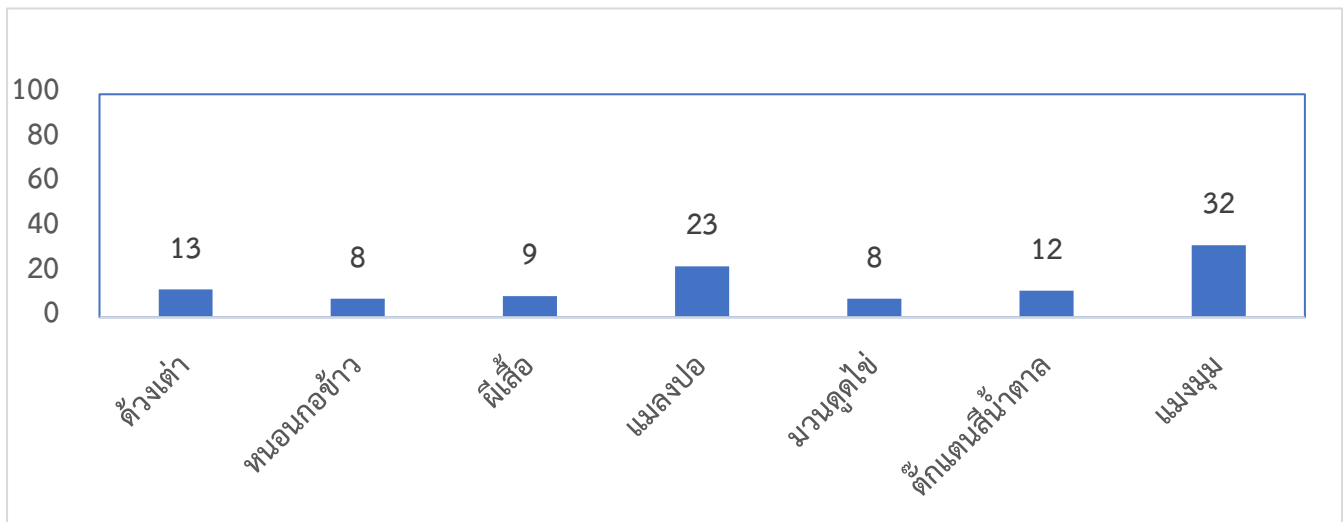
วิเคราะห์ค่าดัชนีความเด่นของแมลงในพื้นที่ที่ต้องการศึกษาโดยใช้สมการของซิมป์สัน (Simpson's index) ได้แก่

$$\text{สูตร } C = \sum (n_i/N)^2$$

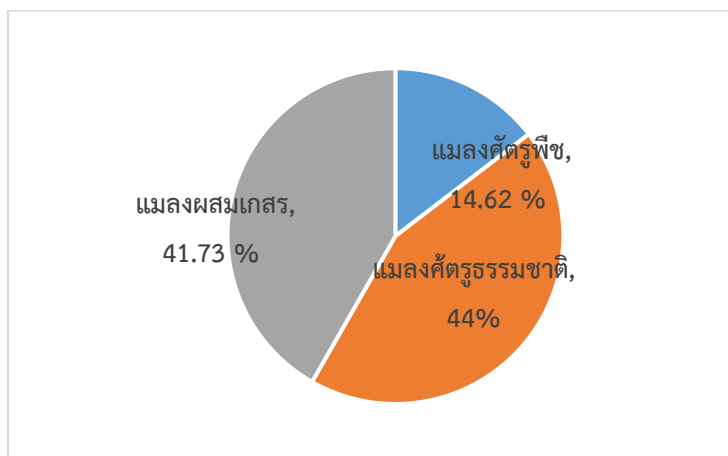
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1ST NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ได้ทำการเก็บตัวอย่างแมลงในช่วงที่ทำการปลูกข้าวตลอด
ระยะเวลาการปลูกข้าวได้ผลดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ร้อยละของแมลงต่าง ๆ ที่สำรวจพบในพื้นที่แปลงนาสาธิต



ภาพที่ 3 ร้อยละชนิดของแมลงที่สำรวจพบในพื้นที่

ชนิดของแมลงที่พบในพื้นที่นาข้าวอินทรีย์ ในแปลง
นาสาธิต โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า การสำรวจ
ในช่วงฤดูฝน (เดือน ก.ค. -ต.ค.66) มีจำนวนชนิดแมลง 7



ภาพที่ 4 ตัวอย่างแมลงที่ดักจับได้ในแปลงนาข้าว

ชนิด จำแนกตามความสำคัญได้ดังนี้ คือ แมลงศัตรูพืช
จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ หนอนกอข้าว และตั๊กแตน คิดเป็น
ร้อยละ 14.62 แมลงศัตรูธรรมชาติจำนวน 3 ชนิด ได้แก่

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

ด้วงเต่า แมลงปอ มวนคุดไข่ คิดเป็นร้อยละ 44 และแมลงผสมเกสร ได้แก่ ผีเสื้อ และแมงมุม คิดเป็นร้อยละ 41.73 แสดงได้ดังภาพที่ 3 ตัวอย่างของแมลงดังภาพที่ 4 เมื่อพิจารณาสัดส่วนของปริมาณที่พบระหว่างศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติ พบว่า จำนวนแมลงศัตรูธรรมชาติมีมากกว่าศัตรูพืช ซึ่งปริมาณของแมลงศัตรูธรรมชาติที่มากกว่าศัตรูพืช มีผลดีต่อแปลงนาข้าวอินทรีย์ซึ่งทำให้ไม่ได้รับความเสียหายจากแมลงศัตรูพืช นอกจากนี้ปริมาณของแมลงช่วยผสมเกสรที่มากก็จะทำให้ได้มีผลผลิตข้าวอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สอดคล้องของงานวิจัยของ Nasiruddin, M., & Roy, R. C. (2012) และ Ane, N. U., & Hussain, M. (2016)

การคำนวณหาค่าความหลากหลายชีวภาพและค่าดัชนีความเด่นในพื้นที่วิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Biological Diversity Index) และค่าดัชนีความเด่น (Dominant Index) โดยได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ และค่าดัชนีความเด่นในพื้นที่โครงการฯ

ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ	ค่าดัชนีความเด่น
0.640	0.226

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและสำรวจแมลงต่างๆ ในแปลงนาสาธิตฯ แมลงที่พบมีจำนวน 6 อันดับ 7 วงศ์ 7 ชนิด มีจำนวน 520 ตัว โดยพบแมลงอันดับ Araneae (32.31 %) มีจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือ อันดับ Odonata (22.88%) สัดส่วนของแมลงที่มีความสมดุลกันทำให้เกิดความสมดุลทาง

ธรรมชาติส่งผลดีต่อข้าวที่ปลูกในแปลงนาสาธิต ฯ ทำให้ไม่ต้องพึ่งพาสารเคมีในการกำจัดแมลงที่เป็นศัตรูพืช ซึ่งถือได้ว่าเป็นแปลงนาที่เป็นระบบอินทรีย์อย่างแท้จริง เหมาะสมต่อการเป็นแปลงนาสาธิตต่อเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้งในจังหวัดนครนายกและจังหวัดใกล้เคียงได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกิจกรรมส่งเสริมและสร้างนักเรียนนายร้อยให้เป็นนักวิจัย (กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า) ที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัยและผู้วิจัยต้องขอบพระคุณ พ.ท.ผศ.สามารถ พรเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nasiruddin, M., & Roy, R. C. (2012). Rice field insect pests during the rice growing seasons in two areas of Hathazari, Chittagong. *Bangladesh Journal of Zoology*, 40(1), 89-100.
- [2] Ane, N. U., & Hussain, M. (2016). Diversity of insect pests in major rice growing areas of the world. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(1), 36-41.

ความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่
ของผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช

**READINESS TO ENTER THE ELDERLY SOCIETY STRENGTHENING DIGITAL
SKILLS AND LIVING A NEW WAY OF LIFE FOR THE ELDERLY
IN NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE**

อุไร ทองหัวไผ่¹ (Urai Thonghuapai)¹

สาธิษฐ นากกระแสร์² (Sathit Nakkrasae)²

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240 Email: thnghph@hotmail.com

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาระดับความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ของผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2565 ที่อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยสุ่มแบบเจาะจง จำนวน 100 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการ ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ และแบบประเมินทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้มีประสบการณ์ จำนวน 3 คน ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ ได้ค่า IOC เท่ากับ 1.00 วิเคราะห์ข้อมูลโดยคำนวณค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ ความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ของผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราชในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย=3.17, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.83) โดยทักษะการใช้ Line Application มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด (MEAN=3.48, S.D.=0.80) รองลงมาได้แก่ ทักษะการใช้ Facebook (MEAN=3.31, S.D.=0.88) ทักษะการใช้ TikTok (MEAN=2.98, S.D.=0.99) และ ทักษะการใช้ Live ในเพจ (MEAN=2.93, S.D.=1.02) ตามลำดับ

คำสำคัญ: ความพร้อม, ทักษะดิจิทัล, ผู้สูงอายุ

1. ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มจำนวนประชากรผู้สูงอายุเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสถิติเดือนธันวาคม 2564 ประเทศไทยมีผู้สูงอายุทั้งหมดจำนวน 12,241,542 คน [1] กระทรวงอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญในการขับเคลื่อนการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อเตรียมความพร้อมการเข้าสู่สังคมสูงวัยของประเทศไทยที่จะดึงผู้สูงอายุเป็นพลังในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม โดยสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ หรือ วช. ได้สร้างกลไกการเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุของประเทศไทย โดยสนับสนุนทุนวิจัยและขับเคลื่อนผลงานวิจัยพร้อมใช้ในประเด็นเรื่อง “การเปลี่ยนเกษียณเป็นพลัง” สนับสนุนการเข้าสู่สังคมการเรียนรู้ตลอดชีวิต เพื่อพัฒนาทักษะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและพัฒนาศักยภาพในการทำงาน [2]

มหาวิทยาลัยรามคำแหงได้เห็นความสำคัญของสังคมผู้สูงอายุจึงได้เข้าร่วมโครงการ “การเปลี่ยนเกษียณเป็นพลัง” และจัดกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการ ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ เพื่อสร้างทักษะการเรียนรู้เรื่องดิจิทัลเบื้องต้น เป็นการเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุของประเทศไทย ดำเนินกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการ 4 แอปพลิเคชัน ได้แก่ Line Application, Facebook, การ Live ในเพจ และ TikTok โดยให้ผู้สูงอายุที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปจำนวน 100 คน ในจังหวัดนครศรีธรรมราชได้ร่วมกันทำกิจกรรมเป็นทีม สร้างเครือข่ายทางสังคม สร้างทักษะดิจิทัลทำให้รู้เท่าทัน มีความรอบคอบ ไม่เปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลลงในสื่อสาธารณะ สามารถรักษาความปลอดภัยของตนเองเมื่ออยู่ในระหว่างการใช้งานสื่อออนไลน์ได้ เป็นการปกป้องและใช้ประโยชน์จากข้อมูลในโลกเสมือนจริงได้ [3] อีกทั้งส่งเสริมการตลาดออนไลน์ เพื่อพัฒนาทักษะเทคโนโลยีและสร้างธุรกิจออนไลน์สำหรับผู้สูงอายุในยุคดิจิทัล [4]

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาระดับความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ด้านเสริม สร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ของผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากร คือ ผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2565 ผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยสุ่มแบบเจาะจงจากผู้สูงอายุที่สมัครใจเข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการจำนวน 100 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ได้แก่ กิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการ ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ และแบบประเมินทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ 4 แอปพลิเคชัน ได้แก่ Line Application, Facebook, การ Live ในเพจ และ TikTok

3.3 วิธีรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยสร้างเครื่องมือวิจัยและหาคุณภาพของเครื่องมือด้วยการหาความเที่ยงตรงของเนื้อหา โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 คน พิจารณาตรวจสอบได้ค่า IOC=1.00 แสดงว่าข้อคำถามวัดได้ตรงวัตถุประสงค์ ทำการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 100 คน ซึ่งแจ้งวัตถุประสงค์ กำหนดวันเวลาและสถานที่ ดำเนินกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการ 4 แอปพลิเคชัน ได้แก่ Line Application, Facebook, การ Live ในเพจ และ TikTok เก็บรวบรวมข้อมูลในระหว่างวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2565 ถึงวันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2565 ณ ศูนย์วิทยบริการเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยรามคำแหงจังหวัดนครศรีธรรมราช

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ แบบประเมินทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (MEAN) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

กำหนดเกณฑ์แปลค่า 5 ระดับตามวิธีการของลิเคิร์ต ดังนี้

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

คะแนน	ความหมาย
1	มีทักษะน้อยมาก
2	มีทักษะน้อย
3	มีทักษะปานกลาง
4	มีทักษะสูง
5	มีทักษะสูงมาก

กำหนดเกณฑ์แปลค่าเฉลี่ยทักษะดิจิทัลเบื้องต้นดังนี้ [5]

ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
1.00-1.49	มีทักษะระดับน้อยมาก
1.50-2.49	มีทักษะระดับน้อย
2.50-3.49	มีทักษะระดับปานกลาง
3.50-4.49	มีทักษะระดับสูง
4.50-5.00	มีทักษะระดับสูงมาก

4. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ระดับความพร้อมการเข้าสู่สังคมสูงวัยด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ของผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทักษะการใช้	MEAN	S.D.	แปลผล
1. Line Application			
1.1 การเข้าใจดิจิทัล	3.44	0.86	ปานกลาง
1.2 การสร้างกลุ่มเครือข่าย	3.51	0.99	มาก
1.3 การแบ่งปันความรู้	3.71	0.86	มาก
1.4 การสร้างห้องประชุม	3.24	0.98	ปานกลาง
รวม	3.48	0.80	ปานกลาง
2. Facebook			
2.1 การใช้งาน Facebook	3.45	0.96	ปานกลาง
2.2 การสร้างเพจ	2.99	1.05	ปานกลาง
2.3 การสร้างสังคมออนไลน์	3.22	1.00	ปานกลาง
2.4 การแลกเปลี่ยนข้อมูล	3.44	1.02	ปานกลาง
2.5 การค้นหาข้อมูล	3.45	1.05	ปานกลาง
รวม	3.31	0.88	ปานกลาง

ทักษะการใช้	MEAN	S.D.	แปลผล
3. การ Live ในเพจ			
3.1 การสร้างการรับรู้ของธุรกิจ	2.94	1.06	ปานกลาง
3.2 การสร้างโอกาสในการขายสินค้า	2.91	1.03	ปานกลาง
รวม	2.93	1.02	ปานกลาง
4. TikTok			
4.1 การแชร์ประสบการณ์	3.10	1.08	ปานกลาง
4.2 การสร้างองค์ความรู้ให้กับบุคคลที่สนใจได้	3.04	1.01	ปานกลาง
4.3 การติดตามและตัดต่อคลิปเบื้องต้นได้	2.81	1.07	ปานกลาง
รวม	2.98	0.99	ปานกลาง
ภาพรวม	3.17	0.83	ปานกลาง

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 1 แสดงว่า ผู้สูงอายุที่เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการมีความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ของผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราชในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง (MEAN=3.17, S.D.=0.83) โดยทักษะการใช้ Line Application มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด (MEAN=3.48, S.D.=0.80) รองลงมาได้แก่ ทักษะการใช้ Facebook (MEAN=3.31, S.D.=0.88) ทักษะการใช้ TikTok (MEAN=2.98, S.D.=0.99) และ ทักษะการ Live ในเพจ (MEAN=2.93, S.D.=1.02) ตามลำดับ



ภาพที่ 1 การอบรมเชิงปฏิบัติการ ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่

5. การอภิปรายผล

จากการวิจัยมีประเด็นที่น่าสนใจควรนำมาอภิปรายผล ดังนี้ ความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงวัย ด้านเสริมสร้างทักษะดิจิทัลและใช้ชีวิตรูปแบบชีวิตวิถีใหม่ของผู้สูงอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราชในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง โดยทักษะการใช้ Line Application มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ทักษะการใช้ Facebook ทักษะการใช้ TikTok และทักษะการใช้ Live ในเพจ ตามลำดับ อาจสืบเนื่องมาจากผู้เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการส่วนใหญ่มีปัญหาในการปฏิบัติใช้โทรศัพท์ที่ไม่คล่อง อีกทั้งมีปัญหาทางด้านสายตา โทรศัพท์ที่ใช้มีแพลตฟอร์มแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ต่ำ บางคนเรียนไม่ทัน ไม่เข้าใจการทำงานจริง สอดคล้องกับอิทธิพร เมธาสิทธิ์ [6] ที่กล่าวว่า โรคสมองเสื่อมเป็นโรคที่พบบ่อยในผู้สูงอายุทั่วโลก ประมาณร้อยละ 90 พบในอายุ 60-65 ปี โดยมีอาการเริ่มต้นจากการมีภาวะความจำถดถอยเล็กน้อย มีผลกระทบทำให้มีปัญหาด้านความจำผิดปกติ หลงลืม ถ้ามั่ว ๆ จำเหตุการณ์ไม่ได้ มีอารมณ์หรือพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไป ไม่สามารถเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ ได้ ดังนั้นคะแนนเฉลี่ยที่ได้จึงอยู่ในระดับปานกลาง ขัดแย้งกับ วราพิณทร์ ชาววิวัฒน์ [7] ได้ศึกษาแนวทางการส่งเสริมทักษะดิจิทัลของครู สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิษณุโลก เขต 2 เพื่อศึกษาทักษะดิจิทัลของครูและแนวทางการส่งเสริมทักษะดิจิทัลของครู สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิษณุโลก เขต 2 ผลการวิจัย พบว่า 1.ผลการศึกษาทักษะดิจิทัลของครู สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิษณุโลก เขต 2 ในภาพรวม อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายทักษะ พบว่า ทักษะที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ทักษะการใช้งาน อินเทอร์เน็ตอยู่ในระดับมาก และทักษะที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ ทักษะการใช้โปรแกรมสร้างสื่อดิจิทัลอยู่ในระดับมาก

6. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระดับความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงวัยในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้นผู้วิจัยควรหาแนวทางในการพัฒนาทักษะและความรู้แก่ผู้สูงอายุให้มีความรู้มากขึ้น เช่น เพิ่มเวลาในการอบรมเชิงปฏิบัติการให้มากขึ้นหรือจัดทำคลิปวิดีโอในหัวข้อที่ผู้สูงอายุสนใจเพื่อต่อยอดและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ผู้สูงอายุให้ได้รับประโยชน์และเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพชีวิตภายใต้เทคโนโลยีดิจิทัลในปัจจุบัน

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยโครงการ สูงวัย ใส่ใจสุขภาพดี มีพลัง สู่สังคมดิจิทัล (Aging, health-conscious, and energetic towards a digital society) โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมกิจการผู้สูงอายุ, 31 ธันวาคม 2564. สถิติผู้สูงอายุประเทศไทย 77 จังหวัด. <http://www.dop.go.th>.
- [2] สุวดี เหมือนอัน, 01 พ.ค. 2566. อว. 3 ปีกับการปฏิรูปวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม เปลี่ยนเกษียณเป็นพลัง “สนับสนุนผู้สูงอายุสู่สังคมเรียนรู้ตลอดชีวิต”. กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. <https://www.mhesi.go.th>.
- [3] สาธิษฐ์ นากกระแสด และคณะ, 2565. RAM1131 ทักษะการเข้าถึงดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- [4] มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2566. โครงการ “สูงวัย ใส่ใจสุขภาพดี มีพลัง ในยุคดิจิทัล”. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- [5] บุญส่ง นิลแก้ว, 2541. การประเมินโครงการทางการศึกษา. เชียงใหม่ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [6] อิทธิพร เมธาสิทธิ์, 2567. อย่าให้อาการหลงลืม เป็นจุดเริ่มต้นของ “การสูญเสียความทรงจำ”. ประจวบคีรีขันธ์ : โรงพยาบาลกรุงเทพ หัวหิน.
- [7] วราพิณทร์ ชาววิวัฒน์, 2565. แนวทางการส่งเสริมทักษะดิจิทัลของครู สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิษณุโลก เขต 2. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.

การวัดขนาดสัดส่วนตามหลักการยศาสตร์ กรณีศึกษา
สัดส่วนมือของนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

**ANTHROPOMETRY DATA: A CASE STUDY OF CHULACHOMKLAO ROYAL
MILITARY ACADEMY CADETS' HAND**

นร. นวพรรษ ณ นรงค์¹, นร. ธนาวุฒิ เกตุสมบุรณ์¹, นร. ทัดพงศ์ นัยศิริ¹, นร. นรุตม์ชัย อยู่ประเสริฐ¹,
นร. พิรัช อินทรักษา¹, นร. พุฒินาถ คำกลิน¹, พ.ท. พิสิฐ เจือไทย²

¹นักเรียนนายร้อย สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ ส่วนการศึกษา

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า นครนายก 26001

²อาจารย์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า นครนายก 26001

Email: phisit.ju@crma.ac.th

บทคัดย่อ: การออกแบบเครื่องมือ อุปกรณ์ หรืออาวุธที่ต้องใช้มือในการปฏิบัติภารกิจให้เหมาะสมกับขนาดสัดส่วนร่างกายของนักเรียนนายร้อยตามแนวทางยศาสตร์ได้นั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายของนักเรียนนายร้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดสัดส่วนมืออย่างละเอียด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดขนาดสัดส่วนมือขวา ของนักเรียนนายร้อย 300 นาย แบบสุ่มจำนวน 19 สัดส่วนคือ ระยะห่างปลายนิ้วชี้-ง่ามนิ้วหัวแม่มือ, ความยาวนิ้วหัวแม่มือ, ความยาวนิ้วชี้, ความยาวนิ้วกลาง, ความยาวนิ้วนาง, ความยาวนิ้วก้อย, ระยะโคนนิ้วกลาง-กึ่งกลางโคนฝ่ามือ, ระยะห่างปลายนิ้วหัวแม่มือ-กึ่งกลางโคนฝ่ามือ, ความยาวรอบฝ่ามือ, ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่2), ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่3), ความยาวฝ่ามือ, ความกว้างฝ่ามือ, ความกว้างมือ, ความกว้างข้อมือ, ความกว้างแขนท่อนล่าง, ความกว้างแขนท่อนบน, ความยาวแขนท่อนล่าง (ข้อมือถึงข้อศอก) และ ความยาวแขนท่อนบน (ข้อศอกถึงหัวไหล่) โดยใช้เครื่องมือวัด ประกอบด้วย เครื่องมือวัดขนาดสัดส่วน, เครื่องมือวัดคาลิปเปอร์, เวอร์เนีย และสายวัด ข้อมูลจากการวัด ได้แสดงผลไว้ด้วยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 เมื่อเปรียบเทียบขนาดมือของนักเรียนนายร้อยที่ได้จากงานวิจัยจำนวน 8 สัดส่วน กับรายงานการสำรวจและวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 (2543-2544) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยใช้ค่าสถิติ t ผลการทดสอบพบว่า ขนาดมือของนักเรียนนายร้อยมีขนาดสัดส่วนที่เท่ากับ 2 สัดส่วน คือ ความยาวรอบฝ่ามือ และความยาวฝ่ามือ ในขณะที่สัดส่วนมือที่เหลืออีก 6 สัดส่วน มีขนาดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการสำรวจและวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายทหารบก ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ค่าสถิติ t ผลการทดสอบพบว่า ขนาดมือของนักเรียนนายร้อยมีขนาดสัดส่วนที่เท่ากับ 2 สัดส่วน คือ ความยาวฝ่ามือ และความยาวรอบข้อมือ ในขณะที่สัดส่วนมือที่เหลืออีก 6 สัดส่วน มีขนาดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: การยศาสตร์, การวัดสัดส่วนร่างกาย, มือและแขน, นักเรียนนายร้อย

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

1. บทนำ

ในธรรมชาติสรีระร่างกายของมนุษย์แต่ละคนนั้นย่อมแตกต่างกันไปไม่ว่าจะเป็น ขนาดศีรษะ ขนาดอก ขนาดตัว ขนาดเท้า ขนาดแขน ขนาดมือ เป็นต้น นักเรียนนายร้อย (นร.) ซึ่งมีภารกิจฝึก และศึกษาไปพร้อม ๆ กันนั้นส่วนมาก ก็จะต้องใช้มือเป็นส่วนสำคัญที่ต้องใช้ในการฝึก เช่น ในการ ฝึกยิงปืน การฝึกท่าอาวุธ การฝึกท่ากระบี่ หรือรวมไปถึง การได้รับแจกสิ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการฝึกศึกษา เช่น ฤกษ์มือ กระบี่ ปืน เป็นต้น สิ่งของเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กับ ขนาดมือในการใช้งานซึ่งขนาดมือของ นร. บางนายอาจจะใหญ่เกินไปหรือ ในบางนายอาจเล็กเกินไป ขนาดนี้ว่าจะ ยาวเกินไปหรือสั้นเกินไปซึ่งจะมีความไม่พอดีกับสิ่งของ เหล่านั้น ทำให้เวลาที่จะใช้งานในการฝึกมีความไม่เหมาะสม และอาจทำให้นักเรียนนายร้อยนั้นอาจเกิดการได้รับบาดเจ็บ ต่อร่างกายจากการใช้สิ่งอุปกรณ์เหล่านั้นดังนั้นเราจึงจำเป็น ที่จะต้องวัดขนาดสัดส่วนมือของนักเรียนนายร้อยเพื่อที่จะได้ เก็บเป็นฐานข้อมูลไว้ใช้ในการออกแบบสิ่งอุปกรณ์ที่จะ แจกจ่ายให้กับ นร. ได้ใช้ในการฝึกที่จะมีความเหมาะสมกับ นร. แต่ละนายเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับ นร. ได้

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้านั้นยังไม่มีฐานข้อมูล ขนาดสัดส่วนมือของนักเรียนนายร้อย จึงทำให้ ในการ ออกแบบสิ่งของต่าง ๆ ไม่ได้สัดส่วนที่พอดี ส่งผลให้สิ่งของที่ได้รับแจกนั้นไม่เหมาะสมกับขนาดของ นร. จึงทำให้การฝึก ของ นร. เกิดปัญหาความไม่พอดี และอาจจะทำให้ นร. ได้รับอันตรายต่อร่างกายได้

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อได้ทราบถึงวิธีการวัดขนาด สัดส่วนมือตามหลักการยศาสตร์ของนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และจัดทำเป็นฐานข้อมูล ปี 2566 และเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบขนาดสัดส่วนมือ ของ นร. กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

3. ขอบเขตของงานวิจัย

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือ นร. ชั้นปีที่ 1 ถึง 4 ปี การศึกษา 2566 โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จาก

กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 300 นาย โดยศึกษาและทำการวัด ขนาดเฉพาะสัดส่วนมือขวาของ นร. จำนวน 19 สัดส่วน

4. ประโยชน์ของงานวิจัย

ผลการวิจัยจะเป็นฐานข้อมูลขนาดสัดส่วนมือของ นร. เพื่อใช้ในการออกแบบ วิจัยและพัฒนา วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือทางทหารสำหรับใช้กับนักเรียน นายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาขนาดสัดส่วนร่างกายของมนุษย์จำเป็นต้อง ทราบถึงทฤษฎีในการวัดขนาดสัดส่วนรวมถึงการนำข้อมูลมา ประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลที่มีความถูกต้องและสามารถ นำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปโดยมีหัวข้อที่สำคัญดังนี้

5.1 การยศาสตร์

การออกแบบสิ่งของ เครื่องมือ-เครื่องใช้ สถานที่ ทำงานและสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่มีมนุษย์เป็นผู้ใช้งาน หรือทำงานเกี่ยวข้องกับสิ่งที่กล่าวมานั้นนอกเหนือจากการ ออกแบบที่คำนึงถึงเรื่องประโยชน์ใช้สอย ความคงทนถาวร และความสวยงามที่เป็นเงื่อนไขหลักในการออกแบบแล้วยัง ต้องคำนึงถึงการออกแบบหรือการปรับขนาดของแบบนั้นให้ มีขนาดเหมาะสม เข้ากับขนาดมิติของร่างกายของ ผู้ปฏิบัติงานอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและ ประสิทธิภาพในการทำงานให้ดียิ่งขึ้นด้วยฐานข้อมูลที่ได้จาก การวัดขนาดสัดส่วนร่างกายด้วยวิธีการต่างมีชื่อเรียกแขนง วิชาที่ว่า “การวัดขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ในเชิง วิศวกรรม”

ดวงพร นุตบุญเลิศ [1] กล่าวว่า การยศาสตร์ (Ergonomics) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบซึ่งกันและ กันระหว่างมนุษย์และ สภาพแวดล้อมทั้งด้านกายภาพและ พฤติกรรม ปัญหาทางด้านการยศาสตร์มักมีหลายปัจจัย รวมถึงปัญหาจากท่าทางการปฏิบัติงาน เมื่อได้รับการแก้ไข หรือปรับปรุงลักษณะสภาพการปฏิบัติงานให้เหมาะสมกับ ตัวพนักงานแล้ว ก็จะส่งผลลัพธ์ที่ดีต่อสุขภาพของพนักงาน ประสิทธิภาพการปฏิบัติงานก็ดีขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งหากได้มีการ นำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ จะสามารถนำไปปรับปรุงสภาพ การปฏิบัติงานมีการออกแบบงานที่เหมาะสมต่อขีดจำกัด

ของพนักงาน รวมทั้งสามารถกำหนดรายละเอียดของเนื้องานการจับ การถืออุปกรณ์การติดตั้งอุปกรณ์ตลอดจนรายละเอียดท่าทางในการปฏิบัติงาน ซึ่งการปรับปรุงเหล่านี้จะสามารถช่วยป้องกันการบาดเจ็บ การเจ็บป่วย หรืออุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นทั้งต่อร่างกาย และจิตใจได้

5.2 การวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย

Tayyari and Smith [2] ได้สรุปไว้ว่า ประเภทของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายที่ใช้ประกอบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถแบ่งประเภทของการวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายได้ 2 ประเภท ดังนี้

1) การวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายในสภาวะร่างกายอยู่นิ่งหรืออยู่กับที่เป็นวิธีการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ในตำแหน่งที่ร่างกายอยู่ในสภาพสมดุลหรืออยู่นิ่ง โดยวิธีการวัดจะวัด จากจุดที่กำหนดไว้จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เช่น ความยาว ความกว้าง ความหนา ความสูง

2) การวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายในขณะที่ร่างกายเคลื่อนไหว เป็นการศึกษาวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายในขณะที่เคลื่อนไหวหรือ ทำงาน เช่น การประกอบชิ้นส่วน การเอื้อมมือไปหยิบของ การควบคุมคันบังคับบนแผงควบคุม เป็นต้น

กิตติ อินทรานนท์ [3] กล่าวว่า การวัดสัดส่วนร่างกายโดยทั่วไปทำได้ 2 วิธี ได้แก่

1) วิธีใช้เครื่องมือวัดโดยตรง เป็นการใช้เครื่องมือวัดในแนวเส้นตรงและแนวเส้นโค้ง

2) วิธีภาพถ่าย เป็นการใช้เทคนิคภาพถ่ายเพื่อได้มาซึ่งข้อมูลสัดส่วนร่างกายทั้งในแนวตรง และ ในแนวเส้นโค้งตลอดจนในแนวลึกเป็นความสูงต่ำ สามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เทคโนโลยีซอฟต์แวร์เข้ามาช่วย

5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนูธิดา นิมทับ [4] กล่าวถึงข้อมูลสัดส่วนร่างกายด้วยวิธีการภาพถ่ายเป็นแนวทางหนึ่งที่รวดเร็วกว่าการใช้ชุดเครื่องมือวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายพื้นฐาน เหมาะกับการเก็บข้อมูลประชากรที่มีจำนวนมาก หรือไม่สามารใช้เวลานานในการวัดได้นาน นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการใช้งานและต้นทุนต่ำ แต่ข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ต้องใช้พื้นที่ในการ

วางกล้องถ่ายภาพ มากกว่า 7 เมตร จากการศึกษาคพบว่าระบบการวัดสัดส่วนด้วยภาพถ่าย ได้ทำให้เกิดความคลื่อนในการวัดส่วนสูงของร่างกาย จากร้อยละ 0.32 เป็น ร้อยละ 1.5 ที่ตำแหน่งระยะห่างการวางกล้อง 7 เมตร และระยะห่าง 2 เมตร ตามลำดับ

พรศิริ จงกล [5] กล่าวว่า การก้าวเข้าสู่วัยสูงอายุ อาจทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพและโรคต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อ การดำเนินชีวิตประจำวัน มือและเท้าเป็นอวัยวะอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากที่ต้องใช้ในการ ดำเนินชีวิต และการทำกิจกรรมต่าง ๆ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาคุณลักษณะของมือและ เท้า เช่น ขนาดของมือและเท้า ความสามารถในการออกแรงด้วยมือ เช่น แรงบีบมือแรงบีบนิ้ว

สุวัตชัย หงส์สืบแก้ว [6] ได้กล่าวถึงขนาดและรูปร่างของร่างกายมนุษย์ ถือเป็นคุณลักษณะที่จำเป็นต่อการศึกษาด้านการยศาสตร์ โดยการแบ่งขนาดสัดส่วนของร่างกายสามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะ คือ 1) ขนาดสัดส่วนร่างกายที่วัดในขณะที่อยู่นิ่ง เป็นการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายในขณะที่ร่างกายอยู่นิ่งอยู่กับที่ในท่าใดท่าหนึ่ง ซึ่งได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความสูง ความหนา ความยาวรอบวง ความโค้ง ระยะการเอื้อม น้ำหนัก และรูปทรงใน 3 มิติ และ 2) ขนาดสัดส่วนร่างกายที่วัดในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เป็นการวัดขอบเขตและเส้นทางการเคลื่อนที่ของร่างกาย สัดส่วนร่างกายเมื่อมีการเคลื่อนที่ เช่น มุมของศีรษะ ขอบเขตของการจับคันบังคับในระนาบหนึ่งเมื่อมือและแขนเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ลำตัว เป็นต้น

เฉลิมสิริ เทพพิทักษ์ [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบและขนาดของเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในห้องเรียนแต่ละแบบ วัดขนาดสัดส่วนร่างกายของนักศึกษา ประเมินความเหมาะสมระหว่างขนาด สัดส่วนร่างกาย และขนาดของเฟอร์นิเจอร์และออกแบบแบบเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในห้องเรียนที่มีความเหมาะสมกับขนาดร่างกายตามหลักการทางด้านการยศาสตร์ โดยทำการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายต่าง ๆ ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 351 คน เพื่อออกแบบเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในห้องเรียนที่มีความเหมาะสมกับขนาดร่างกายและถูกต้องตามหลักการทางด้านการยศาสตร์สำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

6. การดำเนินการวิจัย

การวิจัยโครงการการวัดขนาดสัดส่วนตามหลักการยศาสตร์กรณีศึกษา สัดส่วนมือของนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นการวิจัยแบบสำรวจข้อมูล โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

- ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับ การยศาสตร์ การวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย วิธีวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย และเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย
- สำรวจอุปกรณ์ และ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดขนาดสัดส่วนมือของนักเรียนนายร้อย
- ออกแบบและสร้างตารางเก็บข้อมูลการวัดขนาดสัดส่วนมือของนักเรียนนายร้อย โดยใช้ใบบันทึกขนาดสัดส่วนมือของนักเรียนนายร้อย
- ทำการวัดขนาดสัดส่วนมือของนักเรียนนายร้อย โดยวัดขนาดตามชั้นปี เพื่อให้สะดวกต่อการวัด และไม่สับสน และบันทึกข้อมูล
- นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
- ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบความถูกต้อง เทียบตรงของข้อมูล
- สรุปและวิเคราะห์ผลที่ได้ เพื่อนำไปใช้เป็นฐานข้อมูล และรายงานผล

6.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

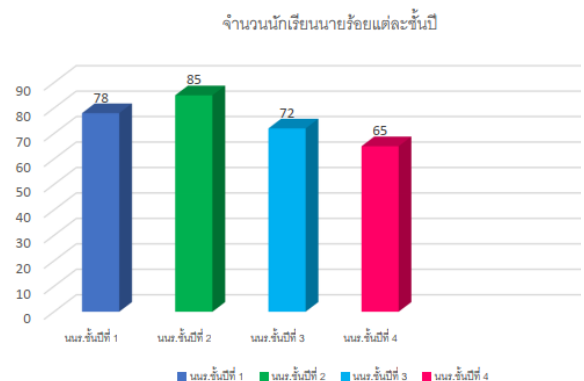
ประชากรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ นักเรียนนายร้อย ชั้นปีที่ 1 - ชั้นปีที่ 4 จำนวน 1,149 นาย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ นักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 - ชั้นปีที่ 4 จำนวน 300 นาย ซึ่งขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้มาจากการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาโร่ ยามาเน่ (Taro Yamane [8]) ดังแสดงในสมการที่ (1) ดังนี้

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (1)$$

โดยที่ n คือขนาดของกลุ่มตัวอย่าง N คือขนาดของประชากร (1,149 นาย) และ e คือค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (0.05)

ทำการเทียบอัตราส่วนจำนวนการเก็บตัวอย่างข้อมูลของนักเรียนนายร้อยแต่ละชั้นปีได้ ดังนี้

- 1) นนร. ชั้นปีที่ 1 มีจำนวน 298 นาย จาก นนร. ทั้งหมด 1,149 นาย ควรมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 78 นาย
 - 2) นนร. ชั้นปีที่ 2 มีจำนวน 325 นาย จาก นนร. ทั้งหมด 1,149 นายควรมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 85 นาย
 - 3) นนร. ชั้นปีที่ 3 มีจำนวน 276 นาย จาก นนร. ทั้งหมด 1,149 นาย ควรมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 72 นาย
 - 4) นนร. ชั้นปีที่ 4 มีจำนวน 250 นาย จาก นนร. ทั้งหมด 1,149 นาย ควรมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 65 นาย
- ดังนั้นขนาดของกลุ่มตัวอย่าง นนร. ที่ใช้ในการวิจัย คือ $78+85+72+65=300$ นาย ดังแสดงใน ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กลุ่มตัวอย่างแยกตามชั้นปี

6.2 เครื่องมือ และมาตรฐานการวัดสัดส่วน

อุปกรณ์ เครื่องมือและมาตรฐานที่ใช้ในการวัดขนาดสัดส่วนมือ ของนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ในโครงการวิจัยนี้มีดังนี้

6.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดขนาด ดังแสดงในภาพที่ 2

- 1) เครื่องมือวัดขนาดสัดส่วนร่างกายแบบมาร์ติน (Martin-Type Anthropometer 11242A)
- 2) เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล (Digital Vernier Caliper)
- 3) สายวัด (Tape Measure)

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



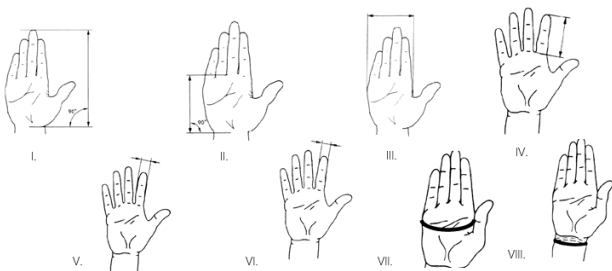
ภาพที่ 2 อุปกรณ์วัดขนาดสัดส่วนร่างกาย

6.2.2 มาตรฐานการวัดสัดส่วน

ผู้วิจัยมีขั้นตอนและวิธีการวัดขนาดสัดส่วนมือ โดยให้ผู้ถูกทดสอบ ปฏิบัติท่าทางการวัดตามมาตรฐานการวัดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม [9,10] ดังมีรายละเอียดและแสดงในภาพที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 3 การฝึกอบรมการใช้เครื่องมือวัดขนาดสัดส่วน



ภาพที่ 4 ตัวอย่างตำแหน่งการวัดขนาดสัดส่วนมือตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม [9]

- 1) ระยะห่างปลายนิ้วชี้-ง่ามนิ้วหัวแม่มือ
- 2) ความยาวนิ้วหัวแม่มือ
- 3) ความยาวนิ้วชี้
- 4) ความยาวนิ้วกลาง
- 5) ความยาวนิ้วนาง
- 6) ความยาวนิ้วก้อย
- 7) ระยะโคนนิ้วกลาง-กึ่งกลางโคนฝ่ามือ
- 8) ระยะปลายนิ้วหัวแม่มือ-กึ่งกลางโคนฝ่ามือ
- 9) ความยาวรอบฝ่ามือ
- 10) ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วข้อที่ 2)
- 11) ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วข้อที่ 3)
- 12) ความยาวฝ่ามือ
- 13) ความกว้างฝ่ามือ
- 14) ความกว้างมือ
- 15) ความยาวรอบข้อมือ
- 16) ความยาวรอบแขนท่อนล่าง
- 17) ความยาวรอบแขนท่อนบน
- 18) ความยาวแขนท่อนล่าง (ข้อมือถึงข้อศอก)
- 19) ความยาวแขนท่อนบน (ข้อศอกถึงหัวไหล่)

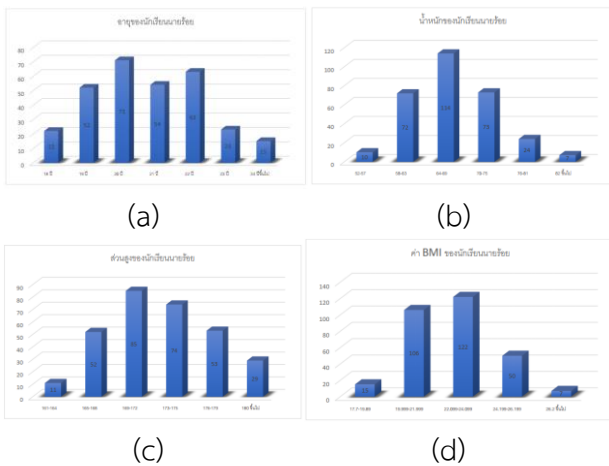
7. ผลการวัดสัดส่วนมือของ นนร.

จากผลการเก็บข้อมูลทั่วไปของ นนร. และข้อมูลตัวอย่าง สัดส่วนมือขวาของ นนร. ทั้งหมด 300 นาย โดยแบ่งสัดส่วนตามชั้นปี มีข้อมูลสรุปได้ดังนี้

7.1 ข้อมูลทั่วไป

กลุ่มตัวอย่าง นนร. มีอายุโดยเฉลี่ย 20.79 ± 1.81 ปี , น้ำหนักร่างกายโดยเฉลี่ย 67.34 ± 6.57 กิโลกรัม, ส่วนสูงโดยเฉลี่ย 172.74 ± 5.00 เซนติเมตร และมีค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index : BMI) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 22.55 ± 1.79 ซึ่งสามารถแสดงการกระจายตัวของข้อมูล อายุ, น้ำหนัก, ส่วนสูง และ ค่า BMI ได้ดังภาพที่ 5

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY



ภาพที่ 5 การกระจายตัวของข้อมูลตัวอย่าง จำแนกตาม (a) อายุ (b) น้ำหนัก (c) ส่วนสูง และ (d) ค่าดัชนีมวลกาย (BMI)

7.2 ข้อมูลสัดส่วนมือของ นนร.

ข้อมูลที่ได้จากการวัดขนาดสัดส่วนมือขวาของ นนร. จากตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 300 นาย โดยทำการวัดตำแหน่งขนาดมือจำนวน 19 รายการ สามารถสรุปผล ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าสูงสุด, ค่าต่ำสุด และ ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 ตามลำดับ ได้ดังแสดงใน ตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงขนาดสัดส่วนมือของ นนร. 19 สัดส่วน (มม.)

สัดส่วน	Mean	SD	Min	Max	Pr5	Pr95
1.ระยะห่างปลายนิ้วชี้ - กำนิ้วหัวแม่มือ	110.94	13.22	94.30	132.50	100.48	123.60
2.ความยาวนิ้วหัวแม่มือ	61.97	8.11	50.20	79.10	54.30	71.41
3.ความยาวนิ้วชี้	70.39	8.27	61.40	83.50	64.60	78.52
4.ความยาวนิ้วกลาง	77.58	9.33	61.20	90.70	70.50	86.50
5.ความยาวนิ้วนาง	70.19	8.65	60.50	88.60	62.29	78.90
6.ความยาวนิ้วก้อย	58.73	7.22	50.30	72.30	52.60	65.30
7.ระยะโคนนิ้วกลาง - กึ่งกลางโคนฝ่ามือ	100.85	11.94	79.80	117.00	91.46	112.00
8.ระยะปลายนิ้วหัวแม่มือ - กึ่งกลางโคนฝ่ามือ	124.17	14.60	100.20	146.20	113.46	137.44
9.ความยาวรอบฝ่ามือ	209.53	24.62	160.00	252.00	190.00	235.00
10.ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่2)	15.00	1.86	12.20	18.30	13.30	16.91
11.ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่3)	17.16	2.08	14.10	20.50	15.40	19.50
12.ความยาวฝ่ามือ	193.53	21.66	164.00	219.00	179.90	211.05
13.ความกว้างฝ่ามือ	80.77	9.13	70.00	92.60	75.40	88.51
14.ความกว้างมือ	93.86	12.13	73.80	112.50	80.10	106.23
15.ความยาวรอบข้อมือ	176.17	20.61	156.00	226.00	162.00	196.05
16.ความยาวรอบข้อมือล่าง	247.74	34.12	171.00	315.00	206.94	283.10
17.ความยาวรอบข้อมือนบน	302.37	38.99	242.00	395.00	270.00	348.15

สัดส่วน	Mean	SD	Min	Max	Pr5	Pr95
18.ความยาวแขนท่อนล่าง (ข้อมือถึงข้อศอก)	282.97	33.54	238.00	398.00	216.00	312.10
19.ความยาวแขนท่อนบน (ข้อศอกถึงหัวไหล่)	303.25	38.20	243.00	365.00	271.95	347.05

8. การวิเคราะห์และสรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการวัดขนาดสัดส่วนมือของ นนร. โรงเรียน นายร้อยพระจุลจอมเกล้า จำนวน 19 สัดส่วน โดยใช้ชุด อุปกรณ์วัดขนาดสัดส่วนร่างกาย วัดจากตัวอย่างสุ่มนักเรียน นายร้อยจำนวน 300 นาย ซึ่งมีการวิเคราะห์และสรุป ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

8.1 เปรียบเทียบข้อมูลสัดส่วนมือกับงานวิจัยอื่น

ทำการเปรียบเทียบขนาดสัดส่วนมือของ นนร. กับ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 2 เรื่อง เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของขนาดสัดส่วนมือ คือ รายงานการสำรวจและ วิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 (2543-2544) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม [10] ซึ่งมีจำนวนข้อมูลตัวอย่างทั้งสิ้น 1,715 ตัวอย่าง และขนาดสัดส่วนมือของทหารบก (Army) ประเทศสหรัฐอเมริกา [11] ซึ่งมีจำนวนข้อมูลตัวอย่างทั้งสิ้น 1,003 ตัวอย่าง เพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างในขนาด สัดส่วนของคนไทย และผู้มีอาชีพการทำงานของตัวอย่างใน ลักษณะเดียวกัน โดยพิจารณาเฉพาะสัดส่วนมือที่มีข้อมูล การวัดสัดส่วนในตำแหน่งเดียวกัน 8 ตำแหน่ง เพื่อให้ สอดคล้องและสามารถเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีได้ สามารถ วิเคราะห์ผลเพื่อ โดยใช้ค่าสถิติ t ในการทดสอบที่ระดับ ความเชื่อมั่นที่ 95% สามารถแสดงผลการทดสอบได้ตาม ตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 แสดงขนาดสัดส่วนมือของ นนร. เทียบค่าเฉลี่ย กับ สมอ. (มม.)

สัดส่วน	นนร.		สมอ. [10]		ผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย	
	Mean	SD	Mean	SD	t	Sig.
1.ความยาวนิ้วชี้	70.39	8.27	76.00	5.00	-11.39	0.000
2.ระยะโคนนิ้วกลาง - กึ่งกลางโคนฝ่ามือ	100.85	11.94	112.00	7.00	-15.71	0.000
3.ความยาวรอบฝ่ามือ	209.53	24.62	207.0	13.00	1.74	0.083
4.ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่2)	15.00	1.86	19.00	1.00	-36.34	0.000
5.ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่3)	17.16	2.08	16.00	1.00	9.47	0.000

การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1
THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

สัดส่วน	นร.		สมอ. [10]		ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย	
	Mean	SD	Mean	SD	t	Sig.
6.ความยาวฝ่ามือ	193.53	21.66	195.00	10.00	-1.15	0.249
7.ความกว้างฝ่ามือ	80.77	9.13	83.00	5.00	-4.12	0.000
8.ความยาวรอบข้อมือ	176.17	20.61	161.00	12.00	12.39	0.000

ตารางที่ 3 แสดงขนาดสัดส่วนมือของ นร. เทียบค่าเฉลี่ยกับขนาดสัดส่วนมือของทหารบก สหรัฐอเมริกา (มม.)

สัดส่วน	นร.		U.S.Army [11]		ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย	
	Mean	SD	Mean	SD	t	Sig.
1.ความยาวนิ้วชี้	70.39	8.27	75.30	4.90	-9.75	0.000
2.ระยะโคนนิ้วกลาง – กึ่งกลางโคนฝ่ามือ	100.85	11.94	110.50	6.00	-13.50	0.000
3.ความยาวรอบฝ่ามือ	209.53	24.62	213.9	9.80	-3.00	0.003
4.ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่2)	15.00	1.86	23.00	1.60	-67.41	0.000
5.ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่3)	17.16	2.08	20.10	1.50	-22.77	0.000
6.ความยาวฝ่ามือ	193.53	21.66	194.50	10.30	-0.75	0.453
7.ความกว้างฝ่ามือ	80.77	9.13	90.4	4.20	-17.72	0.000
8.ความยาวรอบข้อมือ	176.17	20.61	174.3	8.20	1.54	0.126

8.2 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการวัดขนาดสัดส่วนมือขวาของ นร. จากตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 300 นาย โดยทำการวัดตำแหน่งขนาดมือจำนวน 19 รายการ สามารถสรุปผล ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าสูงสุด, ค่าต่ำสุด และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการเปรียบเทียบด้วยค่าเฉลี่ยขนาดสัดส่วนมือของ นร. กับผลงานวิจัยของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) จำนวน 8 สัดส่วน สรุปได้ว่าขนาดสัดส่วนมือของ นร. จะมีขนาดสัดส่วนที่โตหรือยาวกว่างานวิจัยของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใน 2 สัดส่วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือ ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อที่ 3) และความยาวรอบข้อมือ และมีขนาดสัดส่วนที่เล็กหรือสั้นกว่าจำนวน 4 สัดส่วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือ ความยาวนิ้วชี้, ระยะโคนนิ้วกลาง – กึ่งกลางโคนฝ่ามือ, ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่ 2) และความกว้างฝ่ามือ สำหรับความยาวรอบฝ่ามือ และความยาวฝ่ามือ มีขนาดสัดส่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบด้วยค่าเฉลี่ยขนาดสัดส่วนมือของ นร. กับขนาดสัดส่วนมือของทหารบก ประเทศ

สหรัฐอเมริกา จำนวน 8 สัดส่วน สรุปได้ว่า ขนาดสัดส่วนมือของ นร. ไม่มีขนาดสัดส่วนที่โตหรือยาวกว่าขนาดสัดส่วนมือของทหารบก ประเทศสหรัฐอเมริกา อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่มีขนาดสัดส่วนที่เล็กหรือสั้นกว่าจำนวน 6 สัดส่วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือ ความยาวนิ้วชี้, ระยะโคนนิ้วกลาง – กึ่งกลางโคนฝ่ามือ, ความยาวรอบฝ่ามือ, ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อนิ้วที่ 2), ความกว้างนิ้วชี้ (ข้อที่ 3) และความกว้างฝ่ามือ สำหรับ ความยาวฝ่ามือ และความยาวรอบข้อมือ มีขนาดสัดส่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

8.3 บทวิเคราะห์

ความแตกต่างของขนาดสัดส่วนมือของงาน นร. ผู้วิจัยได้เสนอความคิดเห็นถึงความแตกต่างไว้เป็นข้อๆ ดังนี้

- อาจเกิดจากมีการคัดเลือก นร. ก่อนเข้ารับศึกษา ได้มีการกำหนดเกณฑ์ขนาดร่างกายขั้นต่ำ [12] ซึ่งได้แก่เกณฑ์น้ำหนักเทียบส่วนสูง และเกณฑ์การขยายของอก มา ก่อนเข้ารับการศึกษา

- ภาวะโภชนาการของ นร. ที่ได้รับการจัดการโดยผู้ที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างดี

- สภาพการดำเนินชีวิตของ นร. ที่มีความแตกต่างจากบุคคลภายนอก เช่น มีการเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในทุกส่วน มีการทดสอบร่างกายอย่างสม่ำเสมอ เป็นต้น อันจะส่งผลถึงการเจริญเติบโตของร่างกายของนักเรียนนายร้อยอย่างสมบูรณ์

- จากข้อมูลงานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบเป็นข้อมูลรายงานการสำรวจและวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะเวลาที่ 4 พ.ศ.2543-2544 ซึ่งเป็นข้อมูลล่าสุดของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างในระยะเวลาการศึกษาที่มีความแตกต่างกันมาก จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ข้อมูลมีความแตกต่างกัน

- สำหรับค่าเฉลี่ยขนาดสัดส่วนมือที่มีขนาดเล็กหรือสั้นกว่างานวิจัยของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เป็นไปได้ว่าข้อมูลจากงานวิจัยได้จาก ตัวอย่างนักเรียนนายร้อยที่มีอายุเฉลี่ยประมาณ 19-22 ปี ซึ่งต่างจาก ข้อมูลจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่แสดงผลไว้ด้วยช่วงอายุ 20-29 ปี ซึ่งร่างกายของนักเรียนนายร้อยสามารถเจริญเติบโตได้อีกในอนาคต

8.4 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการสำรวจขนาดสัดส่วนมือของ นนร. เป็นระยะ ๆ เพื่อศึกษาแนวโน้มในขนาดสัดส่วนที่มีความเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งหากมีข้อมูลการวัดขนาดที่มีมาตรฐานและทันสมัย จึงจะมีความเหมาะสมในการนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้เห็นถึงข้อแตกต่างในขนาดสัดส่วนได้ชัดเจนมากกว่านี้

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อย พระจุลจอมเกล้าทุกชั้นปี ผู้บังคับบัญชา ตลอดจนอาจารย์ที่ปรึกษา ในปีการศึกษา 2566 ที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ตวงพร นุตบุญเลิศ, 2560. การใช้การยศาสตร์ในการปฏิบัติงานของพนักงาน ในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในภาคตะวันออก. วิทยานิพนธ์. สาขาการจัดการทรัพยากรมนุษย์. คณะการจัดการและการท่องเที่ยว. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [2] Tayyari, F. and Smith, J.L. 1997. Occupational Ergonomics: Principles and Application, Chapman & Hall, London.
- [3] กิตติ อินทรานนท์, 2548. การยศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ..
- [4] อนุธิตา ฉิมทับ, 2556. เทคนิคการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์โดยถ่ายดิจิตอล 2 มิติ ที่ระยะใกล้. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมอุตสาหการ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] รองศาสตราจารย์ ดร. พรศิริ จงกล, 2557. ขนาดมือและเท้าของผู้สูงอายุ สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์. วิทยานิพนธ์. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [6] สุวัฒน์ หงษ์สีบแก้ว, 2557. การออกแบบและสร้างสถานีงานต้นแบบโดยใช้หลักการยศาสตร์. วิทยานิพนธ์. สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [7] เฉลิมสิริ เทพพิทักษ์, 2564. ความเหมาะสมระหว่างขนาดของเฟอร์นิเจอร์ในห้องเรียนกับขนาดร่างกายของนักศึกษาในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. วิทยานิพนธ์. สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย. สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [8] Yamane, Taro, 1967. Statistics, An Introductory Analysis, 2nd Ed., New York : Harper and Row.
- [9] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4271 (พ.ศ. 2553) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การวัดสัดส่วนร่างกายพื้นฐานสำหรับการออกแบบเชิงเทคโนโลยี เล่มที่ 1 : บทนิยามและตำแหน่งการวัดสัดส่วนร่างกาย ลงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2553.
- [10] รายงานการสำรวจและวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4: พ.ศ.2543-2544. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [11] Thomas M. Greiner. 1991. Hand Anthropometry of U.S. Army personnel. United States Army Natick Research, Development and Engineering Center Natick, Massachusetts.

บทความนำเสนอแบบโปสเตอร์
(Poster Presentation)

สิริวิทย์ ตันตรา¹, ภูมิพัฒน์ จบกมลศึก¹, เฉลิมขวัญ ศิริพันธ์^{*}
¹ศิษย์การบินชั้นประถม ผูกฝึกขั้นต้น กองการฝึกบิน โรงเรียนการบิน
^{*}Email: s.chalermkwan@gmail.com

บทคัดย่อ

ในช่วง 4 ปีที่ผ่านมา นักเรียนนายเรืออากาศมีการบาดเจ็บจากความร้อนชนิดรุนแรงรวมทั้งสิ้น 13 นาย ทำให้การฝึกหลักสูตร "Commander Ready" ประจำปีการศึกษา 2565 ได้ให้ความสำคัญกับการบาดเจ็บจากความร้อนของนักเรียนนายเรืออากาศโดย ผอ.พร.ร.นท. ได้ให้นโยบายว่า "การบาดเจ็บจากความร้อนระหว่างฝึกปรับสภาพนักเรียนเตรียมทหารให้เป็นนักเรียนนายเรืออากาศต้องเป็น 0 นาย" เพื่อที่จะแก้ปัญหาการบาดเจ็บจากความร้อนระหว่างการฝึกนักเรียนนายเรืออากาศ คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรพัฒนาอุปกรณ์วัดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ ดัชนีความร้อนและความเข้มข้นของฝุ่นที่สามารถแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตและให้คำแนะนำแจ้งเตือนแก่ผู้รับผิดชอบการฝึก โดยใช้เกณฑ์จาก US Army Public Health Command และ สมาคมพิษวิทยาแห่งประเทศไทย การพัฒนาอุปกรณ์สนับสนุนการฝึกโดยใช้ตัวควบคุมชนิด ESP 32 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้นชนิด DHT 22 เซ็นเซอร์วัดความเข้มข้นฝุ่นชนิด PMS 5003 ระบบระบบการแสดงผลแบบออนไลน์โดยใช้เว็บไซต์เวเบอร์ และการแจ้งเตือนผ่านระบบ Line Notify โดยผลการทดลองใช้จากผู้รับผิดชอบการฝึกและครูฝึกจำนวน 22 นาย ทดสอบใช้งานอุปกรณ์สนับสนุนการฝึกต้นแบบได้รับความพึงพอใจอยู่ที่ร้อยละ 86

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนแสดงผลสภาพอากาศสำหรับการฝึกนักเรียนนายเรืออากาศ
2. เพื่อบูรณาการความรู้ตลอดการศึกษาในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

สมมติฐานของงานวิจัย

ระบบแจ้งเตือนแสดงผลสภาพอากาศสำหรับการฝึกนักเรียนนายเรืออากาศโดยใช้ระบบ IoT จะทำให้ลดจำนวนนักเรียนนายเรืออากาศที่มีอาการโรคลมร้อนและเพิ่มความปลอดภัยให้กับนักเรียนนายเรืออากาศผู้รับการฝึก

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย



อุปกรณ์สามารถส่งและวัดค่าข้อมูลอุณหภูมิและค่าฝุ่น PM 2.5 ได้ในระดับที่ดีมาก สามารถลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลเมื่อเทียบกับการดูค่าจากปรอทและสัญญาณระบบเดิมได้ ทั้งนี้ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับการฝึกและครูฝึกทั้งหมด 22 คน คิดเป็นร้อยละ 86

ข้อเสนอแนะ และแนวทางพัฒนาต่อยอด

1. หากต้องการติดตั้ง Access point ใหม่ ระบบจำเป็นต้องมีช่วงเวลาระหว่างการเชื่อมต่อ เพื่อให้การพัฒนาขั้นต่อไปสามารถดำเนินการไปได้
2. เพื่อประเมินความถูกต้องของค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ ควรเพิ่มการทดลองเปรียบเทียบ ได้แก่ การเปลี่ยนตัวเซ็นเซอร์ และการวัดในหลายจุดที่อยู่ใกล้เคียงกัน
3. บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ESP32 มีความสามารถในการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์อีกหลากหลายชนิด ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดความสว่าง เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว และอื่นๆ การวิจัยนี้จึงสามารถนำไปเป็นแนวทางต่อยอดสำหรับการทำระบบ IoT ตรวจจับ และแจ้งเตือนอื่นๆ ได้ในอนาคต

การดำเนินการวิจัย



1. ศึกษาปัญหาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 ผลการศึกษาปัญหาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ต้องคำนึงถึงการเกิดอาการบาดเจ็บจากความร้อน การพยายามแก้ปัญหาดังกล่าว รวมถึงตารางการจัดตรงสัญญาณเพื่อบอกวิธีการปฏิบัติตัวในการฝึกขึ้นกับสภาพอากาศ

สัญญาณธง	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ปริมาณน้ำดื่ม (ลิ)	เวลาฝึกใน 1 ชั่วโมง (นาที)
ธงขาว	< 27	55 – 60	อย่างน้อย ½	ทำได้ต่อเนื่อง
ธงเขียว	27 – 31	60 – 65	ลิดร	50
ธงเหลือง	32 – 40	65 – 70	อย่างน้อย 1	45
ธงแดง	41 – 54	70 – 75	ลิดร	30
ธงดำ	> 54	> 75	ลิดร	20

2. ศึกษาและออกแบบฮาร์ดแวร์



2. พัฒนาโปรแกรม

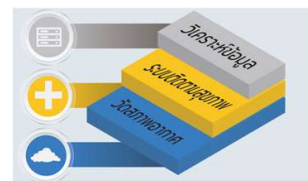


3. พัฒนาระบบแสดงผลและแจ้งเตือนสภาพอากาศ



4. ทดสอบประสิทธิภาพ

ทดสอบกับผู้เกี่ยวข้องกับการฝึกของนักเรียนนายเรืออากาศทั้งหมด 22 คน

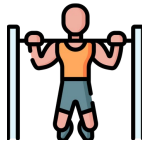


Objectives



เพื่อนำเทคโนโลยี MediaPipe และ OpenCV มาประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจสอบท่าทางการดึงข้อได้อย่างถูกต้องและเป็นมาตรฐานเดียวกัน

Research Significance

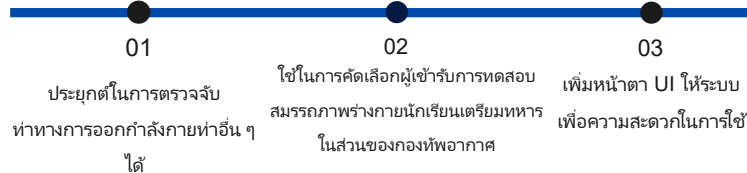


กองพลศึกษาและกรมนักเรียนนายเรืออากาศศึกษาพระองค์สามารถวัดและประเมินผลคะแนนด้านพลศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ นอ. ทุกคนอยู่บนมาตรฐานเดียวกัน

Acknowledgments

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ร.อ.ผศ.ภูมินันท์ บัวงาม ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาหลักที่ได้กรุณา ให้ความรู้และให้คำปรึกษาในเรื่องขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและคำแนะนำระบบให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ รวมถึงขอขอบคุณ น.อ.อนุรักษ ไซตติลภ ที่ได้ให้คำปรึกษาในเรื่องการทดสอบประสิทธิภาพของระบบและขอขอบคุณ น.อ.สุชิน ปานทอง ที่ได้ให้คำปรึกษาในเรื่องท่าดึงข้อที่ถูกต้อง สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ อาจารย์กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ตลอดจนนักเรียนนายเรืออากาศที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ให้ความช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

Outlook and Future Issues



Publications

คมชาญ จันทชาติ, ภูวดล บุญสิทธิ์, วิชญบุตร บุญกว้าง, & ภูมินันท์ บัวงาม. (2567). "Development of an Exercise Posture Monitoring System for Air Cadets by Using MediaPipe and OpenCV." *THE 21ST ECTI-CON 2024*, IEEE. <https://doi.org/10.1109/ECTI-CON60892.2024.10594989>

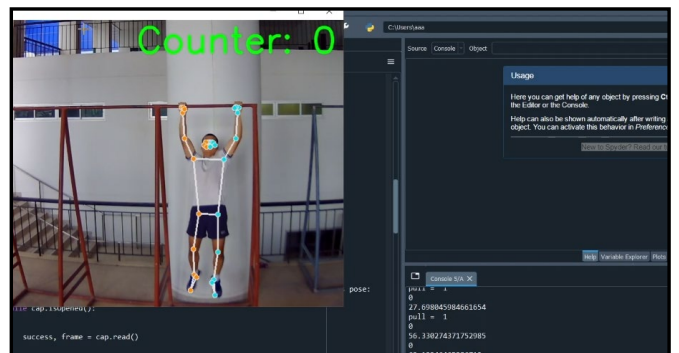
Results and Discussion

ในการประเมินผลการทดสอบระบบนั้นคณะผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลการตรวจจับการดึงข้อที่ถูกต้องของระบบกับคณะอาจารย์กองพลศึกษา ร.น.น.ก. จำนวน 3 ท่าน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก (Convenience Sampling) จำนวน 30 คนเพื่อนำมาทดสอบเพื่อหาค่า Jaccard Similarity ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการคล้ายกันของข้อมูล ผลการทดสอบพบว่าค่า Jaccard Similarity เฉลี่ยที่ 0.7849 คิดเป็นความคล้ายกันของข้อมูลที่ 78.49 % ซึ่งมีความคล้ายกันที่ใกล้เคียงกันมากหลังจากนั้นคณะผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ปัจจัยการทดสอบที่แตกต่างกัน ได้แก่ การทดสอบความสูงของการตั้งกล่องที่ต่างกัน และการทดสอบการวางกล่องที่มุมองศาต่างกัน พบว่าในการทดสอบความสูงของการตั้งกล่องที่ต่างกันมีค่า Jaccard Similarity เฉลี่ย 0.92 คิดเป็นความคล้ายกันของข้อมูลที่ 92 % ซึ่งมีความคล้ายกันที่ใกล้เคียงกัน

สรุปได้ว่าความสูงของการตั้งกล่องไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ การทดสอบในการวางกล่องที่มุมองศาต่างกันโดยการทดสอบครั้งที่ 1 มีค่า Jaccard Similarity เฉลี่ย 0.73 และการทดสอบครั้งที่ 2 มีค่า Jaccard Similarity เฉลี่ย 0.50 ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทำให้สรุปได้ว่ายิ่งองศาของกล่องเพิ่มขึ้นมากจะทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการนับมากขึ้น ดังนั้นระบบนั้นต้องได้รับการพัฒนาเพื่อให้มีจำนวนครั้งที่ระบบตรวจจับกับจำนวนครั้งที่อาจารย์กองพลศึกษาตรวจจับได้นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด

Conclusions

จากผลการทดสอบทำให้สามารถสรุปได้ว่าเราสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Media pipe และ OpenCv มาในการตรวจสอบท่าทางการดึงข้อได้ถึงแม้ค่าความแม่นยำจะคลาดเคลื่อนกับความเป็นจริงพอสมควรซึ่งเป็นเหตุผลให้ตัวระบบนั้นต้องการการพัฒนาต่อไป อีกทั้งการทดสอบประสิทธิภาพของระบบยังสามารถกำหนดขอบเขตในการใช้งานจริงเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด หากในอนาคตตัวระบบมีความสมบูรณ์มากขึ้นเราสามารถแทนที่การนับคะแนนจากกองพลศึกษาร.น.น.ก. เป็นตัวระบบที่คณะผู้วิจัยพัฒนาเพื่อให้การนับจำนวนครั้งในการดึงข้อของนอ.มีมาตรฐานเดียวกัน อีกทั้งยังตัดความผิดพลาดของมนุษย์ (Human Error) ที่เกิดจากอาจารย์กองพลศึกษาร.น.น.ก. ได้อีกด้วย



Objectives

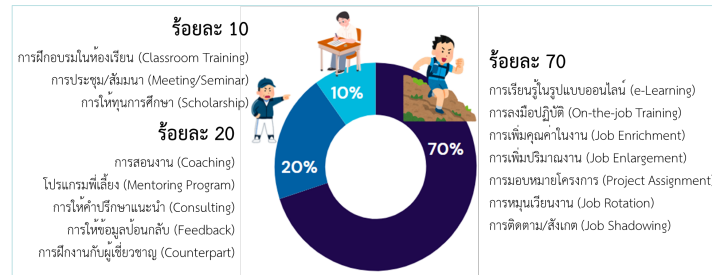
1. เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลด้านทักษะดิจิทัลที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงานในยุคดิจิทัล
2. เพื่อวิเคราะห์ทักษะดิจิทัลที่สอดคล้องกับบริบทของกองทัพอากาศ และรองรับการปรับเปลี่ยนภาครัฐเป็นรัฐบาลดิจิทัล
3. เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาทักษะดิจิทัลของกำลังพลกองทัพอากาศที่สอดคล้องกับกองทัพอากาศดิจิทัลที่ทันสมัย

Research Significance

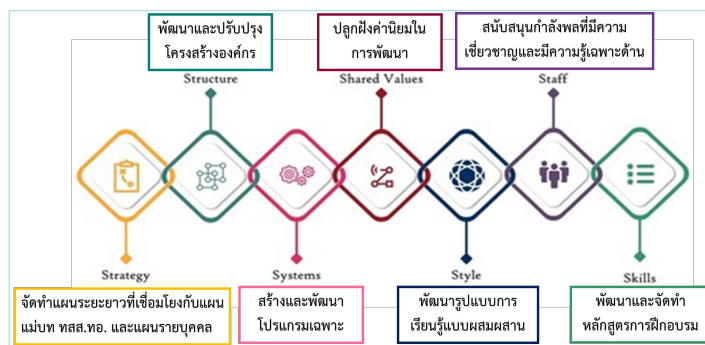


Results and Discussion

รูปแบบการเรียนรู้ในการพัฒนาทักษะดิจิทัล



การวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาตามแนวคิดของ McKinsey 7S Framework

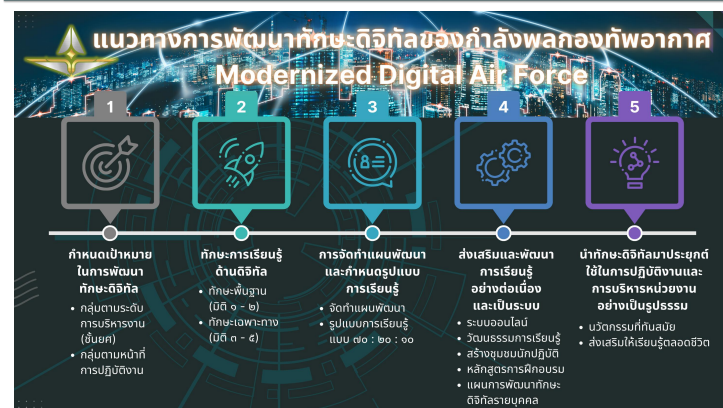


Results and Discussion

ทักษะการเรียนรู้ด้านดิจิทัลที่จำเป็น

กลุ่มเป้าหมาย	ทักษะพื้นฐาน		ทักษะเฉพาะทาง				
	มิติที่ 1: ผู้ที่ทันสมัยและใช้เทคโนโลยีเป็น	มิติที่ 2: เข้าใจนโยบายกฎหมายและมาตรฐาน	มิติที่ 3: ใช้ดิจิทัลเพื่อการประยุกต์และพัฒนา	มิติที่ 4: ใช้ดิจิทัลเพื่อการบริหารจัดการและแบ่งคำ	มิติที่ 5: ใช้ดิจิทัลเพื่อขับเคลื่อนและสร้างสรรค์		
	1. Digital Literacy	2. Digital Governance, Standard and Compliance	3.1 Digital Technology 3.2 Digital Process and Service Design and Assurance	4.1 Project and Strategic Management 4.2 Digital Leadership	5. Digital Transformation		
	1	2	3.1 3.2	4.1 4.2	5		
Executive	✓	✓		✓	✓		✓
Management	✓	✓		✓	✓		✓
Academic	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Service	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Technology	✓	✓	✓	✓	✓		✓

Conclusions



กลุ่มเป้าหมาย	บทบาทและพฤติกรรมที่คาดหวัง
ประเภทที่ 1 กลุ่มตามระดับการบริหารงาน (ชั้นยศ)	
1.1 ผู้บริหารระดับสูง (Exclusive)	กำหนดนโยบายและทิศทางด้านดิจิทัลของหน่วยงานรวมถึงติดตามการดำเนินการตามยุทธศาสตร์ และสร้างนวัตกรรมของหน่วยงาน
1.2 ผู้อำนวยการ (Management)	การแปลงนโยบายระดับปฏิบัติการ และส่งเสริมขับเคลื่อนสู่การเป็นองค์กรดิจิทัล
1.3 ผู้ปฏิบัติงานทั่วไป (Others)	สามารถนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ในการทำงานได้อย่างเหมาะสม
ประเภทที่ 2 กลุ่มตามหน้าที่การปฏิบัติงาน	
2.1 ผู้ดำเนินนโยบายและวิชาการ (Academic)	ใช้ข้อมูลดิจิทัลในการปฏิบัติงาน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการพัฒนาและริเริ่มโครงการ
2.2 ผู้ปฏิบัติงานด้านเทคโนโลยีดิจิทัล (Technology specialist)	พัฒนาและปรับเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินงานโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล
2.3 ผู้ทำงานด้านบริการ (Service)	นำเทคโนโลยีมาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในการให้บริการ

Outlook and Future Issues

1. ควรศึกษาความต้องการการพัฒนาทักษะด้านดิจิทัลของกำลังพลในแต่ละตำแหน่ง เพื่อนำผลการวิจัยไปใช้ในการพัฒนาทักษะด้านดิจิทัลที่สอดคล้องกับภาระงานและตำแหน่งงานที่แตกต่างกัน
2. ควรศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีในการปฏิบัติงาน
3. ควรศึกษาวัฒนธรรมที่ทันสมัย เพื่อนำมาประยุกต์และสนับสนุนในการปฏิบัติงาน

Acknowledgments

การศึกษาค้นคว้าวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากอาจารย์ผู้รับผิดชอบเอกสารวิจัย พลอากาศตรี พุทธิศักดิ์ สุนทร ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย และขอขอบพระคุณ นาวาอากาศเอก สิทธิพร นิลโพธิ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการทำเอกสารวิจัย นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ โรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้อง และครอบครัวที่เป็นกำลังใจในการทำเอกสารวิจัยเป็นอย่างดี



แนวทางการพัฒนาความร่วมมือทางทหารกับสหรัฐอเมริกาและจีน

ในบริบทของการแข่งขันระหว่างประเทศทั้งสอง

น.ต.สุพจน์ สุนทรวิวัฒนา

นายทหารนักเรียนโรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ รุ่นที่ ๖๘

Objectives

ศึกษารูปแบบความร่วมมือทางทหารระหว่างไทยกับสหรัฐอเมริกา และระหว่างไทยกับ สปป. เพื่อวิเคราะห์ข้อพิจารณาเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาความร่วมมือทางทหารระหว่างไทยกับสหรัฐอเมริกา และระหว่างไทยกับ สปป.

Research Significance

ปัจจุบันสหรัฐฯ และ สปป. มีความขัดแย้งระหว่างกันมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการความร่วมมือทางทหารกับทั้งสองประเทศซึ่งเป็นมิตรประเทศกับไทย เพื่อให้ไทยสามารถรักษาสถิติกับประเทศมหาอำนาจได้ตามที่แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ.๒๕๖๑-๒๕๘๐ ประเด็นความมั่นคง และแผนปฏิบัติการด้านการพัฒนาศึกษาของประเทศไทยความมั่นคง กท. (พ.ศ.๒๕๖๖-๒๕๗๐) ได้กำหนดไว้

Results and Discussion

ข้อพิจารณาเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาความร่วมมือทางทหารระหว่างไทยกับสหรัฐอเมริกา

มิติความร่วมมือทางทหาร	สถานะปัจจุบัน	ผลกระทบ	ข้อพิจารณา
การฝึกร่วม/ผสม	- ปี ๒๕๖๖ มีการฝึกร่วมกัน ๕๐ รายการ - มีการฝึกผสมครบทุกเหล่าทัพ - ครอบคลุมหลากหลายมิติ - มีหลักนิยมในการปฏิบัติการคล้ายคลึงกัน และสามารถใช้อาวุธอวุธร่วมกันได้	ไทยรับรองความรู้และประสบการณ์ รวมทั้งพัฒนาขีดความสามารถในการปฏิบัติการร่วม/ผสม อาชีพ ภัยคุกคามทางไซเบอร์	- ดำรงความร่วมมือให้ต่อเนื่อง - ขยายขอบเขตการฝึกให้ครอบคลุมภัยคุกคามรูปแบบใหม่ อาทิ ภัยคุกคามทางไซเบอร์ - ไม่ควรเข้าร่วมการฝึกที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ทะเลจีนใต้
การฝึกอบรม	- ให้ทุนสำหรับรับการอบรมในหลักสูตรการศึกษาวิชาทหารแก่กองทัพไทยมากที่สุด - ดำเนินผ่านโครงการ IMET ซึ่งให้ทุนการศึกษาใน ๒๓ สถาบัน - มีการปลูกฝังค่านิยมเรื่องประชาธิปไตยหรือหลักการว่าด้วยกองทัพต้องถูกควบคุมโดยพลเรือน - ได้รับการยอมรับจากนายทหารของไทย และมีโอกาสในการเติบโตในหน้าที่การงานได้มากกว่า	แนวความคิดและหลักนิยมของสหรัฐฯ จะยังคงมีอิทธิพลต่อแนวคิดและหลักนิยมของกองทัพไทยต่อไป ซึ่งไม่นับว่าเป็นผลเสีย เนื่องจากแนวความคิดและหลักนิยมของสหรัฐฯ สามารถนำไปใช้งานได้ดี	- ดำรงความร่วมมือให้ต่อเนื่อง - ส่งเสริมให้ทหารไทยได้รับการฝึกอบรมในสหรัฐฯ อย่างต่อเนื่อง - เจริญขอรับการสนับสนุนที่จำเป็นในสถานศึกษาของสหรัฐฯ เพิ่มเติม
การให้ความช่วยเหลือทางทหาร	มีรูปแบบที่หลากหลายและชัดเจน	การให้ความช่วยเหลือเป็นไปโดยมีกติกาที่ชัดเจนทำให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน แต่อาจขาดความยืดหยุ่นในการเจรจาเพื่อขอความช่วยเหลือ	ดำรงการปฏิบัติตามเงื่อนไขที่มีข้อตกลงกัน เมื่อต้องการขอรับความช่วยเหลือ เว้นแต่เงื่อนไขที่ขัดแย้งกันซึ่งไม่สามารถเจรจาปรับเงื่อนไขกันได้
การจัดซื้ออาวุธ	- ปี ๒๕๕๔-๒๕๖๕ ไทยจัดซื้ออาวุธจากสหรัฐฯ มูลค่ารวม ๒๐๗ ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ - มีราคาที่สูงและเงื่อนไขในการจัดซื้อที่ซับซ้อน - ดำเนินผ่านโครงการ FMS เป็นส่วนใหญ่ - กองทัพไทยยังคงมีความไว้วางใจต่อคุณภาพของอาวุธจากสหรัฐฯ มากกว่า	- ใช้งบประมาณจำนวนมาก เมื่อมีการจัดซื้อ แต่จะได้อาวุธที่ไว้วางใจได้ - จำเป็นต้องพึ่งพาระบบสนับสนุนจากสหรัฐฯ จึงสามารถใช้งานได้	- พยายามหาแหล่งจัดซื้ออาวุธที่หลากหลายจากประเทศที่เป็นมิตรกับสหรัฐฯ อาทิ อิสราเอล สวีเดน เกาหลีใต้ เป็นต้น เพื่อเพิ่มอำนาจต่อรองกับสหรัฐฯ และลดการพึ่งพาสหรัฐฯ ลง โดยไม่ทำให้สหรัฐฯ เกิดความหวาดระแวง

Outlook and Future Issues

๑. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จนท.กท.ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการประสานความร่วมมือทางทหารกับมิตรประเทศ สามารถนำผลวิจัยนี้ไปวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบันของความร่วมมือทางทหารระหว่างไทยกับสหรัฐอเมริกา และไทยกับ สปป. รวมทั้งใช้เป็นกรอบแนวคิดในการพัฒนาความร่วมมือกับประเทศทั้งสองให้ครอบคลุมและลึกซึ้งมากขึ้น

๒. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

๒.๑ ควรค้นหาและศึกษาเอกสารทางทหารจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินความร่วมมือทางทหารกับมิตรประเทศเพื่อทราบถึงสถานการณ์ปัจจุบันของความร่วมมือทางทหารระหว่างไทยกับสหรัฐอเมริกา และไทยกับ สปป. ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น และทำให้ทราบว่าในความร่วมมือระหว่างไทยกับสหรัฐอเมริกา และไทยกับ สปป. ควรเสริมสร้างประเด็นความร่วมมือใดที่ยังขาดหายไป ๒.๒ ควรศึกษารายละเอียดความร่วมมือทางทหารของประเทศไทย ที่ดำเนินต่อรัฐมหาอำนาจได้อย่างสมดุล โดยเฉพาะในกลุ่มประเทศอาเซียน ซึ่งมีกำลังอำนาจแห่งชาติและอยู่ในสภาพแวดล้อมด้านความมั่นคงระหว่างประเทศคล้ายคลึงกับไทย เพื่อให้ได้รูปแบบของการดำเนินนโยบายด้านความร่วมมือทางทหารที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับของไทยได้

Results and Discussion

ข้อพิจารณาเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาความร่วมมือทางทหารระหว่างไทยกับ สปป.

มิติความร่วมมือทางทหาร	สถานะปัจจุบัน	ผลกระทบ	ข้อพิจารณา
การฝึกร่วม/ผสม	- ปี ๒๕๖๖ มีการฝึกร่วมกัน ๒๐ รายการ - มีการฝึกผสมครบทุกเหล่าทัพ - เป็นไปในลักษณะของการสร้างภาพลักษณ์ของความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันมากกว่า - มีปัญหาจากการที่ไทยและ สปป. ใช้ระบบอาวุธและหลักนิยมแตกต่างกัน ข้อจำกัดด้านภาษา รวมทั้งไม่มีความไว้วางใจกันมากเพียงพอที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้อย่างเต็มที่	ได้ความสัมพันธ์อันดีระหว่างกัน แต่การพัฒนาขีดความสามารถในการปฏิบัติการร่วม/ผสม เป็นไปอย่างจำกัด	- เพิ่มความร่วมมือ โดยประสานนโยบายในการฝึกให้มุ่งเน้นที่สาระสำคัญในการฝึกมากขึ้น - จัดให้มีล่ามสนับสนุนการฝึกให้ครอบคลุม หากจำนวนยังมีไม่เพียงพอ อาจจำเป็นต้องพิจารณาปรับนโยบายด้านกำลังพลที่เกี่ยวข้องต่อไป - การที่ไทยและ สปป. ใช้ระบบอาวุธและหลักนิยมแตกต่างกัน สามารถเปลี่ยนเป็นโอกาสที่ทั้งสองฝ่ายจะเรียนรู้และนำไปพัฒนาให้เหมาะสมกับการปฏิบัติการของตนเอง
การฝึกอบรม	- ให้ทุนสำหรับรับการอบรมในหลักสูตรการศึกษาวิชาทหารแก่กองทัพไทย - มีสถาบันการศึกษาทหาร ๗๐ สถาบันที่รับนายทหารต่างประเทศเข้ารับการอบรม - ไม่มีการปลูกฝังค่านิยมเรื่องประชาธิปไตยหรือหลักการว่าด้วยกองทัพต้องถูกควบคุมโดยพลเรือน - มุ่งเน้นการสร้างสายสัมพันธ์ระหว่างนายทหารและสร้างภาพลักษณ์เชิงบวกต่อ สปป. เป็นหลัก	ทำให้ทหารไทยมีความเข้าใจต่อท่าทีและของ สปป. ในประเด็นต่างๆ แต่แนวคิดและหลักนิยมของกองทัพ สปป. จะยังไม่มามีอิทธิพลต่อกองทัพไทยเท่าสหรัฐฯ	- เพิ่มความร่วมมือ โดยการสนับสนุนให้ทหารไทยได้รับการฝึกอบรมใน สปป. - ส่งเสริมให้ทหารไทยที่ไปรับการฝึกอบรมที่ สปป. มีการเผยแพร่ความรู้ที่ได้รับจากการฝึกอบรมเพื่อให้ความรู้และแนวความคิดจาก สปป. ได้รับความสนใจมากขึ้น
การให้ความช่วยเหลือทางทหาร	เป็นการให้ความช่วยเหลือตามกรณี	การขอความช่วยเหลือขาดแนวทางที่แน่นอนและชัดเจน แต่มีข้อดีที่มีความยืดหยุ่นสามารถต่อรองได้	เพิ่มความร่วมมือ โดยเจรจาให้มีการจัดทำข้อตกลงเป็นลายลักษณ์อักษร โดยที่เนื้อหาต้องมีลักษณะเปิดกว้างให้ต่อรองกันได้ง่าย
การจัดซื้ออาวุธ	- ปี ๒๕๕๔-๒๕๖๕ ไทยจัดซื้ออาวุธจาก สปป. มูลค่า ๓๙๔ ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ - มีราคาที่สูงและเงื่อนไขในการจัดซื้อที่ซับซ้อน - มีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพการผลิตและการซ่อมบำรุงรักษา	- การใช้อาวุธจาก สปป. อาจมีปัญหาในการทำงานร่วมกับระบบบัญชาการและควบคุมรวมทั้งอาวุธอื่นๆ ที่มาจากกลุ่มประเทศตะวันตก - ไทยอาจได้รับผลกระทบทางอ้อมจากมาตรการคว่ำบาตรที่กลุ่มประเทศตะวันตกที่กระทำต่อ สปป.	- ลดการจัดซื้ออาวุธจาก สปป. โดยควรพิจารณาเป็นลำดับถัดจากสหรัฐฯ และมีมิตรประเทศของสหรัฐฯ - เพิ่มความร่วมมือในด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ และ การวิจัยและพัฒนาทางทหาร เพื่อรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี และต่อยอดพัฒนาให้เป็นของไทย

Conclusions

- ความร่วมมือทางทหารกับสหรัฐฯ ด้านการฝึกร่วม/ผสม การฝึกอบรม และการให้ความช่วยเหลือทางทหาร อยู่ในสถานะที่ดีและมีปัญหาที่จำเป็นต้องแก้ไขน้อย ส่วนความร่วมมือกับ สปป. ในด้านดังกล่าวยังมีประเด็นที่สามารถพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นได้ ส่วนความร่วมมือในด้านการจัดซื้ออาวุธ ทั้งระหว่างไทยกับสหรัฐฯ และไทยกับ สปป. ดำเนินประเด็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไข ไทยควรเพิ่มความร่วมมือกับรัฐอื่นๆ นอกเหนือจาก สหรัฐฯ และ สปป. โดยเฉพาะความร่วมมือแบบพหุภาคีในกรอบของอาเซียน รวมทั้งเพิ่มความร่วมมือแบบทวิภาคีกับรัฐอื่นๆ อาทิ อินเดีย อินโดนีเซีย เพื่อแสดงให้ทั้งสหรัฐฯ และ สปป. เห็นว่า ไทยยังมีทางเลือกอื่นฯ ในการดำเนินความร่วมมือทางทหารกับมิตรประเทศ
- การดำเนินยุทธศาสตร์ของไทยในการรักษาความสัมพันธ์ที่ดีกับสหรัฐฯ และ สปป. มีแนวโน้มจะเผชิญกับความไม่แน่นอนมากขึ้นในอนาคต (อนุรักษฯ รมณารักษ์, เสวนา, ๒๕๖๗) โดยเฉพาะหากในพื้นที่ในภูมิภาคอินโด-แปซิฟิก ซึ่งมีความขัดแย้งระหว่างสหรัฐฯ กับ สปป. อาทิ ช่องแคบไต้หวัน ทะเล สปป. ได้ สถานการณ์ความขัดแย้งนี้ขยายตัว ไทยจะถูกบีบบังคับให้ต้องเลือกข้างได้ข้างหนึ่ง

Acknowledgments

การศึกษาค้นคว้าวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ผู้รับผิดชอบเอกสารวิจัย น.อ.สุวิทย์ ใต้ทอง ที่ได้สละเวลาอันมีค่า เพื่อช่วยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ และขอขอบคุณ น.อ.นวิรุทธิ์ ฤทธิชัยบุญ ร.น.ท.กฤตยชญ์ พิทักษ์อรุณพร ร.น. และ น.ท.ภรณ์ธิ์ วัฒนนิรมณ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย นอกจากนี้ ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณคณาจารย์ ร.ร.ส.ท.อ. และนายทหารนักเรียน ร.ร.ส.ท.อ. รุ่นที่ ๖๘ ทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จ

Publications

สุพจน์ สุนทรวิวัฒนา (๒๕๖๗). แนวทางการพัฒนาความร่วมมือทางทหารกับสหรัฐอเมริกาและจีน ในบริบทของการแข่งขันระหว่างประเทศทั้งสอง. [เอกสารวิจัยส่วนบุคคล]. โรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ.

แนวทางสร้างแรงจูงใจให้ทหารกองเกินสมัครเข้ารับราชการ ทหารกองประจำการโดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ในส่วนของกองทัพอากาศ

น.ท.ยุทธพงษ์ นิลจินดา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อศึกษาแรงจูงใจของทหารกองเกินสมัครเข้ารับราชการทหารกองประจำการโดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ในส่วนของกองทัพอากาศ
- เพื่อเสนอแนวทางสร้างแรงจูงใจให้ทหารกองเกินสมัครเข้ารับราชการทหารกองประจำการโดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ในส่วนของกองทัพอากาศ รองรับระบบทหารกองประจำการอาสาสมัครทดแทนการเรียกเกณฑ์ในอนาคต

ความสำคัญ และที่มาของการวิจัย

เพื่อศึกษาแรงจูงใจของทหารกองเกินสมัครเข้ารับราชการทหารกองประจำการโดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ในส่วนของกองทัพอากาศเพื่อเสนอแนวทางสร้างแรงจูงใจให้ทหารกองเกินสมัครเข้ารับราชการทหารกองประจำการโดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ในส่วนของกองทัพอากาศ รองรับระบบทหารกองประจำการอาสาสมัครทดแทนการเรียกเกณฑ์ในอนาคต

สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูล โดย PESTEL Analysis, SWOT Analysis,
และ TOWS Matrix

กลยุทธ์เชิงรุก

กลยุทธ์ที่ ๑ ส่งเสริมการศึกษาและทักษะอาชีพของกองทัพอากาศ

ที่ใช้ความคิดสร้างสรรค์ ความท้าทายและเทคโนโลยี เพื่อรองรับ

การบรรจุกำลังพลที่ปลดประจำการหรือมีความสามารถในการ

ประกอบอาชีพอื่น เช่น ทักษะช่างอากาศยาน ทักษะช่างสื่อสาร

ทักษะเกี่ยวกับระบบโดรนและแอนดีโดรน

กลยุทธ์ที่ ๒ ประชาสัมพันธ์ในกลุ่มเป้าหมายทุกช่องทางให้ทราบถึงความมั่นคงในอาชีพ

ความภาคภูมิใจ และสิทธิประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การบอกต่อ การลงในสื่อสังคมออนไลน์

กลยุทธ์เชิงแก้ไข ปรับปรุงรูปแบบการฝึกและการบรรจุรับราชการของทหารกองประจำการ

ให้สอดคล้อง กับคุณลักษณะของวัยรุ่น ภายใต้กรอบของงบประมาณและกฎหมายที่กำหนด เช่น ปรับรูปแบบการฝึกทหาร การศึกษาต่าง ๆ ที่นำไปพัฒนาต่อยอดในการปฏิบัติราชการ เมื่อได้รับการบรรจุ ทำให้สามารถประหยัดงบประมาณและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการในอนาคตได้

กลยุทธ์เชิงป้องกัน สร้างภาพลักษณ์ของทหารในคนรุ่นใหม่โดยการมุ่งเน้นให้ความสำคัญ

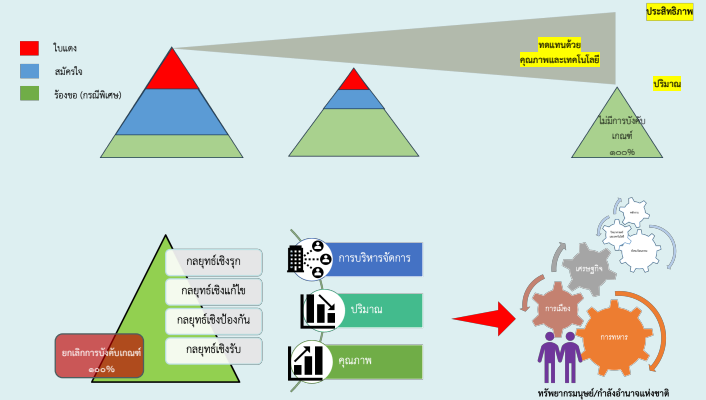
กับกำลังพลทุกระดับ รูปแบบการฝึกและการศึกษาที่มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์ ความก้าวหน้าในอาชีพ สิทธิประโยชน์ รวมทั้งเกียรติและศักดิ์ศรีของทหาร เช่น ความเป็นอยู่ในค่ายทหาร การได้รับการดูแลเอาใจใส่จากผู้บังคับบัญชา การทำให้รู้สึกว่าเป็นส่วนที่สำคัญของกองทัพอากาศและเกิดความภาคภูมิใจ

กลยุทธ์เชิงรับ ปกครองทหารกองประจำการด้วยหลักธรรมาภิบาล เพิ่มสิทธิสวัสดิการ

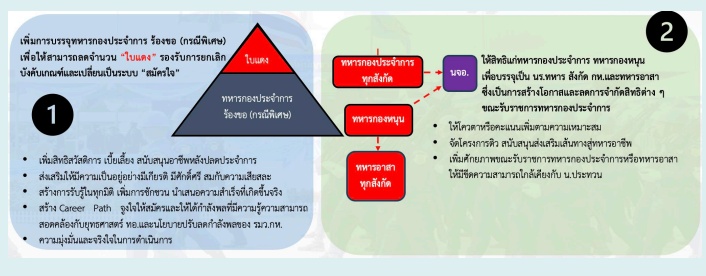
เพื่อสร้างแรงจูงใจและสอดคล้องกับสภาวะเศรษฐกิจ สร้างอาชีพที่ดีตัวที่มีมูลค่าตลอดจนการทำข้อตกลงกับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนในการรับเข้าปฏิบัติงานหลังปลดประจำการ เช่น การปกครอง การบริหาร การจัดการ การดูแลกิจกรรมต่าง ๆ ให้เป็นไปในครรลองธรรม ได้รับสิทธิประโยชน์ที่เหมาะสมและมีอนาคตที่ต่ออย่างยั่งยืนต่อไป

ข้อสรุป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ได้กลยุทธ์ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และสามารถตอบคำถามของการวิจัยได้ ดังนั้นหากแปลงกลยุทธ์ดังกล่าวไปสู่การปฏิบัติ จะสามารถรองรับระบบทหารกองประจำการอาสาสมัครทดแทนการเรียกเกณฑ์ในอนาคต และสนับสนุนการดำเนินการตามยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ ๒๐ ปี (พ.ศ.๒๕๖๑ - ๒๕๘๐) ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๓ อีกด้วย



เมื่อกองทัพอากาศสามารถเพิ่มการบรรจุทหารกองประจำการโดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ได้มากขึ้น จนกระทั่งมีจำนวนครบตามความต้องการทหารกองประจำการในแต่ละปีนั้น จะส่งผลให้จำนวนใบแดงลดลงจนกระทั่งไม่มีการจับใบแดง ด้วยการสร้างแรงจูงใจด้วยวิธีต่าง ๆ อีกทั้งการให้สิทธิแก่ทหารกองประจำการและทหารกองหนุน เพื่อบรรจุเป็นนักเรียนทหาร และทหารอาสา เป็นการสร้างโอกาส และลดการจำกัดสิทธิต่าง ๆ ขณะรับราชการทหารกองประจำการ



ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- ควรมีการศึกษาแรงจูงใจและพฤติกรรมของวัยรุ่นชาย อายุ ๒๒ - ๒๕ ปี บริบูรณ์ โดยเฉพาะในกลุ่มของทหารกองเกินที่มีคุณสมบัติครบถ้วนสามารถสมัครเข้ารับราชการทหารกองประจำการโดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ในส่วนของกองทัพอากาศได้ เพื่อประกอบการพิจารณาปรับปรุงแนวทางการดำเนินการให้สอดคล้องกับกลุ่มเป้าหมายได้มากยิ่งขึ้น
- ควรมีการศึกษาแนวทางสร้างแรงจูงใจให้ทหารกองเกินสมัครเข้ารับราชการทหารกองประจำการโดยวิธีร้องขอ (กรณีพิเศษ) ในส่วนของกองทัพอากาศของทหารกองเกินที่มีอายุ ๒๒ - ๒๕ ปีบริบูรณ์เพื่อรองรับระบบทหารกองประจำการอาสาสมัครทดแทนการเรียกเกณฑ์ในอนาคต



แนวทางการพัฒนารูปแบบการฝึกปฏิบัติกิจกรรมในสนามหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูง เพื่อพัฒนาสมรรถนะผู้นำขั้นต้นของกองทัพอากาศรองรับการศึกษาในศตวรรษที่ 21

นาวาอากาศโทหญิง หลิง อังคณา จรรยา
สังกัด กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ

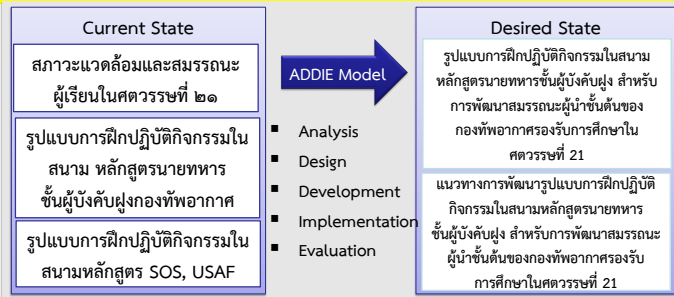
Objectives

- เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการฝึกปฏิบัติกิจกรรมในสนามหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงของกองทัพอากาศ และรูปแบบการฝึกปฏิบัติกิจกรรมในสนามหลักสูตร Squadron Officer School, United States Air Force (SOS, USAF) ในปัจจุบัน
- เพื่อศึกษารูปแบบการฝึกปฏิบัติกิจกรรมในสนามที่เหมาะสมกับหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงสำหรับการพัฒนาสมรรถนะผู้นำขั้นต้นของกองทัพอากาศรองรับการศึกษาในศตวรรษที่ 21
- เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนารูปแบบการฝึกปฏิบัติกิจกรรมในสนามหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงสำหรับการพัฒนาสมรรถนะผู้นำขั้นต้นของกองทัพอากาศรองรับการศึกษาในศตวรรษที่ 21

Research Significance

โลกปัจจุบันเต็มไปด้วยความผันผวนและไม่แน่นอน ซึ่งส่งผลกระทบต่ออารมณ์และความมั่นคงของชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุค BANI World ที่แสดงถึงความเปราะบาง ความกังวล ความคาดเดายาก และความเข้าใจยาก การพัฒนาการศึกษาและการฝึกอบรมในกองทัพไทยและกองทัพอากาศจึงมุ่งเน้นการสร้างสมรรถนะให้ตอบสนองกับแนวโน้มภัยคุกคามที่เปลี่ยนแปลงไป กองทัพอากาศมีเป้าหมายในการพัฒนากำลังพลและหลักสูตรการฝึกให้มีประสิทธิภาพตามยุทธศาสตร์ ทอ. 20 ปี โดยมุ่งเน้นการฝึกอบรมที่ทันสมัยและตอบสนองความต้องการของศตวรรษที่ 21 การศึกษาจะต้องสอดคล้องกับมาตรฐานสากลและใช้ระบบการเรียนรู้เชิงรุกเพื่อเสริมทักษะที่จำเป็นเพื่อให้ผู้สำเร็จการศึกษาจากหลักสูตรหลักของกองทัพอากาศ โดยเฉพาะโรงเรียนนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงได้รับการพัฒนาทักษะการเป็นผู้นำขั้นต้นของกองทัพอากาศต่อไป

Research Framework



Acknowledgments

การวิจัยนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากคณาจารย์และเพื่อนนายทหารนักเรียนโรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ ที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำที่มีค่าอย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นาวาอากาศเอก สมชาย วันกลิ่น อาจารย์ผู้รับผิดชอบเอกสารวิจัย และนาวาอากาศเอก ภิรัชณะ วัลลิภากร ที่ปรึกษาเอกสารวิจัยที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำเพื่อให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์ และได้ผลสรุปที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการฝึกศึกษาของกองทัพอากาศ

Outlook and Future Issues

- งานวิจัยนี้สามารถต่อยอดได้ด้วยการใช้กระบวนการวิจัยและพัฒนาในขั้นตอนการนำไปทดลองใช้ก่อนใช้จริงต่อไป
- กิจกรรม FLEX สามารถนำมาปรับใช้ได้ในการศึกษาหลักสูตรวิชาชีพระดับกองทัพอากาศ (PME) โดยเฉพาะโรงเรียนหลักขั้นต้นเพื่อให้เข้าใจคุณลักษณะของกำลังทางอากาศซึ่งเป็นหัวใจของกองทัพอากาศ

Publications

อังคณา จรรยา (๒๕๖๗). แนวทางการพัฒนารูปแบบการฝึกปฏิบัติกิจกรรมในสนามหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงเพื่อพัฒนาสมรรถนะผู้นำขั้นต้นของกองทัพอากาศรองรับการศึกษาในศตวรรษที่ 21. [เอกสารวิจัยส่วนบุคคล]. โรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ.

Results and Discussion

Analysis	ผลการเปรียบเทียบรูปแบบกิจกรรมในสนามของหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงของกองทัพอากาศ และหลักสูตร SOS, USAF พบว่า มีข้อแตกต่างกัน ในด้านผู้เรียน ความมุ่งหมายของหลักสูตร รูปแบบกิจกรรม และผลลัพธ์การเรียนรู้
Design	<p>กิจกรรม FLEX</p> <ul style="list-style-type: none"> • กิจกรรมในสนามของ SOS, USAF • ใช้แทนกิจกรรมฟลิคเกอร์บอล • จำลองการเข้าร่วมสงครามทางอากาศ • ความรู้ที่ได้รับเมื่อเปรียบเทียบกับหลักนิยมพื้นฐาน ทอ. พ.ศ.2566 และหลักนิยมการปฏิบัติการ ทอ.พ.ศ.2566 
Development	<ul style="list-style-type: none"> • การสงคราม • ระดับของสงคราม • กฎการใช้กำลัง • คุณลักษณะของกำลังทางอากาศ • เป้าหมายที่มีผลต่อยุทธศาสตร์ • การได้มาซึ่งการครองอากาศ • การปฏิบัติของกำลังทางอากาศ
Implementation	<ul style="list-style-type: none"> • พัฒนาคู่มือการปฏิบัติกิจกรรมในสนามฯ • จัดหาอุปกรณ์การฝึกฯ • จัดหาสถานที่ฝึกฯ • จัดการอบรมและจัดตั้งทีมผู้ตัดสิน • ใช้กระบวนการ R&D ในการทดลองใช้ • จัดโครงสร้างองค์กรและมอบหมายผู้รับผิดชอบ
Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> • แนวทางการประเมินผลสรุป ดำเนินการได้โดยใช้การตัดสินผลแพ้ - ชนะ ของกิจกรรม • ใช้การสัมภาษณ์ หรือการสนทนากลุ่ม ประเมินความรู้ ความเข้าใจ และผลของการนำไปใช้
<p>Discussion</p> <ul style="list-style-type: none"> • การพัฒนาสถานที่ในการฝึกสอดคล้องกับโครงการบูรณาการหลักสูตรการศึกษาทหารอาชีพในสมุดปกขาว ทอ. ด้าน Education รหัส AF010501 • FLEX กำหนดให้มีหน่วย JASSM ในเกม ก่อนนำมาปรับใช้ ทอ.จะต้องนำมาปรับรูปแบบให้เหมาะสมตามอาวุธที่กองทัพอากาศมี 	

Conclusions

รูปแบบกิจกรรมในสนามของหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงของกองทัพอากาศ และหลักสูตร SOS, USAF พบว่า มีข้อแตกต่างกัน ในด้านผู้เรียน ความมุ่งหมายของหลักสูตร รูปแบบกิจกรรม และผลลัพธ์การเรียนรู้ โดยพบว่า กิจกรรม Field Leadership Exercise (FLEX) ที่ใช้ในหลักสูตร SOS, USAF มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาสมรรถนะผู้นำขั้นต้นของกองทัพอากาศ ให้มีความรู้และทักษะรองรับการศึกษาในศตวรรษที่ 21

แนวทางการพัฒนารูปแบบกิจกรรมในสนามในสนามของหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงของกองทัพอากาศประกอบด้วย แนวทางการพัฒนา ได้แก่ การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ การจัดหาอุปกรณ์และการเตรียมสถานที่ แนวทางการนำไปใช้ ได้แก่ การสร้างผู้ตัดสินในสนาม การดำเนินการทดลองใช้กิจกรรมและการจัดโครงสร้างหน่วยงานที่เหมาะสม และ แนวทางการประเมินผล ด้วยการประเมินผลการเรียนรู้จากผลการแพ้ - ชนะของกิจกรรม และการประเมินผลของการนำกิจกรรมไปใช้ด้วยการสัมภาษณ์และการสนทนากลุ่ม โดยกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ การพัฒนารูปแบบการฝึกปฏิบัติกิจกรรมในสนามของหลักสูตรนายทหารชั้นผู้บังคับฝูงของกองทัพอากาศ สอดคล้องกับการพัฒนาสมรรถนะผู้นำขั้นต้นของกองทัพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



วิดีโอแนะนำกิจกรรม FLEX

SCAN ME

วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มุ่งเน้นเพื่อการออกแบบและพัฒนาระบบทดสอบสะพาน 2 รูปแบบคือ สะพานชั้นรับน้ำหนักสูงสุด 30 ตัน และสะพานชั้นรับน้ำหนักสูงสุด 60 ตัน ในการออกแบบ ได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีขอบเขตจำกัดมูลฐานในการวิเคราะห์ความแข็งแรงและการสั่นสะเทือน (Modal Analysis)

จากผลการจำลองวิเคราะห์ความแข็งแรงของสะพานชั้นน้ำหนัก 60 ตันพบความเค้น Von Mises สูงสุดประมาณ 728 MPa บริเวณที่ทดสอบทั้ง 2 ด้านมาประกบกัน พบความถี่ธรรมชาติที่ความถี่ประมาณ 7.63 Hz, 17.18 Hz, 24.77 Hz, 32.5 Hz และ 32.57 Hz

จากผลการจำลองวิเคราะห์ความแข็งแรงของสะพานชั้นน้ำหนัก 30 ตันพบความเค้น Von Mises สูงสุดประมาณ 247 MPa บริเวณที่ทดสอบทั้ง 2 ด้านมาประกบกัน พบความถี่ธรรมชาติที่ความถี่ประมาณ 7.61 Hz, 15.62 Hz, 24.41 Hz, 31.91 Hz และ 32.53 Hz

นอกจากนี้ได้มีการทวนสอบยืนยันผลการจำลองด้วยผลการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าความเค้น ความเครียด และระยะโก่งตัวของสะพานระหว่างการคำนวณ และการทดสอบเชิงสถิตยศาสตร์มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างมาก

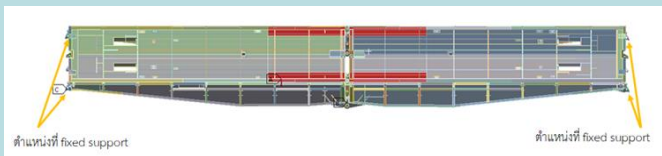
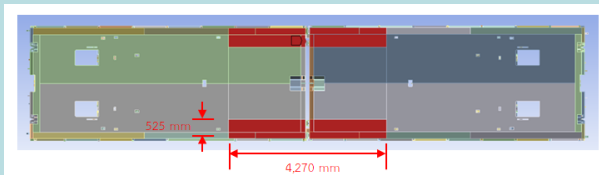
ความสำคัญของงานวิจัย

รถสะพานเครื่องหุ่นยนต์เป็นยูทิลิตี้ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจสนับสนุนทางยุทธวิธี และใช้ในการช่วยเหลือประชาชนในการบรรเทาสาธารณภัย รถสะพานเครื่องหุ่นยนต์ที่ประจำการในหน่วยทหารช่างของกองทัพบกมีราคาแพง การศึกษานี้จะช่วยในการออกแบบสร้างโครงสร้างทดสอบสะพาน สำหรับการสร้างทดสอบสะพานเองภายในประเทศ เป็นการลดค่าใช้จ่ายและลดต้นทุนอุตสาหกรรมภายในประเทศ



การจำลองด้วยระเบียบวิธีขอบเขตจำกัดมูลฐาน

งานศึกษาที่ใช้เงื่อนไขขอบเขตค้ำแสดงรูปด้านล่างในการวิเคราะห์ความแข็งแรง โดยบริเวณสีแดงเป็นบริเวณที่รองรับแรงอันเนื่องมาจากน้ำหนัก และแรงเสียดทานของยานรบ

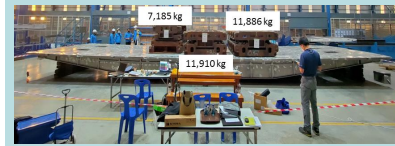


Acknowledgments

บริษัท โชนาชัย จำกัด

คลิกเพื่อแก้ไขข้อความ

การทดสอบแบบสถิตยศาสตร์



การทดสอบทดสอบสะพานชั้นน้ำหนัก 30 ตัน

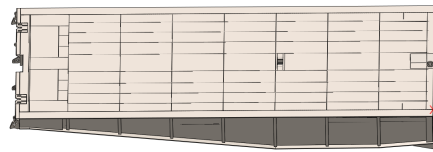


การทดสอบทดสอบสะพานชั้นน้ำหนัก 60 ตัน

Results and Discussion

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบและผลการจำลองของทดสอบสะพานชั้นน้ำหนัก 30 ตัน

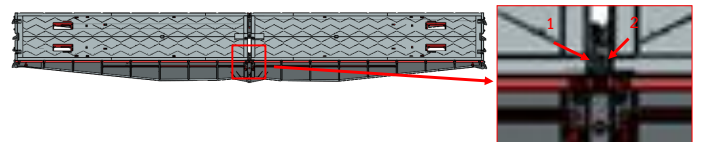
รายการ	ผลการทดสอบ	ผลการจำลอง	% ความแตกต่าง
ความเค้น (MPa)	-202.515	-205.73	1.59%
ความเครียด ($\mu\epsilon$)	-2,935.89	-2,703	7.93%
ระยะโก่งตัวของสะพาน (mm)	118.8	126.32	6.33%



ตำแหน่งที่ติด strain gage

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบและผลการจำลองของทดสอบสะพานชั้นน้ำหนัก 60 ตัน

รายการ	ผลการทดสอบ	ผลการจำลอง	% ความแตกต่าง
ความเครียด ($\mu\epsilon$)			
ตำแหน่ง 1	-2,158.5	-2,497.2	15.69
ตำแหน่ง 2	-2,588.5	-2,546.9	-1.61
ความเค้น (MPa)			
ตำแหน่ง 1	-453.29	-476.66	5.16
ตำแหน่ง 2	-543.59	-485.56	-10.68
ระยะโก่งตัว (mm)	88.71	87.2	-1.71



- จากตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบและผลการจำลองความแข็งแรงของทดสอบสะพานชั้นน้ำหนัก 30 ตัน พบว่าความเค้นที่คำนวณได้มากกว่าผลการทดสอบ 1.59%, ความเครียดได้มากกว่าผลการทดสอบ 7.59% และระยะโก่งตัวของสะพานได้มากกว่าผลการทดสอบ 6.33%

- จากตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบและผลการจำลองความแข็งแรงของทดสอบสะพานชั้นน้ำหนัก 60 ตัน พบว่าความเค้นที่คำนวณได้แตกต่างกับผลการทดสอบสูงสุด 10.68%, ความเครียดที่คำนวณได้แตกต่างกับผลการทดสอบสูงสุด 15.69% และระยะโก่งตัวของสะพานที่คำนวณได้น้อยกว่าผลการทดสอบ 1.71%

Conclusions

การจำลองความแข็งแรงของทดสอบสะพานด้วยระเบียบวิธีขอบเขตจำกัดมูลฐานนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบสะพานได้ แต่ต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อน +/- 15% เพื่อความปลอดภัย

Flexural Properties of Carbon Black Particle Reinforced Epoxy Resin Composites

N. Kesangam¹, W. Thammawichai², K. Chaiwong³, K. Chanda⁴ and P. Nekamanurak⁵

¹The Graduate School of Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

²Chemistry and Physics Department, Sciences Division, Faculty of Academic, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

³411 Squadron, Wing 41, Royal Air Force, ⁴461 Squadron, Wing 46, Royal Air Force, ⁵Directorate of Armament, Royal Air Force

Objectives

1. To study the distribution of carbon black in composite materials.
2. To study the flexural strength properties of composites reinforced with carbon black.

Research Significance

The research is interested in choosing aircraft materials and developing unmanned aerial vehicles that are material reinforcing agents and preparation processing to increase performance, efficiency, strength, and to reduce maintenance budgets. It serve as a guideline for application, research, and development to benefit operations related to aircraft materials and others. further related

Results and Discussion

1. Distribution of carbon black in media

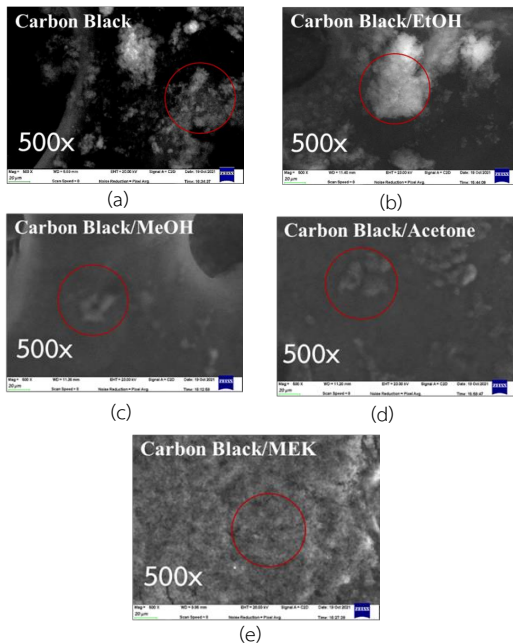


Fig. 1 SEM of Carbon black dispersed (a) none, (b) EtOH, (c) MeOH, (d) Acetone and (e) MEK

Acknowledgments

The research funds for lecturer development of Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy.

Outlook and Future Issues

Study other properties such as tensile, compress and impact properties. However, future research could be studying dynamic properties.

Results and Discussion

2. Particle size

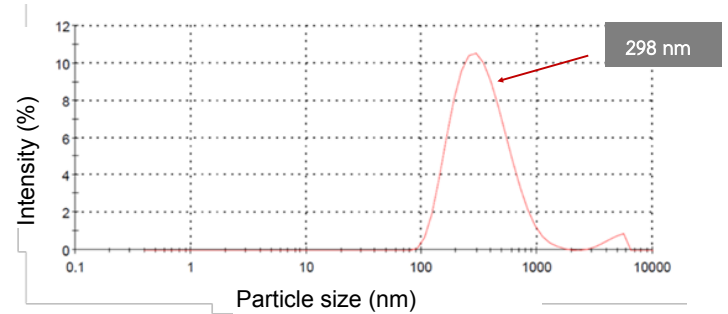


Fig. 2 Particle size distribution of carbon black dispersed MeOH.

3. Flexural property

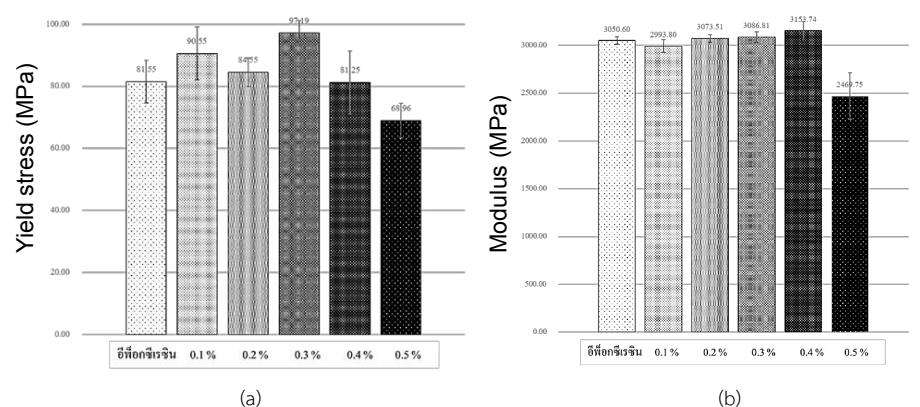


Fig. 3 (a) Yield stress and (b) modulus of carbon black reinforced epoxy resin

Conclusions

1. Carbon black particles can be dispersed by the couple ultrasonic technique for 30 min in EtOH, Acetone, MeOH, and MEK solutions, but cannot be dispersed in deionized water.
2. The carbon black particles dispersed in the MeOH solution did not settle to the bottom of the container even after 5 days
3. The particle size of carbon black dispersed in MeOH using the couple ultrasonic technique for 30 min had an average particle size of 298.2 nm.
4. Reinforcing epoxy resin-based composites with carbon black dispersed by a couple ultrasonic technique for 30 min in MeOH solution can increase their flexural properties. It can increase the yield stress to 19 percent when carbon black is added at 0.3 percent by weight. while the modulus. Remains the same.

Publications

1. Nattapon Kesangam and Warut Thammawichai, Preparation and Flexural Property of Composite of Carbon Black Reinforced Epoxy Resin, Sci & Tech.J.NKRAFA.[2022] 18(2), 40 - 56
2. Nattapon Kesangam and Warut Thammawichai, Effect of solvent on flexural properties and enhanced tensile properties of composite carbon black reinforced epoxy resin, Sci & Tech.J.NKRAFA.[2024] 20(1), 82- 92

In 2024, Thailand will have 4.22 million tons of corn waste so we are interested in corn cob developing into construction materials like concrete. Because there are many waste products from corn, such as cobs, husks, stems, and others. There is research that has studied the use of corn ash as a replacement for cement. By considering the chemical composition There is also research to find ways to improve the chemical composition of the ash. Results of compressive strength tests show that concrete mixed with corn ash can be used in the construction of structures that do not support high loads. and the amount of replacement should not exceed 10%, however concrete mixed with corn ash has additional interesting properties such as insulation that can be further developed.

Corn Cob Ash (CCA)



SiO₂ Main component in the pozzolanic reaction

Al₂O₃ form C-A-H. to the formation of C-A-S-H

CaO Important component of the C-S-H structure

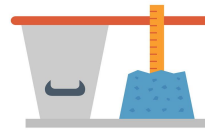
Testing the properties of concrete with CCA

Fresh properties

With increasing CCA cement replacement, the initial and final setting time increased. [6]

Increasing CCA decreases cement content, which induces hydration process [6].

Increasing CCA, the slump and compaction decreases and the flowability increases. [4]



Pretreatment of CCA

Heat treatment [8]



The burning temperature affected the chemical composition

Evaporate of some constituents such as C, Ca, and Mg.

At 600° C 4 hr the amount of SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ increased from 68.11% to 71.87%

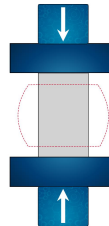
Changing the Crystalline silica to Amorphous phase in CCA.

Compressive strength

Higher CCA replacement resulting in lower compressive strength.

The lower compressive strength is likely related to higher water content.

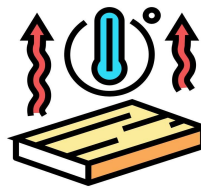
10% CCA replacement of fine aggregate has acceptable compressive strength. [8]



Thermal Properties

CCA has insulating properties. Increasing CCA, the Concrete is more insulating. [4]

20% CCA replacement of cement has Thermal conductivity=1.283 - 1.012 W/m.K., Heat capacity = 3.927 - 2.632 mJ/m³K Heat diffusion = 0.867 - 0.407. mm²/s.[10]



Acid treatment [4,7]

Table 1 Trends in the chemical composition [4]



Acid	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
HNO ₃	↑	↓	↓
H ₂ SO ₄	↓	↑	↓
HCl	↓	↑	↓
C ₆ H ₈ O ₇	↑	↓	↓

Accelerate the hydration reaction [7]

Higher strength of CCA concrete

Improve electricity resistivity CCA concrete

Limitations and uses of concrete with CCA

The use of CCA as a pozzolanic material of concrete should contain SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ more than 50%. The quality of CCA can be improved by heat and acid treatment. Concrete with CCA has a decreased compressive strength because the amount of mixed water added increases and CCA structure. so CCA concrete can also be used in construction structures that do not support heavy loads. However, corn ash concrete has interesting properties such as insulating, which can be further developed in the future

References

[๑] อิชย์อานันท์ ชิดวิเศษ, ๒๒ มีนาคม ๒๕๖๗. แนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจฐานวิจัยเพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ. Think forward center. <URL: <https://think.moveforwardparty.org/article/agriculture/๕๒๕๗/>>

[๒] รัฐพล สมมา และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๕. การใช้เถ้าขี้เถ้าจากเตาเผาเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมทรายจากถ่านหิน. วารสารวิจัยและพัฒนามจร., ๓๕(๔) : ๓๒๙-๓๕๑.

[๓] จักรกฤษณ์ คงทนแท้, เดชิต ธนภพสุกุล และสมชาย ชัยปรีดิ์, ๒๕๕๖. การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าขี้เถ้าจากเตาเผาถ่านหินเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์. วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.

[๔] Mohammad Teymouri, and Mahmoud Shakouri, ๒๐๒๒. Optimum pretreatment of corn stover ash as an alternative supplementary cementitious material. Cement, ๑๒ : ๑๐๐๐๖๖.

[๕] ปิยะพล สีหาบุตร และอดิศักดิ์ ทัพบุญ, ๒๕๕๐. การใช้เถ้าขี้เถ้าเป็นมวลรวมและใช้เถ้าขี้เถ้าเป็นวัสดุปลูกโซลานในคอนกรีต. วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมชนบท) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

[๖] ศุภรัตน์ พันธุ์เลิศ และพิทักษ์ เพ็ญรัตน์กุล, ๒๕๕๕. การศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต. Journal of Community Development Research, ๔(๒) : ๒๖-๓๗.

[๗] Mahmoud Shakouri, Christopher L. Exstrom, Sivakumar Ramanathan, Pranroy Suraneni, and James S. Vaux, ๒๐๒๐. Pretreatment of corn stover ash to improve its effectiveness as a supplementary cementitious material in concrete. Cement and Concrete Composites, ๑๑๒ : ๑๐๖๖๕๘.

[๘] Shazim Ali Memon, Usman Javed, and Rao Arsalan Khushnood, ๒๐๑๙. Eco-friendly utilization of corncob ash as partial replacement of sand in concrete. Construction and Building Materials, ๑๙๕ : ๑๖๕-๑๗๗.

[๙] D.A. Adesanya, and A.A. Raheem, ๒๐๐๙. A study of the workability and compressive strength characteristics of corn cob ash blended cement concrete. Construction and Building Materials, ๒๓ : ๓๑๕-๓๑๗.

[๑๐] K.O. Oriola, A.A. Raheem, and A.B. Ogundele, ๒๐๒๓. Investigation of compressive strength and thermal properties of corn cob ash cement concrete. Materials Today: Proceedings, ๕๖ : ๑๒๘-๑๓๓.

ผู้สนับสนุนการจัดงาน
(Sponsors)

ขอขอบคุณผู้ให้การสนับสนุน
การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ครั้งที่ 1



บริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด



บริษัท ดับบลิวเอ็ม ซีมูลเตเตอร์ จำกัด



บริษัท เอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด และ บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด



EGAT

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



บริษัท นรสิงห์ บรีวเวอรี่ จำกัด



บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน)



บริษัท วีรสยาม ฮาร์ดแวร์ จำกัด



สมาคมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย



กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม



บริษัท เอ็ม ดี โปรซัพพลายส์ จำกัด



บริษัท เอ็นเทค อินดัสเทรียล โซลูชั่น จำกัด



บริษัท เบย์ คอมพิวเตอร์ จำกัด(มหาชน)

บริษัท ดีเฟนเทค จำกัด
DEFENTEC LTD.

บริษัท ดีเฟนเทค จำกัด

PRIME
 solution and services co.,ltd.

บริษัท ไพร์มโซลูชั่น แอนด์ เซอร์วิส จำกัด

Accellum
 Accellum Technology Co.,Ltd.

บริษัท แอ็กเซลลัม เทคโนโลยี จำกัด

PASOYA CO., LTD.
 บริษัท พาโซย่า จำกัด

บริษัท พาโซย่า จำกัด



บริษัท ริงส์อานาไลติก จำกัด



บริษัท ทีดีดี เทรดดิ้ง จำกัด



บริษัท อภิสฤกษ์ จำกัด



ห้างหุ้นส่วนจำกัดทิพวัลย์ เซอร์วิส 99



บริษัท พิมพ์พิจิตร จำกัด
PHIMPIJIT COMPANY LIMITED

บริษัท พิมพ์พิจิตร จำกัด



บริษัท สยาม-อินเตอร์ ไซเอนซ์ แอนด์

เอ็นจิเนียริง จำกัด

STARCAST
CORPORATION

บริษัท สตาร์คาสท์คอร์ปอเรชั่น จำกัด



บริษัท เอสเอพีเอ็น จำกัด

ORGANIZED BY



NCDT 2024

THE 1st NATIONAL CONFERENCE ON DEFENSE TECHNOLOGY

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

487 อาคารวิศวกรรมสถานฯ (วสท.) ชั้น 3

ซอยรามคำแหง 39 (ซอยเทพสีลา) ถนนรามคำแหง

แขวงพลับพลา กรุงเทพฯ 10310

HOME PAGE : [HTTP://WWW.THAITCA.OR.TH](http://www.thaitca.or.th)