วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
EAU Heritage Journal
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology

ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม-เมษายน 2569 Vol. 20 No. 1 January-April 2026 ISSN 3027-7221 (Online)



วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
EAU Heritage Journal
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology

ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม-เมษายน 2569 Vol. 20 No. 1 January-April 2026 ISSN 3027-7221 (Online)

ความเป็นมา

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เริ่มจัดพิมพ์ในปี พ.ศ. 2550 มีกำหนดเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ จนถึงปี พ.ศ. 2559 ได้เพิ่มการเผยแพร่วารสารเป็นปีละ 3 ฉบับ และในปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (กันยายน–ธันวาคม 2560) เป็นต้นมา ได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิตวารสารจากตัวเล่มหนังสือเป็นการผลิตแบบ CD และเปลี่ยนการผลิตจาก CD เป็น Flash Drive ในปีที่ 12 ฉบับที่ 1 (มกราคม–เมษายน 2561) และตั้งแต่ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม–เมษายน 2565) เป็นต้นมา วารสารได้ยกเลิกการผลิต Flash Drive

ในปี พ.ศ. 2565 วารสารได้ปรับเปลี่ยนจำนวนผู้ทรงคุณวุฒิในการประเมินบทความจากการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวนไม่น้อยกว่า 2 ท่าน เป็นการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน โดยเริ่มใช้กับบทความปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม–เมษายน 2565) เป็นต้นมา

ในปี พ.ศ. 2567 วารสารได้ยกเลิกการใช้เลขมาตรฐานสากลทั้งฉบับพิมพ์ (ISSN 2286-6175 (Print)) และฉบับออนไลน์ (E-ISSN 2651-1738 (Online)) และได้ขอเลข E-ISSN (Online) ใหม่ คือ E-ISSN 3027-7221 (Online) เพื่อเปลี่ยนชื่อภาษาอังกฤษ (Key-title) ให้ตรงกับชื่อภาษาอังกฤษของวารสาร และเริ่มใช้เลข E-ISSN (Online) ใหม่ ตั้งแต่ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน 2567)

ปัจจุบัน วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้รับการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) โดยได้รับการจัดกลุ่มให้เป็นวารสาร กลุ่มที่ 1 **ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2568 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2572**

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ที่มีคุณภาพของคณาจารย์ บุคลากร นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

2. เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มพูนความรู้ทางวิชาการแก่สังคม โดยสนับสนุนให้คณาจารย์ บุคลากร นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย นำเสนอผลงานวิชาการในสาขาวิชา วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

ขอบเขตเนื้อหาการตีพิมพ์ เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ที่มีคุณภาพด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อม และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ประเภทบทความที่รับ วารสารรับตีพิมพ์เผยแพร่บทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใน 2 ประเภท ได้แก่
1. บทความวิจัย (Research Article)
2. บทความวิชาการ (Academic Article)

กำหนดการเผยแพร่ กำหนดออกเผยแพร่ราย 4 เดือน ปีละ 3 ฉบับ ดังนี้
ฉบับที่ 1: มกราคม-เมษายน (กำหนดออก เมษายน)
ฉบับที่ 2: พฤษภาคม-สิงหาคม (กำหนดออก สิงหาคม)
ฉบับที่ 3: กันยายน-ธันวาคม (กำหนดออก ธันวาคม)

การจัดพิมพ์ เผยแพร่ฉบับออนไลน์ ที่ https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci

นโยบายการประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ตั้งแต่ ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน 2565) บทความทุกบทความจะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ที่มีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่าน ในรูปแบบของการประเมินบทความที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนไม่ทราบชื่อและสังกัดของกันและกัน (Double-Blind Peer Review)

โดยบทความจากบุคลากรภายใน จะได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด ส่วนบทความจากบุคลากรภายนอก จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด หรือจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ลิขสิทธิ์ ข้อความภายในบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งหมด รวมถึงรูปภาพประกอบ ตาราง เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย การนำเนื้อหา ข้อความหรือข้อคิดเห็น รูปภาพ ตาราง ของบทความไปจัดพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบต่าง ๆ ต้องได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการวารสารอย่างเป็นลายลักษณ์อักษร

ข้อความที่ปรากฏในบทความในวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย และคณาจารย์ บุคลากร ท่านอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยแต่อย่างใด

แหล่งผลิต กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

ที่ปรึกษา	ดร.โชติรัส ชวนิชย์	อธิการบดีมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
บรรณาธิการ	ดร.กัญจน์ณิชา โภคอุดม	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
	ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
	ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
	ศาสตราจารย์ ดร.สุนิสา ชายเกลี้ยง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศาสตราจารย์ พันเอกหญิง ดร.สุวิมล เสนีย์วงศ์ ณ อยุธยา	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
	รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	รองศาสตราจารย์ ดร.วีรชาติ ตั้งจิรภัทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
	รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	รองศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทีบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	รองศาสตราจารย์ ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	รองศาสตราจารย์ ดร.เพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	รองศาสตราจารย์ ดร.ไกรศักดิ์ เกษร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ แก้วปาน	มหาวิทยาลัยมหิดล
	รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัญชิดาดุษฎี ทูลศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
	รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิสา ริมเจริญ	มหาวิทยาลัยบูรพา
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาดา สุขศิลา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภฉัตร ธารีลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภา โซ๊ะสลาม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ชัย พฤกษ์วิไลเลิศ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร เดชะศิลารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาลินี สุวรรณยศ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริกานต์ ชูเชิด	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
	นางสาวอุบลรัตน์ ชนะโรค	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.จรุงรัตน์ พันธุ์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
	นางสาวนริศรา ทุมมณี	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

จรรยาบรรณการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

บทบาทและหน้าที่ของผู้เขียน

1. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ใดมาก่อน

2. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่จัดส่งมานั้น ไม่อยู่ระหว่างการรอตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ

3. ผู้เขียนต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ

4. ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่น หากมีการนำผลงานเหล่านั้นมาใช้ในผลงานตัวเอง รวมทั้งจัดทำรายการอ้างอิงให้ครบถ้วน

5. ผู้เขียนต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ใน Template ของวารสาร

6. ผู้เขียนที่มีรายชื่อปรากฏในบทความทุกคนต้องเป็นผู้เขียนที่มีส่วนร่วมในงานเขียนจริง ในกรณีที่เป็นบทความวิจัย ผู้เขียนทุกคนต้องมีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจริง ทั้งนี้ ผู้เขียนที่ส่งบทความต้องตรวจสอบผู้เขียนให้ครบถ้วน ทางกองบรรณาธิการไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงชื่อภายหลังการส่งบทความ

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่ตนรับผิดชอบ

2. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนและผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลใด ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

3. บรรณาธิการต้องตัดสินใจคัดเลือกบทความมาตีพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการประเมินบทความแล้ว โดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหากับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ

4. บรรณาธิการต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่อื่นมาแล้ว

5. บรรณาธิการต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ เพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ โดยต้องหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยนั้น ๆ ก่อน

6. บรรณาธิการต้องไม่มีประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน ผู้ประเมินบทความ และทีมบริหาร

7. บรรณาธิการต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่เชื่อถือได้เพื่อให้แน่ใจว่าบทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารไม่มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น

8. หากตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่นในกระบวนการประเมินบทความ บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้เขียนหลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจงประกอบการ “ตอบรับ” หรือ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ

จรรยาบรรณการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ประเมินบทความต้องรักษาความลับและไม่เปิดเผยข้อมูลบางส่วนหรือทุกส่วนของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

2. หลังจากได้รับบทความจากกองบรรณาธิการวารสารฯ ผู้ประเมินบทความตระหนักว่าตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนเช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้เขียนเป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ

3. ผู้ประเมินบทความ ควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์และความเข้มข้นของผลงาน ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย

4. ผู้ประเมินต้องระบุผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้เขียนไม่ได้อ้างถึง เข้าไปในการประเมินบทความด้วย นอกจากนี้หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ประเมินต้องชี้แจงให้บรรณาธิการทราบด้วย

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์และสัตว์

บทความวิจัยที่ส่งเข้ามารับการตีพิมพ์ ถ้างานวิจัยเกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในมนุษย์ ผู้เขียนต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนจากสถาบันที่ผ่านการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานการวิจัยในคน สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ สำหรับการทดลองในสัตว์ต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ และอยู่ภายใต้หลักพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558

บทบรรณาธิการ

ท่ามกลางความผันผวนด้านพลังงานจากความขัดแย้งระหว่างประเทศ สะท้อนให้เห็นถึงความเปราะบางของระบบพลังงานโลก ที่ไม่เพียงส่งผลต่อภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง แต่ยังเชื่อมโยงไปถึงคุณภาพชีวิตของประชาชน และตอกย้ำถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการหาแนวทางแก้ไขที่ยั่งยืนมากขึ้น

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 นี้ ได้นำเสนอบทความที่สอดคล้องกับบริบทของโลกปัจจุบัน โดยเฉพาะด้านพลังงานทางเลือก ตัวอย่างเช่น บทความ “การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์” ที่สะท้อนถึงความสำคัญของพลังงานหมุนเวียนในฐานะทางเลือกที่ยั่งยืน ขณะที่บทความ “การกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีไอโอที” แสดงถึงการประยุกต์ใช้พลังงานสะอาดร่วมกับเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และบทความ “การศึกษาการใช้สารละลายลิเทียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ลดความชื้นในห้องปรับอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศ” ชี้ให้เห็นถึงแนวทางการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ด้านเทคโนโลยีดิจิทัล บทความ “วิวัฒนาการความชาญฉลาด จาก IoT สู่ AIoT” บทความ “ประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับท่าทางการต่อสู้” และบทความ “การสกัดข้อมูลจากภาพเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรู้จำอักขระด้วยแสง” ต่างสะท้อนบทบาทของเทคโนโลยีอัจฉริยะในการเพิ่มขีดความสามารถของระบบต่าง ๆ สำหรับด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น บทความ “ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพผู้สูงอายุ: ภัยคุกคาม ความเปราะบาง กลไกการรับมือและปรับตัวอย่างยั่งยืน” ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่ต้องอาศัยองค์ความรู้แบบบูรณาการในการแก้ไข

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า บทความในวารสารฉบับนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการสะท้อนมุมมองทางวิชาการที่หลากหลาย เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาองค์ความรู้และการนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเป็นรูปธรรม ขอขอบคุณผู้เขียนบทความ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ และผู้อ่านทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการขับเคลื่อนวารสารให้ก้าวสู่ปีที่ 20 อย่างมั่นคง และยังคงเป็นเวทีสำคัญของการเผยแพร่องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่อไป

ดร.กัญจน์ณิชา โภคอุดม

บรรณาธิการวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สารบัญ

Academic Articles

1 ■ การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
Analysis of Factors Affecting the Efficiency and Electrical Energy Generation of Solar Photovoltaic Power Systems
ศุภเสกข์ เกตุรักษา สุชัย พงษ์พากเพียร และปฏิภาณ เกิดลาภ

19 ■ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพผู้สูงอายุ: ภัยคุกคาม ความเปราะบาง กลไกการรับมือ และปรับตัวอย่างยั่งยืน
The Impacts of Climate Change on Elderly Health: Threats, Vulnerabilities and Sustainable Adaptation Strategies
นันทวุฒิ จำปางาม และชวิศา แก้วอนันต์

35 ■ การกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีไอโอที
Essential Oil Distillation System Using Solar Cells and Internet of Things Technology
พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ ประภาพร กุลลิ้มรัตนชัย และณัฐพงศ์ เมืองจันทร์

51 ■ วิวัฒนาการความชาญฉลาด จาก IoT สู่ AIoT
The Evolution of Intelligence from IoT to AIoT
ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ สุคนธ์ทิพย์ ทินาภรณ์ และสมเกียรติ วุฒิธรรมาภิวัฒน์

Research Articles

65 ■ การวิเคราะห์ผลของมุมปะทะกระแสอากาศต่อสมรรถนะของอินเตอร์คูลเลอร์แบบวี-เมาท์ โดยใช้แบบจำลองหลายสเกลร่วมกับสื่อพรุน
Effect of Airflow Impact Angle on the Flow and Heat Transfer Performance of a V-Mount Intercooler using Multi-Scale Coupling and Porous Media Modeling
รชต สุทธิประดิษฐ์ และสงกรานต์ วิริยะศาสตร์

สารบัญ

83 ■ ประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับท่าทางการต่อสู้
The Efficiency of AI Motion Capture for Fighting Poses
สุวิช ถิระโคตร วิศรุต ผลาปรีย์ ธนดล ลาสระคู นวพล ฝ่ายไชย ภูชิตากานต์ พิกุลทอง ภัทระ ประสุนิงค์ ทิวากร ทองดีเขียว และยศพันธ์ สมเดช

96 ■ การสกัดข้อมูลจากภาพเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรู้จำอักขระด้วยแสง
Information System Development through Image Data Extraction using Optical Character Recognition (OCR) Technology
มฆวา เจิมสุวรรณ สุภัคพงศ์ จินารัตน์ และนัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ

110 ■ การศึกษาการใช้สารละลายลิเทียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ลดความชื้นในห้องปรับอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศ
A Study on the use of Lithium Chloride solution and Calcium Chloride solution to Dehumidify in Air-Conditioned Rooms to Reduce Energy Consumption in Air Conditioners
พิษณุพงศ์ พันธ์นราพงศ์ และยิ่งยศ ลับภู

125 ■ การออกแบบและพัฒนาเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง
Design and Development of Echocardiogram Bed
ธนพล ศรเดช ทรงกลด ตันศิริ นิตยา ศิริวัน และกัลยา อุบลทิพย์

143 ■ An Integrated Machine Learning Model Based on a Star Architecture for Culinary Tourism Analysis and Recommendation in Phetchabun Province
โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องแบบบูรณาการบนโครงสร้างสตาร์สำหรับการวิเคราะห์และแนะนำการท่องเที่ยวเชิงอาหารในจังหวัดเพชรบูรณ์
Yupa Kumtapol Thinaphan Nithiyuwith and Tassanan Treenuntharath

161 ■ ผลของการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจในหอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่
The Effect of using a Weaning Assessment Guideline in the Intensive Care Unit at Sanpatong Hospital, Chiang Mai
เสาวนีย์ เรือนหลวง และอรรถวิทย์ จันทร์ศิริ

176 ■ การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ทางชีวภาพและความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย
Study of Physical Properties, Phytochemicals, Biological Activity and Satisfaction with Hanuman Prasan Kai (*Schefflera leucantha*) Instant Powder Product
ศิริพักตร์ จันทร์สังสา ปริพัช เงินงาม วนิษา ปันฟ้า สมฤทัย ยังวรรณ และธีรนันท์ ธนัญชัย

191 ■ การพัฒนาหลักสูตรสำหรับช่างอากาศยานเพื่อยกระดับมาตรฐานการซ่อมบำรุงในประเทศไทย
Development of a Curriculum for Aircraft Mechanics to Improve Maintenance Standards in Thailand
ปภาพร มนตรีเจริญ ญาณวุฒิ คัมภีรภาพ วรฑา กุลเกียรติประวัติ และณัฐกร ไตรรัตนวนานนท์

206 ■ การพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
Developing Chatbot System to Promote Bio-Tourism Crane Wetlands, Thai Species, Mueang District, Buriram Province
กมลรัตน์ สมใจ แสงดาว นพพิทักษ์ วรินทร์พิพัชร วัชรพงษ์เกษม และปุริม ชฎารัตนฐิติ

221 ■ การศึกษาอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อมจากการเชื่อมแก๊สทังสเตนด้วยอาร์กอนปกคลุมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ต่างกัน
Study of Depth to Width Ratio Weld from Argon Arc Tungsten Gas Welding using Different Activation Fluxes
วรินทร ห้วยเรไร ชัชวาล ศุภมงคล และโกวิทย์ กัลยาทอง

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Analysis of Factors Affecting the Efficiency and Electrical Energy Generation of Solar Photovoltaic Power Systems

ศุภเสกข์ เกตุรักษา[1]* สุชัย พงษ์พากเพียร[1] และปฏิภาณ เกิดลาภ[1]
Sooppasek Katruksa[1]*, Suchai Pongpakpian[1] and Patiphan Kerdlap[1]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Engineering, Eastern Asia University
*Corresponding author: sooppasek@eau.ac.th
Received: November 28, 2025
Revised: February 18, 2026
Accepted: February 25, 2026

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยครอบคลุมอิทธิพลของสเปกตรัมแสงอาทิตย์และมุมติดตั้ง อุณหภูมิการทำงานของโมดูล รูปแบบการติดตั้งของระบบ การจัดเรียงเชิงเรขาคณิตของแผง ลักษณะของพื้นที่ติดตั้ง และการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ด้วยระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของมุมติดตั้งส่งผลต่อสเปกตรัมแสงที่ตกกระทบบนโมดูลและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยการติดตั้งในมุมประมาณ 35 องศาให้พลังงานสูงกว่าการติดตั้งในแนวตั้งซึ่งให้ค่าพลังงานต่ำกว่าประมาณ 28% นอกจากนี้ การลดอุณหภูมิการทำงานของโมดูลมีผลโดยตรงต่อแรงดันไฟฟ้าและกำลังผลิต โดยการติดตั้งในชั้นน้ำตื้นประมาณ 1–5 เซนติเมตรสามารถลดอุณหภูมิลงได้ประมาณ 20–26 องศาเซลเซียส และเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 12.90% เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้ง พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดลอยน้ำมีอุณหภูมิการทำงานต่ำกว่าระบบชนิดติดตั้งบนพื้นดินสูงสุดประมาณ 4.23 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 10.44% และให้ผลผลิตพลังงานไฟฟ้า 1,812 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีค เมื่อเทียบกับ 1,722 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลวัตต์พีคของระบบชนิดติดตั้งบนพื้นดิน ในด้านการออกแบบระบบ พบว่า การจัดเรียงแผงในลักษณะที่สามารถรับรังสีจากหลายทิศทางและลักษณะของพื้นที่ติดตั้ง เช่น รูปทรงหลังคา มีผลต่อความสม่ำเสมอของกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ การควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริกช่วยรักษาประสิทธิภาพของเซลล์ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 18.16% ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ สเปกตรัมแสงอาทิตย์ อุณหภูมิการทำงานของโมดูลระบบผลิตไฟฟ้า ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดลอยน้ำ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์

Abstract

This article aims to analyze the factors affecting the efficiency and electrical energy production of photovoltaic power generation systems, covering the influences of solar spectrum and installation angle, module operating temperature, system installation configurations, geometric arrangement of photovoltaic panels, characteristics of installation areas, and the enhancement of perovskite solar cell performance using thermoelectric cooling systems. The results indicate that changes in installation angle affect the incident solar spectrum on the modules and the resulting power output, with an installation angle of approximately 35 degrees providing higher energy production than vertical installation, which yields about 28% lower energy output. In addition, reducing the operating temperature of the modules has a direct effect on the output voltage and power generation. Installation in shallow water layers of approximately 1–5 cm was found to reduce the operating temperature by about 20–26 °C and increase the output power by up to 12.90%. When comparing installation configurations, floating photovoltaic systems exhibit lower module operating temperatures than ground-mounted photovoltaic systems by up to 4.23 °C, resulting in a 10.44% increase in power output and an energy yield of 1,812 kWh/kWp, compared with 1,722 kWh/kWp for ground-mounted systems. From a system design perspective, the geometric arrangement of photovoltaic panels that enables multi-directional solar irradiance reception, as well as installation area characteristics such as roof geometry, affects the uniformity of power output and space utilization efficiency. For perovskite solar cells, temperature control using thermoelectric cooling systems helps maintain cell performance, with a maximum efficiency of approximately 18.16% at an operating temperature of 27 °C, followed by a significant efficiency reduction at higher temperatures.

Keywords: solar energy, solar spectral distribution, photovoltaic module operating temperature, floating photovoltaic system, perovskite solar cells

บทนำ

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในฐานะแหล่งพลังงานสะอาดที่สามารถลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคสนามมักแตกต่างจากค่าประสิทธิภาพภายใต้สภาวะทดสอบมาตรฐาน (Standard Test Conditions: STC) อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากได้รับอิทธิพลร่วมกันจากหลายปัจจัย ทั้งคุณลักษณะของสเปกตรัมแสงอาทิตย์และมุมตกกระทบ สภาพอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิแผง ลักษณะเชิงพื้นที่และภูมิอากาศ รูปแบบและทิศทางการติดตั้ง เทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดจนบริบททางเศรษฐศาสตร์และนโยบายพลังงานในแต่ละพื้นที่ (Ahmad et al., 2025; Katruksa & Kerdlap, 2025; Nabil et al., 2024; Opie et al., 2025)

ในด้านสเปกตรัมแสงอาทิตย์และมุมติดตั้ง งานวิจัยพบว่า การติดตั้งแผงในแนวดิ่งทำให้สเปกตรัมแสงเลื่อนไปยังช่วงคลื่นยาว และได้รับพลังงานรวมต่ำกว่ามุมที่เหมาะสมประมาณ 28% ซึ่งส่งผลต่อกระแสลัดวงจรและประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน (Farias-Basulto et al., 2023b) ในด้านอุณหภูมิการติดตั้งแผงในชั้นน้ำตื้นประมาณ 1–5 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิการทำงานได้ประมาณ 20–26 องศาเซลเซียส และเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 12.90% (Wang et al.,

2026) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดลอยน้ำ (FPV) ยังแสดงอุณหภูมิการทำงานต่ำกว่าระบบติดตั้งบนพื้นดิน (GPV) สูงสุดประมาณ 4.23 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลผลิตพลังงานสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (Kumar et al., 2025) สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 18.16% ที่ 27 องศาเซลเซียส และลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การใช้ระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริกจึงมีบทบาทในการรักษาเสถียรภาพของเซลล์ (Kaltzoglou et al., 2025) ในด้านการออกแบบระบบ โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบสามมิติสามารถรับรังสีจากหลายทิศทางและให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าแผงระนาบในทุกสภาพท้องฟ้า (Bender Andrade et al., 2025) ขณะที่รูปทรงหลังคายังส่งผลต่อทั้งพลังงานรวมและประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ของระบบ (Dong & Zhong, 2025; Mohammadzadeh Bina et al., 2025) นอกจากนี้ ทิศทางการติดตั้งและช่วงเวลาการผลิตพลังงานยังมีความสำคัญต่อมูลค่าเชิงเศรษฐกิจในบริบทของ (Das et al., 2023; Eeles et al., 2025; Ganesan et al., 2024; Khorat et al., 2025; Rossi et al., 2024)

เมื่อพิจารณาในระดับภาพรวม ปัจจัยทั้งหมดทั้งด้านสเปกตรัมแสง อุณหภูมิ รูปแบบการติดตั้ง ลักษณะเชิงพื้นที่ เทคโนโลยีของเซลล์ รวมถึงการจัดเรียงเชิงเรขาคณิตของแผงและลักษณะทางสถาปัตยกรรมของพื้นที่ติดตั้ง ล้วนมีความเชื่อมโยงซับซ้อนกันและมีส่วนกำหนดสมรรถนะจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในภาคสนาม ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการออกแบบ วิเคราะห์และวางแผนระบบโซลาร์เซลล์บนพื้นฐานของข้อมูลจริงและบริบทเชิงพื้นที่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและยกระดับความคุ้มค่าในการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะยาว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาเชิงลึกใน 6 ประเด็นหลัก ได้แก่ (1) อิทธิพลของสเปกตรัมแสงอาทิตย์และมุมติดตั้งต่อสมรรถนะของระบบ (2) อิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของแผง (3) ความแตกต่างด้านสมรรถนะระหว่างระบบติดตั้งแบบลอยน้ำและแบบภาคพื้นดิน (4) การเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ด้วยระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (Peltier Cooling) (5) อิทธิพลของการจัดเรียงเชิงเรขาคณิตและการออกแบบระบบต่อความต่อเนื่องและเสถียรภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้า และ (6) อิทธิพลของรูปทรงหลังคาที่แตกต่างกันต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยและประสิทธิภาพการใช้พื้นที่

บทความนี้เป็นการทบทวนวรรณกรรมและการวิเคราะห์เชิงสังเคราะห์จากงานวิจัยที่มีอยู่ เพื่อทำความเข้าใจปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้สภาพการใช้งานจริง โดยมีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1) เพื่อทบทวนปัจจัยทางกายภาพและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น สเปกตรัมแสงอาทิตย์ อุณหภูมิการทำงานและรูปแบบการติดตั้ง

2) เพื่อสังเคราะห์ผลการศึกษาจากงานวิจัยก่อนหน้าเกี่ยวกับความแตกต่างของสมรรถนะในเงื่อนไขการติดตั้งและเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

3) เพื่อสรุปแนวทางเชิงการออกแบบและการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในระยะยาว

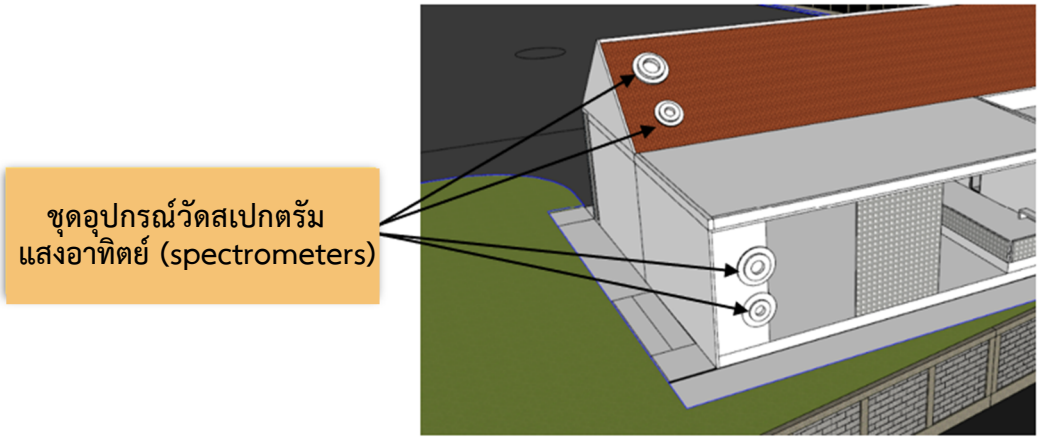
การศึกษานี้จึงไม่ได้มุ่งนำเสนอผลการทดลองใหม่ แต่เป็นการวิเคราะห์องค์ความรู้จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อสรุปภาพรวมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในบริบทการใช้งานจริง

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

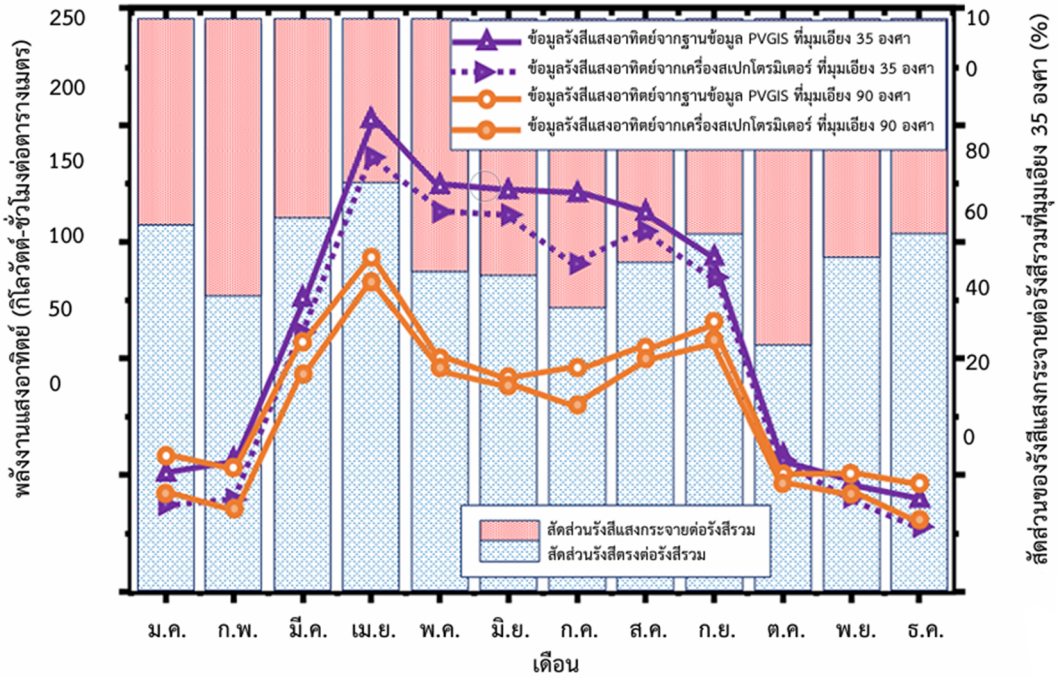
1. อิทธิพลของสเปกตรัมแสงอาทิตย์และมุมติดตั้งต่อสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Farias-Basulto et al. (2023a) ในการใช้งานจริง แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มักมีลักษณะสเปกตรัมที่แตกต่างจากสภาวะทดสอบมาตรฐาน โดยความแตกต่างดังกล่าวขึ้นอยู่กับตำแหน่งดวงอาทิตย์ สภาพแวดล้อม ตำแหน่งที่ตั้ง และมุมติดตั้งของแผง ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้ ดังนั้นงานวิจัยจึงให้ความสำคัญกับการศึกษาผลของสเปกตรัมแสงและมุมติดตั้งต่อสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ดังภาพ 1 แสดงชุดสเปกโตรมิเตอร์ที่ติดตั้ง ณ ศูนย์วิจัย PVcomB-HZB ในสองมุม ได้แก่ 35° (แทนการติดตั้งบนหลังคาทั่วไป) และ 90° (แทนการติดตั้งแบบ BIPV บนผนังอาคาร) เพื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีและผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแผงในแต่ละมุมติดตั้ง



ภาพ 1 จำลองสถานีทดสอบสเปกตรัมรังสีแสงอาทิตย์กลางแจ้งของ PVcomB-HZB ที่ติดตั้งสเปกโตรมิเตอร์สองคู่สำหรับมุมเหมาะสมและมุมตั้งฉาก โดยหันไปทางทิศใต้



ภาพ 2 พลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนที่ได้จากการบูรณาการสเปกตรัมที่วัดจริงและจาก PVGIS โดยใช้ฐานข้อมูล SARAH2 *Note*. Adapted from “Measurement and analysis of annual solar spectra at different installation angles in central Europe,” by G. A. Farias-Basulto, M. A. Sevillano-Bendezú, M. Riedel, M. Khenkin, J. A. Tofflinger, R. Schlatmann, R. Klenk, and C. Ulbrich, 2023b, *Solar Energy, 266*, 112175. Copyright 2023 by Elsevier.

จากภาพ 2 เปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนจากสเปกตรัมที่วัดจริงกับค่าจาก PVGIS ซึ่งเป็นฐานข้อมูล SARAH2 แสดงสัดส่วนรังสีตรงและรังสีกระจายสำหรับมุม 35° และ 90°

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า มุม 35° ซึ่งใกล้เคียงกับมุมที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์จะรับรังสีรวมได้มากกว่า เนื่องจากสามารถรับรังสีตรงได้มีประสิทธิภาพสูงกว่า ขณะที่มุม 90° หรือแนวตั้งจะพึ่งพา

รังสีกระจายเป็นหลัก ส่งผลให้ได้รับพลังงานรวมน้อยกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 28% เมื่อเทียบกับมุม 35° และมีแนวโน้มได้รับสเปกตรัมแสงที่แดงมากกว่า โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวหรือวันที่มีเมฆมาก ทั้งนี้รังสีในช่วงแสงสีแดงมีพลังงานโฟตอนต่ำกว่ารังสีในช่วงแสงสีม่วงหรือสีน้ำเงิน จึงทำให้คุณภาพของพลังงานแสงที่ตกกระทบลดลงเมื่อเทียบกับสภาวะที่มีแสงสีม่วง–สีน้ำเงินมากกว่า ซึ่งมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพอากาศและมุมติดตั้งที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

ดังตาราง 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมติดตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่าแบนด์แกปของวัสดุต่อค่ากระแสลัดวงจรและผลกระทบเชิงสเปกตรัมของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ โดยพบว่ามุมติดตั้งที่เหมาะสมประมาณ 35 องศาช่วยให้แผงรับรังสีตรงได้มากกว่า ส่งผลให้ค่ากระแสลัดวงจรมีค่าสูงและมีความเสถียรตลอดทั้งปี ในขณะที่การติดตั้งแบบแนวตั้งต้องพึ่งพารังสีกระจายเป็นหลัก และมีแนวโน้มรับสเปกตรัมที่เลื่อนไปทางช่วงคลื่นยาว โดยเฉพาะในฤดูหนาว ซึ่งส่งผลให้ค่ากระแสลัดวงจรลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ในด้านคุณสมบัติวัสดุ เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีค่าแบนด์แกปต่ำมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมน้อยกว่า ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงไม่มากตามฤดูกาล ในขณะที่วัสดุที่มีค่าแบนด์แกปสูงแสดงความไวต่อสเปกตรัมมากกว่า โดยสามารถเกิดการได้ประโยชน์เชิงสเปกตรัมเมื่อจัดวางในมุมที่เหมาะสมในฤดูร้อน แต่จะเกิดการสูญเสียอย่างชัดเจนเมื่อทำการติดตั้งในแนวตั้งโดยเฉพาะในฤดูหนาว ผลการสรุปดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การเลือกมุมติดตั้งและคุณสมบัติวัสดุที่เหมาะสมมีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะการผลิตพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพการใช้งานจริง

โดยสรุป ผลการศึกษายืนยันว่า การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ควรพิจารณาทั้งมุมติดตั้งและลักษณะสเปกตรัมในพื้นที่ร่วมกับการเลือกวัสดุของแผงให้เหมาะสมกับสภาวะจริง เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุดภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

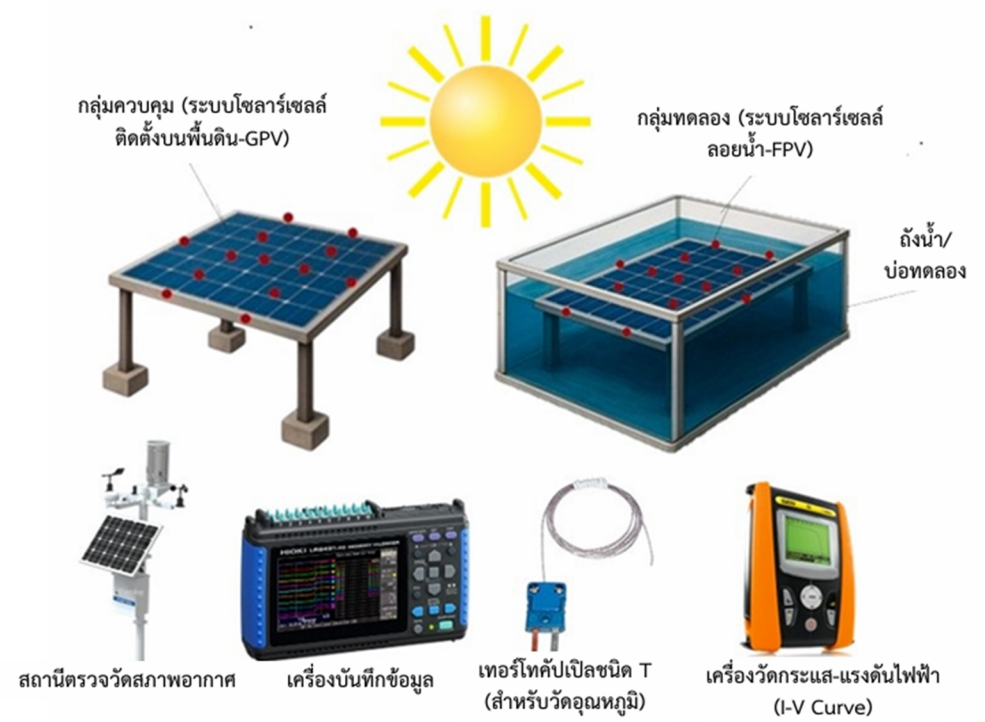
2. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Wang et al. (2026) ได้ศึกษาผลของสภาพแวดล้อมใต้น้ำต่อสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยวในน้ำที่ความลึก 4 ระดับ ได้แก่ 2.5 5 7.5 และ 10 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับแผงที่ติดตั้งในสภาพอากาศปกติเป็นกลุ่มควบคุม โดยวัดค่าทางไฟฟ้าและความร้อนแบบรายชั่วโมง และสร้างแบบจำลองเชิงทฤษฎีเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลอง ดังแสดงในภาพ 3

ตาราง 1

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมติดตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่าแบนด์แกปของวัสดุต่อค่ากระแสลัดวงจรและผลกระทบเชิงสเปกตรัมของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ

ปัจจัย	เงื่อนไข	ผลต่อ Jsc	ผลเชิงสเปกตรัม	แนวโน้มตามฤดูกาล
มุมติดตั้ง	~35°	สูงกว่า	รับรังสีตรงมากกว่า	เสถียรตลอดปี
มุมติดตั้ง	90° (แนวตั้ง)	ต่ำกว่า	สเปกตรัมเลื่อนไปทางแดง	สูญเสียเด่นในฤดูหนาว
แบนด์แกปต่ำ	~1.0 eV	สูงกว่า	ไวต่อสเปกตรัมน้อย	เปลี่ยนแปลงน้อย
แบนด์แกปสูง	~1.7 eV	ต่ำกว่า	ไวต่อสเปกตรัมมาก	ได้ประโยชน์ในฤดูร้อน
1.7 eV + 35°	เหมาะสม	สูงขึ้น	การได้ประโยชน์เชิงสเปกตรัมสูง	ชัดในฤดูร้อน
1.7 eV + 90°	ไม่เหมาะ	ลดลง	การสูญเสียเชิงสเปกตรัมชัดเจน	สูญเสียฤดูหนาว



ภาพ 3 การจัดชุดทดลองและชุดควบคุมสำหรับแบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำ

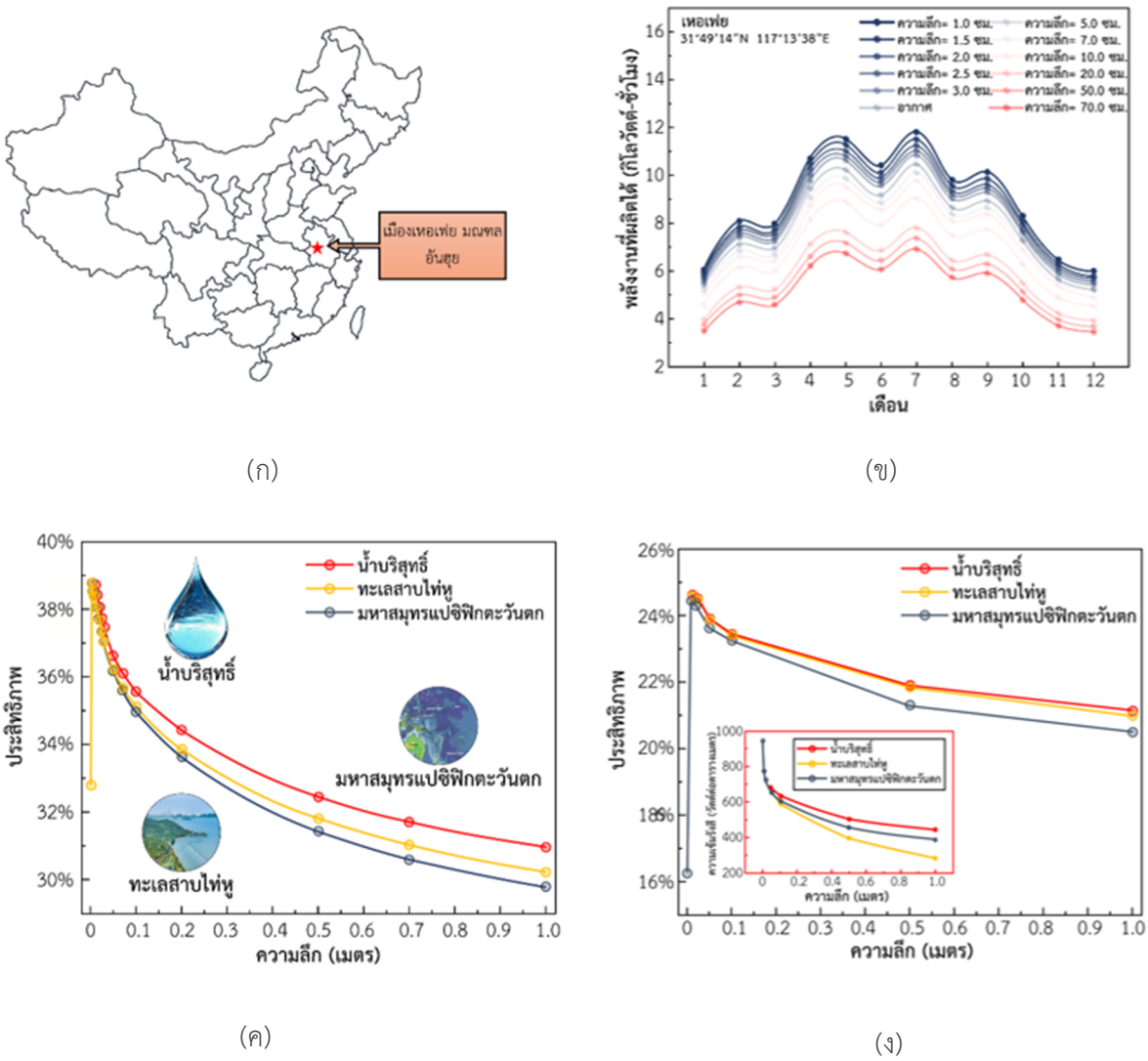
Note. Adapted from "Critical depth optimization for underwater solar cells to reduce irradiation and thermal losses," by J. Wang, P. Liu, Y. Lu, L. Wang, Y. Li, R. Rafee, S. Rashidi, and G. Li, 2026, *Solar Energy, 303*, 114096. Copyright 2025 by Elsevier.

ดังภาพ 4ข พบว่า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีแนวโน้มสอดคล้องกับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาล โดยที่ความลึก 3–5 เซนติเมตร ให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าการติดตั้งในอากาศเล็กน้อย และที่ความลึก 1–3 เซนติเมตร สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 12.90% เมื่อเทียบกับในอากาศ อย่างไรก็ตาม เมื่อความลึกมากกว่า 10 เซนติเมตร กำลังไฟฟ้าลดลงอย่างชัดเจน โดยที่ความลึก 1 เมตร ให้กำลังไฟฟ้าเพียง 62.21 kWh ซึ่งลดลงมากกว่า 50% อันเป็นผลจากการดูดกลืนและการกระเจิงแสงในน้ำลึก ในด้านประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน ภาพ 4ค–4ง พบว่า น้ำบริสุทธิ์ให้ค่า Maximum PCE สูงที่สุดในทุกระดับความลึก เนื่องจากคุณสมบัติทางแสงที่ดีกว่าและความลึกที่เพิ่มขึ้นทำให้พลังงานแสงที่ถึงผิวแผงกระจุกตัวในช่วงสีน้ำเงิน–เขียว (blue–green) ส่งผลให้ PCE เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาชี้ว่าความลึกในการติดตั้ง 1–5 เซนติเมตร คือ ช่วงที่ให้สมดุลที่เหมาะสมที่สุดระหว่างการลดความร้อนและการลดทอนแสง

3. อิทธิพลของการติดตั้งแบบลอยน้ำ (Floating Photovoltaic: FPV) และแบบภาคพื้นดิน (Ground-Mounted Photovoltaic: GPV) ต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Kumar et al. (2025) ได้ออกแบบการทดลองโดยติดตั้งระบบต้นแบบ FPV และ GPV เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะทางไฟฟ้าและความร้อนภายใต้มุมเอียงที่แตกต่างกัน โดยวัดแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิแผง และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพ 5

ดังภาพ 6 พบว่า มุมเอียง 25° ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในฤดูร้อน เพิ่มขึ้น 10.44% เทียบกับระบบ GPV ขณะที่มุม 30° เหมาะสมกว่าในฤดูหนาว จึงใช้มุม 25° เป็นมุมอ้างอิงสำหรับการจำลองระบบขนาดใหญ่



(ก) (ข)

(ค) (ง)

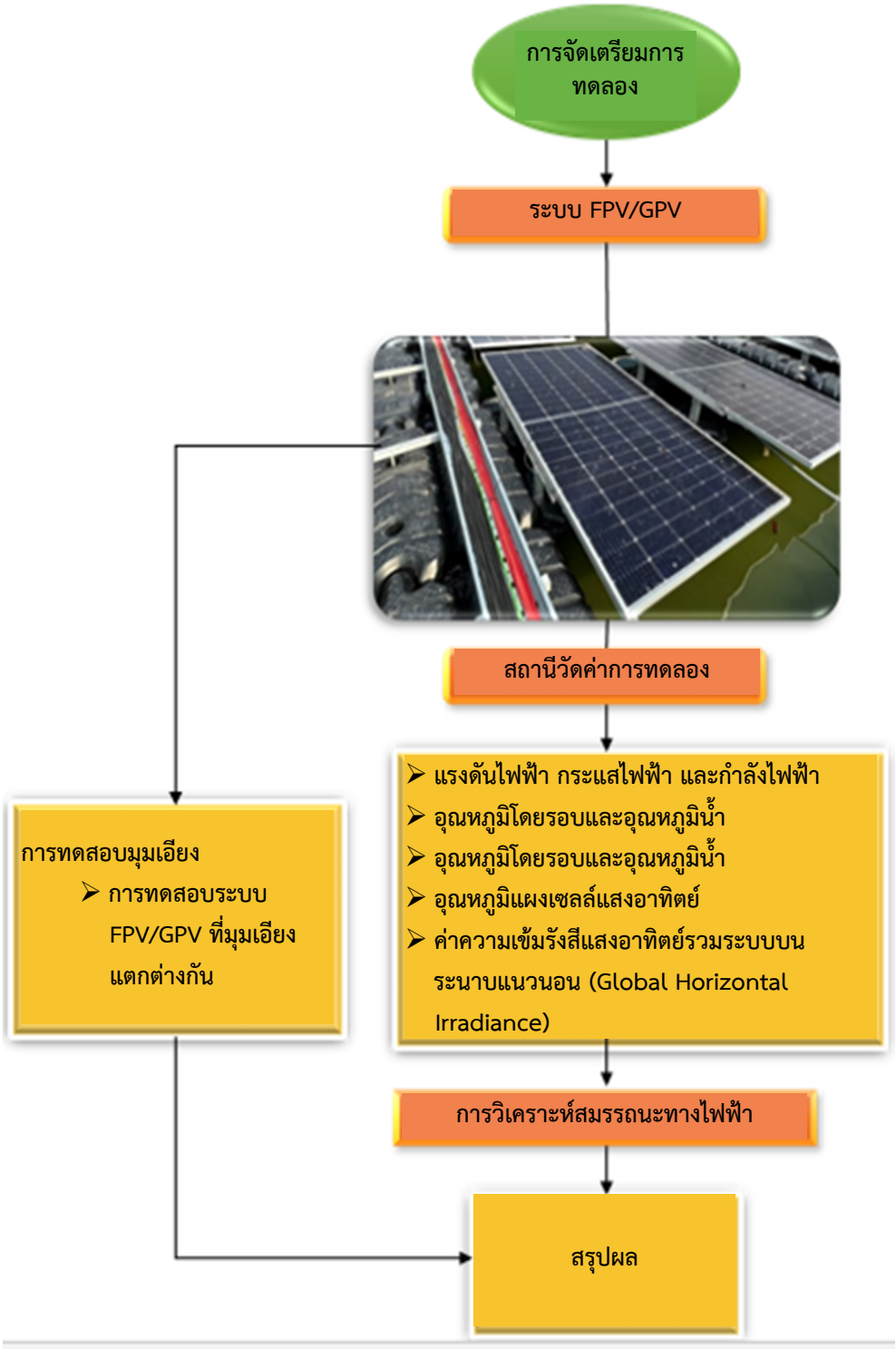
ภาพ 4 การวิเคราะห์สมรรถนะทางไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำ (UWSC)

(ก) แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาในเมืองเหอเฟย มณฑลอานฮุย

(ข) ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีที่ความลึกของน้ำต่าง ๆ ในพื้นที่เหอเฟย

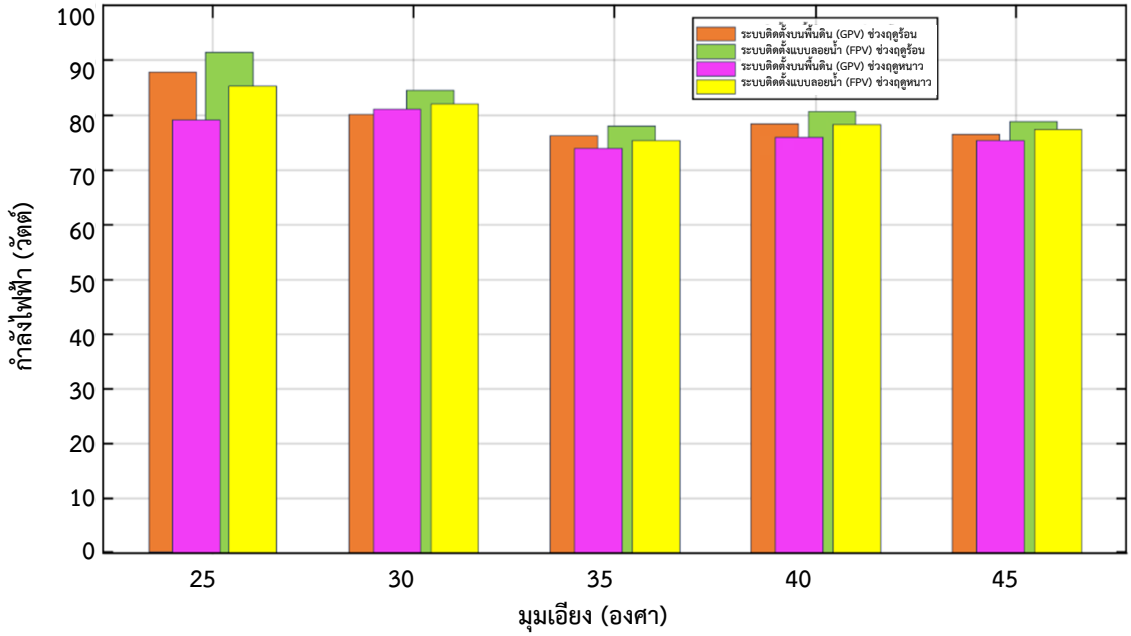
(ค) และ (ง) แสดงค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงสุด (Maximum PCE) ซึ่งได้จากการคำนวณตามทฤษฎีดุลพลังงาน (detailed balance theory) และแบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำตามลำดับ

Note. Adapted from “Critical depth optimization for underwater solar cells to reduce irradiation and thermal losses,” by J. Wang, P. Liu, Y. Lu, L. Wang, Y. Li, R. Rafee, S. Rashidi, and G. Li, 2026, *Solar Energy, 303*, 114096. Copyright 2025 by Elsevier.



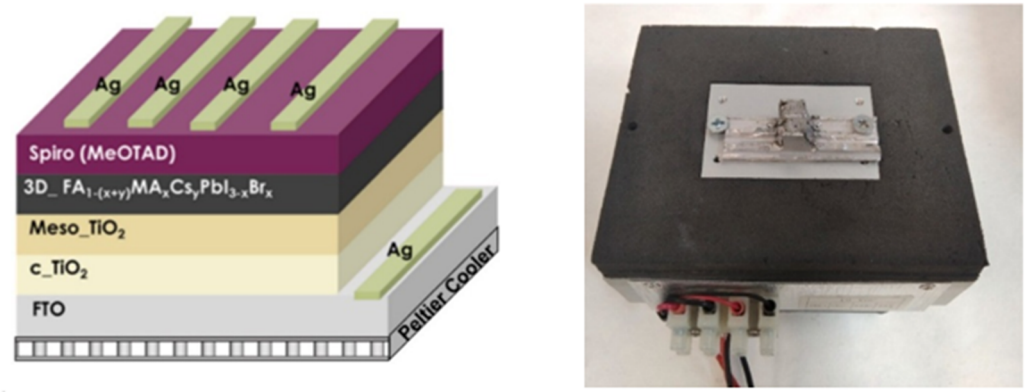
ภาพ 5 แผนผังแสดงโครงสร้างและกระบวนการทดลองของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ (FPV) และแบบติดตั้งบนพื้น (GPV)

Note. Adapted from "Performance analysis of floating and ground-mounted photovoltaic systems: An experimental study," by N. Kumar, R. K. Pachauri, P. Kuchhal, K. Akter, M. A. Alotaibi, and H. Malik, 2025, *Solar Energy, 302*, 113989. Copyright 2025 by Elsevier.



ภาพ 6 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ารวมของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ (FPV) และแบบติดตั้งบนพื้นดิน (GPV) ในฤดูร้อนและฤดูหนาวภายใต้มุมเอียงที่แตกต่างกัน

Note. Adapted from "Performance analysis of floating and ground-mounted photovoltaic systems: An experimental study," by N. Kumar, R. K. Pachauri, P. Kuchhal, K. Akter, M. A. Alotaibi, and H. Malik, 2025, *Solar Energy, 302*, 113989. Copyright 2025 by Elsevier.



(ก) (ข)

ภาพ 7 (ก) โครงสร้างชั้นต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอรอฟสไกต์ (PSC) และแผ่นทำความเย็นแบบเพลเทียร์ (Peltier cooler) ที่ติดตั้งอยู่ด้านล่าง

(ข) ภาพถ่ายของแผ่นทำความเย็นแบบเพลเทียร์ที่มีการปรับปรุงพื้นผิว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์

Note. Adapted from "Assessing the performance of perovskite solar cells under Peltier cooling," by A. Kaltzoglou, E. Christopoulos, D. N. Kossyvakis, N. S. Tagiara, P. Falaras, N. K. Nasikas, E. V. Hristoforou, and M. M. Elsenety, 2025, *Microelectronic Engineering, 299*, 112364. Copyright 2025 by Elsevier.

4. การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เพอรอฟสไกต์ด้วยระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (Peltier Cooling)

Kaltzoglou et al. (2025) ใช้ชุดเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งใต้เซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอรอฟสไกต์ พร้อมแผ่นอะลูมิเนียมนำความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิการทำงานของเซลล์ ดังแสดงในภาพ 7 เมื่อติดตั้ง PSC บนแผ่นเพลเทียร์ อุณหภูมิพื้นผิวเซลล์อยู่ที่ประมาณ 3 °C ซึ่งสูงกว่ากรณีไม่มีภาระ –15 °C เนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

ดังตาราง 2 พบว่า PCE ของ PSCs มีค่าสูงสุด 18.16% ที่ 27 °C และลดลงอย่างชัดเจนที่ 45 °C (15.79%) ค่า Voc และ Vmpp ลดลงต่อเนื่องตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการรวมตัวกลับของพาหะประจุ ในขณะที่ Jsc มีค่าสูงสุดที่ 36 °C ก่อนลดลงเล็กน้อย ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ใกล้ 27 °C มีความสำคัญต่อทั้งประสิทธิภาพและเสถียรภาพของ PSCs ในการใช้งานจริง

5. อิทธิพลของการจัดเรียงเชิงเรขาคณิตและการออกแบบระบบต่อสมรรถนะการผลิตพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

Bender Andrade et al. (2025) จากตาราง 3 พบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบพีระมิดหกเหลี่ยมสามมิติให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าแผงระนาบในทุกสภาวะท้องฟ้าอย่างสม่ำเสมอ ทั้งในภาพรวมและเมื่อพิจารณาแยกตามสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส มีเมฆบางส่วน และมีเมฆมาก โดยค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมของระบบสามมิติอยู่ที่ 15.49 mW สูงกว่าแผงระนาบซึ่งมีค่าเฉลี่ย 10.26 mW ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสและมีเมฆบางส่วน ระบบสามมิติยังคงรักษาระดับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ใกล้เคียงกัน ขณะที่แผงระนาบแสดงแนวโน้มการลดลงของกำลังไฟฟ้าอย่างชัดเจน โดยกราฟรายชั่วโมงแสดงให้เห็นว่าความได้เปรียบของระบบสามมิติโดดเด่นเป็นพิเศษในช่วงเช้าและช่วงบ่ายซึ่งมุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงมาก

ในสภาวะท้องฟ้ามีเมฆมาก ความแตกต่างระหว่างทั้งสองระบบมีความชัดเจนที่สุด โดยระบบพีระมิดหกเหลี่ยมให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 12.11 mW ขณะที่แผงระนาบให้เพียง 5.13 mW ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มจากกราฟที่แสดงให้เห็นว่าระบบสามมิติสามารถรักษาการผลิตพลังงานได้ตลอดช่วงเวลากลางวันแม้รังสีแสงอาทิตย์จะมีความผันผวนสูง นอกจากนี้ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ปรากฏสะท้อนถึงความแปรปรวนของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของรังสีแสงอาทิตย์ โดยพบว่าความแปรปรวนดังกล่าวส่งผลกระทบต่อแผงระนาบมากกว่าระบบสามมิติ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเสถียรของการผลิตพลังงานของโครงสร้างแบบพีระมิดหกเหลี่ยมในสภาพแวดล้อมจริงที่มีความแปรปรวนของสภาพอากาศสูง

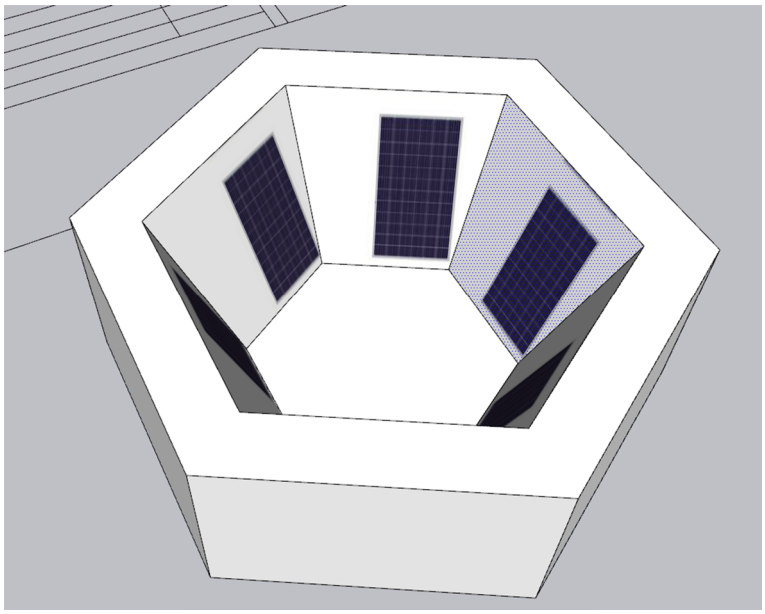
ดังภาพ 8 แสดงโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบสามมิติรูปทรงพีระมิดหกเหลี่ยม ซึ่งประกอบด้วยการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์บนผิวด้านข้างหลายทิศทางเพื่อเพิ่มการรับรังสีแสงอาทิตย์จากทั้งแสงตรงและแสงกระจาย รวมถึงการใช้พื้นผิวสะท้อนภายในโครงสร้างเพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์จากโฟตอน ส่งผลให้การผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมตลอดวันสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผงแบบระนาบ

ตาราง 2

ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอรอฟสไกต์ (PSCs) ภายใต้อุณหภูมิการทำงานที่แตกต่างกัน

T (°C)	Jsc (mA/ cm²)	Voc (V)	FF	PCE (%)	Jmpp (mA/ cm²)	Vmpp (V)
45	22.958	0.967	0.711	15.786	20.893	0.756
36	24.356	1.011	0.717	17.656	22.07	0.8
27	23.325	1.067	0.73	18.161	21.227	0.856
18	20.371	1.078	0.732	16.065	18.536	0.867

Note. Adapted from “Assessing the performance of perovskite solar cells under Peltier cooling,” by A. Kaltzoglou, E. Christopoulos, D. N. Kossyvakis, N. S. Tagiara, P. Falaras, N. K. Nasikas, E. V. Hristoforou, and M. M. Elsenety, 2025, *Microelectronic Engineering, 299*, 112364. Copyright 2025 by Elsevier.



ภาพ 8 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบสามมิติรูปทรงพีระมิดหกเหลี่ยม พร้อมการจัดวางแผงโซลาร์เซลล์

ตาราง 3

สรุปการเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบพีระมิดหกเหลี่ยมสามมิติและแผงระนาบภายใต้สภาวะท้องฟ้าต่าง ๆ

สภาวะท้องฟ้า	ระบบพีระมิดหกเหลี่ยมสามมิติ	แผงระนาบ	สรุปเชิงเปรียบเทียบจากตารางและกราฟ
ภาพรวมทุกสภาวะ	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 15.49 mW (SD = 18.40)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 10.26 mW (SD = 13.51)	ระบบสามมิติให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าอย่างชัดเจนตลอดวัน โดยกราฟแสดงการผลิตที่สูงและต่อเนื่องกว่า
ท้องฟ้าแจ่มใส (sunny)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 16.94 mW (SD = 19.38)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 12.52 mW (SD = 16.29)	ความแตกต่างเด่นในช่วงเช้า-บ่าย กราฟแสดง peak ที่สูงกว่าและช่วงการผลิตที่ยาวกว่า
มีเมฆบางส่วน (partially cloudy)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 16.44 mW (SD = 19.66)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 11.69 mW (SD = 15.68)	ระบบสามมิติยังคงรักษาระดับกำลังไฟฟ้าได้ดีกว่า สะท้อนความสามารถในการรับแสงกระจาย
มีเมฆมาก (cloudy)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 12.11 mW (SD = 14.97)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 5.13 mW (SD = 6.52)	ความได้เปรียบชัดเจนที่สุด ระบบสามมิติ ผลิตพลังงานได้มากกว่าหลายเท่าตลอดช่วงเวลากลางวัน

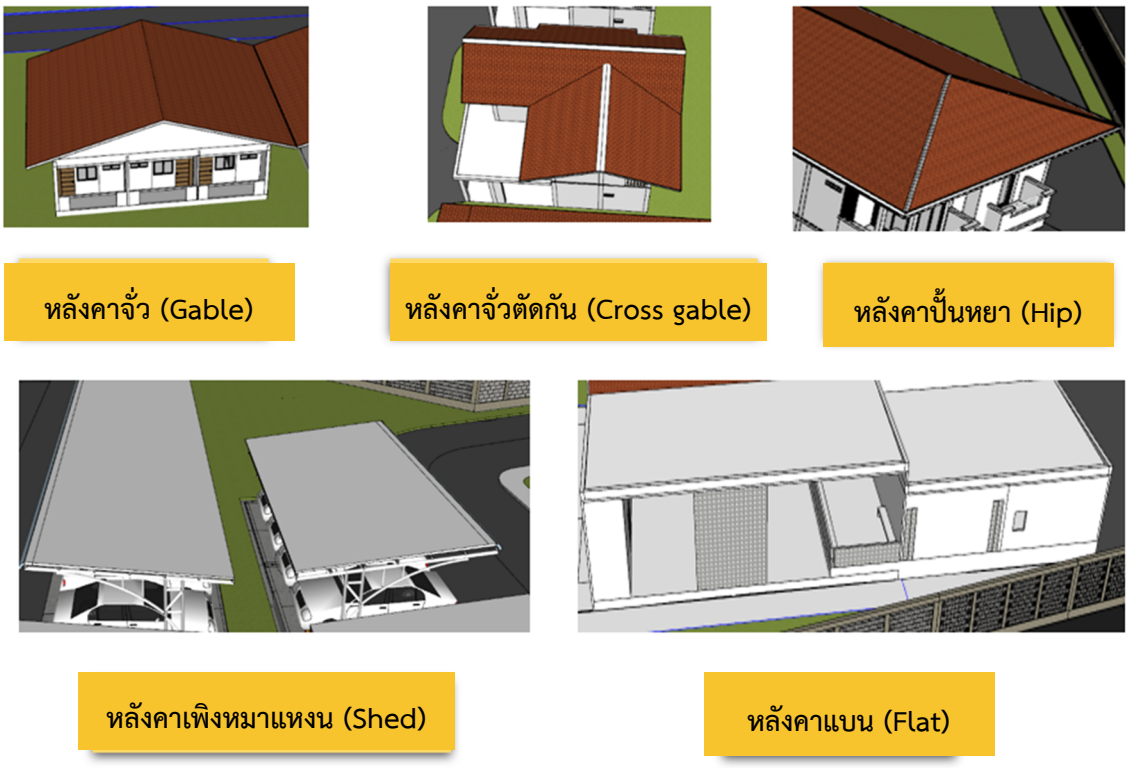
6. อิทธิพลของรูปทรงหลังคาที่แตกต่างกันต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยและความเสถียรของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

Mohammadzadeh Bina et al. (2025) การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร โดยพิจารณาอิทธิพลของรูปทรงและทิศทางของหลังคาเป็นหลัก ข้อมูลเชิงพื้นที่ของอาคารตัวอย่างถูกจัดเก็บด้วยการใช้ระบบอากาศยานไร้คนขับ เพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง ร่วมกับการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน

จากระบบกำหนดตำแหน่งแบบจลน์เวลาจริง เพื่อเพิ่มความถูกต้องเชิงตำแหน่ง จากนั้นนำข้อมูล DSM มาวิเคราะห์ร่วมกับขอบเขตอาคารในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อจำแนกรูปทรงหลังคาออกเป็นประเภทต่าง ๆ และใช้ในการจำลองการรับรังสีแสงอาทิตย์บนพื้นผิวหลังคาโดยคำนึงถึงความลาดเอียง ทิศทาง และการบังเงาจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำไปใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ โดยกำหนดค่าทางเทคนิคของแผงและประสิทธิภาพระบบให้เหมือนกันทุกกรณี เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบอิทธิพลของรูปทรงหลังคาในเชิงเรขาคณิตได้อย่างเป็นธรรม

ดังตาราง 4 พบว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมและการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความแตกต่างกันตามรูปทรงหลังคาอย่างชัดเจน โดยหลังคาแบนให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุดที่ 0.14 MWh/m² สะท้อนถึงประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับรูปทรงหลังคาอื่น ขณะที่รูปทรงหลังคาผสม เช่น หลังคาจั่ว–ปั้นหยา หลังคาปั้นหยา และหลังคาเพิงหมาแหงน ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่อยู่ในช่วง 0.13 MWh/m² ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยรวมของทุกประเภทหลังคา

ในทางกลับกัน รูปทรงหลังคาแบบซ้อนและแบบตัดกันบางประเภท เช่น หลังคาจั่วซ้อนและหลังคาปั้นหยาตัดกันซ้อน แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 0.09 MWh/m² แม้ว่าบางรูปทรงจะให้ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมค่อนข้างสูงก็ตาม ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมเพียงอย่างเดียวอาจไม่สะท้อนศักยภาพเชิงพื้นที่ของรูปทรงหลังคาได้อย่างครบถ้วน และการพิจารณาพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่เป็นตัวชี้วัดร่วมมีความสำคัญในการเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตพลังงานของรูปทรงหลังคาประเภทต่าง ๆ



ภาพ 9 ประเภทของรูปทรงหลังคาที่ใช้ในการจำแนกและวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ตาราง 4

การผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมและการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้รูปทรงหลังคาที่แตกต่างกัน

ประเภทรูปทรงหลังคา	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รวม (เมกะวัตต์-ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ (เมกะวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร)
หลังคาจั่วตัดกัน	18.61	0.11
หลังคาปั้นหยาตัดกัน	15.90	0.11
หลังคาปั้นหยาตัดกันซ้อน	13.86	0.09
หลังคาจั่วซ้อน	12.90	0.09
หลังคาปั้นหยาซ้อน	14.18	0.11
หลังคาแบน	18.19	0.14
หลังคาจั่ว	10.98	0.11
หลังคาผสมจั่ว-ปั้นหยา	16.07	0.13
หลังคาปั้นหยา	16.59	0.13
หลังคาเพิงหมาแหงน	12.96	0.13
ค่าเฉลี่ย	**14.15**	**0.11**

หมายเหตุ: ข้อมูลได้จากการจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนอาคารในเมือง Akita City ประเทศญี่ปุ่น โดยกำหนดค่าทางเทคนิคของแผงและประสิทธิภาพระบบให้เหมือนกันทุกประเภทหลังคา และคำนวณจากเฉพาะพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น

การอภิปรายเชิงเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ดังตาราง 5 แสดงการสรุปและเปรียบเทียบผลการศึกษาจากหัวข้อย่อย 1 ถึง 6 ซึ่งครอบคลุมปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในด้านลักษณะรังสีแสงอาทิตย์ มุมและรูปแบบการติดตั้ง สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ลักษณะเชิงสเปกตรัมของแสง และความเสถียรของการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยตารางดังกล่าวรวบรวมแนวทางการศึกษา ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ และประเด็นสำคัญที่นำมาใช้ในการอภิปรายเชิงเปรียบเทียบ พร้อมระบุแหล่งที่มาของแต่ละแนวคิดอย่างชัดเจน

จากข้อมูลในตารางพบว่า ปัจจัยแต่ละด้านมีอิทธิพลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าในลักษณะที่แตกต่างกัน แต่มีความเชื่อมโยงกันในเชิงระบบ โดยการปรับมุมรับแสง รูปแบบโครงสร้าง และสภาพแวดล้อมสามารถช่วยบรรเทาผลกระทบจากข้อจำกัดด้านสเปกตรัมแสงและอุณหภูมิการทำงานของแผงภายใต้สภาพการใช้งานจริง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการประเมินสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ควรพิจารณาปัจจัยหลายด้านร่วมกันมากกว่าการพิจารณาแยกเป็นรายปัจจัย

ตาราง 5

ตารางสรุปเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อ	ปัจจัยที่ศึกษา	แนวคิด/วิธีการศึกษา	ผลการค้นพบเชิงเปรียบเทียบ	แหล่งอ้างอิง
1	สเปกตรัมแสงอาทิตย์และมุมติดตั้ง	วัดสเปกตรัมแสงจริงกลางแจ้งที่มุม 35° (เหมาะสม) และ 90° (แนวตั้ง/BIPV) วิเคราะห์ SF และ Jsc สำหรับแบนด์แกปต่างกัน	มุม 35° ให้ GTI และ Jsc สูงกว่าอย่างสม่ำเสมอ ขณะที่มุม 90° รับรังสีกระจายเป็นหลัก และเกิด red-shift โดยเฉพาะฤดูหนาว วัสดุแบนด์แกปสูง (~1.7 eV) ไวต่อสเปกตรัมมากที่สุดและเกิด การสูญเสียเชิงสเปกตรัมชัดเจน	Farias-Basulto et al. (2023a)
2	อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมใต้น้ำ	ทดลองติดตั้งแผงใต้น้ำที่ความลึกต่างกัน (2.5-10 ซม.) เปรียบเทียบกับแผงบนบก วิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและ PCE	ความลึกตื้น ~3-5 ซม. ให้สมดุลดีที่สุดระหว่างการลดความร้อนและการลดทอนแสง สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด ~12.9% เมื่อเทียบกับบนบก แต่ความลึกมากเกินไป ทำให้การดูดกลืนแสงสูงและกำลังลดลงอย่างมาก	Wang et al. (2026)
3	ระบบลอยน้ำ (FPV) เทียบกับภาคพื้นดิน (GPV)	ระบบต้นแบบขนาดเล็ก ทดลองหลายมุมเอียง วัดกำลังไฟฟ้า อุณหภูมิ และรังสี	FPV มีอุณหภูมิแผงต่ำกว่า GPV อย่างชัดเจน โดยเฉพาะช่วงเที่ยง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่า มุมเอียง 25° ให้ผลดีที่สุดในฤดูร้อน และ 30° เหมาะกว่าในฤดูหนาว	Kumar et al. (2025)
4	การระบายความร้อนด้วยเพลเทียร์ใน PSCs	ติดตั้งแผ่น Peltier ใต้เซลล์เพอรอฟสไกต์ ควบคุมอุณหภูมิและวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้า	PCE สูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 27 °C (≈18.16%) อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้ Voc และ Vmpp ลดลง แสดงว่าการควบคุมอุณหภูมิระดับปานกลางมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของ PSCs	Kaltzoglou et al. (2025)
5	การจัดเรียงเชิงสามมิติ (3D geometry)	เปรียบเทียบระบบพีระมิดหกเหลี่ยมสามมิติกับแผงระนาบ ภายใต้สภาพฟ้าต่าง ๆ	ระบบสามมิติให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าอย่างสม่ำเสมอทุกสภาพฟ้า โดยเด่นชัดในช่วง เช้า-บ่าย และวันที่มีเมฆมาก เนื่องจากรับแสงได้หลายทิศและลดความแปรปรวนของการผลิต	Bender Andrade et al. (2025)
6	รูปทรงหลังคาอาคาร	วิเคราะห์ DSM + GIS จาก UAV จำแนกรูปทรงหลังคา และคำนวณพลังงานต่อพื้นที่	หลังคาแบนให้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด (≈0.14 MWh/m²) ขณะที่หลังคาซ้อน/ตัดกันบางแบบให้ค่าต่ำกว่า (~0.09 MWh/m²) ชี้ว่ารูปทรงเรขาคณิตมีผลต่อทั้งศักยภาพและเสถียรภาพของระบบ	Mohammadzadeh Bina et al. (2025)

นอกเหนือจากปัจจัยที่สรุปไว้ในตาราง 5 งานวิจัยในช่วงหลังชี้ให้เห็นว่าการประเมินสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ควรพิจารณามิติด้านเสถียรภาพเชิงเวลาและบริบทเชิงระบบพลังงานร่วมด้วย Ahmad et al. (2025) และ Malik et al. (2025) แสดงให้เห็นว่า สภาพภูมิอากาศตามฤดูกาลและตำแหน่งที่ตั้งส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างมุมติดตั้ง อุณหภูมิ และผลผลิตพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ Farias-Basulto et al. (2023b) ในด้านการวางแผนระบบ Rekik and El Alimi (2024), Soto Calvo and Lee (2025) และ Dimitriou et al. (2024) ชี้ว่า การออกแบบและคัดเลือกตำแหน่งติดตั้งควรคำนึงถึงความแปรปรวนของรังสีแสงอาทิตย์และความสม่ำเสมอของผลผลิตไฟฟ้าในระยะยาว เมื่อพิจารณาร่วมกับงานด้านเทคโนโลยีโมดูล Rossi et al. (2024) และ Kaltzoglou

et al. (2025) ยืนยันว่า การควบคุมอุณหภูมิของโมดูลมีบทบาทสำคัญต่อทั้งประสิทธิภาพทันทีและความเสถียรในระยะยาว ซึ่งสนับสนุนแนวคิดของระบบ FPV (Kumar et al., 2025; Wang et al., 2026)

ในมุมมองเชิงระบบพลังงานและสิ่งแวดล้อม Lv and Tang (2025) เน้นว่า ความเสถียรและความเกื้อหนุนกันของแหล่งพลังงานควรพิจารณาควบคู่กับศักยภาพการผลิตไฟฟ้า ขณะที่ Khan et al. (2024) รายงานว่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความไวต่อแหล่งผลิตไฟฟ้า ตำแหน่งติดตั้ง และอายุการใช้งาน นอกจากนี้ Khorat et al. (2025) ชี้ว่าแผงบนหลังคาในเขตเมืองสามารถลดอุณหภูมิผิวหลังคาและเพิ่มเสถียรภาพของการทำงานในสภาพอากาศร้อน ส่วน Ganesan et al. (2024) แสดงว่า การปรับรูปแบบการติดตั้งโมดูลแบบสองด้านช่วยรักษาความสม่ำเสมอของการผลิตเมื่อมีความเสียหายบางส่วน ดังนั้นการประเมินสมรรถนะในระดับระบบจึงควรพิจารณาความไม่แน่นอนเชิงเวลาร่วมด้วย ซึ่ง Al-Hanoot et al. (2025) เสนอการประยุกต์ใช้ Monte Carlo simulation เพื่อระบุความเสี่ยงของการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำกว่าค่าคาดหมายได้อย่างชัดเจน

บทสรุป

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า สมรรถนะและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ถูกกำหนดโดยปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของลักษณะสเปกตรัมแสงอาทิตย์ มุมและรูปแบบการติดตั้ง สภาพแวดล้อมเชิงความร้อน คุณลักษณะของวัสดุเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงรูปแบบเชิงเรขาคณิตและบริบททางสถาปัตยกรรมของพื้นที่ติดตั้งภายใต้สภาพการใช้งานจริง ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อทั้งระดับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและความสม่ำเสมอของการผลิตพลังงานตลอดช่วงเวลา

ผลการวิเคราะห์ยืนยันว่า การติดตั้งโมดูลในมุมเอียงใกล้เคียง 35 องศาสามารถให้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าการติดตั้งในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสามารถรับรังสีรวมบนระนาบเอียงได้มากกว่า ขณะที่การติดตั้งในแนวตั้งมีข้อจำกัดด้านการรับรังสีและได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงมากกว่า โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่สัดส่วนของแสงกระเจิงมีค่าสูง นอกจากนี้ลักษณะของสเปกตรัมแสงอาทิตย์และค่าแบนด์แกปของวัสดุเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลต่อการเพิ่มหรือลดสมรรถนะเชิงสเปกตรัมแตกต่างกันไป ซึ่งสะท้อนถึงความสำคัญของการเลือกชนิดวัสดุให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและรูปแบบการติดตั้ง

ในด้านสภาพแวดล้อมเชิงความร้อน การควบคุมอุณหภูมิการทำงานของโมดูลมีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะของระบบ โดยการติดตั้งโมดูลในชั้นน้ำตื้นและการประยุกต์ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดลอยน้ำสามารถช่วยลดอุณหภูมิการทำงานของแผงและเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ติดตั้งบนพื้นดิน อย่างไรก็ตาม สำหรับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ แม้ว่าการควบคุมอุณหภูมิจะมีแนวโน้มช่วยรักษาประสิทธิภาพของเซลล์ได้ แต่การประยุกต์ใช้ระบบระบายความร้อนเชิงรุกยังจำเป็นต้องได้รับการประเมินผลสุทธิด้านพลังงานและความคุ้มค่าเพิ่มเติมก่อนการใช้งานจริง

นอกจากนี้ การออกแบบโครงสร้างการติดตั้งในลักษณะสามมิติและการพิจารณารูปทรงหลังคาที่แตกต่างกันมีผลต่อทั้งศักยภาพการรับรังสีและความเสถียรของการผลิตพลังงาน โดยโครงสร้างที่สามารถรับแสงจากหลายทิศทางมีแนวโน้มให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าและมีความผันผวนต่ำกว่าในสภาพอากาศที่แปรปรวน ขณะที่การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานบนหลังคาอาคารควรพิจารณาทั้งพลังงานรวมและพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ควบคู่กัน เพื่อสะท้อนประสิทธิภาพเชิงพื้นที่อย่างเหมาะสม

ในเชิงข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ควรให้ความสำคัญกับการกำหนดมุมติดตั้งที่เหมาะสมกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ การจัดการอุณหภูมิการทำงานของโมดูล การเลือกชนิดวัสดุให้สอดคล้องกับลักษณะสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในพื้นที่ และการออกแบบโครงสร้างติดตั้งที่ลดความผันผวนของกำลังไฟฟ้า ในทางกลับกัน การเลือกมุมติดตั้งที่ไม่เหมาะสมหรือการละเลยผลกระทบของอุณหภูมิและเงาบังอาจทำให้สมรรถนะของระบบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม งานศึกษานี้มีข้อจำกัดเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิจากงานวิจัยที่เผยแพร่แล้ว ซึ่งมีเงื่อนไขการทดลอง วิธีการวัด และสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง

กัน ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ จำนวนงานวิจัยที่นำมาวิเคราะห์ยังไม่ครอบคลุมทุกสภาพภูมิอากาศและเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

สำหรับงานวิจัยในอนาคต ควรมีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic review) หรือการศึกษาทดลองภาคสนามในสภาพภูมิอากาศเขตร้อน เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานจริง รวมถึงการศึกษาการจัดการความร้อนและรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสมในบริบทภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

References

Ahmad, A., Power, N., & Finegan, E. (2025). Maximising solar PV potential: A comprehensive review of factors affecting photovoltaic installation and generation in a mild temperate oceanic climate. *Solar Energy Advances, 5*, 100111. https://doi.org/10.1016/j.seja.2025.100111

Al-Hanoot, A. K., Mokhlis, H., Mekhilef, S., Alghoul, M., Al Aqil, M., & Alhanut, M. (2025). Monte Carlo simulation for real-world energy yield analysis of car park solar PV system installations in harsh environments. *Results in Engineering, 28*, 106996. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106996

Bender Andrade, B. P., Bender Andrade, A. C., Lacerda, D. P., & Sartori Piran, F. A. (2025). Solar energy generation in three dimensions: The hexagonal pyramid. *Solar Energy, 292*, 113408. https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113408

Das, D., Saikia, S., Saharia, S. J., & Mahapatra, S. (2023). Performance analysis of MW-scale grid connected rooftop and ground-mounted solar power plants installed in Assam India. *Energy for Sustainable Development, 76*, 101309. https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101309

Dimitriou, I. C., Arsenopoulos, A., Trachanas, G. P., Sarmas, E., & Marinakis, V. (2024). Assessing the adoption level of solar PV installations on district scale of urban environment. *Renewable Energy, 237*, 121676. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121676

Dong, C., & Zhong, Q. (2025). Evaluating solar photovoltaic potential of buildings based on the installation parameters of photovoltaic modules. *Solar Energy, 288*, 113304. https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113304

Eeles, A. S., Fernandez, P. M., Alves, J., Lopes, V., Faria, P., Vale, Z., Teixeira, J., & Salomé, P. (2025). From dawn to dusk: Maximizing revenue with unconventional solar panel installations in the setting of MIBEL. *Applied Energy, 402*, 126864. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126864

Farias-Basulto, G. A., Riedel, M., Khenkin, M., Schlatmann, R., Klenk, R., & Ulbrich, C. (2023a). Solar spectra datasets at optimum and vertical installation angles in central Europe (Berlin) during 2020, 2021 and 2022. *Data in Brief, 48*, 109273. https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109273

Farias-Basulto, G. A., Sevillano-Bendezú, M. A., Riedel, M., Khenkin, M., Tofflinger, J. A., Schlatmann, R., Klenk, R., & Ulbrich, C. (2023b). Measurement and analysis of annual solar spectra at different installation angles in central Europe. *Solar Energy, 266*, 112175. https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112175

Ganesan, K., Winston, D. P., Nesamalar, J. J. D., & Pravin, M. (2024). Output power enhancement of a bifacial solar photovoltaic with upside down installation during module defects. *Applied Energy, 353*, 122070. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122070

Kaltzoglou, A., Christopoulos, E., Kossyvakis, D. N., Tagiara, N. S., Falaras, P., Nasikas, N. K., Hristoforou, E. V., & Elsenety, M. M. (2025). Assessing the performance of perovskite solar cells under Peltier cooling. *Microelectronic Engineering, 299*, 112364. https://doi.org/10.1016/j.mee.2025.112364

Katruksa, S., & Kerdlap, P. (2025). Evaluation of medium-term renewable energy generation forecasting of EGAT using artificial neural networks and ARIMA [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 19*(1), 77–97. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/275585

Khan, A. A., Reichel, C., Molina, P., Friedrich, L., Subasi, D. M., Neuhaus, H., & Nold, S. (2024). Global warming potential of photovoltaics with state-of-the-art silicon solar cells: Influence of electricity mix, installation location and lifetime. *Solar Energy Materials and Solar Cells, 269*, 112724. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2024.112724

Khorat, S., Khatun, R., Das, D., Siddiqui, A., Khan, A., Mondal, N., Aziz, S. M., Anand, P., Doan, Q. V., Niyogi, D., & Santamouris, M. (2025). Urban rooftop photovoltaic solar panels and their impact on microclimate and energy performance. *Energy and Buildings, 344*, 115996. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115996

Kumar, N., Pachauri, R. K., Kuchhal, P., Akter, K., Alotaibi, M. A., & Malik, H. (2025). Performance analysis of floating and ground-mounted photovoltaic systems: An experimental study. *Solar Energy, 302*, 113989. https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113989

Lv, F., & Tang, H. (2025). Assessing the impact of climate change on the optimal solar–wind hybrid power generation potential in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 212*, 115429. https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115429

Malik, P., Chandel, S. S., & Gupta, R. (2025). Potential and performance assessment of solar photovoltaic systems across diverse climatic conditions: A comprehensive analysis. *Energy for Sustainable Development, 89*, 101851. https://doi.org/10.1016/j.esd.2025.101851

Mohammadzadeh Bina, S., Fujii, H., & Toriya, H. (2025). Innovative methodology for unlocking solar energy potential in Japanese urban areas: Drone-based DSM and roof shape analysis in Akita City. *Energy Conversion and Management, 345*, 120391. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.120391

Nabil, M. H., Barua, J., Eiva, U. R. J., Ullah, M. A., Chowdhury, T. A., Siddiquee, S. M. S., Alam, M. E., & Das, R. (2024). Techno-economic analysis of commercial-scale 15 MW on-grid ground solar PV systems in Bakalia: A feasibility study proposed for BPDB. *Energy Nexus, 14*, 100286. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100286

Opie, B., Avci, O., Gutta, J. B., Quaranta, J. D., & Taylor, S. (2025). A brief review of solar panel installations on former mine lands: Technical challenges and uncertainties for tracking and foundation systems. *Solar Energy, 300*, 113858. https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113858

Rekik, S., & El Alimi, S. (2024). A GIS based MCDM modelling approach for evaluating large-scale solar PV installation in Tunisia. *Energy Reports, 11*, 580–596. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.12.018

Rossi, F., Kipyator, M. J., Aernouts, T., Pettersson, H., Basosi, R., Parisi, M. L., & Sinicropi, A. (2024). Unveiling the potential of perovskite solar systems in building integrated installations: A consequential and prospective life cycle assessment and economic analysis. *Energy & Buildings, 312*, 114214. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114214

Soto Calvo, M., & Lee, H. S. (2025). Advanced geospatial analytics and multi-objective optimization framework for national rooftop solar assessment: Cuba case study. *Energy Reports, 14*, 254–267. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.06.012

Wang, J., Liu, P., Lu, Y., Wang, L., Li, Y., Rafee, R., Rashidi, S., & Li, G. (2026). Critical depth optimization for underwater solar cells to reduce irradiation and thermal losses. *Solar Energy, 303*, 114096. https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.114096

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพผู้สูงอายุ: ภัยคุกคาม ความเปราะบาง กลไกการรับมือ และปรับตัวอย่างยั่งยืน

The Impacts of Climate Change on Elderly Health: Threats, Vulnerabilities and Sustainable Adaptation Strategies

นันทวุฒิ จำปางาม[1]* และชวิศา แก้วอนันต์[1]
Nuntawut Champar-ngam[1]* and Chawisa Kaewanun[1]
[1]คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Public Health, Eastern Asia University
*Corresponding author: nuntawut@eau.ac.th
Received: November 28, 2025
Revised: February 11, 2026
Accepted: February 19, 2026

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่องานสาธารณสุขทั้งทางตรงและทางอ้อม ผู้สูงอายุถือเป็นกลุ่มประชากรที่มีความเปราะบางทางชีวภาพและสังคมสูงสุดและได้รับผลกระทบทางสุขภาพที่ซับซ้อนและรุนแรงที่สุด โดยภัยคุกคามทางสุขภาพจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผู้สูงอายุสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเด็น (1) ความเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับความร้อน (2) โรคติดเชื้อและพาหะนำโรค (3) มลพิษทางอากาศและโรคระบบทางเดินหายใจ (4) ความมั่นคงทางอาหารและน้ำ (5) ผลกระทบต่อสุขภาพจิต บทความนี้ผู้เขียนมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และทำความเข้าใจรูปแบบของภัยคุกคามที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพทางกายและทางสุขภาพจิตของผู้สูงอายุโดยเสนอแนวทางในการเตรียมพร้อมและรับมือ เพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงกลไกการปรับตัวและการรับมือในระดับนโยบาย โดยนำองค์ความรู้ไปใช้เชิงนโยบายและปฏิบัติ โดย ผ่านกระบวนการจัดการความรู้ ถอดบทเรียน การจัดตั้งเวทีเสวนา เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ให้เกิดการปฏิบัติจริง และสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้ที่สนับสนุนโดยผู้บริหารและมีกลไกการวัดผลที่ชัดเจนอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ภัยคุกคาม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผู้สูงอายุ ความเปราะบาง นโยบายสาธารณสุข

Abstract

Climate change significantly impacts public health through various direct and indirect pathways. Among the general population, the elderly are identified as the most vulnerable group due to a combination of biological and social factors, making them susceptible to complex and severe health outcomes. These climate-induced health threats are categorized into five primary areas: (1) heat-related illnesses, (2) vector-borne diseases, (3) air pollution and respiratory diseases, (4) food and water security, and (5) mental health impacts. This article aims to analyze the patterns of these threats regarding the physical and mental well-being of the elderly. Additionally, to mitigate the impacts of climate change, including adaptation and response mechanisms at the policy level, knowledge should be applied in policy and practice through knowledge management processes, lessons learned, and the organization of forums for knowledge exchange to facilitate practical implementation. This involves fostering a learning culture supported by executives and with clear, sustainable performance measurement mechanisms.

Keywords: threats, climate change, elderly health, vulnerability, public health policy

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) คือ ความท้าทายระดับโลกที่ส่งผลกระทบต่อทุกภาคส่วนของสังคม เป็นสิ่งคุกคามสุขภาพประเด็นหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่องานสาธารณสุขทั้งทางตรงและทางอ้อม ถึงแม้ผลกระทบทางสุขภาพดังกล่าวจะเป็นสิ่งที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วในอดีต แต่ในปัจจุบันอาจจะมีความถี่และความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น เช่น ปัญหาความแห้งแล้ง น้ำท่วม คลื่นความร้อน และเหตุการณ์สภาพอากาศที่รุนแรง เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มให้มีผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้น 14.5 ล้านคน และความสูญเสียทางเศรษฐกิจมูลค่า 12.5 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐทั่วโลก ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อสุขภาพและระบบสาธารณสุข ยังมีการคาดการณ์ว่าจะเผชิญกับภาระค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 1.1 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐจากผลกระทบที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศ การวิเคราะห์ระบุว่าอุทกภัยและภัยแล้งเป็นสาเหตุหลักของการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ และคลื่นความร้อนเป็นสาเหตุหลักของความสูญเสียทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ยังคาดการณ์การเพิ่มขึ้นและการแพร่กระจายของโรคที่ไวต่อสภาพภูมิอากาศ เช่น โรคมาลาเรียและไข้เลือดออก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้รับการประกาศให้เป็น “ภาวะฉุกเฉินด้านสุขภาพ” ที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในศตวรรษที่ 21 (Patil & Jeffery, 2020) โดยส่งผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อสิ่งแวดล้อมที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นอากาศ อาหาร น้ำ ที่พักพิง และความปลอดภัย แม้ว่าภัยคุกคามเหล่านี้จะเกิดขึ้นมาแล้วในอดีต แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2563 ถึง 2568 ทั่วโลกกลับต้องเผชิญกับความถี่และความรุนแรงของเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เช่น คลื่นความร้อนที่ยาวนานขึ้น อุทกภัย ภัยแล้ง และมลพิษทางอากาศ (Department of Disease Control, 2024) ภายใต้บริบทของวิกฤตการณ์สภาพภูมิอากาศนี้เป็นหนึ่งในประเด็นที่สำคัญที่สุดในยุคสมัยของเรา และเป็นความท้าทายที่คนรุ่นหลังต้องเผชิญ จากภาพ 1 แสดงภาพรวมของความเสี่ยงด้านสุขภาพที่อ่อนไหวต่อสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่ม “ผู้สูงอายุ” หมายถึง บุคคลที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป จากผลการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่า จำนวนและสัดส่วนของผู้สูงอายุในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับผลการสำรวจในปี 2567 พบว่า มีผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20.0 ของประชากรทั้งประเทศ โดยมี

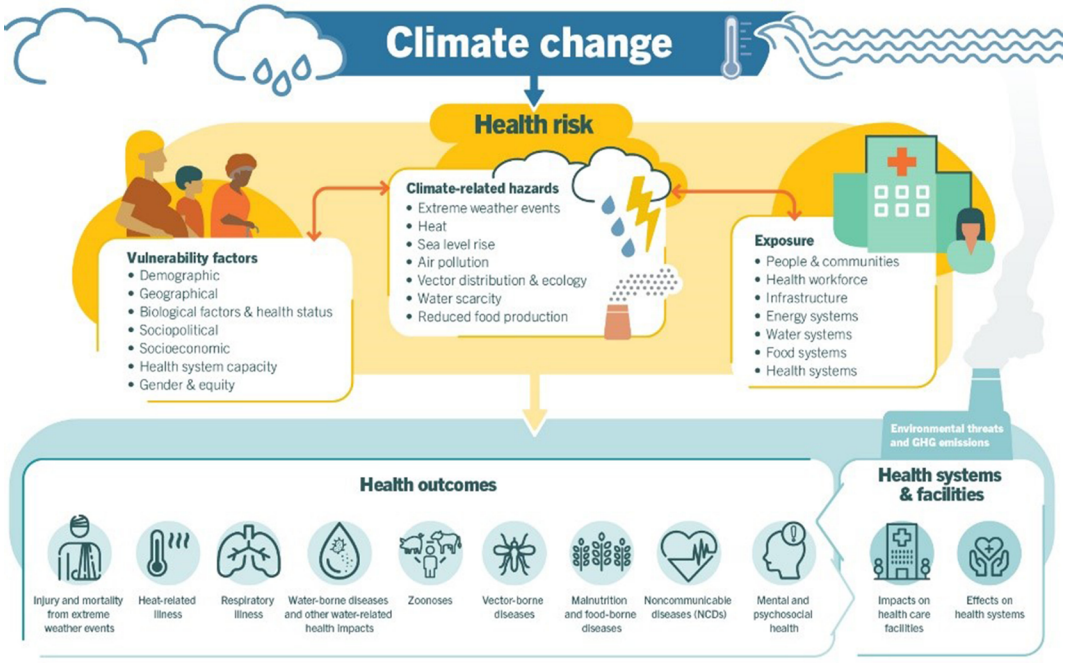
ผู้สูงอายุชายร้อยละ 42.1 และผู้สูงอายุหญิง ร้อยละ 57.9 ผู้สูงอายุ ถือเป็นกลุ่มประชากรที่มีความเปราะบางสูงสุด และได้รับผลกระทบทางสุขภาพที่ซับซ้อนและรุนแรงที่สุด (WHO, 2022) รวมถึงความเปราะบาง (vulnerability) ในผู้สูงอายุ คือ ภาวะที่ร่างกายเสื่อมถอยลง สูญเสียความแข็งแรงและสมรรถภาพ ทำให้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงหรือความเครียดได้น้อยลงโดยความเปราะบางทางชีวภาพนี้ไม่ได้จำกัดแค่ด้านสรีรวิทยาเท่านั้นแต่ยังรวมถึงปัจจัยทางสังคมและเศรษฐกิจ ผู้สูงอายุมีความสามารถในการปรับตัวทางสรีรวิทยาต่อความร้อนที่ลดลง และมักมีภาวะเจ็บป่วยด้วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจ, เบาหวาน, และโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังหลายโรคพร้อมกัน ซึ่งทำให้อาการของโรคกำเริบอย่างรุนแรงเมื่อต้องเผชิญกับความเครียดจากความร้อนหรือมลพิษ (De Leo et al., 2026; Lancet, 2023) ผู้สูงอายุจำนวนมากต้องเผชิญกับความโดดเดี่ยวทางสังคมและความมั่นคงทางการเงินที่จำกัดทำให้ขาดเครือข่ายความช่วยเหลือที่จำเป็นในการรับมือและอพยพในสถานการณ์ภัยพิบัติ (Orellana et al., 2021) ดังนั้น การทำความเข้าใจผลกระทบที่เชื่อมโยงกันของโรคติดต่อและโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่อสุขภาพกายและสุขภาพจิตของผู้สูงอายุ ภายใต้แรงกดดันของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงเป็นประเด็นสำคัญเร่งด่วนที่ต้องได้รับการจัดการเชิงนโยบายและปฏิบัติการอย่างรอบด้านเพื่อสร้างระบบสุขภาพที่ยืดหยุ่นและเป็นธรรม (Kim et al., 2024; WHO, 2023a) ภายใต้บริบทของวิกฤตการณ์สภาพภูมิอากาศนี้ ผู้สูงอายุถือเป็นกลุ่มประชากรที่มีความเปราะบางสูงสุดและได้รับผลกระทบทางสุขภาพที่ซับซ้อนและรุนแรงที่สุดในปี 2023 ผู้เสียชีวิตทั่วโลกกว่า 178,000 รายจากคลื่นความร้อน ซึ่งคิดเป็น 23 รายต่อประชากรหนึ่งล้านคน (WHO, 2022) โครงสร้างประชากรโลกกำลังเข้าสู่สังคมสูงวัย ทำให้ความเปราะบางนี้ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างมากผลจากฝีมือมนุษย์ จนทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลที่ตามมาต่อสังคมและส่งผลกระทบต่อผู้สูงอายุอย่างเลี่ยงมิได้ผลกระทบระหว่างกลุ่มประชากรกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอาจจะยังมองไม่เห็นชัด จากบริบทประเทศไทยเชิงพื้นที่และนโยบาย คือ ความท้าทายด้านความเหลื่อมล้ำและการพัฒนาที่ไม่สมดุล โดยมีนโยบายมุ่งเน้นการกระจายความเจริญสู่เมืองรอง ลดช่องว่างเมืองหลัก-เมืองรอง ผ่านระบบคมนาคมและเทคโนโลยี พร้อมการบริหารจัดการพื้นที่ (zoning) ที่ดีขึ้น และการส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการจัดการศึกษาและทรัพยากรในระดับพื้นที่เพื่อแก้ไขปัญหาเฉพาะทาง เช่น สิ่งแวดล้อม สิทธิ และการเข้าถึงโอกาสทางเศรษฐกิจหลายคนอาจได้ยินเกี่ยวกับผลกระทบที่ประชากรสูงวัยจะได้รับในประเด็นการใช้จ่ายของรัฐบาลในด้านสาธารณสุข การบริการทางสังคม และเงินบำนาญ สิ่งหนึ่งซึ่งไม่ได้รับการกล่าวถึงอย่างเพียงพอในวาระของการพัฒนาที่ยั่งยืน คือ ความเปราะบางของผู้สูงอายุต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ บทความนี้ผู้เขียนมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และทำความเข้าใจรูปแบบของภัยคุกคามที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาวะของผู้สูงอายุ และเสนอแนวทางในการเตรียมพร้อมและรับมือ รวมถึงกลไกการปรับตัวและการรับมือในระดับนโยบายอย่างยั่งยืน

จากสภาพปัญหาภัยคุกคาม ความเปราะบาง ทางสุขภาพจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผู้สูงอายุ สามารถสรุปออกเป็น 5 ประเด็น ดังนี้

1. ภัยคุกคามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นสิ่งคุกคามสุขภาพประเด็นหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่องานสาธารณสุขจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เหตุการณ์ดังกล่าวอาจมีความถี่และความรุนแรงเพิ่มขึ้น ทั้งภัยคุกคามทางตรง และภัยคุกคามทางอ้อม โดยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเด็นดังแสดงในภาพ 1 ได้แก่ (1) ความเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับความร้อนเมื่ออุณหภูมิโลกสูงขึ้น ความถี่และความรุนแรงของคลื่นความร้อน ส่งผลให้เกิดภาวะต่าง ๆ เช่น โรคลมแดด ภาวะขาดน้ำ ร่างกายสูญเสียน้ำและเกลือแร่ การกำเริบของโรคเรื้อรัง โดยเฉพาะโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคไต และโรคทางเดินหายใจ กลุ่มเสี่ยงคือผู้สูงอายุและผู้ที่ทำงานกลางแจ้งซึ่งอาจรุนแรงถึงชีวิตได้ (WHO, 2021; Romanello et al., 2021) (2) โรคติดเชื้อและพาหะนำโรค การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ทำให้ถิ่นที่อยู่ของพาหะนำโรค (เช่น ยุง เห็บ) ขยายวงกว้างขึ้นและมีวงจรชีวิตที่ยาวนานขึ้น ก่อโรคไข้เลือดออกและมาลาเรีย ยุงลายและยุงก้นปล่องแพร่พันธุ์ได้เร็วขึ้นในอากาศร้อนชื้น โรคอุบัติใหม่

เชื้อโรคที่ไม่เคยพบในบางพื้นที่อาจเริ่มปรากฏขึ้นเนื่องจากสภาพอากาศที่เอื้ออำนวย (Rocklöv & Dubrow, 2020; Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2022) (3) มลพิษทางอากาศและโรคระบบทางเดินหายใจ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดไฟป่าบ่อยขึ้นและรุนแรงขึ้น การเผาขยะและทิ้งขยะในพื้นที่โล่งแจ้ง การเกิดการลักลอบเผาขยะในเขตชุมชนเมือง ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ (Champar-ngam & Puttaso, 2021) รวมถึงการเกิดฝุ่น PM2.5 และก๊าซโอโซนระดับพื้นดินที่เพิ่มขึ้น ผลกระทบกระตุ้นอาการหอบหืด ภูมิแพ้ และเพิ่มความเสี่ยงต่อมะเร็งปอด สารก่อภูมิแพ้จากฤดูเกสรดอกไม้อาจยาวนานขึ้น ส่งผลกระทบต่อผู้ที่เป็นโรคภูมิแพ้อากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022; American Lung Association, 2023) (4) ความมั่นคงทางอาหารและน้ำ โรคติดต่อทางน้ำจากภัยแล้งและน้ำท่วมทำให้แหล่งน้ำสะอาดปนเปื้อน การปนเปื้อนสารไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำ และในสัตว์ทะเล (Champar-ngam, 2020) เพิ่มความเสี่ยงของโรคอหิวาตกโรคและโรคท้องร่วง โรคมะเร็ง ภาวะทุพโภชนาการจากสภาพอากาศแปรปรวนทำลายพืชผลทางการเกษตร ลดคุณค่าทางโภชนาการของอาหารหลัก ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการขาดแคลนอาหาร (FAO et al., 2023) (5) ผลกระทบต่อสุขภาพจิต ความเครียดจากภัยพิบัติของผู้ประสบภัยน้ำท่วมหรือพายุ มักเกิดภาวะเครียดหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ ความวิตกกังวลเกี่ยวกับอนาคตของโลกและสิ่งแวดล้อม (Cianconi et al., 2020)



ภาพ 1 ภาพรวมของความเสี่ยงด้านสุขภาพที่อ่อนไหวต่อสภาพภูมิอากาศ เส้นทางการสัมผัส และปัจจัยเสี่ยง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งทางตรงและทางอ้อม และถูกควบคุมโดยปัจจัยกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และสาธารณสุข

Note. From "*Climate change and health [Infographic]*," by World Health Organization, 2023c, https://cdn.who.int/media/images/default-source/health-and-climate-change/risk-pathways-climate-health.jpg?sfvrsn=3ba050b0_6. Copyright 2023 by World Health Organization.

2. ความเปราะบางทางชีวภาพและสังคมของผู้สูงอายุ

การเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ และกำลังก้าวสู่สังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอดของประเทศไทย ทำให้ประเด็นเรื่อง “ความเปราะบาง” ในผู้สูงอายุเป็นความท้าทายสำคัญที่ต้องได้รับการจัดการอย่างเร่งด่วน ความเปราะบางไม่ได้จำกัดอยู่แค่ด้านร่างกาย แต่เป็นภาวะที่ซับซ้อนและหลายมิติ ซึ่งรวมถึงมิติทางชีวภาพและสังคมที่ทำให้ผู้สูงอายุมีความเสี่ยงสูงต่อผลลัพธ์ด้านสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การหกล้ม ภาวะทุพพลภาพ การเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเป็นเวลานาน และการเสียชีวิต (National Statistical Office, 2024; Liu & Yang, 2024; Zhang et al., 2023) โดยความความเปราะบางสามารถสรุปได้ ดังนี้

2.1 ความเปราะบางทางชีวภาพ เป็นสภาวะที่เกิดจากการเสื่อมถอยของระบบการทำงานหลายระบบในร่างกายตามอายุ ทำให้ความสามารถในการสำรองทางสรีรวิทยาลดลง และตอบสนองต่อภาวะเครียดได้อย่างจำกัด (Kim & Rockwood, 2024; Liu & Yang, 2024) การควบคุมอุณหภูมิร่างกายผู้สูงอายุมีประสิทธิภาพในการปรับตัวต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงลดลง ทำให้เสี่ยงต่อภาวะโรคลมแดด และภาวะอุณหภูมิร่างกายต่ำเกินไป ลักษณะสำคัญของแบบจำลองที่นิยมใช้วัดความเปราะบางทางกายภาพ คือแบบจำลองฟีโนไทป์ความเปราะบางของ Fried (fried frailty phenotype) ซึ่งระบุคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียพลังงานและระบบการทำงานของร่างกาย ดังนี้ (1) การลดลงของน้ำหนักโดยไม่ตั้งใจ (2) ความอ่อนเพลีย/อ่อนล้า (3) ระดับกิจกรรมทางกายที่ต่ำ (4) ความเชื่องช้าในการเดิน และ (5) ความอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ (Zhang et al., 2023) ส่งผลต่อกลไกทางชีวภาพหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการเกิดความเปราะบางคล้ายคลึงกับกระบวนการสูงวัยปกติแต่มีความรุนแรงมากกว่า เช่น การอักเสบเรื้อรังเป็นกระบวนการทางพยาธิสรีรวิทยาที่สำคัญซึ่งอาจนำไปสู่การเสื่อมของระบบอื่น ๆ ความบกพร่องของเมแทบอลิซึมและความผิดปกติของฮอร์โมน การบกพร่องของสเต็มเซลล์และความเสียหายของดีเอ็น (Melo et al., 2020; Liu & Yang, 2024) ผู้สูงอายุที่มีความเปราะบางทางชีวภาพมักมีปัญหาทางสุขภาพที่ชัดเจน เช่น อาการเหนื่อยล้า อ่อนเพลีย ปวดกระดูกกล้ามเนื้อ และปัญหาการนอนไม่หลับ ซึ่งล้วนส่งผลต่อความสามารถในการดำเนินชีวิตประจำวัน (Department of Older Persons, 2025)

2.2 ความเปราะบางทางเศรษกิจและสังคม เป็นมิติที่เกิดขึ้นจากการลดลงของการทำหน้าที่ทางสังคม ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรักษาความเป็นอิสระและความเป็นอยู่ที่ดีโดยรวม ภาวะนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในบริบทสังคมสูงวัยของไทยสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ลักษณะสำคัญและความชุกความเปราะบางทางสังคมเกี่ยวข้องกับการขาดการสนับสนุนทางสังคมและความเชื่อมโยงทางสังคม ทรัพยากรที่จำเป็นและการเติมเต็มความต้องการพื้นฐาน (Huang et al., 2025) จากการทบทวนและวิเคราะห์อภิมานพบว่า ความชุกของความเปราะบางทางสังคมในผู้สูงอายุค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในกลุ่มที่อาศัยอยู่ในชุมชนอาจสูงถึงประมาณ 18.8% (Zhang et al., 2023)

2) ปัจจัยทางสังคมและเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องในช่วงปี พ.ศ. 2565-2568 สถานการณ์ที่พบได้บ่อยและเป็นปัจจัยเสริมให้เกิดความเปราะบางทางสังคมในผู้สูงอายุไทย ได้แก่ การอยู่ตามลำพังเพิ่มขึ้นโดยผู้สูงอายุที่อยู่ตามลำพังหรือดูแลกันเองมีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ขาดการดูแลและการสนับสนุนในชีวิตประจำวัน (Department of Older Persons, 2025)

3) ปัญหาทางการเงินและเศรษฐกิจผู้สูงอายุจำนวนมากยังต้องทำงานเพื่อเลี้ยงชีพเพื่อลดภาระในครัวเรือน (The National Health Commission Office (NHCO), 2025) เนื่องจากมีลักษณะ “แก่ก่อนรวย” คือ มีเงินออมไม่เพียงพอ และต้องพึ่งพิงรายได้จากบุตรหลาน ซึ่งเป็นความเปราะบางด้านรายได้และความมั่นคง (Policy Watch & Thai PBS, 2025)

4) ช่องว่างทางเทคโนโลยีโดยผู้สูงอายุจำนวนไม่น้อยไม่เท่าทันกับระบบสื่อออนไลน์และการเข้าถึงการสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ตทำให้ถูกละเลยจากการรักษาระยะห่างทางสังคมและพลาดโอกาสในการเข้าถึงข้อมูล/กิจกรรม (Department of Older Persons, 2025)

5) การลดลงของการเข้าร่วมกิจกรรมทางสังคม โอกาสในการพบปะเพื่อนฝูงและการเข้าร่วมกิจกรรมทางสังคมลดลง ซึ่งนำไปสู่ความเหงาและความโดดเดี่ยวทาง

สังคม (Department of Older Persons, 2025; Huang et al., 2025) ความเชื่อมโยงและการจัดการความเปราะบางทางชีวภาพและสังคมมีความสัมพันธ์และส่งผลกระทบซึ่งกันและกัน ความเปราะบางทางกายภาพที่เพิ่มขึ้น (เช่น การเจ็บป่วยเรื้อรัง การหกล้ม) ทำให้ผู้สูงอายุไม่สามารถเข้าร่วมกิจกรรมทางสังคมได้ และนำไปสู่ความโดดเดี่ยว (ความเปราะบางทางสังคม) ซึ่งความโดดเดี่ยวนี้เองก็ส่งผลเสียต่อทั้งสุขภาพกายและสุขภาพจิต การจัดการความเปราะบางจึงต้องใช้แนวทางที่ครอบคลุม และหลายมิติโดยไม่จำกัดอยู่แค่ด้านการแพทย์ (Melo et al., 2020.; Liu & Yang, 2024; Nuchpanich et al., 2022)

6) การแทรกแซงทางชีวภาพ/คลินิก เน้นที่การออกกำลังกายร่วมกับการให้โภชนาการที่เหมาะสมการจัดการยา และการเฝ้าระวังโรคเรื้อรัง (Kim & Rockwood, 2024; Liu & Yang, 2024; Nuchpanich et al., 2022)

7) การแทรกแซงทางสังคมการสนับสนุนจากชุมชนการพัฒนาโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลให้เป็นแหล่งสนับสนุนการดูแลระยะยาว และการปรับปรุงสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อผู้สูงอายุ (Department of Older Persons (DOP), 2022) การส่งเสริมบทบาท การส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้สูงอายุที่แข็งแรงสามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีความยืดหยุ่น (The National Health Commission Office (NHCO), 2025) และพลิกบทบาทจากกลุ่มเปราะบางสู่ผู้สร้างเศรษฐกิจ (Policy Watch & Thai PBS, 2568) การสร้างเครือข่ายการให้การสนับสนุนทางสังคมที่เพียงพอและการพัฒนาแผนการดูแลเพื่อป้องกันหรือชะลอการลุกลามของภาวะเปราะบาง ภาวะโรคเรื้อรังผู้สูงอายุส่วนใหญ่มักมีโรคประจำตัว เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคทางเดินหายใจ ซึ่งทำให้อาการของโรคกำเริบเมื่อเผชิญกับคลื่นความร้อนหรือมลพิษทางอากาศ การขาดน้ำความรู้สึกกระหายน้ำลดลงตามวัย ทำให้เสี่ยงต่อภาวะขาดน้ำได้ง่าย โดยเฉพาะในช่วงคลื่นความร้อน ความเปราะบางทางสังคมและเศรษฐกิจ ข้อจำกัดในการเคลื่อนไหว ปัญหาด้านสุขภาพและสมรรถภาพทางกายทำให้การอพยพหนีภัยเป็นไปได้ยากและล่าช้ากว่ากลุ่มวัยอื่น ความโดดเดี่ยวทางสังคมผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่คนเดียวขาดเครือข่ายความช่วยเหลือฉุกเฉิน และอาจเข้าไม่ถึงข้อมูลการเตือนภัย ข้อจำกัดทางการเงินผู้สูงอายุที่มีรายได้น้อยอาจไม่สามารถติดตั้งเครื่องปรับอากาศ หรือซื้ออาหารและน้ำในช่วงภาวะวิกฤตได้

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพกายและสุขภาพจิต

3.1 ผลกระทบต่อสุขภาพกาย (physical health impacts) ในช่วงปี พ.ศ. 2565–2568 ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย เผชิญกับความถี่และความรุนแรงที่เพิ่มขึ้นของเหตุการณ์สภาพภูมิอากาศสุดขั้ว ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างต่อเนื่อง ปรากฏการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในหลายมิติ โดยเฉพาะในบริบทของสังคมผู้สูงอายุซึ่งมีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กลุ่มผู้สูงอายุถือเป็นกลุ่มเปราะบางต่อภัยสุขภาพที่เกี่ยวเนื่องกับสภาพอากาศมากที่สุด เนื่องจากข้อจำกัดด้านสรีรวิทยา ความชุกของโรคประจำตัว และความสามารถในการปรับตัวที่ลดลง (Department of Health, 2023) ดังนี้

1) ผลกระทบจากคลื่นความร้อนและอุณหภูมิสูง (heatwaves and high temperatures) คลื่นความร้อน ถือเป็นภัยคุกคามด้านสภาพภูมิอากาศที่สำคัญที่สุดต่อสุขภาพของผู้สูงอายุมีความเสี่ยงสูงเนื่องจากความสามารถในการปรับตัวทางสรีรวิทยาต่ออุณหภูมิที่ลดลง และภาวะสุขภาพเรื้อรังที่ซับซ้อน ภาวะที่พบได้เป็นประจำ ได้แก่ ภาวะฮีทสโตรกและภาวะเพลียแดด ซึ่งกลไกการควบคุมอุณหภูมิในผู้สูงอายุทำงานได้ไม่ดีเท่าคนหนุ่มสาว ทำให้ร่างกายไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันท่วงที (Department of Disease Control, 2523; WHO, 2022) ภาวะขาดน้ำของผู้สูงอายุมีความรู้สึกกระหายน้ำลดลง และอาจได้รับผลข้างเคียงจากยาบางชนิด (เช่น ยาขับปัสสาวะ) ที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการสูญเสียน้ำและเกลือแร่ การกำเริบของโรคเรื้อรัง โดยอุณหภูมิสูงส่งผลให้การทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด ส่งผลต่อระบบหายใจทำงานหนักขึ้นนำไปสู่การกำเริบของโรคหัวใจขาดเลือด โรคความดันโลหิตสูง และโรคถุงลมโป่งพอง (Lancet, 2023)

2) ผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ (air pollution) ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 2.5 ในช่วงฤดูแล้ง (มักเกิดจากไฟป่าและการเผาในที่โล่ง) เป็นผลกระทบที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย (พ.ศ. 2565-2568) ผู้สูงอายุที่สัมผัสกับมลพิษทางอากาศมีความเสี่ยงสูงต่อการเจ็บป่วยและเสียชีวิต ผลกระทบต่อสุขภาพกายระบบทางเดินหายใจการสูดดม PM 2.5 นำไปสู่การอักเสบในปอด

ทำให้เกิดอาการกำเริบของ โรคหอบหืด และโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลในผู้สูงอายุ (Department of Health, 2023) ระบบหัวใจและหลอดเลือด ฝุ่น PM2.5 สามารถกระตุ้นให้เกิดการอักเสบของหลอดเลือด ทำให้เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ และเพิ่มความเสี่ยงของภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดเฉียบพลันในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีประวัติโรคหัวใจ (Lancet, 2023)

3) ผลกระทบจากอุทกภัยและน้ำท่วม (floods and water-borne diseases) ความแปรปรวนของรูปแบบปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเกิดอุทกภัยซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพกายของผู้สูงอายุในหลายมิติ อุบัติเหตุและการบาดเจ็บ น้ำท่วมทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการหกล้ม การลื่นและการบาดเจ็บจากการขนย้ายหรือเดินทางในภาวะฉุกเฉิน ซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อผู้สูงอายุที่มีภาวะเปราะบางทางกายและปัญหาการทรงตัว (Department of Health, 2023) โรคติดต่อทางน้ำภาวะน้ำท่วมเพิ่มการแพร่กระจายของเชื้อโรคที่มากับน้ำ เช่น โรคอุจจาระร่วงเฉียบพลันและโรคฉี่หนู ผู้สูงอายุที่มีระบบภูมิคุ้มกันเสื่อมถอย มีความเสี่ยงที่จะเป็นโรครุนแรงและเสียชีวิตจากโรคเหล่านี้สูงกว่าประชากรกลุ่มอื่น (Department of Health, 2023)

3.1 ผลกระทบของโรคติดต่อและไม่ติดต่อต่อผู้สูงอายุ ไม่เพียงแต่เป็นภัยคุกคามโดยตรงต่อสุขภาพกายของผู้สูงอายุเท่านั้น แต่ยังเป็นปัจจัยเร่งและซับซ้อนที่ทำให้โรคติดต่อและโรคไม่ติดต่อเรื้อรังมีความรุนแรงและจัดการได้ยากยิ่งขึ้นในกลุ่มประชากรสูงวัย (Han et al., 2025) ดังนี้ ผลกระทบต่อโรคติดต่อ (Communicable diseases: CDs) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อการแพร่กระจายและระยะเวลาของการระบาดของโรคติดต่อ โดยเฉพาะโรคที่มีพาหะนำโรค ซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อผู้สูงอายุที่มีระบบภูมิคุ้มกันเสื่อมถอย โรคที่มียุงเป็นพาหะโดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นและรูปแบบน้ำฝนที่แปรปรวนขยายอาณาเขตและวงจรชีวิตของยุงลายและยุงก้นปล่อง ซึ่งเป็นพาหะของโรคไข้เลือดออก และ โรคมาลาเรีย ผู้สูงอายุที่ติดเชื้อเหล่านี้มักมีอาการรุนแรงกว่ากลุ่มอื่นเนื่องจากมีภาวะเจ็บป่วยร่วมหลายโรค (WHO, 2023b) โรคติดต่อทางน้ำและอาหารจากเหตุการณ์น้ำท่วมและภัยแล้งที่ทวีความรุนแรงเพิ่มความเสี่ยงของการปนเปื้อนในแหล่งน้ำและอาหาร ส่งผลให้เกิดโรคอุจจาระร่วงเฉียบพลัน และ โรคฉี่หนู ผู้สูงอายุมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดภาวะขาดน้ำอย่างรุนแรงและการติดเชื้อรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิต (Department of Health, 2023) ความเสี่ยงจากการระบาดใหญ่แม้ไม่ใช่ผลโดยตรงจากสภาพภูมิอากาศ แต่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจนำไปสู่การอุบัติของโรคใหม่ ๆ ผู้สูงอายุยังคงเป็นกลุ่มเสี่ยงสูงสุดในกรณีที่มีการระบาดใหม่ ๆ เกิดขึ้น (WHO, 2023b) ผลกระทบต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable Diseases: NCDs) ผู้สูงอายุส่วนใหญ่มักมีภาวะเจ็บป่วยด้วยโรค NCDs มากกว่าหนึ่งโรค ซึ่งสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้อาการของโรคเหล่านี้กำเริบอย่างรุนแรง เช่น โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด จากคลื่นความร้อน ส่งผลอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ร่างกายต้องทำงานหนักขึ้นเพื่อรักษาอุณหภูมิหลักของร่างกายซึ่งเพิ่มภาระงานของหัวใจอย่างมาก ทำให้ผู้สูงอายุที่เป็นโรคหัวใจขาดเลือด และโรคความดันโลหิตสูง มีความเสี่ยงสูงต่อภาวะหัวใจวายเฉียบพลันและโรคหลอดเลือดสมอง (Lancet, 2023) โรคระบบทางเดินหายใจ มลพิษและสารก่อภูมิแพ้ การเพิ่มขึ้นของมลพิษทางอากาศ (PM2.5) และการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลทำให้ระดับละอองเกสรดอกไม้และสารก่อภูมิแพ้สูงขึ้น ส่งผลให้ผู้สูงอายุที่เป็น โรคปอดเรื้อรังและโรคหอบหืดมีอาการแย่ลง ต้องเข้ารับการรักษาในห้องฉุกเฉินบ่อยขึ้น (Department of Health, 2023) โรคไตและเบาหวาน ภาวะขาดน้ำจากคลื่นความร้อนที่เพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะขาดน้ำรุนแรงในผู้สูงอายุ โดยเฉพาะผู้ที่ใช้ยาขับปัสสาวะหรือผู้ที่มีภาวะเบาหวานที่ควบคุมน้ำตาลได้ไม่ดี ซึ่งภาวะขาดน้ำนี้สามารถนำไปสู่ภาวะไตวายเฉียบพลันได้ (Han et al., 2025) ภาวะเปราะบางทางกายที่ผู้สูงอายุที่มีโรค NCDs ร่วมอยู่แล้ว มักมีภาวะเปราะบางทางกายเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการปรับตัวต่อความร้อน ความเครียดหรือภัยพิบัติลดลงอย่างมาก (De Leo et al., 2026)

3.2 ผลกระทบต่อสุขภาพจิต (mental health impacts) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) ซึ่งก่อให้เกิดเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วที่มีความถี่และความรุนแรงเพิ่มขึ้น ไม่เพียงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพกายเท่านั้น หากยังสร้าง “ต้นทุนทางสุขภาพจิต” ที่มีนัยสำคัญต่อประชากรทุกช่วงวัยทั่ว

โลก ตั้งแต่ภาวะวิตกกังวลเรื้อรังไปจนถึงความบอบช้ำทางจิตใจ (TGO, 2021; The MATTER, 2024) ผลกระทบด้านสุขภาพจิตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสามารถจำแนกได้เป็นสองมิติหลัก ได้แก่ ผลกระทบทางตรงจากภัยพิบัติ และ ผลกระทบทางอ้อมที่นำไปสู่ความวิตกกังวลเรื้อรัง ดังต่อไปนี้

1) ผลกระทบทางตรงจากภัยพิบัติ (direct impacts) ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่รุนแรงขึ้น เช่น คลื่นความร้อน อุทกภัย และไฟป่า ก่อให้เกิดผลกระทบทางจิตใจทั้งในระยะสั้นและระยะยาวต่อผู้ประสบเหตุ โดยเฉพาะภาวะบอบช้ำทางจิตใจหลังเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (Post-Traumatic Stress Disorder: PTSD) อันเนื่องมาจากการสูญเสียที่อยู่อาศัย ทรัพย์สิน หรือสมาชิกในครอบครัว ผู้ที่เผชิญภัยพิบัติมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นต่อการเกิด PTSD และภาวะซึมเศร้าถึงประมาณ 25–50% (Prudential, 2022) นอกจากนี้ ความสูญเสียทางวัฒนธรรม วิถีชีวิต และความมั่นคงขั้นพื้นฐานยังก่อให้เกิดความเครียดเรื้อรัง ซึ่งในบางกรณีอาจนำไปสู่ความคิดฆ่าตัวตาย (TGO, 2021) งานวิจัยในบางประเทศยังพบความเชื่อมโยงระหว่างอุณหภูมิที่สูงขึ้นกับอัตราการใช้ความรุนแรงและปัญหาสุขภาพจิตที่เพิ่มขึ้นในชุมชน (SDG Move, 2021)

2) ผลกระทบทางอ้อมและความวิตกกังวลเรื้อรัง (indirect impacts and chronic anxiety) แม้บุคคลจำนวนมากจะไม่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติโดยตรง แต่การรับรู้ถึงความรุนแรงของวิกฤตสภาพภูมิอากาศสามารถก่อให้เกิดภาวะเครียดและวิตกกังวลในวงกว้าง ภาวะวิตกกังวลด้านสิ่งแวดล้อม (eco-anxiety) ถูกอธิบายว่า เป็นความรู้สึกกลัวเรื้อรังต่อหายนะทางสิ่งแวดล้อมและความไม่แน่นอนของอนาคต (Prudential, 2022) ความรู้สึกหมดหวังจากการไม่เห็นแนวโน้มการแก้ไขปัญหาที่มีประสิทธิผลยิ่งเพิ่มความรู้สึกขาดการควบคุมชีวิตของตนเอง (TGO, 2021) นอกจากนี้ การอพยพย้ายถิ่นฐานเนื่องจากความร้อนจัด ภัยแล้ง หรือการขาดแคลนทรัพยากรยังเป็นอีกปัจจัยที่กระตุ้นความเครียดทางจิตใจอย่างรุนแรง (UNHCR, 2017) ผลกระทบเหล่านี้มีความรุนแรงมากขึ้นในกลุ่มประชากรที่มีความเปราะบางทางสังคมและเศรษฐกิจ ซึ่งมักอาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยงและมีทรัพยากรจำกัดในการปรับตัว (TGO, 2021)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพจิตผู้สูงอายุสามารถสรุปได้ 3 ด้าน ดังนี้

1) ความเครียดเรื้อรังและความวิตกกังวล (chronic stress and anxiety) การเผชิญกับภัยพิบัติที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศอย่างต่อเนื่อง เช่น คลื่นความร้อน ภัยแล้ง และอุทกภัย ส่งผลให้ผู้สูงอายุเกิดความเครียดสะสมและความวิตกกังวลต่ออนาคต ทั้งในด้านความปลอดภัยของตนเองและการอยู่รอดของบุตรหลาน การรับรู้ถึงภัยคุกคามด้านสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงยิ่งขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความเครียดทางจิตใจในระยะยาว (WHO, 2022) นอกจากนี้ ภัยพิบัติยังสร้างความเครียดทางการเงินโดยการทำลายทรัพย์สิน ที่อยู่อาศัย หรือแหล่งรายได้ เช่น ภาคเกษตรกรรม ทำให้ผู้สูงอายุที่พึ่งพิงรายได้จำกัด เช่น เงินบำนาญ หรือทรัพย์สินส่วนตัว เผชิญความไม่มั่นคงทางเศรษฐกิจและความเครียดที่เพิ่มขึ้น (Lancet, 2023) ผู้สูงอายุจำนวนมากยังประสบความรู้สึกสูญเสียการควบคุมชีวิตจากการสูญเสียสิ่งของมีค่า ความทรงจำ หรือสภาพแวดล้อมที่คุ้นเคย ซึ่งยิ่งเพิ่มความรู้สึกเปราะบางและภาวะวิตกกังวล (Department of Health, 2023)

2) ภาวะซึมเศร้าและความเหงาโดดเดี่ยว (Depression and Social Isolation) เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วเป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญต่อการเกิดภาวะซึมเศร้าและความโดดเดี่ยวทางสังคมในผู้สูงอายุ ผลกระทบทางกายภาพ เช่น โรคระบบทางเดินหายใจจากมลพิษ PM2.5 หรืออาการอ่อนเพลียจากความร้อน อาจทำให้อาการเจ็บป่วยกำเริบ จนต้องจำกัดกิจกรรมทางสังคมและกิจกรรมทางกาย ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพจิตและเพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะซึมเศร้า (Department of Health, 2023) ในช่วงหลังภัยพิบัติ ผู้สูงอายุจำนวนมากต้องเผชิญการอพยพชั่วคราว การสูญเสียโครงสร้างพื้นฐาน หรือการขาดการติดต่อจากเครือข่ายชุมชนดั้งเดิม การสูญเสียการสนับสนุนทางสังคมดังกล่าวทำให้เกิดภาวะความเหงาและความโดดเดี่ยวทางสังคม (social isolation) ซึ่งเป็นปัจจัยกระทบต่อสุขภาพจิตโดยตรง (Lancet, 2023)

3) ผลกระทบต่อการทำงานของสมองและภาวะสมองเสื่อม (cognitive decline) ภาวะอากาศร้อนจัดส่งผลกระทบต่อระบบประสาทและการทำงานของสมอง โดยเฉพาะในผู้สูงอายุที่มีภาวะสมองเสื่อมอยู่ก่อนแล้ว การสัมผัสกับคลื่นความร้อนเป็นเวลานานอาจทำให้ความ

สามารถด้านการรู้คิดลดลง เช่น การประมวลผลข้อมูลและความจำ นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงในเวลากลางคืนส่งผลให้คุณภาพการนอนหลับลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับการเสื่อมถอยของการทำงานด้านความรู้ความเข้าใจ รวมถึงเพิ่มความเปราะบางทางอารมณ์และสุขภาพจิต (Department of Health, 2023; WHO, 2022)

4. แนวทางการรับมือผลกระทบด้านสุขภาพกายและสุขภาพจิตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผู้สูงอายุ

4.1 แนวทางการรับมือผลกระทบด้านสุขภาพกาย ผู้สูงอายุเป็นกลุ่มประชากรที่มีความ เปราะบางสูงสุดต่อผลกระทบทางสุขภาพกายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว แนวทางการรับมือต้องเน้นการป้องกันและการปรับตัวในหลายระดับ ตั้งแต่บุคคลไปจนถึงระบบสาธารณสุขและชุมชน (UNHCR, 2020; Han et al., 2025) ดังนี้

1) การรับมือและป้องกันผลกระทบจากคลื่นความร้อน (heatwaves) คลื่นความร้อนเป็นภัยคุกคามอันดับหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดภาวะฮีทสโตรก ภาวะขาดน้ำ และการกำเริบของโรคหัวใจและหลอดเลือดในผู้สูงอายุ การปรับตัวส่วนบุคคล การดื่มน้ำ ดื่มน้ำสะอาดให้เพียงพอและบ่อยครั้ง แม้จะไม่รู้สึกกระหายน้ำ เนื่องจากกลไกการรับรู้ความกระหายน้ำของผู้สูงอายุลดลง (WHO, 2023a) การจำกัดกิจกรรมควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายหรือทำกิจกรรมหนักกลางแจ้ง ในช่วงเวลาที่อากาศร้อนที่สุด (ระหว่าง 10.00–16.00 น.) (Department of Health, 2023) เสื้อผ้าสวมใส่เสื้อผ้าสีอ่อน หลวม และระบายอากาศได้ดี (Han et al., 2025) การปรับปรุงสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัย ความเย็นควรจัดให้มีเครื่องปรับอากาศหรือพัดลมเพื่อรักษาอุณหภูมิในบ้านให้เหมาะสมและพิจารณาการใช้เทคโนโลยีเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (WHO, 2023a) ศูนย์พักพิงความเย็น ชุมชนและหน่วยงานท้องถิ่นควรจัดตั้งศูนย์พักพิงความเย็น ที่เข้าถึงได้ง่ายในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงผิดปกติ (Kim et al., 2024)

2) การรับมือและป้องกันผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ (air pollution) มลพิษทางอากาศเพิ่มความเสี่ยงต่อการกำเริบของโรคทางเดินหายใจและโรคหัวใจในผู้สูงอายุ การป้องกันส่วนบุคคลโดยการติดตามสถานการณ์ติดตามรายงานคุณภาพอากาศอย่างใกล้ชิด และเรียนรู้การแปลความหมายดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) การลดการสัมผัส เมื่อระดับ PM2.5 สูง ควรงดกิจกรรมกลางแจ้งและอยู่ในอาคารที่ปิดมิดชิด การใช้อุปกรณ์ป้องกัน สวมหน้ากาก N95 เมื่อจำเป็นต้องออกนอกอาคารในบริเวณที่มีมลพิษสูง เนื่องจากหน้ากากอนามัยทั่วไปไม่สามารถกรอง PM2.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Department of Health, 2023) การจัดการในอาคารควรใช้เครื่องฟอกอากาศที่มีแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง ภายในบ้านหรือห้องพักของผู้สูงอายุ (Han et al., 2025)

3) การรับมือและป้องกันจากภัยพิบัติทางน้ำและโรคติดต่อ (floods and infectious diseases) อุทกภัยและความแปรปรวนของน้ำฝนนำไปสู่การบาดเจ็บและเพิ่มความเสี่ยงของโรคติดต่อทางน้ำ ควรมีการเตรียมพร้อมและอพยพแผนฉุกเฉิน จัดทำ แผนการอพยพส่วนบุคคล สำหรับผู้สูงอายุ โดยคำนึงถึงอุปกรณ์การแพทย์ยาที่จำเป็น และความช่วยเหลือพิเศษในการเคลื่อนย้าย การป้องกันการบาดเจ็บ ปรับปรุงสภาพแวดล้อมบ้านให้ปลอดภัยจากความเสี่ยงในการหกล้ม โดยเฉพาะในช่วงที่มีน้ำท่วมขัง (UNHCR, 2020) การเฝ้าระวังโรค สุขอนามัยเน้นย้ำการรักษาความสะอาดของมือและเท้า และระวังการสัมผัสกับน้ำท่วมขังเพื่อป้องกัน โรคฉี่หนูหรือโรคผิวหนัง (Department of Health, 2023) การได้รับวัคซีน ตรวจสอบให้แน่ใจว่าผู้สูงอายุได้รับวัคซีนที่จำเป็นตามกำหนด โดยเฉพาะวัคซีนป้องกันโรคที่มาพร้อมกับน้ำท่วมหรือการเปลี่ยนแปลงของพาหะนำโรค (WHO, 2023b)

4) การบูรณาการในระบบสาธารณสุขและชุมชน (health system integration) การเฝ้าระวังทางคลินิก บุคลากรทางการแพทย์ควร เฝ้าระวัง และให้คำแนะนำผู้สูงอายุที่มีโรคประจำตัว (เช่น โรคหัวใจ เบาหวาน หรือโรคไต) โดยเฉพาะในช่วงที่มีความเครียดจากสภาพอากาศ เพื่อปรับขนาดยาและการดูแลให้เหมาะสม (Han et al., 2025) การแจ้งเตือนภัย พัฒนาระบบเตือนภัยล่วงหน้าที่มีประสิทธิภาพและเข้าถึงได้ง่ายสำหรับผู้สูงอายุ โดยเน้นการสื่อสารที่ชัดเจนเกี่ยวกับความเสี่ยงด้านสุขภาพ (Kim et al., 2024) การฝึกอบรมบุคลากร จัดฝึกอบรมให้แพทย์และพยาบาลตระหนักถึงผลกระทบทางสุขภาพ

ของสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะผลกระทบของความร้อนและมลพิษต่อผู้สูงอายุ (Han et al., 2025)

4.2 แนวทางการรับมือและป้องกันผลกระทบด้านสุขภาพจิต การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพจิตของผู้สูงอายุอย่างเด่นชัด เนื่องจากผู้สูงอายุเป็นกลุ่มที่มีความเปราะบางทั้งด้านสรีรวิทยา สังคม และเศรษฐกิจ ทำให้มีความสามารถในการปรับตัวต่อสถานการณ์ที่รุนแรงลดลง (Han et al., 2025; Kim et al., 2024) แนวทางการรับมือจึงควรครอบคลุมการป้องกัน การเสริมสร้างความเข้มแข็งในระดับบุคคลและชุมชน รวมทั้งการสนับสนุนทางคลินิกอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ แนวทางหลักสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังต่อไปนี้

1) การปรับตัวระดับบุคคลและการดูแลตนเอง (individual and self-care adaptations) การดูแลสุขภาพตนเองเป็นแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบด้านสุขภาพจิตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับผู้สูงอายุ ดังนี้ (1) การจัดการสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัย การปรับสภาพแวดล้อมภายในบ้านให้เหมาะสม เช่น การใช้ระบบกรองอากาศอัตโนมัติเพื่อลดการสัมผัสมลพิษ เนื่องจากมลพิษทางอากาศสัมพันธ์กับการเสื่อมถอยของการรับรู้และความเสี่ยงต่อภาวะซึมเศร้าในผู้สูงอายุ (2) การดูแลสุขภาพกายและพฤติกรรม การรักษาสุขอนามัยการนอน เช่น การนอนและตื่นให้เป็นเวลา หลีกเลี่ยงแสงสีฟ้าจากหน้าจออย่างน้อย 2 ชั่วโมงก่อนนอน รวมถึงการป้องกันภาวะขาดน้ำ และหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งช่วงอากาศร้อนจัด ล้วนมีส่วนช่วยลดความเครียดทางร่างกายและจิตใจ (Han et al., 2025) (3) การส่งเสริมความเข้มแข็งทางใจ การสร้างความรู้สึกมีคุณค่าในตนเอง การส่งเสริมให้ผู้สูงอายุมีโอกาสพัฒนาความสามารถตามศักยภาพ และการมีส่วนร่วมในกิจกรรมที่ตนถนัด เป็นแนวทางสำคัญในการเสริมสร้างพลังใจ (Suwancheep, 2014)

2) การสนับสนุนระดับชุมชนและสังคม (community and social support) ชุมชนมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการลดผลกระทบทางจิตใจในผู้สูงอายุ โดยเฉพาะผู้ที่มีความเสี่ยงต่อภาวะโดดเดี่ยวทางสังคม ดังนี้ (1) การสร้างการมีส่วนร่วมและความหวังผ่านการลงมือทำ การส่งเสริมให้ผู้สูงอายุเข้าร่วมกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อมหรือการเป็นอาสาสมัคร ช่วยลดความรู้สึกไร้อำนาจและสร้างความรู้สึกมีส่วนร่วมในการถ่ายทอดคุณค่าข้ามรุ่น ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพจิต (Orellana et al., 2021) (2) การเรียนรู้ร่วมกันระหว่างรุ่น การจัดกิจกรรมหรือเวทีแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างผู้สูงอายุกับเยาวชน ช่วยลดช่องว่างทางความเข้าใจเกี่ยวกับวิกฤตสภาพภูมิอากาศ และเสริมสร้างความผูกพันทางสังคม (Riegel et al., 2025) (3) การให้กำลังใจและการสื่อสารที่เหมาะสม ชุมชนควรดูแลผู้สูงอายุที่มีความเสี่ยงหรือได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติอย่างใกล้ชิด เนื่องจากผลกระทบทางจิตใจอาจคงอยู่ยาวนานหลายปี (Prudential, 2022) การสื่อสารควรใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย กระชับ และใช้สื่อภาพประกอบ เพื่อให้ผู้สูงอายุรับรู้ข้อมูลและแนวทางการปรับตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Riegel et al., 2025) (4) การจัดทำแผนที่ความเสี่ยงในระดับท้องถิ่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรพัฒนาแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยสำหรับผู้สูงอายุ โดยใช้ข้อมูลภูมิศาสตร์และข้อมูลประชากร เพื่อให้สามารถจัดสรรทรัพยากรและดำเนินมาตรการป้องกันได้ตรงกับความต้องการ (Kim et al., 2024)

3) การแทรกแซงทางคลินิกและระบบ (clinical and systemic interventions) ระบบสาธารณสุขมีบทบาทสำคัญในการป้องกันและดูแลผลกระทบด้านสุขภาพจิตของผู้สูงอายุจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนี้ (1) การคัดกรองและเฝ้าระวังเชิงรุก ควรดำเนินการคัดกรองภาวะซึมเศร้า ความวิตกกังวล และความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพจิตอื่น ๆ ในผู้สูงอายุ โดยเฉพาะกลุ่มที่มีโรคเรื้อรัง รวมถึงผู้สูงอายุติดบ้านหรือติดเตียง (Suwancheep, 2014) (2) การฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์ บุคลากรด้านสุขภาพควรได้รับการเสริมความรู้เกี่ยวกับผลกระทบสุขภาพจิตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้สามารถประเมิน ให้คำปรึกษา และส่งต่อการรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ (3) การรักษาเฉพาะทางการดูแลอาการทางจิตเวชที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น PTSD ในผู้สูงอายุ อาจต้องใช้การบำบัดทางจิตใจร่วมกับการรักษาด้วยยาในบางกรณี (Han et al., 2025; Kim et al., 2024)

สรุปแนวทางการป้องกันการลดผลกระทบต่อสุขภาพกายของผู้สูงอายุ จำเป็นต้องใช้กลยุทธ์ที่ครอบคลุมและบูรณาการระหว่างภาคส่วนต่าง ๆ การเตือนภัยล่วงหน้า การพัฒนาระบบเตือนภัยคลื่นความร้อนและมลพิษทางอากาศที่เข้าถึงง่ายและเข้าใจได้สำหรับผู้สูงอายุ การ

ปรับปรุงสิ่งแวดล้อมมีการจัดตั้ง ศูนย์พักพิงความเย็นในชุมชน และการปรับปรุงที่อยู่อาศัยให้มีระบบระบายอากาศที่ดี การเตรียมความพร้อมด้านสุขภาพการให้ความรู้แก่ผู้สูงอายุและผู้ดูแลเกี่ยวกับการสังเกตอาการเสี่ยง (เช่น ภาวะขาดน้ำ อาการวิงเวียนศีรษะ) การดื่มน้ำให้เพียงพอ และการใช้ยาที่เหมาะสมในช่วงอุณหภูมิสูง การจัดการผลกระทบทางสุขภาพจิตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต้องเน้นที่การฟื้นฟูความเข้มแข็งของชุมชนและการเข้าถึงบริการสุขภาพจิต การสนับสนุนทางสังคมในภาวะวิกฤต สร้างเครือข่ายการดูแลระหว่างผู้สูงอายุด้วยกัน และจัดตั้งทีมสนับสนุนด้านสุขภาพจิตฉุกเฉินในพื้นที่ประสบภัย เพื่อให้ความช่วยเหลือด้านจิตใจเบื้องต้น การสร้างความยืดหยุ่นในชุมชนส่งเสริมกิจกรรมทางสังคมและการมีส่วนร่วมของผู้สูงอายุในชุมชน เพื่อลดความเหงาโดดเดี่ยว และสร้างความรู้สึกเป็นเจ้าของและความสามารถในการควบคุมตนเองกลับคืนมา ความเครียดและความวิตกกังวล การต้องรับมือกับภัยพิบัติซ้ำ ๆ (เช่น น้ำท่วม) ก่อให้เกิดภาวะวิตกกังวลหลังประสบเหตุการณ์สะเทือนขวัญ (PTSD) ความรู้สึกสูญเสียและเศร้าโศก การสูญเสียบ้าน ทรัพย์สิน หรือแหล่งทำมาหากิน นำมาซึ่งความเศร้าโศกและความรู้สึกหมดหนทาง ความสับสนและความบกพร่องทางสติปัญญาในช่วงวิกฤต ผู้สูงอายุที่มีภาวะสมองเสื่อม หรืออัลไซเมอร์อาจมีอาการแย่ลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและกิจวัตรประจำวัน

5. กลไกการปรับตัวและการรับมือในระดับนโยบาย

กลไกการปรับตัวและการรับมือในระดับนโยบายของประเทศไทยต่อประเด็นผู้สูงอายุและสภาพภูมิอากาศ กลไกการปรับตัวและการรับมือในระดับนโยบายของประเทศไทยต่อประเด็นผู้สูงอายุที่เปราะบางต่อสภาพภูมิอากาศนั้น ได้ถูกบูรณาการเข้ากับยุทธศาสตร์ชาติและแผนปฏิบัติการหลัก ๆ โดยเน้นการสร้างความมั่นคง การสร้างความยืดหยุ่น และการดูแลกลุ่มเปราะบาง (Department of Older Persons, 2022; Office of the National Economic and Social Development Council, 2023)

5.1 นโยบายหลักด้านผู้สูงอายุและการเตรียมพร้อม นโยบายหลักได้ถูกขับเคลื่อนผ่านหน่วยงานสำคัญ เพื่อลดความเปราะบางทั้งทางสังคม ชีวภาพ และเศรษฐกิจของผู้สูงอายุ แผนปฏิบัติการด้านผู้สูงอายุแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570) เป้าหมายสร้างหลักประกันความมั่นคงในชีวิตและคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้สูงอายุ โดยเน้นการส่งเสริมความมั่นคงทางรายได้ และการพัฒนาศักยภาพผู้สูงอายุให้เป็นพลังทางเศรษฐกิจ กลไกการดูแล โดยเน้นการพัฒนาระบบการดูแลระยะยาว ในระดับชุมชนผ่านการสนับสนุน ศูนย์พัฒนาคุณภาพชีวิตและส่งเสริมอาชีพผู้สูงอายุ (ศพอส.) เพื่อให้การดูแลสุขภาพกายและจิต รวมถึงการจัดกิจกรรมทางสังคมเพื่อลดความโดดเดี่ยว นโยบายการเตรียมพร้อมรับมือภัยพิบัติในระดับชุมชนโดยการจัดทำแผนที่ความเสี่ยง ส่งเสริมให้ท้องถิ่นและชุมชนจัดทำแผนที่ความเสี่ยงภัยพิบัติ โดยระบุตำแหน่งและจำนวนผู้สูงอายุที่ติดบ้าน/ติดเตียง เพื่อให้สามารถจัดสรรทรัพยากรสำหรับการอพยพและการช่วยเหลือเฉพาะบุคคลได้อย่างรวดเร็ว การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ปรับปรุงสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยและพื้นที่สาธารณะให้เป็น Universal Design และปลอดภัยต่อผู้สูงอายุลดความเสี่ยงจากการหกล้มในช่วงภัยพิบัติ (Department of Older Persons, 2022; Office of the National Economic and Social Development Council, 2023)

5.2 นโยบายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสุขภาพ นโยบายที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศโดยตรงถูกนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบทางสุขภาพกายและจิตในกลุ่มเปราะบาง แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างการเติบโตอย่างยั่งยืนโดยการปรับตัวด้านสุขภาพ มุ่งเน้นการสร้าง ระบบสุขภาพที่ยืดหยุ่นต่อสภาพภูมิอากาศ โดยการพัฒนาและปรับปรุงระบบการเฝ้าระวังและการพยากรณ์โรคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (เช่น โรคที่มาพร้อมกับคลื่นความร้อน หรือโรคติดต่อที่เกิดจากน้ำท่วม) (Office of the National Economic and Social Development Council, 2023) มาตรการเฉพาะสำหรับคลื่นความร้อนและมลพิษทางอากาศ (PM 2.5) ระบบเตือนภัยสุขภาพของกรมควบคุมโรคและกรมอนามัยมีกลไกในการเผยแพร่ ระบบเตือนภัยสุขภาพโดยระบุระดับความเสี่ยงที่ชัดเจนและให้คำแนะนำในการดูแลตนเองสำหรับกลุ่มเสี่ยง เช่น การหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้ง และการเตรียมพร้อมรับมือภาวะขาดน้ำ การจัดตั้งศูนย์พักพิงความเย็น ส่งเสริมให้ท้องถิ่นร่วมมือกับชุมชนในการจัดหาพื้นที่สาธารณะที่มีระบบปรับอากาศเพื่อเป็น

ศูนย์พักพิงชั่วคราว ให้ผู้สูงอายุสามารถเข้าพักในช่วงคลื่นความร้อนสูง (Department of Disease Control, 2023) การบูรณาการด้านสุขภาพจิตการฝึกอบรมบุคลากร มีการส่งเสริมให้บุคลากรสาธารณสุขในระดับปฐมภูมิ มีความรู้ในการคัดกรอง ภาวะความเครียดและความวิตกกังวลต่อสิ่งแวดล้อม ในผู้สูงอายุและประชากรกลุ่มเสี่ยงอื่น ๆ หลังการเผชิญภัยพิบัติ เพื่อให้สามารถให้การปรึกษาเบื้องต้นได้ทันท่วงที (Department of Older Persons, 2022)

5.3 กลไกการขับเคลื่อนและการประสานงาน การทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการความเปราะบางที่ซับซ้อนนี้ กลไกในพื้นที่โดยคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอ (พชอ.) และศูนย์ปฏิบัติการฉุกเฉินด้านสาธารณสุข เป็นกลไกสำคัญในการประสานงานระหว่างหน่วยงานด้านสังคม (พัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์) และสาธารณสุข เพื่อให้การดูแลผู้สูงอายุอย่างเป็นองค์รวมทั้งในภาวะปกติและภาวะฉุกเฉิน (Office of the National Economic and Social Development Council, 2023) การส่งเสริมการมีส่วนร่วมโดยส่งเสริมให้ผู้สูงอายุที่แข็งแรงมีบทบาทในฐานะผู้นำด้านสุขภาพ (health leader) หรืออาสาสมัครดูแลผู้สูงอายุ (อผส.) เพื่อให้เกิดการดูแลกันเองในชุมชนและเป็นเครือข่ายความช่วยเหลือแรกในสถานการณ์ฉุกเฉิน (Department of Older Persons, 2022)

5.4 การพัฒนาระบบเตือนภัยล่วงหน้า การปรับปรุงข้อมูลโดย พัฒนาระบบเตือนภัยที่เฉพาะเจาะจงกับสุขภาพ เช่น การแจ้งเตือนระดับ “อันตราย” สำหรับคลื่นความร้อนที่อิงกับเกณฑ์ความเสี่ยงของผู้สูงอายุ การสื่อสารที่เข้าถึงง่ายโดยใช้ช่องทางการสื่อสารที่หลากหลายและเข้าใจง่าย เช่น โทรศัพท์ อาสาสมัคร วิทยุชุมชน โดยหลีกเลี่ยงการพึ่งพาเทคโนโลยีดิจิทัลเพียงอย่างเดียว

5.5 การสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่ยืดหยุ่น การจัดตั้งศูนย์พักพิงที่ปลอดภัย กำหนดให้ “ศูนย์พักพิงเย็น” หรือศูนย์พักพิงฉุกเฉินมีบริการที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ เช่น ทางลาด ห้องน้ำที่เข้าถึงได้ และการดูแลจากบุคลากรทางการแพทย์ การจัดการเมืองและสิ่งแวดล้อมโดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียว และการปลูกต้นไม้ในเมืองเพื่อลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง

5.6 การเสริมสร้างเครือข่ายทางสังคมและสุขภาพ บทบาทของ อสม. และอาสาสมัคร โดยการสร้างเครือข่ายอาสาสมัครในชุมชน เพื่อเยี่ยมเยียน ตรวจสอบอาการ และช่วยเหลือผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่คนเดียวการปรับปรุงบริการสุขภาพปฐมภูมิโดยการฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์ให้มีความรู้เรื่องโรคที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการจัดทำแผนเผชิญเหตุสำหรับสถานพยาบาล (Huanbutta et al., 2023, Kaewanun & Maneeseang, 2021)

บทสรุป

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีอยู่ 2 สาเหตุหลัก คือ จากการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติเอง และเกิดจากฝีมือมนุษย์ ทั้ง 2 ปัจจัยเป็นตัวเร่งทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพผู้สูงอายุ เป็นภัยคุกคามที่เป็น “วิกฤตสุขภาพที่มองไม่เห็น” อันเนื่องมาจากความเปราะบางทางชีวภาพประกอบกับข้อจำกัดด้านสังคมและเศรษฐกิจที่ทำให้การปรับตัวต่อความเสี่ยงทำได้ยากกว่ากลุ่มประชากรอื่น การรับมือกับปัญหานี้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยแนวทางแบบองค์รวมที่บูรณาการนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม สาธารณสุข และสวัสดิการสังคมเข้าไว้ด้วยกันข้อเสนอแนะเชิงนโยบายระยะยาว การบูรณาการข้อมูลสนับสนุนการวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองความเสี่ยงเฉพาะพื้นที่ โดยนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศมาเชื่อมโยงกับข้อมูลสุขภาพของผู้สูงอายุ การลงทุนในนวัตกรรมสนับสนุนนวัตกรรมที่เป็นมิตรต่อผู้สูงอายุและสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบระบายความร้อนพลังงานต่ำ และที่อยู่อาศัยที่ยืดหยุ่นต่อสภาพอากาศ การส่งเสริมความเท่าเทียมกำหนดให้การช่วยเหลือในช่วงภัยพิบัติมีการจัดสรรทรัพยากรที่เท่าเทียมและมุ่งเป้าไปยังผู้สูงอายุที่มีความเปราะบางสูงสุดก่อนการปกป้องผู้สูงอายุจากวิกฤตสภาพภูมิอากาศมิใช่เพียงการดูแลด้านสุขภาพเท่านั้น หากยังเป็น “พันธกิจทางจริยธรรม” ของสังคมที่มุ่งสร้างความเป็นธรรมและความยืดหยุ่นในระดับโครงสร้าง การลงทุนในมาตรการเชิงนโยบายเหล่านี้จะเป็นรากฐานสำคัญในการสร้างสังคมที่พร้อมรับมือกับความท้าทายในอนาคตและไม่ทิ้งกลุ่มเปราะบางไว้ข้างหลัง

References

American Lung Association. (2023). *State of the air 2023.* https://www.lung.org/research/sota

Centers for Disease Control and Prevention. (2022). *Diseases carried by vectors*. https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/vectors.htm

Champar-ngam, N. (2020). Micro plastics: Problems in water source ecosystems [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 14*(2), 25–39. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/240856

Champar-ngam, N., & Puttaso, P. (2021). Municipal solid waste management [in Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 15*(2), 75–89. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/248487

Cianconi, P., Betrò, S., & Janiri, L. (2020). The impact of climate change on mental health: A systematic descriptive review. *Frontiers in Psychiatry, 11*, 74. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00074

De Leo, D., Zammarrelli, J., Meda, N., Spisto, S., Paone, F., Carrozzino, J., & Viecelli, M. A. (2026). Impact of climate change on older adults: A systematic literature review. GeroPsych: *The Journal of Gerontopsychology and Geriatric Psychiatry, 39*(1), 25–46. https://doi.org/10.1024/1662-9647/a000357

Department of Disease Control. (2023). *Surveillance and investigation manual for leptospirosis* [In Thai]. Ministry of Public Health.

Department of Disease Control. (2024). *Measures to prevent health effects from heat waves and high temperatures for risk groups* [In Thai]. Ministry of Public Health.

Department of Health. (2023). *Guidelines for monitoring health impacts from air pollution and PM 2.5 for older persons* [In Thai]. Ministry of Public Health.

Department of Older Persons. (2022). *The national plan for older persons, phase 3 (B.E. 2566 – 2570)* [In Thai]. Ministry of Social Development and Human Security.

Department of Older Persons. (2025). *General information on older persons: Elderly statistics April 2025* [In Thai]. Ministry of Social Development and Human Security.

Food and Agriculture Organization, International Fund for Agricultural Development, UNICEF, World Food Programme, & World Health Organization. (2023). *The state of food security and nutrition in the world 2023*. https://doi.org/10.4060/cc0639en

Han, D., Lu, J., & Zhou, Y. (2025). The impact of climate change on older adults' mental health: A primer for clinicians. *OBM Geriatrics, 7*(4), 1–20. https://doi.org/10.21926/obm.geriatr.2304254

Huanbutta, T., Addjanagitti, P., Sangnim, T., & Huanbutta, K. (2023). Medical food for older adults: Diseases concerning malnutrition [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(1), 1–14. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/258035

Huang, C., Sirikul, W., & Buawangpong, N. (2025). Social frailty in community-dwelling older adults: A scoping review. *BMC Geriatrics, 25*(1), 329. https://doi.org/10.1186/s12877-025-05971-0

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press.

Kaewanun, C., & Maneeseang, W. (2021). Mental health care for the elderly: For public health personnel [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 15*(2), 90–101. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/248494

Kim, D. H., & Rockwood, K. (2024). Frailty in older adults. *The New England Journal of Medicine, 391*(6), 532–543. https://doi.org/10.1056/NEJMra2301292

Kim, H., Chen, L., & Miller, J. (2024). Climate crisis risks to elderly health: Strategies for effective promotion and response. *Health Promotion International, 39*(2), daae033. https://doi.org/10.1093/heapro/daae033

Lancet. (2023). The health of older people and climate change. *The Lancet, 401*(10375), 450. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)00267-3

Liu, Z., & Yang, J. (2024). Research progress on frailty in elderly people. *Clinical Interventions in Aging, 19*, 1493–1505. https://doi.org/10.2147/CIA.S474547

The MATTER. (2024). *Eco-anxiety: Chronic anxiety that comes with the climate crisis* [In Thai]. https://thematter.co/social/what-is-eco-anxiety/84880

Melo, B. R. S., Diniz, M. A. A., Casemiro, F. G., Figueiredo, F. W. D. S., Santos-Orlandi, A. A., & Gratão, A. C. M. (2020). Frailty and sociodemographic and health factors, and social support network in the Brazilian elderly: A longitudinal study. *Revista Latino-Americana de Enfermagem, 28*, e3348. https://doi.org/10.1590/1518-8345.3683.3348

National Health Commission Office. (2025). *Reversing the role of older persons from vulnerable groups to economic creators: Consumption expenditure expected to exceed 3.5 trillion baht* [In Thai]. https://www.nationalhealth.or.th/NHCO/168

National Statistical Office. (2024). *The 2024 survey of the older persons in Thailand* [In Thai].

Nuchpanich, W., Maneewan, S., Wongwattanakit, K., & Jiamjarasrangsi, W. (2022). Severity of frailty using modified Thai frailty index, social factors, and prediction of mortality among community-dwelling older adults in a middle-income country [In Thai]. *Frontiers in Medicine, 9*, 885686. https://doi.org/10.3389/fmed.2022.885686

Office of the National Economic and Social Development Council. (2023). *Master Plan under the National Strategy (B.E. 2561-2580)* [In Thai] (Rev. ed.). https://www.nesdc.go.th/nscr/masterplan-plans/

Orellana, K., Vasile, A., & Lee, W. (2021). Climate change and mental health of older persons: A human rights imperative. *Innovation in Aging, 5*(Suppl 1), 897–898. https://doi.org/10.1093/geroni/igab046.3268

Patil, M., & Jeffery, K. J. (2020). What does climate change mean for occupational health professionals? *Occupational Medicine, 70*(6), 386–388. https://doi.org/10.1093/occmed/kqaa132

Policy Watch & Thai PBS. (2025). *Reasons for creating an elderly economy because Thailand's super-aged society is frightening* [In Thai]. Thai PBS. https://www.trueplookpanya.com/blogdiary/1570

Prudential. (2022). *Tips for coping with mental health from climate change*. https://www.prudential.co.th/corp/prudential-th/th/we-do-pulse/health-wellness/eco-anxiety/

Riegel, T., Smith, A., & Jones, B. (2025). Investigating older adults' response to climate change. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 22*(2), 154. https://doi.org/10.3390/ijerph22020154

Rocklöv, J., & Dubrow, R. (2020). Climate change: An enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. *Nature Immunology, 21*(5), 479–483. https://doi.org/10.1038/s41590-020-0648-y

Romanello, M., McGushin, A., Di Napoli, C., Drummond, P., Hughes, N., Jamart, L., & Hamilton, I. (2021). The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Code red for a healthy future. *The Lancet, 398*(10311), 1619–1662. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6

SDG Move. (2021, October 1). *Eco-anxiety: When climate change affects mental health and the younger generation* [In Thai]. https://www.sdgmove.om/2021/10/01/eco-anxiety-climate-change-mental-health/

Suwancheep, S. (2014). *Guidelines for mental health promotion and prevention of mental health problems in the elderly for community hospitals and sub-district health promotion hospitals* [In Thai]. Department of Mental Health.

Thailand Greenhouse Gas Management Organization. (2021). *Annual report 2021* [In Thai].

United Nations High Commissioner for Refugees. (2017). *Climate change and disaster displacement*. https://www.unhcr.org/sites/default/files/legacy-pdf/5975e6cf7.pdf

United Nations High Commissioner for Refugees. (2020). *Climate change and disaster displacement: Understanding the protection needs of older people*. https://www.unhcr.org/6007b8974.pdf

World Health Organization. (2021). *COP26 special report on climate change and health: The health argument for climate action*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240036727

World Health Organization. (2022). *Climate change and health: Vulnerable groups and older people*. https:www.who.int/publications/i/item/9789240051287

World Health Organization. (2023a). *Protecting health from climate change: Recommendations for health systems strengthening*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240065090

World Health Organization. (2023b). *Climate change and vaccine-preventable diseases: A framework for action*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240078021

World Health Organization. (2023c). *Risk pathways: Climate change and health*. https://cdn.who.int/media/images/default-source/health-and-climate-change/risk-pathways-climate-health.jpg?sfvrsn=3ba050b0_6



การกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีไอโอที
Essential Oil Distillation System Using Solar Cells and Internet of Things Technology

พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ[1] ประภาพร กุลลิ้มรัตนชัย[2] และณัฐพงศ์ เมืองจันทร์[1]
Pongsawat Kotchapoom[1], Prapaporn Kullimratchai[2] and Nuttapong Muangchan[1]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Engineering, Eastern Asia University
[2]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[2]School of Information Technology, Eastern Asia University
Received: November 30, 2025
Revised: February 25, 2026
Accepted: March 5, 2026

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยี Internet of Things: IoTเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุนพลังงาน และยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอ กระบวนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยแบบดั้งเดิมต้องใช้พลังงานความร้อนในปริมาณสูง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะเมื่อใช้เตาไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน การนำระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (on-grid) มาใช้งานจึงมีบทบาทสำคัญในการลดภาระค่าไฟฟ้า พร้อมยังช่วยลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับแนวคิดการผลิตอย่างยั่งยืน จากการศึกษาพบว่าระบบกลั่นที่ผสานพลังงานทดแทนและ IoT สามารถลดเวลาในการกลั่นได้ประมาณ 32% และลดความต้องการแรงงานได้มากกว่า 66.7% เมื่อเทียบกับกระบวนการควบคุมแบบดั้งเดิม อีกทั้งการใช้พลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบหลัก ทำให้ต้นทุนพลังงานลดลงและกระบวนการผลิตมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

คำสำคัญ: การกลั่นน้ำมันหอมระเหย เซลล์แสงอาทิตย์ ไอโอที

Abstract

The development of an essential oil distillation system that integrates renewable energy from solar cells with Internet of Things: IoT technology aims to enhance production efficiency, reduce energy costs, and improve the consistency of product quality. Traditional essential oil distillation requires a high amount of thermal energy, resulting in continuously rising production expenses, particularly when electric stoves are used as the primary heat source. Implementing an on-grid solar power generation system therefore plays a crucial role in reducing electricity consumption, decreasing dependence on fossil fuels, and minimizing environmental impacts, aligning with the principles of sustainable production. The study found that the distillation system integrating renewable energy and IoT was able to reduce distillation time by approximately 32% and decrease labor requirements by more than 66.7% compared with conventional control processes. In addition, the use of solar renewable energy reduced dependence on grid electricity, resulting in lower energy costs and a more environmentally friendly production process.

Keywords: essential oil distillation, solar cells, Internet of Things

บทนำ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเสนอแนวทางการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยร่วมกับเทคโนโลยี IoT ในการควบคุมกระบวนการกลั่น โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ระดับของเหลว และการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์

น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเซลล์ของพืช ลักษณะเด่นของมันก็คือ มีกลิ่นระเหยได้ง่ายแม้ในอุณหภูมิปกติ ซึ่งกลิ่นดังกล่าวไม่จำเป็นต้องหอมเสมอไป น้ำมันหอมระเหยจะสะสมอยู่ในผนังเซลล์ เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเจริญเติบโตของพืช ทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันตัวเอง รักษาแผลหรือป้องกันการระเหยของน้ำ รวมทั้งใช้ไล่แมลงที่เป็นศัตรู และล่อแมลงเพื่อช่วยในการผสมพันธุ์ น้ำมันหอมระเหยอาจจะอยู่ภายในส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช ไม่ว่าจะเป็นราก ใบ ดอก เปลือก หรือเมล็ดก็ได้ ซึ่งน้ำมันที่ได้ส่วนใหญ่จะใส มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่ไม่ละลายน้ำ น้ำมันหอมระเหยจากพืชเหล่านี้มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรม น้ำหอม สารแต่งกลิ่น เพื่อให้เกิดความพึงพอใจแก่ผู้บริโภค น้ำมันและกลิ่นหอมเหล่านี้เราเรียกรวมกันว่า เครื่องหอม (Kritsadee et al., 2023; Sittiritkawin et al., 2023)

น้ำมันหอมระเหยมีประโยชน์ในการ ช่วยผ่อนคลาย ลดความเครียด ปรับอารมณ์ และส่งเสริมคุณภาพการนอน โดยมีงานวิจัยหลายฉบับยืนยันผลด้านจิตใจและอารมณ์ เช่น Lavender essential oil ช่วยปรับคุณภาพการนอนและลดความวิตกกังวล และยังมีฤทธิ์ต้านจุลชีพ ต้านอนุมูลอิสระ สามารถประยุกต์ใช้ในอาหาร เครื่องสำอาง หรือผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพได้ โดยไม่มีรายงานผลข้างเคียงรุนแรงจากการใช้งาน และการสูดดมน้ำมันหอมระเหยบางชนิด ทำให้ผู้ใช้รู้สึกกระปรี้กระเปร่า สดชื่น คลื่นสมอง (EEG) เปลี่ยนแปลงไปในทางที่สะท้อนความตื่นตัว ผ่อนคลาย โดยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันหอมระเหย (Phasithpakakul & Somwong, 2022; Nuiden, 2019)

ฤทธิ์แบบทางชีวภาพ ต้านอนุมูลอิสระ ฆ่าเชื้อ ต้านจุลชีพ มีงานศึกษาจากประเทศไทยพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรหลายชนิด เช่น กานพลู ต้นชา กระชาย และยูคาลิปตัส มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อจุลชีพ เช่น Clove essential oil หรือ Tea Tree essential oil

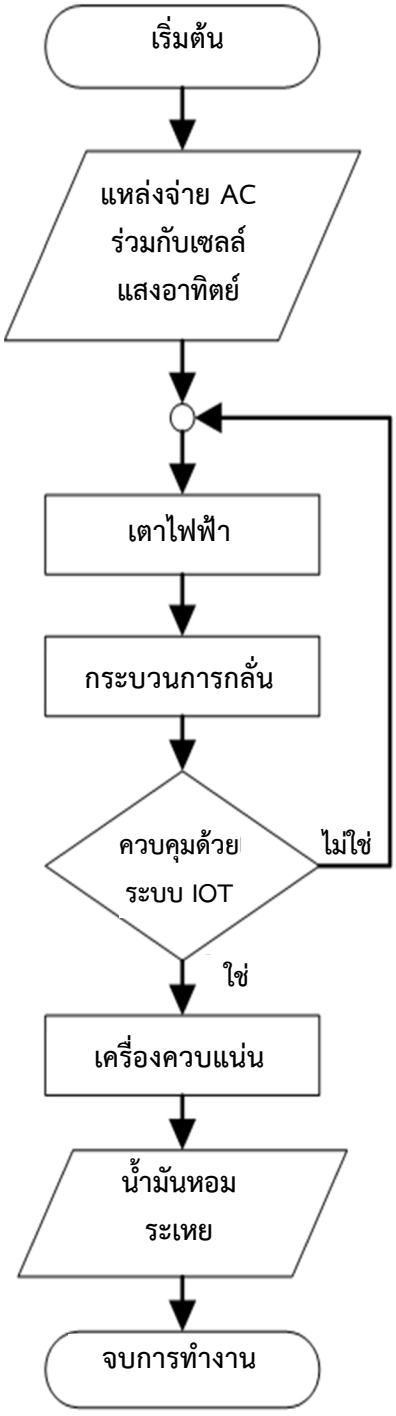
หรือน้ำมันจากพืชไทยอื่น ๆ รวมถึง Eucalyptus essential oil ฯลฯ พบว่า มีความสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อราบางชนิด และแสดงฤทธิ์ antioxidant ด้วย ซึ่งอาจมีศักยภาพทางสารชีวภาพที่นำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพ สุขอนามัย อาหาร และเครื่องสำอางได้ (Srifuengfung et al., 2019)

ใช้ในบริบทเชิงบำบัดเสริม น้ำมันหอมระเหย หรือการ aromatherapy กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น ในฐานะ การบำบัดเสริม (complementary) ควบคู่กับการแพทย์แผนปัจจุบัน กลิ่นหอมจากน้ำมันหอมระเหย และ therapy ซึ่งหมายถึงการบำบัด ดังนั้นจึงหมายความถึงศาสตร์ของการใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชเพื่อส่งเสริมให้สุขภาพจิตและสุขภาพกายให้ดีขึ้น และมีชื่อเป็นทางการคือ คันธบำบัด จัดได้ว่าเป็นศาสตร์เก่าแก่ของโลก (Vora et al., 2024)

ความหลากหลายของการใช้จากสุขภาพถึงอุตสาหกรรม น้ำมันหอมระเหยนอกจากจะใช้ใน aromatherapy หรือสปา แล้วยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลาย เช่น อาหารและเครื่องดื่ม (เป็นสารแต่งกลิ่น รส) เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดดูแลบ้าน สินค้าอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับกลิ่น และแม้แต่ผลิตภัณฑ์สัตว์เลี้ยงอาหารสัตว์ (Reddy et al., 2025)

ประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์กับการกลั่นแบบทั่วไปได้รับการประเมินจากปริมาณผลผลิต คุณภาพทางเคมีของสารประกอบ การใช้พลังงาน และความคุ้มค่า พบว่า ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ให้ผลผลิตน้ำมันและองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับระบบทั่วไป สามารถลดต้นทุนด้านพลังงาน ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง ระบบดังกล่าวจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตในระดับเกษตรกรและขนาดเล็ก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์สูง ระบบกลั่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าในการสกัดน้ำมันหอมระเหย อีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Afzal et al., 2017; Singh et al., 2020)

โดยสรุปน้ำมันหอมระเหยมีศักยภาพที่จะช่วยส่งเสริมสุขภาพจิต ผ่อนคลาย ลดความเครียดความกังวล และอาจมีฤทธิ์ทางชีวภาพ (ต้านเชื้อ ต้านอนุมูลอิสระ) และเนื่องจากมีการขยายตัวทางตลาดและความต้องการในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ จึงมีโอกาสเติบโตอีกมากในอนาคต ทั้งในสินค้าประเภท wellness เครื่องสำอาง สปา ผลิตภัณฑ์สุขภาพ และอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม หากพัฒนากระบวนการกลั่นให้มีคุณภาพและมีระบบควบคุมที่ทันสมัยจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและลดต้นทุนในการผลิตได้ ดังนั้นผู้เขียนจึงออกแบบการกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยีไอโอที ดังภาพ 1



ภาพ 1 ผังกระบวนการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

การสกัดน้ำมันหอมระเหย

การสกัดน้ำมันหอมระเหยเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ดึงเอาสารหอมระเหยตามธรรมชาติจากพืช เช่น ดอกไม้ ใบ เปลือก หรือผลไม้ เพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน รวมถึงการบำบัดด้วยกลิ่น (aromatherapy) เครื่องสำอาง และอาหาร ความแตกต่างของวิธีสกัดมีผลต่อกลิ่น คุณภาพ และปริมาณน้ำมันที่ได้อย่างมาก จึงมีการพัฒนาวิธีสกัดหลายรูปแบบเพื่อตอบโจทย์วัตถุดิบที่หลากหลาย

เทคนิคการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร โดยครอบคลุมทั้งวิธีดั้งเดิม เช่น steam distillation และ hydro-distillation รวมถึงเทคโนโลยีขั้นสูง เช่น microwave-assisted และ supercritical fluid extraction ซึ่งช่วยเพิ่มผลผลิตและลดเวลาในการสกัด งานวิจัยได้ประเมินสมรรถนะของแต่ละเทคนิคในด้านประสิทธิภาพ พลังงาน และคุณภาพของน้ำมัน พร้อมทั้งวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในมุมมองเชิงเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองจลนพลศาสตร์และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการต่าง ๆ โดยสรุปพบว่า เทคนิคสมัยใหม่มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูง ใช้พลังงานน้อย และเหมาะกับการพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมมากกว่าวิธีแบบดั้งเดิม

การสกัดน้ำมันหอมระเหยมีหลายวิธีการ ดังต่อไปนี้ Ministry of Public Health (2005)

1. การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation)

น้ำมันหอมะเหยเกือบทั้งหมดมักจะสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยในระหว่างการกลั่นส่วนของพืชจะสัมผัสไอน้ำจนกระทั่งน้ำมันหอมระเหยจะระเหยไปเพราะถูกความร้อน น้ำมันหอมระเหยที่ระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ เมื่อผ่านไปยังท่อหล่อเย็น จะทำให้ทั้งน้ำมันและไอน้ำ กลั่นตัวกลายเป็นของเหลว และหยดตกลงมาในภาชนะรองรับโดยน้ำมันจะลอยเป็นชั้นอยู่ด้านบน ส่วนชั้นล่างเป็นน้ำ ทำให้สามารถแยกเอาน้ำมันออกได้ อย่างไรก็ตามการกลั่นด้วยไอน้ำควรจะทราบ ความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการกลั่นที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิด

2. การบีบเย็น (cold pressed)

การบีบเย็นเป็นกระบวนการสกัดเอาน้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดี เพราะไม่ถูกความร้อน เช่น ในกรณีของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้ม จะทำได้โดยผ่านเอาผิวส้มมาบีบ จากนั้นจึงกรองหรืออาจจะเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกเอาน้ำมันซึ่งอยู่ส่วนบนออกมา ต้องระวังในการเลือกวัตถุดิบเนื่องจากปัจจุบันมีการฉีดยาฆ่าแมลงที่ผลส้มอาจจะติดอยู่ได้ ดังนั้นต้องหลีกเลี่ยงวัตถุดิบแบบนี้ ควรหันมาใช้ส้มที่ไม่มีการใช้ยาฆ่าแมลง

3. การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (supercritical CO_2 extraction)

มีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวในการสกัดน้ำมันหอมระเหยออกจาก สมุนไพรแห้ง เช่น ขิง และ ผักชี โดยการสกัดจะทำภายใต้ความดัน

4. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction/absolutes)

การสกัดแบบนี้จะสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เหมาะกับดอกไม้ที่บอบบางและไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง ยกตัวอย่างเช่น มะลิ และกุหลาบ โดยการนำดอกไม้ใส่ลงในตัวสารละลายอินทรีย์ เช่น เฮ็กเซน และทิ้งไว้ระยะหนึ่งจากนั้นจึงนำมากรองแยกเอาชั้นเฮ็กเซนออกมาและระเหยทิ้งไป จากนั้นนำส่วนที่เหลือมาละลายด้วยแอลกอฮอล์ เพื่อแยกส่วนของไข (wax) ออกไป นำส่วนแอลกอฮอล์ที่ได้ระเหยแอลกอฮอล์ออกไปก็จะได้น้ำมันหอมระเหย ซึ่งอาจจะมีแอลกอฮอล์ปนอยู่เล็กน้อย

ซึ่งได้แสดงการเปรียบเทียบเทียบข้อดี–ข้อเสียของวิธีสกัดน้ำมันหอมระเหยแต่ละวิธี ดังตาราง 1

ตาราง 1

เปรียบเทียบข้อดี–ข้อเสียของการสกัดน้ำมันหอมระเหย ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ การบีบเย็น การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว และการสกัดด้วยตัวทำละลาย

วิธีสกัด	ข้อดี	ข้อเสีย
1. การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation)	• ได้น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ ไม่มีสารตัวทำละลายตกค้าง • ใช้กับพืชส่วนใหญ่ได้ดี • ต้นทุนการผลิตไม่สูง	• ความร้อนอาจทำให้สารบางชนิดเสื่อมสภาพ • บางพืชให้น้ำมันน้อย หรือกลิ่นเพี้ยนเมื่อโดนความร้อน
2. การบีบเย็น (cold pressed)	• ได้กลิ่นธรรมชาติครบถ้วน สดใกล้เคียงวัตถุดิบ • ไม่มีความร้อน จึงรักษาสารสำคัญได้ดี	• ใช้ได้กับผลไม้เปลือกหนาเท่านั้น (เช่น ส้ม มะนาว) • ออกซิไดซ์ง่าย เก็บรักษายากกว่า
3. การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (supercritical CO_2 extraction)	• ได้สารหอมและองค์ประกอบใกล้เคียงพืชจริงที่สุด • คุณภาพสูงกว่า steam distillation ไม่มีสารตัวทำละลายตกค้าง	• ต้นทุนสูง ใช้อุปกรณ์ความดันสูง • ทำให้ราคาน้ำมันสูงตาม
4. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction/absolutes)	• ให้กลิ่นเข้มข้นและใกล้เคียงดอกไม้จริงมากที่สุด • เหมาะสำหรับดอกไม้ที่กลั่นไม่ได้ เช่น มะลิ กุหลาบบางพันธุ์	• อาจมีสารทำละลายตกค้าง เช่น Hexane • ไม่เหมาะกับงานบำบัด (aromatherapy) ในบางกรณี • ราคาแพง

บทความนี้จะกล่าวถึงกระบวนการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์และเชิงอุตสาหกรรม ความโดดเด่นของวิธีนี้คือสามารถสกัดน้ำมันได้อย่าง บริสุทธิ์ ปลอดภัย และคงคุณภาพของสารสำคัญในพืชได้ดี โดยไม่ต้องใช้ตัวทำละลายเคมีใด ๆ จึงไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้หรือทำให้คุณภาพน้ำมันลดลง นอกจากนี้ ไอน้ำยังช่วยลดจุดเดือดของน้ำมันหอมระเหย ทำให้สารหอมที่ไวต่อความร้อนไม่ถูกทำลายเหมือนการต้มด้วยน้ำเดือดตามปกติ สามารถใช้ได้กับพืชหลากหลายชนิด ตั้งแต่ใบ ดอก เปลือก ไปจนถึงรากและเมล็ดของสมุนไพร ทำให้เป็นวิธีที่ยืดหยุ่นและเหมาะสมกับการผลิตในทุกระดับ ทั้งงานวิจัย งานหัตถกรรม และอุตสาหกรรมใหญ่ ขณะเดียวกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นก็มีต้นทุนไม่สูง และสามารถควบคุมกระบวนการได้ง่าย เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยวิธีการอื่น

กระบวนการกลั่นด้วยไอน้ำ

Klinboon (2018) ได้กล่าวไว้ว่า เป็นการแยกของเหลวผสมที่มีองค์ประกอบสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยใช้หลักการที่ว่าสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการระเหยเป็นไอได้ไม่เท่ากัน ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เมื่อให้ความร้อนจนของเหลวผสมกลายเป็นไอบางส่วน แล้วนำไอนั้นไปควบแน่นกลับให้เป็นของเหลว จะได้ของเหลวผสมหลังควบแน่นที่มีส่วนผสมแตกต่างจากของเหลวก่อนการกลั่น ด้วยเหตุนี้การกลั่นจึงสามารถใช้ในการทำให้ของเหลวมีความบริสุทธิ์ขึ้น หรือใช้แยกของเหลวผสมออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ได้การกลั่นน้ำมันหอมระเหยปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 วิธี คือ

1. การกลั่นด้วยน้ำร้อน (water distillation และ hydro-distillation)

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย การกลั่นโดยวิธีนี้พืชที่ใช้กลั่นต้องจุ่มอยู่ในน้ำเดือดทั้งหมด อาจพบพืชบางชนิดเบา อาจจะลอยได้แล้วแต่ความถ่วงจำเพาะของพืชนั้น ข้อควรระวังในการกลั่นโดยวิธีนี้คือ โดยมากพืชจะได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอตรงกลางจะได้มากกว่าด้านข้าง จะทำให้เกิดการไหม้ของพืช ซึ่งส่งผลให้เกิดกลิ่นไหม้ปนมากับน้ำมันหอมระเหยและมีสารไม่พึงประสงค์ติดมาในน้ำมันหอมได้

2. การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation)

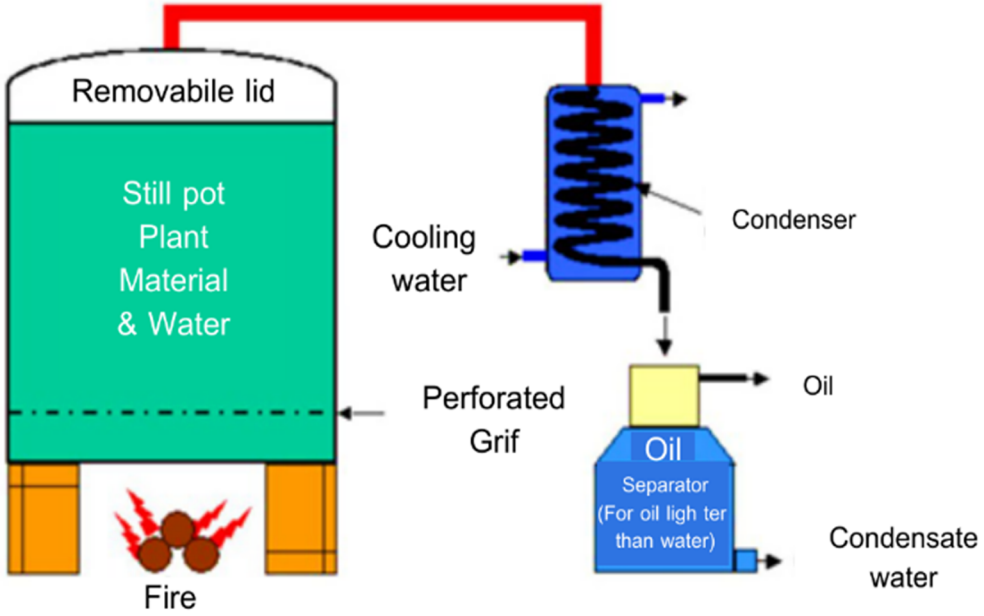
การกลั่นโดยวิธีนี้ ใช้ตะแกรงกรองที่จะกลั่น ให้เหนือระดับน้ำในหม้อกลั่น ต้มให้เดือด ไอน้ำจะลอยตัวขึ้นไปผ่านพืชหรือตัวอย่างที่จะกลั่น ส่วนน้ำจะไม่ถูกกับตัวอย่างเลย ไอน้ำจากน้ำเดือดเป็นไอน้ำที่อิ่มตัว หรือเรียกว่า ไม่ร้อนจัด เป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุด คุณภาพของน้ำมันออกมาดีกว่าวิธีแรก การกลั่นแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยทางการค้า (Neelapong et al., 2018)

3. การกลั่นด้วยไอน้ำ (direct steam distillation)

วิธีนี้วางของอยู่บนตะแกรงในหม้อกลั่น ซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ไอน้ำภายนอกที่อาจจะเป็นไอน้ำเปียก หรือไอน้ำร้อนจัดแต่ความดันสูงกว่าบรรยากาศ ส่งไปตามท่อได้ตะแกรง ให้ไอผ่านขึ้นไปถูกกับของบนตะแกรงไอน้ำต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะช่วยให้น้ำมันแพร่ระเหยออกมาจากพืชของการกลั่น วิธีนี้คือ สามารถกลั่นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเอาพืชใส่หม้อกลั่นไม่ต้องเสียเวลารอให้ร้อน ปล่อยไอร้อนเข้าไปได้เลย ปริมาณของสารที่ใช้น้ำกลั่นก็ได้มาก ปริมาณทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยมาก (Sittiritkawin et al., 2023)

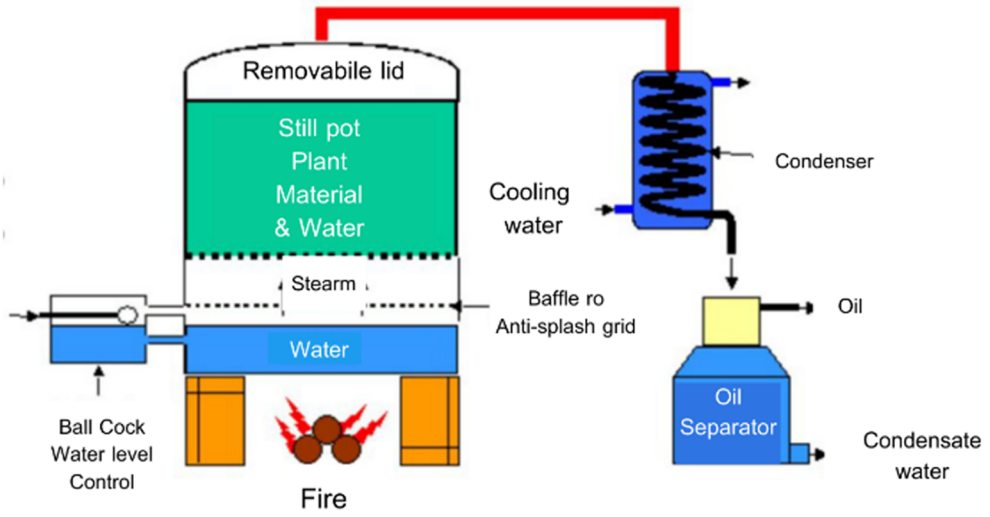
แผนภาพจำลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ดังแสดงในภาพ 2-4 และการเปรียบเทียบเทียบข้อดี–ข้อเสียของแต่ละวิธี ดังตาราง 2

บทความนี้จะกล่าวถึงการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง (direct steam distillation) เป็นวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยที่ให้คุณภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการกลั่นรูปแบบอื่น เนื่องจากพืชไม่สัมผัสกับน้ำเดือดโดยตรง แต่ใช้ไอน้ำที่ผลิตจากหม้อต้มภายนอกส่งผ่านเข้ามายังถังบรรจุวัตถุดิบ ไอน้ำจะพาสารหอมระเหยออกไปสู่ระบบควบแน่น ทำให้ได้กลิ่นและองค์ประกอบของน้ำมันที่ใกล้เคียงกับพืชจริงมากที่สุด อีกทั้งยังช่วยป้องกันการไหม้ การสุก หรือการเสื่อมสภาพของสารสำคัญที่ไวต่อความร้อน จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับพืชประเภทใบ ดอก เปลือก และสมุนไพรหลากหลายชนิด การกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรงเป็นวิธีมาตรฐานที่โรงงานผลิตน้ำมันหอมระเหยนิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม เพราะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอสูงกว่าวิธีอื่น



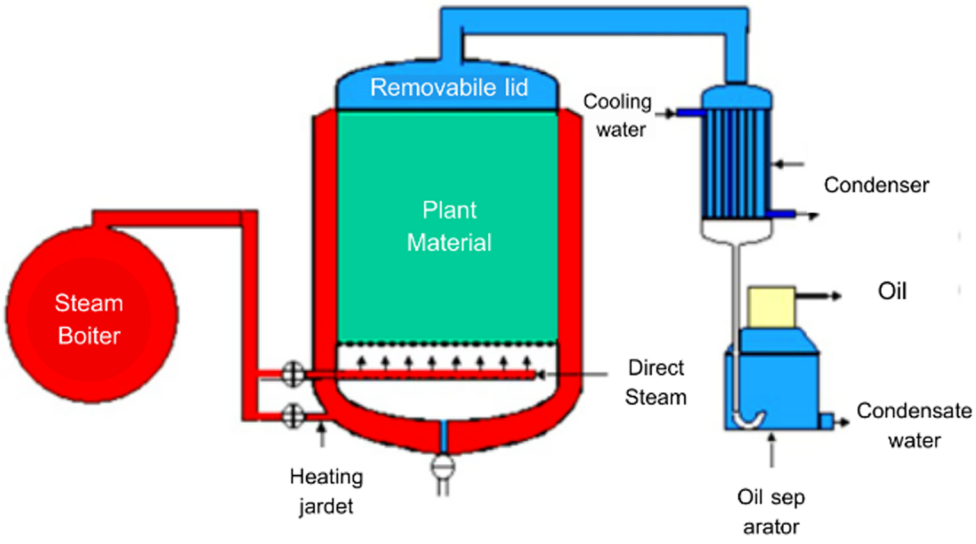
ภาพ 2 แผนภาพจำลองการกลั่นด้วยน้ำร้อน (water distillation)

Note. From "*Water distillation, water and steam distillation and Direct steam distillation*," by AYUB R & D, 2006 (https://ayublab.com/extraction). Copyright 2006 by AYUB R & D.



ภาพ 3 แผนภาพจำลองขั้นตอนการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation)

Note. From "*Water distillation, water and steam distillation and Direct steam distillation*," by AYUB R & D, 2006 (https://ayublab.com/extraction). Copyright 2006 by AYUB R & D.



ภาพ 4 แผนภาพจำลองการกลั่นด้วยไอน้ำ (direct steam distillation)

Note. From "*Water distillation, water and steam distillation and Direct steam distillation*," by AYUB R & D, 2006 (https://ayublab.com/extraction). Copyright 2006 by AYUB R & D.

ตาราง 2

เปรียบเทียบข้อดี–ข้อเสียของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ และการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง

วิธีการกลั่น	ข้อดี	ข้อเสีย
1. การกลั่นด้วยน้ำร้อน (water distillation และ hydro-distillation)	• อุปกรณ์ง่าย ใช้ต้นทุนต่ำ • เหมาะกับพืชแห้งหรือแข็ง เช่น ราก เปลือก • ให้กลิ่นเข้มข้น	• ความร้อนสูงทำลายสารสำคัญได้ง่าย • พืชสัมผัสน้ำ ทำให้เกิดการไหม้ หรือสุก หรือกลิ่นเพี้ยน • บางชนิดให้ผลผลิตต่ำ
2. การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water & steam distillation)	• ลดการไหม้ของพืชเมื่อเทียบกับแบบต้ม • ได้คุณภาพดีขึ้นกว่าวิธี hydro-distillation • เหมาะกับพืชที่ไวต่อความร้อนปานกลาง	• คุณภาพยังสู้ direct steam ไม่ได้ • บางส่วนของพืชยังสัมผัสน้ำ อาจเกิดกลิ่นสุก • การกลั่นช้าและใช้พลังงานมากกว่าวิธีที่ 3
3. การกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง (direct steam distillation)	• คุณภาพน้ำมันดีที่สุดใน 3 วิธี • รักษากลิ่นและสารสำคัญได้ดี เพราะพืชไม่สัมผัสน้ำเดือด • เหมาะกับพืชหลายชนิด ทั้งดอก ใบ และสมุนไพร • เป็นวิธีที่ใช้อุตสาหกรรมมากที่สุด	• อุปกรณ์ซับซ้อนกว่าแบบต้ม • ต้นทุนสูงกว่าวิธี 1 และ 2 • ต้องควบคุมแรงดันและอุณหภูมิอย่างเหมาะสม

เครื่องควบแน่น (condenser)

เครื่องควบแน่นเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่น เพราะทำหน้าที่เปลี่ยนไอของน้ำและสารระเหยที่ถูกพาออกมาจากวัตถุดิบให้กลับมาอยู่ในรูปของเหลวอีกครั้ง เมื่อไอน้ำที่พาสารหอมลอยออกจากหม้อต้มเข้าสู่เครื่องควบแน่น ไอน้ำจะถูกทำให้เย็นลงด้วยระบบหล่อเย็น เช่น น้ำเย็นที่ไหลผ่านผนังท่อ ทำให้เกิดการควบแน่นและไหลออกมาเป็นของเหลวผสมระหว่างน้ำมันหอมระเหยและน้ำกลั่นสมุนไพร (hydrosol) บทบาทของเครื่องควบแน่นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะหากการระบายความร้อนไม่ดีหรือไม่สามารถทำให้ไอควบแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาจทำให้สารหอมบางส่วนสูญหายไปกับไอร้อน ทำให้ผลผลิตลดลงและส่งผลต่อคุณภาพน้ำมัน เครื่องควบแน่นจึงถูกออกแบบให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างไอและผนังเย็นมากที่สุด เพื่อเพิ่มอัตราการเปลี่ยนไอเป็นของเหลว และช่วยรักษากลิ่นและสารสำคัญของพืชได้อย่างครบถ้วน (Inuwa et al., 2024)

การกลั่นด้วยเตาไฟฟ้า

1. เตาไฟฟ้าเพลทร้อน (hot plate)

Kitchenform Intertrade Co., Ltd. (2022) กล่าวไว้ว่า เตาชนิดนี้มีลักษณะที่เห็นได้เด่นชัดคือตัวเตาจะมีแผ่นเพลทกลมทำจากแผ่นโลหะ และด้านบนจะมีขดลวดสำหรับให้ความร้อนติดตั้งอยู่ โดยหลักการทำงานให้ความร้อนจะต้องผ่านตัวให้ความร้อนคือขดลวด ผ่านเพลทร้อนจนมาถึงตัวภาชนะที่อยู่บนเตา ลักษณะเตา เมื่อเลิกใช้งานและปิดเตาแล้วจะยังมีความร้อนหลงเหลืออยู่ที่หัวเตา ต้องระมัดระวังไม่ให้ผิวเนื้อสัมผัสโดนเตา เตาไฟฟ้ารุ่นแรก ๆ มีขวดลวดทำความร้อนอยู่ใต้แผ่นสีดำ ให้ความร้อนค่อนข้างช้า กินไฟมาก การปรับระดับความร้อนขึ้นลงค่อนข้างช้า เพราะความร้อนต้องผ่านตัวกลางหลายตัว ตั้งแต่ขดลวด แผ่นเซรามิค ก้นหม้อ แล้วจึงถึงอาหาร แสดงดังภาพ 5

2. เตาแม่เหล็กไฟฟ้า (induction)

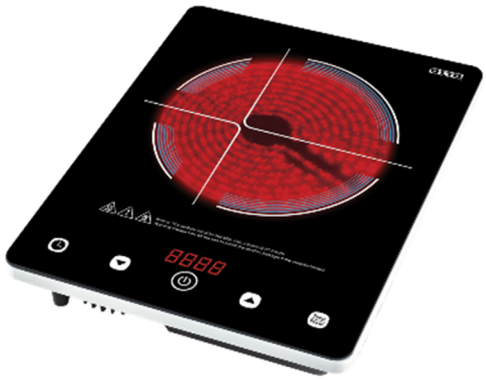
Kitchenform Intertrade Co., Ltd. (2022) กล่าวไว้ว่า เตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าหรือเตาแม่เหล็กไฟฟ้าอาศัยความร้อนจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ภาชนะที่เหนี่ยวนำไฟฟ้าได้ เช่นเหล็กหรือเหล็กสแตนเลสบางชนิด อุปกรณ์ ที่ไม่เหนี่ยวนำแม่เหล็กจะไม่สามารถทำให้เกิดความร้อนได้ เช่น อลูมิเนียม แก้ว เซรามิค หรือเหล็กสแตนเลสหลายชนิด เตาแม่เหล็กไฟฟ้าให้พลังงานความร้อนได้รวดเร็วกว่าเตาแบบธรรมดาและสูญเสียพลังงานน้อยกว่า เช่นไม่มีความร้อนที่แผ่ไปในอากาศเหมือนเตาความร้อนทั่วไป แต่พลังงานนั้นจะถ่ายทอดไปที่ตัวภาชนะโดยตรง ที่สำคัญคือความเสี่ยงหรืออันตรายจากการไหม้ติดไฟ ยังลดลงเพราะเตาได้ความร้อนจริง ๆ จากตัวภาชนะอีกที แสดงดังภาพ 6

แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานจากเตาไฟฟ้า 2 ชนิด ดังตาราง 3



ภาพ 5 เตาไฟฟ้าเพลทร้อน (hot plate)

Note. From "*Electric stove*," by Kitchenform Intertrade Co., Ltd., 2022 (https://www.kitchen-form.com/portfolio). Copyright 2022 by Kitchenform Intertrade Co., Ltd.



ภาพ 6 เตาแม่เหล็กไฟฟ้า (induction)

Note. From "*Electric stove*," by Kitchenform Intertrade Co., Ltd., 2022 (https://www.kitchen-form.com/portfolio). Copyright 2022 by Kitchenform Intertrade Co., Ltd.

ตาราง 3

การเปรียบเทียบค่าพลังงานจากเตาไฟฟ้า 2 ชนิด

แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อน	ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ย	พลังงานความร้อนเฉลี่ย (MJ)	ต้นทุนค่าพลังงาน (Baht)	ประสิทธิภาพการกลั่น (ml/MJ)	ต้นทุนเชื้อเพลิงของน้ำมันหอมระเหย (Baht/ml)
เตาไฟฟ้าแบบขดลวด	2.54 kWh	9.14	10.72	1.53	0.77
เตาแม่เหล็กไฟฟ้า	2.96 kWh	10.67	12.50	1.28	0.91

จากตาราง 3 การเปรียบเทียบพลังงานจากเตาไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด เตาไฟฟ้าแบบขดลวด และเตาแม่เหล็กไฟฟ้าจะเห็นได้ว่า เตาไฟฟ้าแบบขดลวดใช้พลังงานไฟฟ้าในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยน้อยกว่าเตาแม่เหล็กไฟฟ้า และมีประสิทธิภาพในการกลั่นสูงกว่าเตาแม่เหล็กไฟฟ้า ผู้เขียนจึงเกิดแนวคิดในการใช้พลังงานทดแทนมาลดต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการกลั่น (Duangaram et al., 2025)

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การกลั่นน้ำมันหอมระเหยแบบดั้งเดิมมักพึ่งพาแหล่งพลังงานที่ไม่ยั่งยืน เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความต้องการใช้พลังงานทดแทนในการกลั่นจึงมีความเร่งด่วนมากขึ้น เพื่อเสริมความยั่งยืนในการผลิตและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก บทความนี้จึงกล่าวถึงการนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการสกัดและกลั่นน้ำมันหอมระเหย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับวิธีดั้งเดิมในขณะที่ลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล (Ministry of Energy, 2025)

ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ระบบ ดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (stand alone system) หรือระบบออฟกริด (Off-GRID system) คือ ระบบที่ไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าจากภาครัฐเข้าถึง เช่น บนป่าเขา หรือไร่นา(ชุดนอนนา) ระบบนี้จะมีอุปกรณ์ประกอบมากกว่าระบบออนกริด (On-GRID system) และ

มีราคาสูงกว่า อีกทั้งมีเสถียรภาพต่ำกว่า แต่ดีที่ขณะไฟฟ้าดับก็มีไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้ประโยชน์ได้ แต่ต้องติดตั้งขนาดแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการใช้งาน และระบบนี้ไม่ต้องขออนุญาตจากการไฟฟ้าเพราะไม่ได้ซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้า โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้

1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือแผง PV

1.2 อุปกรณ์ควบคุมการประจุ (charge controller)

1.3 แบตเตอรี่ (battery)

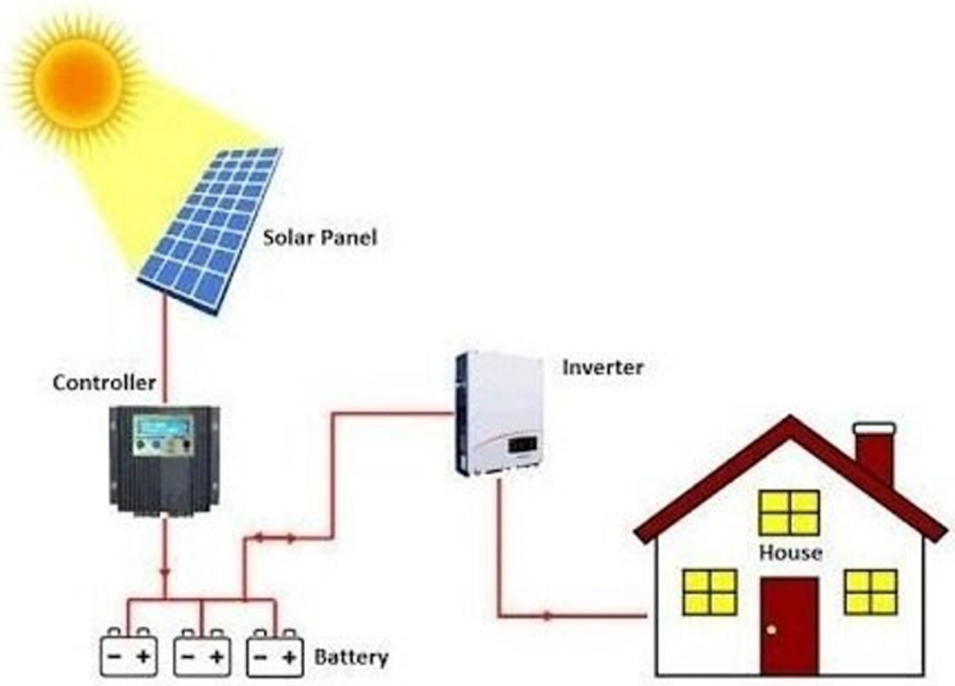
1.4 อินเวอเตอร์ (inverter) ถ้าใช้กระแสตรงก็ไม่ต้องมีอินเวอเตอร์ แสดงดังภาพ 7

2. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (grid connected system) หรือระบบออนกริด (On-GRID system) คือ ระบบที่เชื่อมขนานกับระบบไฟฟ้าภาครัฐ ซึ่งต่างจากระบบ (Off-GRID) ที่ไม่มีแบตเตอรี่เพื่อเก็บไฟฟ้าส่วนเกิน ทำให้ราคาถูกกว่าระบบออฟกริด (Off-GRID system) มีการใช้และบำรุงรักษาง่ายกว่า และมีเสถียรภาพดีเนื่องจากมีการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าร่วมด้วย แต่เมื่อไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับผู้ใช้ก็จะดับด้วยเพราะไม่มีแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า เหมาะกับการใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางวัน ไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำมาใช้ในบ้าน และหากผลิตได้มากกว่าที่ใช้ ก็จะส่งขายคืนให้กับการไฟฟ้าได้ หากผลิตไฟไม่พอ ก็จะดึงไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้ โดยมีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือแผง PV

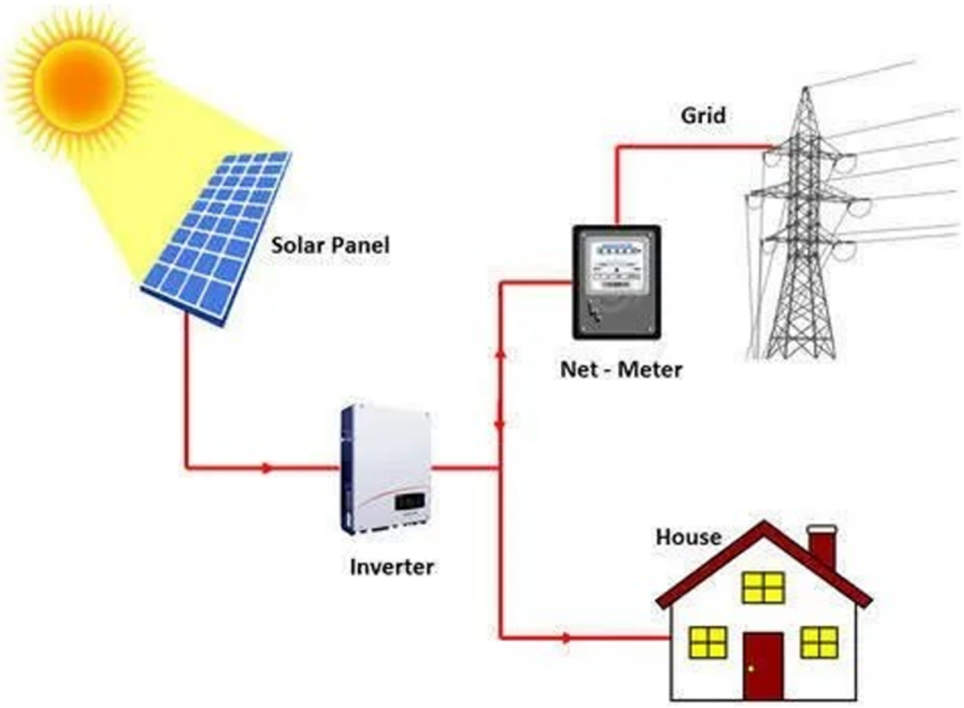
1.2 อินเวอเตอร์ (inverter) ต้องได้รับการรับรองจากการไฟฟ้า แสดงดังภาพ 8

3. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน หรือระบบไฮบริด (Hybrid system) คือ การผสมกันระหว่าง On-GRID และ Off-GRID โดยระบบนี้จะมีการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้าสำหรับช่วงที่ไม่มีแดดและมีการใช้แบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานส่วนที่ผลิตเหลือในตอนกลางวันไปใช้งานในตอนกลางคืน ทำให้มีส่วนประกอบมาก ราคาสูง ระยะเวลาคืนทุนนาน แต่เสถียรภาพในการใช้ดี ถ้ามีการใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางวันน้อยกว่ากลางคืน เหมาะกับการใช้ไฟฟ้าทั้งกลางวันและกลางคืน โดยจะต้องออกแบบขนาดให้มีไฟฟ้าเหลือเก็บไว้ในแบตเตอรี่ให้เพียงพอกับการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางคืน ถ้าไม่มีไฟฟ้าเหลือในแบตเตอรี่ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ระบบนี้ นอกจากนั้นถ้าไม่ใช้แบตเตอรี่ก็สามารถต่อร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากลมหรือน้ำหรือ Generator ก็ได้ แสดงดังภาพ 9



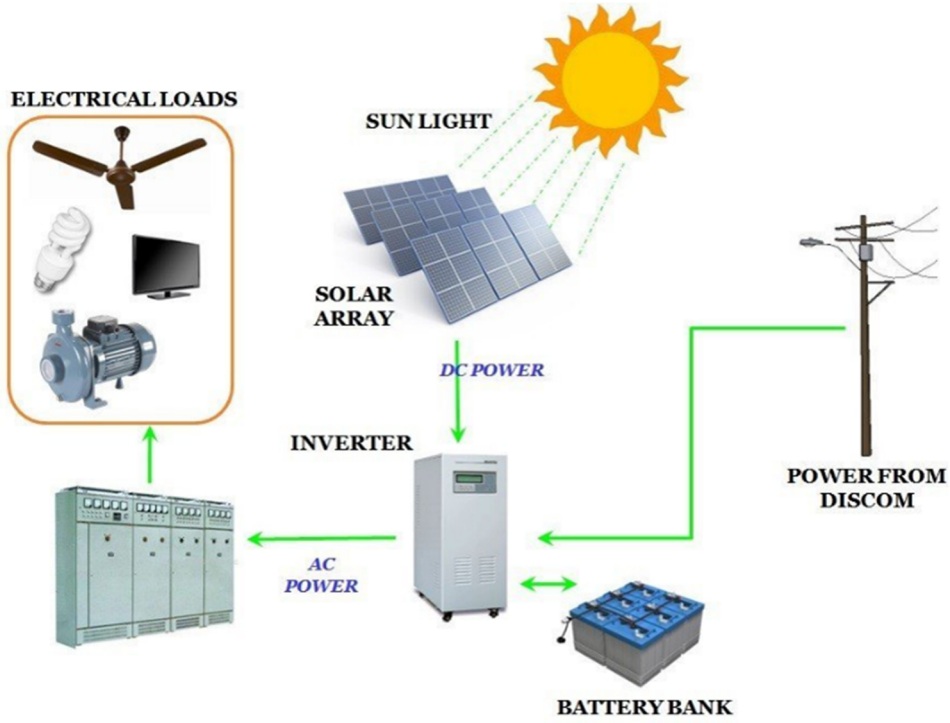
ภาพ 7 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

Note. From "*Pre manual,*" by Energy Conservation Technology, 2023 (https://www.energy-conservationtech.com/manual). Copyright 2023 by Energy Conservation Technology.



ภาพ 8 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

Note. From "*Pre manual,*" by Energy Conservation Technology, 2023 (https://www.energy-conservationtech.com/manual). Copyright 2023 by Energy Conservation Technology.



ภาพ 9 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน หรือระบบไฮบริด

Note. From "*Pre manual,*" by Energy Conservation Technology, 2023 (https://www.energy-conservationtech.com/manual). Copyright 2023 by Energy Conservation Technology.

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในบทความนี้ถูกมองว่าเป็นแหล่งพลังงานหลักที่มีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นทรัพยากรที่ไม่มีวันหมด และเทคโนโลยีการแปลงพลังงานแสงเป็นไฟฟ้ากำลังพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้นทุนการติดตั้งและการบำรุงรักษาลดลง เหนือสิ่งอื่นใด การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสร้างระบบการผลิตที่เข้ากับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนได้

อย่างไรก็ดี ความท้าทายหลักในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในกระบวนการกลั่นรวมถึงความไม่แน่นอนของปริมาณพลังงานจากแสงอาทิตย์ตามฤดูกาลและสภาพอากาศ ความคงที่ของอุณหภูมิในการกลั่น ผู้เขียนจึงเกิดแนวคิดในการเลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (grid connected system) หรือระบบออนกริด (On-GRID system) เพื่อให้กระบวนการกลั่นสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพแม้แสงอาทิตย์ตามฤดูกาลและสภาพอากาศก็ตาม จำเป็นต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบเชิงระบบระหว่างการกลั่นด้วยโซล่าร์เซลล์กับวิธีมาตรฐาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

แนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things เพื่อควบคุมการกลั่น

Internet of Things หรือ IoT คือ การที่อุปกรณ์อัจฉริยะต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกันได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นรูปแบบของการสื่อสารระหว่างคนกับอุปกรณ์และระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการและควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ได้จากระยะไกล (Kullimratchai, 2016) การเลือกแพลตฟอร์ม IoT สำหรับพัฒนาระบบ ควรเลือกแพลตฟอร์มที่ใช้งานง่าย รองรับโปรแกรมภาษาที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีหน้าอินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่าย รองรับโพรโทคอล MQTT มีแดชบอร์ดสำหรับแสดงผลข้อมูล มีฐานข้อมูลที่จัดเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ได้แบบเรียลไทม์ และเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้ จะทำให้สามารถพัฒนาระบบได้อย่างรวดเร็ว (Tinapron & Onboonuea, 2025) จากงานวิจัยเกี่ยวกับระบบควบคุมและบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์ภายในไมโครกริด (microgrid) ด้วยการใช้ IoT ในการเก็บข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ ส่งผลให้สามารถจัดการพลังงานที่เก็บจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและมีความทนทานต่อข้อผิดพลาดของระบบได้เป็นอย่างดี (Phung et al., 2017) กระบวนการกลั่น (distillation) ไม่ว่าจะเป็นการกลั่นในระดับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี หรือการกลั่นน้ำมันหอมระเหยในระดับชุมชน ล้วนเป็นหัวใจสำคัญในการแยกสารประกอบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์ตามต้องการ ความท้าทายหลักของกระบวนการกลั่นคือการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้คงที่ เพื่อให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่สม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสุด เนื่องจากหอกลั่นมักมีการใช้พลังงานความร้อนในปริมาณสูงมาก จากงานวิจัยเกี่ยวกับการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (Duangaram et al., 2025) พบว่า ปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมอย่างแม่นยำ คือ อุณหภูมิในการกลั่น (90-102°C) และระยะเวลาในการกลั่น (2 ชั่วโมง) นอกจากนี้การศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าด้านพลังงาน ระหว่างแหล่งพลังงานความร้อนต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางลดต้นทุน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนการควบคุมแบบเดิมไปสู่ระบบอัตโนมัติอัจฉริยะ (smart control) ที่สามารถมอนิเตอร์และปรับปรุงประสิทธิภาพได้แบบเรียลไทม์

องค์ประกอบหลักของระบบ IoT สำหรับการกลั่น

การประยุกต์ใช้ IoT ในการควบคุมการกลั่นประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ชั้นการรับรู้ (perception layer) เซนเซอร์และอุปกรณ์ตรวจวัด ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรทางกายภาพที่สำคัญในกระบวนการกลั่น มีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ (1) อุณหภูมิ (temperature) วัดอุณหภูมิภายในหม้อกลั่นหรืออุณหภูมิไอน้ำ เพื่อควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนด (2) ความดัน (pressure) ควบคุมความดันภายในหอกลั่น ซึ่งส่งผลต่อจุดเดือดและสมดุลของกระบวนการ (3) ระดับ

ของเหลว (liquid level) ใช้เซนเซอร์ เช่น Ultrasonic Sensor เพื่อตรวจจับระดับน้ำมันและน้ำสำหรับการแยกน้ำมันออกจากน้ำอัตโนมัติ และ (4) การใช้พลังงาน (energy consumption) มอนิเตอร์การใช้พลังงานความร้อนเพื่อการวิเคราะห์ต้นทุนอย่างละเอียด

2. ชั้นเครือข่ายและประมวลผล (network and platform layer) ตัวกลางและการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์จะถูกส่งผ่านโมดูลไร้สาย เช่น Wi-Fi ไปยัง แพลตฟอร์ม IoT ซึ่งแพลตฟอร์มเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล จัดเก็บ ประมวลผล และจัดการอุปกรณ์ ตัวอย่างแพลตฟอร์ม เช่น NETPIE ThingSpeak Blynk ซึ่งมีทั้งแบบ Cloud-based หรือ On-premises แพลตฟอร์มจะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถเข้าถึงข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกลั่นได้จากทุกที่ที่มีอินเทอร์เน็ต เช่น ค่าใช้จ่ายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้

3. ชั้นการควบคุม (application and control layer) การสั่งการและปรับปรุง ประกอบด้วย Microcontroller Unit เช่น Arduino และ ESP32 ทำหน้าที่ประมวลผลและส่งคำสั่งไปยัง Actuators โดยมี Actuators ที่สำคัญ คือ (1) Relay หรือ Solid State Switch เพื่อควบคุมการเปิด-ปิด หรือปรับระดับกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน เช่น เตาไฟฟ้า และ (2) Solenoid Valve เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว สำหรับการเติมน้ำ (feed rate) การควบคุมการไหลกลับ (reflux rate) หรือการแยกน้ำมันออกจากน้ำอัตโนมัติเมื่อตรวจพบระดับของเหลวที่ต้องการ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าและควบคุมระบบผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนได้จากระยะไกล

จากแนวคิดที่นำเสนอ สามารถวางระบบ IoT เพื่อควบคุมการกลั่นได้ดังภาพ 10

ประโยชน์ของการใช้ IoT ในการควบคุมการกลั่น

การนำเทคโนโลยี IoT มาใช้ในกระบวนการกลั่นก่อให้เกิดประโยชน์อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในมิติของประสิทธิภาพและคุณภาพ ดังนี้

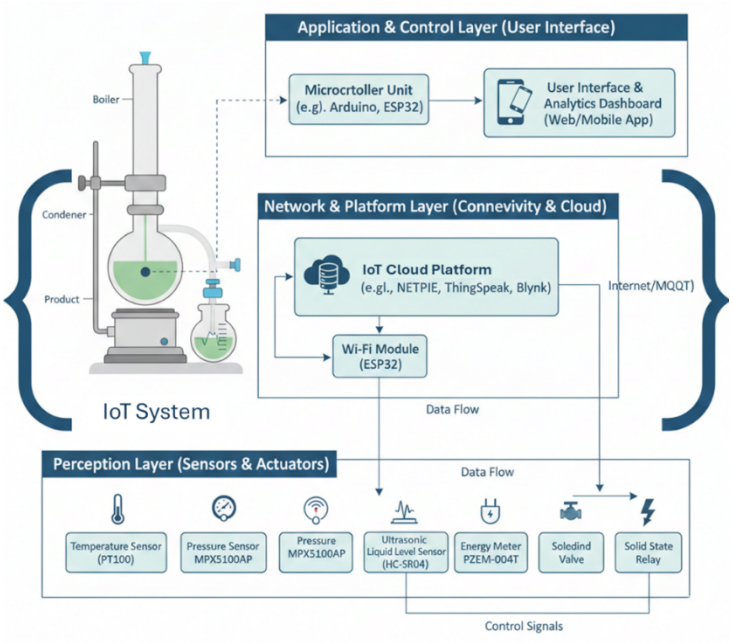
1. คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่สม่ำเสมอ ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิและความดันให้คงที่ตามค่าที่กำหนดได้ตลอดเวลา ทำให้มั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพตามมาตรฐาน

2. เพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนพลังงาน การมอนิเตอร์การใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ช่วยให้สามารถปรับปรุงกระบวนการและลดการสูญเสียพลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ

3. การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (predictive maintenance) เซนเซอร์ของระบบ IoT สามารถตรวจวัดข้อมูล เช่น การสั่นสะเทือน หรือความร้อนที่ผิดปกติของอุปกรณ์ ทำให้สามารถคาดการณ์และดำเนินการบำรุงรักษาก่อนที่อุปกรณ์จะเสียหายได้ ซึ่งช่วยลดการหยุดชะงักของกระบวนการผลิต

4. ลดระยะเวลาและแรงงาน จากงานวิจัยเรื่องการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูโดยใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับเซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ihwana et al., 2025) พบว่า การใช้ระบบอัตโนมัติสามารถช่วยลดเวลาในการกลั่นทั้งหมดลงได้ถึง 32% และลดความต้องการแรงงานลง 66.7%

ดังนั้น การนำเทคโนโลยี Internet of Things เข้ามาช่วยทำงานระบบอัตโนมัติถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการยกระดับประสิทธิภาพและความแม่นยำของกระบวนการกลั่น ด้วยการผสานรวมระหว่าง เซนเซอร์ตรวจวัดพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และระดับของเหลว เข้ากับแพลตฟอร์มคลาวด์ และระบบควบคุมอัตโนมัติ การประยุกต์ใช้ IoT จึงไม่เพียงแต่ช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้นเท่านั้น แต่ยังช่วยประหยัดพลังงาน ลดต้นทุนแรงงานและเวลาในการผลิต ซึ่งนำไปสู่ความยั่งยืนและความสามารถในการแข่งขันในตลาดได้ในที่สุด



ภาพ 10 องค์ประกอบหลักของระบบ IoT สำหรับควบคุมการกลั่น

สรุป

บทความนี้นำเสนอแนวคิดการออกแบบระบบกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับเทคโนโลยี IoT โดยการนำองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ถือเป็นแนวทางที่ช่วยยกระดับกระบวนการผลิตให้มีความคุ้มค่าและยั่งยืนมากขึ้น การเลือกใช้ระบบออนกริดยังช่วยให้การกลั่นทำงานได้ต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ แม้ในวันที่แสงแดดไม่เพียงพอ ทำให้ระบบพลังงานมีความน่าเชื่อถือและไม่กระทบต่อคุณภาพของน้ำมันที่ผลิตได้ และเมื่อทำงานร่วมกับเทคโนโลยี IoT เพื่อติดตามสถานะการทำงานได้อย่างสะดวกและแม่นยำ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ช่วยลดความสูญเสียของสารหอมระเหย ป้องกันการไหม้ของวัตถุดิบ และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ลดการใช้พลังงาน ลดเวลาและแรงงานที่ต้องใช้ในกระบวนการลงอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกลั่นและสามารถเพิ่มรอบการผลิตได้มากขึ้น

ในอนาคตผู้ประกอบการทั้งในระดับชุมชนและอุตสาหกรรม สามารถนำแนวทางที่นำเสนอจากบทความนี้ไปประยุกต์ใช้จะสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพน้ำมันหอมระเหย และยังช่วยสนับสนุนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ยกระดับกระบวนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยและสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการ

References

Afzal, A., Anjum Munir, A., Abdul Ghafoor, A., & Alvarado, J. L. (2017). Development of hybrid solar distillation system for essential oil extraction. *Renewable Energy, 113*, 22-29. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.027

AYUB R & D. (2006). *Water distillation, water and steam distillation and direct steam distillation.* https://ayublab.com/extraction

Duangaram, C., Sonnin, P., & Kotchapoom, P. (2025). A study of energy consumption for essential oil distillation: A case study of citronella [In Thai]. *EAU Heritage Journal: Science and Technology, 19*(1), 225-236. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/275121/186731

Energy Conservation Technology. (2023). *Pre manual*. https://www.energy-conservationtech.com/manual

Ihwana, A., Rahmatullah, A., Abdullah, S., Fahmi, F., Pakka, H., & Andiyan. (2025). Smart clove oil distillation system using IoT and ultrasonic sensors. *Sistemasi: Jurnal Sistem Informasi, 14*(5), 2341-2349. https://sistemasi.ftik.unisi.ac.id/index.php/stmsi/article/view/5232/1064

Inuwa, L. S., Alhassan, A. U., & Lawal, K. (2024). Design and fabrication of a small-scale dual-purpose essential oil extractor. *International Journal of Research Publication and Reviews, 5*(10), 4596–4602. https://ijrpr.com/uploads/V5ISSUE10/IJRPR34380.pdf

Kitchenform Intertrade Co., Ltd. (2022). *Electric stove* [In Thai]. https://www.kitchen-form.com/portfolio.

Klinboon, J. (2018). *Study on the efficiency of distillation of essential oil from lemongrass by solar energy.using the foaming technique* [In Thai]. https://repository.rmutr.ac.th/bitstream/handle/123456789/1209/fulltext.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kritsadee, S., Assavapanyaporn, S., & Kunsilarak, S. (2023). The effects of essential oil from roots of Vetiveria zizanioides (L.) Nash Inhalation on emotional states autonomic nervous system [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(3), 95–103. https://he01.tci-thaijo.org /index.php/EAUHJSci/article/view/262099

Kullimratchai, P. (2016). Internet of Things: Current technology trends for future [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 10*(1), 29–36. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/48908

Ministry of Energy. (2025). *Solar photovoltaic power generation system* [In Thai]. http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/home/home_photovoltaic.html

Ministry of Public Health. (2005). *Aromatherapy* [In Thai]. https://bit.ly/4a4hlSK

Neelapong, W., Phonyotin, B., & Sittikijyothin, W. (2018). Extraction of active compounds from Thai herbs: Steam distillation and solvent extraction [In Thai]. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 28*(4), 901-910. https://doi.org/10.14416/j.kmutnb.2018.10.001

Nuiden, N. (2019). *Effects of selected volatile oils in Thailand on physiological activities and emotions* [In Thai] [Research report]. Thaksin University.

Phasithpakakul, P., & Somwong, S. (2022). The status of research on indigenous knowledge regarding the use of essential oils to alleviate insomnia [In Thai]. *Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Journal of Liberal Arts, 2*(1), 1–12. https://so07.tci-thaijo.org/index.php/LiberalJ/article/view/1514

Phung, M. D., De La Villefromoy, M., & Ha, Q. (2017). Management of solar energy in microgrids using IoT-based dependable control. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.03422

Reddy, B. H. V., Hussain, S. M. S., Hussain, M. S., Kumar, R. N., & Gupta, J. (2025). Essential oils in cosmetics: Antioxidant properties and advancements through nanoformulations. *Pharmacological Research – Natural Products, 6*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.prenap.2025.100192

Singh, R., Kumar, S., & Singh, B. (2020). Design and performance evaluation of a decentralized solar distillation unit for essential oil extraction from aromatic crops. *Journal of Cleaner Production, 276*, 123–135. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123456

Sittiritkawin, P., Pitiphumisuksan, C., Yotkat, P., & Kitti, T. (2023). Transferring Citronella Oil Refining Technology to the Elderly in San Sai Subdistrict, Mueang District, Chiang Rai Province [In Thai]. *Journal for Community Development and Life Quality, 12*(1), 59–69. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/JCDLQ/article/view/265310

Srifuengfung, S., Tribuddharat, C., Chongtrakool, P., & Thuncharoon, H. (2019). *A study of antimicrobial activity, antioxidant activity and chemical composition of essential oils from Thai medicinal plants* [In Thai] [Research report]. Siam University.

Tinapron, S., & Onboonuea, T. (2025). Study of a Platform for Internet of Things Developers [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 19*(1), 17–28. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/275566

Vora, L. K., Gholap, A. D., Hatvate, N. T., Naren, P., Khan, S., Chavda, V. P., Balar, P. C., Gandhi, J., & Khatri, D. K. (2024). Essential oils for clinical aromatherapy: A comprehensive review. *Journal of Ethnopharmacology, 330*, 1–21. https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.118180

วิวัฒนาการความชาญฉลาด จาก IoT สู่ AIoT
The Evolution of Intelligence from IoT to AIoT

ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ[1] สุคนธ์ทิพย์ ทินาภรณ์[1]* และสมเกียรติ วุฒิธรรมาภิวัฒน์[2]
Thatchakon Onboonuea[1], Sukontip Tinapron[1]* and Somkiat Wuttithammapiwat[2]
[1]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Information Technology, Eastern Asia University
[2]มหาวิทยาลัยมกุฏราชวิทยาลัย วิทยาเขตอีสาน
[2]Mahamakut Buddhist University Isan Campus
*Corresponding author: sukontip@eau.ac.th
Received: November 30, 2025
Revised: February 7, 2026
Accepted: February 12, 2026

บทคัดย่อ

บทความนี้มี วัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอการวิวัฒนาการของเทคโนโลยี Internet of Things: IoT ไปสู่ Artificial Intelligence of Things: AIoT ซึ่งเป็นการบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับการทำงานของ IoT เพื่อขับเคลื่อนระบบอัจฉริยะ โดยผู้เขียนได้นำเสนอ AIoT แสดงถึงกรอบแนวคิดการเปลี่ยนผ่านของ IoT สู่การทำงานที่มีความสามารถในการเรียนรู้และตัดสินใจได้อย่างชาญฉลาดมากขึ้น ซึ่งเนื้อหาครอบคลุม ความเป็นมา และ พัฒนาการ ของแนวคิดทั้ง IoT และ AIoT เพื่อให้เห็นถึงความต่อเนื่องทางเทคโนโลยี นอกจากนี้ ยังมีการนำเสนอ สถาปัตยกรรม ของระบบ AIoT โดยจำแนกตามชั้นการทำงาน (layered architecture) ตั้งแต่การรับข้อมูลจนถึงการวิเคราะห์และประมวลผล และองค์ประกอบหลักของระบบ AIoT ระบุไว้อย่างชัดเจน ซึ่งมีความจำเป็นในการทำงานของแพลตฟอร์ม รวมถึงการประยุกต์ใช้งานของ AIoT ชีวิตประจำวัน ได้แก่ บ้านอัจฉริยะ (smart home) เกษตรอัจฉริยะ (smart farm) และ สาธารณสุขอัจฉริยะ (smart health) ดังนั้น บทความนี้จึงมุ่งเน้นการให้ ความรู้ทางวิชาการ เกี่ยวกับกรอบแนวคิดและศักยภาพของ AIoT ในการขับเคลื่อนนวัตกรรมยุคถัดไป ด้านการพัฒนาทางเทคโนโลยี AIoT ต่อยอดฟังก์ชันการทำงาน โดยเปลี่ยนกรอบแนวคิด (paradigm shift) จากการเป็นเพียงตัวกลางในการรับและส่งผ่านข้อมูล ไปสู่ระบบที่มีความสามารถในการเรียนรู้และตัดสินใจได้อย่างชาญฉลาด (intelligent decision making) โดยสถาปัตยกรรมของ AIoT ที่มีการจำแนกชั้นการทำงาน (layered architecture) ตั้งแต่ชั้นการรับรู้ข้อมูล (perception layer) จนถึงชั้นประยุกต์ใช้งาน (application layer) มีส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำ Edge Computing มาใช้ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการตอบสนองของระบบ (latency) ได้กว่าร้อยละ 30-50 ส่งผลให้เกิดความแม่นยำในการปฏิบัติงานแบบเรียลไทม์

คำสำคัญ: ไอโอที เอไอโอที บ้านอัจฉริยะ เกษตรอัจฉริยะ สาธารณสุขอัจฉริยะ

Abstract

This article aims to present the evolution of Internet of Things: IoT technology into the Artificial Intelligence of Things: AIoT. AIoT represents the integration of Artificial Intelligence: AI into IoT operations, fundamentally driving the creation of intelligent systems. The author posits that AIoT signifies a conceptual framework for the transition of IoT toward operations with enhanced learning and smarter decision-making capabilities. The content covers the history and development of both IoT and AIoT concepts, illustrating their technological continuity. Furthermore, the article introduces the architecture of AIoT systems, categorized by a Layered Architecture—from data acquisition up to analysis and processing. The essential components of the AIoT system are clearly identified, as they are crucial for platform functionality. Practical applications of AIoT in daily life are also included, such as Smart Homes, Smart Farms, and Smart Health. Therefore, this article focuses on providing academic insights into the conceptual framework and potential of AIoT in driving the next generation of innovation. In terms of technological development, AIoT represents a significant evolution in functional capabilities, marking a paradigm shift from being a mere intermediary for data transmission to becoming a system capable of intelligent decision-making. The layered architecture of AIoT-extending from the perception layer to the application layer-plays a critical role in enhancing processing efficiency. In particular, the integration of edge computing significantly reduces system latency by 30% to 50%, thereby enabling high precision in real-time operations.

Keywords: IoT, AIoT, smart home, smart farm, smart health

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุดในทุกภาคส่วนคงหนีไม่พ้น เทคโนโลยี Internet of Things: IoT หรือ “อินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง” ซึ่งกลายเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว อาศัยการทำงานด้วยการเชื่อมโยงอุปกรณ์ เครื่องมือ และระบบต่าง ๆ เข้าด้วยกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เปลี่ยนอุปกรณ์ธรรมดาให้สามารถ รับ-ส่ง และประมวลผลข้อมูล ได้อย่างอัจฉริยะ Digital Government Department (2024) สอดคล้องกับแผนพัฒนารัฐบาลดิจิทัลของประเทศไทย (พ.ศ. 2566–2570) ว่าด้วย การบริหารงานภาครัฐและการจัดทำบริการสาธารณะในรูปแบบและช่องทางดิจิทัลที่มีความสะดวก รวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และตอบสนองต่อการให้บริการ อำนวยความสะดวกแก่ประชาชน เปลี่ยนผ่านสู่การเป็น รัฐบาลดิจิทัล บนพื้นฐานความมั่นคงปลอดภัย สามารถสร้างความสามารถในการแข่งขัน ยกระดับความสามารถทางเทคโนโลยีและนวัตกรรม สามารถนำมาประยุกต์ผสมผสานกับเทคโนโลยีและนวัตกรรมให้ก้าวทันโลก เพื่อสร้างห่วงโซ่มูลค่าทางเศรษฐกิจในภาคอุตสาหกรรม เกษตร และบริการ รวมถึงนโยบายThailand 4.0 โดยเฉพาะการส่งเสริมโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยเทคโนโลยี (digital economy) และการยกระดับคุณภาพชีวิตผ่าน Smart City หรือ Smart Health ซึ่งเป็นการนำ AIoT ในการบริหารจัดการเมือง หรือบริหารจัดการด้านสุขภาพ เช่น งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้กล้องวงจรปิดตรวจจับหาบุคคลที่อยู่ภายในอาคารแต่ละโซนของอาคาร ด้วยวิธีการประมวลผลภาพจากโมเดลปัญญาประดิษฐ์ เพื่อวิเคราะห์และสั่งควบคุมการเปิดปิดระบบส่องสว่าง เครื่องปรับอากาศ ประตูเข้าออกอาคารแบบอัตโนมัติ ส่งผลให้ลดชั่วโมงการใช้พลังงานลง 31.47 เปอร์เซ็นต์ (Tipaksorn et al., 2022; Tinapron & Onboonuea, 2025; Onboonuea & Tinapron, 2023) และงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ AIoT เพื่อการรับรู้อารมณ์ของมนุษย์ ศักยภาพ ความท้าทาย และการประยุกต์ใช้ด้านการดูแลสุขภาพ โดยใช้เทคโนโลยีการตรวจจับขั้นสูง เช่น อุปกรณ์สวมใส่และเซ็นเซอร์แวดล้อม เพื่อเก็บรวบรวมสัญญาณต่าง ๆ ที่ถูกตรวจจับได้ ประกอบด้วย การแสดงออก

ทางสีหน้า คำพูด และข้อมูลทางสรีรวิทยา ใช้เป็นข้อมูลในการวินิจฉัยติดตามสุขภาพจิต เฝ้าระวังผู้ป่วยระยะไกล ช่วยประเมินผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องลดความจำเป็นในการมาโรงพยาบาล (Yaqoob et al., 2026; Teerapabakjorndet & Somtad, 2025; El-Khozondar et al., 2024)

ความเป็นมาของ AIoT

AIot: Artificial Intelligence of Things เป็นการทำงานร่วมกันของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อให้สามารถดำเนินการ เก็บรวบรวมข้อมูล ประมวลผลข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล เรียนรู้จากข้อมูลที่รับ ส่ง และตัดสินใจได้ด้วยตนเองอย่างมีประสิทธิภาพและชาญฉลาด โดย AIoT เน้นการนำอุปกรณ์ทางด้าน IoT เข้ามาใช้งานร่วมกับระบบเครือข่าย เซ็นเซอร์และแอคทูเอเตอร์ (network sensor and actuator) ไปสู่ระบบ Cyber-Physical Systems: CPS ที่มีฟังก์ชันการเรียนรู้และการปรับตัวแบบอัตโนมัติ (autonomous learning and adaptation) ให้สามารถทำงานแบบอัจฉริยะได้

สถาปัตยกรรม IoT สู่ AIoT

สถาปัตยกรรม IoT–Internet of Things Architecture ประกอบด้วย การเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ เครือข่าย และการประมวลผลข้อมูล สถาปัตยกรรมไอโอทีแบ่งออกเป็น 3-5 ชั้น (layers) หลักเพื่อความชัดเจนและง่ายต่อการจัดการ แต่ละชั้น (layers) (Tinapron & Onboonuea, 2025) สำหรับสถาปัตยกรรม AIoT ประกอบด้วย 6 ชั้น (layers) ได้แก่ (1) ชั้นการรับรู้ (2) ชั้นเครือข่าย (3) ชั้นกลาง (4) ชั้นแอปพลิเคชันและ AI (5) ชั้นธุรกิจและผู้ใช้ และ (6) ชั้นความปลอดภัย ดังภาพ 1

ชั้นที่ 1 ชั้นการรับรู้ (perception layer)

ทำหน้าที่รับรู้และรวบรวมข้อมูลจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพ แปลงสัญญาณที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมภายนอก ให้เป็นข้อมูลดิจิทัลที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ เช่น เซนเซอร์ตรวจจับอุณภูมิและเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า แล้วส่งผ่านสายไฟไปยังชิป Analog to Digital Convertor: ADC ค่าตัวเลขจาก ADC ถูกส่งเข้าหน่วยประมวลผล หลังจากนั้นโปรแกรมกรองสัญญาณรบกวนออก ตรวจสอบว่า ค่าถูกต้องหรือไม่ ข้อมูลที่ผ่านการกรองจะถูกจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ JSON หรือ Packet พร้อมเพิ่มข้อมูลสำคัญ เช่น ID เวลา ข้อมูลที่จัดรูปแบบแล้วจะถูกส่งผ่าน WiFi Bluetooth หรือ LoRa Module ไปยัง Gateway หลังส่งข้อมูล เซนเซอร์จะรอรับ Acknowledge: ACK ยืนยันความสำเร็จ และรับคำสั่งควบคุมกลับมา ดังภาพ 2

ชั้นที่ 2 ชั้นเครือข่าย (Network Layer)

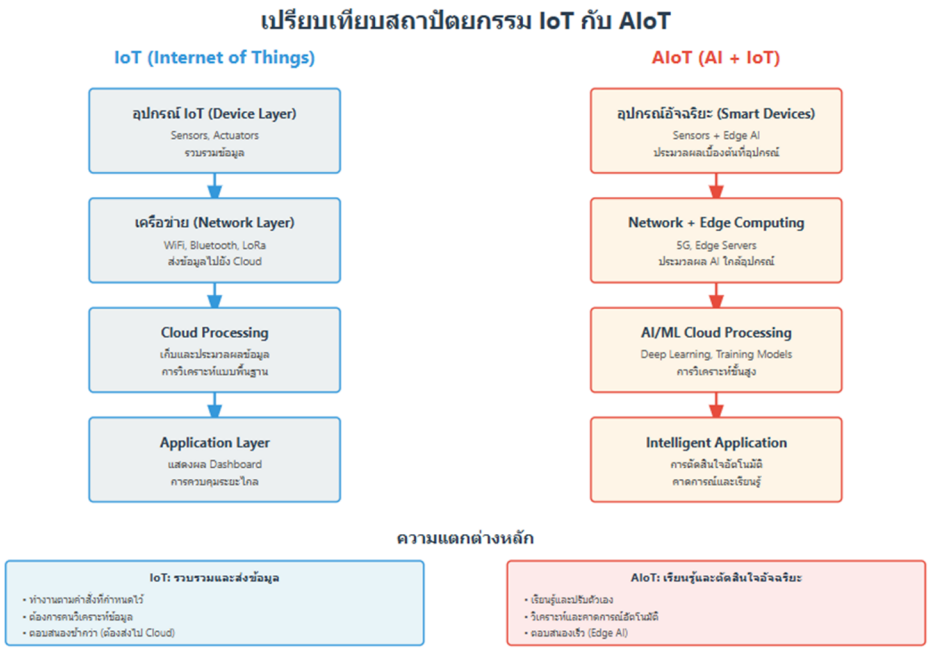
มีหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ไปยังระบบประมวลผล รับผิดชอบการสื่อสารและการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับ Cloud หรือ Server เช่น เครือข่ายมือถือ (5G/4G) ส่งข้อมูลระยะไกลผ่านสัญญาณมือถือ เครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi) ส่งข้อมูลระยะใกล้ถึงปานกลาง (10-100 เมตร) เครือข่ายระยะไกลและประหยัดพลังงาน (LoRaWAN) ส่งข้อมูลระยะไกล (2-15 กม.) กระบวนการทำงานจะรับข้อมูลดิจิทัลจากชั้น Perception Layer และจัดข้อมูลเป็นแพ็คเกจกับเฮดเดอร์ และเข้ารหัสข้อมูลหลังจากนั้นส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไปยัง Gateway หรือ Cloud เพื่อดำเนินการส่งข้อมูล กรณีส่งไม่สำเร็จจะทำการส่งข้อมูลซ้ำ ดังภาพ 3

ชั้นที่ 3 ชั้นกลาง (middleware layer)

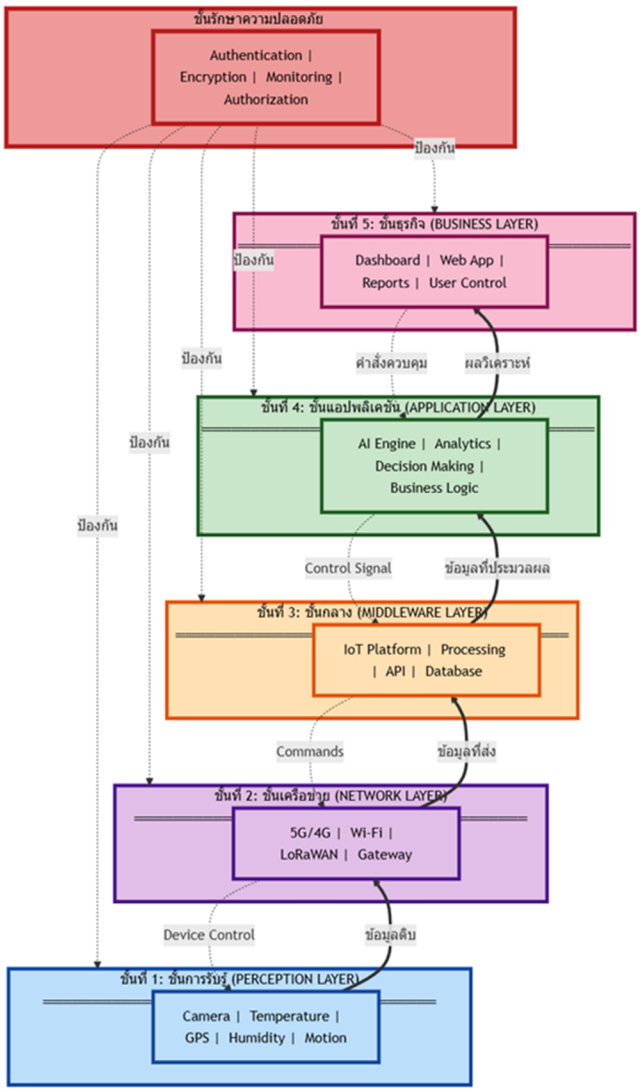
มีหน้าที่หลักเป็นตัวกลางระหว่างข้อมูลดิบกับการวิเคราะห์ การจัดการ การประมวลผล และการจัดเก็บข้อมูล โดยมีแพลตฟอร์ม IoT (IoT Platform) เป็นระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ เช่น ทำหน้าที่ในการลงทะเบียนแบบฟอร์ม ตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อ และส่วนการประมวลผลข้อมูล (data processing) จะทำความสะอาดข้อมูล (data clearing) เพื่อแปลงข้อมูลให้คอมพิวเตอร์นำไปประมวลผลต่อไป เช่น การกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติออก การรวบรวม และการแปลงข้อมูล จัดเก็บข้อมูล จัดคิวและส่งต่อไปยังชั้นแอปพลิเคชันและ AI ดังภาพ 4

ชั้นที่ 4 ชั้นแอปพลิเคชันและ AI (application and AI layer)

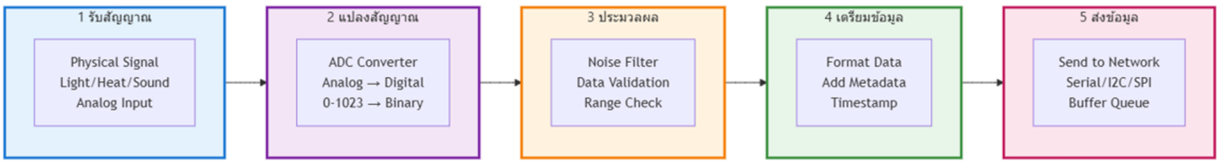
ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลโดยเครื่องมือ AI (AI Engine) เป็นตัวจัดการ ช่วยในการตัดสินใจ และสร้างคำสั่งควบคุมการทำงาน เช่น การใช้ Machine Learning หรือ Deep Learning ในการวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ภาพและวีดีโอ ซึ่งสามารถทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตและสามารถตรวจจับความผิดพลาดจากข้อมูลที่จัดเก็บได้ ดังภาพ 5



ภาพ 1 เปรียบเทียบสถาปัตยกรรม IoT กับ AIoT



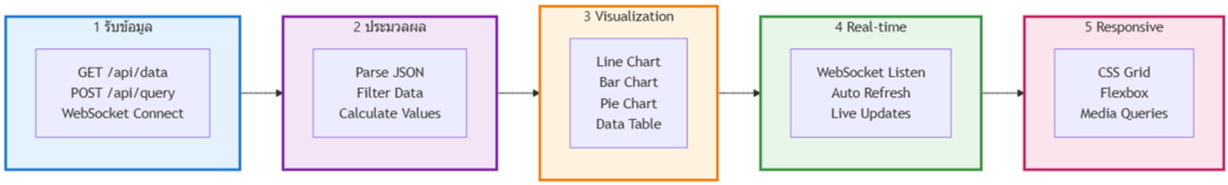
ภาพ 2 สถาปัตยกรรม AIoT (Artificial Intelligence of Things)



ภาพ 3 ชั้นการรับรู้ (perception layer)



ภาพ 4 ชั้นเครือข่าย (network layer)



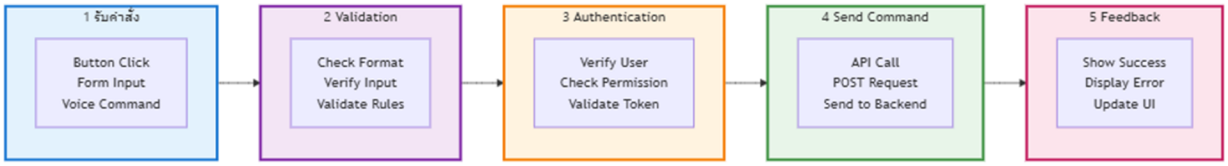
ภาพ 5 ชั้นกลาง (middleware layer)

ชั้นที่ 5 ชั้นธุรกิจและผู้ใช้ (business and user layer)

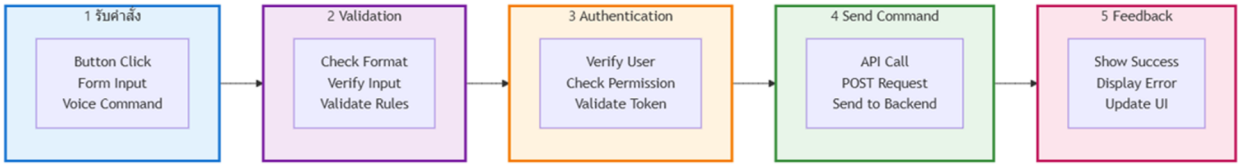
ทำหน้าที่นำเสนอข้อมูล แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย (1) ส่วนรับคำสั่งจากผู้ใช้ (user input) ผ่านแอปพลิเคชันมือถือ (mobile app) (2) ส่วนการแสดงผล (presentation) แสดงข้อมูลและควบคุมระบบผ่านสมาร์ทโฟน ดูสถานะแบบเรียลไทม์ ควบคุมระยะไกล จัดการบัญชีผู้ใช้ แดชบอร์ด (web dashboard) แสดงข้อมูลแบบละเอียดบนคอมพิวเตอร์ เช่น กราฟแบบเรียลไทม์ แสดงสถานะเป็นตัวเลข แสดงตำแหน่งบนแผนที่ ตารางข้อมูลรายละเอียด (3) ส่วนการแจ้งเตือน เมื่อเหตุการณ์เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในโปรแกรม ระบบจะทำการสร้างรูปแบบและข้อความ เพื่อแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ให้ทราบ ดังภาพ 7

ชั้นที่ 6 ชั้นความปลอดภัย (security layer)

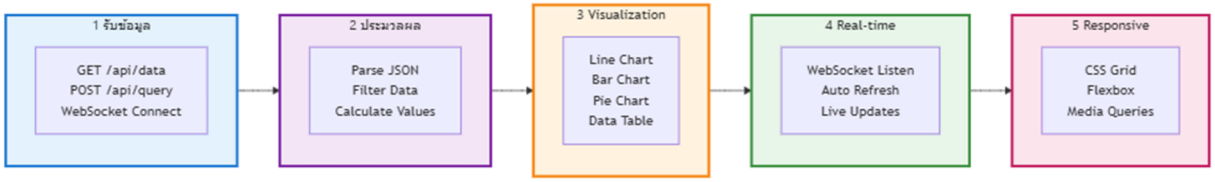
มีหน้าที่ป้องกันระบบทั้งหมดจากภัยคุกคาม โดยทำงานร่วมกับทุกชั้นแบบ Cross-Cutting ดังภาพ 1 มีหน้าที่ (1) การยืนยันตัวตน (authentication) ตรวจสอบว่าผู้ใช้หรืออุปกรณ์เป็นใคร (2) การเข้ารหัส (encryption) เข้ารหัสเพื่อป้องกันข้อมูลก่อนการส่งออก (3) การตรวจสอบ (monitoring) ตรวจจับและติดตามภัยคุกคาม และ (4) การจัดการสิทธิ์ (authorization) เพื่อกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล



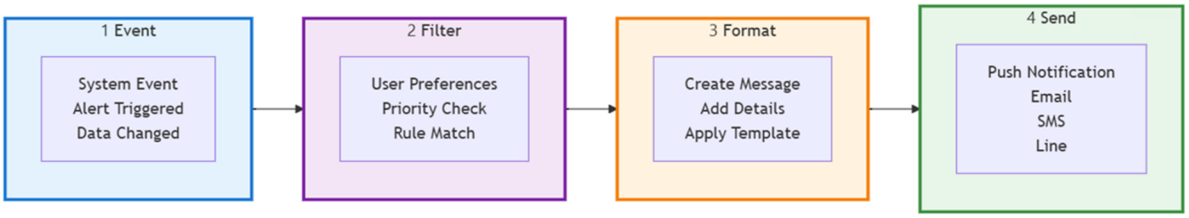
ภาพ 6 ชั้นแอปพลิเคชันและ AI (Application and AI Layer)



(ก) การรับคำสั่ง (user input)



(ข) การแสดงผล (presentation)



(ค) การแจ้งเตือน (notification)

ภาพ 7 ชั้นธุรกิจและผู้ใช้ (business and user layer)

ตาราง 1

สรุปการทำงานของสถาปัตยกรรม AIoT ทั้ง 6 ชั้น

ชั้น	ชื่อ	หน้าที่หลัก	Input	Output	เทคโนโลยี
1	Perception	รับข้อมูลจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพ	สัญญาณกายภาพ	ข้อมูลดิจิทัล	Sensors Camera GPS
2	Network	ส่งข้อมูล	ข้อมูลดิจิทัล	ข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่าย	Wi-Fi 5G LoRaWAN
3	Middleware	จัดการข้อมูล	ข้อมูลดิบ	ข้อมูลที่กรองแล้ว	IoT Platform Database
4	Application	วิเคราะห์และตัดสินใจ	ข้อมูลที่กรองแล้ว	ข้อมูลเชิงลึก + คำสั่ง	AI/ML Analytics
5	Business	บริการผู้ใช้	ข้อมูลเชิงลึก	การแสดงผล + คำสั่ง	Dashboard Mobile App
6	Security ทุกชั้น	ป้องกันระบบ	ทุกข้อมูล	ความปลอดภัย	Authentication Encryption Monitoring Authorization

ตาราง 2

เปรียบเทียบสถาปัตยกรรมของ IoT กับ AIoT

ชั้น (layer)	IoT Architecture	AIoT Architecture
1. Perception Layer	- เซ็นเซอร์ (อุณหภูมิ ความชื้น และแสง)	- เซ็นเซอร์อัจฉริยะ
(ชั้นรับรู้/อุปกรณ์)	- Actuators	- กล้อง AI
	- RFID/NFC	- ไมโครโฟนอัจฉริยะ
	- รับ-ส่งข้อมูลเท่านั้น	- มีชิป AI ประมวลผลในตัว (Edge AI)
2. Network Layer	- WiFi Bluetooth Zigbee	- เทคโนโลยีเดียวกับ IoT
(ชั้นเครือข่าย)	- 4G/5G	- 5G ความเร็วสูงสำหรับ AI
	- LoRaWAN, NB-IoT	- Edge Gateway มี AI Processing
	- Gateway สำหรับส่งข้อมูล	- ลด Latency สำหรับการตอบสนองแบบ Real-time
3. Middleware Layer	- Data Processing พื้นฐาน	- AI/ML Processing
(ชั้นกลาง)	- Data Storage	- Deep Learning Models
	- Device Management	- Data Analytics ขั้นสูง
	- API Management	- Model Training & Deployment
		- Edge Computing Infrastructure
4. Application Layer	- Dashboard แสดงข้อมูล	- AI-powered Analytics
(ชั้นแอปพลิเคชัน)	- Remote Control	- Predictive Maintenance
	- Monitoring	- Computer Vision Apps
	- Alert/Notification	- Natural Language Processing
	- การควบคุมตามเงื่อนไข	- Autonomous Decision Making
		- Personalization
5. Business Layer	- Business Intelligence	- AI-driven Insights
(ชั้นธุรกิจ)	- Reporting	- Predictive Analytics
	- Data Visualization	- Automated Optimization
	- Process Management	- Strategic Planning with AI
		- ROI Forecasting
6. Security Layer	- Authentication	- AI-based Threat Detection
(ชั้นความปลอดภัย)	- Encryption (SSL/TLS)	- Behavioral Analytics
	- Firewall	- Anomaly Detection (ML)
	- Access Control	- Automated Response
	- Password Protection	- Federated Learning (Privacy)
	- Firmware Updates	- Blockchain Integration
	- VPN	- Zero Trust Architecture
		- Biometric Security (Face/Voice Recognition)
		- Edge Security with AI

องค์ประกอบของ AIoT: Artificial Intelligence of Things

AIoT หรือ Artificial Intelligence of Things ประกอบด้วย 10 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) อุปกรณ์ IoT และเซนเซอร์ (2) ส่วนประมวลผลและ AI Engine (3) ระบบเครือข่ายและการสื่อสาร (4) ระบบจัดเก็บข้อมูล (5) Actuators และอุปกรณ์ควบคุม (6) Platform (7) โปรโตคอล (8) ระบบรักษาความปลอดภัย (9) ระบบบริหารจัดการและ Dashboard (10) ระบบการอัพเดทและการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง IoT และ AI เพื่อให้สามารถทำงานแบบอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพ ระบบ AIoT มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ดังนี้

1) อุปกรณ์ IoT และเซนเซอร์

อุปกรณ์ IoT และเซนเซอร์เป็นตัวรับรู้ รวบรวมข้อมูลจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพและแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำไปประมวลผลได้ อุปกรณ์เซนเซอร์ทำหน้าที่รับรู้และวัดค่าจากสภาพแวดล้อมหรือสิ่งต่าง ๆ ในโลกจริง แล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าหรือข้อมูลดิจิทัลที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ เช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น แสง เสียง ความดัน การเคลื่อนไหว กล้อง และ GPS ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของ Perception Layer (layer 1) ใน AIoT ที่ทำหน้าที่เป็น “ตา หู จมูก” ของระบบ โดยตัวเซนเซอร์มีหลายประเภท เช่น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น แสง เสียง ความเคลื่อนไหว ตำแหน่ง กล้องและไมโครโฟน อุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่เป็นดวงตาและหูของระบบ คอยเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ข้อมูลที่ได้อาจเป็นตัวเลข รูปภาพ เสียง หรือวิดีโอ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังส่วนประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ต่อไป

2) ส่วนประมวลผลและ AI Engine

ส่วนประมวลผลและ AI Engine ส่วนนี้ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT โดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) การประมวลผลแบบ Edge Computing อยู่ใน Layer 2 ทำหน้าที่กรองและประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น (2) การประมวลผลแบบ Cloud Computing อยู่ใน Layer 3 ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลที่มีความซับซ้อนและปรับปรุงระบบ AI ให้สามารถทำงานร่วมกันได้ ช่วยให้ AIoT มีความเร็วในการตอบสนอง และความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-time ในส่วนของ AI Engine ประกอบด้วยอัลกอริทึม Machine Learning และ Deep Learning ที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูล จดจำรูปแบบ ทำนายผล และตัดสินใจ โดยการนำเทคนิคการประมวลผลในลักษณะ Neural Networks เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับการเรียนรู้ Computer Vision สำหรับประมวลผลภาพ Natural Language Processing สำหรับเข้าใจภาษา หรือ Reinforcement Learning สำหรับการเรียนรู้จากการลองผิดลองถูก

3) ระบบเครือข่ายและการสื่อสาร

ระบบเครือข่ายและการสื่อสารเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์เข้าด้วยกัน และส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผล เช่น Wi-Fi Bluetooth 5G LoRaWAN Zigbee หรือ NB-IoT การเลือกใช้เทคโนโลยีขึ้นอยู่กับระยะทาง ความเร็ว การใช้พลังงาน และความต้องการของแต่ละระบบ ระบบเครือข่ายที่ดีต้องมีความเสถียร รวดเร็ว และปลอดภัย เพื่อให้ข้อมูลถูกส่งไปยังจุดหมายได้อย่างถูกต้องและทันเวลา

4) ระบบจัดเก็บข้อมูล

ระบบจัดเก็บข้อมูลของ AIoT มีการนำเข้าจำนวนมากในรูปแบบ Real-time Database สำหรับข้อมูลที่ต้องการความเร็วสูง และ Data Warehouse สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้ม ข้อมูลเหล่านี้ต้องมีการจัดการอย่างเป็นระบบ มีการทำ Data Cleaning เพื่อคัดกรองข้อมูลที่ผิดพลาด และมีการทำ Data Labeling สำหรับการฝึกฝน AI Model เพื่อให้การจัดเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

5) Actuators และอุปกรณ์ควบคุม

Actuators และอุปกรณ์ควบคุม หลังจาก AI วิเคราะห์และตัดสินใจแล้ว ต้องมีกระบวนการนำคำสั่งไปปฏิบัติ Actuators อยู่ในชั้น Layer 1 เป็นมอเตอร์ วาล์ว

สวิตช์ ไฟแสดงสถานะ ลำโพง พัดลม LED หุ่นยนต์แขนกล หรือจอแสดงผลอุปกรณ์ เปรียบเสมือน มือ เท้า ของระบบ

6) Platform

Platform เป็นชั้นซอฟต์แวร์ที่อยู่ระหว่างฮาร์ดแวร์กับแอปพลิเคชัน ช่วยจัดการการเชื่อมต่อ การรับส่งข้อมูล การประมวลผล และการทำงานร่วมกัน Platform มี API ที่ช่วยให้นักพัฒนาสร้างแอปพลิเคชัน AIoT ได้ง่ายขึ้น เช่น AWS IoT Google Cloud IoT Microsoft Azure IoT หรือ IBM Watson IoT (Tinapron & Onboonuea, 2025)

7) Protocol

Protocol เป็นชุดกฎเกณฑ์และมาตรฐานที่กำหนดวิธีการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในระบบ AIoT เพื่อให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างกันสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โปรโตคอลที่ใช้ใน AIoT แบ่งตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่ MQTT: Message Queuing Telemetry Transport เป็นโปรโตคอลหลัก สำหรับ IoT ที่ใช้แบนด์วิดท์ต่ำ ทำงานแบบ Publish Subscribe เหมาะกับอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด นอกจากนี้มีโปรโตคอล CoAP: Constrained Application Protocol ซึ่งออกแบบสำหรับอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดสูง ทำงานบน UDP เพื่อความเร็วและประหยัดพลังงาน เหมาะกับ Sensor Networks HTTP/HTTPS เป็นโปรโตคอลมาตรฐานสำหรับ Web ใช้สื่อสารระหว่าง Edge-Cloud และ RESTful API มีความปลอดภัยสูงด้วย SSL/TLS WebSocket รองรับการสื่อสารแบบ Full-duplex Real-time สองทิศทาง เหมาะกับ Dashboard และการควบคุมอุปกรณ์ทันที AMQP: Advanced Message Queuing Protocol ใช้ในระบบที่ต้องการความน่าเชื่อถือสูง รองรับ Message Queue และ Transaction Zigbee Z-Wave LoRaWAN เป็นโปรโตคอลสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะไกลและประหยัดพลังงานสูง เหมาะกับ Smart Home และ Agricultural IoT Bluetooth Low Energy: BLE ใช้กับอุปกรณ์ใกล้ตัว เช่น Wearables และ Beacon Systems ประหยัดพลังงานมาก 5G/LTE ใช้สำหรับการสื่อสารความเร็วสูง เหมาะกับ Autonomous Vehicles และ Industrial IoT ที่ต้องการ Ultra-low Latency การเลือกใช้โปรโตคอลขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น ระยะทาง ความเร็ว ข้อจำกัดพลังงาน ความปลอดภัย และต้นทุน โดยระบบ AIoT ที่ดีมักใช้หลายโปรโตคอลร่วมกัน (hybrid) เพื่อให้เหมาะสมกับแต่ละ Layer และการใช้งาน

8) ระบบรักษาความปลอดภัย

ระบบรักษาความปลอดภัย เป็นการยืนยันตัวตน (authentication) การเข้ารหัสข้อมูล (encryption) การตรวจสอบ (monitoring) และการจัดการสิทธิ์การเข้าถึง (authorization) ระบบรักษาความปลอดภัยจะมีการอัพเดทซอฟต์แวร์อย่างสม่ำเสมอ เพราะระบบทำงานตลอดเวลา เพื่อป้องกันภัยคุกคามจากแฮกเกอร์และมัลแวร์

9) ระบบบริหารจัดการและ Dashboard

ระบบบริหารจัดการและ Dashboard เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถติดตามสถานะ ตรวจสอบข้อมูล ควบคุมอุปกรณ์ และปรับแต่งการทำงานของ AI ได้อย่างสะดวก Dashboard มักแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟ แผนภูมิ และการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ ทำให้ผู้ใช้เข้าใจสถานการณ์ได้อย่างรวดเร็วและตัดสินใจได้ทันท่วงที

10) ระบบการอัพเดทและการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง

ระบบการอัพเดทและการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง ซึ่ง AI Model ระบบต้องมีการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง เป็นการอัพเดทตัวเองอยู่เสมอเพื่อเพิ่มความแม่นยำ และระบบต้องมีกลไกในการรวบรวมข้อมูลใหม่ ฝึกฝน Model ใหม่ นำไปใช้งานจริง (model deployment) แบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ รวมถึงการทำ A/B Testing เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Model

จากองค์ประกอบที่กล่าวถึง ทำให้ AIoT เป็นระบบที่สมบูรณ์ สามารถรับรู้สภาพแวดล้อม วิเคราะห์ข้อมูล ตัดสินใจอย่างชาญฉลาด และปฏิบัติการได้อัตโนมัติ โดยมีมนุษย์เป็นผู้กำหนดทิศทางและดูแลควบคุมในภาพรวม ซึ่งนำไปสู่ระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดต้นทุน และสามารถตอบสนองความต้องการที่เปลี่ยนแปลงได้

ตาราง 3

เปรียบเทียบ IoT กับ AIoT

หัวข้อเปรียบเทียบ	IoT: Internet of Things	AIoT: Artificial Intelligence of Things
ความหมาย	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับอินเทอร์เน็ต	การผสมผสาน AI เข้ากับอุปกรณ์ IoT
ความสามารถในการประมวลผล	ทำงานตามคำสั่งที่กำหนดไว้	ประมวลผล วิเคราะห์ และตัดสินใจได้เอง
การเรียนรู้	ไม่มีการเรียนรู้	เรียนรู้จากข้อมูลและปรับปรุงตัวเองได้ (machine learning)
การตัดสินใจ	ต้องมีคำสั่งจากผู้ใช้หรือระบบกลาง	ตัดสินใจอัตโนมัติจากการวิเคราะห์ข้อมูล
การวิเคราะห์ข้อมูล	รวบรวมและส่งข้อมูล	วิเคราะห์และทำนายข้อมูลแบบ Real-time
ความฉลาด	ฉลาดระดับพื้นฐาน (เชื่อมต่อ-ส่งข้อมูล)	ฉลาดขั้นสูง (เข้าใจบริบท-คาดการณ์)
ตัวอย่างการใช้งาน	- หลอดไฟอัจฉริยะเปิด-ปิดตามคำสั่ง	- กล้องจดจำใบหน้า
	- เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	- รถยนต์ขับขี่อัตโนมัติ
	- กล้องวงจรปิดทั่วไป	- ระบบแนะนำสินค้าอัจฉริยะ
การประมวลผลข้อมูล	ส่งข้อมูลไปประมวลผลที่ Cloud	ประมวลผลได้ทั้งที่อุปกรณ์ (Edge AI) และ Cloud
การตอบสนอง	ตอบสนองตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้	ตอบสนองแบบคาดการณ์และปรับตัว
ความซับซ้อน	ค่อนข้างง่าย	ซับซ้อนกว่า ต้องใช้อัลกอริทึม AI
ต้นทุน	ต่ำกว่า	สูงกว่า (ต้องการ AI Chip/Software)
การบำรุงรักษา	อัพเดทเฉพาะ Firmware	อัพเดททั้ง Firmware และโมเดล AI
ตัวอย่างอุปกรณ์	Smart Plug Smart Lock เซ็นเซอร์อุณหภูมิ	Smart Speaker (Alexa) กล้อง AI หุ่นยนต์ทำความสะอาด

สรุป

การประยุกต์ใช้งาน AIoT: Artificial Intelligence of Things

จากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้กล่าวถึงการนำระบบ AIoT ไปใช้งานและขอนำเสนอในส่วนของการใช้งาน 3 ประเด็นดังนี้ (1) ด้าน Smart Home (2) ด้าน Smart farm และ (3) ด้าน Smart Health ดังนี้

1. ด้าน Smart Home (ดังตาราง 4)

1.1 ระบบจัดการพลังงานอัจฉริยะหัวข้อ: “Deep Learning-Based Energy Management System for Smart Homes” ใช้ AI เพื่อทำนายการใช้พลังงานและปรับการทำงานของอุปกรณ์อัตโนมัติ ลดค่าไฟฟ้าได้ 30-40%

1.2 ระบบรักษาความปลอดภัยด้วย AI หัวข้อ: “Smart Home Security System Using Deep Learning and IoT Sensors” ใช้ Computer Vision ตรวจจับผู้บุกรุกและรู้จำใบหน้าเจ้าของบ้าน

1.3. ระบบควบคุมบ้านอัจฉริยะโดยใช้เสียง หัวข้อ”An Intelligent Voice-Based Smart Home Control System Using Deep Learning and NLP” แม่นยำสูง 95 % รองรับ 15 ภาษา

2. ด้าน Smart farm (ดังตาราง 5)

2.1 ระบบตรวจโรคพืชอัตโนมัติ หัวข้อ: “Plant Disease Detection using Deep Learning and IoT in Precision Agriculture” ใช้ CNN ตรวจจับโรคพืชจากภาพถ่าย ความแม่นยำ 95-98%

2.2 ระบบให้น้ำอัจฉริยะ หัวข้อ: “AI-Enabled IoT-Based Smart Irrigation System for Precision Agriculture” ทำนายความชื้นในดินด้วย Machine Learning ประหยัดน้ำได้ 40-50%

2.3 ระบบตรวจติดตามปศุสัตว์ด้วย computer vision หัวข้อ “Computer Vision and Deep Learning for Precision Livestock Farming: A Comprehensive Survey”

3. Smart Health (ดังตาราง 6)

3.1 ระบบติดตามสุขภาพผู้สูงอายุ หัวข้อ: “ Fall Detection for Elderly Care” ตรวจจับการล้มและพฤติกรรมผิดปกติ แจ้งเตือนญาติแบบ Real-time

3.2 ระบบพยากรณ์โรคเบาหวาน หัวข้อ: “ Heart Disease Prediction System” ใช้ ทำนายโรคหัวใจล่วงหน้า

3.3 ระบบเฝ้าติดตามผู้ป่วยด้วย Edge AI หัวข้อ: “Remote Patient Monitoring with Edge AI” ตรวจวัดอุณหภูมิและอาการเบื้องต้น

ตาราง 4

การประยุกต์ใช้งาน AIoT ด้าน Smart Home

หัวข้อ	เทคโนโลยี AI	เซ็นเซอร์/IOT	ผลลัพธ์	แหล่งที่มา
1. Smart Energy Management Using LSTM	LSTM Neural Network	Smart Meter Temperature Motion Sensors	ลดพลังงาน 35% ทำนายถูกต้อง 92%	Almeida et al., 2025
2. AI-Based Home Security with Face Recognition	CNN + Transfer Learning (VGG16)	IP Camera PIR Sensors Door Sensors	ความแม่นยำ 97.5% False Alarm ลด 80%	Sanjay et al., 2024
3. Voice-Controlled Smart Home with NLP	Deep Learning NLP + Fuzzy Logic	Microphone Array Smart Plugs Temperature Control	รองรับ 15 ภาษา, Response Time < 2 sec	Torad et al., 2022

ตาราง 5

การประยุกต์ใช้งาน AIoT ด้าน Smart farm

หัวข้อ	เทคโนโลยี AI	เซ็นเซอร์/IOT	ผลลัพธ์	แหล่งที่มา
1. Plant Disease Detection with Deep CNN	ResNet-50 + Image Processing	RGB Camera Drone Imaging	ตรวจจับ 38 โรค Accuracy 98.2%	Ferentinos, 2018
2. Smart Irrigation with ML Prediction	Random Forest + Weather API	Soil Moisture Temperature Humidity Sensors	ประหยัดน้ำ 46% ผลผลิตเพิ่ม 23%	Goap et al., 2018
3. Livestock Monitoring with Computer Vision	YOLO v5 + Behavior Analysis	Thermal Camera Weight Sensors GPS Collars	ตรวจโรคเร็วขึ้น 5 วัน ลดการตาย 30%	Bezen et al., 2020

ตาราง 6

การประยุกต์ใช้งาน AIoT ด้าน Smart Health

หัวข้อ	เทคโนโลยี AI	เซ็นเซอร์/IOT	ผลลัพธ์	แหล่งที่มา
1. Fall Detection for Elderly Care	LSTM + 3D CNN	Accelerometer Gyroscope Depth Camera	ตรวจจับการล้ม 96.8% False Positive 2.1%	Ha et al., 2022
2. Heart Disease Prediction System	XGBoost + Deep Neural Network	ECG Sensor Blood Pressure SpO2 Wearable Device	ทำนายโรคหัวใจล่วงหน้า 95.6%	Ali et al., 2020
3. Remote Patient Monitoring with Edge AI	TensorFlow Lite + Federated Learning	Multi-parameter Monitor, Smart Bracelet	Real-time Processing Privacy-Preserved 100%	Rathi et al., 2021

จากการประยุกต์ใช้งาน AIoT ในด้านต่าง ๆ มีข้อค้นพบในส่วนของเทคโนโลยีที่เป็นตัวขับเคลื่อน ดังนี้

1. Edge Computing & Edge AI-Edge Computing เป็นตัวขับเคลื่อนหลักของ AIoT โดยย้ายการประมวลผลข้อมูลจาก Cloud มายัง Edge

2. การพัฒนาฮาร์ดแวร์-การจัดส่ง AI Edge processors จะเติบโตจาก 2.3 พันล้านชิ้นในปี 2023 เป็นเกือบ 4 พันล้านชิ้นในปี 2028

3. AI Model Optimization - การพัฒนา TinyML และโมเดล AI ขนาดเล็กที่สามารถทำงานบนอุปกรณ์พลังงานต่ำได้

ในส่วนของข้อจำกัดประกอบด้วย ข้อจำกัดด้านข้อมูลและชุดข้อมูล ข้อจำกัดด้านทรัพยากรฮาร์ดแวร์ ข้อจำกัดในการตรวจสอบความถูกต้อง ข้อจำกัดด้านความสามารถในการอธิบาย ข้อจำกัดด้านความปลอดภัยข้ามชั้น และข้อจำกัดด้านความเป็นส่วนตัวและข้อมูล

สำหรับแนวโน้มและทิศทางสำหรับงานวิจัยในอนาคต เมื่ออุปกรณ์ IoT สร้างข้อมูลจำนวนมหาศาล ซึ่งเกินความสามารถในการประมวลผลปัจจุบัน โดยเฉพาะที่ Edge ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมและอัลกอริทึมใหม่สำหรับ Edge AI Framework สำหรับประมวลผลข้อมูลที่ขยายได้ วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำการวิเคราะห์แบบ Real-time และการจัดการข้อมูลแบบ Context-aware และ Dynamic

References

Ali, F., El-Sappagh, S., Islam, S. R., Kwak, D., Ali, A., Imran, M., & Kwak, K. S. (2020). A smart healthcare monitoring system for heart disease prediction based on ensemble deep learning and feature fusion. *Information Fusion, 63*, 208-222. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.06.008

Almeida, F., Castelli, M., Côrte-Real, N., Fallarino, C., & Manzoni, L. (2025). Smart energy strategies: Leveraging LSTM and LLMs for advanced energy management. *Energy and AI, 22*, 100642. https://doi.org/10.1016/j.egyai.2025.100642

Bezen, R., Edan, Y., & Halachmi, I. (2020). Computer vision system for measuring individual cow feed intake using RGB-D camera and deep learning algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture, 172*, 105345. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105345

Digital Government Department. (2024). *Digital government development plan of Thailand (2023-2027)* [In Thai]. https://www.dga.or.th

El-Khozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H. E., & Abd El Halim, A. A. E. B. A. E. (2024). A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 9*, 100666. https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666

Ferentinos, K. P. (2018) Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture, 145*, 311-318. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009

Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Krishna, R. (2018). An IoT based smart irrigation management system using machine learning and open source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture, 155*, 41-49. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040

Ha, T. V., Nguyen, H., Huynh, S. T., Nguyen, T. T., & Nguyen, B. T. (2022). Fall detection using multimodal data. *arXiv, 2205*, 05918. https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.05918

Onboonuea, T., & Tinapron, S. (2023). Study of the performance and design of dust sensors [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(3), 26–37. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/265947

Rathi, V. K., Rajput, N. K., Mishra, S., Grover, B. A., Tiwari, P, Jaiswal, A. K., & Hossain, M. S. (2021). An edge AI-enabled IoT healthcare monitoring system for smart cities. *Computers and Electrical Engineering, 96*, 107524. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107524

Sanjay, C., Jahnavi, K., & Karanth, S. (2024). A secured deep learning based smart home automation system. *International Journal of Information Technology, 16*, 5239–5245. https://doi.org/10.1007/s41870-024-02097-1.

Teerapabakjorndet, W., & Somtad, N. (2025). Performance analysis of low-cost wireless AIoT for real-time object detection: Arowana monitoring case study [In Thai]. *ECTI Transactions on Application Research and Development, 5*(1), 1-10. https://doi.org/10.37936/ectiard.2025-5-1.256934

Tinapron, S., & Onboonuea, T. (2025). Study of a platform for Internet of Things Developers [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 19*(1), 17–28. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/275566

Tipaksorn, P., Wiwek, A., & Pairote, A. (2022). A cloud-based AIoT application in smart building [In Thai]. *RMUTL Engineering Journal, 7*(1), 1-10. https://doi.org/10.14456/rmutlengj.2022.6

Torad, M. A., Bouallegue, B., & Ahmed, A. M. (2022). A voice controlled smart home automation system using artificial intelligent and internet of things. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), 20*(4), 808. http://doi.org/10.12928/telkomnika.v20i4.23763

Yaqoob, S., Ullah, F., AbuAli, N., Anwar, H., Saeed, N., & Hayajneh, M. (2026). AIoT for human emotion recognition: Potentials, challenges, and healthcare applications. *Computer Science Review, 60*, 100859. https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2025.100859

การวิเคราะห์ผลของมุมปะทะกระแสอากาศต่อสมรรถนะของอินเตอร์คูลเลอร์แบบวี-เมาท์ โดยใช้แบบจำลองหลายสเกลร่วมกับสื่อพรุน

Effect of Airflow Impact Angle on the Flow and Heat Transfer Performance of a V-Mount Intercooler using Multi-Scale Coupling and Porous Media Modeling

รชต สุทธิประดิษฐ์[1] และสงกรานต์ วิริยะศาสตร์[1]
Rachata Sutthipradist[1] and Songkran Wiriyasart[1]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
[1]Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University
Received: June 20, 2025
Revised: September 25, 2025
Accepted: October 2, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของมุมปะทะกระแสอากาศที่มีต่อพฤติกรรมการไหลและสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของอินเตอร์คูลเลอร์ โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ร่วมกับการจำลองแบบหลายสเกลและแบบจำลองสื่อพรุน โดยเมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในทำนายการแลกเปลี่ยนความร้อนของแบบจำลองสื่อพรุนเทียบกับแบบจำลองแผ่นครีบ พบว่าค่า MAE เท่ากับ 0.193% และ 2.445% ในกรณีระยะระหว่างแผ่นครีบ 1 mm และ 2 mm ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ผลของมุมปะทะ 15° 30° 45° และ 90° พบว่า มุมปะทะมีผลต่อความปั่นป่วนภายในช่องครีบ (TKE) ความดันตกคร่อม (ΔP) ปริมาณอากาศหล่อเย็นซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมุมที่สูงขึ้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) เพิ่มขึ้น สูงสุด 78.29 kW ในกรณีมุม 90° ในขณะที่การวิเคราะห์ค่าประสิทธิผลพบว่าของการแลกเปลี่ยนความร้อน กรณีมุม 15° มีค่าประสิทธิผลสูงสุด ($\varepsilon \approx 0.97$) กลับกันในกรณีมุม 90° มีค่าประสิทธิผลต่ำสุด ($\varepsilon \approx 0.69$)

คำสำคัญ: อินเตอร์คูลเลอร์ มุมปะทะกระแสอากาศ แบบจำลองสื่อพรุน การจำลองแบบหลายสเกล

Abstract

This study aims to investigate the effects of airflow impact angles on the flow behavior and heat transfer performance of an intercooler using Computational Fluid Dynamics (CFD) combined with a multi-scale coupling method and a porous media model. The accuracy of the porous media model in predicting heat transfer performance was validated against an explicit fin model, yielding Mean Absolute Errors (MAE) of 0.193% and 2.445% for fin pitches of 1 mm and 2 mm, respectively. Four impact angles—15°, 30°, 45°, and 90°—were analyzed. The results indicate that the impact angle significantly influences the turbulent kinetic energy (TKE), pressure drop (ΔP), and cooling air mass flow rate, which are the primary factors affecting heat transfer performance. Higher impact angles lead to increased heat transfer rates (Q), with the maximum value of 78.29 kW observed at 90°. However, effectiveness analysis shows that the 15° case achieves the highest thermal effectiveness (ε ≈ 0.97), whereas the 90° case exhibits the lowest effectiveness (ε ≈ 0.69).

Keywords: intercooler, airflow impact angle, porous media model, multi-scale coupling method

บทนำ

ในระบบเครื่องยนต์ที่มีการอัดอากาศ อินเตอร์คูลเลอร์ (intercooler) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของอากาศก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยลดอุณหภูมิของอากาศอัดจากเทอร์โบชาร์เจอร์หรือซุปเปอร์ชาร์เจอร์ ส่งผลให้กำลังเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นและการปล่อยไอเสียลดลง (Gao et al., 2019) อย่างไรก็ตาม การติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์แบบทั่วไปซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศ มีข้อจำกัดด้านความร้อนสะสมในห้องเครื่อง เนื่องจากอากาศที่เข้าหล่อเย็นอากาศอัดที่อินเตอร์คูลเลอร์มาแล้วอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เมื่อเข้าระบายความร้อนในหม้อน้ำซึ่งติดตั้งในตำแหน่งถัดไป ทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในเครื่องยนต์โรตารี่ที่มีการผลิตความร้อนที่สูง เนื่องจากมีความถี่ของการจุดระเบิดสูงกว่าเครื่องยนต์แบบลูกสูบทั่วไป ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้และไอเสียจึงสูงกว่าเครื่องยนต์แบบลูกสูบ (Li et al., 2025b) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จำเป็นต้องติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์แบบวี-เมาท์ (V-Mount) ซึ่งอินเตอร์คูลเลอร์และหม้อน้ำจะถูกติดตั้งเอียงเข้าหากันในลักษณะรูปตัว V ทำให้กระแสอากาศสามารถไหลผ่านทั้งสองอุปกรณ์พร้อมกันจากด้านหน้ารถและระบายออกทางฝากระโปรงได้โดยตรง (HKS Co., Ltd., 2008)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสมรรถนะของอินเตอร์คูลเลอร์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ เช่น รูปแบบของครีบ (Kim et al., 2010; Kim et al., 2016) รูปทรงของช่องการไหล (Jouhara et al., 2021; Park et al., 2016) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการไหล ความต้านทานการไหล และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยตรง นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Du et al. (2014) พบว่า การปรับมุมปะทะของอากาศกับเครื่องระบายความร้อนด้วยอากาศจาก 90° ไปเป็น 60° หรือ 45° สามารถเพิ่มสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในอินเตอร์คูลเลอร์หรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอื่น ๆ ในปัจจุบันนิยมใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนและเวลาในการทดลอง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากลักษณะทางเรขาคณิตของแผ่นครีบที่ซับซ้อนมากภายในอินเตอร์คูลเลอร์ การจำลองลักษณะการไหลโดยใช้แบบจำลองที่มีความละเอียดสูงอาจใช้เวลาและทรัพยากรในการประมวลผลสูง จึงมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองสื่อพรุน (porous media model) เพื่อแทนแผ่นครีบ โดยใช้พารามิเตอร์ที่หาได้จากการทดลองหรือการทดลองกับแผ่นครีบจริง เช่น ค่า permeability และ inertial resistance เพื่ออธิบายลักษณะการต้านทานของ

การไหล (Li et al., 2025b) นอกจากนี้งานวิจัยของ Liu et al. (2020) และ Huang et al. (2014) ยังได้เสนอวิธีการจำลองแบบหลายสเกล (multi-scale coupling method) โดยจำลองส่วนของท่อกระจายอากาศและแกนกลาง แยกจากกัน เพื่อลดความซับซ้อนของแบบจำลองโดยยังสามารถคงความแม่นยำไว้ได้

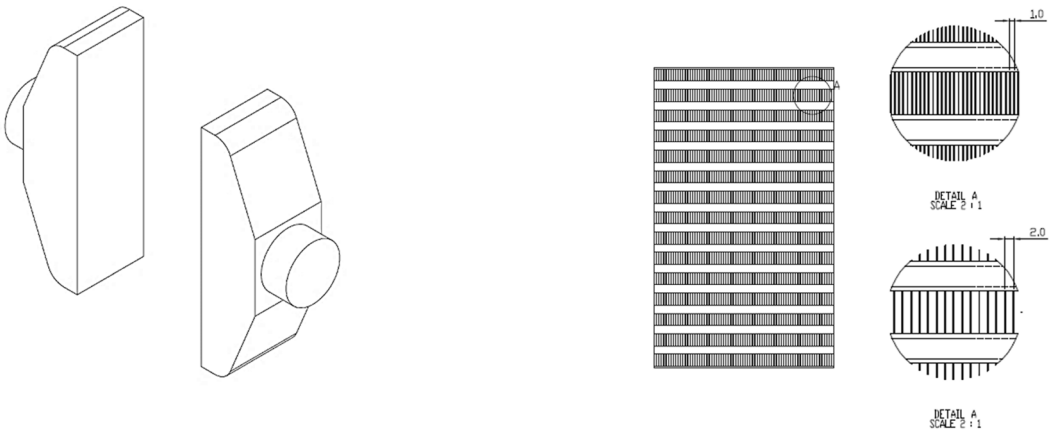
ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงมุมปะทะของกระแสอากาศที่ไหลผ่านอินเตอร์คูลเลอร์ต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนและการไหล โดยอาศัยการจำลอง CFD ร่วมกับวิธีการจำลองแบบหลายสเกลและแบบจำลองสื่อพรุน เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหล และสมรรถนะการแลกเปลี่ยนความร้อน ในกรณีมุมปะทะระหว่างอินเตอร์คูลเลอร์และกระแสอากาศหล่อเย็นที่แตกต่างกัน

ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองอินเตอร์คูลเลอร์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์ในกรณีมุมต่าง ๆ กับกระแสอากาศหล่อเย็นที่ไหลผ่าน โดยใช้การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะการแลกเปลี่ยนความร้อนและลักษณะการไหลภายในอุปกรณ์ อินเตอร์คูลเลอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาดโดยรวม 310 mm × 250 mm × 80 mm ประกอบด้วยสองส่วนหลัก ดังนี้

1. ท่อกระจายอากาศ (manifold) ทำหน้าที่เป็นทางเข้าและออกของอากาศอัด ซึ่งกระจายเข้าสู่แกนกลางของอินเตอร์คูลเลอร์ โดยมีท่อทางเข้าและทางออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 mm แบบสมมาตรที่ปลายทั้งสองด้านของอินเตอร์คูลเลอร์ ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบได้ทั่วไปในระบบระบายความร้อนของรถยนต์ แสดงดังภาพ 1

2. แกนกลาง (core) เป็นบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศอัดและอากาศหล่อเย็นผ่านผนังของช่องทางการไหล ประกอบด้วยท่อทางเดินอากาศจำนวน 14 ช่อง ซึ่งมีความยาว 150 mm และแผ่นครีบ (fins) ที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการถ่ายเทความร้อน โดยในการศึกษานี้ได้ใช้แผ่นครีบแบบตรง (straight fins) ที่มีความหนา 0.2 mm และกำหนดระยะห่างระหว่างครีบ (fin pitch) เท่ากับ 1 mm และ 2 mm ตามลำดับ แสดงดังภาพ 2 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านการไหลและการถ่ายเทความร้อน อย่างไรก็ตามในส่วนรายละเอียดอื่น ๆ เช่น รอยเชื่อมระหว่างส่วนประกอบ ความคลาดเคลื่อนของระยะต่าง ๆ (tolerance) และลักษณะพื้นผิวอื่น ๆ จะไม่ถูกพิจารณาในแบบจำลองนี้



(ก) (ข)

ภาพ 1 แบบจำลองอินเตอร์คูลเลอร์ที่ใช้ศึกษา (ก) ท่อกระจายอากาศ (manifold) (ข) แกนกลาง (core)

ในงานวิจัยนี้ได้นำแนวทางการจำลองแบบหลายสเกล (multi-scale coupling method) มาประยุกต์ใช้โดยแยกจำลอง ส่วนประกอบของอินเตอร์คูลเลอร์ออกเป็นสองส่วน โดยเริ่มจากท่อกระจายอากาศเพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอัตราการไหลเชิงมวล ความเร็ว และความดัน ของอากาศอัด จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) เริ่มต้นสำหรับการจำลองในส่วนของแกนกลางซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการถ่ายเทความร้อนต่อไป (Huang et al., 2014)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในอินเตอร์คูลเลอร์จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีพื้นฐานจากสมการควบคุม (governing equations) ที่อาศัยหลักการอนุรักษ์ปริมาณทางฟิสิกส์ ได้แก่ มวล โมเมนตัม พลังงาน และปั่นป่วนของการไหล (Tey et al., 2017) โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ ANSYS Fluent เป็นเครื่องมือในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ร่วมกับแบบจำลองสื่อพรุนเพื่อแทนผลของแผ่นครีบ และการจำลองแบบหลายสเกล (multi-scale coupling) แสดงดังสมการที่ (1) – (9)

1. สมการความต่อเนื่อง (continuity equation)

สมการความต่อเนื่องคือสมการที่อธิบายหลักการอนุรักษ์มวลของของไหล โดยในระบบปิด มวลจะไม่ถูกสร้างหรือทำลาย การเปลี่ยนแปลงของมวลภายในขอบเขตเขตการไหลจะถูกสมดุลกันระหว่างการเข้าและออกของของไหล

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \bullet (\rho \mathbf{u}) = 0 \qquad (1)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3) และ $\mathbf{u}$ คือ เวกเตอร์ความเร็วของของไหล ($\mathbf{u, v, w}$) ซึ่งประกอบด้วยความเร็วในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ (m/s)

2 สมการโมเมนตัม (momentum equation)

สมการโมเมนตัมมีพื้นฐานจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's second law) โดยแรงสุทธิกระทำต่อมวลเท่ากับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม สมการโมเมนตัมสามารถเขียนในรูปทั่วไปได้ ดังนี้

$$\rho\left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \bullet \nabla \mathbf{u}\right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{F} \qquad (2)$$

โดยที่ P คือ ความดัน (N/m^2), μ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลว (N·s/m^2) และ $\mathbf{F}$ คือ แรงภายนอก (N)

3 สมการพลังงาน

สมการพลังงานในพลศาสตร์ของไหลเป็นสมการที่แสดงการอนุรักษ์พลังงานของของไหล ซึ่งประกอบไปด้วยเทอมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลต่อเวลา หรือการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (transient term) เทอมการพาความร้อนตามแนวแกน (convective heat transfer term) และเทอมการนำความร้อนผ่านการกระจายของอุณหภูมิ (conductive heat transfer term) ซึ่งสามารถเขียนรวมกันได้ ดังนี้

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u}\frac{\partial T}{\partial x_i}\right) = k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2}\right) + \Phi + S_h \qquad (3)$$

โดยที่ c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (J/kg-K), T คือ อุณหภูมิของของไหล (K), k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล (W/m-K), S_h คือ แหล่งกำเนิดหรือสูญเสียพลังงานความร้อนและสำหรับ Dissipation Function (Φ) เป็นเทอมที่แสดงถึงการสูญเสียพลังงานกล (mechanical energy) ในรูปของพลังงานความร้อนเนื่องจากแรงหนืด (viscous effects) ในของไหลเมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ที่มีแรงเฉือน (shear stress) และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

4. แบบจำลองความปั่นป่วน $k-\varepsilon$ มาตรฐาน

ในการวิเคราะห์การไหลที่มีความปั่นป่วนสูง แบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐานเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการวิเคราะห์การไหลภายในอินเตอร์คูลเลอร์เนื่องจากมีความแม่นยำและประสิทธิภาพในการคำนวณ ประกอบไปด้วยแบบจำลองความปั่นป่วนสองสมการ โดยอธิบายการไหลผ่านสมการของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) และอัตราการสลายพลังงาน (ε) ซึ่งช่วยแทนผลของแรงเฉือนและการกระจายพลังงานในของไหล มีสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}+\nabla\bullet(\rho\mathbf{u}k)=\nabla\bullet\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla k\right]+G_k-\rho\varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\nabla\bullet(\rho\mathbf{u}\varepsilon)=\nabla\bullet\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla\varepsilon\right]$$

$$+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k+C_{3\varepsilon}G_b)-G_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

$$G_k=2\mu_t\mathbf{S}:\mathbf{S} \quad (6)$$

$$\mu_t=\rho C_\mu\frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

โดยที่ k คือ พลังงานจลน์ความปั่นป่วน (m^2/s^2), μ_t คือ ความหนืดการปั่นป่วน (turbulent viscosity) ($N\cdot s/m^2$), ε คือ อัตราการสลายพลังงานจลน์ความปั่นป่วน (m^2/s^3), G_k คือ อัตราการเกิดพลังงานจลน์ความปั่นป่วน, $\mathbf{S}:\mathbf{S}$ คือ Double contraction ของ Strain tensor และสำหรับ $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ และ $C_{3\varepsilon}$ เป็นค่าคงที่ สำหรับพลังงานจลน์ปั่นป่วน σ_k และ σ_ε เป็นค่าคงที่พรันด์เทิล สำหรับอัตราแพร่การกระจายพลังงานจลน์ความปั่นป่วน (diffusion of k) และอัตราการสลายพลังงานจลน์ความปั่นป่วน (diffusion of ε) ตามลำดับ โดยกำหนดให้ $C_{1\varepsilon}$ =1.44, $C_{2\varepsilon}$ =1.92, $C_{3\varepsilon}$ =0.09, σ_k =1.00 และ σ_ε =1.30 (Jones & Launder, 1972)

5. แบบจำลองสื่อพรุน (Porous Media Model)

ในการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น อินเตอร์คูลเลอร์ ส่วนประกอบภายในมักมีความซับซ้อนสูง เช่น แผ่นครีบ (fins) ขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งมีผลต่อสมรรถนะทั้งด้านการถ่ายเทความร้อนและแรงต้านการไหล อย่างไรก็ตาม การสร้างแบบจำลองที่มีละเอียดในระดับเรขาคณิต (geometry-level resolution) สำหรับส่วนประกอบนี้ส่งผลให้จำนวนเซลล์ในโดเมนของการจำลอง (computational domain) เพิ่มขึ้นอย่างมาก และนำไปสู่การใช้ทรัพยากรในการคำนวณที่สูง ทั้งในด้านหน่วยความจำและเวลาในการคำนวณ

ในการศึกษานี้จึงใช้แบบจำลองสื่อพรุน (porous media model) มาใช้แทนการจำลองแผ่นครีบของอินเตอร์คูลเลอร์ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Çetin et al. (2017), Li et al. (2021) และ Zhang et al. (2016) ได้นำแบบจำลองสื่อพรุนมาใช้แทนที่ส่วนที่ซับซ้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นวัสดุที่มีความพรุน (porous zone) ซึ่งสามารถลดจำนวนเซลล์ในโดเมนของการจำลองในขณะที่ผลลัพธ์ของการไหลและการถ่ายเทความร้อนยังมีความสอดคล้องกัน (คลาดเคลื่อน ~10-12%) เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่มีความซับซ้อน เห็นได้ว่า แบบจำลองนี้สามารถลดความซับซ้อนของแบบจำลอง ในขณะที่ยังรักษาความแม่นยำในการคำนวณ ซึ่งจะจำลองผลกระทบของโครงสร้างที่มีต่อการไหลในลักษณะของ แรงต้านทาน (flow resistance) และการนำความร้อนประสิทธิผล (effective thermal conductivity) โดยแบบจำลองนี้มีพื้นฐานจาก กฎของดาร์ซี (Darcy's law) ที่ใช้อธิบายการไหลของของไหลผ่านวัสดุพรุน โดยพิจารณาแรงต้านเชิงเส้นที่ขึ้นกับความหนืดและความสามารถในการไหลผ่านของวัสดุ (permeability, α) (Whitaker, 1986) มีสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

$$\Delta P=-\left(\frac{\mu}{\alpha}\mathbf{u}+C_2\frac{1}{2}\rho\mathbf{u}^2\right) \quad (8)$$

โดยที่ คือ ความสามารถในการซึมผ่าน และ ค่าคงที่ คือ

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียต่อหน่วยความยาวในทิศทางการไหล เนื่องจากแรงเฉื่อยในตัวกลางพรุน สำหรับการไหลที่มีความเร็วสูงหรือมีความปั่นป่วน (turbulent flow)

$$k_{eff} = \gamma k_f + (1-\gamma) k_s \qquad (9)$$

โดยที่ $_{eff}$ คือ ค่าการนำความร้อนที่มีประสิทธิผล (W/m-K), γ คือ ค่าความพรุน หาได้จากสัดส่วนช่องว่างของหน้าตัดการไหลผ่านสื่อพรุน, k_f คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล (W/m-K) และ k_s คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของแข็งหรือสื่อพรุน (W/m-K)

6. ระเบียบวิธีการคำนวณแบบ SIMPLE Algorithm

SIMPLE: Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations เป็นวิธีการเชิงตัวเลขที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Patankar and Spalding (1972) เพื่อใช้แก้ปัญหาระหว่างสมการโมเมนตัมและสมการความต่อเนื่อง โดยวิธีการทำซ้ำ (iterative method) ที่ใช้การประมาณค่าเริ่มต้น (guess) และการปรับแก้ความดัน (pressure correction) เพื่อให้ค่าความเร็วที่ได้จากสมการโมเมนตัมเมื่อแทนค่าความดันนั้น สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง โดยทั่วไปการลู่เข้าของ SIMPLE algorithm จะใช้การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์แบบปรับสเกล (scaled absolute residuals) ในการศึกษานี้กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ สำหรับสมการความต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัม คือ <10-3 และสำหรับสมการพลังงานคือ <10-6 เพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ

เงื่อนไขขอบเขต

ในการศึกษานี้ใช้การอ้างอิงปริมาณอากาศที่ไหลผ่านอินเตอร์คูลเลอร์จากเครื่องยนต์โรตารี่ 3 โรเตอร์ ปริมาตรความจุ 654 cc. (39.9 cid) ต่อ 1 โรเตอร์ ทำงานที่ 10,000 RPM และมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเท่ากับ 1 เนื่องจากใช้ร่วมกับระบบอัดอากาศ (Bell, 1997) จากหลักการทำงานของเครื่องยนต์ของโรตารี่ที่มีการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องยนต์ลูกสูบ แต่มีจุดที่แตกต่าง คือ ใน 1 รอบของเครื่องยนต์โรตารี่ ใช้การจุดระเบิด 3 ครั้ง จะได้ปริมาณการใช้อากาศของเครื่องยนต์ในหน่วย SI เท่ากับ 0.327 m^3/s สำหรับอุณหภูมิที่ทางออกของเครื่องอัดอากาศโดยจำลองระหว่างความดันอากาศอัดเท่ากับ 0.5–2.0 barg และกำหนดให้เป็นการอัดตัวของเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพไอเซนทรอปิก 80 % ดังสมการที่ 10 และ 11

$$\text{Pressure ratio}^{k-1/k} = T_{outlet} / T_{inlet} \qquad (10)$$

$$eff_{comp.} = \frac{(T_{outlet} - T_{inlet})}{(T_{outlet,act.} - T_{inlet})} \qquad (11)$$

กำหนดให้อากาศเป็น ก๊าซอุดมคติ (ideal gas) โดยถือว่าความดันและอุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วงที่สมบัติของอากาศสามารถประมาณได้ด้วยสมการก๊าซอุดมคติ เพื่อความสะดวกในการจำลองและคำนวณเชิงตัวเลข โดยใช้สมบัติทางอุณหพลศาสตร์และสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศที่อุณหภูมิอ้างอิง ซึ่งค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลองแสดงดัง ตาราง 1

กรณีศึกษาการวิเคราะห์มุมปะทะของกระแสอากาศของอินเตอร์คูลเลอร์

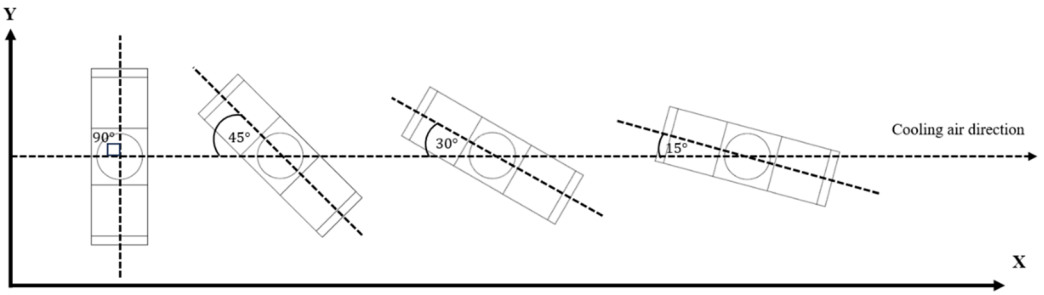
ในการศึกษานี้ได้กำหนดกรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์ผลของมุมปะทะของกระแสอากาศ (impact angle) ที่มีต่อพฤติกรรมการไหลและการแลกเปลี่ยนความร้อนในอินเตอร์คูลเลอร์ โดยพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งที่ทำมุมกับกระแสอากาศหล่อเย็นที่แตกต่างกัน 4 กรณี ได้แก่ 15° 30° 45° และ 90° แสดงดังภาพ 2

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาด้วยการจำลองเชิงตัวเลข ไม่อาศัยประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างจริง ผลการวิเคราะห์จึงขึ้นอยู่กับสมมติฐานและเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดในแบบจำลอง เช่น การไหลแบบคงที่ (steady state) ไม่พิจารณาความร้อนสูญเสียผ่านผนัง (adiabatic wall) สมบัติอากาศเป็นก๊าซอุดมคติ (ideal gas) ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของการศึกษา อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้แบบจำลองสื่อพรุนร่วมกับการจำลองแบบหลายสเกลจะสามารถใช้แทนการจำลองพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในอินเตอร์คูลเลอร์ที่มีแผ่นครีบซับซ้อนได้ โดยยังคงให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำไว้ได้

ตาราง 1

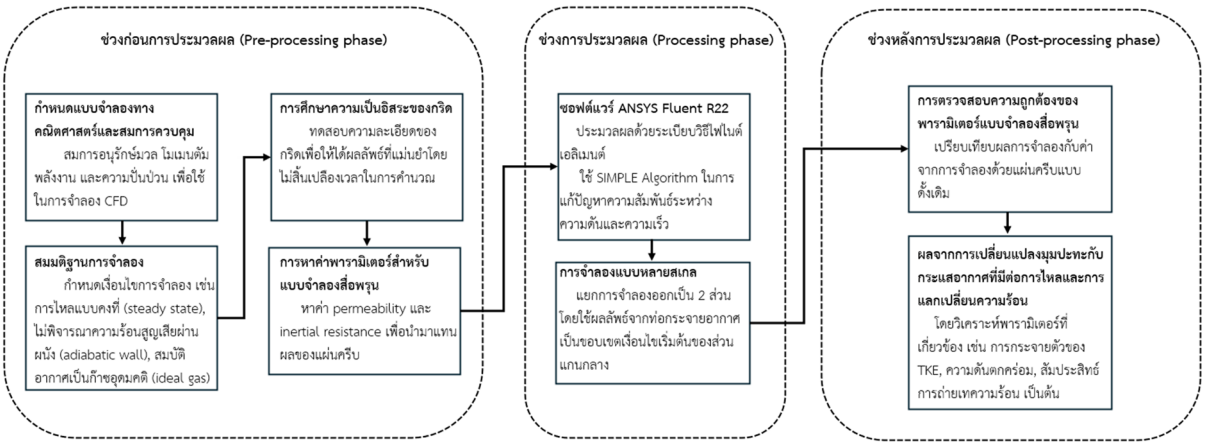
ค่าสมบัติของอากาศ

รายการ	สัญลักษณ์	ค่า (หน่วย SI)
ความหนาแน่น (density)	ρ	1.225 (kg/m^3)
ความร้อนจำเพาะ (specific heat)	c_p	1.006 (kJ/kg-K)
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity)	k	0.02624 (W/m-K)
ความหนืดไดนามิกส์ (dynamic viscosity)	μ	1.789 x 10^{-5} (N·s/m^2)



ภาพ 2 ทิศทางของอากาศและตำแหน่งของอินเตอร์คูลเลอร์ในกรณีทำมุม 90˚ 45˚ 30˚ และ 15˚ กับกระแสอากาศหล่อเย็น

กรอบแนวคิดการวิจัย

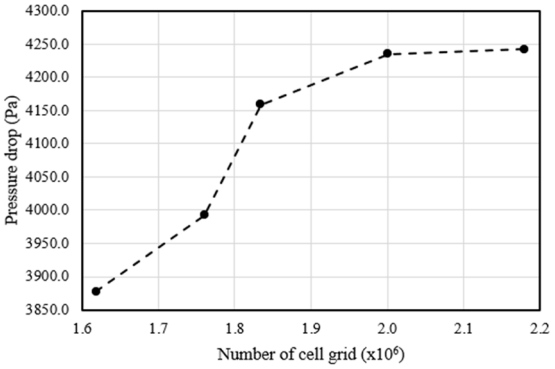


ภาพ 3 กรอบแนวคิดการวิจัย

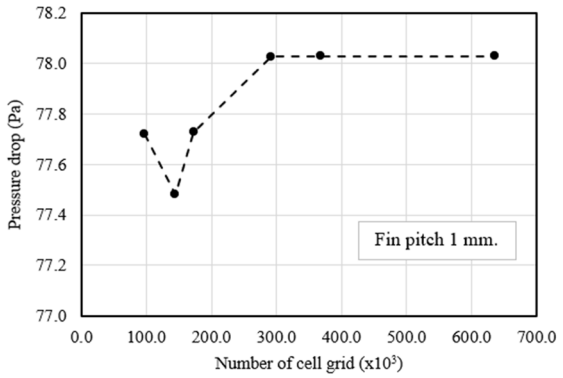
การวิเคราะห์ความอิสระของกริด (Grid Independent Study)

การวิเคราะห์ความเป็นอิสระของกริดเพื่อให้ผลลัพธ์จากการจำลองมีความเสถียรและมีความอิสระจากขนาดของเซลล์กริดที่เลือกใช้ กล่าวคือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะเมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์กริด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเพิ่มความแม่นยำของผลการคำนวณ (Lee et al., 2020) โดยได้ดำเนินการศึกษาในสองส่วน ได้แก่ ท่อร่วมอากาศและส่วนของแกนกลาง ซึ่งกำหนดขอบเขตเงื่อนไขเริ่มต้นของความเร็วอากาศที่เข้าด้านเย็นที่ 5 m/s

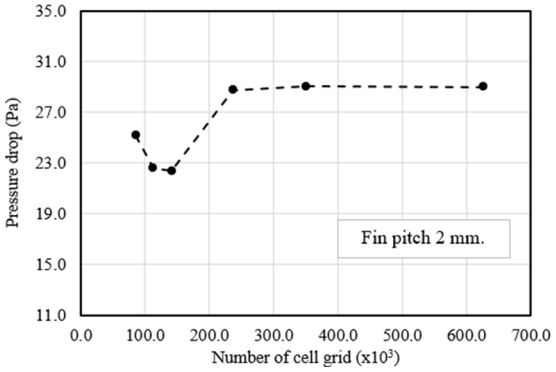
ในส่วนท่อร่วมอากาศ พบว่า ค่าความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์กริดไปจนถึงประมาณ 2.0–2.2 ล้านเซลล์ โดยมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ค่าคงที่ประมาณ 4,200–4,250 Pa และไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์กริดต่อไป แสดงถึงช่วงที่ผลลัพธ์เริ่มไม่ขึ้นกับจำนวนเซลล์กริด แสดงดังภาพ 4 ในขณะส่วนแกนกลาง ได้ทำการวิเคราะห์กรณีที่ระยะห่างระหว่างแผ่นครีบเท่ากับ 1 mm และ 2 mm โดยพิจารณาค่าความดันตกคร่อมระหว่างแผ่นครีบที่เกิดจากการไหลของของไหลภายในโดเมน จากผลการจำลองพบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์กริด ค่าความดันตกคร่อมมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ค่าคงที่ในลักษณะเดียวกันกับกรณีของท่อร่วมอากาศ โดยในทั้งสองกรณี ผลลัพธ์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อจำนวนเซลล์กริดถึงระดับหนึ่ง ซึ่งเป็นจุดที่ผลลัพธ์เริ่มมีความเป็นอิสระจากเซลล์กริดเช่นเดียวกัน โดยความดันตกคร่อมระหว่างส่วนแกนกลางในกรณีที่ระยะห่างแผ่นครีบ 1 mm และ 2 mm อยู่ที่ประมาณ 78.03 และ 28.58 Pa ตามลำดับ แสดงดังภาพ 5 จากการศึกษาความเป็นอิสระของเซลล์กริดพบว่าส่วนท่อร่วมอากาศ และส่วนแกนกลาง มีพฤติกรรมไปในทิศทางเดียวกันในการลู่เข้าของผลลัพธ์ค่าหนึ่งเมื่อความละเอียดของเซลล์กริดเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ได้การกำหนดจำนวนเซลล์กริดที่เหมาะสมในขั้นตอนการจำลอง เพื่อลดการใช้ทรัพยากรในการจำลองมากเกินความจำเป็น โดยผลลัพธ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์กริดกับความดันตกคร่อมสำหรับท่อร่วมอากาศ



(ก) 1 mm



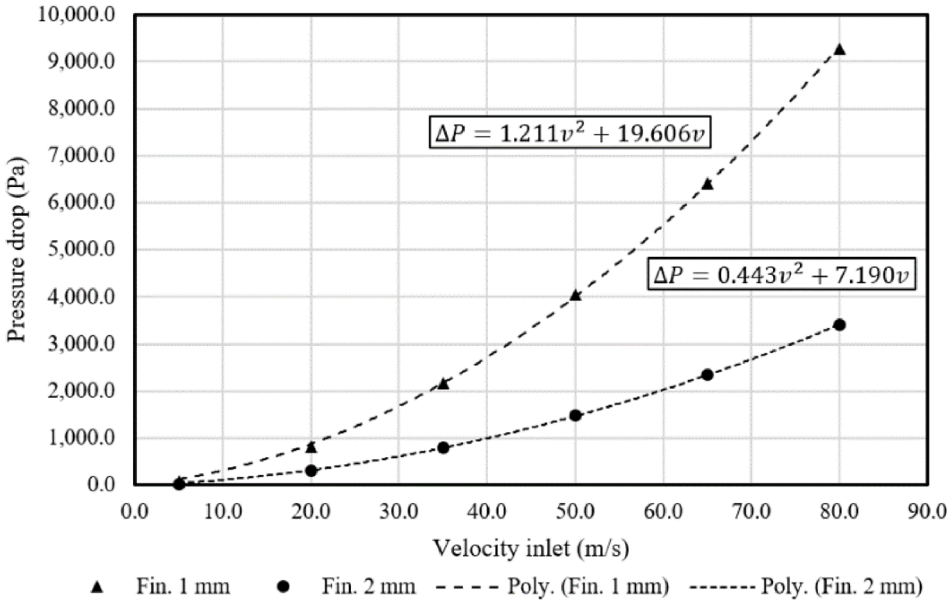
(ข) 2 mm

ภาพ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์กริดกับความดันตกคร่อมสำหรับแกนกลางอินเตอร์คูลเลอร์ที่มีระยะห่างระหว่างครีบ 1 mm และ 2 mm

การหาค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสื่อพรุน

เมื่อพิจารณาจากสมการโมเมนตัมของแบบจำลองการไหลผ่านสื่อพรุน (สมการ 8) จะเห็นได้ว่าเป็นฟังก์ชันของความดันตกคร่อมแปรผันตรงกับความเร็วของของไหลในรูปแบบเอ็กโปเนนเชียลอันดับสอง โดยสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรความเร็ว C_2 และ α สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ทำได้โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมและความเร็วในการไหลในขณะที่ไหลผ่านอินเตอร์คูลเลอร์

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมและความเร็วในการไหลในขณะที่ไหลผ่านอินเตอร์คูลเลอร์ โดยกำหนดความเร็วของอากาศหล่อเย็น 5 10 35 50 65 และ 80 m/s และคำนวณหาความดันตกคร่อมระหว่างทางเข้าและออกของแผ่นครีบ แสดงไว้ดังภาพ 6 จากนั้นผลการคำนวณที่ได้นำมาสร้างเป็นสมการเอ็กโปเนนเชียลอันดับสองและเปรียบค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรความเร็วเพื่อหาค่า C_2 และ α ได้ดังตาราง 2



ภาพ 6 เปรียบเทียบค่าความดันตกคร่อมระหว่างแบบจำลองแผ่นครีบและแบบจำลองสื่อพรุนที่ระยะห่างครีบ 1 mm และ 2 mm ที่ความเร็วอากาศหล่อเย็นต่าง ๆ

ตาราง 2

ค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองสื่อพรุน

Case	Exponential equation	C_2	α
Fin pitch = 1 mm	$\Delta P = 1.211v^2 + 19.606v$	24.710	7.305×10^{-8}
Fin pitch = 2 mm	$\Delta P = 0.443v^2 + 7.190v$	9.047	1.992×10^{-7}

ผลการวิจัย

1 การตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์แบบจำลองสื่อพรุน

เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลองสื่อที่มีรูพรุน ซึ่งถูกนำมาใช้แทนที่แบบจำลองแผ่นครีบที่มีรายละเอียดซับซ้อน (explicit fin model) ได้มีการเปรียบเทียบผลการจำลองในเชิงการไหลและการถ่ายเทความร้อน โดยพิจารณาทั้งค่าความดันตกคร่อมและอุณหภูมิขาออกของอากาศหล่อเย็น เพื่อประเมินความสามารถของแบบจำลองพรุนในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลและการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างแม่นยำและสอดคล้องกับแบบจำลองต้นฉบับ

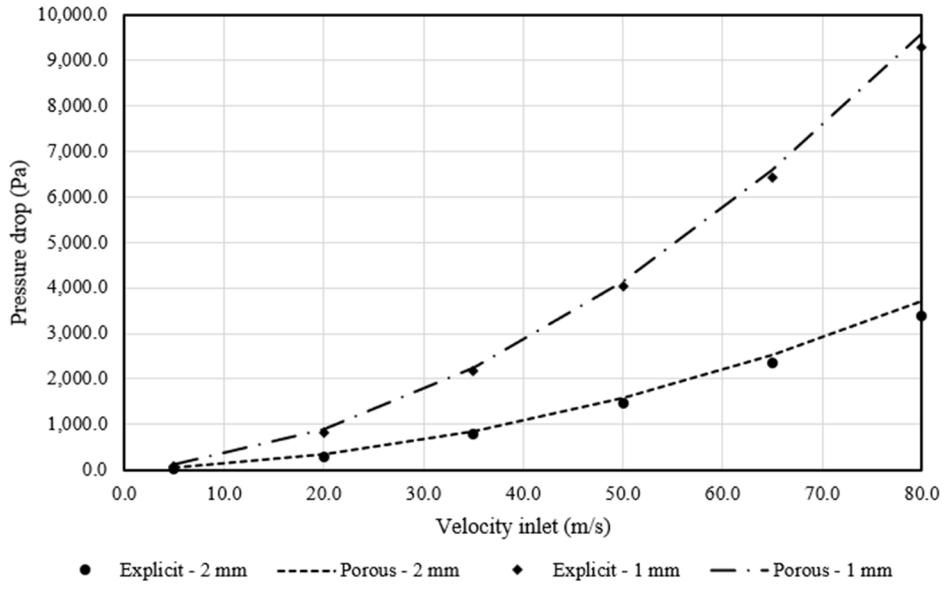
1.1 การวิเคราะห์ค่าความดันตกคร่อม

จากผลการจำลองพบว่า แบบจำลองสื่อพรุนมีแนวโน้มของค่าความดันตกคร่อมใกล้เคียงกับแบบจำลองแผ่นครีบในช่วงความเร็วลม 5–35 m/s และมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้นที่ช่วงความเร็วสูงกว่า 50 m/s แสดงดังภาพ 7 และจากการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย พบว่า แบบจำลองสื่อพรุนที่ใช้ระยะห่างครีบ 1 mm มีค่า MAE เท่ากับ 4.380% ขณะที่กรณี 2 mm มีค่า MAE เท่ากับ 9.545% ซึ่งทำให้เห็นว่าแบบจำลองสื่อพรุนสามารถทำนายพฤติกรรมการไหลในกรณีที่สื่อพรุนมีความหนาแน่นสูงได้แม่นยำกว่าสื่อพรุนที่ในความหนาแน่นต่ำ

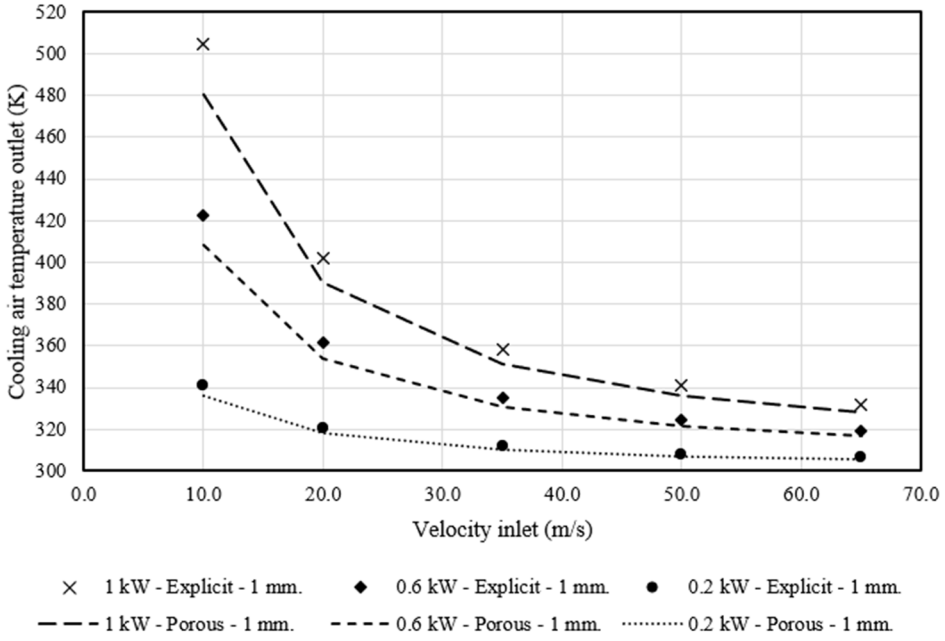
1.2 การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อน

สำหรับการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน กำหนดให้อินเตอร์คูลเลอร์รับพลังงานความร้อน 0.2 0.6 และ 1.0 kW ทางด้านท่ออากาศอัด และความเร็วอากาศหล่อเย็นที่ 10 20 35 50 และ 65 m/s โดยพิจารณาจากค่าอุณหภูมิขาออกของอากาศหลังผ่านอินเตอร์คูลเลอร์ที่ระยะห่างครีบ 1 mm และ 2 mm โดยแสดงดังภาพ 8 และ 9 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสื่อพรุนสามารถทำนายแนวโน้มของการถ่ายเทความร้อนได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะกรณีที่ใช้ค่าระยะห่างครีบ 1 mm ซึ่งให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับแบบจำลองแผ่นครีบอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ระยะห่าง 2 mm พบว่า ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะเมื่อพลังงานความร้อนสูงขึ้นและความเร็วลมอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง ซึ่งอาจเป็นผลจากการลดพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นของโครงสร้างสื่อพรุน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิขาออกระหว่างแบบจำลองสื่อพรุนและแบบจำลองแผ่นครีบ อยู่ในช่วงประมาณ 0.19% ถึง 2.45%

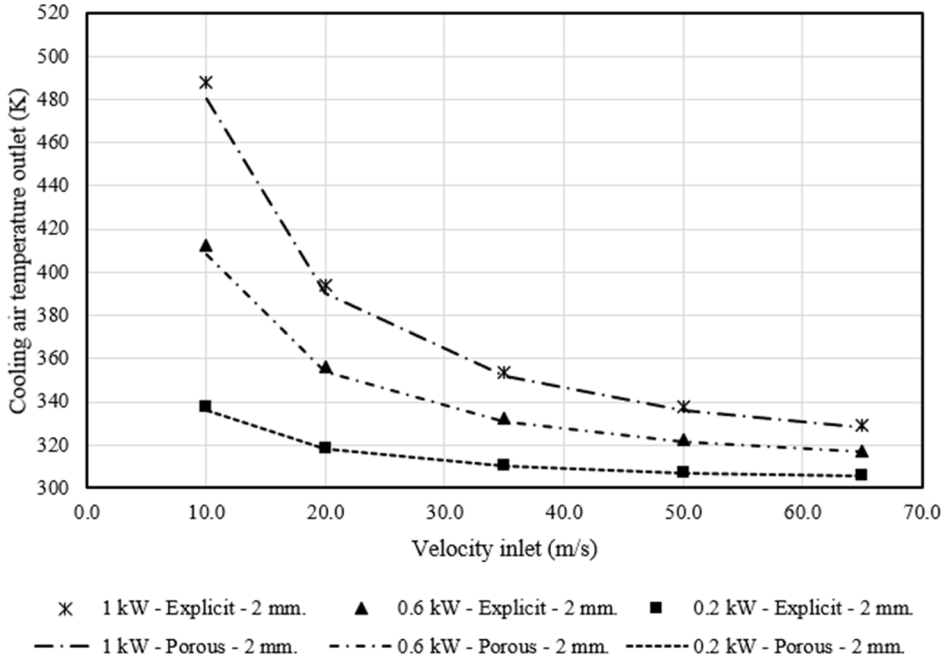
จากผลการวิเคราะห์ทั้งในด้านการไหลและการถ่ายเทความร้อน แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสื่อพรุนที่มีการกำหนดพารามิเตอร์อย่างเหมาะสมสามารถแทนที่แบบจำลองที่มีความซับซ้อนได้ ในกรณีที่ต้องการลดภาระการคำนวณโดยยังคงความแม่นยำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Musto et al. (2016) และ Li et al. (2025a) ที่ได้ใช้วิธีการใช้แบบจำลองสื่อพรุนเพื่อจำลองพฤติกรรมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ความต้านทานแบบพรุนที่เหมาะสมส่งผลต่อความแม่นยำของผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพ 7 เปรียบเทียบค่าความดันตกคร่อมระหว่างแบบจำลองแผ่นครีบและแบบจำลองสื่อพรุนที่ระยะห่างครีบ 1 mm และ 2 mm ที่ความเร็วอากาศหล่อเย็นต่าง ๆ



ภาพ 8 เปรียบเทียบอุณหภูมิขาออกของอากาศระหว่างแบบจำลองแผ่นครีบและแบบจำลองสื่อพรุนที่ระยะห่างครีบ 1 mm



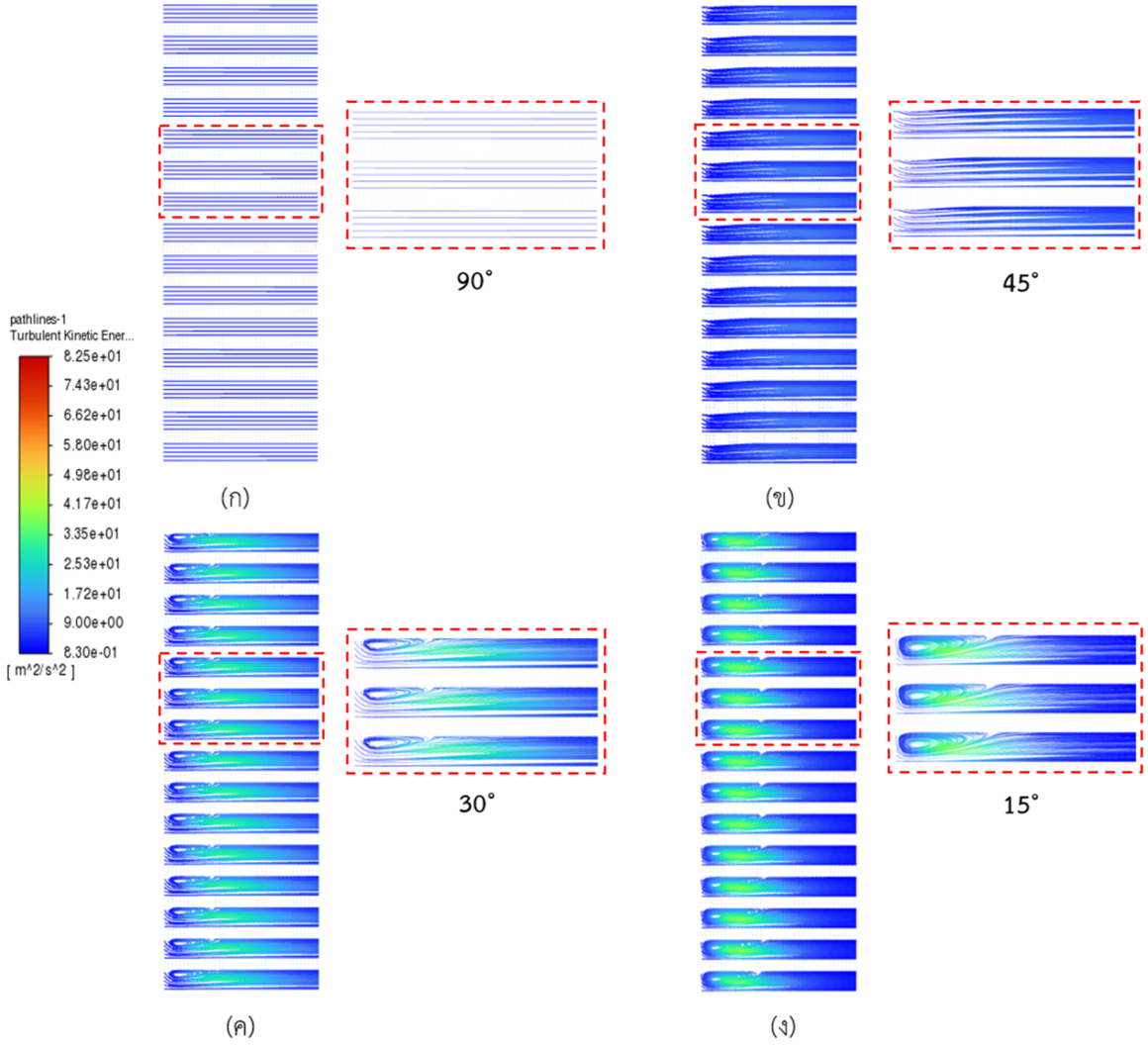
ภาพ 9 เปรียบเทียบอุณหภูมิขาออกของอากาศระหว่างแบบจำลองแผ่นครีบและแบบจำลองสื่อพรุนที่ระยะห่างครีบ 2 mm

2. ลักษณะการไหลของอากาศ

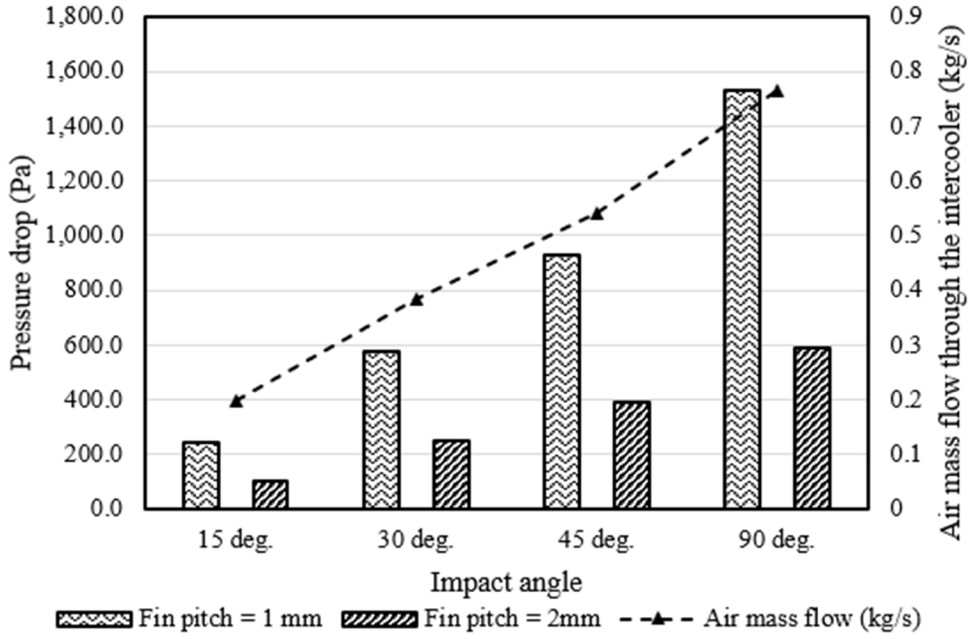
การศึกษาผลของมุมปะทะของกระแสอากาศต่อพฤติกรรมการไหลภายในช่องแผ่นครีบของอินเตอร์คูลเลอร์ แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของมุมมีอิทธิพลต่อการกระจายของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Turbulent Kinetic Energy: TKE) แสดงดังภาพ 10 พบว่า ในกรณีมุมปะทะ 15° ค่าความปั่นป่วนจะรวมตัวอยู่เฉพาะบริเวณต้นครีบ ขณะที่มุม 30° ทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศและการกระจายตัวของ TKE ไปยังช่วงกลางของช่องไหลได้มากขึ้น สำหรับมุม 45° พบว่า การหมุนวนของอากาศอย่างครอบคลุมทั่วช่อง ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน (Liu et al., 2022) ส่วนกรณีมุม 90° แม้จะเป็นการปะทะ

โดยตรงแผ่นครีบ แต่จะเห็นได้ว่าไม่มีการหมุนวนภายในช่อง ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพลดลง

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น (ภาพ 11) พบว่า กรณีมุม 90° ให้ค่าความดันตกคร่อมสูงที่สุด โดยมีแนวโน้มแปรผันตามมุมปะทะที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเย็นที่เข้าสู่ระบบหล่อเย็น กล่าวคือ มุมปะทะไม่เพียงส่งผลต่อรูปแบบการไหลและความปั่นป่วนภายในช่องครีบเท่านั้น แต่ยังมีผลโดยตรงต่อปริมาณอากาศที่สามารถไหลผ่านได้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของการระบายความร้อนโดยรวมของอินเตอร์คูลเลอร์



ภาพ 10 Turbulent Kinetic Energy (TKE) และลักษณะการไหลวนภายในช่องครีบของอินเตอร์คูลเลอร์ในกรณีมุมปะทะ 90° (ก) 45° (ข) 30° (ค) และ 15° (ง)



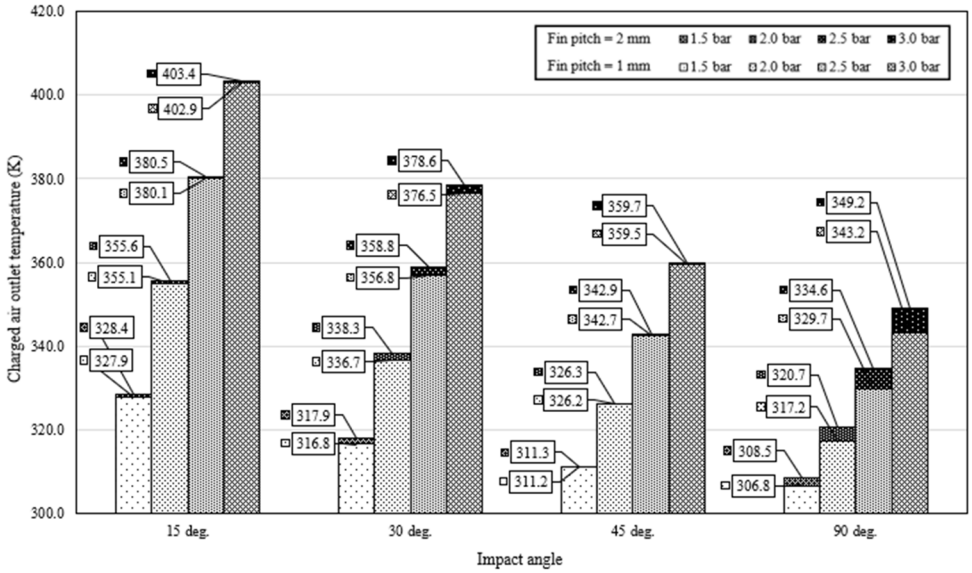
ภาพ 11 ความดันตกคร่อมและอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศหล่อเย็นที่ผ่านอินเตอร์คูลเลอร์ ในกรณีมุมปะทะ 90° 45° 30° และ 15°

3. สมรรถนะการแลกเปลี่ยนความร้อน

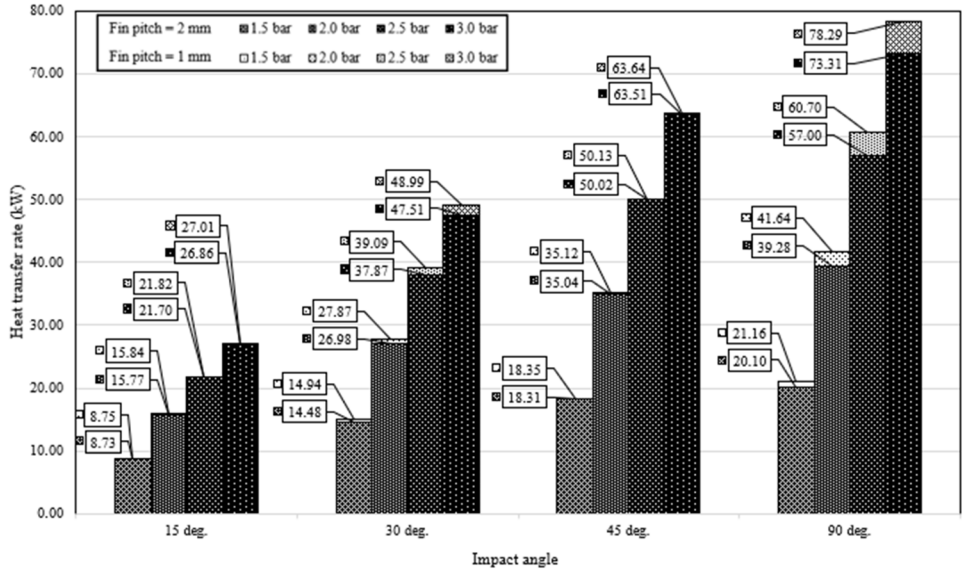
การประเมินสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของอินเตอร์คูลเลอร์ในงานวิจัยนี้พิจารณาจากอุณหภูมิขาออกของอากาศอัด อัตราการถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าประสิทธิผล โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ในกรณีที่มุมปะทะอากาศแตกต่างกัน และใช้ระยะห่างแผ่นครีบ ที่ 1 mm และ 2 mm ในช่วงความดันของอากาศอัดตั้งแต่ 1.5 ถึง 3.0 bar

อุณหภูมิขาออกของอากาศอัด (charged air outlet temperature) แสดงดังภาพ 12 พบว่า อุณหภูมิขาออกมีแนวโน้มลดลงเมื่อมุมปะทะเพิ่มขึ้น ในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อน (heat transfer rate, Q) จากภาพ 13 พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามมุมปะทะ ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิที่ทางออกของอากาศอัดที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยค่าสูงสุดที่ได้ คือ 78.29 kW ในกรณีมุมปะทะ 90° ความดันอากาศอัด 3.0 bar และต่ำที่สุด คือ 8.75 kW ในกรณีมุมปะทะ 15° ความดันอากาศอัด 1.5 bar เนื่องจากปริมาณของอากาศหล่อเย็นที่สามารถผ่านอินเตอร์คูลเลอร์มีแนวโน้มลดลงตามมุมปะทะกับกระแสอากาศ (ภาพ 11) และอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศอัดก่อนเข้าอินเตอร์คูลเลอร์ที่แปรผันตามความดันของอากาศอัด

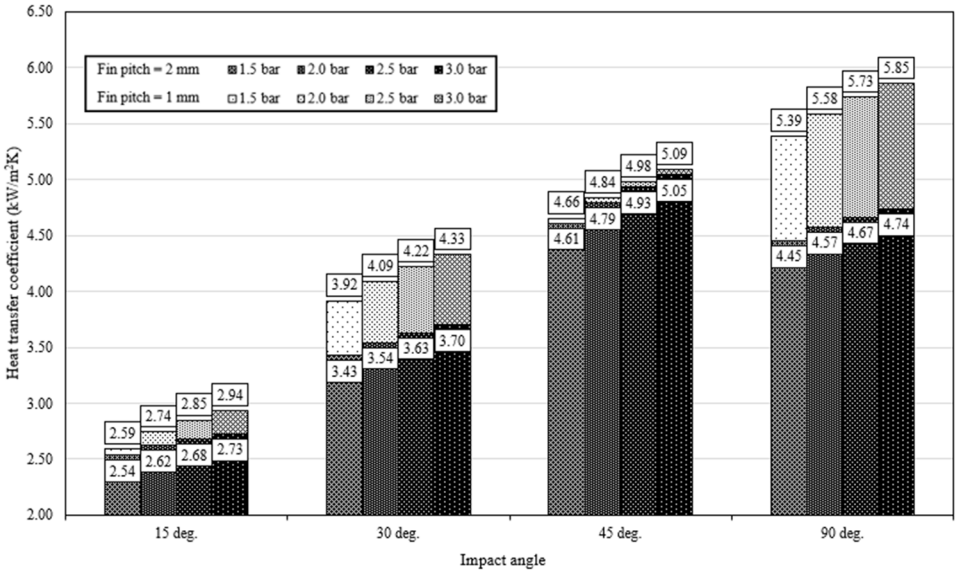
เมื่อพิจารณา สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient, h) ตามภาพ 14 จะเห็นว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามมุมปะทะเช่นกัน มุมปะทะ 45° ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (h) เพิ่มขึ้นตามความดันอย่างมีนัยยะ แต่ความแตกต่างระหว่างระยะห่างแผ่นครีบ 1 mm และ 2 mm มีน้อยมาก โดยค่า h อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน (~4.6–5.1 kW/m²·K) แสดงให้เห็นว่าการไหลวนที่เกิดขึ้นในมุม 45° นั้นมีลักษณะกระจายทั่วทั้งช่องการไหล ซึ่งช่วยกระจายพลังงานความปั่นป่วน จึงลดผลจากความแตกต่างของระยะแผ่นครีบลง



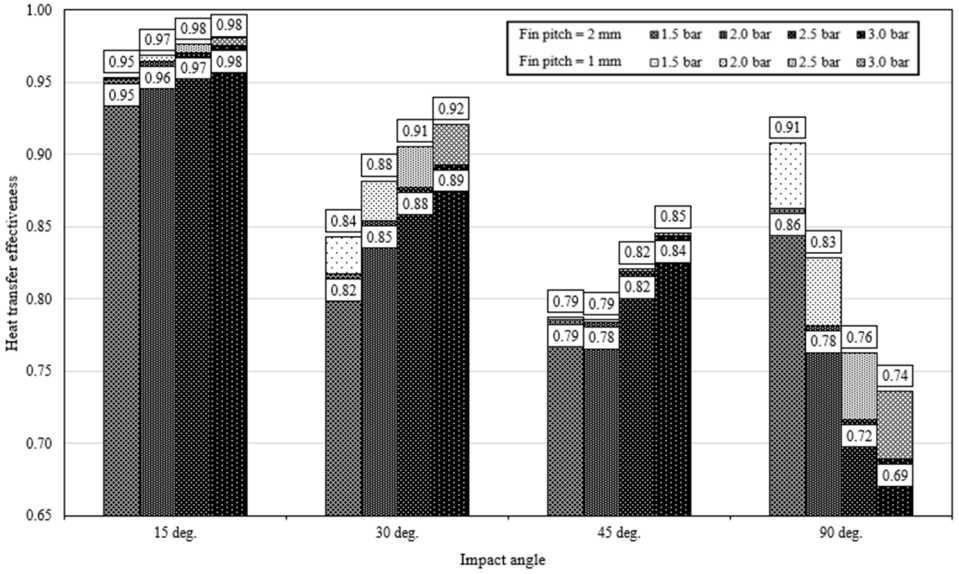
ภาพ 12 อุณหภูมิขาออกของอากาศอัดที่อินเตอร์คูลเลอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมปะทะและระยะห่างแผ่นครีบ



ภาพ 13 อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในอินเตอร์คูลเลอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมปะทะและระยะห่างแผ่นครีบ



ภาพ 14 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของอินเตอร์คูลเลอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมปะทะและระยะห่างแผ่นครีบ



ภาพ 15 ค่าประสิทธิผลของอินเตอร์คูลเลอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมปะทะและระยะห่างแผ่นครีบ

ค่าประสิทธิผล (ε) เป็นตัวบ่งชี้ที่ใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของอินเตอร์คูลเลอร์ (Incropera et al., 2006) โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทได้จริงกับค่าที่ถ่ายเทได้สูงสุดทางทฤษฎี ($Q_a / Q_{\max}$) จากภาพ 15 พบว่า ในกรณีมุมปะทะต่ำในช่วง 15° และ 30° ค่าประสิทธิ์ผลมีแนวโน้มสูง โดยเฉพาะเมื่อใช้ระยะห่างแผ่นครีบ 1 mm ซึ่งให้ค่า ε ใกล้เคียง 1.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Du et al. (2014) ที่ศึกษาผลกระทบของมุมปะทะต่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ finned oval-tube โดยพบว่า การปรับมุมปะทะ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนได้เมื่อเทียบกับกรณีมุมปะทะ 90° ทั้งนี้ความแตกต่างของผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับรูปแบบและโครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อย่างไรก็ตาม ในกรณีมุมปะทะ 90° แม้จะมีค่า Q และ h สูงที่สุด แต่แนวโน้มของค่าประสิทธิผลลดลงเมื่อเพิ่มความดันของอากาศอัด เช่นเดียวกันกับกรณีมุมปะทะ 45° แม้ว่าจะมีกระจายพลังงานความปั่นป่วนครอบคลุมทั่วทั้งช่องการไหล (ภาพ 10) กลับให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมต่ำกว่ากรณี 15° และ 30° เนื่องจากความต่างอุณหภูมิเริ่มต้นระหว่างอากาศอัดและอากาศหล่อเย็นมีค่าสูงขึ้น ($T_{c,in}$ = 300 K) ส่งผลให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดทางทฤษฎี ($Q_{\max}$) สูงขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับ Q ที่เพิ่มขึ้นไม่สัมพันธ์กัน จึงทำให้ค่าประสิทธิผลลดลง

ในทางกลับกัน กรณีมุม 15°–30° แม้ Q จะต่ำกว่า แต่เนื่องจากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดทางทฤษฎีก็ต่ำกว่าเช่นกัน จึงทำให้ค่าประสิทธิผลสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเรื่อง “การลู่เข้าสู่จุดอิ่มตัวของการถ่ายเทพลังงาน” (asymptotic performance) กล่าวคือ เมื่อระบบมีอัตราการแลกเปลี่ยนพลังงานถึงระดับหนึ่ง การปรับเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนหรือแรงปะทะต่อไปจะไม่ส่งผลกับการถ่ายเทความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ (Wang et al., 2001)

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์แบบวี-เมาท์ โดยเป็นการทำมุมปะทะกับกระแสอากาศต่าง ๆ มีผลต่อสมรรถนะการไหลและการแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างมีนัยะสำคัญ ซึ่งสามารถนำไปประกอบการออกแบบและปรับปรุงระบบระบายความร้อนสำหรับเครื่องยนต์โรตารีที่มีการผลิตความร้อนสูง นอกจากนี้ การใช้แบบจำลองหลายสเกลร่วมกับสื่อพรุนยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอื่น ๆ ซึ่งช่วยลดภาระในการคำนวณเชิงตัวเลขแต่คงความแม่นยำของผลลัพธ์ได้ และสามารถนำไปใช้ต่อยอด โดยการศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลองสื่อพรุนให้ครอบคลุมรูปแบบครีบที่หลากหลายขึ้น รวมถึงทดสอบในการใช้งานจริงในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

สรุป

การใช้แบบจำลองหลายสเกลร่วมกับสื่อพรุนในงานวิจัยนี้แสดงถึง ความสามารถในการลดความซับซ้อนของแบบจำลองอินเตอร์คูลเลอร์ โดยไม่สูญเสียความแม่นยำในการคำนวณ ซึ่งสามารถทำนายพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนได้แม่นยำมาก โดยเฉพาะในกรณีที่แบบจำลองความหนาแน่นสูงหรือช่องของแผ่นครีบที่มีระยะแคบกว่า

ในส่วนพฤติกรรมการไหล การเปลี่ยนแปลงของมุมปะทะของกระแสอากาศส่งผลต่อการกระจายตัวของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน ความดันตกคร่อม และปริมาณอากาศหล่อเย็นที่ไหลผ่านอินเตอร์คูลเลอร์ โดยพบว่ามุมที่สูงขึ้นทำให้แรงต้านการไหลเพิ่มขึ้น ในกรณีมุม 90° การไหลเป็นการปะทะตรง โดยไม่ก่อให้เกิดการหมุนวนและการกระจายความปั่นป่วนเข้าไปในช่องครีบอย่างทั่วถึง ในขณะที่มุม 30°–45° ทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศครอบคลุมทั่วช่องการไหล ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับกรณีมุม 90°

สำหรับด้านสมรรถนะการแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามมุมปะทะ โดยให้ค่าสูงสุดที่ 78.29 kW ในกรณีมุม 90° อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิผลพบว่า มุม 15° ให้ค่าสูงสุดถึง 0.97 ขณะที่มุม 90° ให้ค่าต่ำสุดที่ 0.69 จากการเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อนนั้นเพิ่มขึ้นไม่สอดคล้องกับอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดทางทฤษฎี ทำให้ประสิทธิผลลดลง

References

Bell, C. (1997). *Maximum Boost: Designing, installing and tuning turbocharger systems*. Bentley Publishers.

Çetin, B., Güler, K. G., & Aksel, M. H. (2017). Computational modeling of vehicle radiators using porous medium approach. In S. Murshed & M. L. Matos Lopes (Eds.), *Heat Exchangers – Design, Experiment and Simulation* (pp.1-10). InTechOpen. https://doi.org/10.5772/66281

Du, X. P., Zeng, M., Dong, Z. Y., & Wang, Q. W. (2014). Experimental study of the effect of air inlet angle on the air-side performance for cross-flow finned oval-tube heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science, 52*, 146–155. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.09.005

Gao, J., Chen, H., Tian, G., Ma, C., & Zhu, F. (2019). An analysis of energy flow in a turbocharged diesel engine of a heavy truck and potentials of improving fuel economy and reducing exhaust emissions. *Energy Conversion and Management, 184*, 456–465. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.053

HKS Co., Ltd. (2008). *Intercooler kit installation manual: Mazda RX-7 FD3S, engine 13B-REW (Part No. 13001-AZ004)*. HKS Co., Ltd.

Huang, Y., Liu, Z., Lu, G., & Yu, X. (2014). Multi-scale thermal analysis approach for the typical heat exchanger in automotive cooling systems. *International Communications in Heat and Mass Transfer, 59*, 75–87. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.10.022

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2006). *Fundamentals of heat and mass transfer* (6th ed.). John Wiley & Sons.

Jones, W. P., & Launder, B. E. (1972). The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 15*, 301–314. https://doi.org/10.1016/0017-9310(72)90076-2

Jouhara, H., Almahmoud, S., Brough, D., Guichet, V., Delpech, B., Chauhan, A., Ahmad, L., & Serey, N. (2021). Experimental and theoretical investigation of the performance of an air to water multi-pass heat pipe-based heat exchanger. *Energy, 219*, 119624. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119624

Kim, G. W., Lim, H. M., & Rhee, G. H. (2016). Numerical studies of heat transfer enhancement by cross-cut flow control in wavy fin heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 96*, 110–117. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.01.023

Kim, M., Baik, Y.-J., Park, S.-R., Ra, H.-S., & Lim, H. (2010). Experimental study on corrugated cross-flow air-cooled plate heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science, 34*(8), 1265–1272. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2010.05.007

Lee, M., Park, G., Park, C., & Kim, C. (2020). Improvement of grid independence test for computational fluid dynamics model of building based on grid resolution. *Advances in Civil Engineering, 2020,* 8827936, 1–11. https://doi.org/10.1155/2020/8827936

Li, J., Han, Z., Liu, W., Wang, T., & Chang, H. (2025a). Study on the effect of the porous media equivalent particulate fouling model on heat transfer performance in heat exchanger channels. *Applied Thermal Engineering, 266*, 125709. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125709

Li, P., Pan, J., Fan, B., Qin, M., Nauman, M., & Yang, W. (2025b). Effects of injection timing and rotating speed on combustion and emissions in an Ammonia/Hydrogen rotary engine. *Applied Thermal Engineering, 262*, 125172. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.125172

Li, Z.-z., Ding, Y.-d., Liao, Q., Cheng, M., & Zhu, X. (2021). An approach based on the porous media model for numerical simulation of 3D finned-tubes heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 173*, 121226. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121226

Liu, Z., Sun, M., Huang, Y., Li, K., & Wang, C. (2020). Investigation of heat transfer characteristics of high-altitude intercooler for piston aero-engine based on multi-scale coupling method. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 156*, 119898. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119898

Liu, Z., Sun, M., Huang, Y., Li, K., & Xiao, M. (2022). Performance of parallel plate-fin heat exchanger for piston aero-engines with front-placed guide plate at high altitude. *Applied Thermal Engineering, 214*, 118829. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118829

Musto, M., Lippolis, A., Colangelo, G., & Laforgia, D. (2016). A simplified methodology to simulate a heat exchanger in an aircraft's oil cooler by means of a porous media model. *Applied Thermal Engineering, 106*, 747–757. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.147

Park, D. H., Lee, D. B., Seo, E. R., & Park, Y. J. (2016). Study on the heat transfer and fluid flow characteristics in V-shaped corrugated composite fin. *Applied Thermal Engineering, 102*, 293–301. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.03.047

Patankar, S. V., & Spalding, D. B. (1972). *A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows*. Imperial College of Science and Technology.

Tey, W.-Y., Asako, Y., Che Sidik, N. A., & Goh, R.-Z. (2017). Governing equations in computational fluid dynamics: Derivations and a recent review. *Progress in Energy and Environment, 1*, 1–19. https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/progee/article/view/1026

Wang, C. C., Chi, K. Y., & Chang, C. J. (2001). A comparative study of compact enhanced fin-and-tube heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 44*(17), 3565–3573. https://doi.org/10.1016/S0017-9310(01)00011-4

Whitaker, S. (1986). Flow in porous media I: A theoretical derivation of Darcy's law. *Transport in Porous Media, 1*, 3–25. https://doi.org/10.1007/BF01036523

Zhang, Q., Qin, S., & Ma, R. (2016). Simulation and experimental investigation of the wavy fin-and-tube intercooler. *Case Studies in Thermal Engineering, 8*, 32–40. https://doi.org/10.1016/j.csite.2016.04.003

ประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับท่าทางการต่อสู้
The Efficiency of AI Motion Capture for Fighting Poses

สุวิช ถิระโคตร[1]* วิศรุต ผลาปรีย์[2] ธนดล ลาสระคู[1] นวพล ฝ่ายไชย[1] ภูชิตากานต์ พิกุลทอง[1]
ภัทระ ประสุนิงค์[1] ทิวากร ทองดีเขียว[1] และยศพันธ์ สมเดช[1]
Suwich Tirakoat[1]*, Wisarut Phalapee[2], Thanadol Lasaku[1], Nawapol Phaiychai[1], Puchitakarn Pikulthong[1],
Pattara Prasuning[1], Thiwakorn Thongdeekiew[1] and Yotsaphan Somdet[1]
[1]ภาควิชาสื่อนฤมิต คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
[1]Department of Creative Media, Faculty of Informatics, Mahasarakham University
[2]บริษัท แอนิเมทเต็ด สตอรี่บอร์ด (ประเทศไทย) จำกัด
[2]Animated Storyboards (Thailand) Co., Ltd., Thailand
*Corresponding author: suwich.t@msu.ac.th
Received: August 29, 2025
Revised: November 7, 2025
Accepted: November 11, 2025

บทคัดย่อ

การใช้แพลตฟอร์มการจับการเคลื่อนไหวแบบปัญญาประดิษฐ์ (AI Mocap) ต้องนำเข้าคลิปวิดีโอต้นฉบับซึ่งถูกถ่ายทำด้วยมุมกล้องต่าง ๆ ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ ข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้มาอาจความผิดพลาด การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการจับการเคลื่อนไหวท่าต่อสู้ด้วยเทคโนโลยี AI Mocap ออกแบบการวิจัยเชิงทดลองแบบ 3x3 Factorials ประกอบด้วยตัวแปรต้น คือ มุมกล้องของการถ่ายทำคลิปวิดีโอต้นฉบับ 3 มุม (ด้านหน้า มุมเฉียง และด้านข้าง) และระดับความยากของท่าต่อสู้ 3 ระดับ (ง่าย ปานกลาง และยาก) ท่าการต่อสู้ทั้งหมด 9 ท่า ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพของการจับการเคลื่อนไหวโดย AI Mocap เครื่องมือที่ใช้รวบรวมข้อมูลประกอบด้วย คลิปแอนิเมชันที่สร้างจากข้อมูลการเคลื่อนไหวที่จับได้ จำนวน 27 คลิป และแบบประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ด้าน คือ ความแม่นยำ ความลื่นไหล และความสมจริงของการเคลื่อนไหว ผลการวิจัย พบว่า (1) ประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวด้วยเทคโนโลยี AI Mocap กับท่าทางการต่อสู้ที่มีระดับยากง่ายแตกต่างกัน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>.05$) และท่าทางที่ง่ายมีประสิทธิภาพด้านความลื่นไหลของการเคลื่อนไหวสูงสุด และ (2) มุมกล้องของวิดีโอต้นฉบับมีผลต่อประสิทธิภาพของการจับการเคลื่อนไหวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมุมกล้องด้านหน้าให้ผลลัพธ์ดีที่สุดในด้านความแม่นยำและความสมจริง ในขณะที่มุมกล้องด้านข้างให้ค่าความลื่นไหลสูงสุด ขณะที่มุมเฉียงให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่มุมเฉียงให้ค่าต่ำที่สุด โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) ทั้งด้านความแม่นยำ ความลื่นไหล และความสมจริงของแอนิเมชัน ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า มุมกล้องเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความแม่นยำของ AI Mocap มากกว่าระดับความยากของท่าทาง ผลการวิจัยครั้งนี้จะเป็นแนวทางให้นักแอนิเมเตอร์กำหนดวิธีการถ่ายทำคลิปต้นฉบับและได้ข้อมูลการเคลื่อนไหวจาก AI Mocap ที่ดีสำหรับการนำไปใช้ต่อไป

คำสำคัญ: การจับการเคลื่อนไหวด้วยปัญญาประดิษฐ์ ท่าทางการต่อสู้ ความแม่นยำของแอนิเมชัน เทคโนโลยีแอนิเมชัน

Abstract

The use of Artificial Intelligence–based Motion Capture (AI Mocap) platforms requires importing original video clips recorded from various camera angles. A major challenge is the potential introduction of errors into the resulting motion data. This study aimed to examine the effectiveness of AI Mocap in capturing martial arts movements. The research employed a 3 × 3 factorial experimental design with two independent variables: (1) camera angle of the source video clips (front, diagonal, and side views) and (2) difficulty level of the martial arts movements (easy, moderate, and difficult). A total of nine distinct martial arts movements were included in the study. The dependent variable was the performance quality of the motion capture generated by the AI Mocap system. Data collection involved 27 animated clips derived from the captured motion data. These clips were evaluated by experts using an assessment form based on three criteria: accuracy, fluidity, and realism of the captured movements. The results revealed that: (1) The performance of AI Mocap technology in capturing martial arts movements across different levels of difficulty was consistently high, with no statistically significant differences observed ($p > .05$). Movements classified as easy demonstrated the highest performance in terms of motion fluidity. (2) The camera angle of the original video significantly affected motion capture performance. The front view provided the best results in terms of accuracy and realism, while the side view yielded the highest fluidity. In contrast, the diagonal angle produced significantly lower performance across all dimensions—accuracy, fluidity, and realism ($p< .05$). These findings indicate that camera angle is a more critical factor influencing AI Mocap performance than movement complexity. The results of this study provide practical guidelines for animators in selecting optimal filming angles to obtain high-quality motion data from AI Mocap systems for further application.

Keywords: AI Motion Capture, combat poses, animation accuracy, animation technology

บทนำ

เทคโนโลยีการจับการเคลื่อนไหว (Motion Capture หรือ Mocap) เป็นเครื่องมือสำคัญในกระบวนการผลิตสื่อดิจิทัล โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมแอนิเมชัน ภาพยนตร์ และวิดีโอเกม ที่ต้องการความสมจริงของการเคลื่อนไหวของตัวละคร (Menache, 2011) เนื่องจากการใช้ Mocap สามารถช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการสร้างแอนิเมชันเมื่อเทียบกับการสร้างภาพเคลื่อนไหวแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ Mocap ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสาขาอื่น ๆ เช่น การแพทย์กีฬา (Noiumkar & Tirakoat, 2013) อุตสาหกรรม (Potisarn, 2023) และการวิจัยในการออกกำลังกายเพื่อรักษาความผิดปกติทางการเคลื่อนไหว (Ma & Chen, 2022) ปัจจุบันเทคโนโลยีดังกล่าวได้พัฒนาไปสู่ระบบการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ที่เรียกว่า AI Mocap ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ชุดเซนเซอร์ ระบบกลไก หรืออุปกรณ์พิเศษ แต่สามารถประมวลผลข้อมูลการเคลื่อนไหวจากวิดีโอทั่วไปได้ เช่น การสกัดข้อมูลเชิงลึกทางวิทยาศาสตร์การกีฬาจากวิดีโอถ่ายทอดสด (Baumgartner, 2024) อย่างไรก็ตาม แม้ AI Mocap จะเพิ่มความสะดวกและเข้าถึงง่ายและเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมแอนิเมชัน (Phalapree & Tirakoat, 2024) แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ ความต่อเนื่องของท่าทาง และความสมจริง โดยเฉพาะในบริบทที่มีความซับซ้อนของการเคลื่อนไหว เช่น การแสดงท่าต่อสู้ที่ประกอบด้วยการเคลื่อนไหวหลากหลายมุมมองและระดับความยากที่แตกต่างกัน ซึ่งยังเป็นช่องว่างที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม

ท่าต่อสู้จากศิลปะการต่อสู้ เช่น มวยไทย เทควันโด คาราเต้ และกังฟู เป็นตัวอย่างที่มีความซับซ้อนทางจลนศาสตร์ (kinematics) และแสดงถึงความหลากหลายในการเคลื่อนไหว เช่น การเตะ การปัดป้อง การเหวี่ยงแขน หรือการหมุนตัว ซึ่งเป็นลักษณะของการเคลื่อนไหวที่มีมิติหลายด้าน (multi-dimensional motion) ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้เป็นข้อมูลทดสอบระบบจับการเคลื่อนไหวและการพัฒนาชุดข้อมูล (datasets) สำหรับงานวิจัยด้าน AI และแอนิเมชัน (Le & Li, 2021; Ishac & Eager, 2021) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ท่าทางการต่อสู้เป็นข้อมูลกรณีศึกษาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการจับการเคลื่อนไหวแบบ AI Mocap จากคลิปวิดีโอต้นฉบับที่ถ่ายทำท่าต่อสู้แบบง่าย ปานกลาง และยากจากมุมกล้องด้านหน้า (front) มุมเฉียง (diagonal) และด้านข้าง (side) ผลที่คาดว่าจะได้รับเป็นแนวทางสำหรับการถ่ายทำวิดีโอต้นฉบับที่มีความเหมาะสมที่สุดกับท่าทางต่าง ๆ สำหรับนำไปใช้กับ AI Mocap เพื่อผลิตงานสื่อดิจิทัลต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวด้วยปัญญาประดิษฐ์จำแนกตามระดับความยากของท่าทางการต่อสู้

2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวด้วยปัญญาประดิษฐ์จำแนกตามมุมกล้องของการถ่ายทำคลิปต้นฉบับ

วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการวิจัยตามลำดับ ดังนี้

1. ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ประกอบด้วย

1.1 การจับการเคลื่อนไหวแบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Motion Capture: AI Mocap)

หลักการทำงานของ AI Mocap เป็นการใช้การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการจับภาพเคลื่อนไหวโดยไม่ใช้มาร์กเกอร์แต่ใช้ภาพวีดิโอเป็นหลัก จะใช้ข้อมูลของพิกเซลที่คงที่ในแต่ละตำแหน่งและมีความแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรม ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลจะให้ความสนใจคุณสมบัติของวัตถุในภาพแทน เช่น ตำแหน่ง ขนาดและการวางแนว ข้อมูลของพิกเซลในวิดีโอที่เคลื่อนไหวหรือมีการเปลี่ยนแปลงร่วมกัน โดยการแยกวัตถุออกเป็นกลุ่มสำคัญที่มีความหมาย เช่น ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายในวิดีโอเป็นบุคคลหรือสัตว์ สัญญาณวิดีโอมิติสูงสามารถแปลงเป็นชุดของอนุกรมเวลาที่อธิบายการเคลื่อนไหวของจุดสำคัญแต่ละจุดได้เมื่อเทียบกับข้อมูลของภาพวิดีโอ แล้วใช้อัลกอริทึมการประเมินท่าทาง (pose estimation) เป็นฟังก์ชันที่จับคู่เฟรมจากวิดีโอเป็นพิกัดของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (Mathis et al., 2020) ในงานวิจัยครั้งนี้ AI Mocap ที่ใช้สำหับการทดลองคือ Move.AI ซึ่งเป็นเทคโนโลยี AI ที่สามารถเปลี่ยนวิดีโอ 2 มิติที่ถ่ายด้วยกล้องทั่วไป (เช่น โทรศัพท์มือถือ) ให้เป็นข้อมูลการเคลื่อนไหว 3 มิติสำหรับตัวละครแอนิเมชัน โดยอัปโหลดวิดีโอไปยังแพลตฟอร์มของ Move.AI จากนั้นระบบ AI จะวิเคราะห์ภาพวิดีโอแต่ละเฟรมเพื่อระบุและติดตามตำแหน่งสำคัญของร่างกายและข้อต่อ นำหลักการทางฟิสิกส์และชีวกลศาสตร์มาใช้เพื่อพยากรณ์ข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนไหว

1.2 การวัดประสิทธิภาพข้อมูลการเคลื่อนไหว

การวัดประสิทธิภาพข้อมูลการจับการเคลื่อนไหวสำหรับงานวิจัยนี้ใช้ผู้เชี่ยวชาญประเมินใน 3 ด้าน ดังนี้

1) ความแม่นยำของการจับท่าทาง (motion capture accuracy)

ความแม่นยำจำแนกได้เป็น 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ (1) การจับตำแหน่งข้อต่อของร่างกายที่ถูกต้อง (joint position accuracy) ข้อต่อ (joint) เป็นส่วนประกอบสำหรับของการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น คอ ไหล่ ข้อศอก เอว เข่า เป็นต้น ส่งผลต่อสภาวะการควบคุมที่ดีของร่างกาย (Ma & Chen, 2022) (2) องศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (joint angle accuracy) เป็นการประเมินสมรรถภาพร่างกาย งานวิจัยของ Robertson et al. (2013) แสดงให้เห็นว่า ระบบ Optical Mocap สามารถบันทึกองศาการหมุนได้อย่างแม่นยำในการวัดองศาของ

ข้อ ส่วนระบบที่ใช้กล้องมีความแม่นยำในการวัดองศาต่ำกว่าทำให้ค่าการคำนวณองศาผิดเพี้ยนไป (Ma & Wang, 2020) และ (3) การจับครบทุกข้อต่อ (completeness of joint detection) อย่างสมบูรณ์ครอบคลุมทุกข้อต่อหลัก เช่น ข้อศอก หัวไหล่ เข่า สะโพก ข้อเท้า ข้อมือ รวมถึงกระดูกสันหลังและศีรษะ โดยเฉพาะในท่าทางต่อสู้ที่มีการเคลื่อนไหวพร้อมกันของหลายข้อต่อและมีการเปลี่ยนทิศทางของแรงต้าน

2) ความลื่นไหลของการเคลื่อนไหวตัวละคร (motion smoothness)

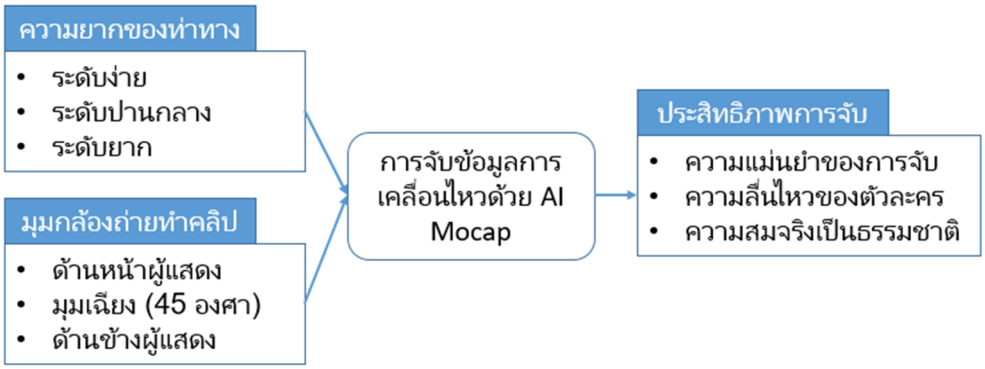
ประกอบด้วย (1) ความลื่นไหลของการเคลื่อนไหว คือ ความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและท่าทางในแต่ละเฟรม การขาดความลื่นไหลจะ “กระตุก” ไม่เป็นธรรมชาติ ซึ่งลดความสมจริง (Zhang et al., 2020) (2) การรักษาความสม่ำเสมอของความเร็วระหว่างการเคลื่อนไหวมีผลต่อความรู้สึก “เป็นธรรมชาติ” หากมีความเร่งหรือชะลออาจส่งผลให้การเคลื่อนไหวผิดปกติ (Kim et al., 2021) (3) การเปลี่ยนท่าระหว่างเฟรมอย่างอย่างกะทันหันลดความกลมกลืนของการเคลื่อนไหว (Luo et al., 2023)

3) ความสมจริงและความเป็นธรรมชาติของการเคลื่อนไหว (motion realism)

ประกอบด้วย (1) ความสมจริงของการเคลื่อนไหว เป็นความใกล้เคียงระหว่างแอนิเมชันที่สร้างขึ้นกับการเคลื่อนไหวในชีวิตจริงทำให้ผู้ชมเชื่อในความเป็นธรรมชาติ (Habibie et al., 2021) (2) การยึดพื้นของเท้าทำให้ตัวละครดูไม่ลอยสไลด์ โดยเฉพาะในการเคลื่อนไหวที่เท้าเป็นจุดยึดและตำแหน่งที่สัมผัสพื้น เช่น การเตะ หมุนตัว หรือการทรงตัว (Starke et al., 2021) (3) ความสอดคล้องของร่างกายทั้งตัว เช่น แขน ลำตัว และขา ส่งผลต่อความเป็นธรรมชาติ เช่น ในการเตะหรือหมุนตัว ต้องมีการส่งแรงอย่างต่อเนื่องจากแกนกลางสู่ปลายแขนหรือขา หากไม่สัมพันธ์กันจะดูผิดธรรมชาติ (Ling et al., 2023)

2. ออกแบบกรอบแนวคิดการวิจัย

การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับจับการเคลื่อนไหวท่าทางที่มีความยากและซับซ้อน รวมทั้งต้นฉบับของคลิปที่ใช้สำหรับจับการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน ยังมีคำถามที่ต้องทดลองเพื่อหาคำตอบว่า ผลลัพธ์ของการจับการเคลื่อนไหวของท่าทางและที่มาของคลิปแตกต่างกันจะมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือไม่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงออกแบบกรอบแนวคิการวิจัยเป็นวิจัยเชิงทดลอง โดยมีปัจจัยนำเข้า คือ คลิปที่ถ่ายทำท่าทางการต่อสู้แบบต่าง ๆ แล้วนำเข้าสู่กระบวนการจับการเคลื่อนไหวด้วยปัญญาประดิษฐ์ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหว ดังภาพ 1



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

3. กำหนดสมมติฐานการวิจัย

จากกรอบแนวคิดการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้กำหนดสมมติฐานการวิจัย คือ ระดับความยากง่ายของท่าทางการต่อสู้ และมุมกล้องที่ใช้สำหรับการถ่ายทำคลิปต้นฉบับเพื่อนำมาจับการเคลื่อนไหวด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI Mocap) จะมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน

4. การออกแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้ ออกแบบการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบ 3×3 Factorial Design ประกอบด้วย ท่าการต่อสู้ 3 ระดับความยาก และมุมกล้องที่ใช้สำหรับบันทึกภาพการแสดงท่าต่อสู้ จำนวน 3 มุมกล้อง

5. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้ให้ข้อมูลหลักในงานวิจัยนี้เป็นผู้เชี่ยวชาญ 3 ด้าน ประกอบด้วยบุคคลที่เป็นแอนิเมเตอร์ อาจารย์ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา ครูสอนพลศึกษา และครู/ ผู้ฝึกสอนในสถาบันการฝึกด้านกีฬาและการต่อสู้ การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านเพื่อทำหน้าที่ประเมินประสิทธิภาพของการจับการเคลื่อนไหว

6. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบด้วย 2 เครื่องมือ ได้แก่ คลิปแอนิเมชันท่าทางการต่อสู้ และแบบประเมินประสิทธิภาพ มีรายละเอียดการสร้างเครื่องมือเหล่านี้ ดังต่อไปนี้

6.1 คลิปแอนิเมชันท่าทางการต่อสู้ เป็นคลิปวิดีโอการต่อสู้ที่สร้างขึ้นมาจากข้อมูลการเคลื่อนไหวของท่าต่อสู้ที่ได้จากการจับการเคลื่อนไหวด้วย AI Mocap มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ดังนี้

1) คัดเลือกท่าทางการต่อสู้ตามระดับความยากง่ายของท่าทางการการต่อสู้ ตามระดับความยากของท่าต่อสู้ เป็นข้อมูลการเคลื่อนไหวของตัวอย่างสำหรับการวิจัยครั้งนี้ คือ ท่าการต่อสู้ของผู้แสดง 1 คน สำหรับงานวิจัยนี้ มี 3 ระดับความยาก จำนวนรวม 9 ท่า จำแนกตามความยาก ดังตาราง 1

2) ก่อนการถ่ายคลิปต้นฉบับของท่าต่อสู้ ภายหลังการคัดเลือกท่าทางการต่อสู้จำนวน 9 ท่าแล้ว ให้ผู้แสดงทุกคนฝึกซ้อมเพื่อให้สามารถแสดงท่าได้เหมือนกับมืออาชีพมากที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยอธิบายประเด็นข้อมูลของผู้ร่วมวิจัยในมิติด้านจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ ผู้ร่วมวิจัยรับทราบและอนุญาตเผยแพร่ จากนั้น การถ่ายคลิปวิดีโอต้นฉบับสำหรับนำเข้าสู่การจับการเคลื่อนไหว มีการควบคุมคุณภาพของแสงและพื้นหลัง ถ่ายทำด้วยกล้องประเภท DSLR กำหนดค่าความละเอียด 1080p และอัตรา 60 เฟรมต่อวินาที และถ่ายคลิปการต่อสู้แต่ละท่าด้วย 3 มุมกล้อง ได้แก่ (1) ด้านหน้า (มุมกล้องถ่ายด้านหน้าผู้แสดง) (2) มุมเฉียง (มุมกล้องถ่ายเฉียงตัวผู้แสดง 45 องศา) และ (3) ด้านข้าง (มุมกล้องถ่ายด้านข้างตัวผู้แสดง อาจเป็นด้านซ้ายมือ หรือขวามือของผู้แสดง) ได้คลิปวิดีโอทั้งสิ้น 27 คลิป ตัวอย่างดังภาพ 2 ท่าต่อสู้มือเปล่าที่มีการหมุนตัวและเปลี่ยนแปลงทิศทางของแขนและมือ

3) ภายหลังได้คลิปวิดีโอทั้งหมดแล้ว นำเข้าจับการเคลื่อนไหว AI Mocap โดยเลือกใช้ Move Ai Ltd. (2025) แบบทดลองใช้ฟรี เพื่อสร้างข้อมูลดิบของการเคลื่อนไหว (mocap data)

4) นำข้อมูลการเคลื่อนไหวไปใช้กับตัวละคร 3 มิติ (3D Character) และผลิตออกมาเป็นคลิปแอนิเมชันท่าต่อสู้ ได้ผลลัพธ์ตามตัวอย่างในภาพ 3 จากนั้นนำคลิปแอนิเมชันเหล่านี้ไปตรวจสอบประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวท่าต่อสู้

6.2 แบบประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ เป็นแบบประเมินคะแนน โดยใช้ระดับคะแนนประสิทธิภาพ 1 ถึง 5 มีความหมาย คือ 1 หมายถึง แย่มาก 2 หมายถึง แย่ 3 หมายถึง พอใช้ 4 หมายถึง ดี 5 หมายถึง ดีมาก ประกอบด้วยตัวชี้วัดในตาราง 2 และแนวทางในการประเมินประสิทธิภาพตามเกณฑ์การคะแนนในตาราง 3

ตาราง 1

ระดับความยากและชื่อท่าการต่อสู้

ระดับความยาก	ลักษณะของท่าทางการต่อสู้	ชื่อท่าการต่อสู้
ง่าย	มีการเคลื่อนไหวช้าและชัดเจน ไม่มีการหนุนตัวหรือกระโดด มีการบังคับแขนขาเล็กน้อย	(1) ท่าต่อย (2) ท่ายิงธนู (3) ท่าเตะด้านข้าง
ปานกลาง	มีการเคลื่อนไหวเร็วขึ้น และซับซ้อนขึ้น หมุนตัว เปลี่ยนทิศ และกระโดด	(4) ท่าต่อสู้มือเปล่า (5) ท่ายิงปืน (6) ท่ากระโดดต่อยเสย
ยาก	เคลื่อนไหวเร็วและซับซ้อน หมุนตัวเร็ว และต้องบังคับร่างกายพร้อมกันหลายจุด	(7) ท่าเตะแบบหมุนตัว (8) ท่าหมุนตัวยิงธนู (9) ท่าต่อสู้ด้วยมีด



ภาพ 2 ถ่ายวิดีโอคลิปท่าต่อสู้ต้นฉบับ 3 มุมกล้อง



ภาพ 3 แอนิเมชันท่าต่อสู้

ตาราง 2

ด้านและตัวชี้วัดการประเมินประสิทธิภาพ

ด้านของประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหว	**ตัวชี้วัดในแบบประเมิน**
1. ความแม่นยำของการจับท่าทาง	1.1 ตำแหน่งข้อต่อถูกต้อง
	1.2 องศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อ
	1.3 การจับครบทุกข้อต่อ
2. ความลื่นไหลของการเคลื่อนไหวตัวละคร	2.1 ลื่นไหลของการเคลื่อนไหว
	2.2 ความสม่ำเสมอของความเร็ว
	2.3 การเปลี่ยนท่าระหว่างเฟรม
3. ความสมจริงและความเป็นธรรมชาติ	3.1 ความสมจริงของการเคลื่อนไหว
	3.2 การยึดพื้นของเท้า
	3.3 ความสอดคล้องของร่างกายทั้งตัว

7. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการ ดังนี้

7.1 นำคลิปวิดีโอท่าการต่อสู้ทุกท่าที่สร้างจากข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จาก AI Mocap จำนวน 27 คลิป (9 ท่าต่อสู้ แต่ละท่ามี 3 มุมกล้อง) ให้ผู้เชี่ยวชาญได้รับชมก่อนการประเมินให้คะแนน

7.2 แจ้งให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาให้คะแนนการประเมิน โดยผู้วิจัยอธิบายเกณฑ์การคะแนน (rubric) ร่วมกับการใช้ดุลพินิจตามหลักวิชาการของผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินประสิทธิภาพ

8. วิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

8.1 ประสิทธิภาพของข้อมูลที่ได้จากการจับการเคลื่อนไหวโดย AI Mocap นำมาสร้างเป็นคลิปแอนิเมชันท่าทางการต่อสู้ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยวัดประสิทธิภาพดังกล่าวด้วยการประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญ โดยให้คะแนนเป็นแบบอัตราส่วนประมาณค่า ดังนั้นสถิติที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ANOVA

8.2 ให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ด้าน (อาจารย์ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา ครูสอนพลศึกษา และครู/ ผู้ฝึกสอนในสถาบันการฝึกด้านกีฬาและการต่อสู้) จำนวน 5 ท่าน ประเมินคะแนนประสิทธิภาพทั้ง 9 ตัวชี้วัด ในแต่ละคลิปวิดีโอท่าต่อสู้ โดยเลือกค่าคะแนนในแบบฟอร์มออนไลน์

ตาราง 3

เกณฑ์การให้คะแนนประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพ	**คะแนนที่ให้**				
	1	2	3	4	5
1. ความแม่นยำของการจับ	จับผิดชัดเจน	จับผิดบางส่วน	จับได้ครึ่งหนึ่ง	จับเกือบถูกหมด	จับถูกทั้งหมด
2.ความลื่นไหลของการเคลื่อนไหว	กระตุกมาก	กระตุกบ้าง	พอใช้	ค่อนข้างลื่น	ลื่นไหลตลอด
3. ความสมจริงและเป็นธรรมชาติ	ผิดจากความจริงและธรรมชาติ	ไม่สมจริง	พอสมควร	ค่อนข้างสมจริง	สมจริงมาก

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพ มีดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพจำแนกตามระดับความยาก มีผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงให้เห็นว่า ภาพรวมของประสิทธิภาพในการจับการเคลื่อนไหวด้วย AI Mocap กับความยากของท่าทางการต่อสู้ ทุกด้านอยู่ในระดับดีมาก (ค่า M. มีค่า 4.50 ขึ้นไป) เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ย พบว่า ประสิทธิภาพของการจับการเคลื่อนไหวด้วย AI Mocap โดยรวม ในท่าการต่อสู้อย่างง่าย มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (M.=4.80 SD=.50) พิจารณาค่าเฉลี่ยสูงสุดของประสิทธิภาพรายด้านพบว่า ความแม่นยำในการจับข้อมูลการเคลื่อนไหวได้ดีกับท่าที่ยากปานกลาง (M.=4.82 SD=.39) ความลื่นไหลของข้อมูลการเคลื่อนไหวที่จับได้อยู่ที่ท่าต่อสู้อย่างง่าย (M.=4.80 SD=.34) และความสมจริงของแอนิเมชันที่ผลิตได้อยู่ที่ท่าต่อสู้ยากปานกลาง (M.=4.73 SD=.45) ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวทั้ง 3 ระดับความยากของท่าทางด้วย ANOVA พบว่า ประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวท่าทางการต่อสู้ที่ยากต่างกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเทคโนโลยี AI Mocap ที่จับการเคลื่อนไหวของท่าทางที่ยากและซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตาม ท่าทางที่ง่ายมีการเคลื่อนที่ไม่ซับซ้อน AI Mocap สามารถถอดรหัสข้อมูลได้แม่นยำและต่อเนื่องที่มีลักษณะของท่าทางที่มีองค์ประกอบเพียงพอให้ระบบ AI ตรวจจับจุดหลัก (ข้อต่อ) ได้ชัดเจน สอดคล้องกับ Wu et al. (2021) ซึ่งชี้ว่า การจับการเคลื่อนไหวด้วย AI จะมีเสถียรภาพมากที่สุดในท่าทางที่มีโครงสร้างทางจลนศาสตร์ที่ชัดเจนและไม่สับสนกับองค์ประกอบพื้นหลัง เช่นเดียวกับ Güler et al. (2020) ที่ระบุว่า โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning-based models) สำหรับการประมาณท่าทางมนุษย์ (human pose estimation) สามารถพยากรณ์ท่าทางที่หลากหลายได้ดี เมื่อมีข้อมูลภาพที่ชัดเจนและมีลักษณะเฉพาะของท่าทางที่ชัดเจน นอกจากนี้ ยังพบว่า แนวคิดเรื่อง “ระดับความยากของท่าทาง” สอดคล้องกับงานวิจัย Wongbat et al. (2024) การพัฒนาแอปพลิเคชันถ่ายทอดท่ารำมวยโบราณ จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยผลวิจัยระบุว่า แอปพลิเคชันที่ถ่ายทอดท่ารำมวยซึ่งมีความซับซ้อนในระดับต่าง ๆ สามารถใช้งานได้จริงและผู้ใช้ประเมินให้อยู่ในระดับ “มาก” (ประสิทธิภาพเฉลี่ย 4.43 SD = 0.60 ความพึงพอใจเฉลี่ย 4.37 SD = 0.74) ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนว่า แม้ท่ารำหรือท่าการต่อสู้จะมีระดับความยากที่ต่างกัน แต่หากออกแบบระบบถ่ายทอดข้อมูลหรือระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ดี ผู้ใช้งานยังคงรับรู้และใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งนี้ที่พบว่า AI Mocap สามารถจับการเคลื่อนไหวได้อย่างมีคุณภาพทุกระดับความยาก แม้จะมีความแตกต่างของท่าทางแต่ก็ไม่กระทบต่อความสามารถของระบบในการถอดรหัสการเคลื่อนไหวอย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยครั้งนี้ใช้ผู้แสดงเพียงคนเดียวเพื่อจับข้อมูลการเคลื่อนไหวอาจไม่สามารถเปรียบเทียบความยากของท่าทางของแต่ละบุคคลได้ การวิจัยในอนาคตอาจเพิ่มผู้แสดงหลายคนเพื่อแสดงท่าทางเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จาก AI Mocap จากมิติความแตกต่างของรูปร่างและรูปแบบการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน

2. ประสิทธิภาพจำแนกตามมุมกล้องการถ่ายทำต้นฉบับ มีผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 5 แสดงให้เห็นว่า ภาพรวมของประสิทธิภาพในการจับการเคลื่อนไหวด้วย AI Mocap จากคลิปวิดีโอต้นฉบับที่ถ่ายด้วยมุมกล้องต่างกัน ทุกด้านอยู่ในระดับดีมาก (ค่า M. มีค่า 4.50 ขึ้นไป) เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ย พบว่า ประสิทธิภาพของการจับการเคลื่อนไหวด้วย AI Mocap โดยรวม จากคลิปวิดีโอต้นฉบับที่ถ่ายด้วยมุมหน้า มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (M.=4.91 SD=.29) พิจารณาค่าเฉลี่ยสูงสุดของประสิทธิภาพแต่ละด้าน พบว่า ความแม่นยำในการจับข้อมูลการเคลื่อนไหวได้ดีกับคลิปวิดีโอมุมด้านหน้า (M.=4.98 SD=.15) ความลื่นไหลของข้อมูลการเคลื่อนไหวที่จับได้อยู่ที่คลิปวิดีโอมุมด้านข้าง (M.=4.93 SD=.25) และความสมจริงของแอนิเมชันที่ผลิตได้อยู่ที่คลิปวิดีโอมุมด้านหน้า (M.=4.89 SD=.32) ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการจับการเคลื่อนไหวทั้ง 3 ระดับความยากของท่าทางด้วย ANOVA มีผลดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงให้เห็นว่า คลิปวิดีโอต้นฉบับที่ถ่ายทำด้วยมุมกล้องต่างกัน (ด้านหน้า มุมเฉียง และด้านข้าง) มีผลต่อประสิทธิภาพการจับข้อมูลการเคลื่อนไหวทั้ง 3 ด้าน

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 (Sig. = .000) จึงทำการวิเคราะห์ภายหลัง ดังตาราง 7

ตาราง 7 เป็นผลการวิเคราะห์ภายหลัง (post-hoc analysis) ด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบพหุคูณ (multiple comparison) ด้วยเทคนิค Bonferroni แสดงให้เห็นว่า คลิปวิดีโอต้นฉบับที่ถ่ายทำด้วยกล้องมุมเฉียงให้ค่าประสิทธิภาพน้อยกว่าคลิปวิดีโดที่ถ่ายด้วยกล้องมุมด้านด้านและด้านข้าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่คลิปที่ถ่ายด้วยกล้องมุมด้านหน้าและด้านข้างให้ประสิทธิภาพการจับข้อมูลการเคลื่อนไหวด้วย AI Mocap ไม่แตกต่างกัน

ข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริงควรพิจารณาผลการวิจัยครั้งนี้ที่พบว่า มุมกล้องเฉียงอาจทำให้เกิดการบิดเบือนของข้อต่อหลัก และการปิดบังของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ซึ่งส่งผลต่อการประมวลผลของระบบ AI Mocap งานวิจัยของ Pavllo et al. (2019) ชี้ว่าการจัดตำแหน่งกล้องที่ไม่ตั้งฉากกับระนาบการเคลื่อนไหวของร่างกาย อาจทำให้เกิดปัญหาในการประมาณตำแหน่งเชิงลึกของโครงร่าง นอกจากนี้ Li et al. (2025) พบว่า มุมกล้องด้านหน้าสามารถให้ค่าความแม่นยำสูงสุดเมื่อใช้กับโมเดล AI 3D Pose Estimation ที่ต้องการข้อมูลของข้อต่อบนลำตัวที่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลในงานวิจัยนี้อย่างชัดเจน กล่าวโดยสรุป มุมกล้องเฉียงกับการจับข้อมูลการเคลื่อนไหวด้วย AI Mocap มีข้อจำกัดมากกว่ามุมกล้องอื่น เนื่องจากเหตุผลเกี่ยวกับการบิดของข้อต่อ และการบดบังกันของส่วนของร่างกายทำให้ AI Mocap ไม่สามารถจับข้อมูลข้อต่อที่ถูกซ่อนไว้ได้อย่างถูกต้อง

ตาราง 4

ค่าเฉลี่ย (M) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของคะแนนประสิทธิภาพจำแนกตามระดับความยาก

ประสิทธิภาพ	ระดับความยากของท่าทาง					
	ง่าย		ปานกลาง		ยาก	
	M.	SD	M.	SD	M.	SD
1. ความแม่นยำของการจับ	4.71	.63	4.82	.39	4.76	.43
2. ความลื่นไหลของการเคลื่อนไหว	4.89	.34	4.78	.42	4.76	.43
3. ความสมจริงและเป็นธรรมชาติ	4.69	.63	4.73	.45	4.58	.66
โดยรวม	**4.80**	**.50**	**4.76**	**.43**	**4.74**	**.45**

ตาราง 5

ค่าเฉลี่ย (M) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของคะแนนประสิทธิภาพจำแนกตามมุมกล้อง

ประสิทธิภาพ	มุมกล้องการถ่ายทำต้นฉบับ					
	ด้านหน้า		มุมเฉียง		ด้านข้าง	
	M.	SD	M.	SD	M.	SD
1. ความแม่นยำของการจับ	4.98	.15	4.44	.66	4.87	.34
2. ความลื่นไหลของการเคลื่อนไหว	4.91	.29	4.56	.50	4.93	.25
3. ความสมจริงและเป็นธรรมชาติ	4.89	.32	4.27	.75	4.84	.37
โดยรวม	**4.91**	**.29**	**4.44**	**.59**	**4.86**	**.25**

ตาราง 6

ความแตกต่างของประสิทธิภาพจำแนกตามมุมกล้อง

ประสิทธิภาพ	แหล่งความแปรปรวน	SS.	df.	MS.	F.	Sig.
1. ความแม่นยำของการจับ	ระหว่างกลุ่ม	2.77	2	1.38	6.84	.002*
	ภายในกลุ่ม	15.78	78	.20		
	รวม	18.54	80			
2. ความลื่นไหลของการเคลื่อนไหว	ระหว่างกลุ่ม	1.80	2	.90	10.10	.000*
	ภายในกลุ่ม	6.96	78	.09		
	รวม	8.77	80	1.94		
3. ความสมจริง เป็นธรรมชาติ	ระหว่างกลุ่ม	3.88	2	1.94	9.63	.000*
	ภายในกลุ่ม	15.70	78	.20		
	รวม	19.58	80			

ตาราง 7

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพหุคูณระหว่างมุมกล้องที่ต่างกัน

ประสิทธิภาพ	มุมกล้อง	ด้านหน้า	มุมเฉียง	ด้านข้าง
1. ความแม่นยำของการจับ	ด้านหน้า	-	.44**	.15
	มุมเฉียง		-	-.30*
	ด้านข้าง			-
2. ความลื่นไหลของการเคลื่อนไหว	ด้านหน้า	-	.33**	.15
	มุมเฉียง		-	-.30**
	ด้านข้าง			-
3. ความสมจริงเป็นธรรมชาติ	ด้านหน้า	-	.48**	.04
	มุมเฉียง		-	-.44**
	ด้านข้าง			

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์วิจัยข้างต้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. การจับการเคลื่อนไหวด้วยเทคโนโลยี AI Mocap มีประสิทธิภาพในระดับดีมาก ในทุกระดับความยากของท่าทางการเคลื่อนไหวทั้งท่าทางง่าย ปานกลาง และยาก ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความเสถียรและความสามารถของเทคโนโลยี AI Mocap ในการตรวจจับท่าทางการเคลื่อนไหวที่มีความหลากหลายความซับซ้อนของการเคลื่อนที่

2. มุมกล้องของวิดีโอต้นฉบับมีผลต่อประสิทธิภาพของการจับการเคลื่อนไหวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมุมกล้องด้านหน้าให้ผลลัพธ์ดีที่สุดในด้านความแม่นยำและความสมจริง ในขณะที่มุมกล้องด้านข้างให้ค่าความลื่นไหลสูงสุด ขณะที่มุมเฉียงให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่า เทคโนโลยี AI Mocap สามารถจับข้อมูลการเคลื่อนไหวได้ดีกับคลิปวิดีโอท่าทางการเคลื่อนที่ต้นฉบับที่ถ่ายด้วยกล้องด้านหน้าและด้านข้าง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ 2569

References

Baumgartner, T. (2024). *Deriving sport scientific insights from broadcast footage: Advanced computer vision for human motion analysis* [Doctoral dissertation, German Sport University]. https://bit.ly/4tgczbN

Güler, R., Neverova, N., & Kokkinos, I. (2020). DensePose: Dense human pose estimation in the wild. *International Journal of Computer Vision, 128*(2), 173–192. https://doi.org/10.1007/s11263-019-01202-8

Habibie, I., Holden, D., Schwarz, J., Jahrmann, M., & Theobalt, C. (2021). Learning realistic human motion from videos using adversarial networks. *ACM Transactions on Graphics, 40*(4), 1–13. https://doi.org/10.1145/3450626.3459794

Ishac, K., & Eager, D. (2021). Evaluating martial arts punching kinematics using a vision and inertial sensing system. *Sensors, 21*(6), 1948. https://doi.org/10.3390/s21061948

Ling, H., Zhang, C., Xu, H., & Liu, C. K. (2023). Physics-aware motion retargeting with whole-body coordination. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 29*(4), 2456–2470. https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3189021

Li, Q., Sun, T., & Zhang, M. (2025). Deep learning-driven animation: Enhancing real-time character motion synthesis. *IEEE Access, 13*, 181487-181506. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3623285

Luo, W., Chen, X., & Liu, Y. (2023). Motion transformer: Seamless transition of human poses in animation. *Computer Animation and Virtual Worlds, 34*(3–4), e2053. https://doi.org/10.1002/cav.2053

Ma, H., & Chen, G. (2022). Research trends and frontiers in exercise for movement disorders: A bibliometric analysis of global research from 2010 to 2021. *Frontiers in Public Health, 10*, 9491729. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.9491729

Ma, J., & Wang, Y. (2020). Comparison of a Marker-based optical motion capture system and a markerless vision-based system for evaluating human movement. *Scientific Reports, 10*(1), 17351. https://doi.org/10.1038/s41598-020-74567-9

Mathis, A., Schneider, S., Lauer, J., & Mathis, M. W. (2020). A Primer on Motion Capture with Deep Learning: Principles, Pitfalls, and Perspectives. *Neuron, 108*(1), 44–65. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.09.017

Menache, A. (2011). *Understanding motion capture for computer animation*. Elsevier Science

Move Ai Ltd. (2025). *Industry leading markerless motion capture*. https://move.ai/

Noiumkar, S., & Tirakoat, S. (2013). Use of optical motion capture in sports science: A case study of golf swing. In N. Mai, M. Zamani, N. A. Ahmad@Salleh & W. C. Onn (Eds.), *Proceedings - 2013 International Conference on Informatics and Creative Multimedia, ICICM 2013* (pp. 310–313). IEEE.

Pavllo, D., Feichtenhofer, C., Grangier, D., & Auli, M. (2019). 3D human pose estimation in video with temporal convolutions and semi-supervised training. In L. Davis, P. Torr & S. Zhu (Eds.), *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 7753–7762). IEEE.

Phalapree, W., & Tirakoat, S. (2024). Acceptance of artificial intelligence motion capture technology in animation production [In Thai]. *Journal of Applied Information Technology, 10*(2), 89–101. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/project-journal/article/view/253829

Potisarn, N. (2023). Applying electromagnetic motion capture equipment to create industrial 3D animations [In Thai]. *Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, 1*(1), 1–9. https://doi.org/10.14456/jeit.2023.27

Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. N. (2013). *Research methods in biomechanics* (2nd ed.). Human Kinetics.

Starke, S., Zhao, Y., Zinno, F., & Komura, T. 2021. Neural animation layering for synthesizing martial arts movements. *ACM Transactions on Graphics, 40*(4), 1–16. https://doi.org/10.1145/3450626.3459881

Wongbat, S., Uypatchawong, S., & Chanamarn, N. (2024). The development of knowledge transfer application of ancient boxing dance in Sakon Nakhon Province [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 18*(2), 43–58. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/267368

Wu, J., Liu, H., Zhang, Y., & Chen, T. (2021). Efficient human pose estimation for action recognition using monocular videos. *IEEE Transactions on Multimedia, 23*, 2190–2203. https://doi.org/10.1109/TMM.2021.3051163

Zhang, X., Wang, L., Chen, M., & Li, Z. (2023). Viewpoint-robust 3D human pose estimation via depth-guided graph learning. *IEEE Transactions on Image Processing, 32*, 2941–2954. https://doi.org/10.1109/TIP.2023.3248271

การสกัดข้อมูลจากภาพเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรู้จำอักขระด้วยแสง

Information System Development through Image Data Extraction using Optical Character Recognition (OCR) Technology

มฆวา เจิมสุวรรณ[1] สุภัคพงศ์ จินารัตน์[1]* และนัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ[1]
Muckkawa Jeemsuwan[1], Supakpong Jinarat[1]* and Nutchanun Chinpanthana[1]
[1]วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
[1]College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University
*Corresponding author: 66130696@dpu.ac.th
Received: September 10, 2025
Revised: November 6, 2025
Accepted: November 11, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับจัดเก็บข้อมูลใบเสร็จค่าน้ำมันภายในองค์กร โดยใช้เทคโนโลยีการรู้จำอักขระด้วยแสง (Optical Character Recognition: OCR) ร่วมกับโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model: LLM) เพื่อยกระดับความถูกต้องและลดภาระการประมวลผลด้วยแรงงานคน OCR ทำหน้าที่สกัดข้อความจากเอกสาร ขณะที่ LLM ทำหน้าที่แก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูล เช่น การสะกดผิดเพื่อสร้างฐานข้อมูลที่มีโครงสร้าง และพร้อมใช้งาน กระบวนการพัฒนาประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (1) ศึกษาข้อมูล ความสำคัญ และวิเคราะห์ปัญหา (2) พัฒนาและออกแบบระบบสารสนเทศ (3) ทดลองใช้งานระบบสารสนเทศในสถานการณ์จริง โดยทดลองตรวจสอบความถูกต้องของการแปลผลข้อมูลจากภาพถ่ายที่มีรูปแบบแตกต่างกัน การทดลองนี้แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม พบว่า ทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างระบบสามารถสกัดข้อมูลสำคัญ เช่น วันที่ ปริมาณน้ำมัน หมายเลขทะเบียนรถ และจำนวนเงินได้ถูกต้องแม่นยำไม่แตกต่างกัน โดยมีอัตราความถูกต้องเฉลี่ยรวมคิดเป็น 95.98% นอกจากนี้ระบบยังช่วยลดระยะเวลารวบรวมใบเสร็จค่าน้ำมันจาก 3 วัน ลดเหลือ 1 วัน รวมถึงลดต้นทุนการดำเนินงานเฉลี่ยต่อเดือนคิดเป็น 50.35% เปรียบเทียบกับการดำเนินงานในรูปแบบเดิมจึงแสดงให้เห็นว่า การพัฒนาระบบสารสนเทศนั้นมีประโยชน์สำคัญต่อความถูกต้อง ความแม่นยำของข้อมูล ตลอดจนความรวดเร็วในการดำเนินงาน มีต้นทุนประสิทธิผลที่คุ้มค่าต่อการนำระบบไปใช้ในการดำเนินงานจริง ในระดับองค์กร หรือ เชิงพาณิชย์ อีกทั้งยังสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านการจัดเก็บข้อมูลแบบดั้งเดิมสู่การจัดการข้อมูลดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

คำสำคัญ: การสกัดข้อมูล การรู้จำอักขระด้วยแสง โมเดลภาษาขนาดใหญ่ การจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล

Abstract

This research aims to develop an information system for managing and storing fuel receipt data within organizations by integrating Optical Character Recognition: OCR technology with Large Language Models : LLMs to improve data accuracy and reduce manual processing efforts. OCR is used to detect and extract textual information from receipt documents, while LLMs are applied to correct extraction errors such as misspellings and formatting inconsistencies and to generate a structured, ready-to-use database. The system development process consisted of three main stages: (1) analysis of background, significance, and problem context; (2) system design and development; and (3) system testing under real-world conditions. The experimental evaluation assessed data extraction accuracy across receipts with different formats. The samples were divided into two groups for comparative analysis. The results indicate that, in both groups, the system successfully extracted key information—including transaction date, fuel volume, license plate number, and total amount—with an average accuracy rate of 95.98%. Furthermore, the system reduced the time required to compile fuel receipt records from three days to one day and lowered monthly operational costs by 50.35% compared to the traditional manual process. These findings demonstrate that the proposed information system significantly enhances the accuracy, reliability, and efficiency of fuel receipt data management while providing cost-effective advantages for practical organizational and commercial implementation. Additionally, the system facilitates the transition from conventional document-based storage to efficient and sustainable digital data management.

Keywords: data extraction, Optical Character Recognition (OCR), Large Language Model (LLM), digital data storage

บทนำ

ปัจจุบัน เทคโนโลยี OCR เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในองค์กรขนาดใหญ่ รวมไปถึงการพยายามใช้ OCR กับการสกัดข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบกายภาพ เช่น เอกสารกระดาษ ภาพสแกน ภาพถ่าย หรือไฟล์ข้อมูลที่ไม่เอื้อต่อการนำข้อมูลเหล่านี้ไปประมวลผลต่อ หรือใช้วิเคราะห์อย่างเป็นระบบได้ (Kumar, 2024) ซึ่งข้อจำกัดของข้อมูลภายในองค์กร ที่พบได้ชัดเจน คือ การจัดการข้อมูลใบเสร็จรับเงินรูปแบบกระดาษที่เกิดจากการทำธุรกรรม เพราะใบเสร็จรับเงินในรูปแบบกระดาษ มีความเสี่ยงต่อ การสูญหาย ฉีกขาด รวมถึงเสียหายจากปัจจัยภายนอก เช่น ความชื้น แสงแดด และความคลาดเคลื่อนจากการบันทึกข้อมูลโดยมนุษย์ (Thammarak et al., 2022) ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อการทำงานด้านการจัดทำรายงานต่าง ๆ หรือการตรวจสอบงบบัญชีขององค์กร (Bharadwaj et al., 2013) และหนึ่งในประเภทใบเสร็จรับเงินที่ใช้เวลาจัดการข้อมูลนานที่สุดคือ ใบเสร็จน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า ในองค์กรยังคงดำเนินการด้วยวิธีการแบบแมนนวล (Manual Process) ซึ่งอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาด ส่งผลกระทบต่อความถูกต้อง ความแม่นยำ และความรวดเร็วของข้อมูลที่จัดเก็บ ตลอดจนการสืบค้นย้อนหลัง โดยปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงนับเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดที่

สำคัญสำหรับองค์กรภายใต้กรอบแนวคิด การจัดการด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และธรรมาภิบาล (Environmental Social and Governance: ESG) ที่สะท้อนภาพลักษณ์ขององค์กร ที่ไม่ได้เน้นแค่ผลกำไร แต่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสังคม การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการข้อมูลรูปแบบกายภาพจึงมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาขององค์กร หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น คือ การรู้จำอักขระด้วยแสง (Optical Character Recognition: OCR) เนื่องจากสามารถแปลงข้อความในรูปภาพดิจิทัล หรือ เอกสารรูปแบบสแกน ให้เปลี่ยนเป็นข้อความ (text) ได้โดยอัตโนมัติ ช่วยลดภาระงาน เพิ่มความรวดเร็ว สามารถจัดเก็บเพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูลในระยะยาว นอกจากนี้ OCR ยังมีการใช้การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) เข้ามาช่วยในการจัดการคำศัพท์ที่ถูกสกัดออกมา เพื่อให้ข้อมูลมีความสอดคล้องกันทางความหมายกับข้อมูลทั้งเอกสาร ถึงแม้ OCR เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยเปลี่ยนภาพเอกสารให้เป็นข้อความดิจิทัล แต่ยังมีข้อจำกัด เช่น การจัดการกับภาษาไทย และเอกสารที่มีความซับซ้อน (Anakpluek et al., 2025; Smith, 2007) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โมเดลภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model: LLM) เพื่อแก้ปัญหาข้อผิดพลาดหลังสกัดข้อมูล เนื่องจาก LLM มีความสามารถในการทำความเข้าใจบริบทและโครงสร้างการจัดวางของข้อมูล พร้อมกับปรับปรุงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานและสอดคล้องกัน เพื่อการสร้างฐานข้อมูลที่มีโครงสร้างพร้อมใช้งาน จึงเป็นนวัตกรรมที่มีความแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าที่นิยมใช้ OCR เพียงเทคนิคเดียวหรือ OCR ร่วมกับ template-based extraction (Chompunut & Rajalida, 2024) รวมถึงแตกต่างด้านภาษาที่สกัดข้อมูล ถึงแม้ใช้เทคนิค OCR ร่วมกับ LLM เช่นเดียวกัน แต่การวิจัยก่อนหน้าศึกษาการสกัดข้อมูลภาษาอังกฤษ (Abdalla et al., 2025) หรือภาษาโบราณ (Do et al., 2025) นอกจากนี้ในการวิจัยนี้ยังเพิ่มเรื่องการส่งออกของข้อมูลโดยข้อมูลที่ได้จากการสกัดสามารถเชื่อมโยงกับระบบ Dashboard เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์และตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ขององค์กรในอนาคต (Yang et al., 2020)

การนำเทคโนโลยีเข้ามาพัฒนาระบบใหม่สำหรับองค์กรเพื่อแก้ไขข้อจำกัดที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถช่วยจัดการข้อมูล สกัดข้อมูลสาระสำคัญ ที่ต้องการจากใบเสร็จได้ เช่น ข้อมูลเลขที่ใบเสร็จ วันที่ รายการสินค้า ปริมาณ ราคาทั้งหมด จากใบเสร็จรับเงิน พร้อมกับนำส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบดิจิทัลโดยอัตโนมัติ Kumar (2024) การพัฒนาระบบที่ประยุกต์เทคโนโลยีนั้นจะ (1) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดเวลาในการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูล (2) ลดการพึ่งพาแรงงานคน (3) เพิ่มความถูกต้องและความสม่ำเสมอของข้อมูล (4) ลดความเสี่ยงจากการสูญหายหรือเสียหายของเอกสารกระดาษ (Patil et al., 2025; Westerman et al., 2014) และ (5) สนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกและการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ผ่านระบบแดชบอร์ด (Dashboard) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีดังกล่าวในการเพิ่มขีดความสามารถขององค์กรในยุคดิจิทัล

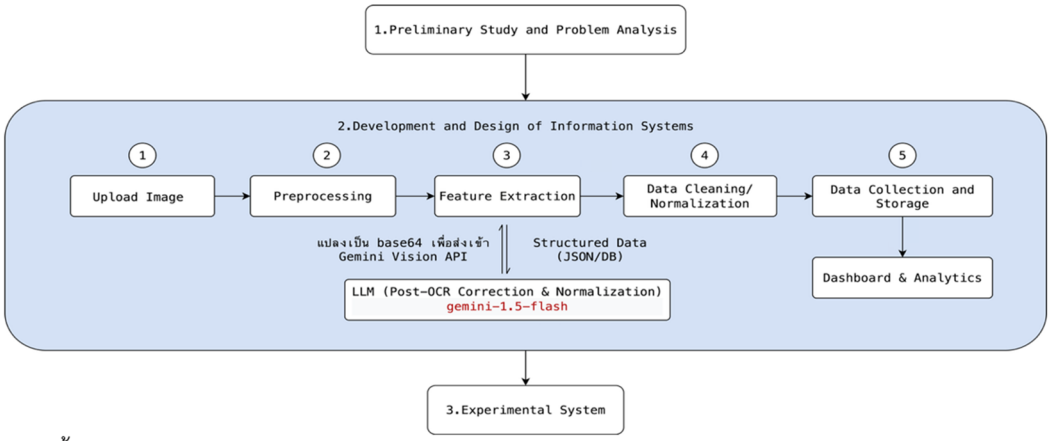
วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลใบเสร็จค่าน้ำมันภายในองค์กร

2. เพื่อลดขั้นตอนการทำงาน ลดการใช้แรงงาน และลดต้นทุนในการจัดการข้อมูล

วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการวิจัยกำหนดขั้นตอนการพัฒนาทั้งหมด 3 ขั้นตอนหลักดังนี้ (1) การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและการวิเคราะห์ปัญหา (preliminary study and problem analysis) (2) การพัฒนาและออกแบบระบบสารสนเทศ (development and design of information systems) และ (3) การทดสอบการใช้งานระบบในสถานการณ์จริง (system testing and implementation) รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังกล่าวไว้ในภาพ 1



ภาพ 1 ขั้นตอนการพัฒนาระบบข้อมูลสารสนเทศ

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและการวิเคราะห์ปัญหา (Preliminary Study and Problem Analysis)

จากการศึกษาระบบจัดเก็บข้อมูลในปัจจุบันขององค์กร พบว่า มีข้อจำกัดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานหลายประการ พบว่า การทำงานรูปแบบเดิม ที่ต้องอาศัยบุคลากรในการรวบรวม บันทึก และประมวลผลข้อมูล มีความล่าช้าและความผิดพลาดจากมนุษย์ อันเป็นอุปสรรคต่อการจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบ อีกทั้งไม่สามารถแสดงผลข้อมูลได้ทันท่วงที ซึ่งจำเป็นต่อการวิเคราะห์เชิงลึกและการตัดสินใจของผู้บริหาร

การพัฒนาและออกแบบระบบสารสนเทศ (Development and Design of Information Systems)

งานวิจัยนี้จำแนกและสกัดตัวอักษรภาษาไทยจากภาพใบเสร็จค่าน้ำมัน โดยอาศัย Google Apps Script เป็นตัวกลางในการประสานงานระหว่างบริการต่าง ๆ และใช้ Google Cloud Vision API สำหรับประมวลผลภาพและแปลงภาพเป็นข้อความ (OCR) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ (1) การอัปโหลดภาพใบเสร็จ (upload receipt Images) (2) การประมวลผลเบื้องต้น (data preprocessing) (3) การสกัดข้อความด้วย OCR (OCR text extraction) (4) การจัดรูปแบบและปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน และ (5) การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบโครงสร้าง เช่น Google Sheet หรือไฟล์ CSV (Google Cloud, 2025) โดยแสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในภาพ 2

1. การนำข้อมูลรูปภาพเข้าระบบ (upload receipt images)

ขั้นตอนแรก ผู้ใช้อัปโหลดภาพใบเสร็จค่าน้ำมัน ดังภาพ 3 ผ่านแพลตฟอร์ม LINE ซึ่งรองรับไฟล์ภาพมาตรฐาน เช่น .JPG และ .PNG โดยระบบจะแปลงภาพเป็นข้อมูลดิจิทัลโดยอัตโนมัติ เพื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงข้อมูลเป็นข้อความและสกัดข้อมูลตามลำดับ ดังภาพ 4

2. การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น (data preprocessing)

การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นใช้ Google Apps Script: GAS เป็นตัวควบคุมหลัก เริ่มจากการรับภาพผ่านระบบ Line และแปลงให้อยู่ในรูปแบบ Base64 ก่อนส่งคำขอไปยัง Google Cloud Vision API (Marangon, 2025) เพื่อประมวลผลด้วยเครื่องมือในกลุ่ม Vision AI ทำการปรับปรุงและเพิ่มคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) ให้มีความคมชัดและอยู่ในสภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดข้อมูลเชิงลึกในซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

2.1 การปรับความสว่างและความคมชัดของภาพ (brightness adjustment and contrast enhancement) เพื่อให้ข้อความตัวอักษรมีความเด่นชัดจากพื้นหลังมากขึ้น ด้วยเทคนิคพื้นฐานของการประมวลผลภาพเรียกว่า การทำ Histogram Equalization หรือ Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization: CLAHE ที่ปรับความชัดเจนของแต่ละพื้นที่ภาพ เป็นการทำคอนทราสต์ของภาพ เพื่อแก้ไขปัญหาแสงไม่สม่ำเสมอในภาพ (Martinez, 2025)

2.2 การแก้ไขความเอียง (skew correction/ Deskewing) เอกสารหรือภาพใบเสร็จที่ถ่ายมาอาจเอียง ทำให้เส้นบรรทัดไม่ขนานกับแกนนอน การแก้ไขความเอียงจะปรับภาพให้ข้อความอยู่ในแนวตรง (horizontal) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับ OCR (Martinez, 2025; Lefferts & Kozenieski, 2025)

2.3 การลดสัญญาณรบกวน (noise removal/ denoising) เป็นการขจัดข้อมูลที่ไม่ต้องการออกไปจากภาพ เช่น ลบจุดหรือรอยเปื้อนที่ไม่ใช่ข้อความ เพื่อไม่ให้รบกวนการจดจำตัวอักษร (Martinez, 2025) ผลที่ได้จากขั้นตอนนี้ Google Cloud Vision API จะทำให้ภาพอยู่ในสภาพที่พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

3. การสกัดข้อมูล (OCR text extraction)

กระบวนการสกัดข้อมูล (OCR text extraction) ใช้ Gemini API ซึ่งเป็นโมเดลภาษาขนาดใหญ่หลายรูปแบบ (Multimodal Large Language Model: LLM) ร่วมกับ Vision Encoder ชื่อ SigLIP (Sigmoid Loss for Language-Image Pre-training) เพื่อช่วยให้โมเดลเข้าใจเนื้อหาและบริบทเชิงโครงสร้างของเอกสารได้แม่นยำยิ่งขึ้น ผ่านการสร้างพรอมต์ที่มีโครงสร้าง (structured prompt) (Ramsey, 2025; Lefferts & Kozenieski, 2025) ที่ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ (1) กำหนดบทบาทหน้าที่ให้โมเดลเพื่อดึงข้อมูลจากภาพใบเสร็จ และตอบกลับในรูปแบบ JSON, (2) นิยามเป้าหมายการกำกับคำ (word tagging) คือ การแปลงข้อความเป็นรายการคำ (list of words) ซึ่งนำไปสู่ขั้นตอนการหาข้อมูลหรือชื่อเฉพาะ เพื่อแยกและกำหนดให้เป็นชื่อ เช่น วันที่ เลขที่ใบกำกับภาษี ทะเบียนรถ ประเภทน้ำมัน ปริมาณ (ลิตร) ราคาต่อหน่วย จำนวนเงินรวม และชื่อสถานีบริการน้ำมัน เป็นต้น (3) กำหนดเงื่อนไขการจัดการข้อผิดพลาด เช่น ส่งค่าว่าง (“ ”) เมื่อไม่พบข้อมูล เพื่อให้ JSON มีโครงสร้างคงที่ และ (4) บังคับผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปแบบ JSON Object เดียวตาม Schema ที่กำหนด แนวทางนี้จะช่วยให้ระบบสามารถสกัดข้อมูลสำคัญจากเอกสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Aayush et al., 2025) ดังภาพ 5

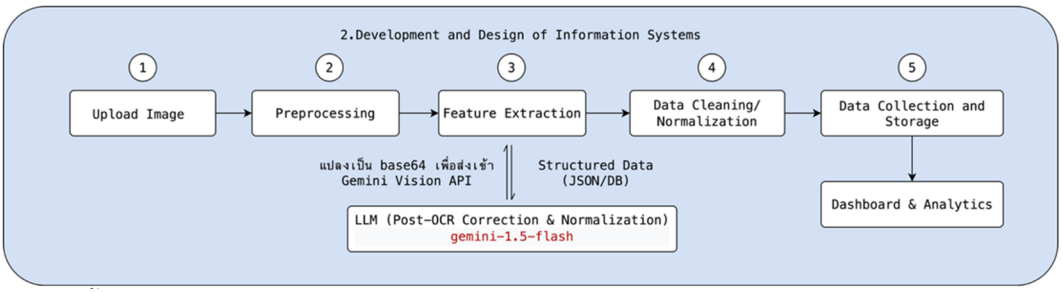
4. การจัดระเบียบข้อมูลและปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน

หลังการสกัดข้อมูลจากภาพใบเสร็จ ข้อมูลที่ได้อาจไม่สมบูรณ์หรือคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากข้อจำกัดของ OCR และการตีความของโมเดล จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนตรวจสอบและปรับให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน ดังภาพ 6 เพื่อให้สามารถใช้งานข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มความสอดคล้องก่อนนำไปจัดเก็บ โดยมีการดำเนินการ ดังนี้

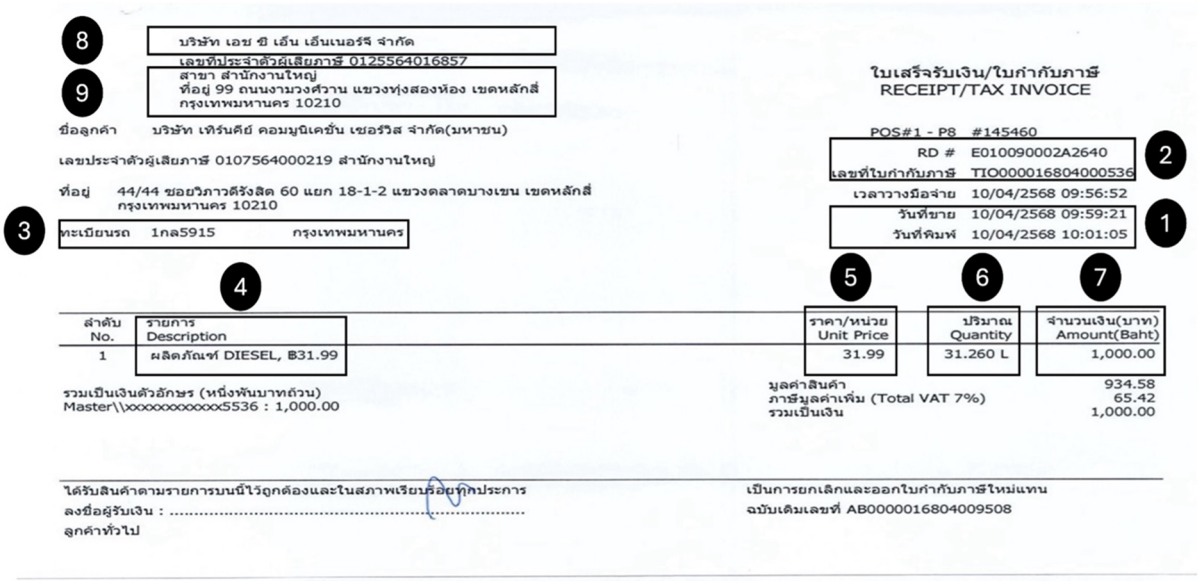
4.1 การทำความสะอาดข้อความดิบ (cleaning raw text) โมเดลอาจแสดงผลข้อความ JSON พร้อมอักขระ Markdown เช่น json และ ซึ่งรบกวนกระบวนการแปลงข้อมูล (parsing) โค้ดนี้จึงมีหน้าที่ตรวจสอบและลบอักขระเหล่านี้ออก คงไว้เฉพาะข้อความ JSON ที่สมบูรณ์เพื่อใช้ในขั้นตอนถัดไป

4.2 การแปลงปี พ.ศ. เป็น ค.ศ. โดยรูปแบบวันที่ในใบเสร็จไทยมักอยู่ในรูปแบบพุทธศักราช (พ.ศ.) ซึ่งไม่สอดคล้องกับระบบสากลที่ใช้คริสต์ศักราช (ค.ศ.) ระบบจึงกำหนดว่าหากค่าปีเกิน 2400 ให้ถือเป็น พ.ศ. และลบด้วย 543 เพื่อแปลงเป็น ค.ศ. วิธีนี้เป็นตัวอย่างของการจัดมาตรฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับระบบสากล

4.3 การจัดโครงสร้างข้อมูลให้สม่ำเสมอ หากหัวข้อใดไม่มีข้อมูลกำหนดให้เป็นค่าว่าง (‘ ‘) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีรูปแบบสอดคล้องกันทุกชุด ซึ่งจำเป็นต่อการจัดเก็บและวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

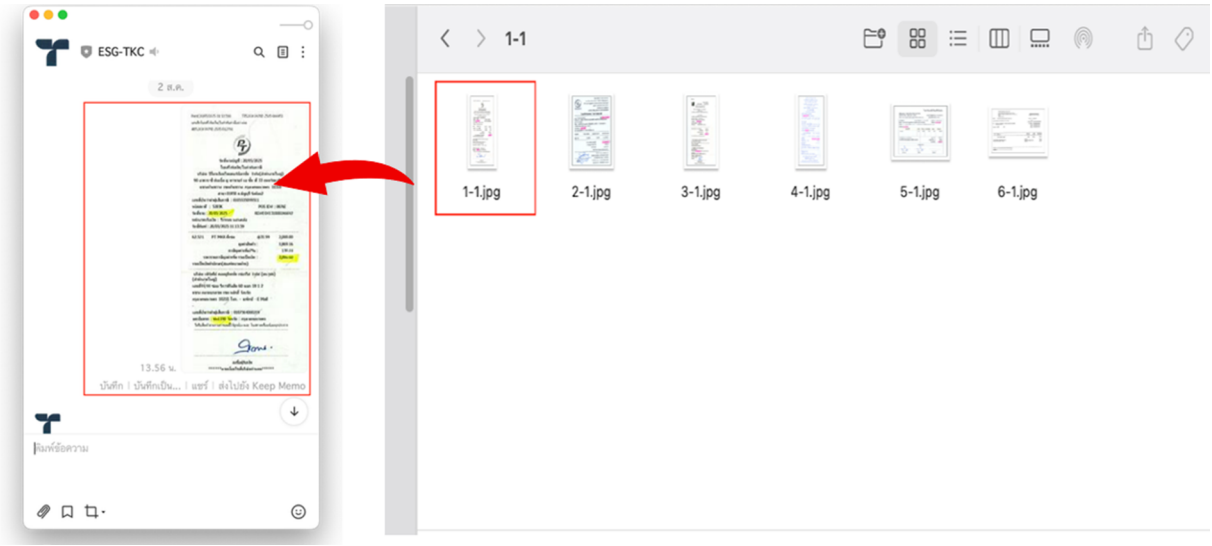


ภาพ 2 ขั้นตอนการทำงาน



ภาพ 3 ตัวอย่างอินพุต (ใบเสร็จน้ำมัน)

ภาพ 3 แสดงตัวอย่างใบเสร็จน้ำมันซึ่งใช้เป็นเอกสารอินพุต โดยเป็นเอกสารที่มีโครงสร้าง (structured document) และใช้ตัวพิมพ์ภาษาไทย ข้อมูลในเอกสารนี้ถูกออกแบบให้รองรับการประมวลผลโดยอัลกอริทึมที่จดจำรูปแบบคำ (pattern of words) เพื่อการสกัดข้อมูล ตัวอย่างข้อมูลที่ปรากฏ ❶วันที่ ❷ เลขที่ใบกำกับภาษี ❸ ทะเบียนรถ ❹ ประเภทน้ำมัน ❺ ปริมาณ (ลิตร) ❻ ราคาต่อหน่วย ❼ จำนวนเงินรวม ❽ ชื่อสถานีบริการน้ำมัน ❾ ชื่อลูกค้า เป็นต้น



ภาพ 4 การนำอินพุต (ใบเสร็จน้ำมัน) ผ่านแพลตฟอร์ม LINE

```
function getGeminiPrompt_()
{
    const fieldDefinitions = `คุณเป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน OCR และการดึงข้อมูลอัจฉริยะ ภารกิจของคุณคือการวิเคราะห์ภาพใบเสร็จค่าน้ำมัน/ใบกำกับภาษีอย่างละเอียด
แม้ว่าภาพจะซีดจาง ไม่ชัดเจน เอียง หรือมีส่วนของข้อความขาดหายไป ให้ใช้ความสามารถด้าน OCR และการอนุมานขั้นสูงเพื่อดึงข้อมูลให้แม่นยำที่สุด
เป้าหมายคือการดึงข้อมูลที่ระบุไว้ด้านล่างและส่งคืนเป็นออบเจ็กต์ JSON ที่ถูกต้องเพียงออบเจ็กต์เดียวเท่านั้น ห้ามมีข้อความอธิบายใดๆ นอกเหนือจาก JSON.
คำแนะนำและคำจำกัดความสำหรับแต่ละฟิลด์ (สำคัญมาก: หากไม่พบข้อมูลหรือไม่ชัดเจนสำหรับฟิลด์ใดๆ ให้ส่งค่าเป็นสตริงว่าง "" สำหรับฟิลด์นั้นๆ):

- "referenceNo": เลขที่ใบกำกับภาษี (Tax Invoice No.), เลขที่ (No.),เลขที่เอกสาร,,RD#, Invoice ID.  ตัวอย่าง: "TIO0000016804001374", "๓25100642000621",
พยายามหาหมายเลขที่เฉพาะเจาะจงที่สุดสำหรับใบเสร็จนี้ หากไม่พบ, ส่ง "".
- "date": วันที่ขาย (Sale Date) หรือ วันที่ (Date).
    - รูปแบบที่ต้องการ: DD/MM/YYYY (เช่น 25/12/2567) หรือในรูปแบบ YYYY-MM-DD.
    - หากไม่พบ, ส่ง "".
- "time": เวลาขาย (Sale Time) หรือ เวลา (Time).
    - รูปแบบที่ต้องการ: HH:MM:SS หรือ HH:MM (เช่น 14:35:00 หรือ 14:35).
- "licensePlate": ทะเบียนรถ (Vehicle License Plate) หรือ เลขทะเบียนรถ.
    - ให้รวมชื่อจังหวัดเต็ม (เช่น กรุงเทพมหานคร, เชียงใหม่ ,นนทบุรี ,จังหวัดอื่นๆ ) หากมี. ตัวอย่าง: "กท 1234 กรุงเทพมหานคร", "9กจ 9999 นนทบุรี".
    - หากไม่พบ, ส่ง "".
- "description": ชื่อสินค้าหลัก (Main Product Name) หรือ รายการ (Description).
    - เน้นที่ชื่อผลิตภัณฑ์น้ำมันหลัก (เช่น GASOHOL E20, GASOHOL 95S EVO, GASOHOL 95, GASOHOL 91, DIESEL, ดีเซล B7, แก๊สโซฮอล์).
- "unitPrice": ราคาต่อหน่วย (Unit Price) หรือ ราคาขายปลีกต่อหน่วย (Retail Unit Price) สำหรับรายการผลิตภัณฑ์น้ำมันหลักเท่านั้น.
    - ต้องเป็นตัวเลข (จำนวนเต็มหรือทศนิยม เช่น 35.50, 42) ไม่ต้องมีสัญลักษณ์สกุลเงิน (฿) หรือเครื่องหมายจุลภาค (,).
    - หากไม่พบข้อมูล, ส่ง "".
- "quantity": ปริมาณ (Quantity) หรือ จำนวน (Liters, Units) สำหรับรายการผลิตภัณฑ์น้ำมันหลักเท่านั้น.
    - ต้องเป็นตัวเลข (จำนวนเต็มหรือทศนิยม เช่น 10.00, 25.123) ไม่ต้องมีหน่วย (เช่น ลิตร, LTR).
- "amount": จำนวนเงินรวม (Amount) สำหรับรายการผลิตภัณฑ์น้ำมันหลักเท่านั้น.
    - *สำคัญมาก:* นี่คือจำนวนเงินสำหรับรายการน้ำมันหลัก *ไม่ใช่* ยอดรวมทั้งหมดของใบเสร็จ (เว้นแต่จะเป็นรายการเดียวในใบเสร็จ).
- "stationName": ชื่อสถานีบริการน้ำมัน หรือ ชื่อบริษัทผู้ออกใบเสร็จ.
    - มักจะอยู่ส่วนบนของใบเสร็จ. ตัวอย่าง: "บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน)", "บริษัท บางจากกรีนเนท จำกัด", "บริษัท XYZ จำกัด", "บริษัท XYZ (มหาชน)", "สถานีบริการน้ำมัน
    XYZ", "ห้างหุ้นส่วนจำกัด XYZ ".
    - หากไม่พบ, ส่ง "".
- "stationAddr": ที่อยู่เต็มของสถานีบริการ หรือ ที่อยู่บริษัท.
    - ให้รวมรายละเอียดสาขา (เช่น สาขาลาดพร้าว, สาขา 2, สาขาที่ 01189) ถ้ามี.
    - หากไม่พบ, ส่ง "".
โปรดตรวจสอบให้แน่ใจว่าผลลัพธ์เป็น JSON object ที่ถูกต้องตามโครงสร้างนี้เท่านั้น:
{"referenceNo":"","date":"","time":"","licensePlate":"","description":"","unitPrice":"","quantity":"","amount":"","stationName":"","stationAddr":""}
ค่าทั้งหมดใน JSON ควรเป็นสตริง (string). หากดึงค่าตัวเลขได้ ให้แปลงเป็นสตริงก่อนใส่ใน JSON.
`;
```

ภาพ 5 ตัวอย่าง Structured Prompt ที่ใช้ในการสกัดข้อมูล

5. การจัดเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบจะถูกบันทึกลงใน Google Sheets โดยแต่ละแถวแทนหนึ่งใบเสร็จค่าน้ำมัน พร้อมแนบ “Drive File ID” ซึ่งใช้เป็นรหัสอ้างอิงถึงไฟล์ภาพต้นฉบับที่จัดเก็บบน Google Drive โดยระบบจะตั้งชื่อไฟล์ภาพตาม Drive File ID โดยอัตโนมัติ เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างภาพใบเสร็จและรายการในตาราง ทำให้สามารถสืบค้นย้อนหลังได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ดังภาพ 7

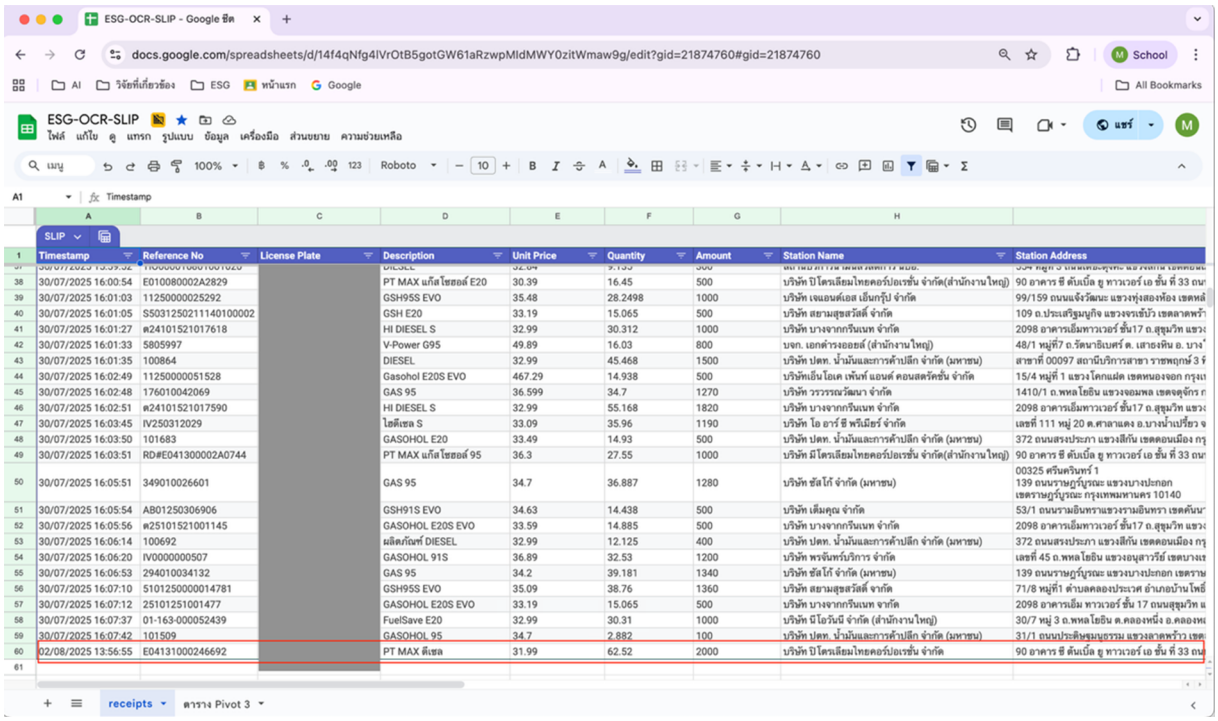
การแสดงผลข้อมูลใช้ Looker Studio สร้างแดชบอร์ดเพื่อนำเสนอข้อมูลครอบคลุมข้อมูลในหลายมิติ เช่น ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถแต่ละคัน จำแนกตามหมายเลขทะเบียนและประเภทเชื้อเพลิง ตลอดจนต้นทุนรวมในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้รูปแบบการนำเสนอที่หลากหลาย เช่น กราฟแท่ง ตาราง และแผนภูมิวงกลม เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและการติดตามข้อมูลตามช่วงเวลา ซึ่งเอื้อต่อการวางแผนเชิงกลยุทธ์และการกำหนดนโยบายด้านพลังงานให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์กร ดังภาพ 8

```
/* ———————— Helper: แปลงข้อความ JSON เป็น Object ————————
   พร้อมปรับปี พ.ศ. → ค.ศ. ถ้าจำเป็น
*/
function extractInvoiceDetails(raw) {
  // เอา ```json``` ออก (ถ้ามี)
  let txt = raw.includes('```') ? raw.replace(/```json?\n?|```/g,'') : raw;
  const d = JSON.parse(txt);

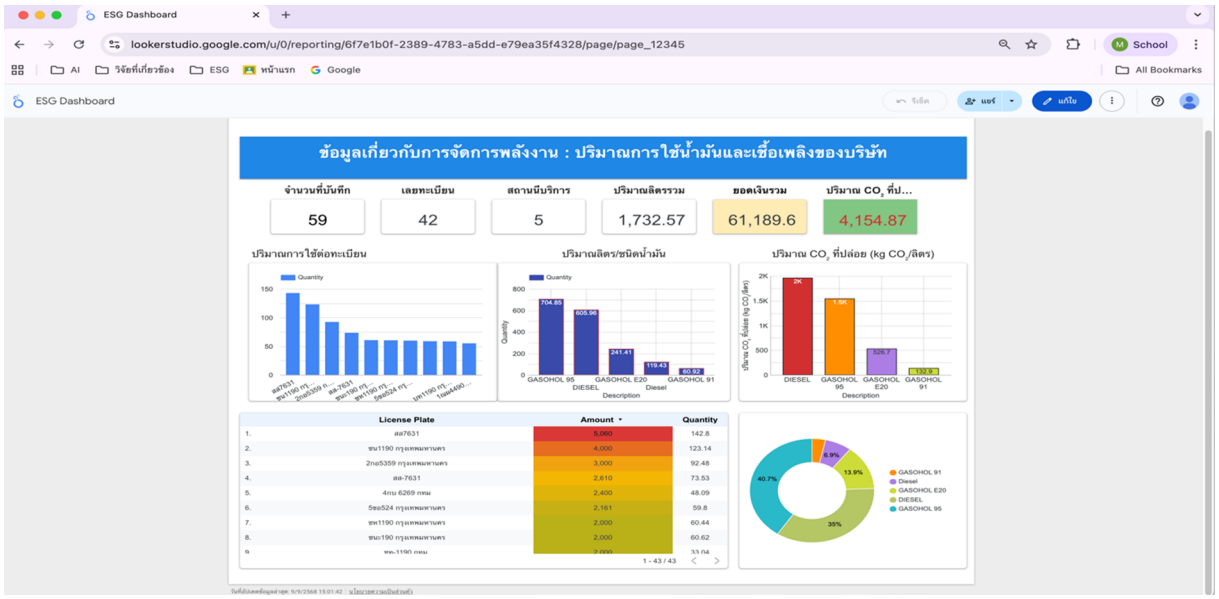

  // ถ้าปีเป็น พ.ศ. (>2400) ให้ลบ 543
  if (d.date && +d.date.slice(0,4) > 2400)
    d.date = (d.date.slice(0,4)-543)+d.date.slice(4);


  // คืนค่า object ที่จัดระเบียบแล้ว
  return {
    referenceNo : d.referenceNo || '',
    date        : d.date        || '',
    time        : d.time        || '',
    licensePlate: d.licensePlate|| '',
    description : d.description || '',
    unitPrice   : d.unitPrice   || '',
    quantity    : d.quantity    || '',
    amount      : d.amount      || '',
    stationName : d.stationName || '',
    stationAddr : d.stationAddr || ''
  };
}
```

ภาพ 6 ตัวอย่าง ฟังก์ชัน ExtractInvoiceDetails ที่ใช้ในการจัดระเบียบข้อมูลและปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน



ภาพ 7 การจัดเก็บข้อมูลที่สกัดได้ลงใน Google Sheet



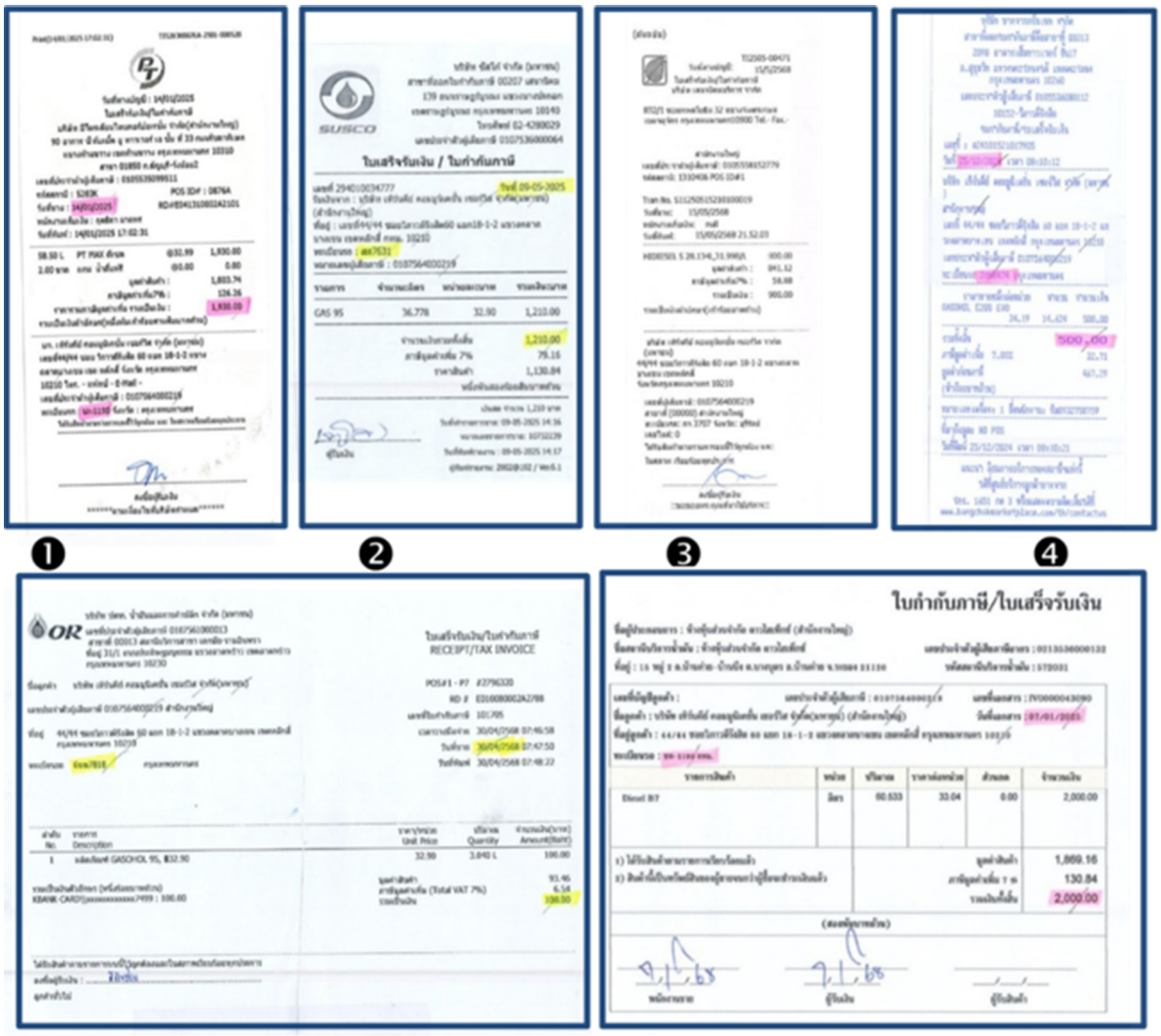
ภาพ 8 การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ด (Dashboard)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การวิจัยนี้ ใช้ตัวอย่างใบเสร็จจากสถานีบริการน้ำมันจำนวน 120 ฉบับ เป็นข้อมูลอินพุตในการประมวลผล 2 ครั้ง โดยครั้งที่ (1) การสุ่มใบเสร็จ โดยไม่จำแนกประเภท จำนวน 60 ฉบับจากจำนวน 120 ฉบับ และครั้งที่ (2) การจัดกลุ่มใบเสร็จตามบริษัทผู้ให้บริการน้ำมัน โดยแบ่งได้เป็น 6 กลุ่มจากจำนวน 120 ฉบับ กลุ่มละ 10 ฉบับ ได้แก่ (1) บริษัท พีที โกลบอล เคมีคอล จำกัด (2) บริษัท ซัสโก้ จำกัด (3) บริษัท บางจากกรีนเนท จำกัด (4) บริษัท บางจากกรีนเนท จำกัด (5)บริษัท ปิโตรเลียมไทย คอร์ปอเรชั่น จำกัด และ (6) บริษัท เชฟรอน (ไทย) จำกัด โดยรายละเอียดแสดงในภาพ 9

ทำการประเมินความถูกต้องของการประมวลผลตามกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้อธิบายในวิธีดำเนินการวิจัย โดยใช้เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพโมเดล “อัตราความถูกต้อง” (accuracy) เพื่อวัดความแม่นยำของข้อมูลที่ระบบสามารถสกัดได้ ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในตาราง 1 และตาราง 2

จากตารางแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบในการประมวลผลข้อมูลจากใบเสร็จค่าน้ำมันทั้งในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ค่าความถูกต้องของการสกัดข้อมูล 8 หมวดหลัก ได้แก่ (1) หมายเลขอ้างอิง (ref.) (2) หมายเลขทะเบียนรถ (L-plate) (3) รายละเอียดประเภทน้ำมัน (descript) (4) หน่วย (unit) (5) ปริมาณ (Quan.) (6) จำนวนเงิน (amount) (7) ชื่อสถานีบริการ (name) และ (8) ที่อยู่สถานีบริการ (address) ในกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 95.09% และกลุ่มที่ 2 อยู่ที่ 96.71% ตามลำดับ โดยพบว่า ในหัวข้อ หมายเลขอ้างอิง (ref.) รายละเอียดประเภทน้ำมัน (descript) หน่วย (unit) ปริมาณ (Quan.) จำนวนเงิน (amount) สามารถแปลผลได้ถูกต้อง 100% ทั้ง 2 กลุ่ม แต่ยังพบหัวข้อที่ระบบไม่สามารถแปลผลได้ถูกต้อง 100% คือ หัวข้อ หมายเลขทะเบียนรถ (L-plate) กลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 69.09% กลุ่มที่ 2 81.89% หัวข้อ ชื่อสถานีบริการ (name) กลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 91.67% และกลุ่มที่ 2 95.83% และหัวข้อ ที่อยู่สถานีบริการ (address) กลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 100% แต่กลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องเพียง 95.94%



ภาพ 9 ตัวอย่างภาพใบเสร็จจากสถานีบริการน้ำมัน 6 รูปแบบ ❶ ใบเสร็จบริษัท พีที โกลบอล เคมีคอล จำกัด ❷ ใบเสร็จบริษัท ซัสโก้ จำกัด ❸ ใบเสร็จบริษัท บางจากกรีนเนท จำกัด ❹ ใบเสร็จบริษัท บางจากกรีนเนท จำกัด ❺ ใบเสร็จบริษัท ปิโตรเลียมไทยคอร์ปอเรชั่น จำกัด ❻ ใบเสร็จบริษัท เชฟรอน (ไทย) จำกัด

ตาราง 1

แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบในการประมวลผลข้อมูลจากใบเสร็จค่าน้ำมัน ชุดที่ 1

Type	Performance (%)							
	Ref.	L-plate	Descript	Unit	Quan.	Amount	Name	Address
1	100	50	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	0.00	100	100	100	100	50	100
5	100	66.67	100	100	100	100	100	100
6	100	97.87	100	100	100	100	100	100
Average Acc. (%)	**100**	**69.09**	**100**	**100**	**100**	**100**	**91.67**	**100.00**

ตาราง 2

แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบในการประมวลผลข้อมูลจากใบเสร็จค่าน้ำมัน ชุดที่ 2

Type	Performance (%)							
	Ref.	L-plate	Descript	Unit	Quan.	Amount	Name	Address
1	100	70.00	100	100	100	100	80.00	100
2	100	90.00	100	100	100	100	100	90.00
3	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	70.00	100	100	100	100	100	90.00
5	100	90.00	100	100	100	100	100	100
6	100	90.00	100	100	100	100	100	100
Average Acc. (%)	**100**	**81.67**	**100**	**100**	**100**	**100**	**96.67**	**96.67**

ตาราง 3

แสดงผลการประเมินความแม่นยำในการสกัดข้อมูลจากใบเสร็จน้ำมัน

ชุดทดลอง	Performance (%)						
	1	2	3	4	5	6	Average
ชุดที่ 1	93.75	100	100	95.83	95.83	99.73	**95.09**
ชุดที่ 2	93.75	97.50	100	95.00	96.25	99.56	**96.88**
Average Acc.				**95.98**			

จากตาราง 3 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพการสกัดข้อมูลจากใบเสร็จน้ำมัน 6 ประเภท โดยใช้อัตราความถูกต้อง (accuracy) เป็นตัวชี้วัด พบว่า ทั้งสองกลุ่มทดลองมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 95.98% ผลลัพธ์นี้สะท้อนถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี OCR ร่วมกับ LLM ในการประมวลผลเอกสารภาพที่มีความซับซ้อน โดยเฉพาะเมื่อผสานกับการออกแบบ Structured Prompt ที่เหมาะสม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดความคลาดเคลื่อนจากความหลากหลายของรูปแบบและคุณภาพของภาพอินพุต ความแม่นยำที่ได้แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นและความเสถียรของแนวทางนี้ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในองค์กรที่ต้องแปลงเอกสารจากรูปแบบกระดาษสู่ดิจิทัล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บ เข้าถึง ประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบ

วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

โดยทั่วไปงบประมาณเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจลงทุนเพื่อพัฒนาทรัพยากรขององค์กร โดยเฉพาะการประเมินต้นทุนเริ่มต้น ต้นทุนดำเนินงาน และต้นทุนทางการเงิน (Patil et al., 2025) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเติบโตและผลกำไรที่คาดหวัง งานวิจัยนี้จึงดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าการลงทุน โดยเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างกระบวนการบันทึกข้อมูลแบบเดิมที่ใช้แรงงานมนุษย์ (manual process) กับระบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น โดยมุ่งเน้นการพิจารณาต้นทุนรวม (total cost) ซึ่งสะท้อนถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงในการดำเนินงาน โดยเฉพาะในกรณีที่องค์กรต้องจัดการข้อมูลจำนวนมากในแต่ละเดือน ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนแฝงในเชิงทรัพยากรบุคคลและเวลา ผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบอัตโนมัติสามารถลดระยะเวลาในการบันทึกข้อมูลต่อใบเสร็จได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ต้นทุนรวมขององค์กรลดลง โดยเฉพาะในระยะยาวเมื่อปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้น

สามารถคำนวณเปรียบเทียบ Mankiw (2016) ค่าใช้จ่ายระบบแบบเดิมและระบบใหม่ได้ดังสมการที่ (1)

$$Total\,\mathrm{Cos}\,t = (n \times s) + i \qquad (1)$$

โดยที่

n คือ จำนวนพนักงาน (คน)

s คือ ค่าจ้างหรือเงินเดือนเฉลี่ยต่อคน (บาท)

i คือ ค่าใช้จ่ายด้านสารสนเทศ เช่น ค่าใช้บริการโปรแกรม ซอฟต์แวร์ Subscription server (บาท)

ตาราง 4

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระบบแบบเดิมและระบบใหม่

รายการ	ระบบเดิม	ระบบใหม่
จำนวนพนักงาน (คน)	3	1
เงินเดือน (บาท)	23,500	33,000
ค่าใช้จ่ายสารสนเทศ (บาท)	0	2,000
ต้นทุนรวมต่อเดือน (บาท)	70,500	35,000

จากตาราง 4 แสดงผลการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างระบบเดิมกับระบบใหม่ พบว่า ระบบใหม่มีต้นทุนรวมเพียง 35,000 บาทต่อเดือน ขณะที่ระบบเก่ามีต้นทุนรวม 70,500 บาท ลดลงคิดเป็น 50.35% อีกทั้งยังลดจำนวนบุคลากรที่ใช้ในการปฏิบัติงานจาก 3 คน เหลือเพียง 1 คน รวมถึงลดระยะเวลาการบันทึกข้อมูลใบเสร็จจาก 3 วัน ลดเหลือ 1 วัน ส่งผลให้สามารถบริหารจัดการทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่ามาก ทั้งในด้านค่าใช้จ่ายและประสิทธิภาพการทำงานขององค์กร

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้พัฒนากระบวนการสกัดข้อมูลจากภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศ และเพื่อลดขั้นตอนการทำงาน ลดการใช้แรงงาน ลดต้นทุนในการจัดการข้อมูล โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรู้จำอักขระด้วยแสง (OCR) ร่วมกับ Gemini API ซึ่งเป็นโมเดลภาษาแบบหลายรูปแบบ (multimodal large language model) ที่ใช้โครงสร้าง Decoder-only Transformer เชื่อมกับ Vision Encoder (SigLIP) เพื่อเพิ่มความเข้าใจทั้งในเชิงเนื้อหาและโครงสร้างเอกสาร ผ่านการประยุกต์ใช้เทคนิค Structured Prompt Engineering สำหรับการสกัดข้อความและจัดระเบียบให้อยู่ในรูปแบบโครงสร้างที่ชัดเจน ผลการทดลองพบว่า ความถูกต้องของการแปลผลข้อมูลจากภาพถ่ายที่มีรูปแบบแตกต่างกัน ทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่าง ระบบสามารถสกัดข้อมูลสำคัญ เช่น วันที่ ปริมาณน้ำมัน หมายเลขทะเบียนรถ และจำนวนเงินได้ถูกต้องแม่นยำไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 95.98% มีเพียงค่าเฉลี่ยความถูกต้อง “ทะเบียนรถ (L-plate)” ที่มีความแม่นยำต่ำกว่าตัวแปรอื่น เนื่องจากตัวอักษรและตัวเลขที่มักปรากฏติดกัน ไม่มีเว้นวรรค หรือมีฟอนต์และรูปแบบไม่เป็นมาตรฐานและตำแหน่งของทะเบียนรถในใบเสร็จแต่ละประเภทอาจไม่คงที่ หรือมีปัญหาด้านคุณภาพภาพ เช่น ความเบลอ สะท้อนแสง หรือความคมชัดไม่เพียงพอ ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของการสกัดข้อมูลเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่นที่มีโครงสร้างคงที่และมีบริบทชัดเจน นอกจากความแม่นยำแล้วในเชิงการปฏิบัติงานพบสามารถลดระยะเวลาในการรวบรวมใบเสร็จค่าน้ำมันจากเดิม 3 วัน เหลือเพียง 1 วัน รวมถึงลดต้นทุนการดำเนินงานเฉลี่ยต่อเดือนคิดเป็น 50.35% เมื่อเทียบกับวิธีการดั้งเดิม แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการใช้งาน ลดต้นทุนแรงงาน ลดภาระงานที่เกิดจากกระบวนการจัดการข้อมูลด้วยมือ นอกจากนี้ยังสามารถต่อยอดไปสู่การจัดการเอกสารประเภทอื่น อาทิ ใบเสร็จค่าสาธารณูปโภค หรือการประยุคใช้กับเอกสารทางบัญชีได้ในอนาคต

ถึงแม้ผลการศึกษาจะแสดงผลลัพธ์ที่น่าพอใจ แต่ยังพบข้อจำกัดในการศึกษาได้แก่ คุณภาพเอกสารต้นฉบับเรื่องความคมชัด แสง และมุมของใบเสร็จ หากภาพเบลอหรือเอียงมากเกินไป ความแม่นยำของ OCR และ LLM จะลดลง ข้อจำกัดด้านภาษาและฟอนต์ของใบเสร็จรับเงิน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ด้วยความเอื้อเฟื้อในกระบวนการพัฒนาการสกัดข้อมูลจากภาพเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรู้จำอักขระด้วยแสงจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความเรียบร้อย

Aayush, N., Aayush, L., Ankit, P., & Amam S. (2025). Structured information extraction from Nepali scanned documents using layout transformer and LLMs. In K. Sarveswaran, A. Vaidya, B. Bal, S. Shams & S. Thapa (Eds.), *Proceedings of the First Workshop on Challenges in Processing South Asian Languages (CHIPSAL 2025)* (pp. 100–110). International Committee on Computational Linguistics.

Abdalla, M., Kasem, M. S., Mahmoud, M., Yagoub, B., Senussi, M. F., Abdallah, A., Kang, S. H., & Kang, H. S. (2025). ReceiptQA: A question-answering dataset for receipt understanding. *Mathematics, 13*(11), 1760. https://doi.org/10.3390/math13111760.

Anakpluek, N., Pasanta, W., Chantharasukha, L., Chokratansombat, P., Kanjanakaew, P., & Siriborvornratanakul, T. (2025). Improved tesseract optical character recognition performance on Thai document datasets. *Big Data Research, 39*, 100508. https://doi.org/10.1016/j.bdr.2025.100508

Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly, 37*(2), 471–482. https://ssrn.com/abstract=2742300

Chompunut, A., & Rajalida, L. (2024). Menu item extraction from Thai receipt images using deep learning and template-based information extraction. In H. Shen, S. C. Tan, X. Jiang, X. Li & R. Latip (Eds.), *Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology and Computer Communications (ITCC 2024)* (pp. 107-113). ACM.

Do, T., Tran, D. P., Vo, A., & Kim, D. (2025). Reference-Based post-OCR processing with LLM for precise diacritic text in historical document recognition. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 39*(27), 27951-27959. https://doi.org/10.1609/aaai.v39i27.35012

Google Cloud. (2025). *Vision AI: Image and visual AI tools*. https://cloud.google.com/vision

Kumar, S. (2024). Autonomous document processing in the business sector using artificial intelligence. *International Journal of Technoinformatics Engineering, 1*(2), 33-40. https://aimbell.com/wp-content/uploads/2025/08/6-IJTE.pdf

Lefferts, S., & Kozenieski, D. (2025). Preprocessing images to improve OCR & DarkShield results. IRI. https://www.iri.com/blog/data-protection/preprocessing-images-for-ocr-darkshield/

Mankiw, N. G. (2016). *Principles of economics* (8th ed.). Cengage Learning.

Marangon, J. D. (2025). *Google Cloud Vision API for image handling and OCR. Medium*. https://medium.com/@johnidouglasmarangon/google-cloud-vision-api-for-image-handling-and-ocr-a6763969a2e6

Martinez, J. (2025). *OCR preprocessing: How to improve your OCR extraction outcome*. https://www.docuclipper.com/blog/ocr-preprocessing/

Patil, S., & Yadav, S. (2025). Automated expense tracking with OCR. International Advanced Research Journal in Science, *Engineering and Technology (IARJSET), 12*(1), 209–212. https://iarjset.com/wp-content/uploads/2025/02/IARJSET.2025.12142.pdf

Ramsey, S. (2025). *Improving document content extraction with multi-modal LLM*. Storytell. https://web.storytell.ai/blog/improving-document-content-extraction-with-multi-modal-llm

Smith, R. (2007). An overview of the Tesseract OCR engine. In F. Bortolozzi and R. Sabourin (Eds.), *Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)* (pp. 629–633). The Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Thammarak, K., Kongkla, P., Sirisathitkul, Y., & Intakosum, S. (2022). Comparative analysis of Tesseract and Google Cloud Vision for Thai vehicle registration certificate. International *Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 12*(2), 1849–1858. https://doi.org/10.11591/ijece.v12i2.pp1849-1858

Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.

Yang, Y., Wu, Z., Yang, Y., Lian, S., Guo, F., & Wang, Z. (2022). A survey of information extraction based on deep learning. *Applied Sciences, 12*(19), 9691. http://doi.org/10.3390/app12199691

การศึกษาการใช้สารละลายลิเทียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ลดความชื้นในห้องปรับอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศ

A Study on the use of Lithium Chloride solution and Calcium Chloride solution to Dehumidify in Air-Conditioned Rooms to Reduce Energy Consumption in Air Conditioners

พิษณุพงศ์ พันธ์นราพงศ์[1]* และยิ่งยศ ลับภู[1]
Phitsanupong Punnarapong[1]* and Yingyote Lubphoo[1]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีท่ออุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[1]Department of Industrial Piping Technology, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
*Corresponding author: Phitsanupong.pu@rmuti.ac.th
Received: October 2, 2025
Revised: December 25, 2025
Accepted: January 5, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยได้ทำการศึกษาการใช้ สารละลาย LiCl และ สารละลาย $CaCl_2$ ดูดซับความชื้นจากอากาศ โดยสารละลายจะถูกบรรจุอยู่ในถังเก็บสารละลายด้านล่างของชุดลดความชื้นแบบใช้สารละลายโดยใช้ปั๊มทำให้เกิดการไหลเวียนของสารละลาย อุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกติดตั้งภายในห้องทดลอง ขนาด กว้าง 2 m ยาว 2 m สูง 2 m เพื่อลดภาระความร้อนจากความชื้นในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาดเล็ก ผนังห้องทำด้วยฉนวน โพลีสไตรีนแบบขยายตัว มีความหนา 0.2 m ทั้งนี้ในการวิจัยนี้ได้กำหนดระดับอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลอง 30°C 35°C และ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 80 และ 90 เพื่อใช้ในการทดลอง จากการศึกษาพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ระดับอุณหภูมิ 30°C มีค่าเท่ากับ 0.182-0.192 kWh ระดับอุณหภูมิ 35°C มีค่าเท่ากับ 0.208-0.255 kWh และระดับอุณหภูมิ 40°C มีค่าเท่ากับ 0.259-0.337 kWh อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารละลาย LiCl เป็นสารดูดซับความชื้น ที่ระดับอุณหภูมิ 30°C 35°C และ 40°C สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 0.002-0.020 kWh 0.011-0.042 kWh และ 0.040-0.082 kWh ตามลำดับ สารละลาย $CaCl_2$ เป็นสารดูดซับความชื้น ที่ระดับอุณหภูมิ 30°C 35°C และ 40°C สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 0.026-0.043 kWh -0.005-0.036 kWh และ 0.019-0.064 kWh ตามลำดับ จากการใช้สารละลาย LiCl กับสารละลาย $CaCl_2$ พบว่าสารละลาย LiCl ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากความชื้นได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 24.33 ในส่วนสารละลาย $CaCl_2$ ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 23.62 เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพด้านการประหยัดพลังงานระหว่างสารละลาย LiCl และสารละลาย $CaCl_2$ พบว่า ที่อุณหภูมิอากาศชื้นที่ 30°C สารละลาย $CaCl_2$ มีศักยภาพที่สูงกว่า ที่อุณหภูมิอากาศชื้นที่ 35°C สารละลายทั้งสองชนิดมีศักยภาพใกล้เคียงกัน และที่อุณหภูมิอากาศชื้นที่ 40°C สารละลาย LiCl มีศักยภาพที่สูงกว่า

คำสำคัญ: เครื่องปรับอากาศ การลดความชื้น ลดการใช้พลังงาน สารละลายดูดความชื้น

Abstract

This research investigated the use of Lithium Chloride (LiCl) and Calcium Chloride ($CaCl_2$) solutions as liquid desiccants for moisture absorption from air. The desiccant solution was stored in a reservoir located at the base of the liquid desiccant dehumidifier unit and circulated by a dedicated pump. The entire system was installed inside a test room measuring 2 m × 2 m × 2 m to reduce the latent heat load of a small-scale split-type air conditioning system. The experimental chamber was constructed with 0.2 m thick Expanded Polystyrene: EPS insulated walls. The test conditions were established as follows: indoor air temperatures were set at 30°C 35°C and 40°C, with corresponding relative humidity levels of 70% 80% and 90%. The results showed that the electrical energy consumption of the air conditioner without a desiccant system ranged from 0.182–0.192 kWh at 30°C 0.208–0.255 kWh at 35°C and 0.259–0.337 kWh at 40°C. When LiCl solution was used as the moisture absorbent, the electrical energy consumption of the air conditioner decreased by 0.020–0.020 kWh at 30°C, 0.011–0.042 kWh at 35°C, and 0.040–0.082 kWh at 40°C. Similarly, when $CaCl_2$ solution was applied, the energy consumption was reduced by 0.036–0.043 kWh at 30°C –0.005–0.036 kWh at 35°C, and 0.019–0.064 kWh at 40°C. The maximum reduction in electricity consumption achieved by the LiCl solution was 24%, while the $CaCl_2$ solution achieved a maximum reduction of 23.62%. In terms of comparative performance, $CaCl_2$ showed better energy-saving potential at 30°C, both solutions performed comparably at 35°C, and LiCl demonstrated superior performance at 40°C.

Keywords: air-condition, dehumidifier, energy save, liquid desiccant

บทนำ

ปัญหาด้านพลังงานในปัจจุบันนับได้ว่าเป็นปัญหาระดับต้นๆของโลกเนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ ในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนและเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิต ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเครื่องปรับอากาศ จากข้อมูลรายงานประจำปีของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่ง ประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand [EGAT], 2025) ทำให้ทราบว่า มากกว่าร้อยละ 50 ของพลังงานในครัวเรือนที่สูญเสียไปนั้นมาจากเครื่องปรับอากาศ การสำรวจข้อมูลสำนักงานสถิติแห่งชาติ (National Statistical Office: NSO) ในเรื่องการใช้จ่ายพลังงานของครัวเรือน (พ.ศ. 2566) พบว่า หนึ่งครัวเรือนมีเครื่องปรับอากาศโดยเฉลี่ย 1.7 เครื่องต่อครัวเรือน ถ้าอ้างอิงจากข้อมูลในปี 2558 ที่มี 5.1 ล้านครัวเรือน และมีอัตราการเติบโตที่สูงในช่วงที่ผ่านมา จากสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น และอัตราการครอบครองที่ 40% จากครัวเรือนทั้งหมดประมาณ 20-22 ล้านครัวเรือน คาดว่าจำนวนครัวเรือนที่มีเครื่องปรับอากาศในปัจจุบันอาจเพิ่มขึ้น ตัวเลขรวมจะอยู่ที่ประมาณ 13-15 ล้านเครื่อง หรืออาจมากกว่านั้น ข้อมูลจากกรมอุตุวิทยาพบว่า จากสภาพแวดล้อมในปัจจุบันมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉลี่ยประเทศไทยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นปีละ 1 °C กรมอุตุนิยมวิทยาได้แสดงสถิติของประเทศไทยไว้ว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดปีอยู่ที่ระดับ 72-74 % จากข้อมูลข้างต้น หากสามารถลดภาระความร้อนที่เกิดจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ (Nachaisin et al., 2023; Meteorological Department, 2024; Parakul & Jaitrong, 2025) ซึ่งในการลดความชื้นในอากาศสามารถกระทำได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งก็คือ การ

ใช้สารละลายที่มีคุณสมบัติในการดูดซับหรือดูดซึมไอน้ำ ทำให้ความชื้นในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว (Chen et al., 2024; Shivaprasad et al., 2025) สารเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม ตั้งแต่การถนอมอาหาร การขนส่งสินค้า การป้องกันความชื้น ในห้องคลีนรูมหรือในเครื่องลดความชื้นอุตสาหกรรมในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการลดความชื้นในอากาศด้วยสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) (Attia et al., 2018) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) (Bouzenada et al., 2016) ซึ่งเป็นสารประกอบเกลือที่มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้สูงมาก อย่างไรก็ดี LiCl และ $CaCl_2$ แบบผงที่มีความบริสุทธิ์สูงร้อยละ 98-99 มีราคาที่สูงมากโดยที่ LiCl มีราคาที่ประมาณ 7,000-8,000 บาทต่อกิโลกรัม และ $CaCl_2$ มีราคาที่ 800-1,200 บาทต่อกิโลกรัม แต่หากใช้สารเคมีดังกล่าวที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่าก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีได้ โดยที่ LiCl แบบผงความบริสุทธิ์ต่ำกว่าร้อยละ 91 สำหรับการใช้ในงานอุตสาหกรรมมีราคาอยู่ที่ 500-1,000 บาทต่อกิโลกรัม และ $CaCl_2$ แบบผง ความบริสุทธิ์ร้อยละ 74 สำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีราคาอยู่ที่ 50-100 บาทต่อกิโลกรัม ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหาข้อมูลเพื่อหาศักยภาพในการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้สารเคมีแบบผงที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่า 90% มาทำเป็นสารละลาย รวมถึงอัตราส่วนโดยมวลของปริมาณสารเคมีที่ใช้กับขนาดห้องที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาเป็นสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมที่ใช้ในการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ หรือพัฒนาส่วนผสมวัสดุที่แตกต่างจากสารในท้องตลาดให้เกิดการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับความชื้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการจัดการพลังงานในระบบปรับอากาศ การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะและการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์เป็นประโยชน์กับการประหยัดพลังงานในครัวเรือนหรือในองค์กรได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะได้ทำการศึกษาเพื่อหาศักยภาพของสารละลาย LiCl และ $CaCl_2$ ในการลดความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปรับอากาศที่ส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้สร้างห้องทดลองรูปร่างลูกบาศก์ โดยกำหนดให้มีขนาดภายในเท่ากับ กว้าง 2 m ยาว 2 m สูง 2 m จะได้ห้องที่มีปริมาตร 8 m3 และติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 2637.6 W เป็นเครื่องปรับอากาศแบบ FIX SPEED กับห้องทดลอง โดยผนังของห้องทดลอง ทำจากฉนวนกันความร้อน Expanded Polystyrene มีความหนาของผนัง 20 cm มีความหนาแน่น 16g/l ค่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) เท่ากับ 0.029 W/m-K ดังภาพ 1 (ก) ภายในห้องทดลองจะติดตั้งชุดลดความชื้น โดยที่สารละลายที่ใช้ดูดซับความชื้นจะบรรจุไว้ในถังเก็บด้านล่างของชุดลดความชื้น แสดงลักษณะของอุปกรณ์และวงจรการทำงานของเครื่องดังภาพ 2

ห้องทดลองมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิที่ผิวของผนังภายในและผนังภายนอกห้องทดลอง 5 ด้าน ยกเว้นพื้นห้องทดลอง และอุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง ตำแหน่งในการวัดตรงจุดกึ่งกลางของผนังในแต่ละด้าน โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ในการวัดอุณหภูมิ แสดงผลแบบตัวเลขมีความละเอียด 1 ตำแหน่ง มีความแม่นยำ ±0.5 °C ทำการวัดและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและส่งสัญญาณแบบไร้สายเพื่อบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณ ส่วนอากาศภายในห้องทดลองใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบแสดงผลเป็นตัวเลขความละเอียด 1 ตำแหน่ง มีความแม่นยำ ±0.5 °C และ ±3% RH บันทึกผลลงในหน่วยความจำของเครื่องโดยอัตโนมัติ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณ ตำแหน่งในการวัดคือจุดกึ่งกลางของห้องทดลอง ดังภาพ 1(จ) การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดลองจะเริ่มจากเปิดเครื่องปรับอากาศในห้องทดลองให้อุณหภูมิภายในห้องทดลองลดลงมาที่ 20 °C หากอากาศมีความชื้นสมพัทธ์สูง ความชื้นส่วนเกินจะถูกกลั่นตัวกลายเป็นน้ำที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศและถูกส่งออกจากห้องทดลองผ่านท่อน้ำทิ้งของเครื่องปรับอากาศ ใช้เวลาประมาณ 30 นาทีจึงหยุดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องทดลองโดยการเปิดการทำงานเครื่องสร้างภาระความร้อนสามาถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศได้โดยการเปิดการทำงานชุดสร้างความชื้นแบบ

ไอน้ำกรณีที่ต้องต้องการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไปพร้อมกัน หรือเปิดการทำงานชุดสร้างความชื้นแบบอัลตราโซนิคในกรณีไม่ต้องการให้อุณหภูมิภายในห้องทดลองเพิ่ม เมื่อได้อุณหภูมิและความชื้นตรงตามกำหนดจะหยุดการทำงานของอุปกรณ์ แสดงตำแหน่งของเครื่องเพิ่มภาระความร้อน ชุดสร้างความชื้นแบบไอน้ำ และชุดสร้างความชื้นแบบอัลตราโซนิค ภาพ 1 (ค ง1 และ ง2)

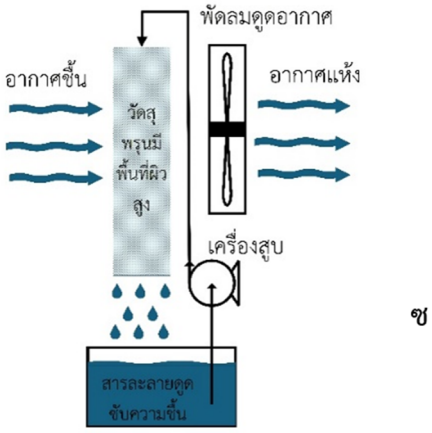
กำหนดการทดลองชุดที่ 1 เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กำหนดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเปิดโหมดทำความเย็น คือ 25°C (Swangphol et al., 2024) เพื่อการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้เครื่องวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแสดงผลเป็นตัวเลข ตัวเลขความละเอียด 1 ตำแหน่งมีความแม่นยำ ±0.1 W ย่านการวัดอยู่ในช่วง 0-2200 W กำหนดระดับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) ที่ทำการทดลอง 30°C 35°C และ 40°C กำหนดระดับความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ที่ทำการทดลอง 70% 80% และ 90% โดยมีจุดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังภาพ 1 (จ) รวมเป็น 9 แบบการทดลอง แสดงสภาวะในการทดลองและชื่อแบบการทดลองเพื่อใช้ในการอ้างอิงผลการทดลองแสดงไว้ในตาราง 1 การทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมเป็นการทดลองชุดที่ 1 จำนวน 27 การทดลอง

กำหนดการทดลองชุดที่ 2 และ 3 จะเริ่มจากเปิดเครื่องดูดซับความชื้นที่ใช้สารละลาย LiCl โดยมีความเข้มข้นโดยมวลเท่ากับ 0.6 เป็นการทดลองชุดที่ 2 และเปิดเครื่องดูดความชื้นใช้สารละลาย $CaCl_2$ โดยมีความเข้มข้นโดยมวลเท่ากับ 0.6 เป็นการทดลองชุดที่ 3 การใช้ความเข้มข้นโดยมวลนี้อ้างอิงจาก Aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: – Property formulations for use in air conditioning equipment design (Conde, 2004) แต่ละชุดการทดลองให้สารละลายดูดซับความชื้นสัมพัทธ์จากอากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศหลังจากที่ถูกดูดซับความชื้นสัมพัทธ์ไปแล้ว รวมเป็นการทดลองชุดที่ 2 และ 3 รวมการทดลองจำนวน 54 การทดลอง



ภาพ 1 ห้องทดลองการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ (ก) ชุดลดความชื้น (ข) เครื่องปรับอากาศ (ค) ชุดสร้างภาระความร้อน (ง 1) ชุดสร้างความชื้นแบบไอน้ำ (ง 2) ชุดสร้างความชื้นแบบอัลตราโซนิค (จ) ชุดวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดลอง





ภาพ 2 เครื่องดูดซับความชื้นแบบใช้สารละลาย (ฉ) ถังเก็บสารละลายที่ใช้ทดลองมีปริมาตรในการบรรจุสารละลายได้สูงสุด 10 ลิตร (ช) การไหลเวียนของสารละลายที่เกิดขึ้นในเครื่องดูดซับความชื้น (ซ) วงจรการทำงานของเครื่อง

การทดลองชุดที่ 1-3 ได้คำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของอากาศชื้นภายในห้องทดลองก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศ (Q_1) และหลังเปิดเครื่องปรับอากาศไปแล้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Q_2) สามารถหาได้จากการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องทดลอง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาค่าเอนทัลปี (h) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (v) จาก Psychrometric Chart แสดงดังภาพ 3 สามารถคำนวณค่าพลังงานความร้อนได้ดังสมการที่ 1

$$Q_{1,2} = \frac{h}{v} \times V \qquad (1)$$

โดยที่ $Q_{1,2}$ คือ ค่าพลังงานความร้อนของอากาศชื้นภายในห้องทดลอง (กิโลจูล)

h คือ เอนทัลปี (กิโลจูลต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

v คือ ปริมาตรจำเพาะ (ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

V คือ ปริมาตรของห้องทดลอง (ลูกบาศก์เมตร)

ภาระความร้อนของอากาศชื้นที่เกิดขึ้นได้ในเวลา 1 ชั่วโมง (Q_{air}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$Q_{air} = -(h_1 - h_2) \qquad (2)$$

โดยที่ Q_{air} คือ ค่าภาระความร้อนของอากาศชื้นภายในห้องทดลอง (กิโลจูล)

เพื่อที่จะทราบภาระความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในห้องทดลอง (Q_L) จะต้องทราบค่าภาระความร้อนที่เกิดจากอากาศชื้น (Q_{air}) และภาระความร้อนจากการนำความร้อน (Q_{con}) ที่ผ่านผนังห้องเข้ามาภายในห้องทดลองทั้ง 5 ด้าน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$Q_L = Q_{air} + \sum Q_{con} \qquad (3)$$

โดยที่ Q_L คือ ค่าภาระความร้อนรวมภายในห้องทดลอง (กิโลจูล)

Q_{con} คือ ค่าภาระความร้อนของการนำความร้อนจากภายนอกห้องทดลองของผนังทั้ง 5 ด้านในเวลา 1 ชั่วโมง (กิโลจูล)

การคำนวณหาค่าภาระความร้อนจากการนำความร้อน (Q_{con}) ได้จากการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องทดลอง อุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอกและภายในห้องทดลอง ทั้ง 5 ด้าน ยกเว้นพื้นห้อง และอุณหภูมิอากาศและความชื้นภายในห้องทดลอง ทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ยหาค่าเพื่อใช้ในการคำนวณ ตำแหน่งของการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังภาพ 4 หลักการคำนวณและค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

อ้างอิงจาก (Çengel & Ghajar, 2015) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4) และค่าความต้านทานความร้อนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (5)

$$Q_{con} = \frac{A\left(T_{out} - T_{in}\right) \times 3600s}{R_{total}} \quad (4)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่ผิวของผนังในแต่ละด้าน (ตารางเมตร)

$T_{out,in}$ คือ อุณหภูมิของอากาศภายนอกและภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)

$T_{1,2}$ คือ อุณหภูมิที่ผิวของผนังภายนอกและภายในของห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)

R_{total} คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม (องศาเซลเซียส-ตารางเมตรต่อวัตต์)

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (5)$$

โดยที่ R_1 คือ ความต้านทานจากการพาความร้อนภายนอกห้องทดลอง (องศาเซลเซียส-ตารางเมตรต่อวัตต์)

R_2 คือ ความต้านทานจากการนำความร้อนของผนังห้องทดลอง (องศาเซลเซียส-ตารางเมตรต่อวัตต์)

R_3 คือ ความต้านทานจากการพาความร้อนภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส ตารางเมตรต่อวัตต์)

ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากภาระที่เกิดขึ้นทั้งหมด (P_{cons}) ได้จากเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากอากาศชื้น (P_{air}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6)

$$P_{air} = P_{cons} \frac{Q_{air}}{Q_L} \quad (6)$$

โดยที่ P_{cons} คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดขึ้นจากภาระทั้งหมด (วัตต์-ชั่วโมง)

P_{air} คือ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากอากาศชื้น (วัตต์-ชั่วโมง)

จากนั้นนำค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ไม่ใช้สารดูดซับความชื้นมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ร่วมกับการใช้สารละลายดูดซับความชื้นทั้งสองชนิดเป็นค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (P_{save}) ดังสมการที่ (7)

$$P_{save} = P_{cons} - P_{air} \quad (7)$$

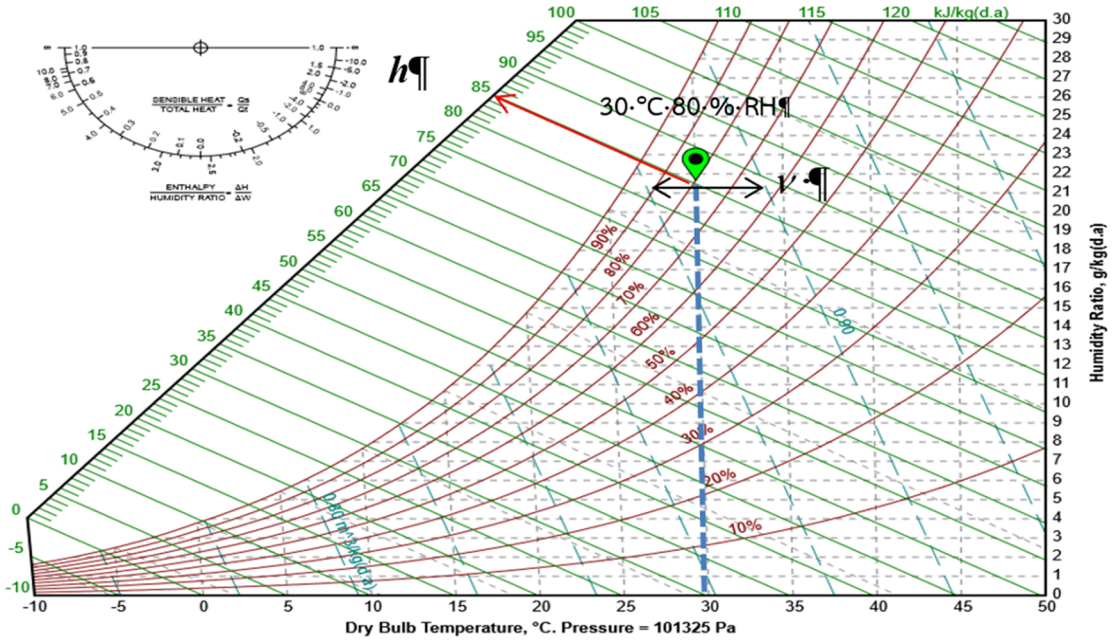
โดยที่ P_{save} คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (วัตต์-ชั่วโมง)

ตาราง 1

แสดงสภาวะในห้องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นและกำหนดชื่อแบบการทดลอง

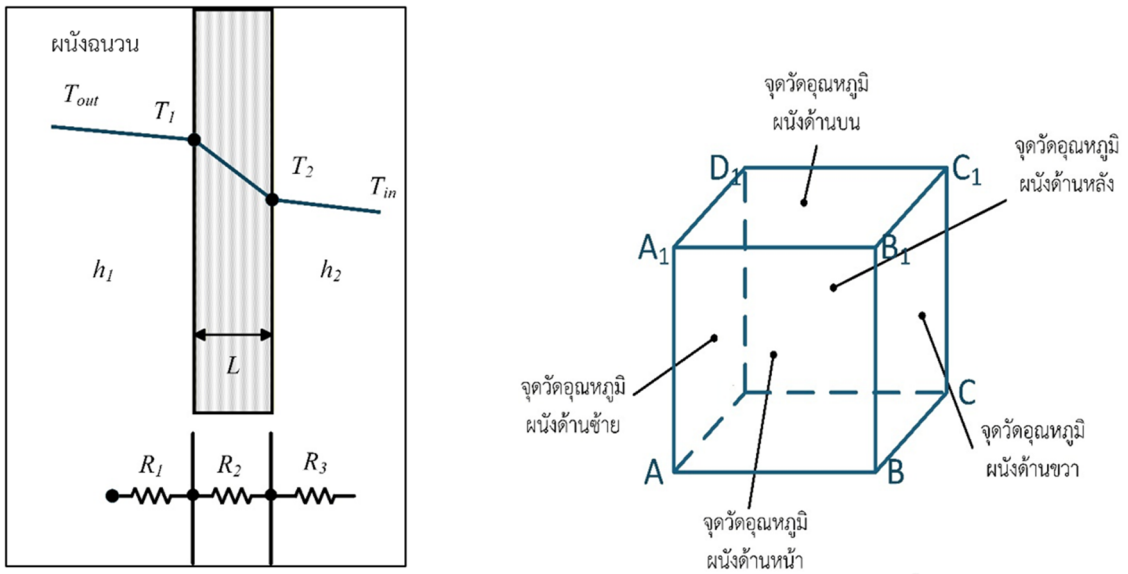
อุณหภูมิ/ความชื้นสัมพัทธ์	70% RH	80% RH	90% RH
30°C DB	30°C DB, 70% RH แบบที่1	30°C DB, 80% RH แบบที่2	30°C DB, 90% RH แบบที่3
35°C DB	35°C DB, 70% RH แบบที่4	35°C DB, 80% RH แบบที่5	35°C DB, 90% RH แบบที่6
40°C DB	40°C DB, 70% RH แบบที่7	40°C DB, 80% RH แบบที่8	40°C DB, 90% RH แบบที่9

หมายเหตุ: ทำการทดลอง 3 ชุด แต่ละชุดมี 9 รูปแบบ แต่ละรูปแบบทำซ้ำ 3 ครั้ง รวม 81 การทดลอง



ภาพ 3 ตัวอย่างการหาค่าพลังงานเอลเอนทัลปี (h) ในอากาศชื้นและค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศ (ν) จาก Psychrometric Chart

Note. From "*About Psychrometric Chart + Duct Calculator*" by FlyCarpet Inc., 2024 (https://www.flycarpet.net/en/psychart). Copyright 2024 by FlyCarpet Inc.

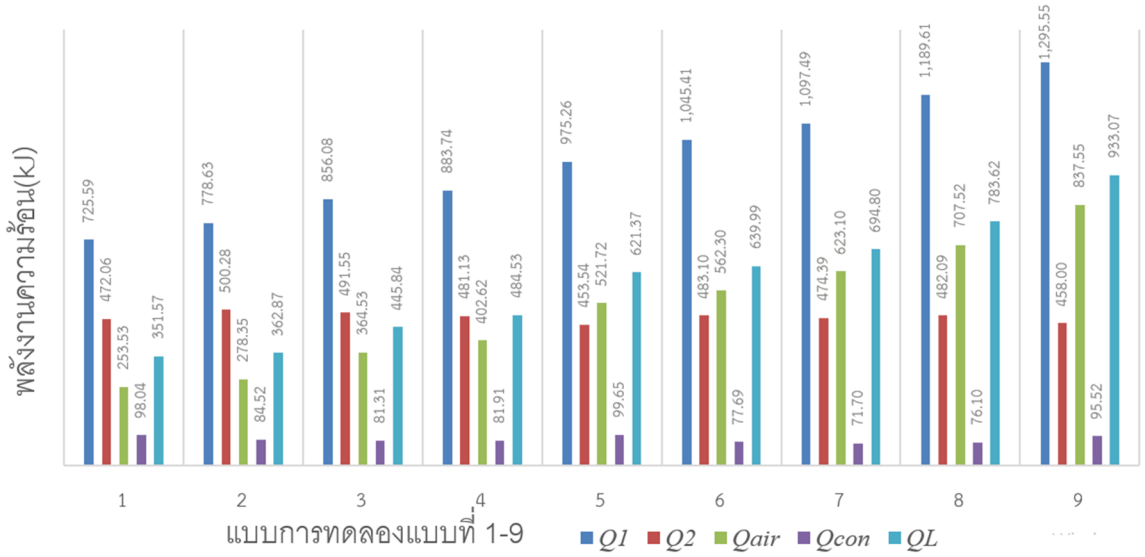


ภาพ 4 การนำความร้อนผ่านผนังห้องเข้ามาในห้องทดลองและตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สรุปผลการทดลองชุดที่ 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว จากภาพ 5 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิที่สูงและความร้อนสูงขึ้นก็มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_1) เพิ่มมากขึ้นเป็นตามทฤษฎี มีค่าอยู่ในช่วง 725.59-1295.55 kJ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วมีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_2) มีค่าพลังงานความร้อนใกล้เคียงกันเพราะได้กำหนดค่าอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศไว้ให้เท่ากัน มีค่าอยู่ในช่วง 453.54-500.28 kJ ในส่วนปริมาณความร้อนภายนอกห้องอากาศที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้ามาภายในห้องปรับอากาศ (Q_{con}) มีค่าอยู่ในช่วง 71.70-98.04 kJ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศ

ภายนอกห้องปรับอากาศ ดังนั้นภาระความร้อนของอากาศชื้นในห้องทดลอง (Q_{air}) มีค่าอยู่ในช่วง 253.53-837.55 kJ คิดเป็น ร้อยละ 72.03-89.76 โดยมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 233-375 W-h หากคิดเป็นอัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเฉพาะส่วนของอากาศชื้นในห้องทดลองมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 182 -337 W-h ดังตาราง 2



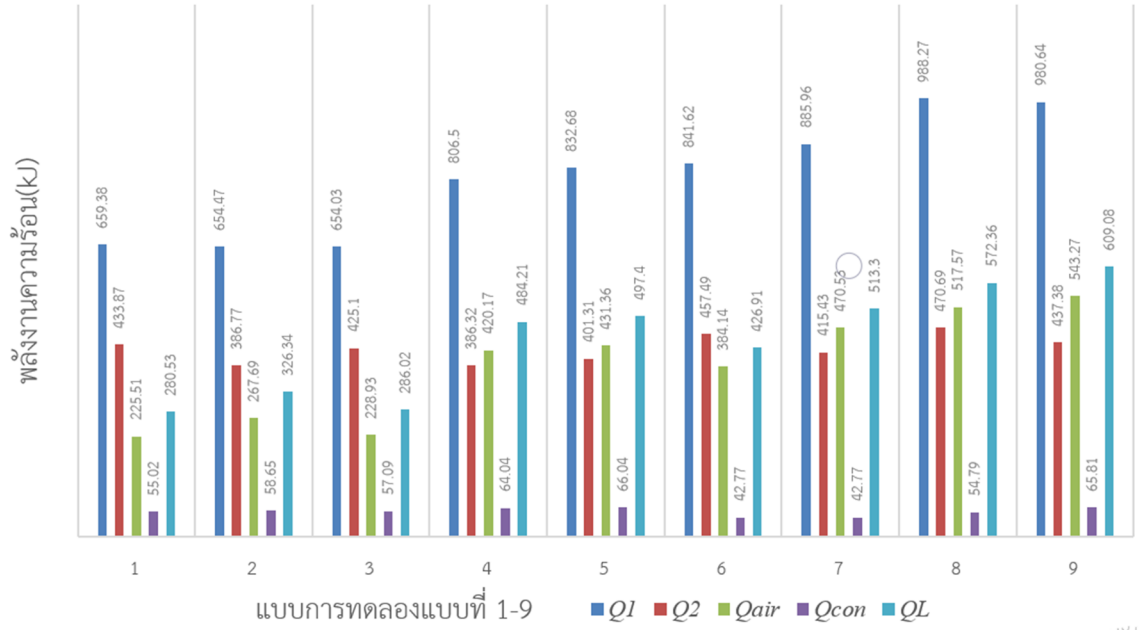
ภาพ 5 ปริมาณพลังงานความร้อนของอากาศชื้นและภาระความร้อนของการทดลองชุดที่ 1

ตาราง 2

ตารางปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการทดลองชุดที่ 1

อุณหภูมิ DB °C	ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับภาระทั้งหมด W-h	ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับอากาศชื้น W-h	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับอากาศชื้น W-h
30	70	244	72.03	189
	80	304	76.69	182
	90	278	81.52	192
35	70	244	83.05	208
	80	304	83.96	255
	90	278	87.87	250
40	70	282	89.69	259
	80	307	90.28	283
	90	375	89.76	337

สรุปผลการทดลองชุดที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องปรับอากาศหลังจากที่ดูดซับความชื้นด้วยสารละลาย LiCl จากภาพ 6 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิที่สูงและความร้อนสูงขึ้นก็มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_1) เพิ่มมากขึ้นเป็นตามทฤษฎีมีค่าอยู่ในช่วง 659.38-980.64 kJ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_2) มีค่าพลังงานความร้อน ใกล้เคียงกันเพราะสารละลายได้ดูดซับความชื้นออกจนสารละลายไม่สามารถชนะแรงดันของไอน้ำในอากาศได้แล้ว (Kumar et al., 2022) มีค่าอยู่ในช่วง 386.32-470.69 kJ ในส่วนปริมาณความร้อนภายนอกห้องปรับอากาศที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้ามาภายในห้องปรับอากาศ (Q_{con}) มีค่าอยู่ในช่วง 42.77-66.04 kJ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ ดังนั้นภาระความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นก็จะเป็นภาระความร้อนของอากาศชื้นในห้องทดลอง (Q_{air}) มีค่าอยู่ในช่วง 225.51-543.27 kJ คิดเป็นร้อยละ 79.56-91.87 โดยมีการค่าใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 189-337 W-h หากคิดเป็นอัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเฉพาะส่วนของอากาศชื้นในห้องทดลองมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 169-255 W-h ในการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ไม่ใช้สารละลาย LiCl กับเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารละลาย LiCl ในการดูดซับความชื้น เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศมาเปรียบเทียบในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตาราง 4 การดูดซับความชื้นโดยใช้สารละลาย LiCl อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (P_{save}) อยู่ในช่วง 2-82 W-h



ภาพ 6 ปริมาณพลังงานความร้อนของอากาศชื้นและภาระความร้อนของการทดลองชุดที่ 2

ตาราง 3

ตารางปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการทดลองชุดที่ 2

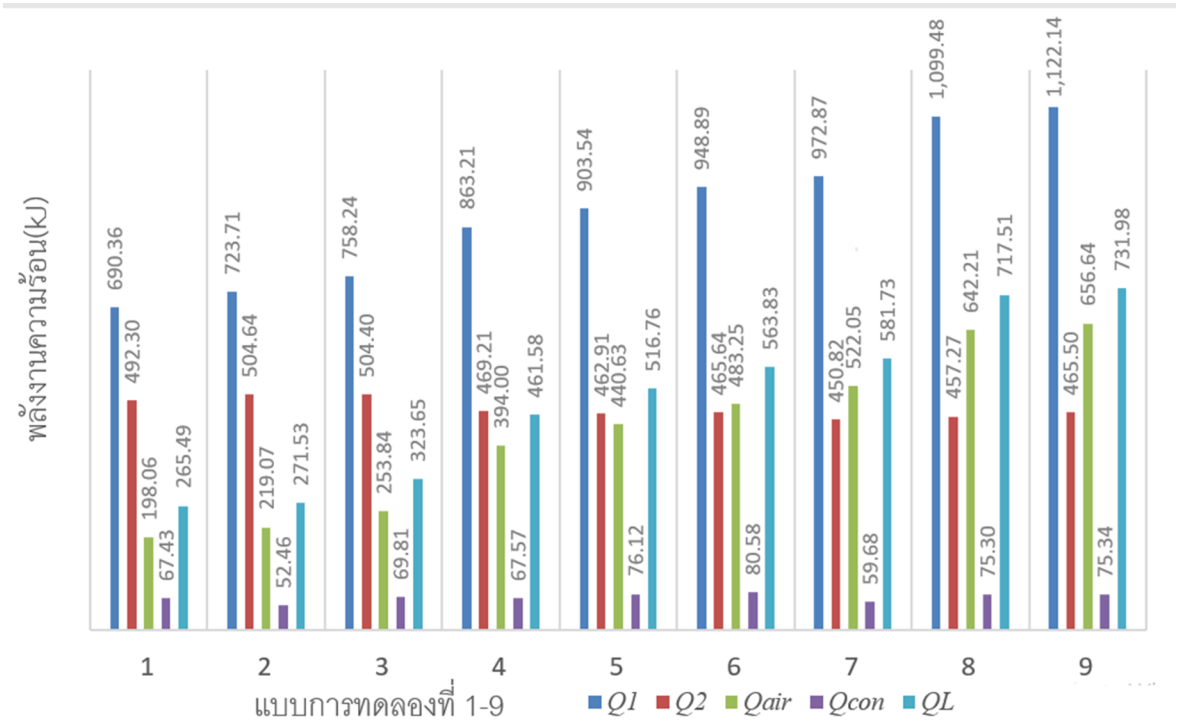
อุณหภูมิ DB °C	ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับภาระทั้งหมด W-h	ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับอากาศชื้น W-h	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับอากาศชื้น W-h
	70	212	79.69	169
30	80	220	82.00	180
	90	217	79.56	173
	70	244	83.05	197
35	80	304	83.96	213
	90	278	87.87	239
	70	282	89.69	238
40	80	307	90.28	243
	90	375	89.76	255

ตาราง 4

ตารางเปรียบเทียบการปริมาณการใช้ไฟฟ้าการทดลองชุดที่ 1 และการทดลองชุดที่ 2

อุณหภูมิ DB °C	RH %	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว W-h	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเปิดเครื่องดูดความชื้น W-h	ผลต่างด้านพลังงาน W-h	ผลต่างด้านพลังงานเป็นร้อยละ
	70	189	169	20	10.58
30	80	182	180	2	1.10
	90	192	173	19	9.90
	70	208	197	11	5.29
35	80	255	213	42	16.47
	90	255	239	16	6.27
	70	290	238	52	17.93
40	80	283	243	40	14.13
	90	337	255	82	24.33

สรุปผลการทดลองชุดที่ 3 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องปรับอากาศหลังจากที่ดูดซับความชื้นด้วยสารละลาย $CaCl_2$ จากภาพ 7 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิที่สูงและความร้อนสูงขึ้นก็มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_1) เพิ่มมากขึ้นเป็นไปตามทฤษฎีมีค่าอยู่ในช่วง 690.36-1122.14 kJ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว มีปริมาณความร้อนในอากาศชื้น (Q_2) ใกล้เคียงกันเพราะสารละลายได้ดูดซับความชื้นออกจนสารละลายไม่สามารถชนะแรงดันของไอน้ำในอากาศได้แล้ว (Kumar et al., 2022) มีค่าอยู่ในช่วง 450.82-504.64 kJ ในส่วนปริมาณความร้อนภายนอกห้องที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้ามาภายในห้องปรับอากาศ (Q_{con}) มีค่าอยู่ในช่วง 52.46-80.58 kJ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ ดังนั้นภาระความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นก็จะเป็นภาระความร้อนของอากาศชื้นในห้องทดลอง (Q_{air}) มีค่าอยู่ในช่วง 198.06-656.64 kJ คิดเป็นร้อยละ 74.59-89.69 โดยมีการค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ มีค่าการใช้อยู่ในช่วง 172-305 W-h หากคิดเป็นอัตราส่วนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเฉพาะส่วนของอากาศชื้นในห้องทดลองมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 139-273 W-h ดังตาราง 5 ในการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ไม่ใช้สารละลาย $CaCl_2$ กับเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารละลาย $CaCl_2$ ในการดูดซับความชื้น เพื่อการศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ มาเปรียบเทียบในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า การดูดซับความชื้นโดยใช้สารละลาย $CaCl_2$ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้สูงสุดเท่ากับ (P_{save}) 64 W-h ซึ่งผลการเปรียบเทียบ ดังตาราง 6



ภาพ 7 กราฟแสดงปริมาณพลังงานความร้อนของอากาศชื้นและภาระความร้อนของการทดลองชุดที่ 3

ตาราง 5

ตารางปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการทดลองชุดที่ 3

อุณหภูมิ DB °C	ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับภาระทั้งหมด W-h	ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับอากาศชื้น W-h	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับอากาศชื้น W-h
	70	219	74.59	163
30	80	172	80.56	139
	90	211	78.11	165
	70	250	85.33	213
35	80	260	85.28	219
	90	282	85.66	241
	70	263	89.75	239
40	80	295	89.51	264
	90	305	89.69	273

ตาราง 6

ตารางเปรียบเทียบการปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการทดลองชุดที่ 1 และการทดลองชุดที่ 3

อุณหภูมิ DB °C	RH %	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว W-h	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเปิดเครื่องดูดความชื้น W-h	ผลต่างด้านพลังงาน W-h	ผลต่างด้านพลังงานเป็นร้อยละ
	70	189	163	26	13.76
30	80	182	139	43	23.63
	90	192	165	27	14.06
	70	208	213	-5	-2.40
35	80	255	219	36	14.12
	90	255	241	14	5.49
	70	290	239	51	17.59
40	80	283	264	19	6.71
	90	337	273	64	18.99

สรุปผลการวิจัย

จากการใช้สารละลายดูดซับความชื้นในอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ ที่ระดับอุณหภูมิ 30 °C DB จากการใช้สารละลาย LiCl เป็นตัวดูดซับความชื้นในอากาศ เปรียบเทียบกับการใช้สารละลาย $CaCl_2$ พบว่า การใช้สารละลาย $CaCl_2$ มีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่า LiCl สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 23.63 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ที่ระดับอุณหภูมิ 35 °C DB เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้สารละลาย LiCl กับสารละลาย $CaCl_2$ พบว่า สารละลายทั้งสองชนิดมีศักยภาพใกล้เคียงกัน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 16.47และ 14.11 ตามลำดับ และพบว่า $CaCl_2$ ไม่เหมาะสมที่ใช้กับความชื้นสัมพัทธ์ที่ ต่ำกว่าร้อยละ 70 ที่ระดับอุณหภูมิ 40 °C DB เปรียบเทียบกับการใช้สารละลาย LiCl กับสารละลาย $CaCl_2$ พบว่า สารละลาย LiCl มีศักยภาพในการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่า $CaCl_2$ ที่ทุกระดับความชื้นสัมพัทธ์ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 24.33 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อย 90

ผลการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องกับพฤติกรรมของสารละลายที่แสดงในแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มโดยมวลของสารละลาย กับอุณหภูมิการใช้งานของสารละลายของ Aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: – Property formulations for use in air conditioning equipment design (Conde, 2004) ซึ่งในการทดลองได้เตรียมสารละลายทั้งสองชนิดให้มีความเข้มข้นโดยมวลเท่ากับ 0.6 ซึ่งเพียงพอให้สารละลายสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ จากแผนภาพการใช้งานสารละลาย LiCl ที่อุณหภูมิ 30 และ 35 °C DB ต้องการความเข้มข้นโดยมวลของสารละลายที่ 0.46 และ 0.47 ตามลำดับ ส่วน $CaCl_2$ ต้องการความเข้มข้นโดยมวลของสารละลายที่ 0.51 และ 0.52 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความต้องการความเข้มข้นของสารละลายเพื่อดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิ 30 และ 35 °C DB ของสารละลายทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ทำให้ศักยภาพในการดูดซับความชื้นจากอากาศใกล้เคียงกันส่งผลให้ความสามารถในการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 40°C DB สารละลาย LiCl ต้องการความเข้มข้นโดยมวลของสารละลายที่ 0.48 ส่วนสารละลาย $CaCl_2$ ต้องการความเข้มข้นโดยมวลของสารละลายที่ 0.56 ซึ่งมีความแตกต่างกันมาก ทำให้ที่อุณหภูมิที่ 40 °C DB สารละลาย LiCl สมารถดูดซับความชื้นได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ดีที่ช่วงอุณหภูมิ 30-40°C สารละลายทั้งสองชนิดสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศได้เป็นอย่างดี

ในการเลือกใช้สารละลายเพื่อดูดซับความชื้น หากพิจารณาถึงความคุ้มค่า สารละลาย $CaCl_2$ มีความเหมาะสม เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่า สารละลาย LiCl ประมาณ 5-10 เท่า จากข้อมูลส่วนอื่นที่ได้จากห้องทดลองของอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงพบว่า หากเปิดเครื่องปรับอากาศแล้วความชื้นในอากาศจะกลั่นตัวเป็นของเหลวที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศภายในเวลา 10-20 นาทีโดยสังเกตจากมีน้ำไหลออกจากท่อน้ำทิ้งของเครื่องปรับอากาศ แต่ในส่วนของการใช้การลดความชื้นที่ถูกดูดซับจากสารละลายนั้นต้องใช้เวลาอย่างน้อย 30 นาทีจึงจะสามารถลดความชื้นในอากาศได้ โดยสังเกตจากกราฟความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนั้นหากเปิดเครื่องปรับอากาศพร้อมกับเครื่องดูดซับความชื้นจะไม่เกิดการลดการใช้พลังงานในการดูดซับความชื้นเพราะความชื้นในอากาศก็จะถูกกลั่นตัวเป็นของเหลวออกไปก่อนที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจึงเป็นข้อจำกัดการใช้งานของเครื่องดูดซับความชื้นที่จะต้องดูดซับความชื้นก่อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศ

การพัฒนาชุดทดลองการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ชุดดูดซับความชื้นโดยใช้สารละลาย LiCl และสารละลาย $CaCl_2$ เป็นตัวดูดซับ ยังมีข้อจำกัดในการทดลองอยู่หลายประการ เช่น ยังไม่มีระบบคืนสภาพสารละลายต้องใช้วิธีระเหยน้ำด้วยความร้อนเพื่อคืนสภาพสารละลาย ยังไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับความชื้นจากอากาศ ดังนั้นควรมีการทดลองเพิ่ม เพื่อเห็นผลในการประหยัดพลังงานชัดเจนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับสาร $CaCl_2$ บริสุทธิ์ร้อยละ 74 และยังไม่ได้ทำการทดลองกับสารละลาย $CaCl_2$ ที่มีความบริสุทธิ์ที่สูงกว่า และจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพียงสารละลาย LiCl และ $CaCl_2$ และยังไม่ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับสารละลายชนิดอื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทางการเงินจาก ทุนวิจัยพื้นฐาน (fundamental fund) ประจำปี 2567 หมายเลขทุน FF67/P1-094 จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) โดยมี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) เป็นผู้บริหารจัดการ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีท่ออุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นสำหรับงานวิจัยนี้ระบุถึงแหล่งทุนสนับสนุนการวิจัยและความช่วยเหลือที่ได้รับ

References

Attia, A., A. Teamah, M., M. El-Maghlany, W., & El-Saharty, A. E. (2018). Theory and applications. In Z. Saghir (Ed.), *ICTEA: International Conference on Thermal Engineering* (pp. 1–4). Toronto Metropolitan University.

Bouzenada, S., Kaabi, A. N., Frainkin, L., Salmon, T., & Léonard, A. (2016). Experimental comparative study on lithium chloride and calcium chloride desiccants. *Procedia Computer Science, 83*, 718–725. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.162

Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals & applications*. McGraw-Hill Education.

Chen, X., Riffat, S., Bai, H., Zheng, X., & Reay, D. (2020). Recent progress in liquid desiccant dehumidification and air-conditioning: A review, *Energy and Built Environment, 1*(1), 106–130. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2019.09.001

Conde, M. R. (2004). Properties of aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: formulations for use in air conditioning equipment design. *International Journal of Thermal Sciences, 43*(4), 367–382. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2003.09.003

FlyCarpet Inc. (2024). *About Psychrometric Chart + Duct Calculator*. https://www.flycarpet.net/en/psychart

Electricity Generating Authority of Thailand [EGAT]. (2025). *Annual report 2024* [In Thai]. https://www.egat.co.th/home/wp-content/uploads/2025/04/EGAT-AR_TH_2024_250411.pdf

Kumar, K., Singh, A., Shaik, S., Saleel, C. A., Aabid, A., & Baig. M. (2022). Comparative analysis on dehumidification performance of KCOOH–LiCl Hybrid Liquid desiccant air-conditioning system: An Energy-Saving Approach. *Sustainability, 14*(6), 3441. https://doi.org/10.3390/su14063441

Nachaisin, W., Niyomsin, S., Kerdlap, P., & Pongpakpian, S. (2023). Design of a rotary dehumidifier [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(2), 234–243. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/262217

Meteorological Department. (2024). *Thailand weather* [In Thai]. https://www.tmd.go.th/info/ภูมิอากาศของประเทศไทย-หน้า-2

Parakul, S., & Jaitrong, K. (2025). The development of a temperature and humidity control system in a split-type ceiling-suspended air conditioner to optimize energy usage in classrooms at Siam Technology College [In Thai]. *Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College, 12*(1), 72–80. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JEET/article/view/262052

Shivaprasad, K. V., Roy, S., Giampieri, A., Smallbone, A., & Roskilly, A. P. (2025). Experimental and numerical investigation to optimise liquid desiccant system for advanced air conditioning. *Scientific Reports, 15*(1), 7151. https://doi.org/10.1038/s41598-025-88738-2

Swangphol, N., Bunyarittikit, S., Thipyophas, C., & Khwansuwan, P. (2024). Suitable tools for thermal comfort evaluationin air-conditioned exercise facilities [In Thai]. *Sarasatr: Journal of Architecture and Design, 7*(3), 622–635. https://so05.tci-thaijo.org/index.php/sarasatr/article/view/272300/183879.

The National Statistical Office [NSO]. (2025). *NSO data catalog* [In Thai]. https://catalog.nso.go.th/dataset?groups=os-13

การออกแบบและพัฒนาเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง
Design and Development of Echocardiogram Bed

ธนพล ศรเดช[1] ทรงกลด ตันศิริ[1]* นิตยา ศิริวัน[1] และกัลยา อุบลทิพย์[2]
Thanapon Sorndach[1], Songklod Tunsiri[1], Nittaya Siriwan[1] and Kanlaya Ubontip[2]
[1]ภาควิชาเทคโนโลยี วิทยาลัยพัฒนาชุมชนเมือง มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช
[1]Department of Technology, Urban Community Development College, Navamindradhiraj University
[2]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
*Corresponding author: songklod.tun@nmu.ac.th
Received: October 6, 2025
Revised: November 17, 2025
Accepted: November 24, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเตียงสำหรับตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง หรือเอคโค่ (Echocardiogram) ซึ่งเป็นการตรวจการทำงานของหัวใจ เช่น ขนาดและรูปร่างของหัวใจ การบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ การไหลเวียนเลือดในหัวใจ และการทำงานของลิ้นหัวใจ โดยรวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกิดจากการใช้งาน และความต้องการของผู้ปฏิบัติงานมาประยุกต์ใช้กระบวนการการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ในการกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงต้นแบบ ซึ่งเตียงที่พัฒนาขึ้นนี้มีขนาดมิติโดยรวมอยู่ที่ กว้าง 850 x ยาว 2000 x สูง 770 มิลลิเมตร รับน้ำหนักได้ 300 กิโลกรัม ปรับระดับความสูงต่ำได้ ปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง และปรับเลื่อนเบาะพนักพิงหลังได้ มีส่วนประกอบสำคัญทั้งหมด 6 ส่วน คือ ชุดโครงฐานเตียง ชุดกลไกแขนโยก ชุดส่งกำลังปรับตั้งพนักพิงหลัง ชุดส่งกำลังเลื่อนเบาะพนักพิงหลัง ชุดส่งกำลังปรับยกระดับความสูง และชุดควบคุม ผลการดำเนินงานที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของวัสดุโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (FEA) พบว่า ทุกชิ้นส่วนที่ออกแบบ เมื่อได้รับภาระแล้วเกิดความเค้นที่เหมาะสม ส่งผลทำให้ค่าความปลอดภัย (safety factor) ในทุกชิ้นส่วนที่พิจารณามีค่า 2-3 แสดงให้เห็นว่าทุกชิ้นส่วนรับภาระได้จริง ผลจากการทดลองใช้งานจริงพบว่า เตียงปรับระดับความสูงต่ำ โดยปรับระดับต่ำสุดได้ที่ 770 มิลลิเมตร สูงสุด 900 มิลลิเมตร การทดสอบเตียงสามารถปรับตั้งพนักพิงหลังได้จริง เบาะสามารถเลื่อนปรับได้เพื่อหลบขาของผู้ปฏิบัติงาน และหลบเครื่องมือทางการแพทย์เพื่อตรวจบริเวณหัวใจได้ตามความต้องการ สรุปได้ว่า เตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การออกแบบและพัฒนา เตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ไฟไนต์อิลิเมนต์ กระบวนการการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

Abstract

This research aimed to design and develop an examination bed for echocardiography, a diagnostic procedure used to evaluate cardiac function, including heart size and morphology, myocardial contraction, intracardiac blood flow, and valve performance. Operational problems and user requirements were systematically collected and subsequently applied through the Quality Function Deployment: QFD process to define the technical specifications of the prototype echocardiography bed. The developed bed has overall dimensions of 850 × 2000 × 770 mm and a maximum load capacity of 300 kg. It features adjustable height, an adjustable backrest angle, and a sliding backrest cushion. The bed consists of six main components: a wheeled base frame, a crank arm mechanism, a backrest adjustment transmission system, a sliding backrest transmission system, a height adjustment transmission system, and a control unit. Structural integrity was evaluated using Finite Element Analysis: FEA. The results indicated that all designed components experienced acceptable stress levels under the specified loading conditions. The calculated Safety Factor: SF for each component ranged from 2 to 3, confirming adequate load-bearing capacity. Functional testing demonstrated that the bed height can be adjusted from 770 mm to 900 mm. The backrest angle adjustment operated effectively, and the sliding cushion mechanism provided sufficient clearance for medical personnel and equipment, thereby facilitating improved access to the patient's cardiac region during examination. In conclusion, the developed echocardiography examination bed performs effectively and fulfills the established design objectives.

Keywords: design and development, echocardiogram bed, Finite Element Analysis (FEA), Quality Function Deployment (QFD)

บทนำ

โรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular disease) เป็นกลุ่มโรคที่เกิดจากความผิดปกติของหัวใจและหลอดเลือด และเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตอันดับต้น ๆ ของโลก องค์การอนามัยโลกพบผู้เสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด ประมาณ 19.8 ล้านคน ทั่วทั้งโลกในปี พ.ศ. 2565 คิดเป็นร้อยละ 32 ของผู้เสียชีวิตทั่วโลก (World Health Organization, 2025) ซึ่งในประเทศไทยข้อมูลในปี พ.ศ. 2565 พบการเสียชีวิตของคนไทยด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือดมากถึง 70,000 ราย เฉลี่ย 8 คนต่อชั่วโมง และคาดการณ์ว่า จะมีแนวโน้มสูงเพิ่มขึ้นในทุกปี (Bureau of Risk Communication and Health Behavior Development, 2023) มีงานวิจัยคาดการณ์ว่าในปี 2050 จะมีผู้เสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือดถึงกว่า 5.6 ล้านคน ทั่วทั้งโลก (Chong et al., 2025)

ในปัจจุบันการตรวจวินิจฉัยโรคหัวใจและหลอดเลือดมีการใช้เทคนิคการตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (echocardiogram) หรือเอคโค่ (Echo) คือ การตรวจวัดดูการทำงานของหัวใจ เช่น ลักษณะโครงสร้างของหัวใจ การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ ขนาดของห้องหัวใจ การทำงานของลิ้นหัวใจ การไหลเวียนเลือดในหัวใจ ตำแหน่งของหลอดเลือดต่าง ๆ ที่เข้าและออกจากหัวใจ โดยเป็นการตรวจด้วยการใช้หลักการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงความถี่สูง หรืออัลตราซาวด์ (Ultrasound) ที่ถูกปล่อยออกมาจากหัววัด ส่งผ่านผนังทรวงอกไปถึงหัวใจ หรือส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการวัด เมื่อคลื่นเสียงผ่านอวัยวะต่าง ๆ ก็จะเกิดสัญญาณสะท้อนกลับซึ่งมีความแตกต่างกัน หลังจากนั้นจึงนำสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเหล่านี้ไปประมวลผลด้วย

คอมพิวเตอร์แปลเป็นภาพให้เห็น บนจอ ซึ่งจะแสดงถึงรูปร่าง ขนาด และการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจแบบเป็นปัจจุบัน (Esmaeilzadeh et al., 2013; Omerovic & Jain, 2023) ซึ่งการตรวจวัดด้วยเทคนิคดังกล่าวจะต้องให้ผู้เข้ารับการตรวจนอนลงบนเตียงตรวจ และมีเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานทำการตรวจวัด โดยการตรวจวัดนั้นจะต้องมีท่าทางการตรวจวัดของผู้ปฏิบัติงานที่เฉพาะเพื่อให้เหมาะสมกับการตรวจวัด และต้องใช้เวลาในการตรวจวัด

ด้วยศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ด้านโรคหัวใจและหลอดเลือด โรงพยาบาลวชิรพยาบาล มีพื้นที่จำกัดด้วยโครงสร้างทางกายภาพของอาคาร ซึ่งเตียงที่ศูนย์ฯ ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน สร้างขึ้นจากไม้ ส่งผลให้มีข้อจำกัดในการรองรับผู้เข้ารับการตรวจที่มีน้ำหนักตัวมาก อีกทั้งเตียงถูกใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน และมีลักษณะการใช้งานไม่เอื้ออำนวยต่อความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความเมื่อยล้าในการตรวจวัดขณะใช้งานเตียงตรวจวัด

จากปัญหาดังกล่าวศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านโรคหัวใจและหลอดเลือด โรงพยาบาลวชิรพยาบาล จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้เตียงที่มีลักษณะเฉพาะสอดคล้องกับพื้นที่ที่มีข้อจำกัดทางกายภาพ และเป็นสาเหตุให้ทางศูนย์ฯ มีความต้องการปรับปรุงเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เหมาะสมกับการทำหัตถการตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง เพื่อให้การปฏิบัติงานของบุคลากรทางการแพทย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และรองรับจำนวนของผู้เข้ารับการตรวจที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนา “เตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง”

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน และวิเคราะห์ปัญหาจากการใช้งานเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงรูปแบบเดิมเพื่อกำหนดคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

2. เพื่อออกแบบ และวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

3. เพื่อสร้าง และทดสอบการทำงานของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการ มีรายละเอียด ดังนี้

1. สำรวจรวบรวมข้อมูลความต้องการ

ผู้วิจัยได้ทำการเข้าสังเกตการณ์โดยผู้ปฏิบัติงานจำลองสถานการณ์การตรวจวินิจฉัยร่วมกับการสัมภาษณ์ใช้ประเด็นคำถามปลายเปิดโดยผู้ให้สัมภาษณ์เป็นผู้ปฏิบัติงาน ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกิดจากการใช้งาน และความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน โดยสามารถสรุปประเด็นเป็นผลลัพธ์ที่คาดหวังได้ 7 ข้อ และด้านต้นทุนการผลิต 1 ข้อ ดังตาราง 1 แล้วนำประเด็นดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กระบวนการการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ในการกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงต้นแบบ ในการแก้ปัญหา และตอบโจทย์ความต้องการเฉพาะของผู้ปฏิบัติงาน (Hu & Yeh, 2011) ทำให้ได้บ้านคุณภาพ แสดงดังภาพ 1

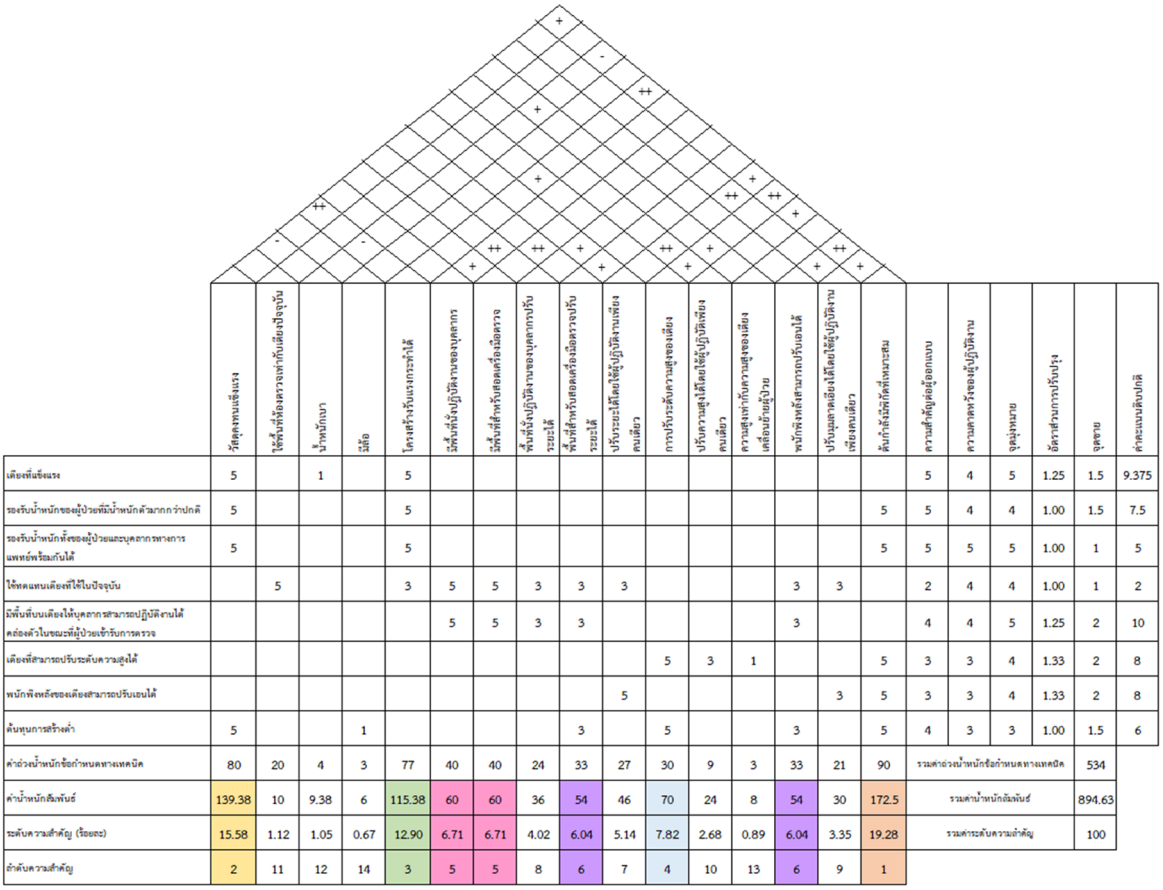
2. การวิเคราะห์หาคุณลักษณะสำคัญของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

จากภาพ 1 ข้อมูลจากการวิเคราะห์ QFD ทำให้ทราบว่า ข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญต่อการออกแบบเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งค่าอิทธิพลสูงที่สุดเรียงตามลำดับ ได้แก่ ต้นกำลังมีพิกัดกำลังที่เหมาะสม วัสดุคงทนแข็งแรง โครงสร้างรับแรงกระทำได้ การปรับระดับความสูงของเตียง มีพื้นที่นั่งปฏิบัติงานของบุคลากร มีพื้นที่สำหรับการสอดเครื่องมือตรวจที่สามารถปรับระยะได้ พนักพิงหลังสามารถปรับเอนได้ โดยเลือกใช้หลักการของพาเรโต (Koch, 1998) ในการพิจารณาถึงคุณลักษณะสำคัญที่ใช้สำหรับการออกแบบและสร้างเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง เพื่อให้ตอบสนองความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน (Sinthavalai et al., 2016) โดยสรุปไว้ในตาราง 2 ดังต่อไปนี้

ตาราง 1

สรุปปัญหาและประเด็นในการออกแบบ

ปัญหาที่เกิดจากการใช้งานเตียงรูปแบบเดิม	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ประเด็นในการออกแบบ
1. โครงสร้างเตียงที่ใช้งานในปัจจุบันใช้วัสดุเป็นไม้ ทางโรงพยาบาลใช้งานมาอย่างยาวนานทำให้วัสดุเตียงเริ่มชำรุด	1. เตียงที่แข็งแรง 2. ใช้ทดแทนเตียงเดิม	- วัสดุคงทนแข็งแรง - ใช้พื้นที่ห้องตรวจเท่ากับเตียงเดิม - น้ำหนักเบา - มีล้อ
2. ไม่สามารถรับผู้เข้ารับการตรวจที่มีน้ำหนักมากเกินเกณฑ์ได้	3. รองรับน้ำหนักของผู้เข้ารับการตรวจที่มีน้ำหนักตัวมากกว่าปกติ 4. รองรับน้ำหนักทั้งของผู้เข้ารับการตรวจและผู้ปฏิบัติงานพร้อมกันได้	- โครงสร้างสามารถรับแรงกระทำได้
3. ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถปฏิบัติงานได้คล่องตัวในขณะที่ผู้เข้ารับการตรวจเข้ารับการตรวจ	5. มีพื้นที่บนเตียงให้บุคลากรสามารถปฏิบัติงานได้คล่องตัวในขณะที่ผู้เข้ารับการตรวจเข้ารับการตรวจ	- มีพื้นที่นั่งปฏิบัติงานของบุคลากร - มีพื้นที่สำหรับสอดเครื่องมือตรวจ - พื้นที่นั่งปฏิบัติงานของบุคลากรปรับระยะได้ - พื้นที่สำหรับสอดเครื่องมือตรวจปรับระยะได้ - ปรับระยะได้โดยใช้ผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียว
4. เตียงไม่สามารถปรับระดับความสูงตามความสูงของผู้เข้ารับการตรวจหรือผู้ปฏิบัติงานได้	6. เตียงที่สามารถปรับระดับความสูงได้	- การปรับระดับความสูงของเตียง - ปรับความสูงได้โดยใช้ผู้ปฏิบัติเพียงคนเดียว - ความสูงเท่ากับความสูงของเตียงเคลื่อนย้ายผู้เข้ารับการตรวจ - ต้นกำลังมีพิกัดกำลังที่เหมาะสม
5. พนักพิงหลังของเตียงไม่สามารถปรับเอนได้ทำให้เกิดปัญหาในการตรวจวินิจฉัยของแพทย์	7. พนักพิงหลังของเตียงสามารถปรับเอนได้	- พนักพิงหลังสามารถปรับเอนได้ - ปรับความลาดเอียงของพนักพิงหลังได้โดยใช้ผู้ปฏิบัติเพียงคนเดียว - ต้นกำลังมีพิกัดกำลังที่เหมาะสม



ภาพ 1 ตารางการวิเคราะห์การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

ตาราง 2

คุณลักษณะสำคัญในการออกแบบ

กำหนดคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบ	
1. ต้นกำลังมีพิกัดกำลังที่เหมาะสม	- มีต้นกำลังที่เหมาะสมกับภาระที่เกิดขึ้นสามารถรับน้ำหนักได้ 300 กิโลกรัม
2. วัสดุคงทนแข็งแรง	- เลือกใช้ SS400
3. โครงสร้างรับแรงกระทำได้	- เตียงสามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 300 กิโลกรัม
4. การปรับระดับความสูงของเตียง	- สามารถปรับระดับความสูง-ต่ำของเตียง เพื่อให้สอดคล้องกับสรีระของผู้ปฏิบัติงาน - สามารถปรับระดับเตียงสูง-ต่ำเพื่ออำนวยความสะดวกในการขึ้นลงเตียงได้ - ปรับยกระดับสูงต่ำของเตียงโดยระดับต่ำสุด 770 มิลลิเมตร ระดับสูงสุดได้ 900 มิลลิเมตร
5. มีพื้นที่นั่งปฏิบัติงานของบุคลากร	- สามารถเลื่อนเบาะส่วนเว้าทั้งสองข้างเพื่อหลบขาผู้ปฏิบัติงานเข้าไปนั่งและอุปกรณ์ตรวจ ได้ทำการตรวจตามระเบียบวิธีการทางแพทย์
6. มีพื้นที่สำหรับสอดเครื่องมือตรวจ	- มีพื้นที่ส่วนเว้าเพื่อสำหรับสอดเครื่องมือตรวจ ได้ทำการตรวจตามระเบียบวิธีการทางแพทย์
7. พื้นที่สำหรับสอดเครื่องมือตรวจปรับระยะได้	- สามารถเลื่อนเบาะส่วนเว้าเพื่อสำหรับสอดเครื่องมือตรวจ ได้ทำการตรวจตามระเบียบวิธีการทางแพทย์
8. พนักพิงหลังสามารถปรับเอนได้	- สามารถปรับพนักพิงหลังขึ้น-ลง ขณะผู้เข้ารับการตรวจขึ้นเตียงได้

จากตาราง 1 และ ตาราง 2 แสดงคุณลักษณะสำคัญที่ผู้วิจัย ได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบให้ได้ตามความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน

3. การเลือกใช้ระบบและส่วนประกอบของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

การสร้างเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ได้นำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีมาพิจารณาในการออกแบบและสร้างเตียง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยหลักการการออกแบบอย่างเป็นระบบ (systematic design) (Pahl et al., 2007) ให้ตอบโจทย์ความต้องการในการใช้งาน ไม่พลาดประเด็นที่สำคัญในการออกแบบ (Jahan et al., 2016) ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง และข้อจำกัดในการออกแบบ จึงได้มีการออกแบบเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะการทำงานที่สำคัญดังนี้

1) ลักษณะการปรับยกระดับความสูง
2) ลักษณะการปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง
3) ลักษณะการเลื่อนเบาะพนักพิงหลัง

3.1 ลักษณะการปรับยกระดับความสูง

การปรับยกเตียงขึ้น-ลง เป็นการปรับให้เตียงยกตัวสูงขึ้นหรือต่ำลง เพื่อสะดวกในการขึ้นลงของผู้เข้ารับการตรวจและให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งทางผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการเลือกใช้ไว้เป็นทางเลือก 3 แบบ โดยแสดงลักษณะการทำงานดังตาราง 3

3.2 ลักษณะการปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง

การปรับองศาพนักพิงหลัง เป็นการปรับให้พนักพิงหลังหมุนตั้งขึ้นมาตามองศาเพื่อช่วยให้ผู้เข้ารับการตรวจนอนระนาบ โดยจะปรับจาก 0-60 องศา ซึ่งทางผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการเลือกใช้ไว้เป็นทางเลือก 3 แบบ โดยแสดงลักษณะการทำงานดังตาราง 4

3.3 ลักษณะการปรับเลื่อนเบาะพนักพิงหลัง

การปรับเลื่อนเบาะชุดพนักพิงหลัง เป็นการเลื่อนเบาะเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าไปนั่งตรวจผู้เข้ารับการตรวจบนเตียง และหลบเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสอดเครื่องมือตรวจได้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการเลือกใช้ไว้เป็นทางเลือก 3 แบบ โดยแสดงลักษณะการทำงานดังตาราง 5

4. การเปรียบเทียบความแตกต่างของแนวคิดทั้ง 3 แบบ

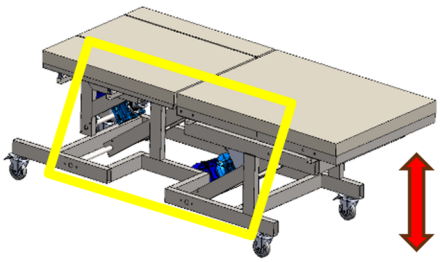
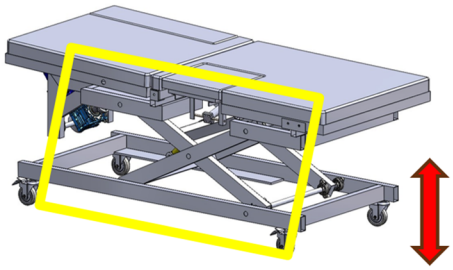
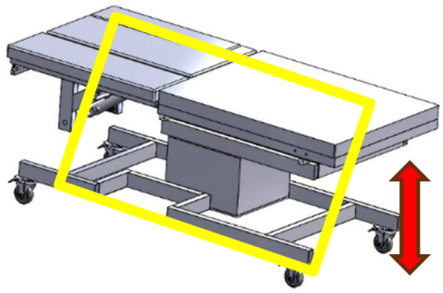
ผู้วิจัยทำการออกแบบแนวคิดของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงทั้งหมด 3 แนวคิด จากตาราง 3 ตาราง 4 และตาราง 5 ซึ่งเป็นตารางแสดงคุณลักษณะเฉพาะส่วน จากนั้นจึงได้ทำการเลือกแนวคิดที่เหมาะสม โดยมีการเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละแนวคิดดังตาราง 6 เพื่อนำแนวคิดที่เหมาะสมมาทำการสร้างเป็นต้นแบบเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

จากตาราง 6 เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของทั้ง 3 แนวคิด จึงสรุปได้ว่าทั้ง 3 แนวคิด มีขนาดที่เหมาะสมกับพื้นที่ในการใช้งาน ระบบส่งกำลังในแต่ละแบบสามารถรับน้ำหนักได้ไม่เท่ากัน มอเตอร์เกียร์เกลียวบอลสกรูจะสามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด รองลงมาจะเป็นกระบอกสูบไฮดรอลิค กระบอกสูบไฟฟ้าจะรับน้ำหนักได้น้อยที่สุด ระบบกลไกบางแนวคิดจะมีข้อจำกัดบางอย่างที่ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในโรงพยาบาล เช่น แนวคิดที่ 3 ระบบไฮดรอลิคต้องมีการใช้น้ำมัน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ ทางผู้วิจัยจึงได้ข้อสรุปว่า แนวคิดที่ 1 เป็นแนวคิดที่ทางโรงพยาบาลวชิรพยาบาลเห็นชอบและยอมรับให้สร้างต้นแบบได้

จากการเปรียบเทียบแนวคิดข้อดีข้อจำกัดของแต่ละแนวคิดจึงสรุปได้แนวคิดที่สามารถนำไปสร้างเป็นต้นแบบได้ ทางผู้วิจัยจึงนำแนวคิดนั้นมาพัฒนาออกแบบให้มีองค์ประกอบของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงดังภาพ 2

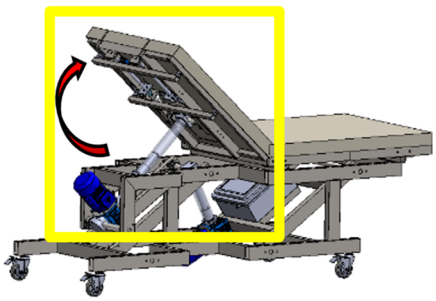
ตาราง 3

แสดงลักษณะปรับยกระดับความสูง

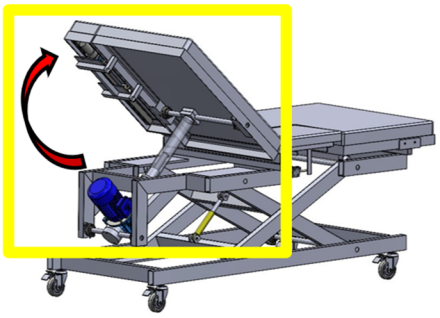
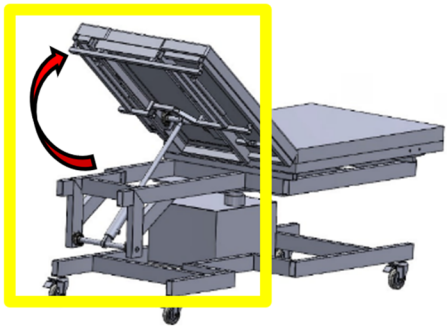
แสดงลักษณะการปรับยกระดับความสูง		การทำงาน
แนวคิดที่ 1		กลไกการปรับระดับความสูงต่ำของเตียง ใช้มอเตอร์เกียร์เกลียวบอลสกรูและกระบอกที่ยึดติดกับตัวเมียของเกลียวบอลสกรูในการส่งกำลังโดยตรงไปดันชุดโครงวางเบาะให้ปรับระดับความสูงต่ำ โดยการทำงานเมื่อมอเตอร์เกียร์ทำงานจะส่งกำลังไปยังแกนเกลียวบอลสกรูให้หมุนดันตัวเมียกับกระบอกให้ดันโครงวางเบาะให้สามารถปรับระดับความสูงต่ำได้
แนวคิดที่ 2		ใช้กลไกแบบ X-lift โดยมีกระบอกสูบไฮดรอลิคในการส่งกำลังดันชุดโครงวางเบาะให้สูงต่ำได้ตามความต้องการ
แนวคิดที่ 3		กลไกการปรับระดับความสูงต่ำของเตียง ใช้กระบอกสูบไฮดรอลิคในการส่งกำลังโดยตรงไปดันชุดโครงวางเบาะให้ปรับระดับความสูงต่ำ โดยการทำงานเมื่อกระบอกสูบไฮดรอลิคทำงานจะดันโครงวางเบาะให้สามารถปรับระดับความสูงต่ำได้

ตาราง 4

แสดงลักษณะการปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง

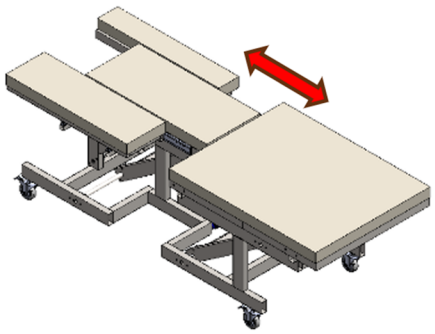
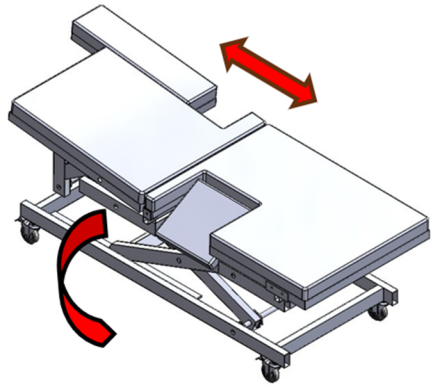
แสดงลักษณะการปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง		การทำงาน
แนวคิดที่ 1		กลไกปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง ใช้มอเตอร์เกียร์ส่งกำลังให้กับเกลียวบอลสกรู จะมีกระบอกที่ยึดติดกับตัวเมียของเกลียวบอลสกรูเป็นตัวดันโครงเบาะให้ตั้งตามองศาที่ต้องการ โดยการทำงานเมื่อมอเตอร์เกียร์ทำงานจะส่งกำลังไปยังแกนเกลียวบอลสกรูให้หมุนดันตัวเมียกับกระบอกให้ดันพนักพิงหลังให้ปรับองศาตามความต้องการ

ตาราง 4 (ต่อ)

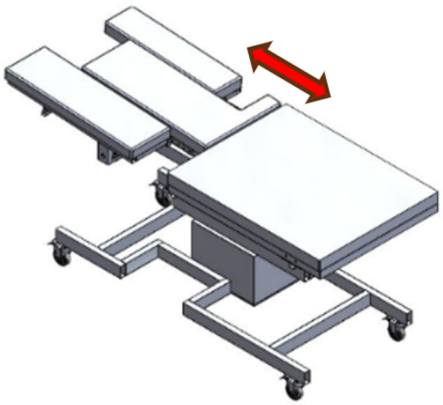
แสดงลักษณะการปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง		การทำงาน
แนวคิดที่ 2		กลไกปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง ใช้มอเตอร์เกียร์ส่งกำลังให้กับเกลียวบอลสกรู จะมีกระบอกที่ยึดติดกับตัวเมียของเกลียวบอลสกรูเป็นตัวดันโครงเบาะให้ตั้งตามองศาที่ต้องการ โดยการทำงานเมื่อมอเตอร์เกียร์ทำงานจะส่งกำลังไปยังแกนเกลียวบอลสกรูให้หมุนดันตัวเมียกับกระบอกให้ดันพนักพิงหลังให้ปรับองศาตามความต้องการ โดยมีกลไกปรับเลื่อนเบาะพนักพิงหลังเพียงด้านเดียว
แนวคิดที่ 3		กลไกปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง ใช้กระบอกสูบไฟฟ้า (power cylinder) การทำงานกระบอกสูบไฟฟ้าจะยึดติดอยู่ระหว่างโครงวางเบาะกับโครงเบาะ เมื่อสั่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานจะทำให้กลไกในกระบอกทำการดันกระบอกให้โครงเบาะปรับองศาได้ตามความต้องการ

ตาราง 5

แสดงลักษณะการปรับเลื่อนเบาะพนักพิงหลัง

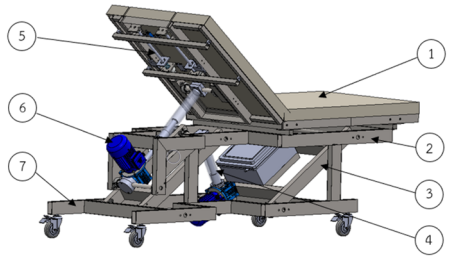
แสดงลักษณะการปรับเลื่อนเบาะพนักพิงหลัง		การทำงาน
แนวคิดที่ 1		กลไกการปรับเลื่อนเบาะ ใช้มอเตอร์เกียร์เกลียวบอลสกรูในการส่งกำลัง โดยการทำงานเมื่อมอเตอร์เกียร์ทำงานจะส่งกำลังดันเกลียวตัวเมียเคลื่อนที่โดยติดแผ่นเพลทยึดติดกับเบาะให้สามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้
แนวคิดที่ 2		กลไกการปรับเลื่อนเบาะ ใช้มอเตอร์เกียร์เกลียวบอลสกรูในการส่งกำลัง โดยการทำงานเมื่อมอเตอร์เกียร์ทำงานจะส่งกำลังดันเกลียวตัวเมียเคลื่อนที่โดยติดแผ่นเพลทยึดติดกับเบาะให้สามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้ และฝั่งที่ผู้ปฏิบัติงานนั่งทำกลไกพับเบาะขึ้น-ลง

ตาราง 5 (ต่อ)

แสดงลักษณะการปรับเลื่อนเบาะพนักพิงหลัง	การทำงาน
แนวคิดที่ 3 	กลไกการปรับเลื่อนเบาะ ใช้กระบอกสูบไฟฟ้า (power cylinder) การทำงานกระบอกสูบไฟฟ้าจะยึดติดกับแขนชุดโครงเบาะพนักพิงหลัง เมื่อสั่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานจะทำให้กลไกในกระบอกทำการดันกระบอกให้เบาะเลื่อนตามความต้องการ

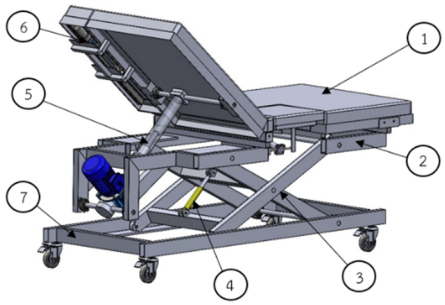
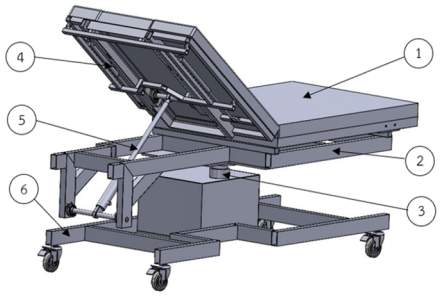
ตาราง 6

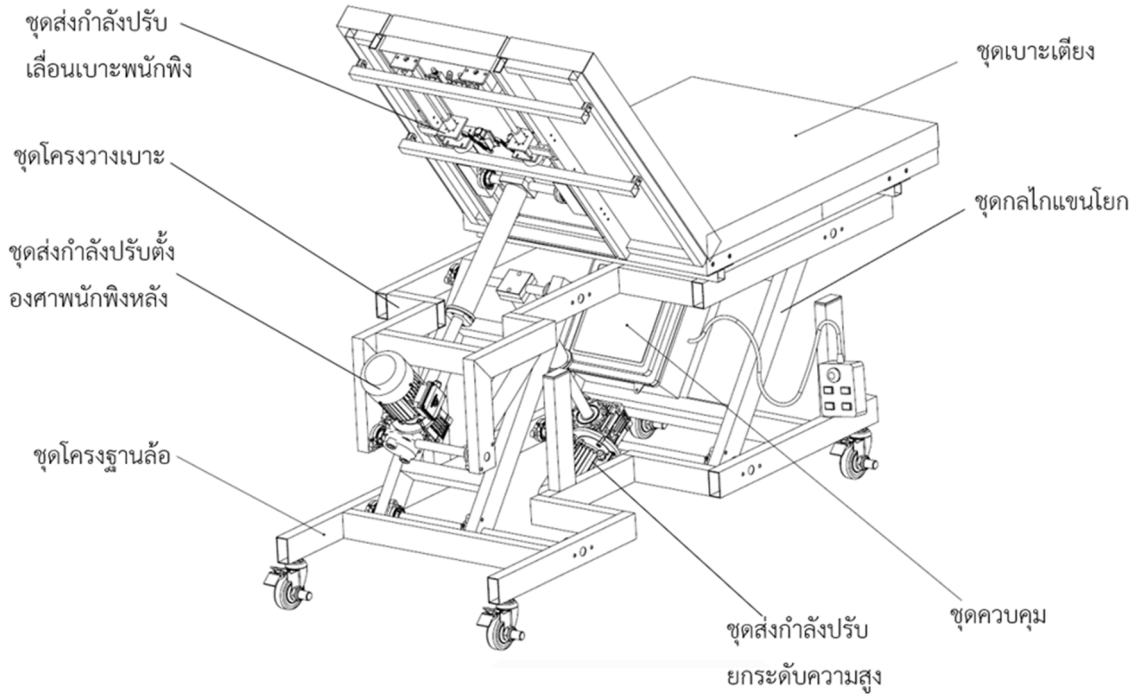
ตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดแนวคิดทั้ง 3 แบบ

รายการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
แนวคิดที่ 1 	- ระบบปรับระดับความสูงต่ำและปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง มอเตอร์เกียร์เกลียวบอลสกรูรับโหลดได้สูง - กลไกแขนโยกดูแลรักษาง่ายและรับโหลดได้เยอะ - มอเตอร์เกียร์เกลียวบอลสกรูมีอายุการใช้งานนานและบำรุงรักษาง่าย	- ชุดมอเตอร์เกียร์บอลสกรูมีราคาแพงและมีขนาดใหญ่

หมายเลข 1 ชุดเบาะเตียง
หมายเลข 2 ชุดโครงวางเบาะ
หมายเลข 3 ชุดกลไกแขนโยก
หมายเลข 4 ชุดส่งกำลังปรับยกระดับความสูงด้วยมอเตอร์เกียร์และเกลียวบอลสกรู
หมายเลข 5 ชุดส่งกำลังเลื่อนเบาะพนักพิงหลังด้วยมอเตอร์เกียร์และเกลียวบอลสกรู
หมายเลข 6 ชุดส่งกำลังปรับตั้งองศาพนักพิงหลังด้วยมอเตอร์เกียร์และเกลียวบอลสกรู
หมายเลข 7 ชุดโครงฐานและล้อ

ตาราง 6 (ต่อ)

รายการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
แนวคิดที่ 2  **หมายเลข 1** ชุดเบาะเตียง **หมายเลข 2** ชุดโครงวางเบาะเตียง **หมายเลข 3** ชุดกลไก X-lift **หมายเลข 4** ชุดส่งกำลังปรับยกระดับความสูงด้วยกระบอกสูบไฮดรอลิค **หมายเลข 5** ชุดส่งกำลังปรับตั้งองศาพนักพิงหลังด้วยมอเตอร์เกียร์และเกลียวบอลสกรู **หมายเลข 6** ชุดส่งกำลังเลื่อนเบาะพนักพิงหลังด้วยมอเตอร์เกียร์และเกลียวบอลสกรู **หมายเลข 7** ชุดโครงฐานและล้อ	- ระบบปรับระดับความสูงต่ำและปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง มอเตอร์เกียร์เกลียวบอลสกรูรับโหลดได้สูง - กลไกแขนโยกดูแลรักษาง่ายและรับโหลดได้เยอะ - มอเตอร์เกียร์เกลียวบอลสกรูมีอายุการใช้งานนานและบำรุงรักษาง่าย	- ชุดมอเตอร์เกียร์บอลสกรูมีราคาแพงและมีขนาดใหญ่
	- กระบอกสูบไฮดรอลิค สามารถรับโหลดได้เยอะ	- กลไกชุดพับเบาะขึ้น-ลงรับโหลดได้น้อย - กลไก X-lift ต้องใส่น้ำมันหล่อลื่นที่ล้อเลื่อนจึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในโรงพยาบาล - ชุดเบาะนั่งทำให้ลักษณะการตรวจยากขึ้น เนื่องจากชุดเบาะนั่งกับผู้เข้ารับการตรวจอยู่ห่างกัน
แนวคิดที่ 3  **หมายเลข 1** ชุดเบาะเตียง **หมายเลข 2** ชุดโครงวางเบาะเตียง **หมายเลข 3** ชุดส่งกำลังปรับยกระดับความสูงด้วยกระบอกไฮดรอลิค **หมายเลข 4** ชุดส่งกำลังเลื่อนเบาะพนักพิงหลังด้วยกระบอกสูบไฟฟ้า **หมายเลข 5** ชุดส่งกำลังปรับตั้งองศาพนักพิงหลังด้วยกระบอกสูบไฟฟ้า **หมายเลข 6** ชุดโครงฐานและล้อ	- กระบอกสูบไฟฟ้าในระบบปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง มีราคาที่ถูกและบำรุงรักษาง่าย - กระบอกสูบไฮดรอลิค สามารถรับโหลดได้เยอะ	- ระบบปรับตั้งองศาพนักพิงหลังกระบอกสูบไฟฟ้ารับโหลดได้ แต่ไม่เท่ามอเตอร์เกียร์บอลสกรู - กระบอกสูบไฮดรอลิกดูแลบำรุงรักษายาก



ภาพ 2 ภาพจำลองแนวคิดเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

การออกแบบและกำหนดรายละเอียดของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

1. การประเมินสมรรถนะแบบทางเลือก

จากการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Computer-Aided Design: CAD เราจะได้แบบเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกทำการวิเคราะห์ด้วย Computer-Aided Engineering: CAE โดยพิจารณาทั้งการเลือกใช้วัสดุ และคุณสมบัติทางกลของแต่ละวัสดุในการรับภาระในรูปแบบต่าง ๆ โดยการจำลองสถานการณ์เมื่อรับน้ำหนักที่มากระทำกับโครงสร้าง (Pidtong, 2024) ซึ่งอิงตามวิธี Finite Element Analysis (Kurowski, 2022) เพื่อยืนยันผลการออกแบบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดในการออกแบบด้านความแข็งแรงทนทาน และความปลอดภัยตามแรงกระทำ (Thomas, 2017) มาทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบเพื่อประเมินเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงจะสามารถทำงานได้จริงหรือไม่ โดยมีจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ภาระน้ำหนักที่เกิดขึ้นได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหาย จึงมีการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง 4 ค่า คือ

1) ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้น (stress)

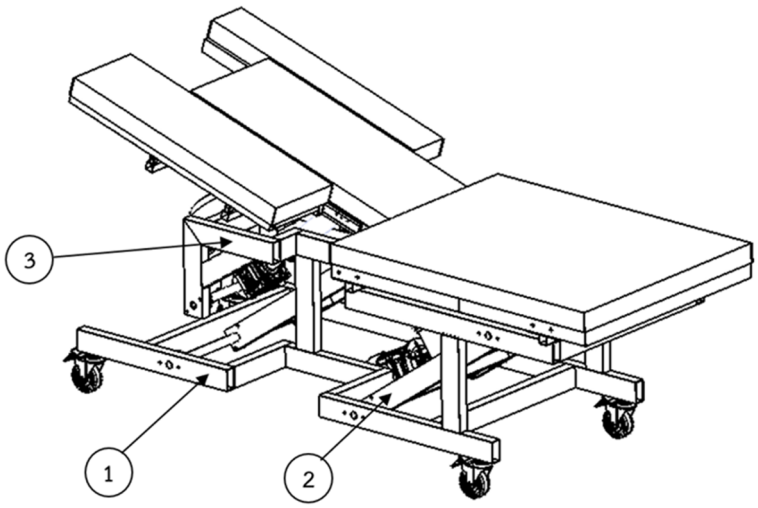
2) ผลการวิเคราะห์ค่าความเครียด (strain)

3) ผลการวิเคราะห์ค่าการเสียรูป (deformation)

4) ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (safety factor)

1.1 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงฐานเตียงในสถานะปรับระดับต่ำสุดโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของโครงฐานเตียงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของโครงฐานเตียง กำหนดให้ค่า Force ตำแหน่งอยู่ที่แขนรับโครงเบาะมีขนาด 3,789.57 N ซึ่งเป็นแรงสูงสุดที่เกิดจาก น้ำหนักผู้เข้ารับการตรวจ ผู้ปฏิบัติงาน และส่วนของโครงสร้างที่อยู่ด้านบน โดยแรงที่กระทำได้จากการคำนวณมวลของโครงสร้างตามปริมาตรด้วยโปรแกรมออกแบบทางคอมพิวเตอร์ตามเงื่อนไขเริ่มต้นในสถานะปรับระดับต่ำสุดก่อนการเคลื่อนที่ของชุดส่งกำลังภายใต้เงื่อนไขขอบเขตการเคลื่อนที่ ตามระยะการเคลื่อนที่ของชุดส่งกำลังในการปรับระดับส่วนต่าง ๆ



ภาพ 3 ตำแหน่งการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง โดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

หมายเลข 1 ตำแหน่งการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงฐานเตียง

หมายเลข 2 ตำแหน่งการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงแขนโยก

หมายเลข 3 ตำแหน่งการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงวางเบาะ

โดยบางส่วนของ ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของชุดโครงฐานเตียง ซึ่งเป็น 1 ใน 3 โครงสร้างสำคัญของเตียง พร้อมการอภิปรายผลการวิเคราะห์ แสดงในตาราง 7 ถึง ตาราง 9

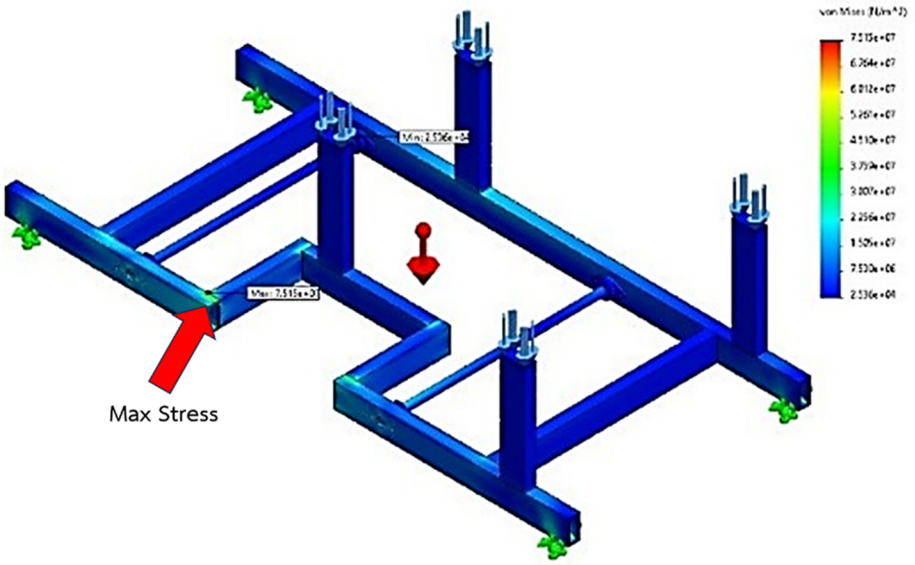
จากตาราง 8 ทำให้ทราบถึงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงฐานเตียงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ เพื่อหาว่าโครงฐานเตียงนั้นจะสามารถรับภาระขณะปฏิบัติงานได้หรือไม่ โดยต้องนำผลการวิเคราะห์เหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัสดุ (material properties) ที่ใช้สร้างโครงฐานเตียงในจุดนั้น ๆ โดยสามารถสรุปผลการเปรียบเทียบได้ดังตาราง 9 และผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ของโครงแขนโยก ดังตาราง 10 และโครงวางเบาะ ดังตาราง 11

จากตาราง 9 ผลสรุปของโครงฐานเตียงจากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของของโครงฐานเตียงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ พบว่าสามารถรับภาระที่เกิดขึ้นได้โดยไม่เกิดความเสียหายซึ่งมีผลการวิเคราะห์ คือ มีค่าความเค้น (stress) สูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อรับภาระมีค่าเท่ากับ 7.515×10^{7} N/m^2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า Yield Stress ของโครงฐานเตียงที่ใช้วัสดุ SS400 รับภาระได้คือ 3.515×10^{8} N/m^2 ค่าความเครียด (strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อรับภาระมีค่าเท่ากับ 2.458×10^{-4} ซึ่งมีค่าน้อยกว่า Yield Strain ของโครงฐานเตียงที่ใช้วัสดุ SS400 คือ 1.167 ค่าการเสียรูปของวัสดุ (deformation) เริ่มต้นจากสถานะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเท่ากับ 1.000×10^{-30} mm หลังจากรับภาระทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 1.459 mm และค่าความปลอดภัยที่น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 4.7 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าความเผื่อที่ยอมรับได้ ที่อยู่ในช่วง 2-3 (Thai Industrial Standards Institute, 2015)

ตาราง 7

ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นของโครงฐานเตียงที่เกิดขึ้น (stress)

Name	Type	min	max
Stress1	VON: von Mises Stress	$2.536x10^{4}$ N/m^2 Node: 95016	$7.515x10^{7}$ N/m^2 Node: 197



ตาราง 8

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ของโครงฐานเตียงในสถานะปรับระดับต่ำสุด

องค์ประกอบ	ค่าความเค้น (N/m^2)		ค่าการเสียรูป (mm)		ค่าความเครียด		ค่าความปลอดภัย
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าต่ำสุด
ชุดโครงสร้าง	$7.515x10^{7}$	$2.536x10^{4}$	1.459	$1.000x10^{-30}$	$2.458x10^{-4}$	$7.234x10^{-8}$	4.7

ตาราง 9

แสดงการอภิปรายผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ของโครงฐานเตียง

ผลการวิเคราะห์	ชุดโครงสร้าง	Material Properties	การอภิปรายผล
ค่าความเค้น (stress)	Max Von Mises Stress มีค่าเท่ากับ $7.515x10^{7}$ N/m^2 เกิดขึ้นบริเวณจุด Fixed อยู่ที่รูยึดล้อด้านซ้ายบนซึ่งทำจากวัสดุ SS400	Yield Stress ของ SS400 มีค่าเท่ากับ $3.515x10^{8}$ N/m^2	ผลจากการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ (FEA) ได้ค่าความเค้น (stress) สูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณจุดโครงล้อด้านซ้ายล่างมีค่าเท่ากับ $7.515x10^{7}$ N/m^2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Yield Stress ของ SS400 มีค่าเท่ากับ $3.515x10^{8}$ N/m^2 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าโครงฐานเตียงของเตียงสามารถรับภาระที่เกิดขึ้นได้โดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวร
ค่าการเสียรูปของวัสดุ (deformation)	Max Total Deformation มีค่าเท่ากับ 1.459 mm	-	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชุดโครง ประกอบและทดสอบรองรับเริ่มต้นจากสถานะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เท่ากับ $1.000x10^{-30}$ mm หลังจากรับภาระทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 1.459 mm
ค่าความเครียด (strain)	Max Von Mises Strain มีค่าเท่ากับ $2.458x10^{-4}$ เกิดขึ้นบริเวณ Fixed อยู่ที่รูยึดล้อด้านซ้ายบน ซึ่งทำจากวัสดุ SS400	Yield Strain ของ SS400 มีค่าเท่ากับ 1.167	ผลจากการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ (FEA) ได้ค่าความเครียด (strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณ Fixed อยู่ที่รูยึดล้อด้านซ้ายบน มีค่าเท่ากับ $2.458x10^{-4}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Yield Strain ของ SS400 มีค่าเท่ากับ 1.167 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโครงฐานเตียงของเตียงเมื่อรับภาระจะเกิดความเครียดแบบคืนรูป (elastic deformation)
ค่าความปลอดภัย (safety factor)	Safety Factor มีค่าเท่ากับ 4.7	-	ผลจากการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ (FEA) ได้ค่าความปลอดภัยที่น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นบริเวณโครงด้านซ้ายของโครงฐานเตียงเท่ากับ 4.7 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าความเผื่อที่ยอมรับได้ โดยค่าความเผื่อที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ 2–3 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโครงฐานเตียงของเตียงสามารถรับภาระที่เกิดขึ้นได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

ตาราง 10

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ของโครงแขนโยกในสถานะปรับระดับสูงสุด

องค์ประกอบ	ค่าความเค้น (N/m^2)		ค่าการเสียรูป (mm)		ค่าความเครียด		ค่าความปลอดภัย
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าต่ำสุด
ชุดโครงสร้าง	$7.410x10^{7}$	$2.074x10^{3}$	$2.599x10^{-1}$	$1.000x10^{-30}$	$2.430x10^{-4}$	$9.765x10^{-9}$	4.7

ตาราง 11

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ของโครงวางเบาะ

องค์ประกอบ	ค่าความเค้น (N/m^2)		ค่าการเสียรูป (mm)		ค่าความเครียด		ค่าความปลอดภัย
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าต่ำสุด
ชุดโครงสร้าง	$8.079x10^{7}$	$9.596x10^{2}$	$6.090x10^{-1}$	$1.000x10^{-30}$	$2.312x10^{-4}$	$5.047x10^{-9}$	9.3



ภาพ 4 เตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงเมื่อพัฒนาแล้วเสร็จ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาความต้องการของผู้ปฏิบัติงานและวิเคราะห์ปัญหาจากการใช้งานเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงรูปแบบเดิมเพื่อกำหนดคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) พบว่ามีจำนวน 8 ข้อ โดยเมื่อจัดเรียงตามระดับความสำคัญแล้วมีข้อมูล ดังนี้ ต้นกำลังมีพิกัดกำลังที่เหมาะสม วัสดุคงทนแข็งแรง โครงสร้างรับแรงกระทำได้ การปรับระดับความสูงของเตียง มีพื้นที่นั่งปฏิบัติงานของบุคลากร มีพื้นที่สำหรับสอดเครื่องมือตรวจ พื้นที่สำหรับสอดเครื่องมือตรวจปรับระยะได้ และพนักพิงหลังสามารถปรับเอนได้

2. ในการออกแบบนั้นผู้วิจัยได้นำคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบทั้ง 8 ข้อ มาออกแบบเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง โดยเมื่อวิเคราะห์ลงไปในคุณลักษณะสำคัญทั้ง 8 ข้อ ดังตาราง 2 จะพบว่า สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) ด้านต้นกำลัง (2) ด้านวัสดุ (3) ด้านชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้

2.1 ด้านต้นกำลัง ผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า เพื่อให้สอดคล้องกับคุณลักษณะสำคัญ ต้นกำลังมีพิกัดกำลังที่เหมาะสม ซึ่งต้องรับภาระงานที่ประกอบไปด้วย น้ำหนักของโครงสร้างเตียง ผู้ปฏิบัติงาน และผู้เข้ารับการตรวจ

2.2 ด้านวัสดุ ผู้วิจัยเลือกใช้เหล็ก SS400 มาเป็นโครงสร้างของเตียง เพื่อให้สอดคล้องกับคุณลักษณะสำคัญ วัสดุคงทนแข็งแรง และโครงสร้างรับแรงกระทำได้

2.3 ด้านชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกลไกการเคลื่อนที่ของการทำงานที่เป็นคุณลักษณะสำคัญ ได้แก่ (1) การปรับยกระดับความสูง (2) การปรับตั้งองศาพนักพิงหลัง (3) การเลื่อนเบาะพนักพิงหลัง จำนวนคุณลักษณะละ 3 แนวคิด เพื่อนำไปออกแบบและสร้างต่อไป

3. ผู้วิจัยดำเนินการนำโครงสร้างเตียงที่ออกแบบไปทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ จำนวน 4 ค่า ได้แก่ ค่าความเค้น (stress) ค่าความเครียด (strain) ค่าการ

เสียรูป (deformation) และค่าความปลอดภัย (safety factor) ในส่วนประกอบสำคัญทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ ชุดโครงฐานเตียง ชุดโครงแขนโยก ชุดโครงวางเบาะ ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชุดโครงฐานเตียง และการอภิปรายผลแสดงดังตาราง 7-11 จากผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างเตียงมีระดับความแข็งแรงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ กล่าวคือ เตียงสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 300 กิโลกรัมตามความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน

4. การทดสอบการทำงานของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

4.1 วิธีการทดสอบเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

1) ทดสอบการปรับยกระดับความสูงต่ำของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

2) ทดสอบการปรับตั้งองศาพนักพิงหลังของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

3) ทดสอบการเลื่อนเบาะหลบขาเพื่อเข้าไปนั่ง และหลบเครื่องมือตรวจหัวใจ

4.2 การวิเคราะห์ผลการทำงานของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

1) ผลการทดสอบการปรับยกระดับความสูงต่ำของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง จากการวัดพบว่า การปรับยกระดับสูงต่ำของเตียงโดยระดับต่ำสุด 770 มิลลิเมตร ระดับสูงสุดได้ 900 มิลลิเมตร เตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงสามารถปรับระดับได้ตรงตามความคาดหวังในการออกแบบ และตรงความต้องการของผู้ปฏิบัติงานโดยไม่มีการติดขัดของกลไก

2) ผลการทดสอบการปรับตั้งพนักพิงหลังของเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง พบว่า เตียงสามารถปรับตั้งพนักพิงหลังโดยการบังคับด้วยมือผ่านชุดควบคุมได้มุม 60 องศา เตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงปรับมุมพนักพิงหลังได้ตรงตามความคาดหวังในการออกแบบ และตรงความต้องการของผู้ปฏิบัติงานโดยไม่มีการติดขัดของกลไก

3) ผลการทดสอบการเลื่อนเบาะพนักพิงหลังเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง โดยเบาะสามารถเลื่อนปรับได้โดยการบังคับด้วยมือผ่านชุดควบคุม สามารถหลบขาของผู้ปฏิบัติงาน และสามารถหลบเครื่องมือทางการแพทย์เพื่อตรวจบริเวณหัวใจได้ตรงตามความคาดหวังในการออกแบบ และตรงความต้องการของผู้ปฏิบัติงานโดยไม่มีการติดขัดของกลไก

สรุปผลการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยออกแบบและพัฒนาเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง พบว่า จากการศึกษาความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน และวิเคราะห์ปัญหาจากการใช้งานเตียงตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงรูปแบบเดิม เพื่อกำหนดคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพมีจำนวนทั้งสิ้นจำนวน 8 ข้อ ในด้านการออกแบบผู้วิจัยได้นำคุณลักษณะสำคัญมาดำเนินการออกแบบได้ครบถ้วนทั้ง 8 ข้อ และทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ พบว่า โครงสร้างมีระดับความแข็งแรงเป็นวัตถุประสงค์ในการออกแบบ กล่าวคือ เตียงสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 300 กิโลกรัมตามความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน ในด้านการสร้างและทดสอบการทำงาน พบว่า เตียงสามารถใช้งานจริง ปรับระดับความสูงต่ำได้จริง การทดสอบเตียงสามารถปรับตั้งพนักพิงหลังได้จริง เบาะสามารถเลื่อนปรับได้เพื่อหลบขาของผู้ปฏิบัติงานและหลบเครื่องมือตรวจหัวใจได้ตามความต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ด้านโรคหัวใจและหลอดเลือด โรงพยาบาลวชิรพยาบาล คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช

References

Bureau of Risk Communication and Health Behavior Development. (2023). *The department of disease control joins the world heart day 2023 campaign, revealing that last year, up to 70,000 Thai people died of cardiovascular diseases* [In Thai]. Department of Disease Control. https://www.ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=37372&deptcode=brc&news_views=9057

Chong, B., Jayabaskaran, J., Jauhari, S. M., Chan, S. P., Goh, R., Kueh, M. T. W., Chin, Y. H., Kong, G., Anand, V. V., Wang, J. W., Muthiah, M., Jain, V., Metha, A., Lim, S. L., Foo, R., Figtree, G. A., Nicholls, S. J., Mamas, M. A., & Chan, M. Y. (2024). Global burden of cardiovascular diseases: Projections from 2025 to 2050. *European Journal of Preventive Cardiology, 32*(11), 1001–1015. https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwae281

Esmaeilzadeh, M., Parsaee, M., & Maleki, M. (2013). The role of echocardiography in coronary artery disease and acute myocardial infarction. *The Journal of Tehran University Heart Center, 8*(1), 1–13. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3587668/

Hu, C. M., & Yeh, C. H. (2011). The synergy of QFD and TRIZ design practice-A case study for medical care bed. In L. Wen & S. Rahnama (Eds.), *Proceedings of 2011 International Conference on Modelling, Identification and Control* (pp. 523–531). IEEE.

Jahan, A., Edwards, K. L., & Bahraminasab, M. (2016). *Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of engineering materials in product design*. Butterworth-Heinemann.

Koch, R. (1998). *The 80/20 principle: The secret of achieving more with less*. Nicholas Brealey Publishing.

Kurowski, P. M. (2022). *Finite element analysis for design engineers* (3rd ed.). SAE International.

Omerovic, S., & Jain, A. (2023). *Echocardiogram.* StatPearls Publishing. https://europepmc.org/article/nbk/nbk558940#__NBK558940_dtls__

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering design: A systematic approach* (3rd ed.). Springer-Verlag London Limited.

Pidtong, N. (2024). *Development of prosthetic foot with an adjustable roll-over shape for the low to moderate activity amputees* [In Thai] [Master's thesis, Chulalongkorn University]. https://digital.car.chula.ac.th/cgi/viewcontent.cgi?article=12882&context=chulaetd

Sinthavalai, R., Boonchu, P., & Polmai, S. (2016). An application of House of Quality (HOQ) in improving a package of medical equipment [In Thai]. *The Journal of KMUTNB, 26*(3), 437–450. http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2015.11.001

Thai Industrial Standards Institute. (2015). *Hot rolled flat steel for general structure* (TIS 1479-2558) [In Thai]. https://www.tisi.go.th/data/standard/fulltext/TIS-1479-2558m.pdf

Thomas, D. J. (2017). Using finite element analysis to assess and prevent the failure of safety critical structures. *Journal of Failure Analysis and Prevention, 17*(1), 1–3. https://doi.org/10.1007/s11668-016-0217-8

World Health Organization. (2025). *Cardiovascular diseases (CVDs)*. World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)

An Integrated Machine Learning Model Based on a Star Architecture for Culinary Tourism Analysis and Recommendation in Phetchabun Province

โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องแบบบูรณาการบนโครงสร้างสตาร์สำหรับการวิเคราะห์และแนะนำการท่องเที่ยวเชิงอาหารในจังหวัดเพชรบูรณ์

Yupa Kumtapol[1]*, Thinaphan Nithiyuwith[2] and Tassanan Treenuntharath[1]
ยุภา คำตะพล[1]* ฐิณาภัณฑ์ นิธิยุวิทย์[2] และทัสนันทน์ ตรีนันทรัตน์[1]
[1]Computer Science Program, Faculty of Science and Technology,
Phetchabun Rajabhat University
[1]สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
[2]Information Technology Program, Faculty of Science and Technology,
Phetchabun Rajabhat University
[2]สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
*Corresponding author: yupa.k@pcru.ac.th
Received: September 30, 2025
Revised: November 4, 2025
Accepted: November 11, 2025

Abstract

Significant challenges exist in managing diverse and geographically dispersed data related to tourism and culinary culture. The absence of an efficient data warehouse and Extract–Transform–Load: ETL process limits effective data integration and subsequent analysis using machine learning and recommendation techniques. Furthermore, data security and privacy concerns present additional barriers to the development of intelligent platforms that support sustainable tourism. This study proposes a novel intelligent tourism framework that integrates machine learning techniques with a star schema data warehouse to analyze and recommend gastronomic tourism attractions in Phetchabun Province. Data were collected from 384 tourists through questionnaires based on the 5A framework and from 15 food experts and local entrepreneurs through semi-structured interviews. Unstructured textual responses were processed using Natural Language Processing: NLP techniques to generate a structured dataset. The star schema was designed to efficiently organize multidimensional data, enabling the extraction of key features such as food preferences, destination ratings, demographic attributes, and ingredient information. Structured Query Language: SQL queries were applied to retrieve and aggregate features from multiple relational tables for machine learning analysis. K-Means clustering identified nine moderately distinct clusters (optimal K=9), achieving a Silhouette coefficient of 0.491, a Calinski–Harabasz index of 323.48, and a Davies–Bouldin index of 0.716. The clustering results indicate that older tourists with higher budgets tended to travel longer distances and exhibit more diverse interests, whereas younger, budget-conscious tourists preferred shorter trips. Female-dominated clusters emphasized

satisfaction with food quality and destinations, while male-dominated clusters were associated with longer travel durations or higher expenditures. For food category prediction, Random Forest, Extreme Gradient Boosting: XGBoost, and Multi-Layer Perceptron: MLP achieved 100% classification accuracy, outperforming K-Nearest Neighbors (98.7%) and Logistic Regression (64.9%). In recommendation evaluation, Collaborative Filtering demonstrated superior performance, achieving 100% Recall and Normalized Discounted Cumulative Gain: NDCG, with an optimal recommendation rank of 3. These findings confirm that integrating structured data warehouse design with advanced machine learning and recommendation algorithms enables accurate and personalized gastronomy tourism recommendations. The proposed framework supports the development of tailored travel packages and enhances the overall tourist experience while contributing to sustainable tourism management.

Keywords: machine learning, recommendation, star schema, gastronomy tourism

บทคัดย่อ

จากความท้าทายอย่างมากในการจัดการข้อมูลที่หลากหลายและกระจายอยู่หลายแหล่งที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวและวัฒนธรรมอาหาร การขาดระบบคลังข้อมูล และกระบวนการ ETL ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้การบูรณาการและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง และระบบแนะนำ เป็นไปได้อย่างจำกัด นอกจากนี้ ความกังวลด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูลยังเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาแพลตฟอร์มอัจฉริยะที่สนับสนุนการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางการท่องเที่ยวอัจฉริยะรูปแบบใหม่โดยบูรณาการการเรียนรู้ของเครื่องกับโครงสร้างแบบดาวเพื่อการวิเคราะห์และแนะนำแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในจังหวัดเพชรบูรณ์ ข้อมูลถูกเก็บจากนักท่องเที่ยว 384 คน ผ่านแบบสอบถามตามกรอบ 5A และจากผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารและผู้ประกอบการท้องถิ่น 15 คน ผ่านการสัมภาษณ์ คำตอบที่ไม่มีโครงสร้างถูกประมวลผลด้วยการประมวลผลภาษาธรรมชาติ เพื่อสร้างชุดข้อมูลที่มีโครงสร้าง โดยที่โครงสร้างแบบดาวช่วยจัดระเบียบข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถดึงข้อมูลคุณลักษณะ เช่น ความชอบอาหาร คะแนนจุดหมายปลายทาง ข้อมูลประชากร และส่วนประกอบของอาหาร คำสั่ง SQL ถูกใช้สกัดคุณลักษณะจากหลายตารางสำหรับการวิเคราะห์ด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง ผลการวิเคราะห์ด้วย K-Means clustering พบ 9 กลุ่มที่แตกต่างกันในระดับปานกลาง (Best K=9 Silhouette=0.491 Calinski-Harabasz=323.48 Davies-Bouldin=0.716) นักท่องเที่ยวที่มีอายุสูงและงบประมาณมาก เดินทางไกลและมีความสนใจหลากหลาย ส่วนกลุ่มนักท่องเที่ยวรุ่นใหม่และประหยัดงบ ชอบการเดินทางระยะสั้น กลุ่มที่มีผู้หญิงเป็นส่วนใหญ่เน้นความพึงพอใจด้านอาหารและจุดหมายปลายทาง ขณะที่กลุ่มที่มีผู้ชายเป็นส่วนใหญ่ชอบเดินทางไกลหรือใช้จ่ายสูง ในการทำนายประเภทอาหารที่ชื่นชอบ Random Forest XGBoost และ MLP ให้ความแม่นยำ 100% สูงกว่า KNN (98.7%) และ Logistic Regression (64.9%) สำหรับการแนะนำ Collaborative Filtering ทำงานได้ดีที่สุดโดยได้ Recall และ NDCG 100% อันดับคำแนะนำที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ 3 อันดับ ผลวิจัยยืนยันว่า การรวมการจัดการข้อมูลที่มีโครงสร้างกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องและการแนะนำขั้นสูง สามารถให้คำแนะนำท่องเที่ยวที่แม่นยำและเฉพาะบุคคล สนับสนุนการจัดแพ็กเกจท่องเที่ยวตามความต้องการ และยกระดับประสบการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยว

คำสำคัญ: การเรียนรู้ของเครื่อง การแนะนำ โครงสร้างแบบดาว การท่องเที่ยวเชิงอาหาร

Introduction

Phetchabun Province Development Plan 2023–2027 emphasizes, under Development Focus 2, the promotion and development of tourism to create added value, with particular priority given to establishing a smart city and advancing tourism innovation through digital technology (Nithiyuwith et al., 2024). The province has launched a tourism promotion campaign called "Phetchabun Must 678", which highlights 6 souvenirs to buy, 7 must-try dishes, and 8 tourist attractions (Kamtapol, 2019). Both tourist sites and local cuisine are key components that should be developed simultaneously, as they attract visitors to explore communities, enjoy the beauty of various attractions, and taste or purchase famous local products as gifts. This approach effectively stimulates the local economy and contributes to sustainable development. (Faizy & Sutopo, 2025)

A survey of Phetchabun Province, which serves as the research area, identified 7 distinctive must-try dishes that can be integrated into culinary tourism routes: Grilled Chicken from Wichian Buri, Grilled Fish from Pa Daeng, Lum Kluen Na Ngua, Grilled Chicken with Khao Buea from Bung Nam Tao, Duck Larb from Lom Sak, Khon Sen from Lom Kao, and Khao Lam Phaya Lum Kaeng Nam Nao. These dishes can be connected with the history of tourist sites, local knowledge of ingredients and community experts, and travel routes to various attractions, creating a "City of Culinary Culture" concept that enhances the appeal to both domestic and international tourists while offering them unique new experiences. (Panyadee et al., 2022).

However, there are significant challenges in managing diverse and dispersed data related to tourism and culinary culture. Data on tourists' behavior, as well as information on related tourism locations and local food characteristics, are often collected from multiple distributed sources. This makes it challenging to efficiently integrate and process the data for machine learning algorithms that support tourists' decision-making. Distributed data collection frequently produces heterogeneous data, which further increases the complexity of the machine learning training process (Chen et al., 2025). In addition, these distributed sources often contain both structured and unstructured data, requiring effective techniques for management and integration. Proper integration enables the linking of data properties across multiple sources, thereby enhancing the performance of machine learning algorithms in clustering and predicting tourists' behaviors, preferred local products, and tourism routes.

The Star Schema is an efficient design technique for a Data Warehouse, enabling fast data retrieval (Ekeh et al., 2025). The Dimension Tables provide contextual information, helping the model better understand relationships among variables. When combined with ETL processes and a data pipeline, the Star Schema allows for continuous updating and processing of new data, thereby enhancing the accuracy of machine learning predictions (Padron-Uy et al., 2025). In tourism applications, the Star Schema can link multiple data tables—such as tourist behavior, destination geolocations, and local food characteristics—without transferring the entire dataset to a central database. This approach distributes data storage tasks, preserves the privacy of sensitive tourist information, and reduces the number of joins required during downstream analysis, enabling faster aggregations and drill-downs in business intelligence tools (Liljedahl, 2025; Fouzul Kareema & Bt Zubairi, 2021). Additionally, it supports machine learning algorithms for clustering, classification, and recommendation, allowing the system to suggest suitable local food products and complementary tourism routes for tourists. By combining recommendation algorithms with machine learning techniques such as classification and clustering models, it is possible to develop more effective personalized recommendation systems for tourism city cultural and creative products. This approach particularly utilizes a

hybrid recommendation model that integrates user profiles—based on behavioral and demographic data—with a multi-task learning framework. The framework enables the system to learn shared features across related recommendation tasks, thereby enhancing both accuracy and personalization (Zhang, 2025; Faizy & Sutopo, 2025). By leveraging this intelligent digital platform, communities can effectively stimulate the grassroots economy and generate tangible benefits for local residents.

Objective

1. To design an effective Star Schema for collecting and organizing distributed datasets related to gastronomy tourism in Phetchabun Province.

2. To develop machine learning and recommendation algorithms on a star schema for analyzing the data and providing recommendations for gastronomy tourism attractions in Phetchabun Province.

3. To evaluate the performance of machine learning and recommendation algorithms on a star schema for gastronomy tourism attractions in Phetchabun Province

Methodology

The research methodology consisted of three main components, detailed as follows.

1. Developing a Star Schema for collecting and organizing the three distributed data sources of food tourism

In this study, the Star Schema plays a key role because tourism and culinary culture data are diverse and scattered across multiple sources. The Star Schema enables the integration of both structured and unstructured data into a format suitable for analysis with Machine Learning and Recommendation Systems. The overall system includes steps for collecting tourist data, processing unstructured data with NLP, integrating it into the Star Schema, and applying it in Machine Learning and recommendation algorithms. Serving as the central hub, the Star Schema links all data, supporting accurate analysis and personalized recommendations, while helping the audience understand both the database design and the rationale for using a dimensional model in this research.

The developed Star Schema stores food tourism data in the Fact Table as central data, enabling efficient retrieval of relevant information for processing with machine learning algorithms. In our database system, Fact_FoodTourism serves as the central fact table, containing key information about tourists, foods, and tourism destinations. Each row in this table indicates the foods a tourist likes and the destinations they have visited, along with the favorite food score and the average score of the visited destination.

The Dim_Tourist table is a dimension table containing personal information about tourists, such as gender, age, and travel budget, which can be used to analyze tourist behavior and preferences. The Dim_Food table is a dimension table for foods, with each record including the food name and its ingredients, aiding in categorizing foods or providing personalized food recommendations based on tourist preferences. The Dim_TourismDestination table is a dimension table for tourism destinations, storing the destination ID, name, latitude, and longitude.

The Fact Table uses Tourist_ID, Food_ID, and TourismDestination_ID as foreign keys linking

to the three dimension tables. Related features in the fact table are connected to attributes in the dimension tables Such as Ingredients, Favorite food's score, and Visited tourism destination's average score, allowing their values to be retrieved and used in machine learning algorithms for analysis and processing, as illustrated in the data structure below.

From Table 1, the Fact Table of the Star Schema contains data from 384 sampled tourists, linked to three Dimension Tables. The sample includes 240 Thai tourists (62.5%) and 144 international tourists (37.5%), distributed across four age groups: 18–25 years (96 tourists, 25%), 26–35 years (120 tourists, 31.25%), 36–45 years (88 tourists, 22.9%), and 46 years and above (80 tourists, 20.8%). The gender distribution is evenly split, with 192 males (50%) and 192 females (50%), and other demographic characteristics such as education level and income range are also recorded to ensure the dataset accurately represents the target population.

SQL commands were used to extract features including nationality, age, gender, preferred foods, and visited destinations. These features were then utilized to build clustering, classification, and recommendation models aimed at identifying tourists' preferred foods and tourism destinations, as illustrated in the example SQL command below.

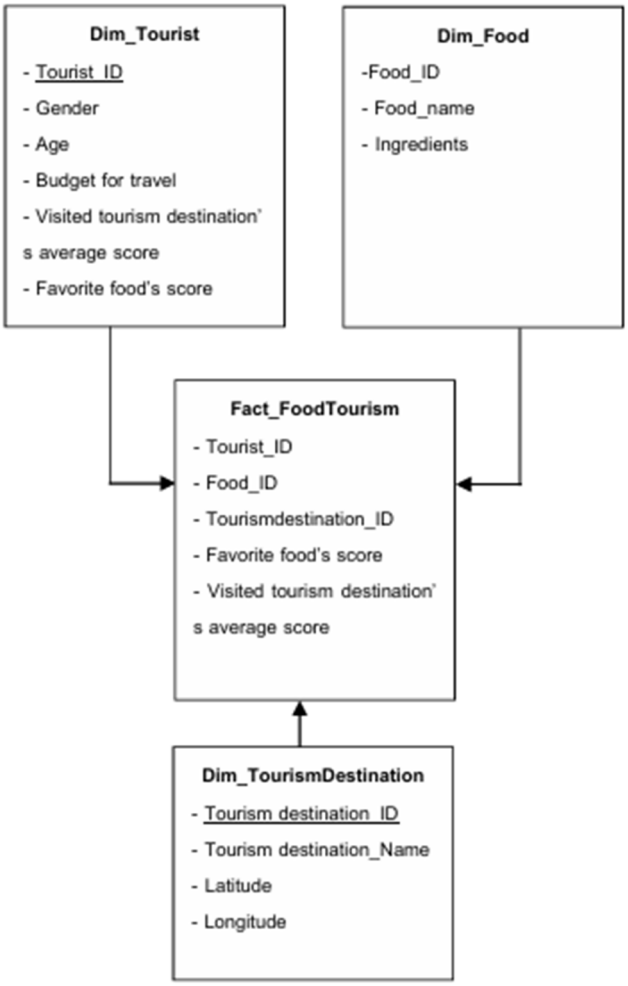


Figure 1 Star Schema for collecting the food tourism data

Table 1

Fact table of Star Schema stored the food tourism data

Tourist_ID	Food_ID	Tourism destination_ID	Favorite food's score	Visited tourism destination' s average score
1	F1	D1	5	4
2	F1	D2	5	4.5
...	...	...	...	...
384	F3	D3	3.25	4.6

To provide further clarification regarding the dataset, 384 complete and consistent records remained after preprocessing, covering all relevant variables. The data were divided into training and testing sets using a 70:30 split to ensure balanced model evaluation and reduce the risk of overfitting. Given the moderate dataset size, numerical variables were normalized, and categorical variables, such as gender, food type, and travel destination, were encoded. No artificial data augmentation was applied, preserving the authenticity of actual tourist behavior.

During preprocessing for machine learning, categorical variables were systematically transformed to ensure compatibility with algorithms such as Random Forest, XGBoost, and Neural Networks, which cannot process textual data directly. For categorical variables with two or more unordered levels, like gender, label encoding was applied, representing male and female as 0 and 1, respectively. Variables with multiple unordered categories, such as food types or travel destinations, were encoded using one-hot encoding, where each category was converted into a separate binary column. This approach prevented the models from inferring any ordinal relationship between categories and ensured compatibility across various algorithms.

2. Developing the clustering and classification model by machine learning, and recommendation algorithm of favorite foods and tourism destinations of interest to tourists.

In this development, tourists' preferences are analyzed through an integrated and systematically connected process. It starts with K-Means clustering, which groups tourists based on similarities in their favorite foods and travel behaviors, enabling the identification of patterns within each group. Next, classification models are applied to predict each tourist's preferred type of food, using insights from the clustering step to better understand trends and tendencies within each group and improve prediction accuracy. Finally, a recommendation algorithm generates personalized suggestions. This integrated system delivers recommendations that are tailored both to individual tourists and to the overall patterns observed in each group.

Data from the fact table were queried using SQL commands and used to develop clustering and classification models with machine learning algorithms. Feature selection was informed by domain knowledge. For classification tasks, key variables included gender, age, travel budget, Ingredients_encoded, and Distance_km. For recommendation tasks, features combined user-related information (e.g., demographics and past preferences) with item-related information (e.g., food ingredients and tourism destination characteristics). This careful selection of features enabled accurate prediction of tourists'

preferred food categories and supported the hybrid recommendation system in generating personalized, contextually relevant suggestions.

2.1 K-Means clustering was used to organize tourists into groups according to their similar preferences for favorite foods and tourism destinations. By using a feature vector composed of Ingredients, Distance_km, and Budget_for_travel, the method identifies patterns in tourists' tastes and travel habits.

2.2 Classification modeling algorithms was used to predict each tourist's preferred food category. Using a feature vector composed of Gender, Age, Budget_for_travel, Ingredients_encoded, and Distance_km, the model learns patterns in tourists' preferences and behaviors. The approach applies algorithms such as Random Forest, XGBoost, or Neural Networks to assign each tourist to a food class (F1, F2, F3, ...) based on their characteristics and proximity to attractions. We set up five classification models to predict tourists' preferred food categories, each with specific characteristics and parameter settings in the algorithms as follows.

2.2.1 Random Forest is an ensemble learning model builds multiple decision trees and aggregates their outputs to enhance predictive accuracy. In this study, 200 trees were implemented to improve stability, and random_state=42 ensured reproducible results. Key hyperparameters, including max_depth (maximum depth of trees), min_samples_split (minimum samples needed to split a node), and min_samples_leaf (minimum samples at a leaf node), were fine-tuned using grid search to achieve an optimal balance between bias and variance.

2.2.2 XGBoost is a boosting algorithm that constructs trees sequentially, correcting errors from prior iterations. For this research, 200 boosting rounds (n_estimators=200) were employed, and multi-class log loss was used as the evaluation metric. Hyperparameters such as eta (learning rate) and max_depth were carefully adjusted to enhance convergence and model performance. The internal label encoder was disabled to avoid warnings. These adjustments allowed the model to effectively capture complex non-linear patterns while reducing the risk of overfitting.

2.2.3 Neural Network: MLP: A fully connected neural network with two hidden layers (64 and 32 neurons). It can learn non-linear relationships between features such as gender, age, budget, ingredients, and distance to attractions. The maximum iteration was set to 500 for sufficient training.

2.2.4 Logistic Regression: A simple linear model serving as a baseline. Configured for multi-class classification with 500 iterations, it provides a straightforward comparison for more complex models.

2.2.5 K-Nearest Neighbors (KNN): A distance-based model that predicts a tourist's food category using the five nearest neighbors, which was determined as the optimal value of k through testing.

2.3 Three recommendation approaches—Content-Based: CB, Collaborative Filtering: CF, and Hybrid Filtering—were applied to recommend foods and tourism destinations to tourists, and their performance was tested in providing the top 3, 5, and 7 favorite lists. The concepts of the recommendation algorithms compared in this study are described below.

2.3.1 Content-Based Filtering: CBF: Similarity between tourists was calculated using cosine similarity on the scaled features, and recommendations were generated based on foods preferred by similar tourists (Widiantari et al., 2025; Nithiyuwith et al.,2025), as shown in Pseudo code below.

2.3.2 Collaborative Filtering: CF: A User-Item Matrix was created from tourists' favorite food scores, and Singular Value Decomposition: SVD was applied to predict ratings for unobserved items. Top-rated food categories were then selected

for each tourist (Li et al., 2025), as shown in Pseudo code below.

In this study, SVD: Singular Value Decomposition) was chosen because it can efficiently handle sparse user-item matrices, a common issue arising from the fact that many tourists have not rated every food category. SVD extracts latent features of both users and food items, enabling the system to predict ratings for unrated items and generate personalized recommendations. Additionally, SVD helps reduce data dimensionality while preserving the most important relationships between users and items. This allows the system to identify food categories that each tourist is likely to rate highly, even when some ratings are missing. The ability to model latent features makes SVD particularly suitable and effective in the context of culinary tourism, where user preferences are diverse and the dataset is partially incomplete.

2.3.3 Hybrid Approach: Recommendations from CBF and CF (Sarkar, 2025) were combined using a voting-based method, prioritizing foods that appeared in both lists to generate personalized and cluster-aware suggestions, as shown in Pseudo code bellow.

Table 2

Example SQL commands for retrieving data on tourists, destinations, and foods

Condition	SQL Command	Description
1. Tourist destinations within 5 km	SELECT f.Tourist_ID, t.Gender, t.Age, t.Budget_for_travel, d.Tourismdestination_ID, d.Tourism_destination_Name, (6371 * ACOS(COS(RADIANS(tour.Latitude)) * COS(RADIANS(d.Latitude)) * COS(RADIANS(d.Longitude) - RADIANS(tour.Longitude)) + SIN(RADIANS(tour.Latitude)) * SIN(RADIANS(d.Latitude)))) AS distance_km FROM Fact_FoodTourism f JOIN Dim_Tourist t ON f.Tourist_ID = t.Tourist_ID JOIN Dim_TourismDestination d ON f.Tourismdestination_ID = d.Tourismdestination_ID JOIN Tourist_Location tour ON f.Tourist_ID = tour.Tourist_ID WHERE (6371 * ACOS(COS(RADIANS(tour.Latitude)) * COS(RADIANS(d.Latitude)) * COS(RADIANS(d.Longitude) - RADIANS(tour.Longitude)) + SIN(RADIANS(tour.Latitude)) * SIN(RADIANS(d.Latitude)))) <= 5 ORDER BY f.Tourist_ID, distance_km;	Retrieve tourist destinations located within 5 km of the tourists
2. Foods without meat ingredients	SELECT f.Tourist_ID, fd.Food_ID, fd.Food_name, fd.Ingredients, f.Favorite_food_score FROM Fact_FoodTourism f JOIN Dim_Food fd ON f.Food_ID = fd.Food_ID WHERE LOWER(fd.Ingredients) NOT LIKE '%meat%' AND LOWER(fd.Ingredients) NOT LIKE '%chicken%' AND LOWER(fd.Ingredients) NOT LIKE '%pork%' AND LOWER(fd.Ingredients) NOT LIKE '%beef%' ORDER BY f.Tourist_ID, f.Favorite_food_score DESC;	Retrieve foods that do not contain meat ingredients (e.g., beef, chicken, pork)
3. High-rated destinations and foods	SELECT f.Tourist_ID, fd.Food_ID, fd.Food_name, f.Favorite_food_score, d.Tourismdestination_ID, d.Tourism_destination_Name, f.Visited_tourism_destination_average_score FROM Fact_FoodTourism f JOIN Dim_Food fd ON f.Food_ID = fd.Food_ID JOIN Dim_TourismDestination d ON f.Tourismdestination_ID = d.Tourismdestination_ID WHERE f.Favorite_food_score >= 4.5 AND f.Visited_tourism_destination_average_score >= 4.5 ORDER BY f.Favorite_food_score DESC, f.Visited_tourism_destination_average_score DESC;	Retrieve tourist destinations and foods with high scores (≥ 4.5)

Table 3

CBF Algorithm

Line	Source code
1	for each tourist in tourists:
2	F[tourist] = combine_features(Ingredients_vector(tourist), scale(Favorite_food_score[tourist]), scale(Distance_km[tourist]), scale(Budget_for_travel[tourist]))
3	for each tourist u in tourists:
4	for each tourist v in tourists:
5	if u != v:
6	similarity[u][v] = cosine_similarity(F[u], F[v])
7	for each tourist u in tourists:
8	similar_tourists = top_K(similarity[u], K=5)
9	recommended_foods[u] = aggregate_favorite_foods(similar_tourists)
10	recommended_foods[u] = sort_by_score(recommended_foods[u])

Table 4

CF Algorithm

Line	Source code
1	R = create_user_item_matrix(tourists, foods, scores)
2	U, Sigma, Vt = SVD(R)
3	predicted_scores = U @ Sigma @ Vt
4	for u in tourists:
5	recommended_foods_CF[u] = top_N(predicted_scores[u], N=5)

Table 5

Hybrid Algorithm

Line	Source code
1	for u in tourists:
2	cbf_list = recommended_foods_CBF[u]
3	cf_list = recommended_foods_CF[u]
4	hybrid_scores = {}
5	for food in cbf_list:

Table 5 (continue)

Line	Source code
6	hybrid_scores[food] = hybrid_scores.get(food, 0) + 1
7	for food in cf_list:
8	hybrid_scores[food] = hybrid_scores.get(food, 0) + 1
9	recommended_foods_hybrid[u] = sort_by_score(hybrid_scores)
10	recommended_foods_hybrid[u] = recommended_foods_hybrid[u][:N]

3. Performance assessment for the proposed algorithm with other algorithms

For Clustering, tourists are grouped by similar preferences. Cluster quality is assessed using the Silhouette Score, as shown in Equation 1.

$$S(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i)} \quad (1)$$

where $a(i)$ is the intra-cluster distance and $b(i)$ is the nearest-cluster distance. Features such as Ingredients, Distance_km, and Budget_for_travel are used to form meaningful clusters for personalized recommendations.

To evaluate the proposed Classification, Clustering, and Hybrid Recommendation algorithms, we applied concise and systematic assessment methods. For Classification, the goal is to predict each tourist's preferred food category. Performance is measured using Accuracy and F1-Score, as shown in Equation 2 – 3.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2)$$

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

For Hybrid Recommendation, the system suggests foods and destinations using outputs from Classification, Clustering, and side features. Recommendation quality is measured with *Precision@K, Recall@K, and NDCG@K,* as shown in Equation 4 – 6.

$$Precision@K = \frac{|RecommendedK \cap Relevant|}{K} \quad (4)$$

$$Recall@K = \frac{|RecommendedK \cap Relevant|}{Relevant} \quad (5)$$

$$NDCG@K = \frac{DCD@K}{IDCG@K} \quad (6)$$

Experiment Results

1. The results of using the K-Means clustering to group tourists based on their similar preferences for food and travel destinations, as presented in the following results.

From Figure 2, the analysis using K-Means clustering revealed that the optimal number of clusters is 9 (Best K=9). The Silhouette Score is 0.491, indicating a clear separation of tourist groups. The Calinski-Harabasz Score is 323.48, reflecting the density and distinctness of each cluster, while the Davies-Bouldin Score is 0.716, suggesting a moderate level of difference between the clusters.

From Figure 3, the number of samples in each cluster varies. Cluster 0 is the largest, with 65 tourists, followed by Cluster 1 and Cluster 5, each with 54 tourists. The smallest cluster is Cluster 2, with only 21 tourists. This indicates that there are both large groups of tourists with similar interests or behaviors and smaller groups with more unique characteristics. This information can be used to plan marketing strategies or design travel routes that effectively meet the needs of each group.

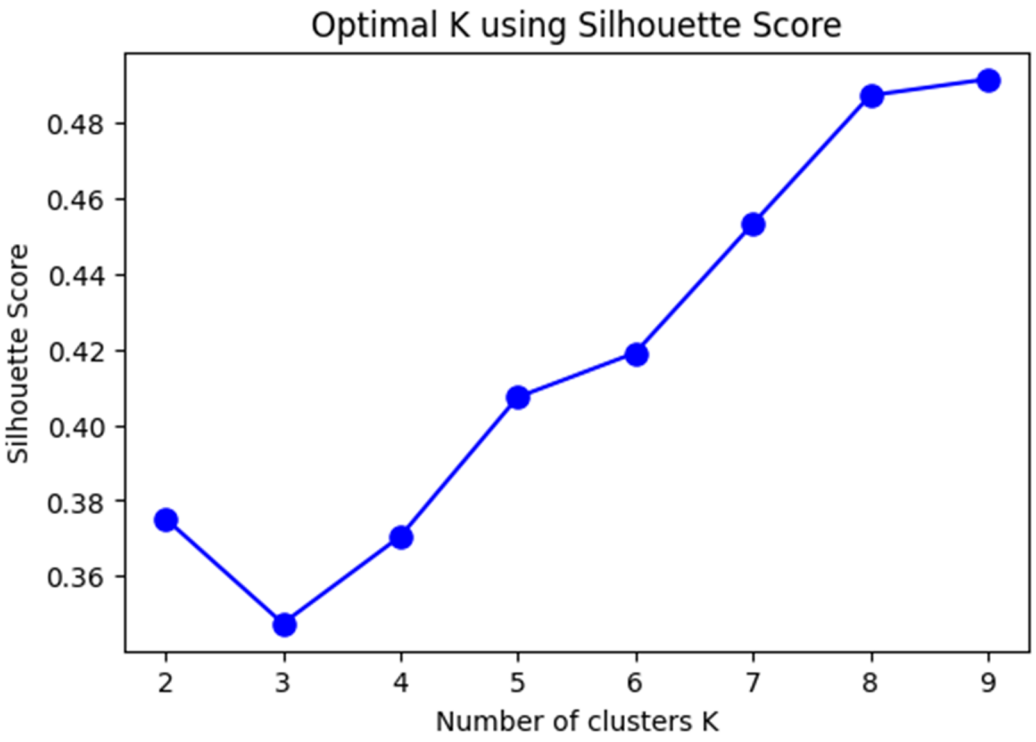


Figure 2 Finding optimal K in K-Means clustering

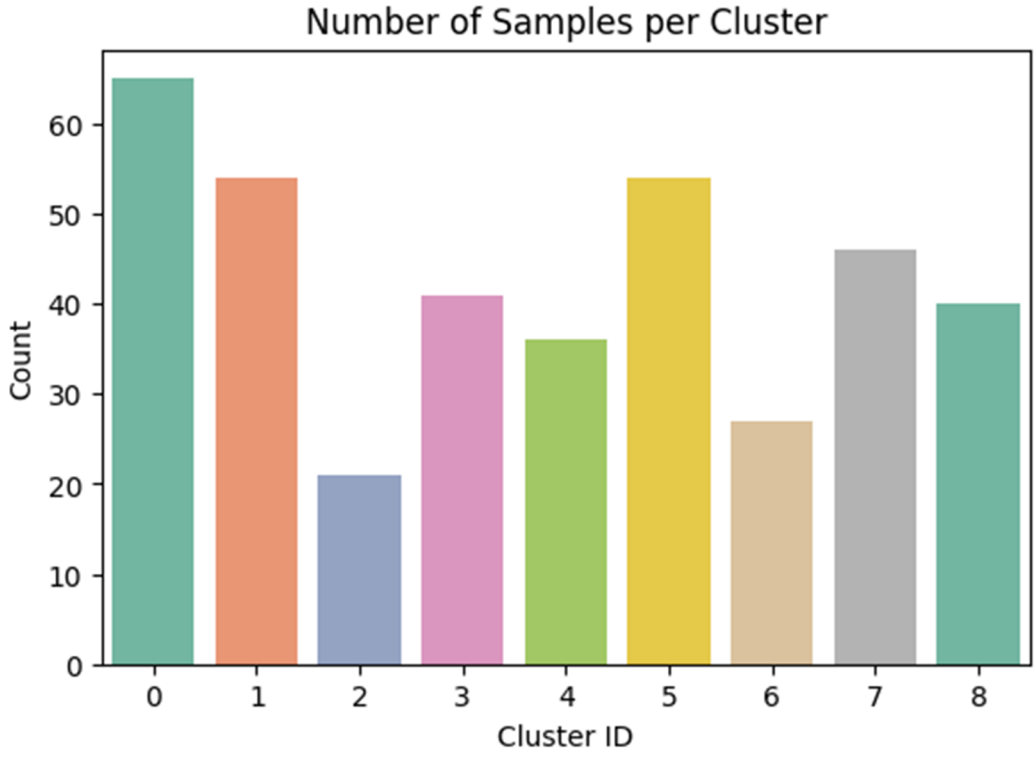


Figure 3 The number of tourist samples in each cluster

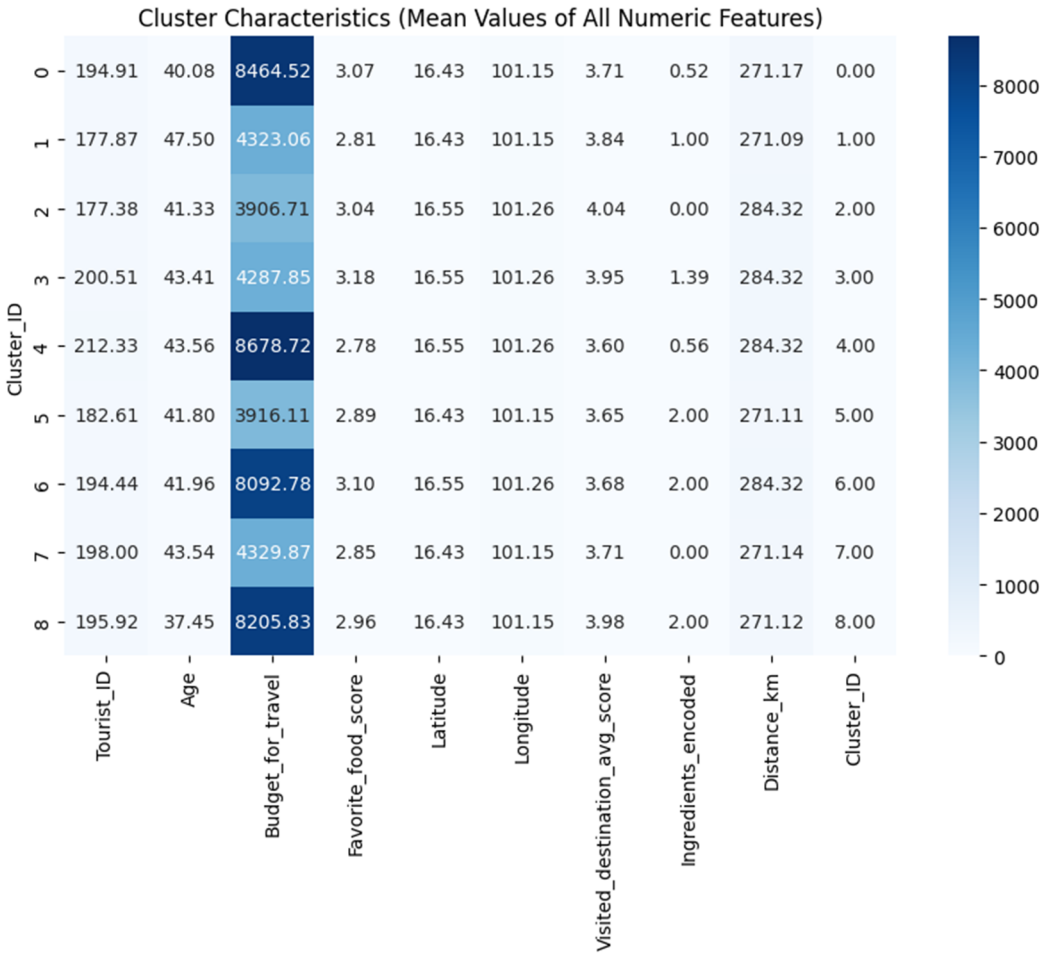


Figure 4 Cluster characteristics of the tourists in food tourism destinations

From Figure 4, the in-depth analysis of the relationship between gender, age, and travel budget with tourists' behaviors and interests in each cluster can be described as follows: Each tourist cluster exhibits distinct characteristics in terms of gender, age, and travel budget. Clusters with older tourists and higher budgets, such as Cluster 0 and Cluster 4, tend to travel longer distances and show diverse interests in food and tourist destinations. In contrast, clusters with younger tourists and limited budgets, such as Cluster 2 and Cluster 5, generally travel shorter distances and focus more on specific foods and destinations. Moreover, the gender composition within each cluster reflects differences in preferences. Clusters with a higher proportion of women tend to place greater importance on satisfaction with destinations and food, whereas clusters with more men are more likely to focus on longer trips or higher spending.

2. The results of using the classification modeling algorithms to predict each tourist's preferred food category, as presented in the following results.

From Table 6, the comparison of Accuracy across different classification models on the food tourism destination dataset shows that

Random Forest, XGBoost, and Neural Network: MLP achieved the highest Accuracy of 100%, indicating that these models can perfectly predict tourists' preferred food categories. The K-Nearest Neighbors: KNN model also performed very well, achieving an Accuracy of 98.7%. While slightly below 100%, it was still able to correctly predict nearly all food categories, demonstrating that leveraging the similarity between tourists can effectively support accurate predictions. In contrast, Logistic Regression had a lower Accuracy of 64.9%, suggesting that a linear model struggles to capture the complex relationships between gender, age, budget, ingredients, and distance, unlike tree-based models or neural networks.

3. The results of comparing the performance of Content-Based: CB, Collaborative Filtering: CF, and Hybrid Filtering to suggest foods and tourism destinations for the tourists, as presented in the following results.

From Table 7, the comparison of the three recommendation approaches indicates that Collaborative Filtering: CF demonstrates the highest performance, achieving Precision, Recall, and NDCG values that are consistently close to or at 100% across all Top-K levels. This highlights its superior accuracy and comprehensive coverage in matching tourists' preferences. In contrast, Content-Based Filtering: CB performs slightly lower, with Precision decreasing as the Top-K value increases. However, Recall remains nearly perfect at 100%, and NDCG also stays at a high level, reflecting its reliable recommendation capability despite being somewhat less accurate than CF. Meanwhile, the Hybrid Filtering approach achieves Recall values equal to 100% and Precision comparable to both CF and CB, but its NDCG score is noticeably lower (90.3%), indicating less effective ranking of recommendations. In summary, CF outperforms the other methods across all evaluation metrics, CB provides solid performance, while Hybrid Filtering shows limitations in ranking quality.

Table 6

Comparison of results of using classification modeling algorithms on the food tourism destination dataset

Model	Accuracy
Random Forest	100%
XGBoost	100%
Neural Network: MLP	100%
Logistic Regression	64.9%
K-Nearest Neighbors: KNN	98.7%

Table 7

Comparing performance of the recommendation algorithms to suggest foods and tourism destinations for the tourists

Method	Top-K	Precision	Recall	NDCG
Content-Based: CB	3	33.2%	99.7%	99.7%
	5	20.0%	100.0%	99.9%
	7	14.3%	100.0%	99.9%
Collaborative Filtering: CF	3	33.3%	100.0%	100.0%
	5	20.0%	100.0%	100.0%
	7	14.3%	100.0%	100.0%
Hybrid Filtering	3	33.3%	100.0%	90.3%
	5	20.0%	100.0%	90.3%
	7	14.3%	100.0%	90.3%

Discussion

In summary, the application of the 5A's concept—Attraction, Accessibility, Accommodation, Amenities, and Activities—provides a holistic framework for understanding tourist satisfaction and revisit intentions. It highlights how multiple tourism elements collectively influence visitor experiences and behaviors, offering valuable insights for developing effective tourism management strategies that enhance satisfaction, encourage repeat visits, and support the sustainable growth of the tourism industry (Warbung et al., 2021; Ali, 2022). The developed Star Schema effectively organizes food tourism data by linking the Fact_FoodTourism table with its corresponding dimension tables. Through structured SQL queries, relevant features and values were extracted to support the clustering, classification, and recommendation models. The Star Schema serves as a robust foundation for machine learning integration, particularly for algorithms related to clustering, classification, and recommendation. Its multidimensional design enables efficient feature extraction and seamless access to relevant variables, allowing the system to deliver personalized recommendations for local food experiences and tourism routes. As a result, the Star Schema not only enhances data organization and retrieval efficiency but also strengthens scalability, analytical precision, and the practical applicability of the proposed recommendation framework in culinary tourism research. K-Means clustering revealed several distinct tourist segments with moderately well-separated groups. The cluster sizes varied, reflecting both mainstream and niche tourist behaviors. Older tourists with higher budgets tended to travel longer distances and pursue diverse interests, while younger, budget-conscious travelers preferred shorter trips to specific destinations. Gender also influenced preferences: female-dominated clusters placed greater emphasis on satisfaction with food and destinations, whereas male-dominated clusters focused more on longer trips or higher spending. These findings provide valuable insights for targeted marketing and customized travel planning. Similarly,

Siharad and Sookprasert (2024) and Liang (2025) applied machine learning techniques, including classification and clustering algorithms, to build predictive models that assist entrepreneurs in decision-making and hotel business management planning. Prediction of preferred food categories showed that tree-based models and neural networks achieved perfect accuracy, K-Nearest Neighbors slightly lower, and Logistic Regression performed poorly. This indicates that non-linear models are more effective at capturing complex relationships between tourist attributes and food preferences.

The recommendation performance shows that Collaborative Filtering: CF consistently outperformed other methods across all Top-K levels, achieving high precision, recall, and ranking quality. Content-Based Filtering: CB maintained high recall and ranking performance but exhibited slightly lower precision at larger Top-K values. Hybrid Filtering achieved comparable precision and recall to CF but demonstrated lower ranking effectiveness, likely due to conflicts arising when combining CB recommendations, indicating that further tuning may be needed to improve its performance. CF's superior results are attributed to its ability to capture latent relationships between users and items, while CB is constrained by manually designed features. Applying these recommendation algorithms can guide tourists toward attractions aligned with their preferences and suggest destinations that accommodate various activities while considering site capacity and available tourism resources. This approach promotes a balanced integration of tourism and conservation, supporting long-term sustainability (Siharad et al., 2023).

This study has several technical limitations. The cold start problem remains a major challenge, as the current recommendation system cannot provide accurate suggestions for new users or newly added tourist attractions without historical data. This may bias recommendations toward more popular items. However, the research design—particularly the use of a Star Schema for data management and detailed analysis of user and attraction features—offers flexibility for future improvements. For example, a Hybrid Recommendation approach that combines content-based data with existing user information could help mitigate the cold start issue. The dataset is also limited, with only 384 tourists and 15 experts, which may reduce the diversity and representativeness of behaviors. As a result, clustering and predictive modeling may be less stable for smaller or specific subgroups. Expanding the dataset and integrating multiple data sources in the future could enhance completeness, representativeness, and model robustness. In terms of generalizability, while the framework performed well for gastronomy tourism in Phetchabun Province, results may not directly apply to other regions, tourism types, or cultural contexts. Nevertheless, the flexible design allows adaptation to new data and scenarios, and further testing with larger, more diverse datasets could improve reliability and practical applicability. Clustering tourists into nine groups helps design culinary tourism programs tailored to each segment. For instance, groups preferring local cuisine with limited budgets can be guided to affordable routes and restaurants, while premium-experience groups can receive high-end packages. This segmentation also supports targeted marketing and promotion. Although the recommendation system achieves nearly 100% recall, some precision values remain low, meaning some suggestions may not perfectly match tourists' preferences. Improving ranking is therefore essential to maximize satisfaction. Other limitations include

incomplete data, which can reduce prediction accuracy, and content-based features that may not fully capture complex preferences. In hybrid filtering, recall is high, but ranking performance still lags behind collaborative filtering. Future enhancements could include adding new features, refining ranking techniques, and updating data in real time.

Conclusion

This study demonstrates the effectiveness of combining structured data management with machine learning to enhance the food and tourism experience. Tourist, food, and destination data were organized in a Star Schema, consolidating multiple sources into a central data warehouse and enabling efficient SQL queries for feature extraction and personalized recommendations. K-Means clustering identified distinct tourist groups with varying ages, budgets, travel distances, and interests. Classification models, including Random Forest, XGBoost, and MLP, effectively predicted tourists' preferred food categories, outperforming KNN and Logistic Regression. Key features, such as food preferences, destination ratings, demographics, and food ingredients, were efficiently organized and extracted for analysis. For recommendation performance, Collaborative Filtering delivered the most effective results, especially for top-3 recommendations. These findings demonstrate that integrating structured data management with advanced machine learning and recommendation algorithms can provide accurate, personalized tourism recommendations, support tailored travel packages, and enhance the overall tourist experience.

Future research could expand the analysis by incorporating real-time tourist behavior data, such as social media activity or location tracking, to provide dynamic recommendations. Sentiment analysis from reviews and feedback could further improve predictions of tourist satisfaction and preferences. Additionally, exploring advanced hybrid recommendation methods and deep learning techniques may enhance the accuracy of personalized recommendations and support scalability for a larger and more diverse tourist population.

Acknowledgememt

The authors would like to thank Phetchabun Rajabhat University (PSRU) for their support and the FF Foundation, Year 2024 for funding this research. The authors also sincerely appreciate all the tourists and specialists who participated, providing valuable data and insights for this study.

References

Ali, T. A. T. (2022). GIS-based model: 5A's business tourisms attractions tourism, accommodations, access transportation, amenity service, awareness. *Asian Research Journal of Current Science, 4*(1), 188-196. https://jofscience.com/index.php/ARJOCS/article/view/50.

Chen, C., Liao, T., Deng, X., Wu, Z., Huang, S., & Zheng, Z. (2025). Advances in robust federated learning: A survey with heterogeneity considerations. *IEEE Transactions on Big Data, 11*(3), 1548-1567. https://doi.org/10.1109/TBDATA.2025.3527202.

Ekeh, A. H., Apeh, C. E., Odionu, C. S., & Austin-Gabriel, B. (2025). *Advanced data warehousing and predictive analytics for economic insights: A holistic framework for stock market trends and GDP analysis*. Unpublished Manuscript.

Faizy, A., & Sutopo, J. (2025). Design and implementation of a mobile tourist recommendation system for sleman using the Haversine formula. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI), 11*(2), 305-321. https://doi.org/10.26555/jiteki.v11i2.30220

Fouzul Kareema, M. I., & Bt Zubairi, A. M. (2021). Item objective congruence analysis for multidimensional items content validation of a reading test in Sri Lankan University. *English Language, 15*(1), 106-117. https://doi.org/10.5539/elt.v15n1p106

Li, Z., Long, G., Zhou, T., Jiang, J., & Zhang, C. (2025). Personalized federated collaborative filtering: A variational autoencoder approach. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 39*(17), 18602-18610. https://doi.org/10.1609/aaai.v39i17.34047

Liang, X. (2025). Research on resume automtic analysis and matching technology based on machine learning and natural language processing. In L. B. Romdhane (Ed.), *2025 International Conference on Digital Analysis and Processing, Intelligent Computation (DAPIC)* (pp. 261-265). IEEE.

Liljedahl, W. (2025). *Designing and implementing a data architecture for a medium-sized business* [Master's thesis, University of Applied Sciences]. https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2025060621096

Kamtapol, Y. (2019). A Tourism promotion application: Six must-buy souvenirs in Phetchabun Province using virtual reality technology [In Thai]. *Journal of Technology Management, Hanacaraka Rajabhat University, 6*(1), 179-189. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/itm-journal/article/view/162296

Nithiyuwith, T., Threenuntharath, T., Kumtapol, Y., & Chaibuth, P. (2025). A recommendation for designing tamarind packaging by using content-based ontology techniques [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 19*(2), 38–53. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/274392

Nithiyuwith, T., Treenuntharath, T., & Kumtapol, Y. (2024). The development of semantic virtual reality media for promoting health tourism in Khaokho District, Phetchabun Province [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 18(*1), 90–106. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/262266

Padron-Uy, J., Gagnier, K., Parihar, A., Hains, G., & Wong, A. (2025). *Scaling a data warehouse system with machine learning integration for stock market forecasting*. TechRxiv. https://doi.org/10.36227/techrxiv.174060003.35239737/v1

Panyadee, T., Khunwong, N., Tungchawal, K., Pieonoi, P., & Piemsanga, C. (2022). Generating creative tourism routes within Phetchaburi through the innovative use of local food products [In Thai]. Journal of Humanities and Social Sciences Review, 24(1), 7–24. https://so05.tci-thaijo.org/index.php/hspbruacthjournal/article/view/259442

Sarkar, S. (2025). Development of a hybrid recommendation system using collaborative filtering and content-based filtering techniques. *IRE Journals, 8*(11), 2274-2284. https://ssrn.com/abstract=5341012

Siharad, D., & Sookprasert, A. (2024). Improving performance of using machine learning techniques and application for perceiving tourists' hotel staying behaviors [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 18*(1), 161–175. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/264174

Siharad, D., Sukparseart, A., Pakamwang, J., & Sricharoen, J. (2023). The recreation tourism recommendation system in Khaokoh District, Phetchabun Province by using tourists' unstructured attraction review and check-in data [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(2), 176–188. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/261625

Warbung, C. J., Tulung, J. E., & Saerang, R. T. (2021). Analysis of tourist satisfaction based on 5a's of tourism elements towards tourist revisit intention to Tomohon City. *Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi, 9*(2), 189-198. https://doi.org/10.35794/emba.v9i2.33336

Widiantari, N. P. T., Suarjaya, I. M. A. D., & Rusjayanthi, N. K. D. (2025). Food recipe recommendation system with content-based filtering and collaborative filtering methods. *Sinkron: Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika, 9*(3), 1167-1776. https://doi.org/10.33395/sinkron.v9i3.14778

Zhang, S. (2025). Integrating user profiles and collaborative filtering for smart recommendation of tourism city cultural and creative products. *International Journal of High Speed Electronics and Systems, 34*(4), 2540296. https://doi.org/10.1142/S0129156425402967

ผลของการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจในหอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่

The Effect of using a Weaning Assessment Guideline in the Intensive Care Unit at Sanpatong Hospital, Chiang Mai

เสาวนีย์ เรือนหลวง[1] และอรรถวิทย์ จันทร์ศิริ[2]*
Saowanee Ruanluang[1] and Utthawit Jannsiri[2]*
[1]กลุ่มงานการพยาบาล โรงพยาบาลสันป่าตอง
[1]Nursing Division, Sanpatong Hospital
[2]คณะพยาบาลศาสตร์แมคคอร์มิค มหาวิทยาลัยพายัพ
[2]McCormick Faculty of Nursing, Payap University
*Corresponding author: utthawit_j@payap.ac.th
Received: October 10, 2025
Revised: December 28, 2025
Accepted: January 7, 2026

บทคัดย่อ

เครื่องช่วยหายใจ เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยชีวิตผู้ป่วยวิกฤต แต่การใช้เวลานานอาจนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อน การหย่าเครื่องช่วยหายใจจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง การวิจัยกึ่งทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ (2) เปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ และ (3) วิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยการปฏิบัติการพยาบาลและความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพ ในหอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย พยาบาลวิชาชีพ 10 คน และผู้ป่วยที่มีภาวะหายใจล้มเหลวที่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ อายุ 18 ปีขึ้นไป จำนวน 30 คน แบ่งเป็นกลุ่มหลังใช้แนวปฏิบัติ 15 คน ได้รับการดูแลตามแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจแบบ 3 ระยะที่พัฒนาขึ้นใหม่ และกลุ่มก่อนใช้แนวปฏิบัติ 15 คน ได้รับการดูแลตามแนวปฏิบัติเดิม โดยเก็บข้อมูลกลุ่มควบคุมก่อนแล้วจึงเก็บข้อมูลกลุ่มทดลอง เครื่องมือวิจัยประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ (1) แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น (2) แบบบันทึกข้อมูลทั่วไป (3) แบบประเมินการปฏิบัติการพยาบาล และ (4) แบบประเมินความพึงพอใจของพยาบาล ซึ่งทุกฉบับมีค่าความตรงเชิงเนื้อหาเท่ากับ 1.00 และค่าความเชื่อมั่นของแบบบันทึกผลการใช้แนวทางฯ แบบประเมินการปฏิบัติการพยาบาล และแบบประเมินความพึงพอใจ เท่ากับ .90 .80 และ .87 ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา สถิติ Mann-Whitney U test และการทดสอบของฟิชเชอร์ ผลการวิจัย พบว่า (1) กลุ่มทดลองมีระยะเวลาในการหย่าเครื่องช่วยหายใจสั้นกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.001$) 2) อัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p=.068$) แต่กลุ่มทดลองมีแนวโน้มที่ดีกว่า และ (3) พยาบาลมีคะแนนการปฏิบัติงานอยู่ในระดับสูง (23.20±0.789 จากคะแนนเต็ม 24) และมีความพึงพอใจมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.76±0.208 จากคะแนนเต็ม 5) ดังนั้นการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ สามารถช่วยลดระยะเวลาการหย่าเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยเพิ่มคุณภาพการปฏิบัติงานและความพึงพอใจของพยาบาล

คำสำคัญ: การหย่าเครื่องช่วยหายใจ แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจ บทบาทพยาบาล หอผู้ป่วยหนัก ผลลัพธ์ผู้ป่วย

Abstract

Mechanical ventilators: MVs are essential for sustaining life in critically ill patients; however, prolonged use may result in serious complications. Therefore, timely and successful ventilator weaning is crucial. This quasi-experimental study aimed to: (1) compare weaning duration, (2) compare weaning success rates, and (3) evaluate nursing practice performance and nurse satisfaction at Sanpatong Hospital. The sample comprised 10 registered nurses and 30 adult patients (≥18 years) with respiratory failure who required mechanical ventilation. Patients were assigned to either a pre-implementation group (n=15), which received conventional care, or a post-implementation group (n=15), which received care based on a newly developed three-phase ventilator weaning assessment guideline. Data were collected sequentially, beginning with the pre-implementation group followed by the post-implementation group. Four research instruments were utilized: (1) the three-phase weaning assessment guideline developed by the researcher, (2) a demographic and clinical data record form, (3) a nursing practice evaluation tool, and (4) a nurse satisfaction questionnaire. All instruments demonstrated excellent content validity (CVI = 1.00). The reliability coefficients were 0.90 for the outcome recording form, 0.80 for the nursing practice evaluation tool, and 0.87 for the satisfaction questionnaire. Data were analyzed using descriptive statistics, the Mann–Whitney U test, and Fisher's exact test. The results showed that: (1) the post-implementation group had a significantly shorter weaning duration compared with the pre-implementation group ($p<.001$); (2) although the difference in weaning success rates was not statistically significant ($p=.068$), a positive trend favoring the post-implementation group was observed; and (3) nurses reported high adherence to the guideline (mean score 23.20±0.79 out of 24) and very high satisfaction (mean 4.76±0.21 out of 5). In conclusion, the newly developed ventilator weaning assessment guideline effectively reduced weaning duration and enhanced nursing practice quality, while also increasing nurse satisfaction.

Keywords: ventilator weaning, weaning guideline, nurse role, intensive care, patient outcome

บทนำ

เครื่องช่วยหายใจ (Mechanical ventilators: MVs) เป็นเทคโนโลยีทางการแพทย์ที่ช่วยเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของผู้ป่วยวิกฤตที่เข้าพักรักษาตัวในโรงพยาบาล พบว่า ผู้ป่วยวิกฤตประมาณร้อยละ 10 ของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในหอผู้ป่วยวิกฤตมีภาวะกลุ่มอาการหายใจลำบากเฉียบพลัน (Acute Respiratory Distress Syndrome: ARDS) ซึ่งต้องการเครื่องช่วยหายใจ (Bianquis et al., 2024) นอกจากนี้ ผู้ป่วยวิกฤตที่มีภาวะหายใจล้มเหลวที่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจมีอัตราสูงถึงร้อยละ 35 โดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจเรื้อรัง (Cantero et al., 2020) ภาวะดังกล่าวส่งผลให้ผู้ป่วยไม่สามารถควบคุมระบบหายใจให้ทำงานได้ปกติ จำเป็นต้องใช้เครื่องช่วยหายใจเพื่อทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซดีขึ้น ลดพลังงานที่ใช้ในการหายใจและการทำงานของหัวใจลง โรงพยาบาลสันป่าตองจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ปี พ.ศ. 2564-2567 มีผู้ป่วยวิกฤตที่มีภาวะหายใจล้มเหลวที่ใช้เครื่องช่วยหายใจจำนวน 372 244 400 และ 236 รายตามลำดับ ผู้ป่วยสามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจได้สำเร็จร้อยละ 84.14 76.22 87.75 และ 73.30 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่า ผู้ป่วยกลุ่มดังกล่าวกลับมาใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำภายใน 48 ชั่วโมงถึงร้อยละ 3.12 4.93 2.38 และ 7.14 ตามลำดับ รวมถึงผู้ป่วยที่ดึงท่อช่วยหายใจและสามารถหายใจได้เองร้อยละ 7.95 11.66 4.76 และ 11.73 ตามลำดับ (Medical Records and Statistics Section, Sanpatong Hospital, 2025) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อัตราการหย่าเครื่องช่วยหายใจสำเร็จในปี พ.ศ. 2567 มีแนวโน้มลดลงเหลือเพียงร้อยละ 73.30 ซึ่งต่ำที่สุดในรอบ 4 ปี ในขณะที่อัตราการใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำภายใน 48 ชั่วโมงและอัตราการดึงท่อช่วยหายใจเองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 7.14 และ

11.73 ตามลำดับ สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาในกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่ต้องได้รับการแก้ไข

อย่างไรก็ตามแม้ว่าเครื่องช่วยหายใจจะส่งผลลัพธ์ที่ดีต่อผู้ป่วย แต่หากใช้เป็นระยะเวลานานก็ส่งผลทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนได้ เช่น ภาวะปอดอักเสบที่สัมพันธ์กับการใช้เครื่องช่วยหายใจ (Ventilator-Associated Pneumonia: VAP) ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบทั่วโลกพบอัตราการเกิด VAP ตั้งแต่ 2.13 ถึง 116 ต่อหนึ่งพันวันการใช้เครื่องช่วยหายใจ (Klompas, 2022) ในประเทศไทยพบอัตราการเกิด VAP สูงในผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจนานกว่า 48 ชั่วโมง โดยเชื้อที่พบบ่อย คือ Acinetobacter baumannii และ Pseudomonas aeruginosa (Arayasukawat et al., 2021) นอกจากนี้ยังพบภาวะกล้ามเนื้อกระบังลมเสียหน้าที่จากเครื่องช่วยหายใจ (Ventilator-Induced Diaphragm Dysfunction: VIDD) เกิดขึ้นในร้อยละ 53 ของผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจภายใน 24 ชั่วโมงแรก และอีกร้อยละ 26 พัฒนาจาก VAP เป็น VIDD ในระหว่างการใช้เครื่องช่วยหายใจ (Powers, 2024) และภาวะการติดเชื้อในร่างกาย (sepsis) ซึ่งมีความชุกถึงร้อยละ 34.9 (Hasegawa et al., 2024) ภาวะดังกล่าวส่งผลให้ผู้ป่วยต้องนอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาลนานขึ้น (Huang et al., 2022) จากผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงทำให้ผู้ป่วยจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหย่าเครื่องช่วยหายใจ (ventilator weaning) โดยเร็วที่สุดเมื่อเข้าผ่านพ้นระยะวิกฤตของโรค

การหย่าเครื่องช่วยหายใจเป็นกระบวนการที่ผู้ป่วยเปลี่ยนจากการใช้เครื่องช่วยหายใจ มาเป็นการหายใจด้วยตนเองซึ่งอาจทำได้ทันที หรือค่อย ๆ ลดระดับการช่วยเหลือจากเครื่องช่วยหายใจ จนผู้ป่วยสามารถเลิกการใช้เครื่องช่วยหายใจและหายใจด้วยตนเองได้ในที่สุด (Morton & Fontaine, 2018) สามารถช่วยลดภาวะแทรกซ้อนจากการใช้เครื่องช่วยหายใจ ลดอัตราการเสียชีวิต ลดอัตราการพักรักษาตัวในโรงพยาบาล รวมถึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการรักษา (Sison et al., 2021) ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่พยาบาลซึ่งเป็นผู้ดูแลผู้ป่วยวิกฤตต้องให้ความสำคัญกับการดูแลผู้ป่วยวิกฤตทุกรายที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ การหย่าเครื่องช่วยหายใจที่สำเร็จ หมายถึง ผู้ป่วยสามารถหายใจได้เองอาจถอดท่อช่วยหายใจออกได้หรือยังได้รับออกซิเจนทางท่อช่วยหายใจ โดยไม่กลับมาใช้เครื่องช่วยหายใจอีกภายใน 48 ชั่วโมง (Chung et al., 2020) ปัจจุบันสามารถปฏิบัติได้หลายวิธี การสังเคราะห์อภิมาน (meta-analysis) เกี่ยวกับวิธีการหย่าเครื่องช่วยหายใจพบว่า การหย่าด้วย Proportional Assist Ventilation: PAV ซึ่งเป็นโหมดการช่วยหายใจที่ปรับแรงดันตามความต้องการของผู้ป่วย และ SmartCare ซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ มีอัตราความสำเร็จในการหย่าสูงกว่าวิธีอื่น (Jhou et al., 2021) โดยแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะก่อนหย่าเครื่องช่วยหายใจ ระยะหย่าเครื่องช่วยหายใจ และระยะหลังหย่าเครื่องช่วยหายใจ (Tongtem et al., 2023) ซึ่งพยาบาลจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องประเมินสภาพผู้ป่วยอย่างครบถ้วนและครอบคลุมทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจเพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วยวิกฤต การนำเกณฑ์ตามข้อบ่งชี้ต่าง ๆ ที่มีความแม่นยำในระดับสูงที่สามารถบ่งชี้ได้ว่า ผู้ป่วยพร้อมหรือไม่พร้อมที่จะหายใจได้เองนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะส่งผลต่อความสำเร็จของการหย่าเครื่องหายใจในระยะหย่าเครื่องช่วยหายใจได้ (Carteaux et al., 2021)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การพิจารณาหย่าเครื่องช่วยหายใจสำหรับผู้ป่วยนั้นส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของแพทย์ แต่ในปัจจุบันเมื่อสมรรถนะของพยาบาลวิกฤตเพิ่มขึ้น พยาบาลจึงมีบทบาทหน้าที่ในการช่วยขับเคลื่อนการประเมินและพิจารณาการหย่าเครื่องช่วยหายใจ รวมทั้งช่วยให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีต่อผู้ป่วย ทำให้ระยะเวลาการใช้เครื่องช่วยหายใจลดลง ส่งผลให้ระยะเวลารักษาตัวในหอผู้ป่วยหนักวิกฤตลดลง จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การใช้แนวปฏิบัติการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่นำโดยพยาบาล สามารถลดระยะเวลาการใช้เครื่องช่วยหายใจได้อย่างปลอดภัยโดยไม่เพิ่มอัตราการเสียชีวิต (Lin et al., 2025) นอกจากนี้ยังพบว่า การนำแนวปฏิบัติการหย่าเครื่องช่วยหายใจมาใช้เป็นแนวทางในการดูแลผู้ป่วยวิกฤตนั้นมีการดำเนินการถึงร้อยละ 61.8 และร้อยละ 78.2 บุคลากรทางการแพทย์ปฏิบัติตามแนวปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ (Leung et al., 2021) อีกทั้งการใช้แนวทางในการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่มีขั้นตอนชัดเจนจะช่วยให้ผู้ป่วยวิกฤตในหอผู้ป่วยหนักประสบความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจมากกว่าการไม่ใช้ และจะได้ผลดียิ่งขึ้นถ้าพยาบาลเป็นผู้ขับเคลื่อนแนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจ (Blackwood et al., 2011)

หอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง พบว่า ผู้ป่วยไม่สามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจได้ ทำให้ไม่สามารถหมุนเวียนเตียงเพื่อรับผู้ป่วยใหม่ที่ต้องการใช้เครื่องช่วยหายใจให้เพียงพอกับความต้องการ จากการทบทวนปัญหาในกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จพบว่า เกิดจาก 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ ปัจจัยด้านผู้ป่วยและปัจจัยด้านการรักษาพยาบาล

พบว่า พยาบาลที่ดูแลผู้ป่วยวิกฤตมีความรู้ประสบการณ์และความเชี่ยวชาญแตกต่างกัน มีผลต่อการประเมินความพร้อมของผู้ป่วย การเฝ้าระวัง และการตัดสินใจทางคลินิกที่ถูกต้อง พยาบาลจบใหม่อาจขาดความมั่นใจในการเริ่มหย่าเครื่องช่วยหายใจ ต้องรอคำสั่งแพทย์หรือพยาบาลที่มีประสบการณ์ ทำให้เกิดความล่าช้าในการหย่าเครื่องช่วยหายใจในกลุ่มผู้ป่วยที่มีความพร้อมหย่าเครื่องช่วยหายใจ ส่งผลให้เกิดอัตราการเกิดผู้ป่วยที่ดึงท่อช่วยหายใจและสามารถหายใจได้เองเพิ่มสูงขึ้น และจากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลผู้ป่วยกลุ่มดังกล่าว มีการใช้เครื่องช่วยหายใจเกินกว่า 48 ชั่วโมง โดยพบว่าเมื่อผู้ป่วยได้รับการรักษาจนทำให้ภาวะหายใจล้มเหลวดีขึ้น แพทย์จะเป็นผู้พิจารณาร่วมกับพยาบาลทำการหย่าเครื่องช่วยหายใจและใช้รูปแบบการหย่าเครื่องช่วยหายใจหลายวิธี ซึ่งผู้ป่วยแต่ละรายมีความยากง่ายที่แตกต่างกัน ถึงแม้จะมีแนวปฏิบัติทางคลินิกการหย่าเครื่องช่วยหายใจแบบเดิมที่พัฒนาขึ้น พบว่า ยังขาดประเด็นที่เป็นบทบาทของพยาบาล ไม่มีการแบ่งระยะในการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่ชัดเจนและขาดการกำหนดกิจกรรมการปฏิบัติการพยาบาลในแต่ละระยะที่ชัดเจน ขาดการบันทึกเวลาหรือผลของการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ทำให้พยาบาลที่ดูแลผู้ป่วยที่หย่าเครื่องช่วยหายใจมีความหลากหลายในการปฏิบัติการพยาบาลตามประสบการณ์และความรู้ของพยาบาล อีกทั้งจากการสำรวจและการสังเกตการปฏิบัติการหย่าเครื่องช่วยหายใจของพยาบาล พบว่า ผู้ป่วยบางรายต้องการการเตรียมด้านจิตใจมากขึ้น เนื่องจากขาดความมั่นใจในการเริ่มหายใจเอง หรือผู้ป่วยบางรายอาจต้องการปรับเปลี่ยนรูปแบบการหายใจที่เหมาะสมมากขึ้น ผู้ป่วยบางรายมีภาวะสับสน มีการเฝ้าระวังที่ไม่ต่อเนื่องและไม่ใกล้ชิด ทำให้ผู้ป่วยดึงท่อช่วยหายใจออกเอง ส่งผลให้การหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จ เกิดความล่าช้าในการเริ่มการหย่าเครื่องช่วยหายใจ และใช้เวลาในการหย่าเครื่องช่วยหายใจมากขึ้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงประเด็นที่จะพัฒนาบทบาทของพยาบาลในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ เนื่องจากพยาบาลเป็นบุคลากรที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการดูแลผู้ป่วยเพราะเป็นผู้ที่เฝ้าติดตามอาการของผู้ป่วยตลอดเวลาและเป็นผู้ที่สังเกตเห็นอาการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือผู้ป่วยเป็นบุคคลแรก จึงได้เห็นความสำคัญและสนใจประยุกต์ใช้แนวคิดกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจของ สมาคมพยาบาลวิกฤตแห่งอเมริกา (Hanneman, 2004) โดยกำหนดกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะก่อนการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ระยะหย่าเครื่องช่วยหายใจ และระยะหลังการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ร่วมกับการศึกษา ค้นคว้า และทบทวนหลักฐานเชิงประจักษ์ที่เกี่ยวข้องกับการหย่าเครื่องช่วยหายใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยทางการพยาบาล ตลอดจนประสบการณ์ความชำนาญทางคลินิกของกลุ่มองค์กรด้านสุขภาพ การพยาบาล และการแพทย์ทั้งในและต่างประเทศ และนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างแนวทางขึ้นมาใหม่ให้สอดคล้องกับบริบทปัญหาในห้องผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นนำมาทบทวนความรู้ ให้คำแนะนำและส่งเสริมให้พยาบาลวิชาชีพงานห้องผู้ป่วยหนักมาใช้เป็นแนวทางเดียวกันในการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ มีการบันทึกข้อมูลความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ และข้อมูลของระยะเวลาในการหย่าเครื่องช่วยหายใจในผู้ป่วยที่มีภาวะหายใจล้มเหลวที่ชัดเจนทั้ง 3 ระยะของกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจและเป็นแนวทางที่สามารถปฏิบัติตามได้ ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ป่วย ลดระยะเวลาการหย่าเครื่องช่วยหายใจทำให้ระยะเวลาการหย่าเครื่องช่วยหายใจสั้นลงและหย่าเครื่องช่วยหายใจได้สำเร็จมากขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจในหอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะ ดังนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

2. เพื่อเปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

3. เพื่อวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยการปฏิบัติการพยาบาลตามระยะการหย่าเครื่องช่วยหายใจและความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพภายหลังการทดลองของกลุ่มทดลอง

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi experimental research) แบบ 2 กลุ่ม วัดก่อน-หลังการทดลอง (Two groups, Pretest–posttest design)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ พยาบาลวิชาชีพและผู้ป่วยที่มีภาวะหายใจล้มเหลวต้องใช้เครื่องช่วยหายใจในหอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย

1. พยาบาลวิชาชีพปฏิบัติงาน ณ หอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวนทั้งสิ้น 10 คน ซึ่งเป็นจำนวนพยาบาลวิชาชีพทั้งหมดที่ปฏิบัติงานในหอผู้ป่วยหนักและเข้าร่วมการวิจัยครบทุกคน โดยผู้วิจัยดำเนินการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) ตามเกณฑ์คุณสมบัติที่กำหนดไว้ ดังนี้ เกณฑ์คัดเข้าร่วมการวิจัย ได้แก่ (1) พยาบาลวิชาชีพที่ปฏิบัติงานประจำในหอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ (2) มีประสบการณ์ในการดูแลผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจอย่างน้อย 6 เดือน (3) สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนเกณฑ์คัดออกการวิจัย ได้แก่ (1) ไม่ได้ปฏิบัติงานการพยาบาลโดยตรง (2) ไม่ได้ปฏิบัติงานในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล (3) อยู่ระหว่างลาหยุด ลาศึกษาต่อ หรือลาคลอดในช่วงระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย

2. ผู้ป่วยที่มีภาวะหายใจล้มเหลวต้องใช้เครื่องช่วยหายใจที่เข้ารับการรักษา ณ หอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนเมษายน-กันยายน พ.ศ. 2568 ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) ตามเกณฑ์คุณสมบัติที่กำหนดไว้ ดังนี้ (1) ผู้ป่วยมีอายุ 18 ปีขึ้นไป (2) ผู้ป่วยที่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ นานกว่า 24 ชั่วโมง และ (3) ยินดีเข้าร่วมโครงการวิจัย หากผู้ป่วยไม่สามารถตัดสินใจเองได้ ให้ญาติตัดสินใจแทน สำหรับเกณฑ์คัดออกการวิจัย คือ (1) ผู้ป่วยที่แพทย์วินิจฉัยโรคอยู่ในระยะประคับประคอง (2) มีประวัติหย่าเครื่องหายใจไม่สำเร็จ (3) ผู้ป่วยที่มีภาวะไม่คงที่ทางระบบไหลเวียนเลือด (hemodynamic instability) (4) ผู้ป่วยที่ถูกย้ายออกจากหอผู้ป่วยหนักก่อนสิ้นสุดกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจ

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างผู้ป่วย ขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยคำนวณโดยใช้ Power analysis ด้วยโปรแกรม G*Power version 3.1.9.6 โดยกำหนดค่าอำนาจในการทดสอบ (Power of test: 1-β err prob) = .80 และค่าความเชื่อมั่นทางสถิติ (α err prob) ที่ .05 ส่วนค่าขนาดอิทธิพล (Effect size: d) จากงานวิจัยของ Gunther et al. (2021) เท่ากับ 1.2 ซึ่งคำนวณได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 12 คน และเพื่อป้องกันความเสี่ยงจากการสูญหายระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูล (drop out) จึงพิจารณาเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 20 (Gray et al., 2017) ได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จำนวนทั้งสิ้น 30 คน

การแบ่งกลุ่มตัวอย่างผู้ป่วย แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มหลังใช้แนวปฏิบัติจำนวน 15 คน คือ กลุ่มที่ได้รับแนวปฏิบัติทางคลินิกการหย่าเครื่องช่วยหายใจแบบเดิม ในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน พ.ศ. 2568 กลุ่มก่อนใช้แนวปฏิบัติจำนวน 15 คน คือ กลุ่มผู้ป่วยที่ใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่สร้างขึ้น ในช่วงเดือนกรกฎาคม-กันยายน พ.ศ. 2568 หลังจากที่พยาบาลได้รับการอบรมและทดลองใช้แนวทางใหม่แล้ว

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย ได้แก่ แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่ผู้วิจัยประยุกต์ใช้แนวคิดกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ของสมาคมพยาบาลภาวะวิกฤต สหรัฐอเมริกา (Hanneman, 2004) ร่วมกับการทบทวนหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ทันสมัยและมีคุณภาพจากงานวิจัยทางการพยาบาลผู้ป่วยวิกฤตและแนวปฏิบัติทางคลินิกระดับนานาชาติ (Lin et al., 2025; Hirzallah et al., 2019; Blackwood et al., 2011) โดยแบ่งแนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจโดยใช้กระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจ 3 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 ระยะก่อนการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ประกอบด้วย กิจกรรมประเมินความพร้อมของผู้ป่วยก่อนที่จะหย่าเครื่องช่วยหายใจทุกวันเวลาเช้าตามเกณฑ์การประเมินที่กำหนดไว้ ประสานงานกับแพทย์ผู้รักษาและร่วมวางแผนการหย่าเครื่องช่วยหายใจ รวมถึงการให้ข้อมูลและเตรียมความพร้อมทางด้านจิตใจ

ระยะที่ 2 ระยะหย่าเครื่องช่วยหายใจ ประกอบด้วย กิจกรรมการวางแผนร่วมกับแพทย์เลือกวิธีการหย่าเครื่องช่วยหายใจ การติดตาม ประเมินอาการ และอาการแสดงอย่างใกล้ชิดต่อเนื่อง การประสานงานและปรึกษาหารือร่วมกับแพทย์ถ้าผู้ป่วยหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จ รวมทั้งการวางแผนร่วมกับแพทย์ในการเตรียมความพร้อมเพื่อเริ่มการหย่าเครื่องช่วยหายใจใหม่ เมื่อผู้ป่วยหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จ

ระยะที่ 3 ระยะหลังการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ประกอบด้วย กิจกรรมการประเมินความพร้อมในการถอดท่อช่วยหายใจ การปรึกษาหารือร่วมกับแพทย์เพื่อถอดท่อช่วยหายใจและปฏิบัติตามแนวทางก่อนถอดท่อช่วยหายใจ การดูแลรักษาพยาบาลผู้ป่วยหลังถอดท่อช่วยหายใจออก การเฝ้าระวังและติดตามอาการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยอย่างใกล้ชิดและต่อเนื่อง หลังถอดท่อช่วยหายใจ 48 ชั่วโมง การประสานงานและปรึกษาหารือร่วมกับแพทย์ถ้าผู้ป่วยหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จ เพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาและเตรียมความพร้อมผู้ป่วยเพื่อเริ่มการหย่าเครื่องช่วยหายใจใหม่รวมทั้งการบันทึกความสำเร็จและระยะเวลาในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ

ส่วนที่ 2 เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

2.1 แบบบันทึกข้อมูลส่วนบุคคล ของผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจที่เข้ารับการรักษา เป็นการบันทึกข้อมูลจากเวชระเบียนผู้ป่วย ได้แก่ เพศ อายุ ประวัติการสูบบุหรี่ ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การวินิจฉัยโรค โรคประจำตัว สาเหตุที่ทำให้ผู้ป่วยต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ และข้อมูลส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพ ได้แก่ เพศ อายุ ประสบการณ์การทำงานในห้องผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ การศึกษาอบรมหลักสูตรการพยาบาลเฉพาะทางการพยาบาลผู้ป่วยวิกฤต

2.2 แบบบันทึกผลการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ผู้วิจัยสร้างขึ้นเองจากการศึกษาค้นคว้าตำรา เอกสารทางวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยพยาบาลเป็นผู้ประเมิน แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

2.2.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ประกอบด้วยการบันทึก วัน/เวลาที่เริ่มใช้เครื่องช่วยหายใจ วัน/เวลาที่เริ่มประเมินความพร้อมในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ วัน/เวลาที่เริ่มหย่าเครื่องช่วยหายใจ รูปแบบการหย่าเครื่องช่วยหายใจ วัน/เวลาที่ยุติการหย่าเครื่องช่วยหายใจ วัน/เวลาที่เลิกใช้เครื่องช่วยหายใจ วัน/เวลาที่ถอดท่อช่วยหายใจ และความสำเร็จการหย่าเครื่องช่วยหายใจ จากนั้นผู้วิจัยคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ โดยนำวัน/เวลาที่เลิกใช้เครื่องช่วยหายใจ ลบด้วยวัน/เวลาที่เริ่มหย่าเครื่องช่วยหายใจ

2.2.2 ความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ แบ่งเป็นการหย่าเครื่องช่วยหายใจสำเร็จและการหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จ ทั้งนี้ การหย่าเครื่องช่วยหายใจสำเร็จ หมายถึง ผู้ป่วยที่ใส่ท่อช่วยหายใจและใช้เครื่องช่วยหายใจ ผ่านกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจในครั้งแรก โดยที่ผู้ป่วยสามารถหายใจได้ด้วยตัวเอง และไม่กลับไปใช้เครื่องช่วยหายใจอีกภายใน 48 ชั่วโมงส่วนการหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จ หมายถึง ผู้ป่วยที่ใส่ท่อช่วยหายใจและใช้เครื่องช่วยหายใจ ผ่านกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจในครั้งแรก โดยที่ผู้ป่วยไม่สามารถหายใจได้ด้วยตัวเองได้ และกลับไปใช้เครื่องช่วยหายใจอีกภายใน 48 ชั่วโมง

2.3 แบบประเมินการปฏิบัติการพยาบาล ของพยาบาลวิชาชีพต่อแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ เป็นแบบประเมินที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการประเมินการปฏิบัติการพยาบาลผู้ป่วยที่ใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ มีจำนวน 12 ข้อ โดยเป็นแบบบันทึกที่ผู้วิจัยใช้ในการสังเกตการปฏิบัติการพยาบาลผู้ป่วยที่ใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ โดยเลือกตอบ ปฏิบัติได้ถูกต้อง ปฏิบัติได้ไม่ถูกต้อง และไม่ปฏิบัติ การให้คะแนน ปฏิบัติได้ถูกต้อง ให้คะแนน 2 คะแนน ปฏิบัติได้ไม่ถูกต้อง ให้คะแนน 1 คะแนน ไม่ปฏิบัติ ให้คะแนน 0 คะแนน การแปลผลคะแนนแบ่งตามเกณฑ์ดังนี้ คะแนนต่ำกว่าร้อยละ 60 (น้อยกว่า 14.4 คะแนน) หมายถึง มีการปฏิบัติในระดับต่ำ คะแนนร้อยละ 60-79 (14.4-19.2 คะแนน) หมายถึง มีการปฏิบัติในระดับปานกลาง และคะแนนร้อยละ 80 ขึ้นไป (19.2 คะแนนขึ้นไป) หมายถึง มีการปฏิบัติในระดับสูง

2.4 แบบประเมินความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพต่อแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยจำนวน 8 ข้อ โดยลักษณะข้อคำถามเป็นมาตราส่วนประมาณค่า แบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ พึงพอใจมากที่สุด พึงพอใจมาก พึงพอใจปานกลาง พึงพอใจน้อย และพึงพอใจน้อยที่สุด กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนตั้งแต่ 1–5 คะแนน การแปลผลคะแนนใช้ค่าเฉลี่ยรายข้อแบ่งตามอันตรภาคชั้น ได้แก่ 4.21–5.00 คะแนน หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด 3.41–4.20 คะแนน หมายถึง มี

ความพึงพอใจมาก 2.61–3.40 คะแนน หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง 1.81–2.60 คะแนน หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย และ 1.00–1.80 คะแนน หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือการวิจัย

1. ความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Index: CVI) ผู้วิจัยนำแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ แบบบันทึกข้อมูลส่วนบุคคล แบบบันทึกผลการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ แบบประเมินการปฏิบัติการพยาบาล และแบบประเมินความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพ ได้ดำเนินการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ได้แก่ อายุรแพทย์โรคระบบการหายใจและเวชบำบัดวิกฤตระบบการหายใจ 1 ท่าน แพทย์อายุรศาสตร์ 2 ท่าน หัวหน้ากลุ่มงานการพยาบาลผู้ป่วยหนัก 1 ท่าน พยาบาลวิชาชีพผู้เชี่ยวชาญสาขาอายุรศาสตร์และศัลยศาสตร์ 1 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง เหมาะสมของภาษา ความเหมาะสมของการนำไปใช้ในการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความตรงเชิงเนื้อหา (CVI) ได้เท่ากับ 1.0 ทุกฉบับ

2. ความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (reliability) ผู้วิจัยนำเครื่องมือ 3 ฉบับ ได้แก่ แบบบันทึกผลการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ แบบประเมินการปฏิบัติการพยาบาล และแบบประเมินความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพ ไปทดลองใช้กับผู้ป่วยและพยาบาลวิชาชีพที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างในหอผู้ป่วยหนัก 2 โรงพยาบาลสันป่าตอง จำนวน 10 คน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบบันทึกผลการใช้แนวทางฯ เท่ากับ .90 แบบประเมินการปฏิบัติการพยาบาลเท่ากับ .80 และแบบประเมินความพึงพอใจ เท่ากับ .87 ส่วนแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจผู้วิจัยนำไปศึกษานำร่องโดยการทดลองใช้กับผู้ป่วยที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างในหอผู้ป่วยหนัก 2 โรงพยาบาลสันป่าตอง จำนวน 10 คน พบว่า แนวทางดังกล่าวมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติการพยาบาลได้จริง

วิธีเก็บรวบรวมข้อมูลและดำเนินการวิจัย

1. ผู้วิจัยนำเสนอโครงร่างวิจัยเพื่อขอพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย โรงพยาบาลสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ภายหลังได้รับอนุมัติแล้วทำหนังสือถึงผู้อำนวยการโรงพยาบาลเพื่อขออนุญาตทำการวิจัยและเก็บข้อมูลจากเวชระเบียนผู้ป่วย

2. ผู้วิจัยเข้าพบหัวหน้ากลุ่มการพยาบาล พยาบาลวิชาชีพหอผู้ป่วยหนัก และแพทย์เจ้าของไข้ เพื่อแจ้งวัตถุประสงค์ของการทำวิจัยและขอความร่วมมือในการทำวิจัย

3. ผู้วิจัยดำเนินการคัดเลือกผู้ป่วยตามเกณฑ์คุณสมบัติที่กำหนดไว้ จากนั้นขออนุญาตเข้าพบกลุ่มตัวอย่างเพื่อชี้แจงรายละเอียดการวิจัยและการพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง เมื่อกลุ่มตัวอย่างสมัครใจผู้วิจัยดำเนินการขอความยินยอมจากผู้ป่วยหรือญาติในการเข้าร่วมวิจัย จากนั้นดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการทดลองโดยใช้แบบบันทึกข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ป่วย

4. กลุ่มก่อนใช้แนวปฏิบัติ (เก็บข้อมูลก่อน ในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน พ.ศ. 2568) ได้รับการดูแลตามมาตรฐานของการดูแลผู้ป่วยที่ได้รับเครื่องช่วยหายใจของหอผู้ป่วยหนัก โรงพยาบาลสันป่าตอง และการประเมินหย่าเครื่องช่วยหายใจ ซึ่งขึ้นอยู่กับการพิจารณาของแพทย์เจ้าของไข้ หลังจากนั้นผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลองโดยใช้แบบบันทึกผลการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ได้แก่ ระยะเวลาและความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ

5. พยาบาลวิชาชีพที่ปฏิบัติงานหอผู้ป่วยหนักโรงพยาบาลสันป่าตอง ผู้วิจัยอธิบายและให้ความรู้แก่พยาบาลวิชาชีพเกี่ยวกับแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจทั้ง 3 ระยะ และกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่ได้พัฒนาขึ้น รวมถึงให้คำแนะนำในการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ โดยจัดประชุมอบรมเชิงปฏิบัติการให้พยาบาลทุกคนมีส่วนร่วมในการทำความเข้าใจและทดลองใช้แนวทางใหม่ ก่อนเริ่มดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในกลุ่มทดลอง

6. กลุ่มหลังใช้แนวปฏิบัติ (เก็บข้อมูลหลังจากกลุ่มควบคุม ในช่วงเดือนกรกฎาคม-กันยายน พ.ศ. 2568) ได้รับการดูแลตามแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่ผู้วิจัยประยุกต์ใช้แนวคิดกระบวนการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยดำเนินการ 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ระยะก่อนการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ระยะที่ 2 ระยะหย่าเครื่องช่วยหายใจ และระยะที่ 3 ระยะหลังการหย่าเครื่องช่วยหายใจ หลังจากนั้นผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลองโดยใช้แบบบันทึกผลการใช้แนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ได้แก่ ระยะเวลาและความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ

7. ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลกับพยาบาลวิชาชีพ โดยประเมินการปฏิบัติการพยาบาลของพยาบาลวิชาชีพต่อแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ และความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพต่อแนวทางการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจ

การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการรับรองและอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยการศึกษาวิจัยในมนุษย์ โรงพยาบาล สันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ เลขที่ SPT REC 015/2568 วันที่รับรอง 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2568 ผู้วิจัยได้ดำเนินการพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา โดยได้รับการชี้แจงวัตถุประสงค์การวิจัย และเซ็นใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดถูกเก็บไว้เป็นความลับ ผลการวิจัยนำเสนอในภาพรวมเท่านั้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง วิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U test

3. เปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยใช้สถิติ Fisher's exact test

4. วิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยการปฏิบัติการพยาบาลตามระยะการหย่าเครื่องช่วยหายใจและความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพภายหลังการทดลอง โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

1. ข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย 2 กลุ่ม ดังนี้

1) พยาบาลวิชาชีพ (n=10) พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงร้อยละ 90.00 อายุ 30–39 ปี (Mean=31.60 SD=9.67) ร้อยละ 70.00 มีประสบการณ์ปฏิบัติงาน ณ หอผู้ป่วยหนัก (Mean=5.20 SD=3.00) 1-5 ปีร้อยละ 70.00 และส่วนใหญ่ไม่เคยเข้ารับการอบรมหลักสูตรเฉพาะทางพยาบาลวิกฤตร้อยละ 60.00

2) ผู้ป่วยที่มีภาวะหายใจล้มเหลวต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ (n=30) พบว่า กลุ่มทดลอง ส่วนใหญ่เป็นเพศชายร้อยละ 66.67 อายุ 60–69 ร้อยละ 46.67 ไม่เคยสูบบุหรี่ร้อยละ 86.67 ไม่เคยดื่มแอลกอฮอล์ร้อยละ 86.67 ได้รับการวินิจฉัยโรคภาวะปอดอักเสบร้อยละ 46.67 มีโรคประจำตัวร้อยละ 86.67 สาเหตุที่ใช้เครื่องช่วยหายใจเกิดจากภาวะปอดอักเสบร้อยละ 46.67 ส่วนกลุ่มควบคุมส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงร้อยละ 60.00 อายุ 70–79 ร้อยละ 33.33 ไม่เคยสูบบุหรี่ร้อยละ 86.67 ไม่เคยดื่มแอลกอฮอล์ร้อยละ 73.33 ได้รับการวินิจฉัยโรคภาวะหัวใจล้มเหลวร้อยละ 70.00 มีโรคประจำตัวร้อยละ 73.33 สาเหตุที่ใช้เครื่องช่วยหายใจเกิดจากภาวะหัวใจล้มเหลวร้อยละ 70.00

2. เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มก่อนและหลังใช้แนวปฏิบัติ

ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มหลังการใช้แนวปฏิบัติมีระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจต่ำกว่ากลุ่มก่อนการใช้แนวปฏิบัติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (Z=-3.21 p-value<.001) (ตาราง 2)

3. เปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มก่อนและหลังใช้แนวปฏิบัติ (n=30)

ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มหลังการใช้แนวปฏิบัติและกลุ่มก่อนการใช้แนวปฏิบัติมีอัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่แตกต่างกัน (p-value=.068) (ตาราง 3)

4. วิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยการปฏิบัติการพยาบาลตามระยะการหย่าเครื่องช่วยหายใจและความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพภายหลังการทดลอง

ผลการวิจัย พบว่า ภายหลังการทดลองพยาบาลวิชาชีพมีค่าเฉลี่ยคะแนนการปฏิบัติการพยาบาลตามระยะการหย่าเครื่องช่วยหายใจเท่ากับ 23.30 คะแนน (คะแนนรวม 24 คะแนน) (Mean=23.30 SD=.789) ซึ่งอยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 96.67) และมีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจต่อรูปแบบการหย่าเครื่องช่วยหายใจในระดับสูงค่าเฉลี่ยรายข้อเท่ากับ 4.76 (SD=0.208) ซึ่งอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด

ตาราง 1

จำนวนและร้อยละของข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่างผู้ป่วย (n=30)

ข้อมูลส่วนบุคคล	กลุ่มหลังใช้แนวปฏิบัติ	กลุ่มก่อนใช้แนวปฏิบัติ	p-value
	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	
เพศ			.143
ชาย	10 (66.67)	6 (40.00)	
หญิง	5 (33.33)	9 (60.00)	
อายุ (ปี)			.308
น้อยกว่า 60	2 (13.33)	3 (20.00)	
60 – 69	7 (46.67)	3 (20.00)	
70 – 79	5 (33.33)	5 (33.33)	
มากกว่า 79	1 (6.67)	4 (26.67)	
การสูบบุหรี่			1.00
ไม่เคยสูบ	13 (86.67)	13 (86.67)	
ปัจจุบันยังสูบบุหรี่	2 (13.33)	2 (13.33)	
การดื่มแอลกอฮอล์			.361
ไม่เคยดื่ม	13 (86.67)	11 (73.33)	
ปัจจุบันยังคงดื่ม	2 (13.33)	4 (26.67)	
การวินิจฉัยโรค			.249
ภาวะไตวายเรื้อรัง	1 (6.67)	1 (6.67)	
ภาวะปอดอักเสบ	7 (46.67)	2 (13.33)	
ภาวะหัวใจล้มเหลว	5 (33.33)	9 (60.00)	
ภาวะช็อก	2 (13.33)	3 (20.00)	
โรคประจำตัว			.361
ไม่มี	2 (13.33)	4 (26.67)	
มี (ความดันโลหิตสูง เบาหวาน)	13 (86.67)	11 (73.33)	
สาเหตุที่ทำให้ผู้ป่วยต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ			.249
ภาวะไตวายเรื้อรัง	1 (6.67)	1 (6.67)	
ภาวะปอดอักเสบ	7 (46.67)	2 (13.33)	
ภาวะหัวใจล้มเหลว	5 (33.33)	9 (60.00)	
ภาวะช็อก	2 (13.33)	3 (20.00)	

ตาราง 2

เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มก่อนใช้แนวปฏิบัติและกลุ่มหลังใช้แนวปฏิบัติ (n=30)

ตัวแปร	กลุ่มหลังใช้แนวปฏิบัติ (n=15)		กลุ่มก่อนใช้แนวปฏิบัติ (n=15)		Z	p-value
	Mean	SD	Mean	SD		
ระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ	2.67	1.047	4.67	1.759	-3.21	<.001

ตาราง 3

เปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มก่อนใช้แนวปฏิบัติและกลุ่มหลังใช้แนวปฏิบัติ (n=30)

ตัวแปร	กลุ่มหลังใช้แนวปฏิบัติ (n=15)		กลุ่มก่อนใช้แนวปฏิบัติ (n=15)		statistics	p-value
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ		
อัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ					3.333	.068
สำเร็จ	15	100.00	12	80.00		
ไม่สำเร็จ	0	0.00	3	20.00		

ตาราง 4

คะแนนเฉลี่ยการปฏิบัติการพยาบาลตามระยะการหย่าเครื่องช่วยหายใจและความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพภายหลังการทดลอง (n = 10)

ตัวแปร	Mean	SD	แปลผล
การปฏิบัติการพยาบาลตามระยะการหย่าเครื่องช่วยหายใจ	23.20	.789	ระดับสูง
ความพึงพอใจต่อรูปแบบการหย่าเครื่องช่วยหายใจ	4.76	.208	มากที่สุด

การอภิปรายผล

1. เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มก่อนและหลังการใช้แนวปฏิบัติ

ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มหลังการใช้แนวปฏิบัติมีระยะเวลาในการหย่าเครื่องช่วยหายใจสั้นกว่ากลุ่มก่อนการใช้แนวปฏิบัติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Z=-3.21 p<.001) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจแบบ 3 ระยะที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นผลมาจากการที่แนวทางนี้มีโครงสร้างที่ชัดเจนในแต่ละระยะ ทำให้พยาบาลสามารถประเมินและดำเนินการได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในระยะที่ 1 ที่มีการประเมินความพร้อมของผู้ป่วยอย่างเป็นระบบทุกวันเวลาเช้า และระยะที่ 2 ที่มีการติดตามและประเมินอาการอย่างใกล้ชิดต่อเนื่อง นอกจากนี้ แนวปฏิบัติที่พัฒนาขึ้นนี้ได้มาจากการทบทวนหลักฐานเชิงประจักษ์ที่มีคุณภาพและทันสมัยจากงานวิจัยทางการพยาบาลและแนวปฏิบัติทางคลินิกระดับนานาชาติ ทำให้มีความน่าเชื่อถือ

และสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง สอดคล้องกับการศึกษาของ Hirzallah et al. (2019) พบว่า แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่พยาบาลเป็นผู้นำสามารถลดระยะเวลาการใช้เครื่องช่วยหายใจได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การศึกษาของ Vahedian-Azimi et al. (2020) พบว่าแนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจช่วยลดระยะเวลาการใช้เครื่องช่วยหายใจเมื่อเปรียบเทียบกับการดูแลแบบปกติ และการศึกษาของ Duyndam et al. (2020) พบว่า แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่พยาบาลเป็นผู้นำสามารถลดระยะเวลาการใช้เครื่องช่วยหายใจได้อย่างมีนัยสำคัญ

2. เปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจภายหลังการทดลองระหว่างกลุ่มก่อนและหลังการใช้แนวปฏิบัติ

แม้ว่าผลการวิจัยจะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=.068) แต่ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า กลุ่มหลังการใช้แนวปฏิบัติมีแนวโน้มที่ดีกว่ากลุ่มควบคุม การที่ผู้ป่วยทุกรายในกลุ่มทดลองสามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจได้สำเร็จ นั้นสะท้อนถึงประสิทธิภาพของแนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นผลมาจากการที่แนวทางที่พัฒนาขึ้นมีการออกแบบให้ครอบคลุมทุกขั้นตอนของการหย่าเครื่องช่วยหายใจอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในระยะที่ 2 ที่มีการวางแผนร่วมกับแพทย์เมื่อการหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จ และระยะที่ 3 ที่มีการเฝ้าระวังและติดตามอาการอย่างใกล้ชิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้สามารถป้องกันและจัดการปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การที่มีระบบการประสานงานและปรึกษาหารือร่วมกับแพทย์อย่างชัดเจนในแต่ละระยะ ช่วยให้การตัดสินใจในการหย่าเครื่องช่วยหายใจมีความแม่นยำและเหมาะสมมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่ได้เกิดจากบทบาทของพยาบาลเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลจากการทำงานร่วมกันเป็นทีมสหสาขาวิชาชีพระหว่างแพทย์และพยาบาล โดยแนวทางที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การประสานงานและการตัดสินใจร่วมกันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Gunther et al. (2021) พบว่า การใช้แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจแบบสหสาขาวิชาชีพช่วยปรับปรุงผลลัพธ์ของผู้ป่วยและเพิ่มศักยภาพของเจ้าหน้าที่ในหอผู้ป่วยวิกฤต โดยไม่เพิ่มอัตราการใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำ และการศึกษาของ Fradkin et al. (2024) พบว่า การใช้แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจแบบมีโครงสร้างในผู้ป่วยที่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจเป็นเวลานานสามารถเพิ่มอัตราความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจได้

3. วิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยการปฏิบัติการพยาบาลตามระยะการหย่าเครื่องช่วยหายใจและความพึงพอใจของพยาบาลวิชาชีพภายหลังการใช้แนวปฏิบัติ

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าพยาบาลวิชาชีพมีคะแนนเฉลี่ยการปฏิบัติการพยาบาลตามระยะการหย่าเครื่องช่วยหายใจในระดับสูงมาก (23.20±0.789) และมีความพึงพอใจต่อรูปแบบการหย่าเครื่องช่วยหายใจในระดับพึงพอใจมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.76±0.208) คะแนนการปฏิบัติการพยาบาลที่สูงดังกล่าวสะท้อนถึงการที่แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจแบบ 3 ระยะที่พัฒนาขึ้นมีความชัดเจนและสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง โดยเฉพาะการที่แต่ละระยะมีกิจกรรมและแนวทางปฏิบัติที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน เช่น ในระยะที่ 1 มีการประเมินความพร้อมของผู้ป่วยตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทุกวันเวลาเช้า ระยะที่ 2 มีการติดตามประเมินอาการอย่างใกล้ชิดต่อเนื่อง และระยะที่ 3 มีการเฝ้าระวังผู้ป่วยเป็นเวลา 48 ชั่วโมงหลังถอดท่อช่วยหายใจ ทำให้พยาบาลสามารถปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การที่หอผู้ป่วยหนักได้จัดให้พยาบาลทุกคนมีส่วนร่วมในการอบรม ทำความเข้าใจ และทดลองใช้แนวทางใหม่จนสามารถปฏิบัติได้ตามมาตรฐาน ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การปฏิบัติการพยาบาลอยู่ในระดับสูง ส่วนคะแนนความพึงพอใจที่สูงแสดงให้เห็นว่าพยาบาลมีความเชื่อมั่นและยอมรับในแนวทางนี้ ซึ่งเป็นผลจากการที่แนวทางนี้ช่วยให้พยาบาลมีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนในการดูแลผู้ป่วย ลดความไม่แน่นอนในการตัดสินใจ และมีระบบการประสานงานกับแพทย์ที่ชัดเจน ซึ่งช่วยเพิ่มความมั่นใจในการปฏิบัติงาน นอกจากนี้ การที่แนวทางนี้ช่วยให้ผู้ป่วยสามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจได้เร็วขึ้น ยังส่งผลให้พยาบาลเห็นประโยชน์ที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยอย่างชัดเจน ทำให้มีความพึงพอใจในการใช้แนวทางดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาของ Awang et al. (2021) ที่พบว่า การใช้แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่พยาบาลเป็นผู้นำได้รับการยอมรับจากพยาบาลและสามารถนำไปใช้ในการฝึกอบรมพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การที่พยาบาลมีความพึงพอใจสูงต่อ

แนวทางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแนวทางนี้มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ และการศึกษาของ Tongtem et al. (2023) พบว่า แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจที่พยาบาลเป็นผู้ดำเนินการมีความปลอดภัยและสามารถลดเวลาในการหย่าเครื่องช่วยหายใจได้ ในขณะที่พยาบาลมีความเชื่อมั่นและความพึงพอใจในการใช้แนวทางดังกล่าว

ข้อจำกัดการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ขนาดกลุ่มตัวอย่างค่อนข้างเล็ก (n=30) และดำเนินการในหอผู้ป่วยหนักเพียงแห่งเดียว ทำให้อาจมีข้อจำกัดในการสรุปผลไปยังบริบทอื่น ความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของทีมสหสาขาวิชาชีพ ไม่สามารถแยกผลของบทบาทพยาบาลออกจากการตัดสินใจของแพทย์ได้อย่างชัดเจน และไม่ได้ติดตามผลลัพธ์ระยะยาว เช่น ระยะเวลาพักรักษาตัวในโรงพยาบาล หรืออัตราการเสียชีวิต การศึกษานี้เป็นการศึกษาแบบ Pre-post design ซึ่งมีข้อจำกัดในการควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกัน การศึกษาในอนาคตอาจใช้รูปแบบ Implementation Research เพื่อศึกษากระบวนการนำไปใช้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การใช้แนวทางการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ช่วยลดระยะเวลาในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ และช่วยให้พยาบาลวิชาชีพสามารถปฏิบัติตามแนวทางได้อย่างถูกต้องและเกิดความพึงพอใจ อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจเป็นผลจากการทำงานร่วมกันเป็นทีมระหว่างแพทย์และพยาบาล โดยแนวทางที่พัฒนาขึ้นช่วยส่งเสริมการประสานงานและการตัดสินใจร่วมกันอย่างเป็นระบบ ซึ่งสามารถนำรูปแบบดังกล่าวไปประยุกต์ในการดูแลผู้ป่วยต่อไป ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้น ควรศึกษาโดยใช้รูปแบบ Implementation Research เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการนำแนวปฏิบัติไปใช้ และอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นในบริบทที่แตกต่างกัน ศึกษาในหลายสถานพยาบาล ติดตามผลลัพธ์ระยะยาวต่อไป

References

Arayasukawat, P., So-Ngern, A., Reechaipichitkul, W., Chumpangern, W., Arunsurat, I., Ratanawatkul, P., & Chuennok, W. (2021). Microorganisms and clinical outcomes of early- and late-onset ventilator-associated pneumonia at Srinagarind Hospital, a tertiary center in Northeastern Thailand. *BMC pulmonary medicine, 21*(1), 47. https://doi.org/10.1186/s12890-021-01415-8

Awang, S., Alias, N., DeWitt, D., Jamaludin, K. A., & Abdul Rahman, M. N. (2021). Design of a clinical practice guideline in nurse-led ventilator-weaning for nursing training. *Frontiers in public health, 9*, 726647. https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.726647

Bianquis, C., De Leo, G., Morana, G., Duarte-Silva, M., Nolasco, S., Vilde, R., Tripipitsiriwat, A., Viegas, P., Purenkovs, M., Duiverman, M., Karagiannids, C., & Fisser, C. (2024). Highlights from the Respiratory Failure and Mechanical Ventilation Conference 2024. *Breathe (Sheffield, England), 20*(3), 240105. https://doi.org/10.1183/20734735.0105-2024

Blackwood, B., Alderdice, F., Burns, K. E., Cardwell, C. R., Lavery, G., & O'Halloran, P. (2011). Protocolized versus non-protocolized weaning for reducing the duration of mechanical ventilation in critically ill adult patients. *The Cochrane database of systematic reviews, 5*, CD006904. https://doi.org/10.1002/14651858.CD006904.pub2

Cantero, C., Adler, D., Pasquina, P., Uldry, C., Egger, B., Prella, M., Younossian, A. B., Soccal, P. M., Pépin, J. L., & Janssens, J. P. (2020). Long-term noninvasive ventilation in the Geneva Lake Area: Indications, prevalence, and modalities. *Chest, 158*(1), 279–291. https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.02.064

Carteaux, G., Parfait, M., Combet, M., Haudebourg, A. F., Tuffet, S., & Mekontso Dessap, A. (2021). Patient-self inflicted lung injury: A practical review. *Journal of clinical medicine, 10*(12), 2738. https://doi.org/10.3390/jcm10122738

Chung, W. C., Sheu, C. C., Hung, J. Y., Hsu, T. J., Yang, S. H., & Tsai, J. R. (2020). Novel mechanical ventilator weaning predictive model. *The Kaohsiung journal of medical sciences, 36*(10), 841–849. https://doi.org/10.1002/kjm2.12269

Duyndam, A., Houmes, R. J., van Rosmalen, J., Tibboel, D., van Dijk, M., & Ista, E. (2020). Implementation of a nurse-driven ventilation weaning protocol in critically ill children: Can it improve patient outcome?. *Australian critical care : official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses, 33*(1), 80–88. https://doi.org/10.1016/j.aucc.2019.01.005

Fradkin, M., Elyashiv, M., Camel, A., Agay, N., Brik, M., Singer, P., & Dankner, R. (2024). A historical cohort study on predictors for successful weaning from prolonged mechanical ventilation and up to 3-year survival follow-up in a rehabilitation center. *Respiratory medicine, 227*, 107636. https://doi.org/10.1016/j.rmed.2024.107636

Gray, J. R., Grove, S. K., & Sutherland, S. (2017). *The practice of nursing research: Appraisal, synthesis, and generation of evidence* (8th ed.). Elsevie.

Gunther, I., Pradhan, D., Lubinsky, A., Urquhart, A., Thompson, J. A., & Reynolds, S. (2021). Use of a multidisciplinary mechanical ventilation weaning protocol to improve patient outcomes and empower staff in a medical intensive care unit. *Dimensions of critical care nursing: DCCN, 40*(2), 67–74. https://doi.org/10.1097/DCC.0000000000000462

Hanneman, S. K. (2004). Weaning from short-term mechanical ventilation. *Critical Care Nurse, 24*(1), 70–73. https://doi.org/10.4037/ccn2004.24.1.70

Hasegawa, D., Sato, R., Lee, Y. I., Wang, H. Y., Nishida, K., & Steiger, D. (2024). The prevalence, risk factors, and outcomes of acute pulmonary embolism complicating sepsis and septic shock: A national inpatient sample analysis. *Scientific reports, 14*(1), 16049. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67105-7

Hirzallah, F. M., Alkaissi, A., & do Céu Barbieri-Figueiredo, M. (2019). A systematic review of nurse-led weaning protocol for mechanically ventilated adult patients. *Nursing in critical care, 24*(2), 89–96. https://doi.org/10.1111/nicc.12404

Huang, H. Y., Huang, C. Y., & Li, L. F. (2022). Prolonged mechanical ventilation: Outcomes and management. *Journal of clinical medicine, 11*(9), 2451. https://doi.org/10.3390/jcm11092451

Jhou, H. J., Chen, P. H., Ou-Yang, L. J., Lin, C., Tang, S. E., & Lee, C. H. (2021). Methods of weaning from mechanical ventilation in adult: A network meta-analysis. *Frontiers in medicine, 8*, 752984. https://doi.org/10.3389/fmed.2021.752984

Klompas, M., Branson, R., Cawcutt, K., Crist, M., Eichenwald, E. C., Greene, L. R., Lee, G., Maragakis, L. L., Powell, K., Priebe, G. P., Speck, K., Yokoe, D. S., & Berenholtz, S. M. (2022). Strategies to prevent ventilator-associated pneumonia, ventilator-associated events, and nonventilator hospital-acquired pneumonia in acute-care hospitals: 2022 Update. *Infection control and hospital epidemiology, 43*(6), 687–713. https://doi.org/10.1017/ice.2022.88

Leung, C. H. C., Lee, A., Arabi, Y. M., Phua, J., Divatia, J. V., Koh, Y., Du, B., Tan, C. C., Palo, J. E. M., Burns, K. E. A., Kim, T. H., Egi, M., Faruq, M. O., Shrestha, B. R., Liu, S. F., Nguyen, T. D., Wahjuprajitno, B., Hashmi, M., Patjanasoontorn, B., Latif, Z., & Gomersall, C. D. (2021). Mechanical ventilation discontinuation practices in asia: A multinational survey. *Annals of the American Thoracic Society, 18*(8), 1352–1359. https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202008-968OC

Lin, Y. C., Chang, R. L., & Tang, C. C. (2025). Safety and efficacy of nurse-led weaning protocols on ICU patients: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Worldviews on evidence-based nursing, 22*(2), e70015. https://doi.org/10.1111/wvn.70015

Medical Records and Statistics Section, Sanpatong Hospital. (2025). *Statistics of patients admitted to the Medical Intensive Care Unit, 2025* [In Thai]. Sanpatong Hospital, Chiang Mai, Thailand.

Morton, P. G., & Fontaine, D. K. (2018). *Critical care nursing: A holistic approach* (11th ed.). Wolters Kluwer.

Powers, S. K. (2024). Ventilator-induced diaphragm dysfunction: phenomenology and mechanism(s) of pathogenesis. *The Journal of physiology, 602*(19), 4729–4752. https://doi.org/10.1113/JP283860

Sison, S. M., Sivakumar, G. K., Caufield-Noll, C., Greenough, W. B., 3rd, Oh, E. S., & Galiatsatos, P. (2021). Mortality outcomes of patients on chronic mechanical ventilation in different care settings: A systematic review. *Heliyon, 7*(2), e06230. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06230

Tongtem, E., Tomon, S., & Tanadkar, N. (2023). The weaning protocol from mechanical ventilation for adult and older adult patients requiring prolonged mechanical ventilation: A systematic review [In Thai]. *Nursing Research and Innovation Journal, 29*(2), 236 - 250. https://he02.tci-thaijo.org/index.php/RNJ/article/view/258025

Vahedian-Azimi, A., Bashar, F. R., Jafarabadi, M. A., Stahl, J., Miller, A. C., & MORZAK Collaborative. (2020). Protocolized ventilator weaning verses usual care: A randomized controlled trial. *International Journal of Critical Illness and Injury Science, 10*(4), 206–212. https://doi.org/10.4103/IJCIIS.IJCIIS_29_20

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ทางชีวภาพและความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

Study of Physical Properties, Phytochemicals, Biological Activity and Satisfaction with Hanuman Prasan Kai (*Schefflera leucantha*) Instant Powder Product

ศิริพักตร์ จันทร์สังสา[1] ปริพัช เงินงาม[1] วนิษา ปันฟ้า[1] สมฤทัย ยังวรรณ[1] และธีรนันท์ ธนัญชัย[1]*
Siripuk Chansangsa[1], Paripach Ngoenngam[1], Wanisa Punfa[1],
Somruethai Yangwan[1] and Teeranan Tananchai[1]*
[1]วิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
[1]School of Traditional and Alternative Medicine, Chiang Rai Rajabhat University
*Corresponding author: elfe.tananchai@gmail.com
Received: October 2, 2025
Revised: December 9, 2025
Accepted: December 16, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ทางชีวภาพ และความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย โดยการเตรียมผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่มีสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตรินต่างกัน ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทดสอบหาสารซาโปนินเชิงคุณภาพ ตรวจวัดปริมาณสารฟีนอลิกรวม ทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบ และทดสอบความพึงพอใจต่อการใช้ผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัคร 10 ราย ด้วยแบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสทั้ง 6 ด้าน ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายทั้ง 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 (มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 5) สูตรที่ 2 (มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 10) และสูตรที่ 3 (มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 15) เมื่อนำมาละลายน้ำแล้วมีสีเข้มกว่าผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบน้ำที่เป็นต้นฉบับเล็กน้อย ในขณะที่กลิ่นและรสชาติยังคงเดิม มีค่า pH เป็นกรด (pH 6.70-6.89) ค่า Brix และค่าความถ่วงจำเพาะมีความแปรผันตามปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร ตรวจพบสารซาโปนินเชิงคุณภาพและตรวจพบปริมาณสารฟีนอลิกรวมของผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1-3 เท่ากับ 5.71±0.06 3.33±0.29 และ 2.31±0.18 mg GAE/g extract ตามลำดับ พบฤทธิ์ต้านการอักเสบสูงสุดในผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 การทดสอบความพึงพอใจของอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร พบว่า มีความพึงพอใจในลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 มากที่สุด ส่วนสีและกลิ่นมีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มากที่สุด ขณะที่ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ในสูตรที่ 1 และ 2 เท่ากัน จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มีโอกาสพัฒนาไปใช้บรรเทาอาการของผู้ป่วยโรคหืดได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ หนุมานประสานกาย ผงชงละลาย โรคหืด

Abstract

This study aimed to evaluate the physical properties, phytochemical constituents, biological activity, and consumer satisfaction of an instant powder product derived from Hanuman Prasan Kai (*Schefflera leucantha*). The product was formulated using varying proportions of maltodextrin and subsequently assessed for its physical characteristics, qualitative saponin content, and total phenolic content. Anti-inflammatory activity and product satisfaction were also evaluated. Sensory evaluation was conducted among 10 volunteers using a six-item questionnaire. Three formulations were developed: Formula 1 (5% maltodextrin), Formula 2 (10% maltodextrin), and Formula 3 (15% maltodextrin). After reconstitution in water, all formulations exhibited a slightly darker color compared with the original liquid extract, while odor and taste remained similar. The pH values ranged from 6.70 to 6.89, indicating weak acidity. Total soluble solids (°Brix) and specific gravity increased proportionally with higher maltodextrin content. Qualitative analysis confirmed the presence of saponins in all formulations. The total phenolic contents of Formulas 1–3 were 5.71±0.06, 3.33±0.29, and 2.31 ±0.18 mg gallic acid equivalents (GAE)/g extract, respectively. Formula 1 demonstrated the highest anti-inflammatory activity. Sensory evaluation results indicated that Formula 2 received the highest preference scores for appearance, taste, and texture, whereas Formula 1 was most preferred in terms of color and odor. Overall preference scores for Formulas 1 and 2 were comparable. In conclusion, Formula 1 exhibited superior phytochemical content and anti-inflammatory activity, suggesting its potential for further development as a supplementary therapeutic product for asthma management.

Keywords: products, Hanuman Prasan Kai, instant powder, asthma

บทนำ

โรคหืด (Asthma) เป็นโรคระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเกิดการอักเสบเรื้อรังของหลอดลม โดยมีอาการที่พบบ่อย ได้แก่ หายใจมีเสียงหวีด หอบเหนื่อย แน่นหน้าอก และอาการไอ หากไม่ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงที ส่งผลให้เกิดภาวะการหายใจล้มเหลว ซึ่งอาการสามารถกำเริบหรือเป็นซ้ำได้หากได้รับปัจจัยกระตุ้น (Nijaranond, 2019) จากข้อมูลองค์การอนามัยโลกพบว่า ปี พ.ศ. 2556 มีผู้ป่วยด้วยโรคหืดประมาณ 235 ล้านคน โดยส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มวัยเด็กและในประเทศที่ยากจนและคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2568 จะมีผู้ป่วยโรคหืดเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 100 ล้านคน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและพฤติกรรมของคนในสังคมที่เปลี่ยนไป (Jitwarawong & Nawsuwan, 2021) สำหรับประเทศไทยโรคหืดเป็นสาเหตุการตายอันดับ 5 โดยคนไทยป่วยเป็นโรคหืดมากถึง 3 ล้านคน พบในเด็กประมาณร้อยละ 10-12 และผู้ใหญ่ร้อยละ 6.9 (Leelacharat & Chiarawittayakit, 2015) โดยเฉพาะภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยที่มักเกิดการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ อันเนื่องมาจากปัจจัยด้านลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ทำเลที่ตั้งของการตั้งถิ่นฐานที่มีความหนาวเย็นกว่าภูมิภาคอื่นของประเทศไทย อีกทั้งยังพบปัจจัยที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การก่อสร้าง สารพิษจากยานพาหนะ การเผาขยะ การเผาตอซัง การเผาป่า ฯลฯ ที่สร้างมลภาวะทางอากาศ จึงตกอยู่ในภาวะของการถูกคุกคามทางสุขภาพ โดยเฉพาะโรคหืด (Phatthaisong, 2017)

ทั้งนี้วิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ได้จัดตั้งโรงพยาบาล

สาธิตการแพทย์แผนไทยเพื่อการฝึกทักษะแก่นักศึกษาแพทย์แผนไทยในการดูแลรักษาผู้ป่วยอาสาสมัครร่วมกับการศึกษาวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้การแพทย์แผนไทยเพื่อรับใช้ชุมชนท้องถิ่น โดยโรคหืดจัดเป็นกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่แพทย์แผนไทยได้พัฒนาวิธีการเสริมการรักษาโรคหืดของการแพทย์แผนปัจจุบันด้วยการใช้ยาต้มหนุมานประสานกาย โดยวิเคราะห์การกำเริบของโรคหืดจากความถี่การใช้ยาพ่นสูดขยายหลอดลมก่อนและหลังการรับประทานยาต้มหนุมานประสานกาย ซึ่งมีการนัดหมายติดตามผลสัปดาห์ละ 1 ครั้งต่อเนื่องตลอดฤดูกาล ทั้งนี้ด้วยยาหนุมานประสานกายเป็นรูปแบบยาน้ำ โดยการต้มเคี่ยวให้เหลือ 1 ใน 3 ปรับรสขมด้วยรากชะเอมเทศตามกรรมวิธีการแพทย์แผนไทยที่ปรากฏในตำราการแพทย์แผนไทย แล้วบรรจุถุงแบบพาสเจอร์ไรซ์ 100 มิลลิลิตร พิจารณาจ่ายยาต้มหนุมานประสานกาย ดื่มวันละ 2 เวลาก่อนอาหาร เช้าและเย็น พบว่า สามารถทดแทนการใช้ยาพ่นได้ถึงร้อยละ 80 (Ngoenngam, 2019) แต่ยังพบข้อจำกัดของการบรรจุยาแบบถุงพาสเจอร์ไรซ์ที่มีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 2 สัปดาห์และจำเป็นต้องเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ส่งผลกระทบต่อแผนการเสริมการรักษาและระบบการนัดหมายผู้ป่วยโรคหืด จึงได้มีการพัฒนารูปแบบยาหนุมานประสานกายในลักษณะผงชงละลายสำหรับเสริมการรักษาโรคหืดที่มีสัดส่วนมอลโตเดกซ์ตริน 20% เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายแบบผงชงละลายมีความเหมือนกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Ngoenngam et al., 2023) ต่อมาได้มีการศึกษาการพัฒนารูปแบบยาต้มหนุมานประสานกายให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการรักษา พบว่า หลังการใช้ยาต้มหนุมานประสานกายที่ปรับความเข้มข้นแล้วเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ สามารถทดแทนการใช้ยาพ่นได้ถึงร้อยละ 97.18 (Ngoenngam et al., 2024) ถึงแม้การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายในรูปแบบยาต้มด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของหนุมานประสานกายจะช่วยเสริมการรักษาผู้ป่วยโรคหืดและลดการใช้ยาพ่นได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดเรื่องอายุการเก็บรักษาที่สั้น และยังมีความจำเป็นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบยาต้มเข้มข้นให้อยู่ในรูปแบบผงชงละลายที่สามารถพกพาได้สะดวกและสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เนื่องจากรูปแบบยาผงซึ่งถูกบรรจุอยู่ในซองที่ปิดสนิทจะมีความชื้นของผงยาต่ำ สามารถลดการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์รวมถึงลดความเสี่ยงต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

ดังนั้นทีมผู้ศึกษาจึงเล็งเห็นโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายสำหรับบรรเทาอาการหืดที่สามารถพกพาได้และเก็บรักษาได้นานขึ้น เพื่อลดข้อจำกัดของระบบการวางแผนเสริมการรักษาโรคหืดรวมถึงระบบการนัดหมายและติดตามผลของแพทย์แผนไทย เสริมสร้างภาพลักษณ์ของแพทย์แผนไทยที่ทันสมัยและมีความเป็นมืออาชีพเพื่อรับใช้ประชาชนและสังคมในอนาคตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นที่ได้น้อมนำพระบรมราโชบายด้านการศึกษาโดยบูรณาการองค์ความรู้สร้างนวัตกรรมถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน (Council of University Presidents of Rajabhat Universities, 2018) อีกทั้งยังเป็นการยกระดับศักยภาพของการแพทย์แผนไทยอย่างร่วมสมัย สามารถเป็นทางเลือกในการดูแลรักษาสุขภาพแก่ชุมชนและสังคมต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ทางชีวภาพและความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบยาต้มเข้มข้นให้อยู่ในรูปแบบผงชงละลายสำหรับบรรเทาอาการหืด

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

1) ต้มสกัดตำรับยาหนุมานประสานกายต้นแบบ

ในอัตราส่วนของยา 20 กรัม ต่อน้ำ 1,400 มิลลิลิตร ผ่านเครื่องต้มยาและบรรจุยาอัตโนมัตินาน 90 นาที

2) นำยาน้ำหนุมานประสานกายปริมาณ 1,400 มิลลิลิตร ไประเหยเพื่อให้เกิดความเข้มข้นที่ 3% Brix และเหลือปริมาณยาน้ำเข้มข้นเท่ากับ 700 มิลลิลิตร

3) นำยาน้ำเข้มข้น 3% Brix ปริมาณ 700 มิลลิลิตร มาผสมกับมอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin) ในอัตราส่วน 5% 10% และ 15% ตามลำดับ และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง จนได้ยาในลักษณะผลึกสีน้ำตาล

4) จากนั้นนำยาที่แห้งสนิทแล้ว บดละเอียดและทำการร่อนผงยาผ่านตะแกรง เบอร์ 100 จากนั้นบรรจุผงยาใส่ซองปิดสนิท

2. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ สารพฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

1) ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย ประกอบด้วย การทดสอบความเป็นกรด-เบส (pH) การทดสอบสี การทดสอบกลิ่น การทดสอบรสชาติ การทดสอบความเข้มข้นของของแข็งที่อยู่ในสารละลาย (brix) และการทดสอบความถ่วงจำเพาะ ซึ่งดัดแปลงวิธีจากธีรนันท์ ธนัญชัย (Tananchai, 2022) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.1) การทดสอบความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่องมือ LAQUA PH1500

1.2) การทดสอบสี โดยใช้การเทียบแถบสีตามหลักของ CMYK color chart

1.3) การทดสอบกลิ่น โดยอาศัยประสาทสัมผัสจากการดม

1.4) การทดสอบรสชาติ โดยอาศัยประสาทสัมผัสจากการชิม

1.5) การทดสอบความเข้มข้นของของแข็งที่อยู่ในสารละลาย ด้วยเครื่องมือ Master Refractometer Atago

1.6) การทดสอบความถ่วงจำเพาะด้วยเครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะด้วย Hydrometer

1.7) การทดสอบความหนืด ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบถ้วย TQC Sheen Viscosity Flow Cup No.2 แล้วบันทึกเวลาการไหล

2) ตรวจสอบสารพฤกษเคมีของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

2.1) การทดสอบสารซาโปนินเชิงคุณภาพ โดยการชั่งผงสมุนไพร 10 มิลลิกรัมต่อน้ำ 5 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรง 10 นาที เพื่อสังเกตการเกิดฟองที่คงตัวนาน 30 นาที ซึ่งหมายถึงพบสารกลุ่มซาโปนิน (Rittiron et al., 2022) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

2.2) การทดสอบหาปริมาณสารฟีนอลิกรวมใช้วิธี Folin-Ciocalteu โดยดัดแปลงวิธีจากฤทธิพันธ์ รุ่งเรือง และคณะ (Rungruang et al., 2020) โดยเติมตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 µg/mL หรือสารมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 0 1.25 2.5 5 10 และ 20 µg/mL ปริมาณ 20 ไมโครลิตร ผสมกับ 10% Folin-ciocalteu's reagent 100 ไมโครลิตร ใน 96-well plate เป็นระยะเวลา 7 นาทีแล้วเติม 7.5% Na_2CO_3 80 ไมโครลิตร ผสมและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ยี่ห้อ Biochrom รุ่น EZ Read 2000 ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร เทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก โดยคำนวณเทียบกับสมการมาตรฐานเส้นตรง

$$y = 0.0611x + 0.0466 \quad (1)$$

โดยที่ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

x คือ ความเข้มข้นของกรดแกลลิก

มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9948 แสดงหน่วย เป็น mg GAE/g extract ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย

3) ตรวจสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการสร้างไนตริกออกไซด์ของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย ดัดแปลงจากอริสา ฤทธิรณ และคณะ (Rittiron et al.,

2022) ทำการปิเปตสารตัวอย่าง (0-10,000 µg/mL) และสารมาตรฐาน Trolox (0-400 µg/mL) อย่างละ 50 µL ใส่ลงใน 96-well plate แล้วเติม 10 mM Sodium nitroprusside ที่ละลายใน Phosphate buffer saline pH 7.4 ปริมาตร 50 µL ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 150 นาที หลังจากนั้นเติม Griess reagent (Sigma, G4410) จำนวน 100 µL ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 nm ด้วยเครื่อง Microplate reader ยี่ห้อ Biochrom รุ่น EZ Read 2000 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำไปหาค่าเฉลี่ย และคำนวณหาค่า % NO inhibition ตามสูตร ดังนี้

$$\%Inhibition = \left[\frac{A(Control) - A(Sample)}{A(Control)}\right] \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

A (Control) คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม

A (Sample) คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทดสอบ

3. การศึกษาความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

3.1 กลุ่มตัวอย่างในการศึกษา คือ อาจารย์แพทย์แผนไทยและแพทย์แผนไทยปฏิบัติการ สังกัดวิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 10 คน เป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญโดยคัดเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) ภายใต้เกณฑ์การคัดเข้า คือ เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการให้บริการรักษาโรคในคลินิกการแพทย์แผนไทย มีความเชี่ยวชาญด้านสมุนไพร การผลิตยาและผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ และปฏิบัติงานอยู่ในโรงพยาบาลสาธิตการแพทย์แผนไทยมาไม่น้อยกว่า 3 ปี โดยผู้ให้ข้อมูลสำคัญจะได้ประโยชน์จากงานวิจัยครั้งนี้ คือ ได้นำความรู้ไปปรับประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษาแพทย์แผนไทยในการดูแลสุขภาพของผู้ป่วยโรคหืด ตลอดจนเป็นฐานข้อมูลเพื่อปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ

3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยอาศัยคุณลักษณะที่ใช้ในการประเมินทางประสาทสัมผัส คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และการยอมรับโดยรวม ใช้วิธีการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-point Hedonic Scoring test ซึ่งกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนเป็นแบบ 9 ระดับ คือ 9=ชอบมากที่สุด 8=ชอบมาก 7=ชอบปานกลาง 6=ชอบเล็กน้อย 5=เฉย ๆ 4=ไม่ชอบเล็กน้อย 3=ไม่ชอบปานกลาง 2=ไม่ชอบมาก 1=ไม่ชอบมากที่สุด (Auppathak et al., 2024)

การวิจัยครั้งนี้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เอกสารเลขที่ COE.020/2567 ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน 2567 โดยผู้วิจัยคำนึงถึงการพิทักษ์สิทธิ์ การยินยอมของผู้ให้ข้อมูลเป็นสำคัญ โดยไม่มีการเปิดเผยข้อมูลให้กับผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องและข้อมูลที่จะได้จากการวิจัยจะใช้เพื่อศึกษาตามวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านการอักเสบ และการวิเคราะห์ผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายทั้ง 3 สูตร วิเคราะห์ข้อมูลโดยค่าจำนวน ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GraphPad Prism Version 6 ทดสอบความแตกต่างของคะแนนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<.05$) และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One-way ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) ซึ่งมีการใช้ Post hoc test โดยใช้ Dunnett's multiple comparisons test ในการเปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์ หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย ผสม 5% 10% และ 15% Maltodextrin และใช้ Tukey's multiple comparisons test สำหรับเปรียบเทียบผลความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างต่อผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

ผลการวิจัย

1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพ สารพฤกษเคมี และฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกาย รูปแบบผงชงละลาย

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณผงยาหนุมานประสานกายต่อการชงละลาย

จากการเตรียมผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายให้อยู่ในรูปแบบผงชงละลายด้วยการต้มสกัด จากนั้นนำมาระเหยให้ได้ความเข้มข้นที่ 3% Brix จนเหลือปริมาณยาน้ำเข้มข้นเท่ากับ 700 มิลลิลิตร แล้วนำยาน้ำเข้มข้นมาผสมกับมอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin) ในอัตราส่วน 5% 10% และ 15% จากนั้นนำไปอบแห้ง แล้วทำการบดละเอียดและร่อนผงยาผ่านตะแกรงเบอร์ 100 พร้อมบรรจุในซองปิดสนิท พบว่า น้ำหนักของผงยาหนุมานประสานกายคงเหลือสุทธิในสูตรที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 37 70 และ 101 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 1

จากนั้นจึงนำปริมาณน้ำหนักของผงยาหนุมานประสานกายคงเหลือสุทธิมาวิเคราะห์ปริมาณผงยาหนุมานประสานกายต่อการชงละลาย พบว่า ปริมาณของยาผงหนุมานประสานกายสัดส่วน 5% Maltodextrin อยู่ที่จำนวน 37 กรัม คิดต่อปริมาณดื่มยาเท่ากับ 2.64 กรัม ปริมาณของยาผงหนุมานประสานกายสัดส่วน 10% Maltodextrin อยู่ที่จำนวน 70 กรัม คิดต่อปริมาณดื่มยาเท่ากับ 5 กรัม ปริมาณของยาผงหนุมานประสานกายสัดส่วน 15% Maltodextrin อยู่ที่จำนวน 101 กรัม คิดต่อปริมาณดื่มยาเท่ากับ 7.2 กรัม ดังแสดงในตาราง 2 และภาพ 1

ตาราง 1

น้ำหนักของผงยาหนุมานประสานกายคงเหลือสุทธิ

ลำดับ	รายการ	น้ำหนัก (กรัม)
1	ยาผงหนุมานประสานกายสัดส่วน 5% Maltodextrin	37
2	ยาผงหนุมานประสานกายสัดส่วน 10% Maltodextrin	70
3	ยาผงหนุมานประสานกายสัดส่วน 15% Maltodextrin	101

ตาราง 2

ปริมาณผงยาหนุมานประสานกายต่อการชงละลาย

อัตราส่วนของมอลโตเดรกซ์ตริน	น้ำหนักสุทธิของผงยา(กรัม)	น้ำหนักต่อการรับประทานใน 1 มื้อ (กรัม)
5%	37	2.64
10%	70	5.00
15%	101	7.20



ภาพ 1 แสดงถึงผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายทั้ง 3 สูตร

1.2 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายเป็นการเปรียบเทียบระหว่างยาหนุมานประสานกายต้นแบบกับผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายในรูปแบบผงชงละลายทั้ง 3 สูตร พบว่า ลักษณะสีผงยาก่อนชงมีความแตกต่างกัน คือ สีน้ำตาลแถบที่ 6 (0 25 100 60) สีน้ำตาลแถบที่ 5 (0 25 100 40) และสีน้ำตาลแถบที่ 4 (0 25 100 20) ตามลำดับ ปริมาณผงยาก่อนชง เท่ากับ 2.64 5.00 และ 7.20 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาละลายในน้ำปริมาณ 100 มิลลิลิตร ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีระยะเวลาการละลายความแตกต่างกัน คือ 20.23 29.43 และ 33.90 วินาที ตามลำดับ สีน้ำยาหลังชงละลายลักษณะเข้มกว่าต้นฉบับ คือ สีน้ำตาลแถบที่ 6 (0 25 100 60) ส่วนกลิ่นและรสชาติเหมือนกัน คือ กลิ่นเฉพาะตัวของกลิ่นหนุมานประสานกาย และรสชาติขมเล็กน้อยติดหวาน ส่วนความเป็นกรด-เบส (pH) เท่ากับ 5.84, 6.70, 6.83 และ 6.89 ตามลำดับ และความเข้มข้นของของแข็งที่อยู่ในสารละลาย (% Brix) เท่ากับ 0 3 5 และ 7 ตามลำดับ ขณะที่ความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 1.000 1.008 1.017 และ 1.026 และความหนืดใกล้เคียงกันคือ 14.24 14.29 14.40 และ 14.40 วินาที ดังแสดงในตาราง 3 และภาพ 2-3

1.3 การตรวจสอบสารพฤกษเคมีของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

1) การทดสอบสารซาโปนินเชิงคุณภาพในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายทั้ง 3 สูตร โดยการชั่งผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกาย 10 มิลลิกรัมต่อน้ำ 5 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรง 10 นาที ผลการทดสอบพบว่าจะสังเกตเห็นการเกิดฟองที่คงตัวนาน 30 นาที โดยในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายสูตรที่ 1 (5% Maltodextrin) พบการเกิดฟองมากที่สุด รองลงมาจะเห็นการเกิดฟองในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายสูตรที่ 2 (10% Maltodextrin) เกิดฟองเล็กน้อย ขณะที่ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายสูตรที่ 3 (15% Maltodextrin) เกิดฟองน้อยที่สุด ดังแสดงผลในตาราง 4 ซึ่งการเกิดฟองหมายถึง การพบสารในกลุ่มซาโปนิน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายสูตรที่ 1 2 และ 3 ตรวจพบสารซาโปนินเชิงคุณภาพ แต่ในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ตรวจวัดสารซาโปนินเชิงปริมาณ จึงไม่สามารถบอกปริมาณที่แน่นอนของสารซาโปนินที่พบในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายได้ เพียงแค่สามารถคาดการณ์ได้ว่าสารในกลุ่มซาโปนินอาจจะพบมากที่สุดในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายสูตรที่ 1 (5% Maltodextrin) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกาย

รูปแบบผงชงละลายสูตรที่ 2 (10% Maltodextrin) และสูตรที่ 3 (15% Maltodextrin) ตามลำดับ เนื่องจากพบการเกิดฟองมากที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มสัดส่วนของปริมาณ Maltodextrin ในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายไปทดแทนน้ำหนักของสารกลุ่มซาโปนินให้มีปริมาณลดน้อยลงตามลำดับ

2) การทดสอบหาปริมาณสารฟีนอลิกรวมในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายทั้ง 3 สูตร เทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิกที่ได้ทำกราฟสารมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 0 1.25 2.5 5 10 และ 20 µg/mL ผลการทดสอบพบว่า ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% Maltodextrin พบปริมาณสารฟีนอลิกรวมมากที่สุดเท่ากับ 5.71±0.06 mg GAE/g extract รองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 10% Maltodextrin เท่ากับ 3.33±0.29 mg GAE/g extract และผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 15% Maltodextrin เท่ากับ 2.31±0.18 mg GAE/g extract ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) สาเหตุที่ปริมาณสารฟีนอลิกรวมในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Maltodextrin มากขึ้น อาจเกิดจากในปริมาณที่เท่ากันของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกาย เมื่อมีส่วนผสมของ Maltodextrin ที่เพิ่มมากขึ้น (5% 10% และ 15%) จะไปทดแทนน้ำหนักของสมุนไพรหนุมานประสานกาย ทำให้องค์ประกอบที่เป็นสารกลุ่มฟีนอลิกลดน้อยลงตามลำดับ

ตาราง 3

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของยาหนุมานประสานกายในรูปแบบยาน้ำและยาผงชงละลายทั้ง 3 สูตร

ลำดับ	รายการทดสอบ	รูปแบบผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกาย			
		ยาน้ำ (ต้นแบบ)	ยาผงชงละลาย		
			สูตรที่ 1 5% Maltodextrin	สูตรที่ 2 10% Maltodextrin	สูตรที่ 3 15% Maltodextrin
1	สีผงยาก่อนชง  	-	แถบสีที่ 6 (0 25 100 60)	แถบสีที่ 5 (0 25 100 40)	แถบสีที่ 4 (0 25 100 20)
2	ปริมาณผงก่อนชง	-	2.64 กรัม	5.00 กรัม	7.20 กรัม
3	ระยะเวลาละลาย	-	20.23 วินาที	29.43 วินาที	33.90 วินาที
4	ปริมาณน้ำ	100 มล.	100 มล.	100 มล.	100 มล.
5	สีน้ำหลังชงละลาย  	แถบสีที่ 4 (0 25 100 20)	แถบสีที่ 6 (0 25 100 60)	แถบสีที่ 6 (0 25 100 60)	แถบสีที่ 6 (0 25 100 60)
6	กลิ่น	กลิ่นเฉพาะตัว	กลิ่นเฉพาะตัว	กลิ่นเฉพาะตัว	กลิ่นเฉพาะตัว
7	รสชาติ	ขมติดหวาน	ขมติดหวาน	ขมติดหวาน	ขมติดหวาน
8	pH	5.84	6.70	6.83	6.89
9	Brix	0	3	5	7
10	ความถ่วงจำเพาะ	1.000	1.008	1.017	1.026
11	ความหนืด	14.24 วินาที	14.29 วินาที	14.40 วินาที	14.40 วินาที



ภาพ 2 สีของยาผงหนุมานประสานกาย



ภาพ 3 การเปรียบเทียบสีของยาน้ำหนุมานประสานกายต้นแบบกับผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายหลังชงด้วยน้ำทั้ง 3 สูตร

ตาราง 4

ผลการทดสอบสารซาโปนินเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายทั้ง 3 สูตร

ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกาย รูปแบบผงชงละลาย	**การทดสอบสารซาโปนินเชิงคุณภาพ**
5% Maltodextrin	+++
10% Maltodextrin	++
15% Maltodextrin	+

หมายเหตุ: +++ คือ พบมาก ++ คือ พบปานกลาง + คือ พบน้อย

ตาราง 5

ปริมาณสารฟีนอลิกรวมในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% 10% และ 15% Maltodextrin

ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกาย รูปแบบผงชงละลาย	ปริมาณสารฟีนอลิกรวม (mg GAE/g extract)
5% Maltodextrin	5.71 ± 0.06
10% Maltodextrin	3.33 ± 0.29*
15% Maltodextrin	2.31 ± 0.18*

* p<.05 เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% Maltodextrin

1.4 ตรวจสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

การทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบจะทดสอบจากฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างไนตริกออกไซด์ซึ่งไนตริกออกไซด์จัดเป็นอนุมูลอิสระชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นสารสื่อกลางในการเกิดการอักเสบ ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย พบว่า ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% 10% และ 15% Maltodextrin มีฤทธิ์ต้านการอักเสบในระดับที่ไม่สูงมากนัก โดยคาดการณ์ว่าค่า IC_{50} ที่สามารถยับยั้งการสร้างไนตริกออกไซด์ได้ร้อยละ 50 (inhibition concentration 50; IC_{50}) มากกว่า 10 mg/mL โดยเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านการอักเสบในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% 10% และ 15% Maltodextrin จะพบว่า ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% Maltodextrin มีฤทธิ์ต้านการอักเสบสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 10% Maltodextrin และผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 15% Maltodextrin ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับ Trolox ที่ใช้เป็นกลุ่มควบคุมจะพบว่า ประสิทธิภาพของฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% 10% และ 15 Maltodextrin มีค่าต่ำกว่า Trolox ค่อนข้างมาก ดังแสดงในภาพ 4 ซึ่งที่ความเข้มข้น 5 และ 10 mg/mL มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) สาเหตุอาจเกิดจากเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Maltodextrin ในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย (5% 10% และ 15%) จะไปทดแทนน้ำหนักของสมุนไพรหนุมานประสานกาย ทำให้สัดส่วนของสมุนไพรหนุมานประสานกายลดลงจึงมีผลต่อฤทธิ์ต้านการอักเสบของสมุนไพรหนุมานประสานกายที่ลดลงด้วยตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบของสารมาตรฐาน Trolox ควบคู่ไปด้วยพบว่า สารมาตรฐาน Trolox พบค่า IC_{50} เท่ากับ 85.93±14.10 µg/mL

2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

ผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายได้ตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ประกอบด้วยสารสกัดและ/หรือพืชสมุนไพร (ที่มีหรือไม่มีสารปรุงแต่ง) ซึ่งมีการรับประทานในลักษณะชงด้วยน้ำเดือดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องเกณฑ์มาตรฐานค่าความบริสุทธิ์ หรือคุณลักษณะอื่นอันมีความสำคัญต่อคุณภาพ สำหรับตำรับผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ขึ้นทะเบียนแจ้งรายละเอียด หรือจดแจ้ง พ.ศ. 2564 (Notification of the Ministry of Public Health, 2021) พบว่า ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานก่อนนำไปสู่กระบวนการทดสอบผลความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์กับอาสาสมัคร จำนวน 10 ราย ด้วยแบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสทั้ง 6 ด้าน ประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

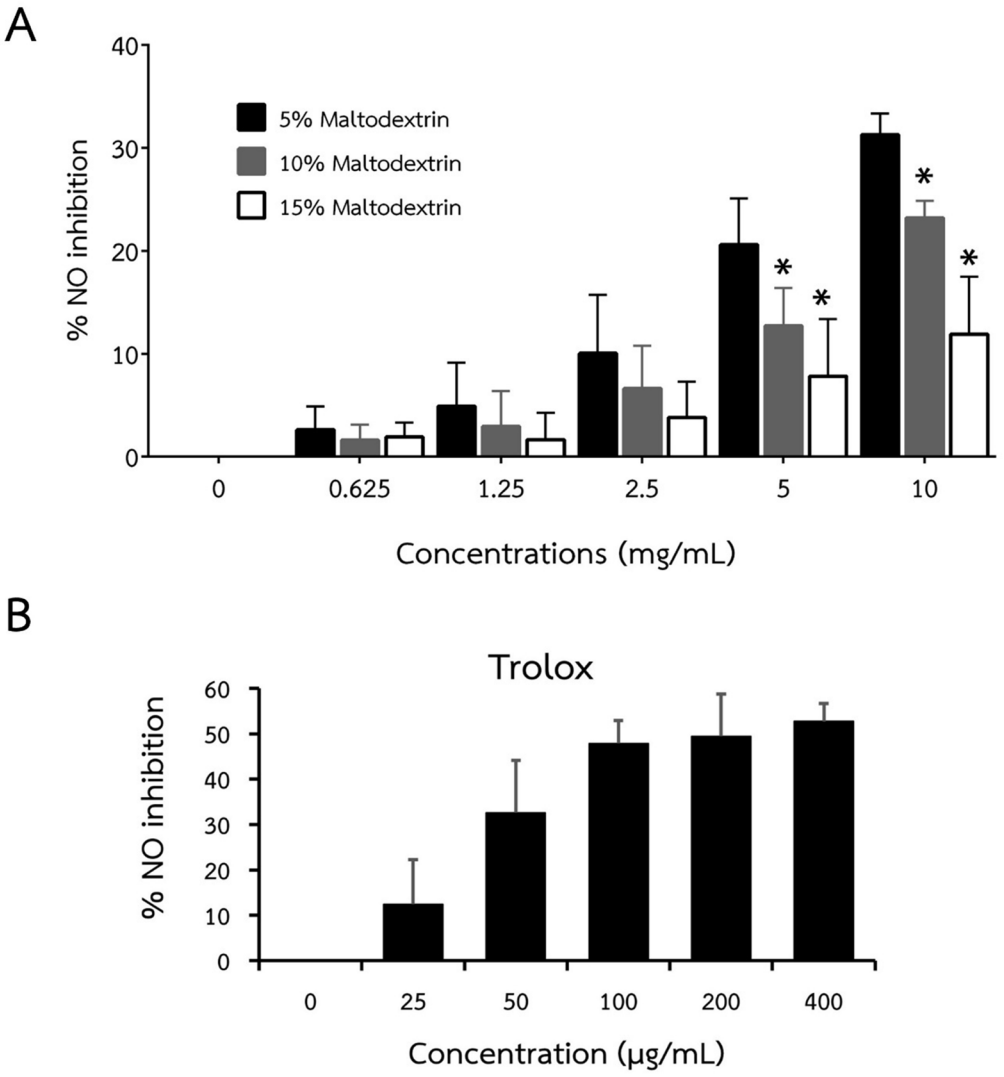
2.1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ทดสอบชิม

กลุ่มอาสาสมัครที่ทดสอบการชิม จำนวน 10 คน แบ่งเป็นเพศหญิง 9 ราย และเพศชาย จำนวน 1 ราย ซึ่งมีอายุระหว่าง 30-40 ปี 8 ราย และอายุตั้งแต่ 40 ปีขึ้นไป 2 ราย โดยมีตำแหน่งเป็นแพทย์แผนไทย จำนวน 1 ราย และอาจารย์แพทย์แผนไทยจำนวน 9 ราย

2.2 ผลความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

ผลความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายทั้ง 3 สูตร (5% 10% และ 15% Maltodextrin) ที่ทดสอบด้วยแบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสทั้ง 6 ด้าน ประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า (1) ลักษณะปรากฏ มีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 7.10±1.10

7.20±1.14 และ 6.32±1.14 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ (2) สี มีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 7.10±0.88 7.00±1.49 และ 6.46±1.07 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ (3) กลิ่น มีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 7.80±0.79 6.40±1.51 และ 5.86±1.58 ซึ่งในสูตรที่ 1 และ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>.05) (4) รสชาติ มีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 5.90±2.02 6.60±2.27 และ 6.06±1.62 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ (5) เนื้อสัมผัส มีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 6.90±1.10 7.00±1.15 และ 6.37±1.25 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ (6) ความชอบโดยรวม มีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 6.90±1.52 6.90±1.91 และ 6.30±1.37 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งโดยภาพรวมอาสาสมัครมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 3 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 6



ภาพ 4 แสดงฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% 10% และ 15% Maltodextrin (A) และสารมาตรฐาน Trolox (B) * p<.05 เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% Maltodextrin

ตาราง 6

ผลความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย

รายการทดสอบ	สูตรที่ 1 (5% Maltodextrin)		สูตรที่ 2 (10% Maltodextrin)		สูตรที่ 3 (15% Maltodextrin)	
	คะแนน	การยอมรับ	คะแนน	การยอมรับ	คะแนน	การยอมรับ
ลักษณะปรากฏ	7.10±1.10	ชอบปานกลาง	7.20±1.14	ชอบปานกลาง	6.32±1.14	ชอบเล็กน้อย
สี	7.10±0.88	ชอบปานกลาง	7.00±1.49	ชอบปานกลาง	6.46±1.07	ชอบเล็กน้อย
กลิ่น	7.80*±0.79	ชอบปานกลาง	6.40±1.51	ชอบเล็กน้อย	5.86*±1.58	เฉยๆ
รสชาติ	5.90±2.02	เฉยๆ	6.60±2.27	ชอบเล็กน้อย	6.06±1.62	ชอบเล็กน้อย
เนื้อสัมผัส	6.90±1.10	ชอบเล็กน้อย	7.00±1.15	ชอบปานกลาง	6.37±1.25	ชอบเล็กน้อย
ความชอบโดยรวม	6.90±1.52	ชอบเล็กน้อย	6.90±1.91	ชอบเล็กน้อย	6.30±1.37	ชอบเล็กน้อย

* แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สรุปและอภิปรายผล

การพัฒนาผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายสำหรับบรรเทาอาการหืด เป็นการพัฒนาจากรูปแบบยาต้มหนุมานประสานกายรูปแบบดั้งเดิมที่มีสรรพคุณในการเสริมการรักษาโรคหืด ลดการใช้ยาพ่นและเพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับผู้ป่วย แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านของการพกพาและการเก็บรักษา เนื่องจากยารูปแบบน้ำจะต้องจัดเก็บไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส แต่เมื่อมีการปรับรูปแบบเป็นผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายแบบผงชงละลายสามารถเก็บรักษาได้ง่ายขึ้น โดยเก็บที่อุณหภูมิห้องได้ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายมีประโยชน์ต่อระบบบริหารจัดการผลิตภัณฑ์ยาสมุนไพรซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาศักยภาพและบทบาทของแพทย์แผนไทยในบริบทโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเชียงของที่อธิบายถึงการนำสมุนไพรหนุมานประสานกายเสริมการรักษาผู้ป่วยโรคหืดในสถานพยาบาลการแพทย์แผนไทย (Pongkraisit, 2021) และสอดคล้องกับการพัฒนารูปแบบยาหนุมานประสานกายสำหรับเสริมการรักษาโรคหืดที่อธิบายถึงการพัฒนารูปแบบยาต้มเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพระบบการนัดหมายผู้ป่วยโรคหืด (Ngoenngam et al., 2023)

สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายจากรูปแบบยาน้ำให้เป็นยาผงชงละลายจะใช้ Maltodextrin ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้สำหรับเพิ่มปริมาณของผลิตภัณฑ์ในการทำแห้ง (dehydration) โดยการศึกษาครั้งนี้ได้มีการศึกษาปริมาณของ Maltodextrin ที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบผงชงละลาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 สูตร คือ 5% 10% และ 15% Maltodextrin ผลการทดสอบพบว่า ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร ได้แก่ สีของผลิตภัณฑ์หลังชงด้วยน้ำ กลิ่น รสชาติ และ ค่า pH มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่า Brix ที่เป็นการวัดความหวานคือปริมาณน้ำตาลในของเหลวและค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ Maltodextrin ที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจาก Maltodextrin เป็นสารที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ชบางส่วนให้เป็นสายสั้น ๆ ของน้ำตาลกลูโคสจึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นได้

ผลการทดสอบสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายพบว่าผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% Maltodextrin ตรวจพบสารซาโปนินเชิงคุณภาพ ซึ่งอาจจะต้องมีการตรวจวัดสารซาโปนินเชิงปริมาณในอนาคต เพื่อให้ทราบปริมาณที่แท้จริงของสารซาโปนินที่พบในผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลาย และผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% Maltodextrin มีปริมาณสารฟีนอลิก รวมสูงที่สุด (5.71±0.06 GAE/g extract) เมื่อเทียบกับ 10% และ

15% Maltodextrin ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาแนวทางการส่งเสริมการใช้หนุมานประสานกายสำหรับเสริมการรักษาผู้ป่วยโรคหืดในชุมชนที่ตรวจพบปริมาณสารฟีนอลิกรวมในใบหนุมานประสานกายสดมีค่าเท่ากับ 42.77±1.63 mg GAE/g extract และใบแห้งมีค่าเท่ากับ 38.37±4.18 mg GAE/g extract (Sitthisradoo et al., 2025) แต่เนื่องจากในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายครั้งนี้มีการผสม Maltodextrin เพื่อช่วยเพิ่มเนื้อยาในการทำแห้งและทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปแบบผง ดังนั้นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของ Maltodextrin อาจจะไปแทนที่สัดส่วนของสารสำคัญของหนุมานประสานกาย ทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกรวมลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ Maltodextrin มากขึ้น และพบว่าผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 5% Maltodextrin มีฤทธิ์ในการต้านอักเสบสูงกว่าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายที่ผสม 10% และ 15% Maltodextrin แต่อย่างไรก็ตามฤทธิ์ในการต้านอักเสบของผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายที่ได้ยังคงมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับตัวควบคุม Trolox ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า สารซาโปนินในใบหนุมานประสานกายสามารถลดการอักเสบจากฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างไนตริกออกไซด์ (Sanssomchai & Rujjanawate, 2008)

การทดสอบความพึงพอใจของอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายทั้ง 3 สูตร พบว่าความชอบโดยรวมในผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 (5% Maltodextrin) และสูตรที่ 2 (10% Maltodextrin) เท่ากัน โดยสูตรที่ 1 มีความพึงพอใจในด้านสีและกลิ่นมากที่สุด ในขณะที่สูตรที่ 2 มีความพึงพอใจในด้าน ลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัสมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม จากการประเมินความพึงพอใจในครั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างเพียง 10 ราย ซึ่งเป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญโดยใช้วิธีคัดเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) จากประชากรทั้งหมด 37 คน ภายใต้เกณฑ์การคัดเข้า คือ เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการให้บริการรักษาโรคในคลินิกการแพทย์แผนไทย มีความเชี่ยวชาญด้านสมุนไพร การผลิตยาและผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ และปฏิบัติงานอยู่ในโรงพยาบาลสาธิตการแพทย์แผนไทยมาไม่น้อยกว่า 3 ปี ซึ่งอาจไม่สามารถสะท้อนความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคจริงได้ ดังนั้นจึงควรมีการประเมินความพึงพอใจในกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนมากขึ้นในอนาคต ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสูตรที่ 2 มีปริมาณ Maltodextrin ที่มากกว่าจึงทำให้มีรสชาติหวานจากน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบของ Maltodextrin จึงรับประทานได้ง่ายกว่า แต่เมื่อพิจารณาจากการตรวจสอบสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านการอักเสบในผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 พบว่า มีฤทธิ์ดีที่สุด จึงควรพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์หนุมานประสานกายรูปแบบผงชงละลายสูตรที่ 1 (5% Maltodextrin) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการติดตามผลการเสริมการรักษาผู้ป่วยโรคหืดในคลินิกหรือสถานบริการทางการแพทย์แผนไทยต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยการแพทย์พื้นบ้านและการแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่สนับสนุนทุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2568 ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์สถานที่และวัสดุอุปกรณ์ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

References

Auppathak, C., Kitjavorasatien, S., Tubbiyam, P., Ooaymaweerahirun, P., Klinmalai, S., Rongrat, K., & Thedkwanchai, S. (2024). Results of the study of chemical and physical properties of pomelo peel products [In Thai]. *Christian University Journal, 30*(1), 95-108. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/CUTJ/article/view/263617

Council of University Presidents of Rajabhat Universities. (2018). *Rajabhat University strategy for local development, 20-year period (2017–2036)* [In Thai] (Rev. ed.). Office of the Council of University Presidents of Rajabhat Universities.

Jitwarawong, S., & Nawsuwan, K. (2021). Factors associated with self-care behavior of asthma patients in Asthma Clinic of Khuanniang Hospital, Songkhla Provinces [In Thai]. *Journal of Boromarajonani College of Nursing, Surin, 11*(1), 15–26. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/bcnsurin/article/view/245820.

Leelacharat, S., & Chiarawittayakit, S. (2015). Utilization of the commonsense model of illness representations with caring and advice for patients with asthma [In Thai]. *Journal of Public Health Nursing, 29*(3), 137-152. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/phn/article/view/48606

Ngoenngam, P. (2019). *Reducing asthma exacerbation symptoms with Hanuman Prasankai herbal medicine* [In Thai] [Master's thesis, Chiang Rai Rajabhat University].
Chiang Rai Rajabhat University.

Ngoenngam, P., Chaichana, T., Sitthisradoo, P., Punfa, W., & Yangwan, S. (2024). *Development of herbal product formulations to supplement the treatment of asthma patients* [In Thai] [Research report]. School of Traditional and Alternative Medicine, Chiang Rai Rajabhat University. Chiang Rai.

Ngoenngam, P., Ruancharoen, C., Maneewan, P., Kaewjanta, S., & Tansuwanwong, S. (2023). Development of Hanumanprasankai Drug Formulations for adjunctive treatment of asthma [In Thai]. *Journal of Environmental Education Medical and Health, 8*(3), 79–87. https://so06.tci-thaijo.org/index.php/hej/article/view/267348

Nijaranond, L. (2019). Effect of clinical practice guideline implementation to prevent asthma exacerbations among pediatric patients with respiratory failure due to asthma in pediatric intensive care unit, Songkhla Hospital [In Thai]. *Journal of Prachomklao College of Nursing, Phetchaburi Province, 2*(2), 1–15. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/pck/article/view/207055

Notification of the Ministry of Public Health. (2021). Issued on standard, purity value and other quality characteristics for formula registration, notification, or listing of herbal products. B.E. 2564 (2021) [In Thai]. *Government gazette*, Vol. 138, Special Chapter 294 D, pp. 6-7.

Phatthaisong, C. L. (2017). *Analysis for air pollution in dust particles in Chiang Mai and Lamphun provinces* [In Thai] [Research report]. http://search.lib.cmu.ac.th.

Pongkraisit, N. (2021). *Potentials and roles of Thai Traditional Medicine under the context of Chiang Khong Crown Prince Hospital: A case study of asthma complementary treatment with Hanumanprasankai* [In Thai] [Independent study, Chiang Rai Rajabhat University]. Chiang Rai Rajabhat University.

Rittiron, A., Kanpipit, N., & Thapphasaraphong, S. (2022). Preliminary phytochemical investigation, antioxidation and nitric oxide inhibition of sugarcane and toei-hom extracts for healthy drink applications [In Thai]. *Journal of Traditional Thai Medical Research, 8*(2), 111–130. https://he02.tci-thaijo.org/index.php/ttm/article/view/260029

Rungruang, R., Kokilakanishtha, O., Selamassakul, O., Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., & Laohakunjit, N. (2020). Phytochemical compositions and biological activities of essential oil and crude extract of Sesuvium portulacastrum [In Thai]. *Science and Engineering Connect, 43*(4), 441–456. https://ph04.tci-thaijo.org/index.php/SEC/article/view/10676

Sanssomchai, P., & Rujjanawate, C. (2008). *The COX-2 inhibition and antioxidant activity by saponin of Schefflera Leucantha* [In Thai] [Research report]. Mae Fha Luang University.

Sitthisradoo, P., Ngoenngam, P., Chaichana, T., Punfa, W., & Yangwan, S. (2025). A study of guidelines for promoting the use of hanuman prasan kai herb to supplement the treatment of asthma patients in the community [In Thai]. *Life Sciences and Environment Journal, 26*(1), 168-180. https://doi.org/10.14456/lsej.2025.13

Tananchai, T. (2022). *The study of contemporary Thai medicine production process* [In Thai] [Doctoral dissertation, Chiang Rai Rajabhat University]. Chiang Rai Rajabhat University.

การพัฒนาหลักสูตรสำหรับช่างอากาศยานเพื่อยกระดับมาตรฐานการซ่อมบำรุงในประเทศไทย

Development of a Curriculum for Aircraft Mechanics to Improve Maintenance Standards in Thailand

ปภาพร มนตรีเจริญ[1]* ญาณวุฒิ คัมภีรภาพ[1] วรฑา กุลเกียรติประวัติ[1] และณัฐกร ไตรรัตนวนานนท์[1]

Papaporn Montreecharoen[1]*, Yanawoot Khampeerapap[1], Vorrata Kulkeitpravat[1] and Nuttakorn Trirattanawananon[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาการการบิน วิชาโทการบำรุงรักษาอากาศยาน สถาบันการบินพลเรือน

[1]Department of Aviation Science, Minor in Aircraft Maintenance, Civil Aviation Training Center

*Corresponding author: papaporn@catc.or.th

Received: July 11, 2023

Revised: December 17, 2025

Accepted: December 23, 2025

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการในการพัฒนาช่างอากาศยาน (2) วิเคราะห์ช่องว่างระหว่างสมรรถนะของช่างอากาศยานในปัจจุบันกับมาตรฐาน TCAR และ (3) พัฒนาหลักสูตรสำหรับช่างอากาศยาน การวิจัยใช้ระเบียบวิธีแบบผสมผสาน โดยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่ประกอบด้วยผู้บริหารสายการบิน ช่างอากาศยาน ผู้ปฏิบัติงานด้านซ่อมบำรุง และผู้เชี่ยวชาญด้านการบิน รวมทั้งสิ้น 280 คน เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์เชิงลึก การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า แม้การฝึกอบรมในปัจจุบันจะสอดคล้องกับมาตรฐาน TCAR ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.01 จาก 5) แต่ยังมีช่องว่างในด้านความรู้เทคนิคสมัยใหม่ ทักษะการใช้เทคโนโลยี และการปฏิบัติตามมาตรฐานความปลอดภัย เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล (ค่าเฉลี่ย 3.23 จาก 5) ผลการพัฒนาหลักสูตร โดยใช้โมเดล ADDIE และการประเมินตามแนวคิดของ Kirkpatrick พบว่า หลักสูตรที่พัฒนาขึ้นสามารถยกระดับสมรรถนะด้านความรู้ (จากค่าเฉลี่ย 3.15 เป็น 4.35) ทักษะ (จากค่าเฉลี่ย 3.00 เป็น 4.45) และเจตคติ (จากค่าเฉลี่ย 3.40 เป็น 4.60) ของช่างอากาศยานได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) สรุปการวิจัยนี้เสนอให้บูรณาการเทคโนโลยีการฝึกอบรมสมัยใหม่ เช่น VR/AR พัฒนาระบบประเมินสมรรถนะ และสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับสถาบันฝึกอบรม เพื่อยกระดับบุคลากรด้านการบินของไทยให้ทัดเทียมมาตรฐานสากลอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: หลักสูตรฝึกอบรม ช่างอากาศยาน มาตรฐาน TCAR การพัฒนาสมรรถนะ การบำรุงรักษาอากาศยาน

Abstract

This research aimed to: (1) investigate the current conditions and development needs of aircraft technicians; (2) analyze competency gaps between existing technician capabilities and the Thailand Civil Aviation Regulations: TCAR standards; and (3) develop a training curriculum aligned with international standards. A mixed-methods research design was employed. The sample comprised 280 participants, including airline executives, aircraft technicians, maintenance personnel, and aviation experts. Research instruments included structured questionnaires and in-depth interviews. Quantitative data were analyzed using descriptive statistics, while qualitative data were examined through content analysis. The findings indicated that, although existing training programs complied with TCAR standards, they lacked sufficient coverage of modern technical knowledge, advanced tool-handling competencies, and international aviation safety standards. The developed training curriculum, designed based on the ADDIE instructional model and evaluated using Kirkpatrick's four-level evaluation framework, significantly enhanced participants' competencies. Mean scores increased from 3.15 to 4.35 in knowledge, from 3.00 to 4.45 in skills, and from 3.40 to 4.60 in attitudes. In conclusion, the study recommends integrating advanced training technologies, strengthening competency-based assessment systems, and fostering collaboration with leading international aviation training institutions. These measures are essential for sustainably enhancing the quality of Thailand's aviation workforce and ensuring alignment with global aviation standards.

Keywords: training curriculum, aircraft technician, TCAR Standards, competency development, aircraft maintenance

บทนำ

แนวโน้มการพัฒนาอุตสาหกรรมการบินของประเทศไทยในยุคปัจจุบันได้กลายเป็นกลไกหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของชาติ ทั้งในมิติของการขนส่ง การเชื่อมโยงระหว่างประเทศ และการสร้างงานในภาคส่วนต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมนี้จำเป็นต้องอาศัยระบบซ่อมบำรุงอากาศยานที่มีมาตรฐานและบุคลากรที่มีสมรรถนะสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการรองรับข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพของงานซ่อมบำรุงในระดับสากล (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2020) เพื่อยกระดับมาตรฐานดังกล่าว องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศจึงได้เสนอแนวทางการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ผ่านหลักสูตรแบบมุ่งสมรรถนะ (CBTA) โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความสามารถในการปฏิบัติงานจริง ทั้งด้านความรู้ ทักษะ และทัศนคติที่เหมาะสม ซึ่งประเทศไทย โดยเฉพาะสถาบันการบินพลเรือน (สบพ.) ได้นำแนวคิดนี้มาใช้ในการปรับปรุงหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานให้สอดคล้องกับข้อกำหนดตาม TCAR Part-66 (Civil Aviation Training Center, 2022)

ในด้านการศึกษาในประเทศไทย พบว่า หลักสูตรฝึกอบรมเดิม มีลักษณะเป็นหลักสูตรแบบเดิม (traditional training) ที่เน้นการถ่ายทอดความรู้เชิงทฤษฎี (theory-based) เป็นหลักและการประเมินผลมักวัดจากความจำมากกว่าความสามารถในการปฏิบัติงานจริง แนวทางการจัดการฝึกอบรมยังขาดการวิเคราะห์ความต้องการจำเป็นอย่างเป็นระบบ ส่งผลให้ไม่สามารถกำหนดเป้าหมายการพัฒนาได้อย่างชัดเจน Gunes et al. (2026) พบว่าหลักสูตรยังไม่ตอบโจทย์สถานประกอบการเนื่องจากเนื้อหาไม่ทันสมัยและไม่มีการประเมินผลตามสถานการณ์จริง ซึ่งสอดคล้องกับ Gibbs et al. (2017) ที่ชี้ว่า CBTA ที่ออกแบบดีและสอดคล้องกับงานจริงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการ

ปฏิบัติงานของบุคลากรและความพึงพอใจของผู้รับบริการได้อย่างมีนัยสำคัญ ปัญหาหลักของหลักสูตรเดิม ประกอบด้วย (1) เนื้อหาล้าสมัย ไม่ครอบคลุมเทคโนโลยีการบินยุคใหม่ เช่น ระบบอัตโนมัติและการวิเคราะห์ข้อมูลเซ็นเซอร์ (2) ขาดการฝึกปฏิบัติกับสถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงความเป็นจริง และ (3) ไม่ได้บูรณาการทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 อย่างเต็มที่ เช่น ทักษะดิจิทัล ทักษะการสื่อสาร และทักษะภาษาอังกฤษสำหรับการทำงานในบริบทสากล นอกจากนี้ ยังย้ำถึงแนวโน้มของการออกแบบหลักสูตรในยุคใหม่ที่มุ่งผลลัพธ์ของผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและเชื่อมโยงกับการประเมินแบบสมรรถนะ

จากงานวิจัยในประเทศที่เกี่ยวข้อง Numpa and Siraphatthada (2021) ได้พัฒนาแบบจำลองสมรรถนะของนักบินซึ่งเชื่อมโยงองค์ประกอบของประสบการณ์และนวัตกรรมกับประสิทธิผลในการปฏิบัติงาน ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้ในการออกแบบหลักสูตรช่างอากาศยาน Mesomkorn et al. (2023) เน้นการพัฒนาภาวะผู้นำของช่างอากาศยานในบริบทดิจิทัล เพื่อเตรียมความพร้อมสู่บทบาทหัวหน้างาน ขณะที่ Kungwola et al. (2025) พบว่า สมรรถนะ ความผูกพันกับองค์กร และความพึงพอใจในงานมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของบุคลากรบริการภาคพื้น ซึ่งข้อค้นพบเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาหลักสูตรควรบูรณาการทั้งสมรรถนะทางเทคนิค ทักษะอาชีพ และทักษะดิจิทัลอย่างครบถ้วน

กล่าวโดยสรุปการวิจัยและพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานตามแนวคิด CBTA ที่เชื่อมโยงกับมาตรฐาน TCAR Part-66 และบริบทสมัยใหม่ ถือเป็นภารกิจสำคัญและมีความจำเป็นเร่งด่วน เนื่องจากช่องว่างของสมรรถนะที่เกิดขึ้นส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยและขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมการบินไทย การใช้เอกสาร PANS-TRG ของ ICAO (2020) เป็นแนวทางการออกแบบหลักสูตรจะช่วยให้การฝึกอบรมมีความชัดเจนด้านภารกิจ ทักษะการตัดสินใจ และทัศนคติที่ส่งเสริมความปลอดภัย ลดช่องว่างระหว่างสมรรถนะที่คาดหวังกับสมรรถนะจริง และเพิ่มประสิทธิภาพของหลักสูตรอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการของบริษัทสายการบินในเรื่องการพัฒนาช่างอากาศยาน
2. เพื่อวิเคราะห์ช่องว่างระหว่างคุณสมบัติของช่างอากาศยานในปัจจุบันกับมาตรฐาน TCAR
3. เพื่อการพัฒนาหลักสูตรสำหรับช่างอากาศยานเพื่อยกระดับมาตรฐานการซ่อมบำรุงในประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) แบบผสมผสาน (mixed methods) โดยมีขั้นตอนหลัก 3 ระยะ ได้แก่ (1) การศึกษาความต้องการของสายการบินและหน่วยงานซ่อมบำรุงอากาศยาน (2) การวิเคราะห์ช่องว่างสมรรถนะของช่างอากาศยานกับมาตรฐาน TCAR-66 และ (3) การออกแบบและพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมตามแนวคิด Competency-Based Training and Assessment: CBTA ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ได้หลักสูตรที่มีคุณภาพและตอบสนองต่อความต้องการของอุตสาหกรรมการบินไทยอย่างแท้จริง

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) โดยใช้แนวทางแบบผสมผสาน (mixed methods) ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อให้ได้หลักสูตรฝึกอบรมที่มีคุณภาพและสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมการบินไทยอย่างแท้จริง การดำเนินงานแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมและศึกษาข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ มาตรฐานสากล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะเอกสารขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) ที่กำหนดแนวทางการฝึกอบรมตามสมรรถนะ (Competency-Based Training and Assessment: CBTA) และมาตรฐาน TCAR Part-66 ของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (CAAT) ซึ่งเป็นกรอบหลักในการรับรองคุณสมบัติของช่างอากาศยาน นอกจากนี้ยังศึกษาทฤษฎีและแนวคิดทางการพัฒนาหลักสูตร (curriculum development theory) รวมถึงโมเดลการออกแบบการเรียนรู้ เช่น โมเดล ADDIE (analysis design development implementation evaluation) และแนวทางการพัฒนาสมรรถนะบุคลากร (competency framework) เพื่อนำมาใช้เป็นพื้นฐานทางทฤษฎีในการออกแบบและพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมที่ตอบสนองต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมการบินในยุคดิจิทัล

จากการศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยได้เห็นภาพรวมของแนวทางการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมในระดับสากลและระดับประเทศ โดยเฉพาะกรอบแนวคิดของ ICAO (2020) และ CAAT (2022) ที่เน้นให้การฝึกอบรมบุคลากรด้านการบินมุ่งสู่การสร้าง “สมรรถนะ” (competency) มากกว่าการถ่ายทอดความรู้เชิงทฤษฎีเพียงอย่างเดียว แนวทางนี้สอดคล้องกับหลักการของการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ในศตวรรษที่ 21 ซึ่งให้ความสำคัญกับการประยุกต์ใช้ความรู้ ทักษะ และเจตคติอย่างสอดคล้องกับสถานการณ์จริงในงานอาชีพการบิน ดังนั้น การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานจึงควรอยู่บนพื้นฐานของมาตรฐานสากล เช่น CBTA Framework ของ ICAO และข้อกำหนดเฉพาะของ TCAR Part-66 ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการรับรองวิชาชีพช่างอากาศยานในประเทศไทย เพื่อให้หลักสูตรที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องทั้งในด้านเนื้อหาสมรรถนะ และระบบการประเมินผล

แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยาน

การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมสำหรับช่างอากาศยานจำเป็นต้องมีพื้นฐานจากมาตรฐานสากลและข้อกำหนดท้องถิ่นอย่าง TCAR Part-66 ของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย ซึ่งกำหนดคุณสมบัติด้านความรู้ ทักษะ และทัศนคติที่ชัดเจน โดยเฉพาะในประเด็นความปลอดภัยในการบิน (Civil Aviation Authority of Thailand, 2022) แนวทางการพัฒนาหลักสูตรไม่ควรจำกัดอยู่เพียงการถ่ายทอดเนื้อหาเท่านั้น แต่ต้องมุ่งสร้างสมรรถนะที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริง ตามแนวทางการฝึกอบรมตามสมรรถนะ (Competency-Based Training and Assessment: CBTA) ที่องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศแนะนำไว้ (ICAO, 2020) และมีการนำมาใช้ในประเทศไทยผ่านสถาบันการบินพลเรือน

ทฤษฎีและแนวทางการฝึกอบรมตามสมรรถนะ

งานวิจัยของ Ziakkas et al. (2023) ชี้ให้เห็นประสิทธิภาพของ Competency-Based Training and Assessment: CBTA ในการยกระดับการฝึกอบรมด้านการบิน โดยเน้นการบูรณาการสมรรถนะหลักกับทักษะการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Gibbs et al. (2017) ที่พบว่า CBTA สามารถเพิ่มประสิทธิภาพพนักงานต้อนรับบนเครื่องบินและส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้โดยสารได้อย่างมีนัยสำคัญ ในทำนองเดียวกัน Çinar and Tuncal (2024) ศึกษาพบว่าการฝึกอบรมที่เชื่อมโยงกับสถานการณ์จริงช่วยให้เกิดการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งและสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประเมินผลในระบบการฝึกอบรมตามสมรรถนะ

สำหรับการประเมินผล CBTA นั้น Kesedžić et al. (2020) เสนอให้ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น การสแกนสมอง เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานในสถานการณ์จริง ซึ่งอาจประยุกต์ใช้กับช่างอากาศยานโดยเฉพาะในสถานการณ์ฉุกเฉิน ในประเทศไทย ศูนย์ฝึกอบรมการบินพลเรือน CATC Thailand (2024) เน้นความสำคัญของการกำหนดสมรรถนะที่ชัดเจน ทั้งด้านเทคนิค การคิดเชิงระบบ และทัศนคติในการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เสนอให้ฝึกอบรมโดยอิงกับภารกิจจริงในภาคสนาม

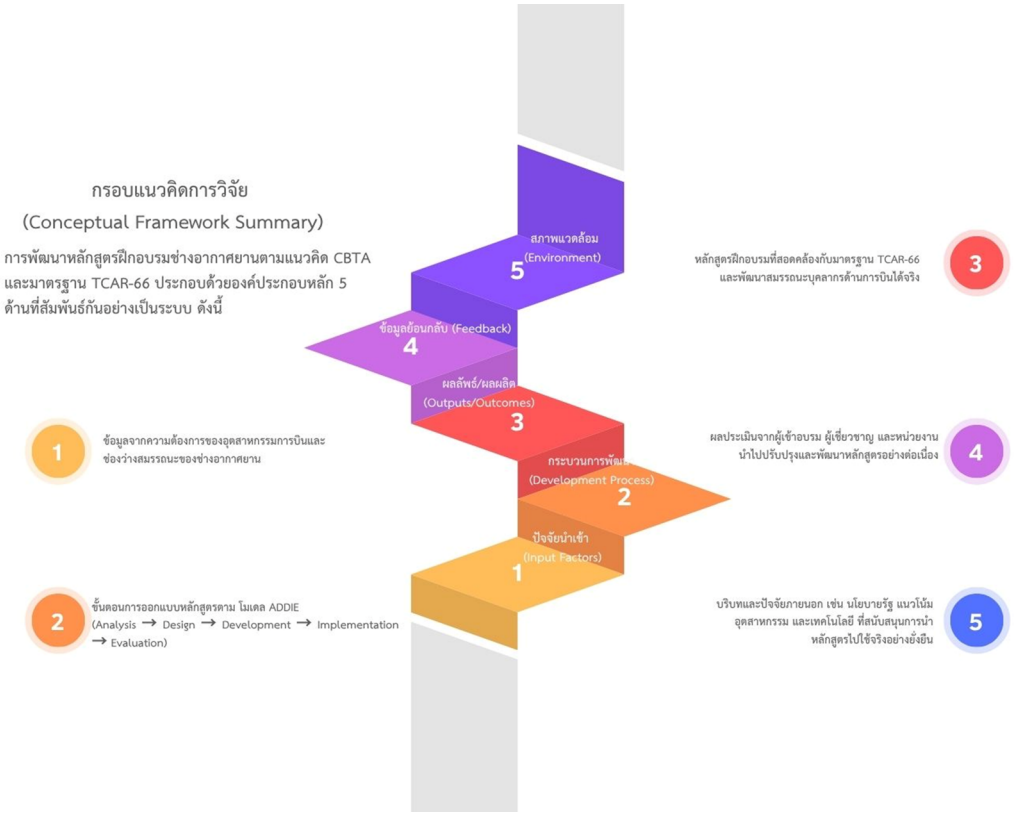
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาศักยภาพบุคลากรด้านการบิน

งานของ Mesomkorn et al. (2023) เน้นการพัฒนาศักยภาพของช่างอากาศยานสู่การเป็นหัวหน้างานในยุคดิจิทัล ผ่านการบูรณาการเทคโนโลยีและการบริหารจัดการ ขณะที่ Gunes et al. (2025); Chaihawong et al. (2023) ที่เน้นว่าการฝึกอบรมตามสมรรถนะควรบูรณาการเทคโนโลยีสมัยใหม่และการประเมินผลในสถานการณ์จำลอง เพื่อพัฒนาความสามารถเชิงปฏิบัติอย่างแท้จริง ส่วน Gunes et al. (2026) ยืนยันถึงความสำคัญของการพัฒนาหลักสูตรให้สอดคล้องกับความต้องการของสถานประกอบการ เพื่อยกระดับคุณภาพการผลิตบุคลากรด้านการบิน

สรุปแนวทางและองค์ประกอบสำคัญของการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยาน

จากหลักฐานเชิงประจักษ์ดังกล่าว สรุปได้ว่าการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานที่มีประสิทธิภาพต้องมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ (1) การวิเคราะห์ความต้องการจากภาคสนามอย่างเป็นระบบ (2) การออกแบบเนื้อหาที่สอดคล้องกับสมรรถนะจำเป็นทั้งด้านเทคนิคและไม่ใช่เทคนิค และ (3) ระบบประเมินผลที่เชื่อมโยงกับผลการปฏิบัติงานจริง แนวทางนี้จะช่วยยกระดับความปลอดภัยและขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมการบินไทยอย่างยั่งยืน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยนี้พัฒนาขึ้นเพื่อออกแบบหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานตามมาตรฐาน TCAR โดยใช้โมเดล ADDIE ผสานปัจจัยนำเข้า เช่น ปัญหาช่องว่างสมรรถนะ และสภาพแวดล้อม พร้อมการประเมินผลและข้อมูลย้อนกลับ เพื่อยกระดับบุคลากรและอุตสาหกรรมการบินไทยอย่างยั่งยืน

2. กำหนดขอบเขตและวางแผนการดำเนินงาน

หลังจากการศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้กำหนด ขอบเขตของการวิจัย ให้ครอบคลุมทั้งภาครัฐและเอกชนในอุตสาหกรรมการบิน รวมถึงสถาบันการศึกษาด้านการบินที่เกี่ยวข้อง โดยมุ่งเน้นการพัฒนาใน 3 มิติ ได้แก่ (1) สมรรถนะด้านเทคนิค (technical competency) (2) สมรรถนะด้านอาชีพ (professional competency) และ (3) สมรรถนะด้านดิจิทัล (digital competency) พร้อมทั้งจัดทำแผนการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนจากทุกภาคส่วนของอุตสาหกรรมการบิน นอกจากนี้ ได้จัดทำแผนปฏิบัติการวิจัย (research action plan) ระบุระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละขั้นตอน การประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และการขออนุญาตใช้เครื่องมือวิจัยอย่างเป็นทางการ เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปตามมาตรฐานจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

3. ออกแบบเครื่องมือและเตรียมการเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องมือวิจัยให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ได้แก่

• แบบสอบถาม (questionnaire) เพื่อสำรวจสภาพปัญหาและความต้องการจำเป็น (needs assessment) ในการพัฒนาช่างอากาศยาน เครื่องมือผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ได้ค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (IOC) ระหว่าง 0.80-1.00 และมีค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) เท่ากับ 0.89 (Cohen et al., 2018) ซึ่งอยู่ในระดับสูงตามเกณฑ์ของงานวิจัยเชิงการศึกษา

• แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview) สำหรับเก็บข้อมูลเชิงลึกจากผู้เชี่ยวชาญด้านการบิน ผู้บริหารสายการบิน และผู้ฝึกอบรม แบบสัมภาษณ์ผ่านการตรวจสอบความสอดคล้องของการให้ข้อมูล (kappa) เท่ากับ 0.82 (Landis & Koch, 1977) ซึ่งอยู่ในระดับสูง

• ตารางเทียบสมรรถนะ (competency mapping table) เพื่อเปรียบเทียบช่องว่างระหว่างสมรรถนะปัจจุบันของบุคลากรกับมาตรฐาน TCAR Part-66 เครื่องมือนี้มีค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (Content Validity Index: CVI) เท่ากับ 0.93 (Lynn, 1986)

เครื่องมือทั้งหมดผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน และมีค่าความเชื่อมั่น (reliability) ที่อยู่ในระดับสูงตามเกณฑ์ของงานวิจัยเชิงการศึกษา

4. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลดำเนินการในลักษณะ แบบผสมผสาน (concurrent mixed design) โดยใช้ทั้งแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึกควบคู่กัน เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงกว้างและเชิงลึกที่สอดคล้องกัน

• ข้อมูลเชิงปริมาณ: แจกแบบสอบถามให้กับบุคลากรในสายการบิน ช่างอากาศยาน ศูนย์ซ่อมบำรุงอากาศยาน และสถาบันการฝึกอบรมที่เกี่ยวข้อง รวมจำนวน 280 ชุด

• ข้อมูลเชิงคุณภาพ: ดำเนินการสัมภาษณ์ผู้บริหารและผู้เชี่ยวชาญด้านการฝึกอบรม 15 ราย เพื่อรับฟังความคิดเห็นเกี่ยวกับสมรรถนะที่จำเป็นและทิศทางการพัฒนาหลักสูตรในอนาคต

การเก็บข้อมูลภาคสนามใช้เวลารวมประมาณ 3 เดือน โดยผู้วิจัยจัดเก็บข้อมูลตามมาตรฐานการรักษาความลับและความถูกต้องของข้อมูล

5. วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพดังนี้

• เชิงปริมาณ: ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และร้อยละ (percentage) รวมทั้งใช้สถิติอ้างอิง เช่น t-test และ ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

• เชิงคุณภาพ: ใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) เพื่อหาประเด็นสำคัญและแนวโน้มของข้อมูล จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วยเทคนิคการตรวจสอบแบบสามเส้า (data triangulation) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ทั้งสองส่วนถูกนำมาสังเคราะห์ร่วมกัน เพื่อสร้าง “โปรไฟล์สมรรถนะเป้าหมายของช่างอากาศยาน” (target competency profile) ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรม

6. ออกแบบและพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมต้นแบบ

ผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์ความต้องการและช่องว่างสมรรถนะมาพัฒนาเป็นหลักสูตรต้นแบบ โดยใช้กระบวนการตาม โมเดล ADDIE ซึ่งประกอบด้วย

1) Analysis (การวิเคราะห์ความต้องการ)

2) Design (การออกแบบหลักสูตรและกิจกรรมการเรียนรู้)

3) Development (การจัดทำสื่อและเครื่องมือการฝึกอบรม)

4) Implementation (การนำไปทดลองใช้) และ

5) Evaluation (การประเมินผลและปรับปรุง)

เนื้อหาหลักสูตรมุ่งเน้นการฝึกอบรมแบบบูรณาการระหว่างทฤษฎีและปฏิบัติ (blended learning) โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จำลอง (simulation-based learning) เพื่อเสริมสร้างทักษะที่ใช้จริงในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน

7. ประเมินและปรับปรุงหลักสูตร

หลังจากพัฒนาหลักสูตรต้นแบบแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการ ทดลองใช้ (pilot test) กับกลุ่มช่างอากาศยานจำนวน 30 คน จากสายการบินตัวแทน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของหลักสูตรในด้าน

• ความเหมาะสมของเนื้อหาและกิจกรรม

• ความเข้าใจของผู้เรียน

• การเปลี่ยนแปลงด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติ

ผลการประเมินใช้ทั้งแบบสอบถามความพึงพอใจและการทดสอบก่อน–หลังอบรม (pre–post test) พร้อมวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพตามสมการ (1) เพื่อคำนวณร้อยละของการพัฒนา (effectiveness index) จากนั้นผู้วิจัยนำผลการประเมินมาปรับปรุงเนื้อหาหลักสูตรให้สมบูรณ์ก่อนนำเสนอใช้จริงกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมายประกอบด้วยบุคลากรในอุตสาหกรรมการบินและการซ่อมบำรุงอากาศยานทั้งภาครัฐ เอกชน และการศึกษา การคัดเลือกใช้วิธี การเลือกแบบมีจุดมุ่งหมาย (purposive sampling) และ การสุ่มแบบลูกโซ่ (snowball sampling) ตามแนวทางของ Patton (2015)

กลุ่มตัวอย่างแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. ผู้บริหารและผู้จัดการสายการบิน 10 คน (นโยบายและกลยุทธ์)

2. ช่างอากาศยานและผู้ปฏิบัติงานด้านซ่อมบำรุง 230 คน (ปัญหาและความต้องการจริง)

3. ผู้เชี่ยวชาญและนักวิเคราะห์ด้านการบิน 40 คน (ข้อมูลเชิงเทคนิคและแนวโน้มอุตสาหกรรม)

ข้อมูลช่องว่างสมรรถนะได้มาจากการวิเคราะห์แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่าง 280 คน การสัมภาษณ์เชิงลึกผู้บริหาร 15 คน และการทำ Competency Mapping เทียบกับมาตรฐาน TCAR-66 อย่างเป็นระบบ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถาม สำหรับสำรวจความต้องการและสภาพปัญหาในการพัฒนาช่างอากาศยาน ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญ และมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha) เท่ากับ 0.89 (Cohen et al., 2018)

แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง เพื่อเก็บข้อมูลเชิงลึกจากผู้บริหารและผู้เชี่ยวชาญ โดยมีค่าความสอดคล้องของการให้ข้อมูล (kappa) เท่ากับ 0.82 (Landis & Koch, 1977)

ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะกับมาตรฐาน TCAR-66 เพื่อวิเคราะห์ช่องว่างสมรรถนะ มีค่า CVI เท่ากับ 0.93 (Lynn, 1986)

แบบประเมินความเหมาะสมของหลักสูตร จากการประชุมเชิงปฏิบัติการ มีค่า agreement เท่ากับ 0.87 (Fleiss, 1981)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลเชิงปริมาณ วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติอ้างอิง (t-test, ANOVA) เพื่อทดสอบสมมติฐานและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

ข้อมูลเชิงคุณภาพ วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) โดยใช้โปรแกรม NVivo และตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธีการตรวจสอบแบบสามเส้า (triangulation) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลวิจัย

สมการที่ใช้ในการคำนวณผลสัมฤทธิ์ของการอบรม

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหลักสูตร (effectiveness index) ใช้สมการที่ (1)

$$E = \frac{Xpost - Xpre}{Xpre} \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่

E = ค่าร้อยละของการพัฒนาผลสัมฤทธิ์

X_{post} = ค่าเฉลี่ยหลังการอบรม

X_{pre} = ค่าเฉลี่ยก่อนการอบรม

หน่วยทั้งหมดเป็นร้อยละ (%)

การนำเสนอผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์จะนำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟเปรียบเทียบ โดยระบุค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการทดสอบสมมติฐาน พร้อมอภิปรายผลเชิงลึกตามกรอบแนวคิดการวิจัย เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน TCAR-66 และผลการพัฒนาสมรรถนะของช่างอากาศยาน

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการในการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานของบริษัทสายการบินในประเทศไทย

จากตาราง 1 สรุปผลการศึกษาสภาพปัจจุบันและความต้องการพัฒนาช่างอากาศยานตามมาตรฐาน TCAR ผลการศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการพัฒนาช่างอากาศยานของบริษัทสายการบินไทยพบว่า แม้ปัจจุบันมีการจัดฝึกอบรมอย่างต่อเนื่องและได้รับการประเมินอยู่ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.01 จาก 5) แต่ยังคงมีช่องว่างสำคัญด้านสมรรถนะเมื่อเทียบกับมาตรฐานสากล โดยเฉพาะในประเด็นความสอดคล้องกับมาตรฐานระหว่างประเทศที่อยู่ในระดับปานกลางเพียง 3.23 จาก 5 เท่านั้น สถานการณ์นี้สะท้อนถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการปรับปรุงหลักสูตรฝึกอบรมให้ทันสมัยและครอบคลุมทักษะเฉพาะทางมากขึ้น การวิเคราะห์เชิงลึกพบว่า ปัญหาหลักประกอบด้วยสามด้านสำคัญ ได้แก่ การขาดทักษะเฉพาะทาง (45%) ความรู้ทางเทคนิคที่ล้าสมัย (30%) และหลักสูตรฝึกอบรมที่ไม่ครอบคลุมความต้องการทั้งหมด (25%) ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของบริษัทสายการบินที่ต้องการพัฒนาหลักสูตรใหม่ตามมาตรฐาน TCAR ในระดับสูงสุด (ค่าเฉลี่ย 4.37) โดยเน้นการเสริมสร้างทักษะปฏิบัติและการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายควรดำเนินการในสามระดับ ได้แก่ ระดับเร่งด่วนที่ต้องปรับปรุงหลักสูตรพื้นฐานภายใน 1 ปี ระดับกลางที่ต้องพัฒนาทักษะเฉพาะทางใน 2-3 ปี และระดับยาวที่ต้องยกระดับสู่มาตรฐานสากลใน 3-5 ปี ทั้งนี้ความสำเร็จของการพัฒนาขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญสี่ประการ ได้แก่ ความร่วมมือระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การจัดสรรงบประมาณที่เพียงพอ การมีส่วนร่วมของบุคลากร และระบบติดตามประเมินผลที่มีประสิทธิภาพ การพัฒนาช่างอากาศยานให้ได้มาตรฐานสากลจำเป็นต้องอาศัยแนวทางบูรณาการที่ผสมผสานระหว่างการปรับปรุงเนื้อหาหลักสูตร การนำเทคโนโลยีการฝึกอบรมสมัยใหม่มาใช้ เช่น VR/AR และการสร้างระบบประเมินสมรรถนะตามมาตรฐาน ICAO ซึ่งจะช่วยยกระดับคุณภาพการซ่อมบำรุงอากาศยานและเพิ่มความปลอดภัยในการบินของประเทศไทยในระยะยาว

2. ผลการศึกษาการวิเคราะห์ช่องว่างระหว่างคุณสมบัติของช่างอากาศยานในประเทศไทยกับมาตรฐาน TCAR: Thailand Civil Aviation Regulations

จากตาราง 2 แสดงการวิเคราะห์ช่องว่างสมรรถนะช่างอากาศยานตามมาตรฐาน TCAR พบว่า ยังมีข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างสภาพความสามารถปัจจุบันกับมาตรฐานที่ต้องการในหลายด้าน ด้านความรู้พื้นฐานด้านการบิน ช่างอากาศยานยังขาดความเข้าใจเชิงลึกในหลักการบินขั้นสูง โดยเฉพาะฟิสิกส์การบินและการวิเคราะห์ข้อมูลการบิน ซึ่งจำเป็นต่อการทำงานกับระบบการบินสมัยใหม่ที่ซับซ้อน ข้อมูลช่องว่างนี้ได้มาจากการวิเคราะห์แบบสอบถาม 280 คน ซึ่งให้คะแนนตนเองด้านความรู้ขั้นสูงเฉลี่ยเพียง 2.89/5 การพัฒนาควรมุ่งเน้นการจัดหลักสูตรอบรมที่ทันสมัยและมีการปรับปรุงเนื้อหาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับทักษะการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ นั้น ปัจจุบันช่างอากาศยานยังขาดความชำนาญในการใช้ระบบการบินอัตโนมัติและการวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในอุตสาหกรรมการบินยุคดิจิทัล จากการสัมภาษณ์ผู้บริหาร 15 ท่าน ยืนยันว่าช่างยังไม่คุ้นเคยกับเครื่องมือไดแอกโนสติกส์ดิจิทัล ข้อเสนอแนะคือ ควรจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการโดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงและการจำลองสถานการณ์ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถฝึกฝนทักษะเหล่านี้ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยก่อนนำไปปฏิบัติงานจริง ในด้านการปฏิบัติตามข้อกำหนดความปลอดภัย พบว่าช่างอากาศยานยังมีข้อจำกัดในการจัดการสถานการณ์ฉุกเฉินและการประเมินความเสี่ยง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความปลอดภัยในการบิน การทำ Competency Mapping เทียบกับ TCAR Part-66 ชี้ให้เห็นว่าหลักสูตรเดิมไม่ครอบคลุมโปรโตคอลฉุกเฉินบางสถานการณ์ การแก้ไขปัญหานี้จำเป็นต้องจัดโปรแกรมฝึกอบรมเฉพาะทางที่เน้นการสร้างความเข้าใจในมาตรฐานความปลอดภัยสากล พร้อมทั้งฝึกทักษะการตัดสินใจภายใต้ความกดดัน นอกจากนี้ ยังพบประเด็นสำคัญด้านทัศนคติและจรรยาบรรณวิชาชีพที่ต้องได้รับการพัฒนา โดยเฉพาะการสร้างทัศนคติเชิงรุกและการตระหนักถึงความสำคัญของจรรยาบรรณ รวมถึงทักษะภาษาอังกฤษสำหรับการอ่านคู่มือซ่อมบำรุงสากล ซึ่งสามารถทำได้ผ่านการอบรมเชิงจิตวิทยาและการเรียนรู้จากกรณีศึกษา โดยสรุป การลดช่องว่างสมรรถนะช่างอากาศยานตามมาตรฐาน TCAR จำเป็นต้องอาศัยแนวทางพัฒนาที่ครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ และทัศนคติ พร้อมทั้งปรับกระบวนการฝึกอบรมให้ทันสมัยและสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมการบินที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ตาราง 1

ผลการศึกษาสภาพ ปัญหา และความต้องการพัฒนาช่างอากาศยานของบริษัทสายการบินไทย

หัวข้อ	สรุปผลการวิเคราะห์	ข้อเสนอแนะหลัก
สภาพปัจจุบัน	การฝึกอบรมปัจจุบันมีคุณภาพระดับดี สอดคล้องกับ TCAR ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.01) แต่ยังไม่ถึงมาตรฐานสากล (ค่าเฉลี่ย 3.23) เนื่องจากหลักสูตรล้าสมัย ยังเน้นทฤษฎีแบบเดิม ขาดเนื้อหาเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติ การวิเคราะห์ข้อมูลเซ็นเซอร์ (IoT) และการจัดการสถานการณ์ฉุกเฉินตามมาตรฐานสากล	ปรับปรุงหลักสูตรให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากลมากขึ้น
ปัญหาที่พบ	ขาดทักษะเฉพาะทาง ความรู้ล้าสมัย และเนื้อหาหลักสูตรไม่ครอบคลุม	พัฒนาทักษะเฉพาะ อัปเดตเนื้อหาเทคนิคอย่างต่อเนื่อง เพิ่ม วิชาใหม่ เช่น ระบบอัตโนมัติทางการบิน (Aircraft Automation), การวิเคราะห์ข้อมูลเซ็นเซอร์ (Sensor Data Analysis), การตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉิน (Emergency Response)
ความต้องการพัฒนา	มีความต้องการหลักสูตรใหม่ที่ตอบโจทย์ TCAR และการพัฒนาทักษะใหม่	ออกแบบหลักสูตรใหม่และจัดอบรมเสริมด้านเฉพาะทาง
แนวทางการพัฒนา	ปรับหลักสูตรตามมาตรฐานสากล เพิ่มทักษะ ใช้เทคโนโลยี และประเมินผลต่อเนื่อง	จัดทำแผนพัฒนาร่วมกับ ICAO และศูนย์ฝึก VR/AR
ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ช่างมีสมรรถนะตามมาตรฐาน เพิ่มประสิทธิภาพซ่อมบำรุง และยกระดับความปลอดภัยการบิน	มีตัวชี้วัดผลสำเร็จและระบบติดตามผลชัดเจน
ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	บริษัทสายการบิน หน่วยงานรัฐ สถาบันฝึกอบรม และช่างอากาศยาน	สร้างความร่วมมือและทำ MOU ร่วมพัฒนาบุคลากร
กรอบเวลาดำเนินการ	1 ปีแรกปรับหลักสูตรพื้นฐาน 2–3 ปีพัฒนาทักษะเฉพาะ 3–5 ปียกระดับสู่สากล	จัดทำแผนปฏิบัติการรายปี พร้อมทบทวนทุก 6 เดือน
ปัจจัยความสำเร็จ	ความร่วมมือทุกฝ่าย งบประมาณเพียงพอ การมีส่วนร่วมของบุคลากร ระบบติดตามประสิทธิภาพ	สร้างระบบติดตามแบบ Real-time และคณะกรรมการกำกับ

3. ผลการพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรมช่างอากาศยานให้สอดคล้องกับมาตรฐาน TCAR และมาตรฐานสากล

จากตาราง 3-4 แสดงผลการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานเพื่อยกระดับมาตรฐานการซ่อมบำรุง พบว่า โครงสร้างหลักสูตรประกอบด้วย 3 หน่วยการเรียนรู้ ได้แก่ ระบบโครงสร้างและมาตรฐานอากาศยาน ทักษะเทคนิคการซ่อมบำรุง และการสื่อสารและความปลอดภัย รวมเวลา 24 ชั่วโมง โดยเน้นการบูรณาการความรู้กับการปฏิบัติจริง โดยได้เพิ่มเนื้อหาใหม่ตามผลการวิเคราะห์ช่องว่าง ได้แก่ ระบบอัตโนมัติและข้อมูลเซ็นเซอร์ ในหน่วยที่ 2 และการสื่อสารภาษาอังกฤษเทคนิคและการจัดการสถานการณ์ฉุกเฉิน ในหน่วยที่ 3 ผลการประเมินก่อนและหลังอบรมโดยใช้แบบประเมินตามกรอบ TCAR Part-66 พบว่า สมรรถนะในด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะด้านทักษะและเจตคติที่มีพัฒนาการชัดเจน ($p<.05$) แสดงถึงผลสัมฤทธิ์ของหลักสูตรในการเสริมสร้างความพร้อมของผู้เข้าอบรมในเชิงปฏิบัติและทัศนคติด้านความปลอดภัย นอกจากนี้ การสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนยังสะท้อนว่า ผู้เข้าอบรมมีความพึงพอใจโดยรวมในระดับมาก โดยเฉพาะในด้านวิธีการเรียนรู้และความครอบคลุมของเนื้อหาหลักสูตร แสดงให้เห็นว่าหลักสูตรนี้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีศักยภาพในการนำไปใช้ต่อยอดเพื่อพัฒนาและอบรมซ้ำในวงกว้างได้ต่อไป

ตาราง 2

การวิเคราะห์ช่องว่างสมรรถนะช่างอากาศยานตามมาตรฐาน TCAR

สมรรถนะหลัก	ช่องว่างที่พบ	ข้อเสนอแนะในการพัฒนา
ความรู้พื้นฐานด้านการบิน	ขาดความรู้ด้านการบินขั้นสูง	จัดอบรมเนื้อหาการบินขั้นสูงและเทคโนโลยีใหม่
ทักษะการใช้เทคโนโลยีใหม่	ขาดทักษะระบบอัตโนมัติและการวิเคราะห์เซ็นเซอร์	ฝึกอบรมด้วยเทคโนโลยี VR และการจำลองสถานการณ์
การปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัย	ขาดความรู้ด้านการจัดการฉุกเฉินและการประเมินความเสี่ยง	จัดฝึกอบรมความปลอดภัยและสถานการณ์จำลองฉุกเฉิน
ทัศนคติและจรรยาบรรณในการทำงาน	ขาดความตระหนักเชิงจรรยาบรรณและทัศนคติเชิงรุก	อบรมด้านจิตวิทยาและส่งเสริมจรรยาบรรณผ่านกิจกรรมเชิงปฏิบัติ

ตาราง 3

โครงสร้างหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานเพื่อยกระดับมาตรฐานการซ่อมบำรุง

หน่วยการเรียนรู้	สาระสำคัญ	วิธีการเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
1. ระบบโครงสร้างและมาตรฐานอากาศยาน	TCAR Part-66 คู่มือซ่อม การตรวจสอบความปลอดภัย	บรรยาย+วิเคราะห์เอกสาร	6
2. ทักษะเทคนิคการซ่อมบำรุง	การใช้เครื่องมือ การอ่านแบบแปลน การวิเคราะห์ปัญหา ระบบอัตโนมัติและข้อมูลเซ็นเซอร์	ฝึกปฏิบัติในเวิร์กชอป และการใช้ Simulation	12
3. การสื่อสารและความปลอดภัย	การทำงานเป็นทีม เจตคติด้านความปลอดภัย การประเมินความเสี่ยง การสื่อสารภาษาอังกฤษเทคนิค และการจัดการสถานการณ์ฉุกเฉิน	การจำลองสถานการณ์ + อภิปรายกลุ่ม	6
รวมเวลาอบรมทั้งหมด			**24**

ตาราง 4

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถนะก่อนและหลังอบรม

ด้านสมรรถนะ	ค่าเฉลี่ยก่อนอบรม	ค่าเฉลี่ยหลังอบรม	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	p
ความรู้	3.15	4.35	0.68	9.21	.000*
ทักษะ	3.00	4.45	0.72	10.87	.000*
เจตคติ	3.40	4.60	0.64	8.93	.000*

*หมายเหตุ: p<.05 หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติ

อภิปรายผล

1. ผลการศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานในประเทศไทย พบว่า แม้ปัจจุบันมีการจัดฝึกอบรมอย่างต่อเนื่องและสอดคล้องกับมาตรฐาน TCAR ในระดับดี แต่ยังคงมีช่องว่างด้านความสอดคล้องกับมาตรฐานสากลที่อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการปรับปรุงหลักสูตรให้เทียบเท่ามาตรฐานสากล โดยเฉพาะการพัฒนาทักษะด้านระบบอัตโนมัติและการวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ผลการศึกษาโดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า สถานการณ์นี้เป็นความท้าทายร่วมกันของหลายประเทศในภูมิภาค นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phadetsuk et al. (2023) และ Katepan et al. (2024) ที่ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาหลักสูตรที่ผสมผสานระหว่างความรู้พื้นฐานตามมาตรฐาน TCAR และทักษะสมัยใหม่ตามความต้องการของอุตสาหกรรม โดยเฉพาะทักษะดิจิทัลที่กำลังเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมการบินอย่างรวดเร็ว การศึกษานี้ยืนยันด้วยข้อมูลเชิงประจักษ์จากกลุ่มตัวอย่าง 280 คน และผู้บริหาร 15 ท่าน ว่า การฝึกอบรมแบบอิงสมรรถนะ (CBTA) เป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาทักษะช่างอากาศยานในยุคปัจจุบัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vaskova Kjulavkovska (2022), Kumar Yadav (2010) และ Federal Aviation Administration (2018) ที่พบว่า การฝึกอบรมผ่านการจำลองสถานการณ์จริงและการใช้เครื่องมือเสมือนจริงช่วยลดช่องว่างระหว่างทฤษฎีกับการปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาทักษะเชิงปฏิบัติได้รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การนำแนวทางนี้มาใช้ในประเทศไทยจำเป็นต้องมีการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานและพัฒนาครูฝึกให้มีความเชี่ยวชาญในเทคโนโลยีใหม่ ๆ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Knez et al. (2022) ที่เน้นย้ำถึงความสำคัญของการพัฒนากรอบหลักสูตรที่ยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนเนื้อหาได้ตามการพัฒนาของเทคโนโลยี โดยยังคงรักษาแก่นหลักตามข้อกำหนดมาตรฐาน การศึกษานี้เสนอแนะให้มีการทบทวนและปรับปรุงหลักสูตรอย่างน้อยทุก 2-3 ปี พร้อมทั้งพัฒนาระบบติดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการบิน เพื่อให้การฝึกอบรมทันสมัยและสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง

2. การศึกษาการวิเคราะห์ช่องว่างสมรรถนะช่างอากาศยานไทย พบปัญหาสำคัญสามด้าน ได้แก่ ความรู้พื้นฐานและทักษะเฉพาะทาง การปฏิบัติตามมาตรฐาน TCAR และการพัฒนาทักษะเพิ่มเติม ผลการศึกษาโดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องชี้ว่า ช่างอากาศยานยังขาดความเข้าใจเชิงลึกในระบบการบินอัตโนมัติและเครื่องมือตรวจสอบสมัยใหม่ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงานตามมาตรฐานสากล นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chontawan et al. (2026) ที่ระบุถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการปรับปรุงกระบวนการฝึกอบรม โดยเน้นการเสริมสร้างทักษะด้านเทคโนโลยีดิจิทัล ซึ่งกำลังเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมการบินอย่างรวดเร็ว การวิเคราะห์ช่องว่างสมรรถนะด้วยการ Mapping กับ TCAR Part-66 และข้อมูลจากแบบสอบถามชี้ชัดว่า ช่องว่างด้านความรู้ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการปฏิบัติตามข้อกำหนด TCAR โดยเฉพาะในขั้นตอนซ่อมบำรุงที่ต้องใช้เทคโนโลยีซับซ้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chavan et al. (2025) ที่เสนอให้ใช้การฝึกอบรมแบบอิงสมรรถนะเป็นแนวทางแก้ไข เนื่องจากวิธีนี้เน้นการพัฒนาความสามารถเชิงปฏิบัติมากกว่าการเรียนทฤษฎีแบบเดิม ช่วยให้ผู้เรียนประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสอดคล้องกับความต้องการพัฒนาทักษะเพิ่มเติมด้านการปรับตัวต่อเทคโนโลยีใหม่และการเรียนรู้ตลอดชีวิต นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gramopadhye et al. (2025) ที่สนับสนุนการใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือนและปัญญาประดิษฐ์ในการฝึกอบรม เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ปลอดภัยและประหยัด ผลการศึกษายังพบความจำเป็นในการปรับสมดุลระหว่างมาตรฐาน TCAR กับมาตรฐานสากล โดย Chavan et al. (2025) เสนอให้พัฒนากรอบหลักสูตรที่ยืดหยุ่น สามารถปรับเนื้อหาให้ทันเทคโนโลยีขณะยังคงความสอดคล้องกับข้อกำหนดหลัก การศึกษานี้ได้นำแนวทางดังกล่าวมาประยุกต์ใช้โดยเพิ่มหน่วยการเรียนเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติและสถานการณ์ฉุกเฉินในหลักสูตรใหม่ และเน้นย้ำถึงความสำคัญของการประเมินผลแบบใหม่ที่วัดสมรรถนะจริงมากกว่าความรู้เชิงทฤษฎี และความจำเป็นในการสร้างความร่วมมือระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อพัฒนาหลักสูตรร่วมกันที่ตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมและแนวโน้มเทคโนโลยีในอนาคต

3. การศึกษาการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานที่สอดคล้องกับมาตรฐาน TCAR และมาตรฐานสากล พบว่า จำเป็นต้องมีองค์ประกอบหลัก 5 ประการ ได้แก่ การจัดการทรัพยากรบุคคล การออกแบบเนื้อหาที่สมดุล การพัฒนาทักษะเฉพาะทาง การใช้เครื่องมือฝึกอบรมสมัยใหม่ และการปฏิบัติตามข้อบังคับ ผลการศึกษาโดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องชี้ให้เห็นว่า กระบวนการพัฒนาหลักสูตรต้องมีความยืดหยุ่นเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี โดยเฉพาะในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว (Maimun et al., 2022) นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gunes et al. (2022) และ Albelo et al. (2024) ที่เน้นความสำคัญของการใช้เทคโนโลยีการฝึกอบรมสมัยใหม่ เช่น การจำลองสถานการณ์และเทคโนโลยีเสมือนจริง ซึ่งช่วยสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีเหล่านี้ไม่เพียงพัฒนาทักษะเทคนิค แต่ยังเสริมสร้างความสามารถในการตัดสินใจภายใต้ความกดดัน ซึ่งเป็นสมรรถนะสำคัญของช่างอากาศยาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gunes et al. (2025) และ Chaihawong et al. (2026) ที่พบว่า การฝึกอบรมด้วยวิธีการดังกล่าวช่วยเพิ่มอัตราการรักษาไว้ซึ่งความรู้และทักษะได้มากกว่าวิธีการแบบเดิมถึง 40% และเน้นย้ำถึงประสิทธิภาพของการประเมินแบบอิงสมรรถนะที่สามารถวัดความสามารถในการปฏิบัติงานจริงได้อย่างครอบคลุม ผลการทดลองใช้หลักสูตรกับกลุ่มตัวอย่าง 30 คน และการวิเคราะห์สถิติ paired t-test ที่มีนัยสำคัญ ($p<.05$) ในตารางที่ 4 สนับสนุนข้อค้นพบนี้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gunes et al. (2022) และ Phadetsuk et al. (2023) ที่ระบุแนวโน้มสำคัญ 3 ประการของการพัฒนาหลักสูตรสมัยใหม่ ได้แก่ การใช้เทคโนโลยีดิจิทัล การออกแบบหลักสูตรแบบปรับตัวได้ และการเปลี่ยนผ่านสู่การประเมินสมรรถนะ ซึ่งสะท้อนความพยายามของอุตสาหกรรมการบินทั่วโลกในการยกระดับมาตรฐานการฝึกอบรม หลักสูตรที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้นำเอาแนวโน้มเหล่านี้มาบูรณาการอย่างครบถ้วน

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า หลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานที่พัฒนาตามแนวคิด Competency-Based Training and Assessment: CBTA และมาตรฐาน TCAR-66 สามารถยกระดับสมรรถนะของผู้เข้าอบรมได้อย่างมีนัยสำคัญทั้งด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติ โดยเฉพาะทักษะเชิงปฏิบัติและความตระหนักด้านความปลอดภัย ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการฝึกอบรมในปัจจุบันของสายการบินไทยมีคุณภาพในระดับดี แต่ยังมีช่องว่างเมื่อเทียบกับมาตรฐานสากล โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีและทักษะเฉพาะทาง การพัฒนาหลักสูตรต้นแบบที่บูรณาการโมเดล ADDIE เข้ากับแนวทาง CBTA จึงช่วยให้การเรียนรู้มีความเป็นระบบ เชื่อมโยงกับสถานการณ์จริง และตอบสนองต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ คือ ควรนำหลักสูตรที่พัฒนาขึ้นซึ่งเป็นหลักสูตรต้นแบบใหม่และยังไม่เคยเปิดสอนมาก่อน ไปทดลองใช้ในบริบทของหน่วยงานสายการบินหรือศูนย์ซ่อมบำรุงที่แตกต่างกัน เพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับลักษณะงานจริง และส่งเสริมให้สถาบันการศึกษาด้านการบินนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการเรียนการสอน นอกจากนี้ควรมีการติดตามผลในระยะยาวเพื่อประเมินประสิทธิภาพของหลักสูตรต่อพฤติกรรมและผลการปฏิบัติงานของผู้เรียน รวมถึงศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเปรียบเทียบรูปแบบการฝึกอบรมระหว่างระบบจริงกับเทคโนโลยีเสมือน (VR/AR) ซึ่งยังเป็นข้อจำกัดของการวิจัยครั้งนี้ ในเชิงนโยบาย ควรส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือระหว่าง CAAT สายการบิน และสถาบันการศึกษาเพื่อรับรองและบรรจุหลักสูตรนี้ในระบบการฝึกอบรมช่างอากาศยานของประเทศอย่างเป็นทางการ ทั้งนี้ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นข้อมูลเชิงนโยบายในการกำหนดมาตรฐานการฝึกอบรมและการรับรองวิชาชีพช่างอากาศยานในระดับชาติได้อย่างเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนจากสถาบันการบินพลเรือน (Civil Aviation Training Center: CATC) ซึ่งได้ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมถึงให้คำแนะนำทางวิชาการและข้อมูลเชิงเทคนิคที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมช่างอากาศยานตามแนวคิด Competency-Based Training and Assessment: CBTA ภายใต้มาตรฐาน

TCAR Part-66 ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้บริหาร คณาจารย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการบิน และบุคลากรในสายการบินต่าง ๆ ที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ รวมถึงให้ข้อเสนอแนะอันทรงคุณค่าที่ช่วยให้การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีความสมบูรณ์ ครอบคลุม และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาศักยภาพบุคลากรด้านการบินของประเทศไทยได้อย่างแท้จริง

References

Albelo, J., Fraticelli Rivera, V., & Thomas, R. (2024). Integration of advanced qualification program into aviation education. *Journal of Aviation Technology and Engineering, 13*(1), 1. https://doi.org/10.7771/2159-6670.1308

CATC Thailand. (2024). *Introduction to aviation Competency-Based Training and Assessment* (CBTA-I) [In Thai]. https://www.catc.or.th/en/curriculum/introduction-to-aviation-competency-based-training-and-assessment-cbta-i/

Civil Aviation Authority of Thailand. (2022). *TCAR-66 requirements: Aircraft mechanic certification* [In Thai]. https://www.caat.or.th/wp-content/uploads/2022/11/TCAR-PEL-Part-66-Regs.pdf

Civil Aviation Training Center. (2022). *CBTA course for aircraft technicians, TCAR-66 guidelines* [In Thai]. https://www.caat.or.th/wp-content/uploads/2022/10/CAAT-GM-PEL-CBTA-Issue-01-Rev.00-CBTA-1.pdf

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8th ed.). Routledge.

Chontawan, P., Visutthiphaet, S., Boonyasopon, T., & Attavinitrakarn, P. (2026). The development of competency model in harmony with international standard for aircraft mechanic who begins maintenance activities with Thai registered aircraft in digital era [In Thai]. *Journal of Business and Industrial Development, 6*(1), 81–94. https://doi.org/10.14416/j.bid.2026.02.006

Chaihawong, N., Hwangsuphakitkoson, J., & Saikam, J. (2026). Strategic governance and curriculum excellence in commercial pilot education a causal model for aviation education policy development [In Thai]. *Journal of Academic for Educational Administration Innovation, 5*(1), 21–34. https://so09.tci-thaijo.org/index.php/EAIJ/article/view/8341

Chavan, D., Nicklin, Z., Ley, S., Upadhyay, B., Maguire, C., Johnson, K., Short, R., Gramopadhye, A., & Chalil Madathil, K. (2025). Bridging the gap in aviation maintenance education: Identifying emerging technologies and workforce needs. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 69*, 1893–1895. https://doi.org/10.1177/10711813251370725

Çinar, E., & Tuncal, A. (2024). A comprehensive analysis of competency and training perspectives among air traffic controllers. *Aviation, 28*(2), 54–63. https://doi.org/10.3846/aviation.2024.21501

Federal Aviation Administration. (2018). *Aviation maintenance technician handbook – general* https://www.flightstore.com.au/assets/brochures/ASA-8083-30A.pdf

Fleiss, J. L. (1981). *Statistical methods for rates and proportions* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Gibbs, L., Slevitch, L., & Washburn, I. (2017). Competency-based training in aviation: The impact on flight attendant performance and passenger satisfaction. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research, 26*(2), 55–80. https://doi.org/10.15394/jaaer.2017.1716

Gramopadhye, A., Beck, J., Madathil, K. C., Maguire, C., Ley, S., Nicklin, Z., Johnson, K., Short, R., Goertzen, R., Chavan, D., & Upadhyay, B. (2025). *Bridging the gap in aviation maintenance education identifying workforce needs and opportunities*. https://assets.noviams.com/novi-file-uploads/atec/ATEC-AC-Breakout9-UAM-20250318.pdf

Gunes, T., Turhan, U., Yoruk Acikel, B., & Benligiray, S. (2026). Developing a competency model for aircraft maintenance technicians. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, 98*(3), 477–486. https://doi.org/10.1108/AEAT-08-2025-0286

Gunes, T., Turhan, U., & Acikel, B. (2025). Aircraft maintenance technician perceptions and evaluations about the safety culture and responsibility related competencies. *Journal of Aerospace Technology and Management, 17*, e0725. https://doi.org/10.1590/jatm.v17.1367

Gunes, T., Turhan, U., & Yörük Açıkel, B. (2022). Improvement of aircraft maintenance manual (AMM) for Cessna 172. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 94*(7), 1078–1086. https://doi.org/10.1108/AEAT-10-2021-0321

International Civil Aviation Organization [ICAO]. (2020). *DOC 9868 PANS TRG (procedures for air navigation services – training)* (3rd ed.). https://bit.ly/4thqxdH

Katepan, A., Sirivisitkul, S., & Jarujittipan, P. (2024). Guidelines for graduated for production students of aircraft mechanics of the aircraft mechanics training institute in Thailand [In Thai]. *Journal of Management Science Research, Surindra Rajabhat University, 6*(2), 204-218. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jmsr/article/view/252011/173515

Kesedžić, A., Božek, J., Radoš, M., & Ćosić, K. (2020). Air traffic control competencies measurements based on functional near-infrared spectroscopy. *Lecture Notes in Networks and Systems, 23,* 123–135. https://doi.org/10.23919/MIPRO48935.2020.9245242

Knez, S., Podbregar, I., & Graham, N. (2022). Challenges and Development of Training in the Aviation Industry. In P. Šprajc et al. (Eds.), *41st International Conference on Organizational Science Development: Conference Proceedings* (pp. 417–424). University of Maribor.

Kungwola, K., Chaiprasert, N., & Chomchum, K. (2025). The influences of competency, organizational commitment, and job satisfaction on the efficiency of airport ground staff in Thailand's low-cost airlines [In Thai]. *Journal of MCU Social Science Review, 14*(1), 121–135. https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jssr/article/download/283931/186631/1218184

Kumar Yadav, D. (2010). Licensing and recognition of the aircraft maintenance engineers – A comparative study. *Journal of Air Transport Management. 16*(5), 272-278. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2010.03.005

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics, 33*(1), 159-174. https://doi.org/10.2307/2529310

Lynn, M. R. (1986). Determination and quantification of content validity. *Nursing Research, 35*(6), 382–385. https://doi.org/10.1097/00006199-198611000-00017

Maimun, T., Thongmark, C., Rattanatai, B., & Hemvipat, K. (2022). Examining the movement of industry 4.0 and survival in the Covid-19 era [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 16*(1), 37–55. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/253255

Mesomkorn, K., Boonyasophon, T., & Pinthapataya, S. (2023). Development of an aircraft maintenance mechanic potential model to prepare for becoming a supervisor in the digital age [In Thai]. *Arts of Management Journal, 7*(1), 70–91. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jam/article/view/259181

Numpa, P., & Siraphatthada, Y. (2021). The model of competencies of the pilot-in-command for multi-crew pilot-aeroplane, flight ex-periences and innovative management towards the effectiveness of flight operations in Thailand [In Thai]. *Sarasas Journal of Humanities and Social Science, 7*(1), 66-84. https://so04.tci-thaijo.org/index.php/svittj/article/view/189489/171330

Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods* (4th ed.). SAGE Publications.

Phadetsuk, S., Sarasan, U., Fongsantie, S., & Chianchana, C. (2023). The guidelines for production and development of vocational manpower, diploma program in aircraft maintenance [In Thai]. *T-VET Journal, 7*(13), 189-211. https://so01.tci-thaijo.org/index.php/TVETJournal_IVEN3/article/view/266233/174192

Vaskova Kjulavkovska, L. T. (2022). Integrating training and performance management of civil aviation inspectors: A pilot study of the mediating role of competency-based training. *International Journal of Training and Development, 26*, 29–54. https://doi.org/10.1111/ijtd.12234

Ziakkas, D., Flores, A., & Suckow, M. (2023). The implementation of competency-based training and assessment (CBTA) framework in aviation intelligence human systems. In T. Ahram, W. Karwowski, P. Di Bucchianico, R. Taiar, C. Casarotto & P. Costa (Eds.), Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2023): Integrating People and Intelligent Systems AHFE (2023) International Conference AHFE Open Access Vol. 69 (pp. 96-105). AHFE International.

การพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

Developing Chatbot System to Promote Bio-Tourism Crane Wetlands, Thai Species, Mueang District, Buriram Province

กมลรัตน์ สมใจ[1]* แสงดาว นพพิทักษ์[1] วรินทร์พิพัชร วัชรพงษ์เกษม[1] และปุริม ชฎารัตนฐิติ[1]

Kamolrat Somchai[1]*, Sangdaow Noppitak[1], Warinpiphat Watcharapongkasem[1] and Purim Chadaratanathiti[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

[1]Department of Information Technology, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

*Corresponding author: kamonrat.sj@bru.ac.th

Received: October 10, 2025

Revised: December 1, 2025

Accepted: December 9, 2025

บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย จังหวัดบุรีรัมย์ ได้รับความนิยมแต่ยังขาดช่องทางการให้ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาศักยภาพด้านพื้นที่ท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง บุรีรัมย์ (2) พัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย และ (3) ถ่ายทอดระบบตอบโต้อัจฉริยะให้กับกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่ โดยมีกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 รวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อศึกษาศักยภาพด้านการท่องเที่ยวชีวภาพ จำนวน 15 คน โดยคัดเลือกแบบเจาะจง กลุ่มที่ 2 ประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบโต้อัจฉริยะ จำนวน 5 คน โดยคัดเลือกแบบเจาะจง และกลุ่มที่ 3 ประเมินความพึงพอใจที่มีต่อ ระบบตอบโต้อัจฉริยะ จำนวน 36 คน คัดเลือกโดยการสุ่มอย่างง่ายด้วยวิธีจับสลาก เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์เชิงลึก ระบบตอบโต้อัจฉริยะ แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพใช้การวิเคราะห์เนื้อหา และข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า (1) พื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทยมีศักยภาพการท่องเที่ยวชีวภาพหลายด้าน ได้แก่ ด้านคุณค่าของแหล่งท่องเที่ยว ด้านกิจกรรม ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านการบริการ และการมีส่วนร่วมกับชุมชน (2) ระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) ผ่านแอปพลิเคชัน LINE สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทยได้ดี และ (3) กลุ่มเป้าหมายพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก ($\overline{x}$ =4.48 SD=0.49)

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวชีวภาพ ระบบโต้ตอบอัจฉริยะ พื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย

Abstract

Ecotourism in the Thai Sarus Crane Wetland, Buriram Province, has gained increasing popularity; however, effective information dissemination channels remain limited. This study aimed to: (1) assess the ecotourism potential of the Thai Sarus Crane Wetland in Mueang District, Buriram Province; (2) develop an intelligent chatbot system to promote ecotourism in the area; and (3) transfer the developed system to local stakeholders. Three groups of participants were involved. Fifteen key informants were selected through purposive sampling for in-depth interviews to assess ecotourism potential. Five experts were selected via purposive sampling to evaluate the system's efficiency. Additionally, thirty-six users were selected through simple random sampling to assess user satisfaction. The research instruments included structured interview forms, the developed intelligent chatbot system, an efficiency evaluation form, and a user satisfaction questionnaire. Qualitative data were analyzed using content analysis, while quantitative data were analyzed using descriptive statistics, including mean and standard deviation. The findings revealed that the Thai Sarus Crane Wetland demonstrates strong ecotourism potential across multiple dimensions, including attraction value, tourism activities, local products, service quality, and community participation. The intelligent chatbot system was developed using Artificial Intelligence (AI) and Natural Language Processing: NLP technologies and deployed on the LINE platform. The system effectively delivered ecotourism-related information to users. Overall user satisfaction was high ($\overline{x}$ =4.48 SD=0.49), indicating positive acceptance of the system.

Keywords: biotourism, intelligent response system, Wetland Area of Thai Cranes

บทนำ

ปัจจุบันการท่องเที่ยวตามรอยวิถีชีวิตดั้งเดิมของชุมชนต่าง ๆ เป็นแหล่งการท่องเที่ยวที่มีเอกลักษณ์ทั้งด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และวัฒนธรรม ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากในปี 2561 มีนักท่องเที่ยวชาวไทยเลือกจุดหมายปลายทางการท่องเที่ยวเป็นแหล่งชุมชนท้องถิ่นในเมืองรอง อัตราการท่องเที่ยวลักษณะนี้มีแนวโน้นเพิ่มสูงขึ้นกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับปี 2560 (Expedia Group, 2018) สอดคล้องกับสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน) ที่ได้เปิดตัวการท่องเที่ยวชีวภาพส่งเสริมชุมชน ที่เป็นการประยุกต์ให้เข้ากับระบบนิเวศ วิถีชีวิตความเป็นอยู่ นำทุนทางธรรมชาติ ทรัพยากรชีวภาพที่โดดเด่น รวมทั้งภูมิปัญญาท้องถิ่น มาสร้างกระบวนการเส้นทางท่องเที่ยว กิจกรรมสันทนาการเพื่อดึงดูดให้ผู้คนเข้าหาชุมชน จับจ่ายใช้สอย เกิดรายได้ในชุมชน (BEDO, 2021) ดังเช่น ในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทยบ้านสวายสอ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ได้มีการนำเอากิจกรรมเด่นในชุมชนและวิถีชีวิตที่เป็นเอกลักษณ์ ล่องเรือเรียนรู้วิถีนกกระเรียนและนกน้ำ ชมการทำนาข้าวอินทรีย์ ร่วมเรียนรู้และกิจกรรมการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ความหลากหลายชีวภาพ มาดึงดูดให้นักท่องเที่ยวได้รู้จักชุมชนเข้าไปท่องเที่ยว จับจ่ายใช้สอย ทำให้ชุมชนมีรายได้ ตลอดทั้งสร้างการมีส่วนร่วมความรักความสามัคคีในชุมชนอีกด้วย

การประชาสัมพันธ์เพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวในยุคอินเทอร์เน็ตสามารถทำได้หลายทาง การใช้การสื่อสังคมออนไลน์ (social media) เช่น เฟสบุ๊ค อินสตราแกรม เอกซ์ (X) เป็นเครื่องมือที่มีความรู้หลายด้านจะช่วยให้ข้อมูลแก่

นักท่องเที่ยวใน การศึกษาและค้นหาเรื่องราวในด้านการท่องเที่ยวที่สนใจได้อย่างรวดเร็ว (Kla-asa & Buachum, 2015) อย่างไรก็ตาม รูปแบบ บริการช่องทางการสื่อสารบนสื่อสังคมออนไลน์โดยทั่วไปสามารถตอบสนองในด้านการบริการที่ครอบคลุมการ บริการในวงกว้าง แต่การติดสื่อสารยังคนต้องใช้คนมาคอยตอบคำถามแนะนำในสิ่งต่าง ๆ และถ้ามีจำนวนผู้สนใจพูดคุยสอบถามเข้ามามาก อาจทำให้เสียเวลาในการรอคอย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถโต้ตอบและแนะนำข้อมูลข่าวสารแก่กลุ่มลูกค้าอย่างเป็นอัตโนมัติที่เรียกว่า ระบบแชทบอท (Chatbot) ที่จะคอยเป็นผู้ช่วยในการแนะนำข้อมูลด้านต่าง ๆ แก่กลุ่มลูกค้าได้อย่างทันท่วงที (Rohman & Subarkah, 2024)

ระบบแชทบอท (Chatbot) เป็นระบบแบบอัจฉริยะที่เป็นซอฟต์แวร์หุ่นยนต์สำหรับการสื่อสารโต้ตอบกับมนุษย์คล้ายกับลักษณะเดียวกันกับระบบ Siri ของ Apple โดยทำงานบนพื้นฐานการสื่อสารด้วยข้อความผ่านช่องทางการสื่อสารที่ใช้เป็นประจำ อาทิ Facebook Fan page และ LINE@ ที่ได้ถูกนำมาใช้เป็นช่องทางการสื่อสารและตอบคำถามกันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกสบายและรวดเร็วมากกว่าระบบบริการตอบคำถามผ่านทางอีเมล ปัจจุบัน หลาย ๆ องค์กรได้ทำการพัฒนาระบบแชทบอท (Chatbot) ของตนเองเพื่อที่จะนำมาใช้ในการเพิ่มศักยภาพในการบริการแนะนำหรือ ตอบคำถามให้กับกลุ่มผู้ใช้หรือสมาชิกจำนวนมาก ๆ พร้อมกัน จากการสำรวจของบริษัท Oracle Corporation พบว่า ร้อยละ 80 ขององค์กรธุรกิจทั่วโลกได้ใช้งานแชทบอทเพื่อส่งเสริมการขายและการตลาด รวมถึงการให้บริการลูกค้า โดยเชื่อว่าแชทบอทสามารถที่จะเพิ่มประสบการณ์แก่ลูกค้าได้เป็นอย่างดี (Oracle Corporation & Parkers, 2016; Bilabdulla, 2021)

การประยุกต์ใช้ระบบโต้ตอบอัจฉริยะในการส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพถือเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารและให้บริการแก่นักท่องเที่ยวได้อย่างรวดเร็วและตรงจุด ระบบดังกล่าวสามารถตอบคำถาม แนะนำข้อมูล และนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวได้อย่างทันท่วงที ซึ่งมีส่วนสำคัญในการยกระดับภาพลักษณ์ของแหล่งท่องเที่ยวและสร้างความน่าสนใจให้กับชุมชนมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการบูรณาการองค์ความรู้ระหว่างศาสตร์ด้านการท่องเที่ยวและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ รวมถึงความร่วมมือจากหน่วยงานภาครัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และวิสาหกิจชุมชน เพื่อส่งเสริมการจัดการท่องเที่ยวเชิงชีวภาพให้มีความยั่งยืน อันจะนำไปสู่การพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมของชุมชน ทั้งนี้คณะผู้วิจัยมีประสบการณ์ในการทำงานในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทยบ้านสวายสอ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งทางวิชาการและเศรษฐกิจสังคม ที่จะช่วยขับเคลื่อนสังคมและประเทศชาติให้หลุดพ้นกับดักรายได้ปานกลางและความเหลื่อมล้ำด้านรายได้ของประชาชนในประเทศไทยต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาศักยภาพด้านพื้นที่ท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

2. เพื่อพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

3. เพื่อถ่ายทอดระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพให้กับกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บริบทของพื้นที่

ตำบลสะแกโพรงเป็นหนึ่งในสามตำบลที่ครอบคลุมพื้นที่อ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก ซึ่งเป็นที่ตั้งของศูนย์อนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำและนกกระเรียนพันธุ์ไทย จังหวัดบุรีรัมย์ (Biodiversity-Based Economy Development Office, 2022) พื้นที่นี้มีความสำคัญในฐานะเป็นพื้นที่ทดลองปล่อยนกกระเรียนพันธุ์ไทยแห่งแรกของประเทศ ซึ่งเป็นสัตว์ป่าที่เคยเกือบสูญพันธุ์ในประเทศไทย (Zoological Park Organization, 2022) ซึ่งศูนย์การเรียนรู้แห่งนี้ทำหน้าที่ในการศึกษาธรรมชาติและระบบนิเวศของพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยมีเส้นทางเดินป่าและกิจกรรมดูนกที่หลากหลาย (Royal Forest Department, 2022) โดยชุมชนในพื้นที่ได้พัฒนากิจกรรมท่องเที่ยวชีวภาพที่เชื่อมโยงกับการอนุรักษ์

ธรรมชาติ เช่น การชมนกน้ำ การทำกิจกรรมทางน้ำ และการเรียนรู้วิถีชีวิตชุมชน (Dech-oom & Rattanasuwongchai, 2019) รวมทั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ได้รับการส่งเสริมให้มีส่วนร่วมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และบริการท้องถิ่นเพื่อสร้างรายได้ที่ยั่งยืน

แนวคิดเกี่ยวกับการท่องเที่ยวชีวภาพ

การท่องเที่ยวชีวภาพ (bio-tourism) เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่เน้นการใช้ความหลากหลายทางชีวภาพและวิถีชีวิตท้องถิ่นเป็นจุดขาย โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างคุณค่าและรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่น พร้อมทั้งส่งเสริมการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและภูมิปัญญาท้องถิ่น (Biodiversity-Based Economy Development Office, 2022) ลักษณะของแหล่งท่องเที่ยวชีวภาพมักตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลเมืองใหญ่ มีสินค้าชุมชนที่มีมูลค่าไม่สูงและมีสิ่งดึงดูดเช่นภูมิทัศน์และสัตว์ป่าหายาก (Biodiversity-Based Economy Development Office, 2022) นักท่องเที่ยวจะได้รับประสบการณ์ที่หลากหลาย เช่น การเรียนรู้และสัมผัสความหลากหลายทางชีวภาพ การมีจิตสำนึกอนุรักษ์ และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับชุมชน (Dech-oom & Rattanasuwongchai, 2019) ตัวอย่างแหล่งท่องเที่ยวชีวภาพในประเทศไทยมีหลายแห่ง เช่น บ้านสวายสอ จังหวัดบุรีรัมย์ ที่มีการอนุรักษ์นกกระเรียนพันธุ์ไทยและกิจกรรมดูนก

แนวคิดเกี่ยวกับระบบตอบโต้อัจฉริยะ

ระบบตอบโต้อัจฉริยะ (Chatbot) คือ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยตอบสนองการสนทนาของผู้ใช้ผ่านข้อความหรือเสียงแบบอัตโนมัติ โดยใช้กลไกการประมวลผลข้อความเพื่อค้นหาคำหรือข้อความที่ตรงหรือใกล้เคียงกับคีย์เวิร์ดที่กำหนดไว้ และตอบกลับผู้ใช้ด้วยข้อมูลที่เหมาะสมและรวดเร็วที่สุด การใช้แชทบอทในงานด้านการท่องเที่ยวได้รับการยืนยันจากงานวิจัยหลายชิ้น เช่น การพัฒนาแชทบอทแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวที่เชื่อมโยงข้อมูลกับผลิตภัณฑ์ชุมชน (Kla-asa & Buachum, 2015) และแชทบอทเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรและวัฒนธรรมที่ทำงานผ่าน Dialogflow บน LINE ซึ่งพบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับสูง (Maisak & Kaewjinda, 2019) ในทำนองเดียวกัน ระบบไกด์ท่องเที่ยวผ่าน Line Chatbot สำหรับการท่องเที่ยวพหุวัฒนธรรมก็แสดงให้เห็นว่า Chatbot สามารถตอบกลับแบบเรียลไทม์และสร้างประสบการณ์ที่ดีให้แก่นักท่องเที่ยวได้ (Rothjanawan & Rattanachu, 2024)

นอกจากนี้แนวทางการบูรณาการ Chatbot เข้ากับแพลตฟอร์มดิจิทัลยังถูกนำมาพัฒนาจริงในระบบส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดตาก (Joobanjong et al., 2021) และระบบแพลตฟอร์มดิจิทัลสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชนที่ใช้ Chatbot ร่วมกับบีคอนและแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์เพื่อส่งข้อมูลข่าวสารอัตโนมัติให้กับนักท่องเที่ยว (Jueng et al., 2023) งานเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของ Chatbot ในฐานะเครื่องมือสำคัญที่ช่วยเพิ่มการเข้าถึงข้อมูลและยกระดับการบริการด้านการท่องเที่ยวสมัยใหม่

แนวคิดเกี่ยวกับการประมวลผลภาษาธรรมชาติ

การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) เป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ที่มีเป้าหมายให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและตีความภาษาของมนุษย์ได้อย่างถูกต้อง (Jurafsky & Martin, 2023) โดยอาศัยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การตัดคำ การแยกชนิดคำ การวิเคราะห์ความรู้สึก และการรู้จำเอนทิตี (Chowdhary, 2020) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการทำให้ระบบตอบโต้อัจฉริยะสามารถวิเคราะห์เจตนาและเลือกคำตอบได้อย่างแม่นยำ งานด้านการท่องเที่ยวจำนวนมากได้นำ NLP ไปใช้ เช่น การพัฒนาไลน์แชทบอทเพื่อการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่ใช้ NLP เพื่อวิเคราะห์ภาษาธรรมชาติของผู้ใช้และตอบกลับแบบอัตโนมัติ (Rothjanawan & Rattanachu, 2024) ตลอดจนงานที่ใช้ NLP บน Dialogflow ในการประมวลผลคำถามผู้ใช้บนแอปพลิเคชันท่องเที่ยวเชิงเกษตร (Maisak & Kaewjinda, 2019)

ในอีกมิติหนึ่ง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเสริมความแม่นยำของระบบท่องเที่ยว เช่น งานของ Siharad and Sookprasert (2024) ที่ใช้เทคนิค Machine Learning ได้แก่ KNN Imputation และ Information Gain เพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบรับรู้พฤติกรรมนักท่องเที่ยวถึง 98.67% แสดงให้เห็นว่าเทคนิค AI และ NLP สามารถสนับสนุนระบบตอบโต้อัจฉริยะให้มีความถูกต้องและตอบสนองความต้องการผู้ใช้ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้งานพัฒนาสื่อความจริงเสมือนเชิงความหมายเพื่อท่องเที่ยวเชิงสุขภาพยังใช้การประมวลผลข้อมูลเชิงความหมายและการเชื่อมโยงองค์ความรู้ด้วย Ontology และ SWRL เพื่อดึงข้อมูลที่ตรงตามบริบทของผู้ใช้ ซึ่งเป็นอีกตัวอย่างของการใช้เทคนิคด้านความหมายและภาษาธรรมชาติร่วมกับเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยว (Nithiyuwith et al., 2024)

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยมีประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้:

กลุ่มที่ 1 ประชากรที่ใช้ในการศึกษาศักยภาพด้านการท่องเที่ยวชีวภาพ ได้แก่ผู้นำชุมชน หน่วยงานภาครัฐ วิสาหกิจชุมชน และนักท่องเที่ยวในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย บ้านสวายสอ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเป็นแหล่งอนุรักษ์นกกระเรียนพันธุ์ไทยแห่งแรกของประเทศ มีความสำคัญทั้งด้านนิเวศวิทยาและเศรษฐกิจชุมชน อีกทั้งเป็นพื้นที่ต้นแบบของการท่องเที่ยวชีวภาพที่ชุมชนมีความเข้มแข็ง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 15 คน โดยเป็นผู้ที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวชีวภาพ หรือมีประสบการณ์ท่องเที่ยวในพื้นที่

กลุ่มที่ 2 ประชากรที่ใช้การประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบโต้อัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นได้แก่ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคและเทคโนโลยีสารสนเทศจากหน่วยงานการศึกษาภาครัฐและเอกชน ทำการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 5 คน โดยเป็นผู้ที่มีวุฒิการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาโท และมีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศหรือการพัฒนาระบบ

กลุ่มที่ 3 ประชากรที่ใช้ในการถ่ายทอดระบบตอบโต้อัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ผู้นำชุมชน หน่วยงานภาครัฐ วิสาหกิจชุมชน และนักท่องเที่ยวในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ทำการคัดเลือกโดยสุ่มแบบง่าย (simple random sampling) ด้วยวิธีการจับสลาก จำนวน 36 คน โดยเป็นผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวในพื้นที่ หรือมีประสบการณ์ใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ (1) แบบสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อรวบรวมข้อมูลศักยภาพการท่องเที่ยวที่ประกอบไปด้วย สถานที่ท่องเที่ยวแหล่งดูนกกระเรียนพันธุ์ไทย กิจกรรมการท่องเที่ยว ผลิตภัณฑ์และบริการต่าง ๆ ของชุมชน (2) แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบโต้อัจฉริยะ และ (3) แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อระบบตอบโต้อัจฉริยะ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพ ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนา ดังนี้

1. ศึกษาเทคโนโลยีและรวบรวมข้อมูล โดยทำการสำรวจเครื่องมือ/แพลตฟอร์มที่เหมาะกับ Chatbot เช่น Dialogflow LINE Messaging API) และเก็บข้อมูลท่องเที่ยว FAQ จากการสัมภาษณ์ระยะที่ 1 ในประเด็นศักยภาพ ได้แก่ สถานที่ กิจกรรม ผลิตภัณฑ์ ฯลฯ

2. วิเคราะห์ข้อกำหนดของระบบ (requirement analysis) โดย นิยามวัตถุประสงค์ ฟังก์ชัน และขอบเขตการทำงานของระบบ พร้อมระบุ Interface Specification เช่น รูปแบบการสนทนา เมนูหลัก ลิงก์แผนที่ ฯลฯ

3. ออกแบบระบบและหน้าจอโดยแบ่งสถาปัตยกรรม 3 ส่วนหลัก ได้แก่ LINE OA (UI) Dialogflow Agent (NLP) และ Google Sheets/Database เพื่อเก็บข้อมูล รวมทั้งออกแบบ Flow การสนทนา (intent entity context) และ UI Card/Carousel ให้ใช้งานง่าย

4. พัฒนาต้นแบบ (prototype development) โดยสร้าง Dialogflow Agent และเชื่อมต่อ LINE OA ป้อนชุดข้อความตัวอย่าง (training phrases) และคำตอบ (responses) และเชื่อมฐานข้อมูล Google Sheets เพื่อดึง/อัปเดตข้อมูลท่องเที่ยวแบบเรียลไทม์

5. ทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด (testing & debugging) โดย Unit Test ทุก Intent Fulfillment API แล้ว Integration Test การเชื่อมต่อ LINE–Dialogflow–Database พร้อมแก้ไขจุดผิดพลาดและปรับปรุงความถูกต้องของการจับ intent

6. ประเมินประสิทธิภาพต้นแบบ โดยส่งแบบประเมินให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 คน ตรวจสอบด้าน ความถูกต้องของเนื้อหา ความสมบูรณ์ของฟังก์ชัน และความเป็นมิตรต่อผู้ใช้

7. ปรับปรุงและพัฒนาฉบับสมบูรณ์ โดยปรับแก้ตามข้อเสนอแนะผู้เชี่ยวชาญ เช่น เพิ่มคำถามใหม่ ปรับข้อความตอบกลับ และสร้าง rich menu รวมทั้งเพิ่มมาตรการสำรองข้อมูลและระบบหลังบ้านสำหรับอัปเดตข้อมูลโดยชุมชน

8. ถ่ายทอดและติดตั้งในพื้นที่จริง โดยสร้าง QR Code ให้สแกนใช้งานที่ศูนย์การเรียนรู้และเพจ Facebook ชุมชน และจัดอบรมเจ้าหน้าที่/วิสาหกิจชุมชนในการปรับปรุงข้อมูลผ่าน Google Sheets

9. ติดตาม-ประเมินผลการใช้งานจริง โดยเก็บข้อมูลการใช้งานและความพึงพอใจของผู้ใช้ 36 คน และวิเคราะห์สถิติการเข้าใช้และข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาระบบต่อไป

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บข้อมูลศักยภาพการท่องเที่ยวชีวภาพด้วยแบบสัมภาษณ์เชิงลึก จากผู้นำชุมชน หน่วยงานภาครัฐ วิสาหกิจชุมชน และนักท่องเที่ยว

2. ประเมินประสิทธิภาพระบบตอบโต้อัจฉริยะด้วยแบบประเมินประสิทธิภาพ จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

3. ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อระบบด้วยแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจ จากกลุ่มเป้าหมายที่ใช้งานจริง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์เชิงลึก โดยใช้การถอดบทสัมภาษณ์แบบคำต่อคำ การจำแนกประเภทข้อมูล และการวิเคราะห์คำหลัก เพื่อจัดหมวดหมู่และสร้างข้อสรุปแบบอุปนัย จากนั้นนำเสนอผลในลักษณะการบรรยายเชิงพรรณนา

2. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบตอบโต้อัจฉริยะโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD)

3. วิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การคำนวณค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาศักยภาพด้านพื้นที่ท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่า พื้นที่นี้มีศักยภาพสูงในการเป็นแหล่งท่องเที่ยวชุมชนที่สร้างรายได้และส่งเสริมการอนุรักษ์ โดยมีจุดเด่น ดังนี้ (1) แหล่งท่องเที่ยว พบว่าศูนย์การเรียนรู้พื้นที่ชุ่มน้ำและนกกระเรียนพันธุ์ไทย ซึ่งมีนิทรรศการและทรัพยากร ธรรมชาติที่สวยงาม (2) กิจกรรมมีความหลากหลาย ทั้งกิจกรรมของศูนย์ฯ เช่น ส่องนก กางเต็นท์ ล่องเรือ และกิจกรรมร่วมกับชุมชน(เช่น ฐานเรียนรู้แปรรูปข้าว/ผ้า โฮมสเตย์ เป็นต้น (3) ผลิตภัณฑ์และบริการ มีสินค้าชุมชน ได้แก่ ข้าวสารัช ผลิตภัณฑ์ผ้า และบริการที่พัก/รถนำเที่ยว (4) ความพร้อมพบว่า การเดินทางสะดวก แต่ยังต้องปรับปรุงป้ายบอกทาง (5) การมีส่วนร่วมของชุมชน พบว่าชุมชนให้ความร่วมมือดี แต่ยังขาดการประชาสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับ สถานที่ท่องเที่ยว/การเดินทาง และสิ่งอำนวยความสะดวก/บริการ ก่อนเดินทางมายังพื้นที่นี้

2. ผลการพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียน พันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์และพัฒนาการวิเคราะห์ระบบตอบโต้อัจฉริยะ ได้แก่

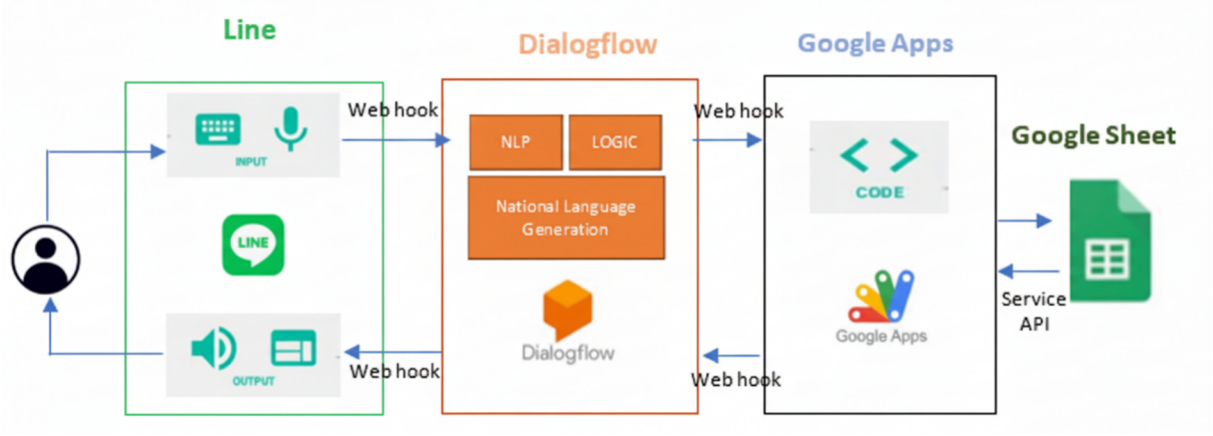
การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ โดยมีขั้นตอนการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ด้วยเมนู การ์ด และริชเมนูผ่านโปรแกรมผู้พัฒนาไลน์ (LINE Developer) ขั้นตอนการนำข้อมูลคำถาม-คำตอบมาเก็บไว้ในฐานข้อมูลคำถาม-คำตอบด้วย Google Sheets ขั้นตอนการกำหนดเส้นทางการโต้ตอบข้อความด้วยโปรแกรม Dialogflow และขั้นตอนการเขียนโปรแกรมหรือสคริปต์เพื่อเป็นสื่อกลางในการติดต่อระหว่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้และฐานข้อมูลคำถาม-คำตอบ สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังภาพ 1

การออกแบบโครงสร้างระบบตอบโต้อัจฉริยะ เป็นโครงสร้างในการพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นการวิเคราะห์กลุ่มคำถามจากการศึกษาศักยภาพของการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำ

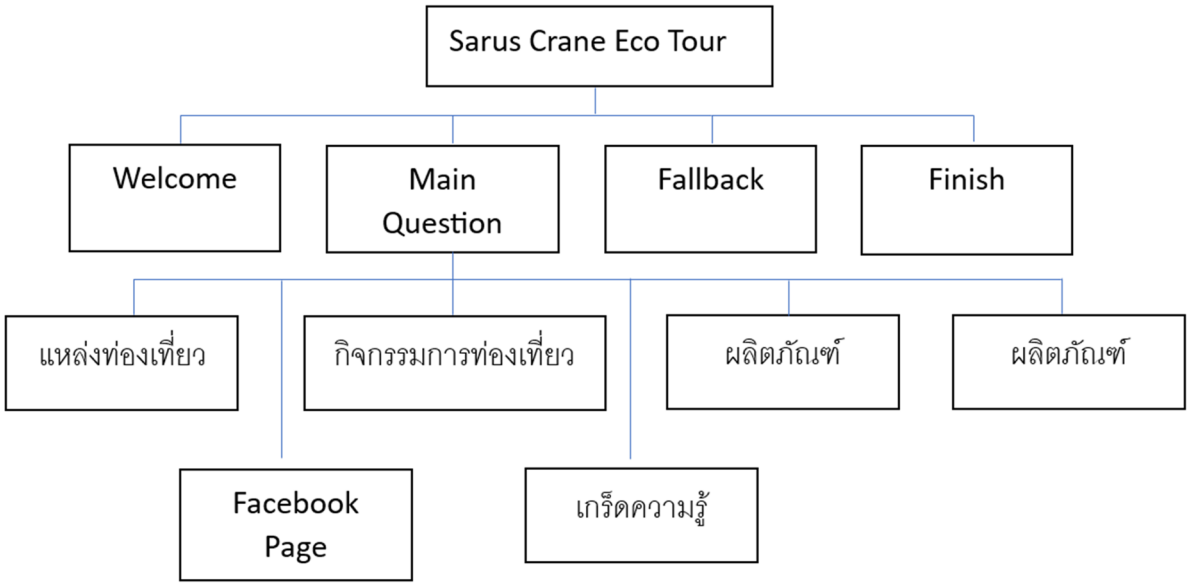
นกกระเรียนพันธุ์ไทย จังหวัดบุรีรัมย์ ในด้านแหล่งท่องเที่ยว กิจกรรม ผลิตภัณฑ์ และการบริการที่พัก ซึ่งสามารถแสดงเมนูในการใช้งานของผู้ใช้ที่สามารถพิมพ์โต้ตอบได้ดังภาพ 2

ส่วนที่ 2 ผลการพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ผลการพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริม การท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ สามารถเพิ่มเข้าเป็นเพื่อนโดยแสดงคิวอาร์โค้ด (QR-Code) ดังภาพ 3

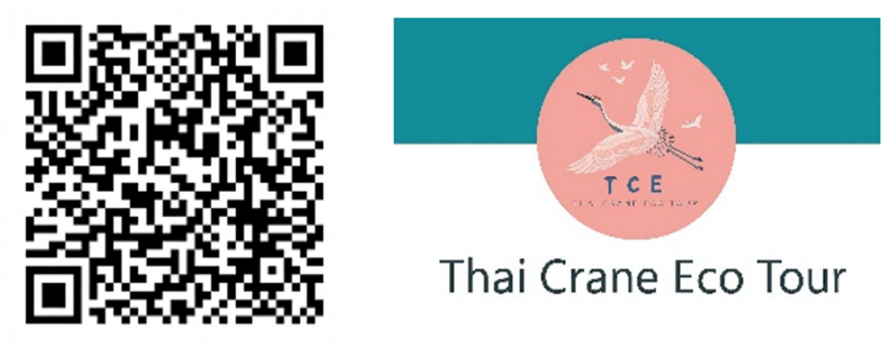
เมื่อเข้าสู่ระบบระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง บุรีรัมย์ แล้วระบบจะแสดงเมนูหลักให้เลือกการทำงานประกอบด้วยแหล่งท่องเที่ยว กิจกรรมการท่องเที่ยว ผลิตภัณฑ์ ที่พัก ความรู้เกี่ยวกับนกกระเรียนพันธุ์ไทย และเมนูย่อยของแหล่งท่องเที่ยว กิจกรรมการท่องเที่ยวดังภาพ 4 และแสดงการถาม-ตอบกิจกรรม ดังภาพ 5



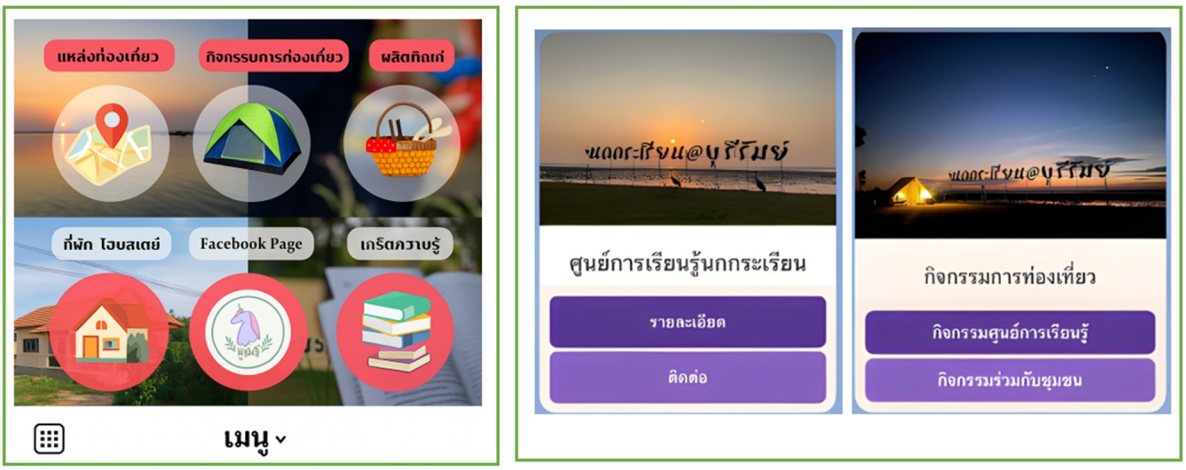
ภาพ 1 แสดงขั้นตอนการพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะ



ภาพ 2 โครงสร้างโดยรวมการสนทนาของระบบ



ภาพ 3 (ก) แสดงคิวอาร์โค้ดเพื่อเข้าระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ (ข) รูปโปรไฟล์ระบบตอบระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์



(ก) (ข)

ภาพ 4 (ก) แสดงเมนูหลัก (ข) แสดงเมนูย่อยของแหล่งท่องเที่ยวและกิจกรรมการท่องเที่ยว



(ก) (ข)

ภาพ 5 (ก) แสดงการถาม-ตอบกิจกรรมการท่องเที่ยวของชุมชนในส่วนปักเย็บรูปนกกระเรียน และ (ข) แสดงการถาม-ตอบการจอง/ยกเลิกกิจกรรมแคมป์ปิ้ง

ส่วนที่ 3 ผลการพัฒนาความสามารถทางปัญญาประดิษฐ์ของระบบตอบโต้อัจฉริยะ

การพัฒนาความสามารถทางปัญญาประดิษฐ์ของระบบตอบโต้อัจฉริยะส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยการพัฒนาในส่วนของโปรแกรม Dialogflow ที่จะทำให้ระบบเก่งมากขึ้นโดยการทำ Training ดังแสดงในภาพ 6

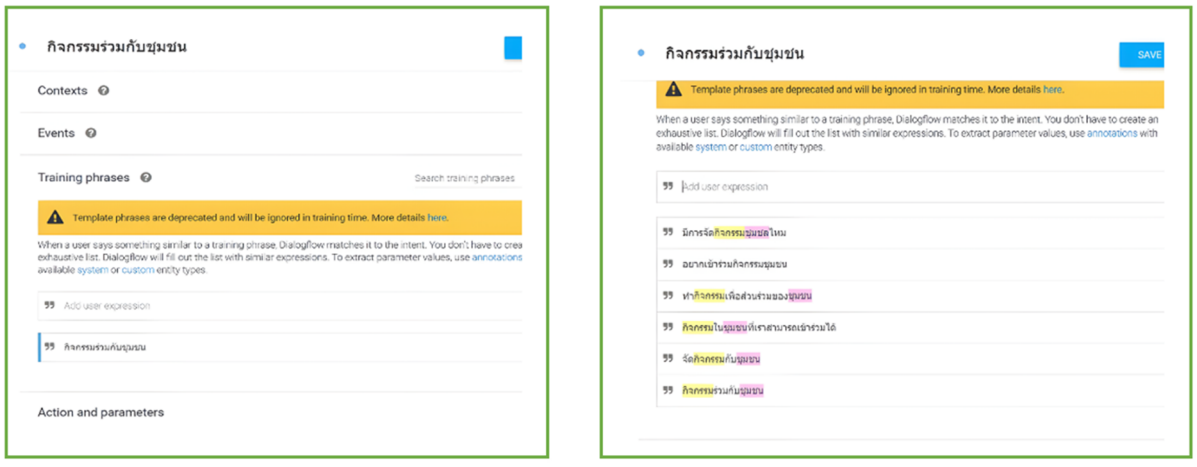
ส่วนที่ 4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบโต้อัจฉริยะส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ การประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบโต้อัจฉริยะส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ผู้วิจัยได้นำระบบที่พัฒนาเสร็จเรียบร้อยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประเมินประสิทธิภาพของระบบดังนี้ (1) ด้านความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูล (2) ด้านความเหมาะสมในการทำงานของระบบ และ (3) ด้านความสะดวกในการใช้งาน จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงผลดังตาราง 1

จากตาราง 1 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อระบบตอบโต้อัจฉริยะส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพโดยรวมในระดับมาก ($\overline{x}$ =4.40 SD=0.51) เมื่อพิจารณาแต่ละด้านพบว่า ด้านความสะดวกในการใช้งาน มีประสิทธิภาพในระดับมาก ($\overline{x}$ =4.45 SD=0.52) รองลงมา คือ ด้านความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูล ($\overline{x}$ =4.40 SD=0.50) และด้านความเหมาะสมในการทำงานของระบบ ($\overline{x}$ =4.35 SD=0.50)

3. ผลการถ่ายทอดระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพให้กับกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

ผู้วิจัยได้ทำการถ่ายทอดระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพให้กับกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยให้กลุ่มเป้าหมายทำการเพิ่มเพื่อนเพื่อใช้งานผ่าน QR Code ที่แสดงไว้ที่ศูนย์การเรียนรู้พื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย และ Facebook ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวายสอ กลุ่มเป้าหมายได้แก่ (1) นักท่องเที่ยว (2) ผู้นำชุมชน/กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวายสอ จำนวน 36 คน ซึ่งผลการถ่ายทอดให้กลุ่มเป้าหมายได้ใช้งาน สามารถแสดงเป็นความพึงพอใจของผู้ใช้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากตาราง 2 พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ =4.48 SD=0.49) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย คือด้านการนำไปใช้งาน ($\overline{x}$ =4.58 SD=0.50) ด้านการออกแบบ ($\overline{x}$ =4.55 SD=0.49) และด้านการประมวลผล ($\overline{x}$ =4.44 SD=0.49)



(ก) (ข)

ภาพ 6 (ก) แสดงคำหรือข้อความที่ระบบรู้จักเริ่มต้นด้วยการสร้าง Training phrases (ข) แสดงคำหรือข้อความที่ระบบรู้จักหลังจากการทำ Training

ตาราง 1

แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตอบโต้อัจฉริยะส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพพื้นที่ชุ่มน้ำ นกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		แปลผล
	$\overline{x}$	SD	
1. ด้านความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูล			
1.1 ระบบให้ผลลัพธ์ถูกต้องและเป็นประโยชน์	4.20	0.45	มาก
1.2 ระบบมีความถูกต้องในการค้นหาข้อมูล	4.60	0.55	มากที่สุด
1.3 ระบบมีความถูกต้องของผลลัพธ์จากการประมวลผล	4.60	0.55	มากที่สุด
1.4 ระบบมีความครอบคลุมทุกด้านที่ต้องการทราบ	4.20	0.45	มาก
รวม	**4.40**	**0.50**	**มาก**
2. ด้านความเหมาะสมในการทำงานของระบบ			
2.1 ระบบมีความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้	4.60	0.55	มากที่สุด
2.2 ระบบมีความเหมาะสมของสีตัวอักษรและรูปภาพ	4.20	0.45	มาก
2.3 ระบบมีความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมาย	4.20	0.45	มาก
2.4 ระบบสามารถโต้ตอบได้อย่างเป็นธรรมชาติในการสนทนา	4.40	0.55	มาก
รวม	**4.35**	**0.50**	**มาก**
3. ด้านความสะดวกในการใช้งาน			
3.1 ระบบมีการตอบสนองต่อคำถามได้อย่างรวดเร็ว	4.60	0.55	มากที่สุด
3.2 ระบบสามารถใช้งานได้ง่าย	4.40	0.55	มาก
3.3 ระบบสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว	4.20	0.45	มาก
3.4 ระบบสามารถโต้ตอบได้อย่างรวดเร็ว	4.60	0.55	มากที่สุด
รวม	**4.45**	**0.52**	**มาก**
โดยรวมทั้งหมด	**4.40**	**0.51**	**มาก**

ตาราง 2

แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่ต่อระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำ นกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		แปลผล
	$\overline{x}$	SD	
1. ด้านการออกแบบ			
1.1 รูปแบบการแสดงผลชัดเจน	4.36	0.49	มาก
1.2 เมนูการใช้งานสะดวก	4.67	0.48	มากที่สุด
1.3 การใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมายได้ดี ตรงตามความต้องการ	4.61	0.49	มากที่สุด
รวม	**4.55**	**0.49**	**มากที่สุด**
2. ด้านการประมวลผล			
2.1 ความถูกต้องและแม่นยำของคำตอบ	4.31	0.47	มาก
2.2 ความสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย	4.42	0.50	มาก
2.3 ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้งาน	4.58	0.50	มากที่สุด
รวม	**4.44**	**0.49**	**มาก**
3. ด้านกระบวนการและขั้นตอนการใช้งาน			
3.1 สามารถใช้งานระบบได้ง่าย	4.47	0.51	มาก
3.2 สามารถโต้ตอบได้อย่างรวดเร็ว	4.33	0.48	มาก
3.3 ความเป็นมิตรของแชทบอทกับผู้ใช้งาน	4.36	0.49	มาก
รวม	**4.39**	**0.49**	**มาก**
4. ด้านการนำไปใช้งาน			
4.1 ท่านมีความยินดีที่จะใช้บริการระบบตอบโต้อัจฉริยะในครั้งต่อไป	4.64	0.49	มากที่สุด
4.2 ท่านจะแนะนำให้นักท่องเที่ยวท่านอื่นใช้ระบบตอบโต้อัจฉริยะ	4.53	0.51	มากที่สุด
รวม	**4.58**	**0.50**	**มากที่สุด**
โดยรวม	**4.48**	**0.49**	**มาก**

การอภิปรายผล

จากการพัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะเพื่อช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพพื้นที่ชุ่มน้ำ นกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์มีประเด็นสำคัญที่อภิปราย ดังนี้

1. ศักยภาพการท่องเที่ยวชีวภาพพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ มีหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีการอาศัยของนกกระเรียนพันธุ์ไทยและสัตว์ป่าอื่น ๆ มีศูนย์การเรียนรู้พื้นที่ชุ่มน้ำและนกกระเรียนพันธุ์ไทยเป็นจุดดึงดูดสำคัญ การมีส่วนร่วมในกิจกรรมชุมชน ที่ช่วยเสริมสร้างประสบการณ์การท่องเที่ยวร่วมกับการอนุรักษ์ ชุมชนมีผลิตภัณฑ์ข้าวสารที่เป็นอัตลักษณ์ของท้องถิ่น จึงแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทยเป็นแหล่งท่องเที่ยวชีวภาพ ที่คนภายนอกสามารถเคลื่อนตัวเข้าหาชุมชนตามพื้นที่ห่างไกลแต่มีเสน่ห์โดดเด่นเฉพาะตัวได้ ดังที่สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์กรมหาชน) ได้ให้คำจำกัด

ความของการท่องเที่ยวชีวภาพไว้ว่า เป็นการท่องเที่ยวแนวใหม่ยุค New Normal ที่นำความสวยงามของธรรมชาติ ความอุดมสมบูรณ์ ความหลากหลายทางชีวภาพ และวิถีท้องถิ่นในชุมชน รวมถึง ภูมิปัญญาท้องถิ่นมาเป็นจุดขาย ทุนธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพมาสร้างคุณค่าและรายได้ให้กับกลุ่มสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นอัตลักษณ์ของท้องถิ่นชุมชนด้วย “การท่องเที่ยวชีวภาพ” หรือ “Bio-Tourism” ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suwanna and Thientitrap (2018) ที่ได้ทำวิจัยเรื่องการอนุรักษ์นกกระเรียนพันธุ์ไทยโดยชุมชน เพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ พื้นที่ชุ่มน้ำ เขตห้ามล่าสัตว์ป่า อ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งพบว่า ประชาชนที่อยู่อาศัยโดยรอบพื้นที่ชุ่มน้ำมีความตระหนักต่อนโยบายและแผนการอนุรักษ์นกกระเรียนพันธุ์ไทย และยังรับรู้ถึงความสำคัญของการอนุรักษ์นกกระเรียนพันธุ์ไทยเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยคาดหวังให้มีการพัฒนาพื้นที่เขตห้ามล่าสัตว์ป่าอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศที่การดำเนินการโดยชุมชน อีกทั้งการอนุรักษ์นกกระเรียนพันธุ์ไทยยังมีผลกระทบเชิงบวกต่อรายได้จากการค้าขายของครัวเรือน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kla-asa and Buachum (2015) ที่ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาแอปพลิเคชันในรูปแบบแชทบอทบริการแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวโดยเชื่อมโยงข้อมูลกับผลิตภัณฑ์ชุมชนจังหวัดชัยนาท ซึ่งงานวิจัยนี้สนับสนุนแนวคิดนี้โดยเน้นการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนาการท่องเที่ยว การมีส่วนร่วมของชุมชนในกิจกรรมท่องเที่ยวและการอนุรักษ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

2. ระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ที่พัฒนาขึ้นมีความสะดวกใช้งานง่าย สามารถตอบสนองต่อคำถามและโต้ตอบได้อย่างรวดเร็ว โต้ตอบได้อย่างเป็นธรรมชาติในการสนทนา รวมทั้งผลลัพธ์ของคำตอบจากการประมวลถูกต้องและเป็นประโยชน์ ทั้งนี้เพราะระบบตอบโต้อัจฉริยะที่พัฒนามีกระบวนการพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) ในการเลียนแบบความเป็นอัจฉริยะของมนุษย์ด้วยพฤติกรรมและภาษา ทำให้สามารถเข้าใจภาษามนุษย์ และตอบสนองต่อคำถามของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามหลักทฤษฎีของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ จึงทำให้ระบบตอบโต้อัจฉริยะสามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maisak and Kaewjinda (2019) ที่ได้ทำวิจัยเรื่อง แอปพลิเคชันแชทบอทเพื่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรและวัฒนธรรม และผลการประเมินเจตคติของผู้ใช้ที่มีต่อระบบ ฯ ในภาพรวมระดับมาก เนื่องจากแอปพลิเคชันที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) สามารถใช้งานได้ง่ายโดยที่ไม่ต้องมีผู้ให้คำแนะนำและระบบสามารถช่วยผู้ใช้ในการแก้ปัญหาการท่องเที่ยวเบื้องต้นได้ สอดคล้องกับ Chan (2021) ที่ได้ทำวิจัยเรื่องระบบแชทบอทอัจฉริยะเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียนกรณีศึกษาคณะวิชาของมหาวิทยาลัยศรีปทุม ซึ่งระบบแชทบอทอัจฉริยะ สามารถแบ่งการทำงานได้ 3 ส่วน คือ (1) ส่วนของการเก็บข้อมูลคำถามและคำตอบ (2) ส่วนการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และ (3) ส่วนของการสอนให้แชทบอทเรียนรู้ด้วยภาษาแอปสคริปต์ (App Script) ภาษาเจสัน (JSON) และภาษาพีเอชพี (PHP)

3. ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจแต่ระบบตอบโต้อัจฉริยะที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทย อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก พึงพอใจกับคำตอบที่ถูกต้องรวดเร็วตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และยินดีที่จะแนะนำผู้อื่นพร้อมทั้งใช้บริการระบบตอบโต้อัจฉริยะในครั้งต่อไป ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบตอบโต้อัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน และความรวดเร็วในการตอบสนอง สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้และการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) ซึ่งอธิบายว่าการยอมรับและการใช้งานเทคโนโลยีใหม่ ๆ ขึ้นอยู่กับการรับรู้ถึงประโยชน์และความง่ายในการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kla-asa and Buachum (2015) ที่เน้นการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการส่งเสริมการท่องเที่ยวและการมีส่วนร่วมของชุมชน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Joobanjong et al. (2024) ที่ทำวิจัยเรื่องการพัฒนา Line Chatbot เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดตาก โดยใช้ผลการสัมภาษณ์จากผู้เชี่ยวชาญมากำหนดฟังก์ชันหลักของ Line Chatbot ผลการประเมินความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาศักยภาพด้านพื้นที่ท่องเที่ยวชีวภาพ (2) พัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวชีวภาพ และ (3) ถ่ายทอดระบบตอบโต้อัจฉริยะให้กับกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

1. ผลการศึกษาศักยภาพ พบว่า พื้นที่ชุ่มน้ำนกกระเรียนพันธุ์ไทยบ้านสวายสอ มีศักยภาพสูงด้านการท่องเที่ยวชีวภาพ ทั้งด้านทรัพยากร ธรรมชาติ กิจกรรมชุมชน และผลิตภัณฑ์ท้องถิ่น ดังนั้นควรดำเนินการสำรวจข้อมูลเชิงลึกเพิ่มเติมเกี่ยวกับทรัพยากรชีวภาพและกิจกรรมท่องเที่ยวที่มีอยู่ในพื้นที่ เพื่อจัดทำฐานข้อมูลดิจิทัลของแหล่งท่องเที่ยวชีวภาพ และนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้วางแผนการพัฒนาและประชาสัมพันธ์เชิงกลยุทธ์ เพื่อให้เกิดการบริหารจัดการการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในระยะยาว

2. ผลการประเมินระบบ พบว่ามีประสิทธิภาพในระดับมากและสามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้อง รวดเร็ว และตอบสนองผู้ใช้ได้อย่างเป็นธรรมชาติ ดังนั้นควรพัฒนาระบบให้สามารถเรียนรู้คำถามที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยเพิ่มข้อมูลฝึกฝน (training data) จากผู้ใช้จริง และขยายระบบให้รองรับหลายภาษา เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการแก่นักท่องเที่ยวต่างชาติ รวมถึงเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบสื่อสังคมออนไลน์ เพื่อเพิ่มการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายในวงกว้าง

3. กลุ่มเป้าหมายมีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก โดยเห็นว่าระบบใช้งานง่ายและมีประโยชน์ต่อการประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวของชุมชน จึงควรจัดอบรมเชิงปฏิบัติการให้แก่ผู้นำชุมชนและกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถดูแลและอัปเดตข้อมูลได้ด้วยตนเอง

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

พัฒนาระบบตอบโต้อัจฉริยะให้สามารถใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง (VR/AR) เพื่อสร้างประสบการณ์การท่องเที่ยวที่สมจริงและน่าสนใจยิ่งขึ้น

References

BEDO. (2021). *BEDO launches bio-tourism, creating value and income for local communities* [In Thai]. Bangkok Business News.

Bilabdulla, K. (2021). *Chatbot application for interrogation tasks: Case study of Betong Police Station Facebook Page* [In Thai] [Master's thesis, Prince of Songkla University]. Prince of Songkla University

Biodiversity-Based Economy Development Office. (2022). *Bio-tourism handbook* [In Thai]. Public Organization.

Chan, P. (2021). *Intelligent chatbot system for academic counseling: A case study of faculties at Sripatum University* [In Thai] [Research report]. Sripatum University.

Chowdhary, G. G. (2020). *Natural language processing: Fundamentals, methods and applications*. Elsevier.

Dech-oom, P., & Rattanasuwongchai, N. (2019). *Biodiversity-based tourism standards handbook* [In Thai]. Kasetsart University.

Expedia Group. (2018). TAT and Expedia Group partner to promote tourism to Thailand's secondary cities [In Thai]. https://www.tatnews.org/2018/09/tourism-authority-of-thailand-and-expedia-group-announce-a-memorandum-of-understanding/

Joobanjong, W., Sanchana, W., Mulom, R., & Suesatsakulchai, A. (2021). Tourism promotion in Tak province using virtual reality technology [In Thai]. *Journal of Information Science and Technology, 11*(1), 56–64. https://doi.org/10.14456/jist.2021.7

Jueng, E., Janruang, J., Phobphimai, S., & T. Siriwattana, S. (2023). The development of digital platform for local tourism support: Case study of Sikhoraphum District Surin Province [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(3), 193–206. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/264551

Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). *Speech and language processing* (3rd ed.). Pearson.

Kla-asa, P., & Buachum, S. (2015). *Tourism patterns from data sharing on social media websites using data mining techniques: A case study of Chai Nat Province* [In Thai] [Research report]. Chandrakasem Rajabhat University.

Maisak, R., & Kaewjinda, J. (2019). *Chatbot application for promoting agro-cultural tourism* [In Thai] [Research report]. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.

Nithiyuwith, T., Treenuntharath, T., & Kumtapol, Y. (2024). The development of semantic virtual reality media for promoting health tourism in Khaokho District, Phetchabun Province [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 18*(1), 90–106. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/262266

Oracle Corporation & Parkers, C. (2016). *Can virtual experiences replace reality?*. Oracle Corporation.

Rohman, M. A., & Subarkah, P. (2024). Design and build chatbot application for tourism object information in Bengkulu City. *TECHNOVATE: Journal of Information Technology and Strategic Innovation Management, 1*(1), 28-34. https://doi.org/10.52432/technovate.1.1.2024.28-34

Rothjanawan, K., Rattanachu, C., & Phetjirachotkul, W. (2024). Tour guide application for tourist via line chatbot - in the case of multicultural tourism, Narathiwat province [In Thai]. *International Journal of Science and Innovative Technology (IJSIT), 7*(1), 35–43. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/IJSIT/article/view/255134/171905

Royal Forest Department. (2022). *Wetland management and conservation handbook* [In Thai]. Ministry of Natural Resources and Environment.

Siharad, D., & Sookprasert, A. (2024). Improving performance of using machine learning techniques and application for perceiving tourists' hotel staying behaviors [In Thai]. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 18*(1), 161–175. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/264174

Suwanna, A., & Thientitrap, P. (2018). Community-based conservation of Eastern Sarus Cranes for wetland ecotourism at Huai Jorakae Mak Reservoir Non-hunting Area, Muang District, Buri Ram Province [In Thai]. *Journal for Community Development and Life Quality, 3*(1), 17–28. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/JCDLQ/article/view/132630

Zoological Park Organization. (2022). *Thai crane conservation and breeding project* [In Thai]. Zoological Park Organization of Thailand.

การศึกษาอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อมจากการเชื่อมแก๊สทังสเตนด้วยอาร์กอนปกคลุมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ต่างกัน

Study of Depth to Width Ratio Weld from Argon Arc Tungsten Gas Welding using Different Activation Fluxes

วรินทร ห้วยเรไร[1]* ชัชวาล ศุภมงคล[1] และโกวิทย์ กัลยาทอง[1]

Varinthorn Huyrari[1]*, Chatchawal Supamongkol[1] and Kowit Kallayathong[1]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[1]Department of Mechanical Engineering Technology,

College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

*Corresponding author: varinthorn.h@cit.kmutnb.ac.th

Received: October 10, 2025

Revised: December 27 2025

Accepted: January 7, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเชื่อมแก๊สทังสเตนด้วยอาร์กอนปกคลุมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ไทเทเนียมเปอร์ออกไซด์ แมงกานีสเปอร์ออกไซด์และสังกะสีออกไซด์ โดยการออกแบบการทดลองใช้ฟลั๊กซ์ทั้งแบบชนิดเดียว สองชนิดและสามชนิดผสมกันด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกันจำนวนทั้งสิ้น 22 รูปแบบการทดลอง นำฟลั๊กซ์กระตุ้นดังกล่าวไปผสมกับอะซิโตนแล้วทาลงบนผิวของชิ้นงาน จากนั้นทำการเชื่อม TIG ด้วยพารามิเตอร์เดียวกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือความลึก ความกว้าง และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของงานเชื่อม ค่าดังกล่าวเหล่านี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับการเชื่อม TIG ที่ไม่ได้ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น จากผลการวิจัยพบว่าการใช้ชนิดของฟลั๊กซ์กระตุ้นและสัดส่วนผสมที่ต่างกันส่งผลต่อค่าความลึก ความกว้าง และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของรอยเชื่อม โดยการใช้แมงกานีสเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 75 เปอร์เซ็นต์และสังกะสีออกไซด์ 25 เปอร์เซ็นต์ ทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะให้อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างที่สูงที่สุดคือ 0.745 ในขณะที่การเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นจะให้ค่าดังกล่าวเพียง 0.495 หากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงมากกว่าถึง 33.5%

คำสำคัญ: การเชื่อมแก๊สทังสเตนด้วยอาร์กอนปกคลุม ฟลั๊กซ์กระตุ้น ไทเทเนียมเปอร์ออกไซด์ แมงกานีสเปอร์ออกไซด์ สังกะสีออกไซด์

Abstract

This study investigated activated tungsten inert gas (A-TIG) welding using three different activating fluxes: titanium peroxide (TiO_2), manganese peroxide (MnO_2), and zinc oxide (ZnO). A total of twenty-two experimental conditions were designed, including single-, binary-, and ternary-flux mixtures with varying proportions. Each flux was mixed with acetone to form a paste and uniformly applied to the surface of the workpiece prior to welding. All welding trials were conducted under identical TIG welding parameters. The weld bead geometry, including penetration depth, bead width, and the depth-to-width (D/W) ratio, was measured and compared with conventional TIG welding performed without activating flux. The results demonstrated that both the type of activating flux and the mixture proportions significantly influenced weld penetration, bead width, and the D/W ratio. The application of a binary mixture consisting of 75% manganese peroxide and 25% zinc oxide produced the highest D/W ratio of 0.745. In contrast, conventional TIG welding without activating flux yielded a D/W ratio of 0.495. This represents an approximately 50.5% increase in the D/W ratio compared with the flux-free condition.

Keywords: gas tungsten arc welding, activated fluxes, titanium peroxide, manganese peroxide, zinc oxide

บทนำ

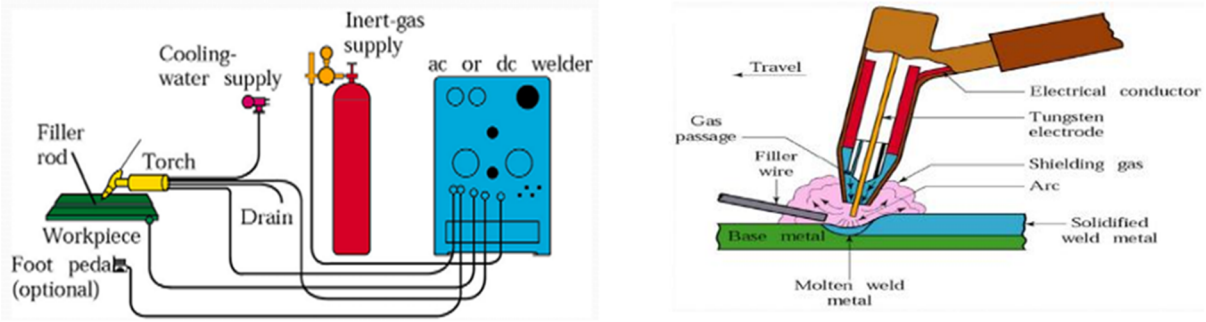
Gas Tungsten arc Welding: GTAW หรือที่รู้จักกันดี คือ Tungsten Inert Gas: TIG มีหลักการเชื่อมโดยการอาร์กระหว่างชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมกับแท่งอิเล็กโทรดทังสเตนภายใต้แก๊สปกคลุม เช่น อาร์กอน ฮีเลี่ยม การเชื่อมด้วยวิธีนี้เหมาะกับวัสดุประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม แมกนีเซียม อะลูมิเนียมและไทเทเนียม เนื่องจากให้คุณภาพของงานเชื่อมสูงแต่มีข้อจำกัดที่เด่นชัด คือ ความลึกของรอยเชื่อมจะต่ำ ต้องการช่างเชื่อมที่มีทักษะสูง ส่งผลให้ได้ผลผลิตจากการเชื่อมต่ำ (Chauhan et al., 2022) หลักการเชื่อม TIG แสดงดังภาพ 1 จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1960 Paton Electric welding institute ได้บุกเบิกวิธีการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น (activate flux) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ละลายในตัวทำละลายเช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน หรือเอทานอล ก่อนทำการเชื่อมจะทาฟลั๊กซ์ดังกล่าวไปตรงบริเวณที่ต้องการเชื่อมด้วยแปรงเป็นชั้นบาง ๆ หน่วยงานของกองทัพเรือสหรัฐได้ใช้เทคนิคดังกล่าวนี้กับการซ่อมแซมเรือและเครื่องบินซึ่งพบว่า ด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถทำให้การซึมลึกของรอยเชื่อมสูงถึง 8-10 มิลลิเมตรด้วยการเชื่อมเพียงครั้งเดียว ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงถึง 300 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบดังเดิมที่ไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น (Lugade & Deshmukh, 2015) ด้วยวิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพงานเชื่อมได้อย่างมากเช่น Tensile Strength Impact Toughness Ductility อันเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวงานเชื่อม วิธีการดังกล่าวนี้รู้กันดีในชื่อ Activated Tungsten Inert Gas: A-TIG (Ahmadi et al., 2013)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับ การใช้ฟลั๊กซ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อม TIG เช่น Choudhary and Duhan (2015) พบว่า การเชื่อม TIG ด้วยการใช้ฟลั๊กซ์ชนิดต่าง ๆ เช่น MnO_2 ZnO $Fe2O_3$ และ $MgCl_2$ จะส่งผลต่อค่าความลึก (D) ความกว้าง (W) และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) ของเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบไม่ทาฟลั๊กซ์ที่มีค่า D เท่ากับ 1.20 มิลลิเมตร ค่า W เท่ากับ 5.20 มิลลิเมตร และอัตราส่วน D/W เท่ากับ 0.23 ฟลั๊กซ์ต่าง ๆ ที่ทาลงบนผิวของชิ้นงานจะทำให้ค่า D W และ D/W มากขึ้น โดยฟลั๊กซ์ MnO_2 จะมีค่า D เท่ากับ 4.20 มิลลิเมตร ค่า W เท่ากับ 2.80

มิลลิเมตร และอัตราส่วน D/W เท่ากับ 1.50 ซึ่งสูงที่สุด ผลจากการใช้ MnO_2 เป็นฟลั๊กซ์กระตุ้นส่งผลทำให้ค่า Tensile Strength เพิ่มสูงถึง 640.32 MPa เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์ซึ่งมีค่าดังกล่าว 605.42 MPa ภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกัน Sridhar et al. (2016) และ Sresracoo and Sriboonchandr (2019) ได้ทำการศึกษาการใช้ฟลั๊กซ์ 5 ประเภท ประกอบด้วย TiO_2 Cr_2O_3 MoO3 V_2O_5 และ Al_2O_3 ทาลงบนผิวของชิ้นงานเหล็กกล้า Incoloy 800H ก่อนทำการเชื่อม TIG ภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกันพบว่า การเชื่อมด้วยการทาฟลั๊กซ์แต่ละชนิดบนผิวของชิ้นงานจะส่งผลต่อความลึกของรอยเชื่อมที่มากขึ้น นั่นคือ TiO_2 จะส่งผลให้ความลึกสูงถึง 4.000 มิลลิเมตร และมีค่า Impact Toughness ถึง 75 J เมื่อเทียบกับการเชื่อมโดยไม่ใช้ฟลั๊กซ์ที่มีความลึกเพียง 2.494 มิลลิเมตร และ Impact Toughness ถึง 60 J Lin and Wu (2012) ได้ทำการศึกษาเรขาคณิตของงานเชื่อมในการเชื่อม TIG วัสดุ Inconel 718 ด้วยฟลั๊กซ์ต่าง ๆ คือ SiO_2 NiO MoO_3 Cr_2O_3 TiO_2 MnO2 ZnO และ MoS_2 พบว่า การใช้ฟลั๊กซ์แต่ละชนิดทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะส่งผลต่อค่าความลึกของงานเชื่อมและอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของงานเชื่อมเมื่อเทียบกับการเชื่อม TIG แบบไม่ทาฟลั๊กซ์ โดย SiO_2 จะให้ค่าดังกล่าวที่สูงที่สุด ขณะที่การใช้ฟลั๊กซ์สองชนิดทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนการเชื่อมก็ส่งผลต่อค่าดังกล่าวที่สูงขึ้น โดยการใช้ฟลั๊กซ์ SiO_2 และ MoO_3 จะให้ค่าความลึกของงานเชื่อมและอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของงานเชื่อมสูงที่สุด ภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกัน Kumar et al. (2021), Kaewsuriwong et al. (2024) และ Kannan et al. (2024) พบว่า ความหนาแน่นของฟลั๊กซ์ที่ทาบนผิวของเหล็กกล้า AH-36 Marine-Grade ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการซึมลึกของรอยเชื่อมที่มากขึ้น การเชื่อม TIG แบบไม่ทาฟลั๊กซ์จะมีค่าความลึกเพียง 2.20 มิลลิเมตร ขณะที่การเชื่อม A-TIG ที่มีการทาฟลั๊กซ์ TiO_2 Fe_2O_3 และ 0.5TiO_2+0.5 Fe_2O_3 จะส่งผลต่อค่าความลึกของรอยเชื่อมเป็น 4.04 7.21 และ 8.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อกระทำภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกัน Sardrouda et al. (2022), Rodjanakid and Yutan (2025) และ Pavan et al (2022) พบว่า เปอร์เซ็นต์ของฟลั๊กซ์ SiO_2 และ TiO_2 ที่ทาลงบนผิวของชิ้นงานอะลูมิเนียม 6061 ที่เพิ่มขึ้น 2.5 7.5 และ 10.0 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการเชื่อม TIG จะส่งผลต่อค่าอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) การเชื่อมที่ไม่มีการทาฟลั๊กซ์ดังกล่าวบนผิวจะมีค่า D/W เพียง 0.25 และค่า Tensile Strength เพียง 80 MPa ขณะที่การทา SiO_2 ปริมาณ 10.0% จะส่งผลต่อค่าดังกล่าวที่เพิ่มขึ้นถึง 0.58 และค่า Tensile Strength 138 MPa เช่นเดียวกับการทา TiO_2 10.0% จะทำให้ค่า W/D สูงถึง 0.92 และค่า Tensile Strength 152 MPa ภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกัน

การใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม TIG จะส่งผลต่อความลึก ความกว้างและสัดส่วนความลึกต่อความกว้างเนื่องจากแรงดึงที่ผิว (surface tension) การเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นความร้อนที่เกิดจากการอาร์คทำให้โลหะเกิดการหลอมละลาย แรงดึงบนผิวตรงบริเวณขอบของรอยเชื่อมจะสูงกว่าตรงกลางของรอยเชื่อมส่งผลให้เกิดแรงดึงจากกึ่งกลางไปหาขอบของงานเชื่อมส่งผลให้ความกว้างของรอยเชื่อมมากขณะที่ความลึกจะต่ำ แต่เมื่อทำการเชื่อมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะส่งผลทำให้แรงดึงตรงบริเวณกึ่งกลางงานเชื่อมสูงกว่าตรงขอบรอยเชื่อมทำให้ได้ความลึกของรอยเชื่อมมากเนื่องมีแรงดึงเข้าสู่กึ่งกลางเป็นผลให้ความกว้างของรอยเชื่อมลดลงทำให้อัตราส่วนของความลึกต่อความกว้างเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า Marangoni convection

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาพบว่า มีการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะส่งผลต่อค่าอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเมื่อเทียบกับการไม่ใช้ฟลั๊กซ์ทาซึ่งงานวิจัยดังกล่าวมีการทดลองใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นเพียงประเภทเดียวหรือสองประเภทที่มีสัดส่วนอย่างละ 50 เปอร์เซ็นต์ และยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น 3 ประเภทผสมกันด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจะทำการทดลองการเชื่อมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น 3 ชนิดคือ TiO_2 MnO_2 และ ZnO โดยการทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมทั้งแบบใช้ฟลั๊กซ์ชนิดเดียว ฟลั๊กซ์สองชนิดผสมกันในสัดส่วนต่าง ๆ และการใช้ฟลั๊กซ์ทั้งสามชนิดกันผสมด้วยสัดส่วนต่าง ๆ ภายใต้สภาวะการเชื่อม TIG แบบเดียวกันเพื่อทำการศึกษาความลึกความกว้างและอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างที่เกิดขึ้น สุดท้ายจะนำผลการทดลองที่ได้จากการเชื่อมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทั้งชนิดและสัดส่วนที่ต่างกันไปเปรียบเทียบการเชื่อมแบบดั้งเดิมที่ไม่มีการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น



ภาพ 1 หลักการเชื่อม TIG

Note. From "*Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) or (TIG) welding*," by Q. H. Malik, 2021 (https://www.researchgate.net/publication/353430058) Copyrigth 2021 by University of Liège

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบความลึก ความกว้าง และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างจากการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นด้วยปริมาณและชนิดที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1.1 วัสดุที่ใช้ คือ เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้เป็นเกรดออสเทนิติก 304 ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเกรดที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายและนิยมกับการเชื่อม TIG เหล็กกล้าดังกล่าวนี้มีส่วนผสมทางเคมีแสดงดังตาราง 1

1.2 ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย คณะผู้วิจัยเลือกใช้ไทเทเนียมเปอร์ออกไซด์ (TiO_2) แมงกานีสเปอร์ออกไซด์ (MnO_2) และสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ดังแสดงในภาพ 2 โดยฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ใช้มีคุณสมบัติแสดงดังตาราง 2 การคำนวณมวลของฟลั๊กซ์ที่ใช้ทาจะคำนวณจากหนาแน่นของฟลั๊กซ์และปริมาตรของฟลั๊กซ์ที่ทาก่อนทำการเชื่อม ปริมาตรจะคำนวณจากพื้นที่ของฟลั๊กซ์ที่ทาคูณกับความหนา สำหรับงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยกำหนดความยาวของบริเวณที่ทาฟลั๊กซ์ 100 มิลลิเมตร ความกว้าง 10 มิลลิเมตร และความหนา 0.15 มิลลิเมตร การชั่งน้ำหนักของฟลั๊กซ์ที่ใช้ในงานวิจัยจะชั่งกับตาชั่งดิจิตอลดังแสดงในภาพ 3

1.3 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในงานวิจัยเป็นรุ่น TIG/MMA-800 มีคุณสมบัติ Current range 20-800 A No-load voltage 65 V Rated power 6.6 kVA Frequency 50 Hz และ Input voltage AC 220 V

1.4 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ คือ เครื่อง CNC Router ขนาดเล็กที่ควบคุมด้วยโปรแกรม Mark III ดังแสดงในภาพ 4 โดยมีการกำหนดพารามิเตอร์ในการเชื่อมแสดงดังตาราง 3

1.5 การออกแบบการทดลอง ในงานวิจัยจะทำการออกแบบการทดลองแบบ Mixture Experiment ด้วยการผสมฟลั๊กซ์กระตุ้นด้วยสัดส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยยึดหลักว่า ผลรวมของปริมาณของปัจจัยจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100 เปอร์เซ็นต์) เสมอ โดยแผนการทดลองการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่สัดส่วนผสมต่าง ๆ แสดงดังตาราง 4

ตาราง 1

ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าที่นำมาใช้ในการวิจัย

C	Si	Mn	Ni	Cr	V	Co	Fe
0.0194	0.3747	0.9893	8.0457	19.2078	0.1289	0.2760	70.9165



TiO_2 MnO_2 ZnO

ภาพ 2 ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย

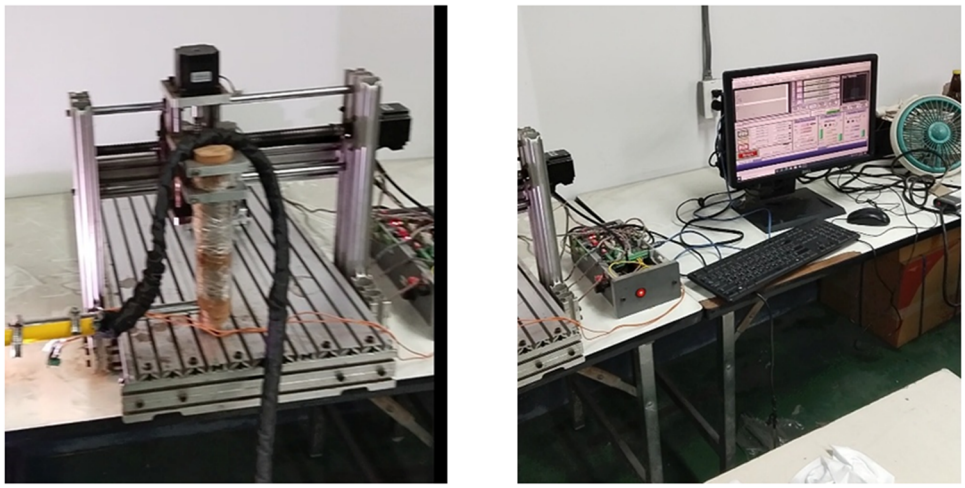
ตาราง 2

คุณสมบัติของฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติ	**ฟลั๊กซ์**		
	TiO_2	MnO_2	ZnO
Molar mass (g/mol)	79.866	86.930	81.406
Density (g/cm3)	4.230	5.026	5.600



ภาพ 3 ตาชั่งดิจิตอลยี่ห้อ OHAUS รุ่น PR432/E



ภาพ 4 การใช้เครื่อง CNC Router ขนาดเล็กที่ควบคุมด้วยโปรแกรม Mark III ในงานวิจัย

ตาราง 3

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อม

พารามิเตอร์	
กระแสเชื่อม	230 A
ความเร็วในการเชื่อม	30 mm/min
อัตราการไหลของแก๊ส	5 L/min
มุมทังสเตน	45°
แก๊สปกคลุมที่ใช้	อาร์กอน
ความโตของแท่งทังสเตน	3.2 mm
ระยะอาร์ก	2 mm
รูปแบบการเชื่อม	DCEN
การเชื่อม	อัตโนมัติ

ตาราง 4

การออกแบบการทดลองที่ใช้ในการวิจัย

การทดลอง	สัดส่วนของฟลั๊กซ์			การทดลอง	สัดส่วนของฟลั๊กซ์		
	TiO_2	MnO_2	ZnO		TiO_2	MnO_2	ZnO
1	0.00	0.00	0.00	13	0.00	0.50	0.50
2	1.00	0.00	0.00	14	0.66	0.33	0.00
3	0.00	1.00	0.00	15	0.66	0.00	0.33
4	0.00	0.00	1.00	16	0.00	0.66	0.33
5	0.75	0.25	0.00	17	0.33	0.66	0.00
6	0.75	0.00	0.25	18	0.33	0.00	0.66
7	0.00	0.75	0.25	19	0.00	0.33	0.66
8	0.25	0.75	0.00	20	0.66	0.17	0.17
9	0.25	0.00	0.75	21	0.17	0.66	0.17
10	0.00	0.25	0.75	22	0.17	0.17	0.66
11	0.50	0.50	0.00	23	0.33	0.33	0.33
12	0.50	0.00	0.50				

2. ขั้นตอนการวิจัย

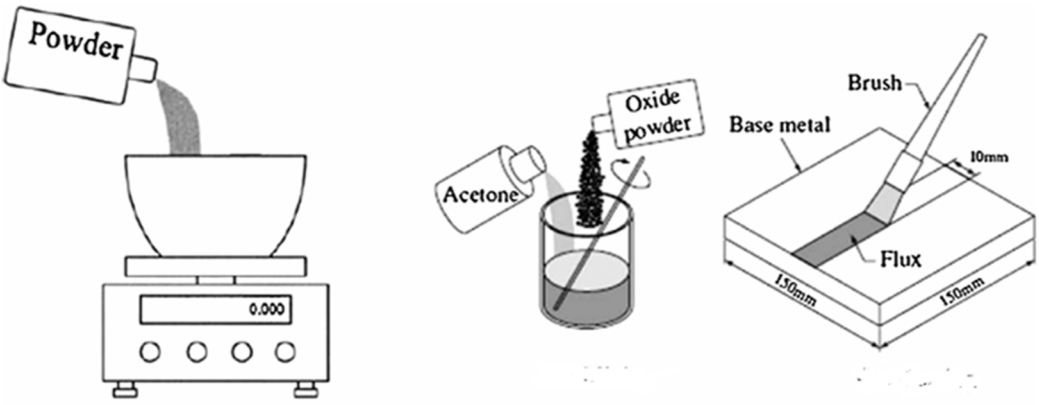
2.1 ในการวิจัยจะทำการศึกษาผลจากการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทั้งแบบชนิดเดียวและผสมกันตามสัดส่วนผสมที่แสดงดังตาราง 4 นำฟลั๊กซ์ที่ได้จากการชั่งน้ำหนักมาทำการผสมกับอะซิโตนแล้วนำไปทาบนผิวของเหล็กกล้าตรงตำแหน่งที่ต้องการเชื่อมดังภาพ 5

2.2 นำชิ้นงานที่ทาฟลั๊กซ์ตามที่ออกแบบการทดลองไว้ไปเชื่อมกับเครื่องเชื่อม TIG ที่หัวเชื่อมประกอบกับแขนของอุปกรณ์ที่ควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ดังภาพ 6 ทำการทดลองตามพารามิเตอร์ที่กำหนดในตาราง 4 จนครบตามที่แผนการทดลองที่ออกแบบไว้

2.3 นำชิ้นงานที่ได้ทำการเชื่อมในขั้นตอนที่ 2.2 ไปตัดตามแนวขวางของรอยเชื่อมยาวประมาณ 10 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดรุ่น SQ-100 แล้วนำไปทำตัวเรือนหุ้มชิ้นงานด้วยเครื่องทำตัวเรือนยี่ห้อ Metkon เพื่อสะดวกต่อการขัดเพื่อตรวจสอบรอยเชื่อม

2.4 ทำการขัดชิ้นงานเพื่อตรวจสอบการซึมลึกของงานเชื่อมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320 400 500 600 800 1000 และ 1200 ตามด้วยการขัดมันจนชิ้นงานเป็นมันวาว การกัดกรดจะใช้กรดไนตริก น้ำกลั่นและเมทิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 30:50:20 ตามลำดับ

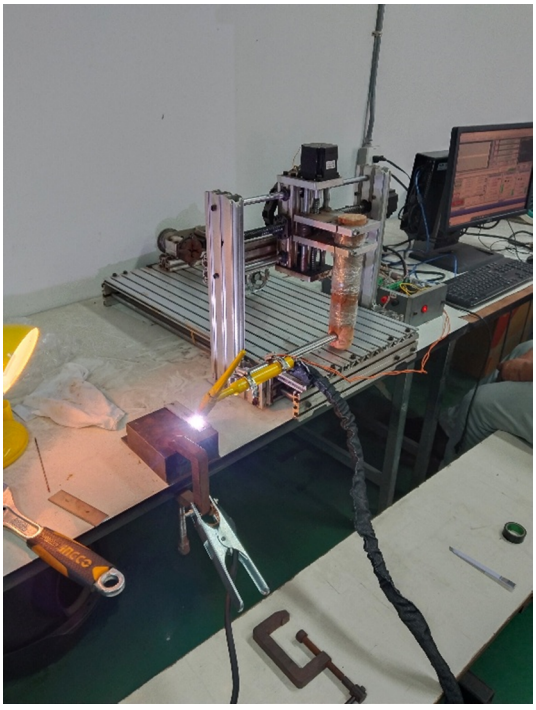
2.5 นำชิ้นงานที่ได้จากการขัดเพื่อตรวจสอบรอยเชื่อมไปทำการวัดความลึกของรอยเชื่อม (D) และความกว้างของรอยเชื่อม (W) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Olympus รุ่น PM-CP-3 ดังภาพ 7 เพื่อคำนวณอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) ของงานเชื่อมที่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน



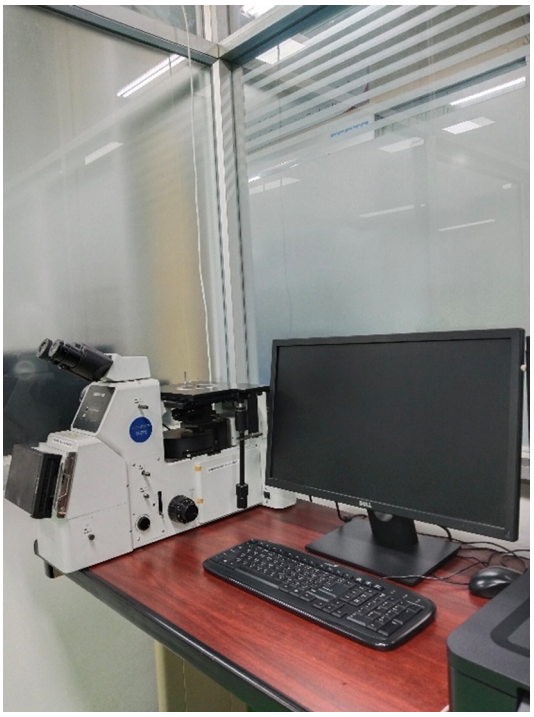
ภาพ 5 การผสมเตรียมฟลั๊กซ์กระตุ้นและการนำไปทาที่ชิ้นงานเชื่อม

Note. From "Development and application of oxide-based flux powder for tungsten inert gas welding of austenitic stainless steels," by K. H. Tseng, 2013, *Powder Technology, 233*(3), 72–79. Copyright 2013 by Elsevier.

Note. From "Evaluation of TIG flux welding on the characteristics of stainless steel," by H. Y. Huang, S. W. Shyu & C. P. Chou, 2005, *Science Technology Welding Join, 10*(5), 566–573. Copyright 2005 by Institute of Materials, Minerals & Mining.



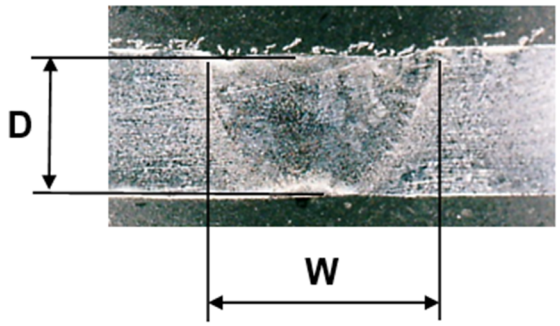
ภาพ 6 การเชื่อม TIG กับชิ้นงานเชื่อมตามที่ออกแบบการทดลองไว้



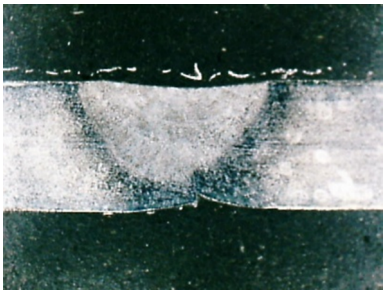
ภาพ 7 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้สำหรับการวัดความลึกและความกว้างของรอยเชื่อม

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

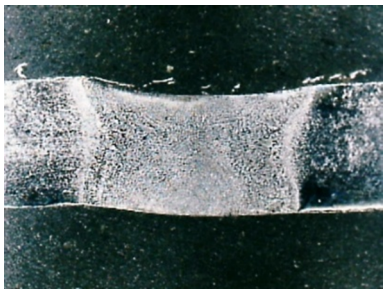
จากผลการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น TiO_2 MnO_2 และ ZnO ด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน ได้ลักษณะของรอยเชื่อมต่าง ๆ แสดงดังภาพ 8 ความลึก (D) ความกว้าง (W) และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) แสดงดังตาราง 5



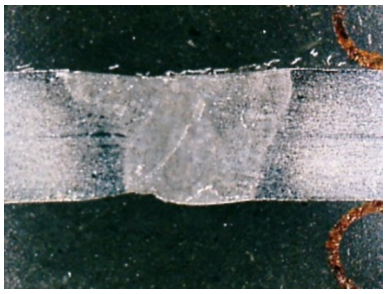
D= ความลึก W=ความกว้าง



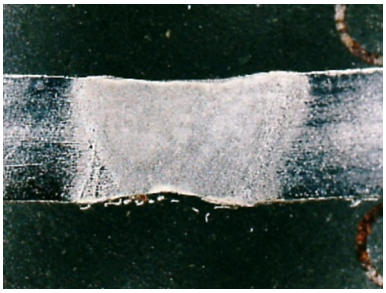
ไม่ทาฟลั๊กซ์กระตุ้น



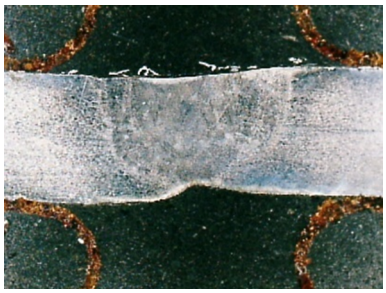
TiO_2



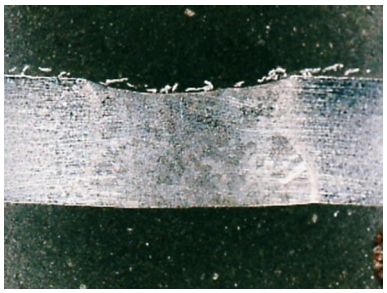
MnO_2



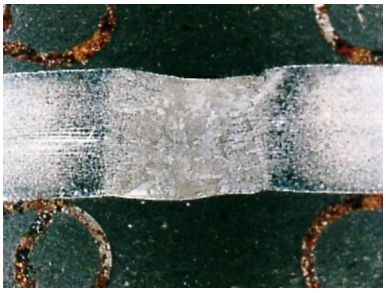
ZnO



$0.75TiO_2+0.25MnO_2$



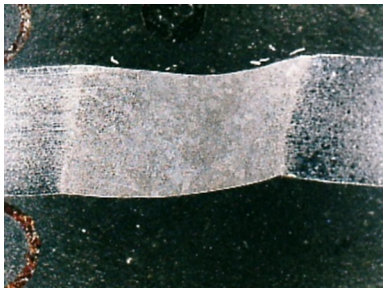
$0.75TiO_2+0.25ZnO$



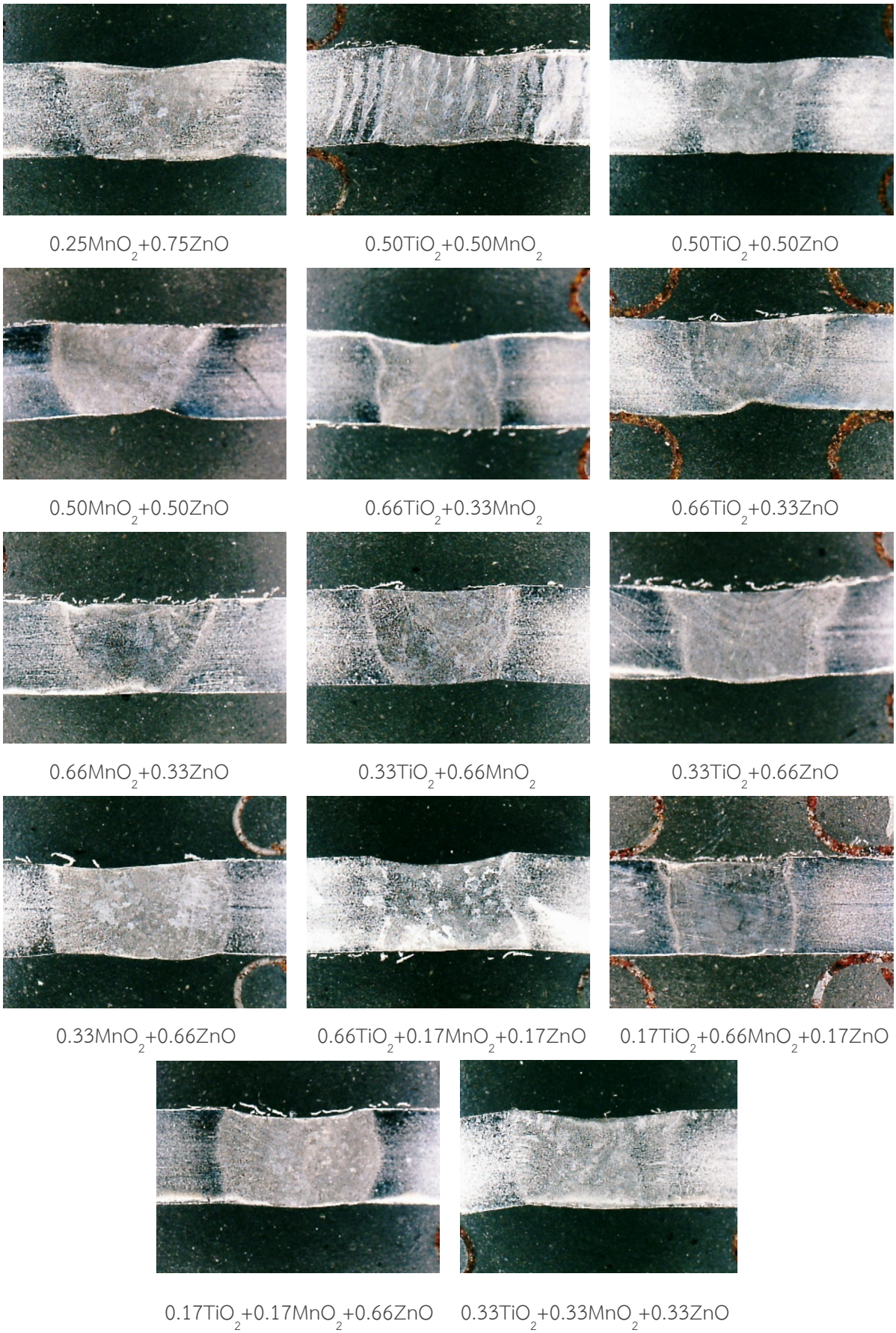
$0.75MnO_2+0.25ZnO$



$0.25TiO_2+0.75MnO_2$



$0.25MnO_2+0.75ZnO$



ภาพ 8 ลักษณะของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่แตกต่างกัน

ตาราง 5

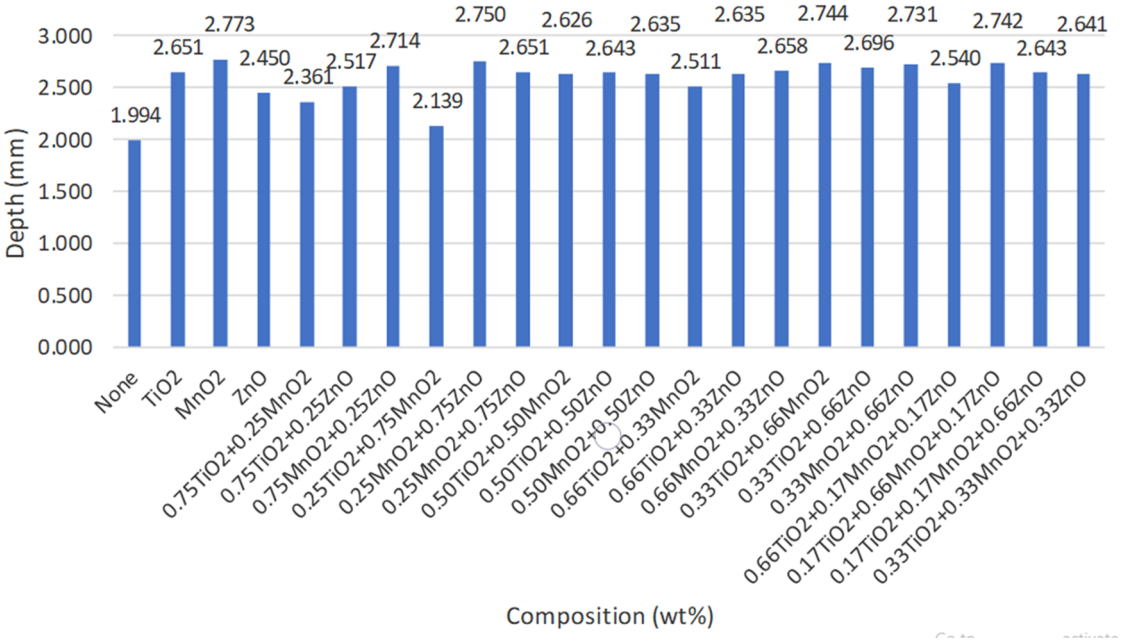
ความลึก (D) ความกว้าง (W) และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W)

การทดลอง	สัดส่วนของฟลั๊กซ์			Depth (mm)	Width (mm)	D/W
	TiO_2	MnO_2	ZnO			
1	0.00	0.00	0.00	1.994	4.030	0.495
2	1.00	0.00	0.00	2.651	5.259	0.504
3	0.00	1.00	0.00	2.773	4.810	0.577
4	0.00	0.00	1.00	2.450	4.997	0.490
5	0.75	0.25	0.00	2.361	4.375	0.540
6	0.75	0.00	0.25	2.517	4.423	0.569
7	0.00	0.75	0.25	2.714	3.643	0.745
8	0.25	0.75	0.00	2.139	4.484	0.477
9	0.25	0.00	0.75	2.750	5.062	0.543
10	0.00	0.25	0.75	2.651	5.188	0.511
11	0.50	0.50	0.00	2.626	3.740	0.702
12	0.50	0.00	0.50	2.643	4.055	0.652
13	0.00	0.50	0.50	2.635	4.746	0.555
14	0.66	0.33	0.00	2.511	3.809	0.659
15	0.66	0.00	0.33	2.635	5.669	0.465
16	0.00	0.66	0.33	2.658	4.520	0.588
17	0.33	0.66	0.00	2.744	4.301	0.638
18	0.33	0.00	0.66	2.696	5.270	0.512
19	0.00	0.33	0.66	2.731	5.107	0.535
20	0.66	0.17	0.17	2.540	4.450	0.571
21	0.17	0.66	0.17	2.742	3.803	0.721
22	0.17	0.17	0.66	2.643	4.269	0.619
23	0.33	0.33	0.33	2.641	4.675	0.565

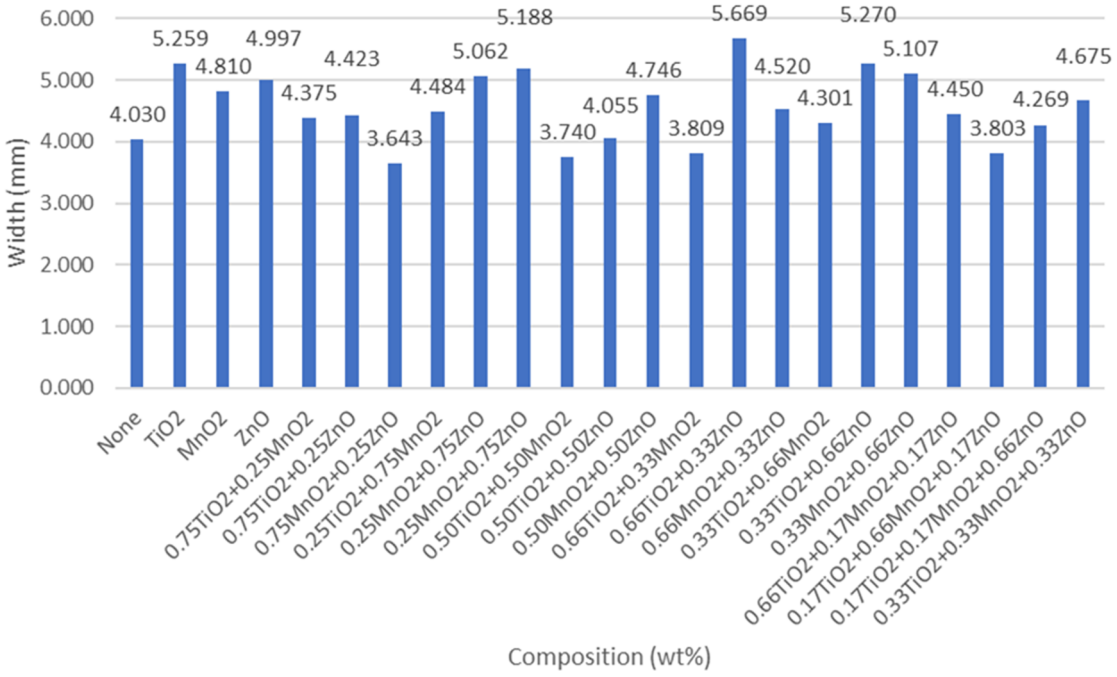
การเปรียบเทียบความลึกของรอยเชื่อมจากการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกันแสดงดังภาพ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ฟลั๊กซ์ทาลงผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะส่งผลต่อความลึกของรอยเชื่อม จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการใช้ฟลั๊กซ์ MnO_2 ทาลงบนผิวของชิ้นงานจะทำให้ค่าความลึกสูงที่สุด 2.773 มิลลิเมตร ขณะที่การเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์จะให้ค่าความลึกเพียง 1.994 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์ความลึกเพิ่มมากขึ้นถึง 28.09 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การใช้ฟลั๊กซ์ผสมด้วยสัดส่วนผสมที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อค่าความลึกที่สูงขึ้น คือ $0.33TiO_2+0.66MnO_2$ $0.17TiO_2+0.66MnO_2+0.17ZnO$ และ $0.75MnO_2+0.25ZnO$ ให้ค่าความลึก 2.744 2.742 และ 2.714 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การเปรียบเทียบความกว้างของรอยเชื่อมจากการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกันแสดงดังภาพ 10 จากกราฟจะเห็นได้ว่าการใช้ฟลั๊กซ์ MnO_2 ในปริมาณ 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ ZnO ในปริมาณ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะส่งผลต่อความกว้างของรอยเชื่อมลดลงเหลือ 3.643 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อม TIG โดยไม่ใช้ฟลั๊กซ์ที่มีความกว้างถึง 4.030 มิลลิเมตร ความกว้างของรอยเชื่อมลดลง 9.60 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ $0.5TiO_2$+$0.5MnO_2$ และ $0.17TiO_2$+$0.66MnO_2$+0.17ZnO ที่ส่งผลต่อความกว้างของรอยเชื่อมลดลงเท่ากับ 3.740 และ 3.803 มิลลิเมตร ตามลำดับ

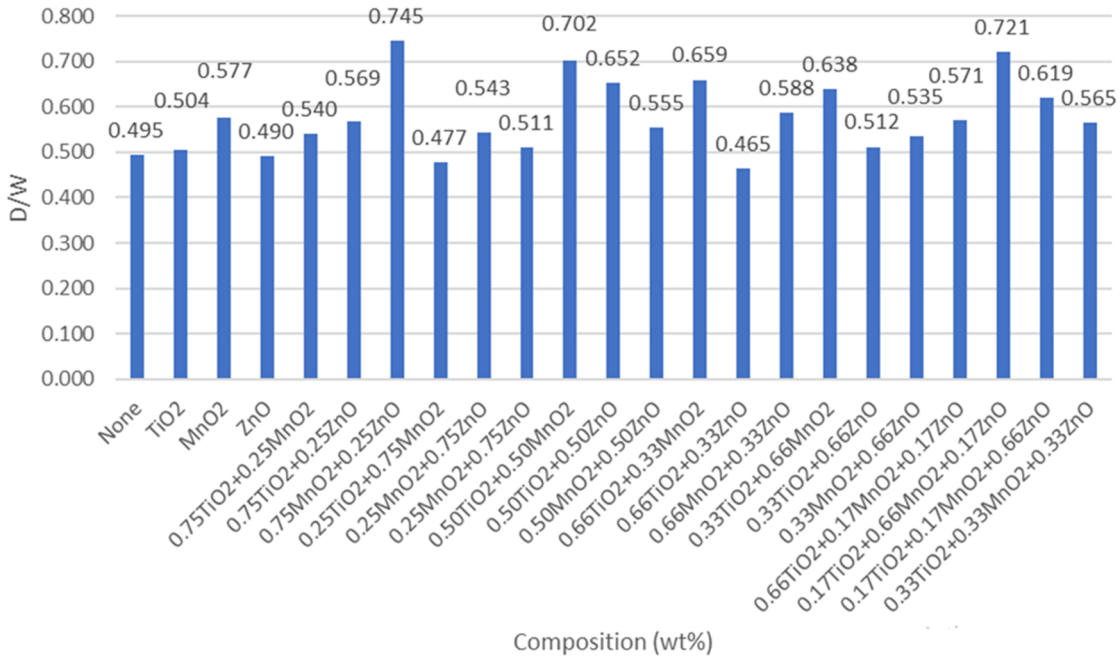
การเปรียบเทียบอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อมจากการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกันแสดงดังภาพ 11 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า การใช้ฟลั๊กซ์และสัดส่วนที่ต่างกันส่งผลต่อค่า D/W โดยการใช้ $0.75MnO_2$+0.25ZnO จะให้อัตราส่วนดังกล่าวที่สูงที่สุด คือ 0.745 เมื่อเปรียบกับการเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์ที่มีอัตราส่วน W/D เท่ากับ 0.495 ขณะที่การใช้ $0.17TiO_2$+$0.66MnO_2$+0.17ZnO และ $0.5TiO_2$+ $0.5MnO_2$ ทาลงบนผิวของงานเชื่อมจะส่งผลต่ออัตราส่วน D/W คือ 0.721 และ 0.702 ตามลำดับ ลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นและรอยเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์ดังภาพ 12



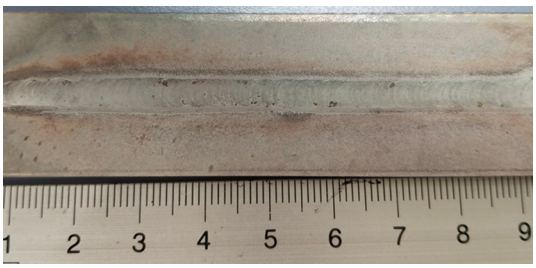
ภาพ 9 ความลึกของการเชื่อม TIG ที่ใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณที่แตกต่างกัน



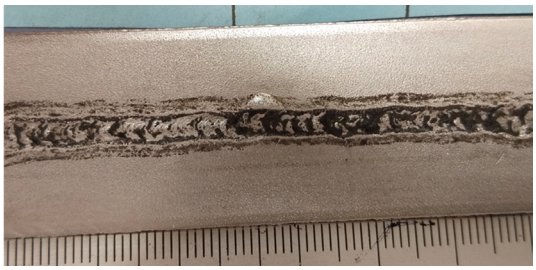
ภาพ 10 ความกว้างของการเชื่อม TIG ที่ใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณที่แตกต่างกัน



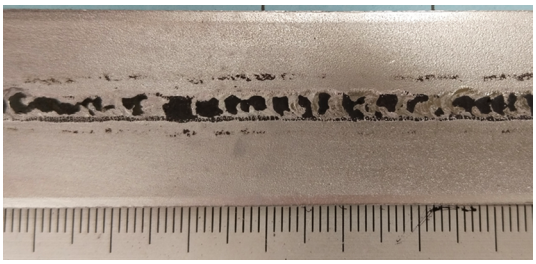
ภาพ 11 อัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) ของการเชื่อม TIG ที่ใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณที่แตกต่างกัน



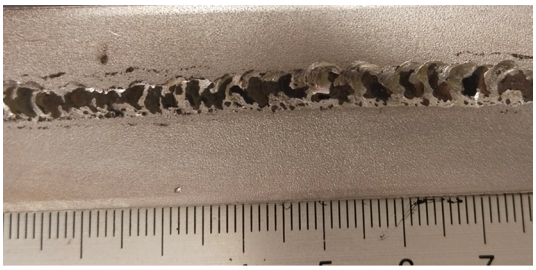
ไม่ทาฟลั๊กซ์กระตุ้น



$0.75MnO_2+0.25ZnO$



$0.17TiO_2+0.66MnO_2+0.17ZnO$



$0.5TiO_2+0.5MnO_2$

ภาพ 12 ลักษณะของรอยเชื่อมที่ไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นและใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น 3 ชนิด คือ TiO_2 MnO_2 และ ZnO ด้วยชนิด ปริมาณและสัดส่วนที่แตกต่างกันทาลงบนผิวของงานเชื่อมก่อนทำการเชื่อม TIG เพื่อศึกษาผลจากการใช้ฟลั๊กซ์ดังกล่าวส่งผลต่อความลึก ความกว้างและอัตราส่วนระหว่างความลึกต่อความกว้างของงานเชื่อม จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นจะช่วยเพิ่มความลึก ความกว้างและอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของการเชื่อม TIG โดยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น $0.75MnO_2$ +0.25ZnO จะให้อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างที่สูงที่สุด คือ 0.745 ในขณะที่การเชื่อม TIG โดยไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นจะให้ค่าดังกล่าวเพียง 0.495 ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นถึง 33.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การใช้ $0.17TiO_2+0.66MnO_2+0.17ZnO$ และ $0.5TiO_2+0.5MnO_2$ ทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมก็เป็นการเพิ่มอัตราส่วนดังกล่าวที่สูงขึ้นถึง 31.3 และ 29.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ผู้ทำการวิจัยอยากให้มีการทดลองใช้ฟลั๊กซ์ดังกล่าวกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดอื่น ๆ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกและเฟอริติว่าฟลั๊กซ์กระตุ้นจะส่งผลอย่างไรกับค่า D/W

References

Ahmadi, E., Ebrahimi, A. R., & Khosroshahi, R. A. (2013). Welding of 304L stainless steel with Activated Tungsten Inert Gas Process (A-TIG). *International Journal of ISSI, 10*(1), 27-33. https://journal.issiran.com/article_6557.html

Chauhan, R., Bhayani, J., & Borad, M. (2022). Effect of various fluxes on different metals and alloys in A-TIG Process: A review. *Journal Kejuruteraan, 34*(4), 543–553. https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-34(4)-02

Choudhary, S., & Duhan, R. (2015). Effect of activated flux on properties of SS 304 using TIG welding. *International Journal of Engineering (IJE), Transactions B: Applications, 28*(2), 290–295. https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2015.28.02b.16

Huang, H.Y., Shyu, S.W., & Chou, C. P. (2005). Evaluation of TIG flux welding on the characteristics of stainless steel. *Science Technology Welding Join, 10*(5), 566–573. https://doi.org/10.1179/174329305X48329

Kaewsuriwong, K., Meesanthia, P., Sornwongkaew, U., Aumpiem, A., Lumpapiwat, S., & Wattanathum, W. (2024). The study of the effect of O_2 contamination on discoloration at root pass welding of titanium grade 2 pipe ASTM B 861 using gas tungsten arc welding [In Thai]. *The Journal of Industrial Technology, 20*(2), 152–164. https//doi.org/10.14416/j.ind.tech.2024.08.011

Kannan, P. R., Madesh, S., Ganesan, A. T., & Prasannakumari, R. S. (2024). Study on effect of nickel molybdenum coated filler in gas tungsten arc welding [In Thai]. *Chiang Mai Journal of Science, 51*(2), e2024024. https://doi.org/10.12982/CMJS.2024.024

Kumar, K. V., Ramanaiah, N., & Rao, N. M. (2021). Effect of TiO_2, Fe_2O_3, and duplex of TiO_2 and Fe_2O_3 fluxes on microstructural, mechanical properties and weld morphology of A-TIG AH 36 marine-grade steel weldments. *International Journal of Engineering Trends and Technology, 69*(12), 218–228. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I12P226

Lin, H. L., & Wu, T. M. (2012). Effects of activating flux on weld bead geometry of inconel 718 alloy TIG welds. *Materials and Manufacturing Processes, 27*(2), 1457–1461. https://doi.org/10.1080/10426914.2012.677914

Lugade, P. S., & Deshmukh, M. J. (2015). Optimization of process parameters of activated tungsten inert gas (A-TIG) welding for stainless steel 304L using taguchi method. *International Journal of Engineering Research and General Science, 3*(3), 854-860. https://doi.org/10.1088/2631-8695/acb526

Malik, Q. H. (2021). Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) or (TIG) welding [Research report]. https://www.researchgate.net/publication/353430058

Pavan, A. R., Chandrasekar, N., Arivazhagan, B., Kumar, S., & Vasudevan, M. (2022). Study of arc characteristics using varying shielding gas and optimization of activated-tig welding technique for thick AISI 316L(N) plates. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 35*, 675-690. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.08.013

Rodjanakid, K., & Yutan, M. (2025). The study of mechanical characteristics and metallurgical of metal welding dissimilar between A335 P11 and A312 TP304 stainless steels by using GTAW [In Thai]. *Journal of Engineering and Innovation, 18*(1), 50-62. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eng_ubu/article/view/253455/171937

Sardrouda, R. A., Mostafapoura, A., & Mohtadi-Bonabb, M. A. (2022). Effect of active flux on aluminum 6061 and its mechanical properties by gas tungsten arc welding process. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications, 35*(8), 1501-1508. https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.08b.06

Sresracoo, P., & Sriboonchandr, P. (2019). Guidelines for solving defects in welding work [In Thai]. *Journal of Thonburi University (Science and Technology), 3*(2), 11-18. https://www.thonburi-u.ac.th/Journal_SIT/Vol3_No2_2.pdf

Sridhar, S.P., Kumar, S.A., & Sathiya, P. (2016). A study on the effect of different activating flux on A-TIG welding process of incoloy 800H. *Advances in Materials Science, 16*(3), 26-37. https://doi.org/10.1515/adms-2016-0014

Tseng, K.H. (2013). Development and application of oxide-based flux powder for tungsten inert gas welding of austenitic stainless steels. *Powder Technology, 233*(3), 72–79. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.08.038

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

เลขที่ 200 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ : 0-2577-1028 ต่อ 377, 378 โทรสาร : 0-2577-1053

www.eau.ac.th E-mail: eau_heritage@eau.ac.th

http://eauheritage.eau.ac.th/

