วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
EAU Heritage Journal
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology

ปีที่ 19 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน-ธันวาคม 2568 Vol. 19 No. 3 September-December 2025 ISSN 3027-7221 (Online)



นโยบายการจัดพิมพ์

วารสาร EAU Heritage เป็นวารสารราย 4 เดือน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียจัดพิมพ์ขึ้นเพื่อเผยแพร่ความรู้ในสาขาวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าและเปิดโอกาสให้นักศึกษา นักวิจัย คณาจารย์ ตลอดจนนักวิชาการทั่วไปทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานให้เป็นที่รู้จักต่อสาธารณชน และได้แลกเปลี่ยนความรู้ในวิทยาการด้านต่าง ๆ

บทความที่เสนอเพื่อตีพิมพ์

บทความที่เสนอเพื่อพิจารณาต้องเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัยทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ เรื่องที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ ผ่านกระบวนการพิจารณากลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาของบทความ เป็นการประเมิน Double Blind Review ที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อและสังกัดของกันและกัน และต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาในวารสารอื่น ๆ (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง) บทความที่ได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิและทำการปรับแก้เรียบร้อยแล้ว จึงจะได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ลงในวารสารฯ

การเตรียมต้นฉบับ

ต้นฉบับที่เสนอเพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ ต้องมีรูปแบบดังต่อไปนี้

1. พิมพ์ด้วยกระดาษ A4 ความยาวไม่เกิน 15 หน้า
2. รูปแบบตัวอักษรให้ใช้ TH SarabunPSK ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และขนาดของตัวอักษร หากเป็นชื่อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 20 หัวข้อต่าง ๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 และส่วนเนื้อหาทั่วไปใช้ตัวอักษรขนาด 15
3. รูปแบบการจัดหน้าและจัดแนวข้อความชิดซ้าย (ไม่ต้องปรับขวา)
4. เขียนชื่อ ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน และที่อยู่ของผู้เขียนอย่างชัดเจน โดยแยกออกจากส่วนต้นฉบับและบทคัดย่อ
5. แนบบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษมาพร้อมกับบทความ โดยกำหนดความยาวของบทคัดย่อไม่เกิน 15 บรรทัด พร้อมทั้งกำหนดคำสำคัญ (key words) ไม่เกิน 6 คำ
6. แยกไฟล์ตาราง รูปภาพ ที่ประกอบในเนื้อหาบทความ และส่งมาพร้อมกับไฟล์บทความ

การอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

ในกรณีที่ผู้เขียนต้องการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลในเนื้อเรื่องให้ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนามปี (APA) โดยระบุชื่อผู้แต่ง ปีพิมพ์ และเลขหน้าที่ข้อมูลปรากฏอยู่ (ชื่อ นามสกุล, ปีพิมพ์, เลขหน้า) ตัวอย่างเช่น

(ธวัชชัย สันติวงษ์, 2540, น. 142)

(Fuchs, 2004, p. 21)

ส่วนการเขียนรายการอ้างอิงท้ายเล่ม ให้ใช้ระบบการอ้างอิงแบบ APA Style (6th edition) ตัวอย่างการเขียนรายการอ้างอิง มีดังนี้

1. หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). *ชื่อหนังสือ* (ครั้งที่พิมพ์). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือหน่วยงานที่พิมพ์.

ประคอง กรรณสูต. (2541). *สถิติเพื่อการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์* กรุงเทพฯ: บรรณกิจ.

Sharp, W. F. (1985). *Investment* (3rd ed.). New Jersey: Prentice-Hall.

2. ชื่อบทในหนังสือรายงานการประชุม

Hay, S. P. (1975). Political parties and the community-society continuum. In W. N. Chambers & W. D. Burnham (Eds.)., *The American party systems Stage of political development* (2nd ed.). New York: Oxford university press.

สุไร พงษ์ทองเจริญ. (2539). สาระสำคัญเกี่ยวกับการเรียนการสอนภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษา. *ในเอกสารการสอนชุดวิชาการสอนภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 2, หน่วยที่ 9). นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

3. วารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. *ชื่อวารสาร, ปีที่*(ฉบับที่), เลขหน้า.

สุจินต์ สิมารักษ์. (2550). หลากหลายปัญหาการเลี้ยงโคนมในประเทศไทย. *วารสารเศรษฐกิจการเกษตร, 27*(2), 53-57.

4. หนังสือพิมพ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปี, เดือน วันที่). ชื่อบทความ. *ชื่อหนังสือพิมพ์*, หน้า.

ศรีสกุล ลีวาพีระพันธ์. (2545, กรกฎาคม 11). จับทีวีใส่กระเป๋าเขาทำกันอย่างไร?. *มติชน*, น. 19.

5. วิทยานิพนธ์

กอบกุล สรรพกิจจำนง. (2541). *การวิจัยเชิงนโยบายเพื่อการพัฒนานโยบายการใช้อินเทอร์เน็ตสำหรับสถาบันอุดมศึกษาไทย.* ดุษฎีนิพนธ์ครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

6. สารสนเทศจากอินเทอร์เน็ต

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่เผยแพร่เอกสาร). *ชื่อเรื่อง*. ค้นจาก (ระบุ URL ที่สืบค้นบนอินเทอร์เน็ต).

มานพ แก้วผกา. (2549). *เศรษฐกิจพอเพียงกับการค้าเสรีไปด้วยกันได้จริงหรือ*. ค้นจาก http://www.ftawatch.org

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่เผยแพร่เอกสาร). *ชื่อเรื่อง*. ค้นเมื่อ (ระบุวัน เดือน ปี), จาก (ระบุ URL ที่สืบค้นบนอินเทอร์เน็ต).

Prizker, T. J. (1989). *An early fragment from central Nepal*. Retrieved from http://www.ingress.com/-astranart/pritzker.html

สถานที่ติดต่อ

กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาคาร ชวน ชวนิชย์ ชั้น 4 ห้อง C423

200 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.รังสิต

อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: 0-2577-1028 ต่อ 378

e-mail address: eauheritage_sci@eau.ac.th, eau_heritage@eau.ac.th

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
EAU Heritage Journal
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology

ปีที่ 19 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน-ธันวาคม 2568 Vol. 19 No. 3 September-December 2025 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	อธิการบดี มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
บรรณาธิการ	ดร.กัญจน์ณิชา โภคอุดม	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
	ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
	ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
	ศาสตราจารย์ พันเอกหญิง ดร.สุวิมล เสนีย์วงศ์ ณ อยุธยา	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
	รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ แก้วปาน	มหาวิทยาลัยมหิดล
	รองศาสตราจารย์ ดร.นุจรี ไชยมงคล	มหาวิทยาลัยบูรพา
	รองศาสตราจารย์ ดร.บุญใจ ศรีสถิตนรากูร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
	รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชุติมาสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
	รองศาสตราจารย์ ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิสา ชายเกลี้ยง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	รองศาสตราจารย์ ดร.เพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
	รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	รองศาสตราจารย์ ดร.วีรชาติ ตั้งจิรภัทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
	รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ้งตะวัน สุภาพผล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร เดชะศิลารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภฉัตร ธารีลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาดา สุขศิลา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภา โซ๊ะสลาม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	อาจารย์อุบลรัตน์ 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

ในโอกาสที่วารสารฉบับนี้จัดพิมพ์ขึ้นในห้วงเวลาแห่งความอาลัยยิ่งต่อการเสด็จสวรรคตของ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง ผู้ทรงเป็นมารดาของแผ่นดินและเป็นที่รักยิ่งของปวงชนชาวไทย กองบรรณาธิการขอร่วมถวายความอาลัยและน้อมรำลึกในพระมหากรุณาธิคุณอันหาที่สุดมิได้

พระองค์ทรงเป็นแบบอย่างแห่งพระปรีชาสามารถ ทรงริเริ่มและทรงอุปถัมภ์โครงการต่าง ๆ ที่ผสานความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับภูมิปัญญาท้องถิ่นอย่างงดงาม ทรงให้ความสำคัญยิ่งต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ โดยทรงสนับสนุนงานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม การปลูกป่า การอนุรักษ์แหล่งน้ำ และการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อสร้างสมดุลระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติ พระราชกรณียกิจหลายด้านของพระองค์สะท้อนให้เห็นถึงการนำหลักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มาประยุกต์ใช้เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนอย่างลึกซึ้งและยั่งยืน

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับนี้ ได้รวบรวมบทความวิชาการและบทความวิจัยคุณภาพที่สะท้อนถึงความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคปัจจุบัน จำนวนทั้งสิ้น 17 บทความ ท่านผู้อ่านจะได้พบกับบทความที่ครอบคลุมทุกสาขาตามวัตถุประสงค์การเผยแพร่ของวารวาร อันได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน และสิ่งแวดล้อม

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการกลั่นกรอง ตรวจสอบ และให้ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการเพื่อยกระดับคุณภาพของบทความให้ได้มาตรฐานทางวิชาการ ตลอดจนขอขอบคุณผู้เขียนบทความทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจในการเผยแพร่ผลงานในวารสารฉบับนี้ เราหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงที่มีคุณค่าสำหรับนักวิจัย อาจารย์ นักศึกษา และผู้สนใจในแวดวงวิชาการ และจะมีส่วนช่วยส่งเสริมการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทยให้ก้าวหน้าอย่างมั่นคงและยั่งยืน

ดร.กัญจน์ณิชา โภคอุดม

บรรณาธิการวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สารบัญ

Academic Articles

1 ■ คุณภาพการนอนหลับในวัยผู้ใหญ่: เรื่องพื้นฐานที่สำคัญต่อสุขภาพ
Sleep Quality in Adults: An Essential Foundation for Health
ยุพาพร หงษ์ชูเวช

16 ■ การเพิ่มประสิทธิภาพด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
Enhancing Aerodynamic Efficiency to Reduce Environmental Impact
สุฐิต ห่วงสุวรรณ เขมณัฏฐ์ อำนวยวรชัย สุกัญญา สมมณีดวง สุธาสินี รูปแก้ว กมล น้อยทองเล็ก และอนิรุทธิ์ ต่ายขาว

Research Articles

31 ■ การพัฒนาและทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เซรั่มจากสารสกัดใบไมยราบในอาสาสมัครปกติ
Development and Safety Testing of Serum Products from Mimosa Left Extract in Normal Volunteers
แสงสิทธิ์ กฤษฎี นงนุช บุญแจ้ง สิริภารัศมิ์ อัศวปัญญาพร และสลิลทิพย์ กุลศิลารักษ์

42 ■ การพัฒนาแผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย
Development of Acne Patches from *Molineria Latifolia* Herb. ex Kurz Root Extract Containing Antioxidant and Antibacterial Effects
ไซหนับ กะกา นิศรีณ เจ๊ะน๊ะ อารมาวาตี สาแล๊ะ สุพัตรา พรหมอินทร์ ปิยะนุช สุวรรณรัตน์ และธีระพงษ์ นิลละออ

58 ■ การพัฒนายาอมเยลลี่ตรีผลาโดยใช้ความหวานจากน้ำสกัดชะเอมเทศ
The Development of Triphala Gummy Lozenges using Sweetness from Licorice Extract
จารุวรรณ เพ็ชรสังข์ ทักชิตา อนุกูลสวัสดิ์ ปิยะนุช สุวรรณรัตน์ สุพัตรา พรหมอินทร์ และธีระพงษ์ นิลละออ

สารบัญ

76 ■ การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการสินค้าคงคลังด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง
Development of an Inventory Management System on a Mobile Application using Machine Learning Technology
ศุภดา สุทธา ธัญญารัตน์ จิ๋วน๊อต และทศพล เศรษฐวัชราวนิช

91 ■ การพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมต้นทุนต่ำโดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN กรณีศึกษาหมู่บ้านธารปราสาท
Development of a Low-Cost Flood Warning System using IoT Technology and LoRaWAN Network: A Case Study of Ban Tharn Prasat Village
ณัฐวัฒน์ พิณรัตน์ กรวุฒิ โชติพนัส ศุภศักดิ์ เอี่ยมสะอาด ธนศักดิ์ พิทยากร และพรศิริ จงกล

106 ■ Comparison of Monthly Rainfall Forecasting Methods in Narathiwat Province
การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนราธิวาส
Tanaphon Jiwmaidang Pornthip Wimonsong Thana Charuphanthuse Kantida Boonma and Bussayamas Hemmanee

124 ■ การพัฒนาตำรับยาธาตุอบเชยในรูปแบบผงฟองฟู่ และการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของตำรับยาธาตุอบเชยด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง
Development of Effervescent Powder Containing Ya Thatu Obchey Remedy and Quality Control by High Performance Liquid Chromatography
เกศชฎา โชติพูล และอรุณรัตน์ แซ่อู้

136 ■ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและยับยั้งไทโรซิเนสของน้ำหมักใบมะรุมโดยเชื้อแอสเปอร์จิลลัส ไนเจอร์ TISTR 3240 สำหรับพัฒนาอิมัลเจลบำรุงผิว
Antioxidant and Antityrosinase Activities of a Fermented Solution from *Moringa oleifera* Leaves by *Aspergillus niger* TISTR 3240 for Skin Care Emulgel Development
ณหทัย เวียงยา ทานตะวัน จันทะพิมพ์ พัฒนา ศรีพลากิจ และอรสร สารพันโชติวิทยา

153 ■ การออกแบบเชิงหลักการอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม
Conceptual Design of High Altitude Pseudo-Satellite
ธนพงศ์ อุ้มปรีชา วันชัย เจียจันทร์ และปริพนธ์ สุขพิมาย

173 ■ การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอัตโนมัติ
Enhancing the Efficiency of Solar Cells by Automatic Water Cooling
ทรงพล วิจารณ์จักร และกานต์ กอมณี

183 ■ ชุดอุปกรณ์กำหนดความถี่ก้าวและระยะก้าว สำหรับการวิ่งโดยใช้แสงไฟและเสียง ในการนำวิ่งที่ความถี่ การก้าวและระยะก้าว
Pace and Stride Frequency Kit for Running, Utilizing Auditory and Visual Cues to Direct the Run at the Specified Frequency, Pace and Stride Length.
ธีรศักดิ์ บุญวัง และพิชชาภา คนธสิงห์

195 ■ การพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอัจฉริยะผ่านแชทบอท กรณีศึกษาองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เทศบาลตำบลหวายเหนียว
Development of Smart Repair Request System via Chatbot A Case Study of Local Government Organization at Huai Niao Subdistrict Municipality
พิชยา สุขปลั่ง ประกฤต จันทร์ขำ วรัญญู คุณพินิจ ศุภกฤษ นาคป้อมฉิน และสุพิชฌาย์ จันทร์เรือง

212 ■ ระบบวิเคราะห์ค่าเวลาการทำงานจากวิดีโอในสายการผลิตอุตสาหกรรม
Design and Development of a Video-Based Work Time Analysis System for Industrial Production Lines
รณกฤต ทิมสันเทียะ และชัยยงค์ เสริมผล

227 ■ ประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีต่อความร่วมมือในการใช้ยา: การศึกษาเชิงคุณภาพ
Experiences of Patients with Major Depressive Disorder Regarding Medication Adherence: A Qualitative Study
วันเพ็ญ แสงสงวน และณภาภัช ใบตระกูล

244 ■ รูปแบบสมรรถนะและบทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
Competency and Role Model of Village Public Health Volunteers (VHV) Prototype Khlong luang District, Pathum Thani Province
ศศิกาญจน์ สกุลปัญญวัฒน์ อุทัยวรรณ พงษ์บริบูรณ์ และกะรัตเพชร ทองเกตุ

คุณภาพการนอนหลับในวัยผู้ใหญ่: เรื่องพื้นฐานที่สำคัญต่อสุขภาพ
Sleep Quality in Adults: An Essential Foundation for Health

ยุพาพร หงษ์ชูเวช[1]
Yuphaporn Hongchuvech[1]
[1]คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Public Health, Eastern Asia University
Received: August 15, 2025
Revised: October 2, 2025
Accepted: October 9, 2025

บทคัดย่อ

การนอนหลับเป็นความต้องการขั้นพื้นฐานและกระบวนการทางธรรมชาติของมนุษย์ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต ทุกเพศทุกวัยต้องการการนอน แต่ระยะเวลาการนอนหลับมีความต่างกันในแต่ละช่วงอายุ ในปัจจุบันวัยผู้ใหญ่ ซึ่งเป็นวัยทำงาน ต้องเผชิญกับความเครียดจากหลายด้าน โดยเฉพาะผู้ที่ต้องทำงานเป็นกะ ทำให้นอนไม่หลับหรือนอนไม่เพียงพอ ซึ่งคุณภาพการนอนหลับ หมายถึง การนอนหลับที่ได้ทั้งจำนวนชั่วโมงนอน ความลึกและความต่อเนื่อง รวมถึงตื่นมาแล้วรู้สึกสดชื่น กระปรี้กระเปร่า จะช่วยกระตุ้นสมองให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อความจำและการเรียนรู้ ช่วยควบคุมอารมณ์ การเผาผลาญพลังงาน และเสริมสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย ในทางตรงข้าม ถ้าคุณภาพการนอนหลับไม่ดีจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพกาย จิตใจ และสังคม ในระยะสั้นทำให้อารมณ์หงุดหงิด เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในที่ทำงานและอุบัติเหตุทางรถยนต์ ในระยะยาวมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต เสี่ยงต่อการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง รวมไปถึงโรคความเสื่อมประสาท คุณภาพการนอนหลับไม่ขึ้นกับระยะเวลาเพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงความต่อเนื่องและความลึกด้วย บทความนี้อธิบายถึงความสำคัญของการนอนหลับที่มีคุณภาพ ระยะและวงจรของการนอนหลับ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการนอนหลับ ผลกระทบของการนอนหลับที่ไม่มีคุณภาพ การประเมินคุณภาพการนอนหลับ และวิธีการส่งเสริมสุขอนามัยการนอนหลับ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมสุขภาพและยกระดับคุณภาพชีวิต

คำสำคัญ: คุณภาพการนอนหลับ วัยผู้ใหญ่ สุขอนามัยการนอนหลับ

Abstract

Sleep is a basic human activity and the natural process of humans that is essential for life. People of all ages need sleep, but the duration of sleep varies at different stages of life. Nowadays, adults, who are in the working age, face stress from various aspects, especially those who work in shifts, which can cause insomnia or insufficient sleep. Good sleep quality helps stimulate the brain to function effectively, impacting memory and learning, helps regulate emotions, energy metabolism, and immune responses. Conversely, insufficient or poor-quality sleep will affect physical, mental, and social health. In the short term, it causes emotional irritability, increasing the risk of workplace accidents and car accidents. Chronic insufficient sleep is associated with an increased risk of death as well as the risk of developing chronic non-communicable diseases including neurodegenerative disease. Quality sleep depends not only on the duration of adequate sleep, but also on the continuity and depth of sleep. This article will describe the importance of sleep quality, stage of sleep, sleep cycle, factors related to sleep, effects of poor-quality sleep, sleep quality assessment, and sleep hygiene for using as a guideline to promote health and increase quality of life.

Keywords: sleep quality, adulthood, sleep hygiene

บทนำ

การนอนหลับเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่จำเป็นต่อทุกช่วงวัย เพื่อคงไว้ซึ่งสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี มีการประมาณว่ามนุษย์ใช้เวลามากถึงหนึ่งในสามของชีวิตไปกับการนอนหลับ (Patel et al., 2024) คุณภาพการนอนหลับที่ดีช่วยส่งเสริมและกระตุ้นให้สมองมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้ เพิ่มความจำ ควบคุมอารมณ์ได้ดี รักษาความสมดุลของระบบเมตาบอลิก ระบบหลอดเลือดหัวใจ และฮอร์โมนของร่างกาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการหลั่งฮอร์โมนการเจริญเติบโต (growth hormone) ที่ไปช่วยฟื้นฟูและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนคอร์ติซอล หรือที่เรียกว่า “ฮอร์โมนความเครียด” และทำให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานได้ดี (Jyväkorpi et al., 2021) การนอนหลับที่มีคุณภาพยังมีบทบาทในการลดความเสี่ยงของอุบัติเหตุในที่ทำงานและการบาดเจ็บที่เกิดจากอาการง่วงนอน และความเหนื่อยล้า รวมถึง อุบัติเหตุทางรถยนต์ (Nwaogu et al., 2025) ในทางตรงข้ามถ้านอนหลับไม่มีคุณภาพและไม่เพียงพอ จะส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทจะส่งผลกระทบทั้งระยะสั้นและระยะยาวต่อสุขภาพกาย จิตใจ สังคม การทำงานและคุณภาพชีวิต (Pereira et al., 2020) ผลกระทบระยะสั้นทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย หงุดหงิดง่าย มีอาการง่วงนอนในเวลากลางวัน หงุดหงิด ไม่มีสมาธิ อารมณ์แปรปรวน การตัดสินใจผิดพลาด ภูมิต้านทานลดลง และมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอกช้าลง (Medic et al., 2017) ส่วนผลกระทบระยะยาว จากการศึกษาพบว่า ถ้านอนหลับไม่เพียงพอน้อยกว่า 7 ชั่วโมงต่อคืนต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุร้อยละ 14 (Ungvari et al., 2025) เสี่ยงต่อการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่นโรคหลอดเลือดหัวใจ (Belloir et al., 2022) โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคแพ้ภูมิตัวเอง (Wu et al., 2024) การควบคุมอารมณ์ไม่ได้ ลดความสามารถในการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ (Maiti et al., 2025) โรควิตกกังวล โรคความเสื่อมประสาท เช่น โรคอัลไซเมอร์และโรคซึมเศร้า รวมไปถึงเสี่ยงต่อการฆ่าตัวตาย (Daulatabad et al., 2025)

ในปัจจุบันปัญหาการนอนไม่หลับหรือนอนไม่เพียงพอเป็นปัญหาสำคัญทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย เนื่องจากการขยายตัวของภาคธุรกิจและความจำเป็นด้านสาธารณสุข ทำให้กลุ่มผู้ใหญ่ที่เป็นวัยทำงานต้องเผชิญกับความเครียด

และภาวะกดดันจากสถานการณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะผู้ที่ทำงานเป็นกะ (shift work) เช่น บุคลากรทางการแพทย์ พนักงานบนเครื่องบิน คนขับรถโดยสาร พนักงานโรงงาน และงานบริการอื่น ๆ ซึ่งเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง การทำงานเป็นกะ ส่งผลโดยตรงต่อวงจรการนอนหลับของร่างกาย ทำให้คุณภาพการนอนหลับลดลง หลับได้ไม่สนิท หรือตื่นง่ายและระยะเวลาการนอนสั้นลง ผลกระทบในระยะสั้นทำให้รู้สึกอ่อนเพลีย เหนื่อยล้า ง่วงในเวลาทำงาน ส่วนในระยะยาวส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงาน ทำให้ผลผลิตลดลง และเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง การนอนหลับที่ดีเพื่อให้ร่างกายได้รับประโยชน์เต็มที่ ต้องคำนึงถึงคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอของการนอนหลับด้วย บุคคลแต่ละวัยต้องการเวลาในการนอนหลับแตกต่างกัน ทั้งเรื่องระยะเวลาการนอนหลับ (sleep duration) และระยะของการนอนหลับ (sleep stage) โดยระยะเวลาการนอนหลับมากสุดในช่วงแรกเกิด-4 เดือนจะค่อย ๆ ลดลงเมื่ออายุมากขึ้น มูลนิธิการนอนหลับแห่งชาติของอเมริกา (National Sleep Foundation: NSF) ให้ข้อเสนอแนะจำนวนชั่วโมงการนอนหลับ ดังตาราง 1

ระยะเวลาการนอนหลับมากหรือน้อยนั้นไม่สำคัญเท่ากับคุณภาพการนอนหลับ ซึ่งวัดได้หลังจากตื่นนอน เช่น ความรู้สึกกระปรี้กระเปร่า ตื่นมาแล้วรู้สึกงัวเงียหรือลุกจากเตียงยาก หรือเกิดอาการง่วงนอนระหว่างวัน ซึ่งมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อการนอนหลับในวัยผู้ใหญ่ เช่น ปัจจัยด้านร่างกาย อารมณ์และจิตใจ สภาพแวดล้อม รวมไปถึงพฤติกรรมหรือสุขนิสัยในการนอนที่ไม่ดี (Nelson et al., 2022) ถ้าสามารถแก้ไขปัจจัยดังกล่าวข้างต้น จะทำให้การนอนหลับมีคุณภาพ ส่งผลต่อการมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ทราบถึงความสำคัญของคุณภาพการนอนหลับ ระยะการนอนหลับ วงจรการนอนหลับ ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ผลกระทบของการนอนหลับที่ไม่มีคุณภาพ ประโยชน์ของการนอนหลับ การประเมินคุณภาพการนอนหลับ และการส่งเสริมสุขอนามัยการนอนหลับ เพื่อให้การนอนหลับมีคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย คงไว้ซึ่งการมีสุขภาพที่ดีทั้งทางร่างกาย จิตใจและสังคม รวมไปถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดี

ความหมาย

การนอนหลับ (sleep) หมายถึง สภาวะหนึ่งของร่างกายที่การเคลื่อนไหว และการรับรู้ต่าง ๆ ลดลง แต่สามารถตื่นกลับมารู้ตัวได้ง่ายภายใน 1-2 นาทีเท่านั้น (Virunhagarun, 2025) ซึ่งการนอนหลับเป็นกระบวนการทางสรีระวิทยาที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของมนุษย์และสัตว์

ส่วนคุณภาพการนอนหลับ (sleep quality) หมายถึง ความรู้สึกพึงพอใจของบุคคลในแง่มุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสบการณ์การนอนหลับ โดยคำนึงถึงองค์ประกอบ 4 ประการ ได้แก่ ประสิทธิภาพของการนอนหลับระยะเวลาตั้งแต่เข้านอนจนกระทั่งหลับ จำนวนชั่วโมงการนอนหลับ และจำนวนครั้งของการตื่นหลังจากเริ่มนอน (Nelson et al., 2022)

ระยะการนอนหลับ (sleep stages)

การนอนหลับจะมีการเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย คือ การเปลี่ยนแปลงทางสมอง ระบบไหลเวียนเลือด การทำงานของกล้ามเนื้อ รูปแบบการหายใจและอุณหภูมิของร่างกาย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ สามารถบันทึกได้โดยการตรวจการนอนหลับ (Polysomnography: PSG) ที่เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของร่างกายขณะหลับ โดยใช้การเคลื่อนไหวของลูกตา การขยับหรือกระตุกขาและคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นปัจจัยหลัก ซึ่งสามารถแบ่งระยะการนอนหลับ ออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะการนอนหลับที่มีการกลอกอย่างรวดเร็ว (Rapid Eye Movement sleep: REM sleep) และระยะการนอนหลับที่ไม่มีการกลอกตาอย่างรวดเร็ว (Non - Rapid Eye Movement sleep: NREM sleep) ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 ระยะ โดยมีรายละเอียดในแต่ละระยะ ดังนี้ (Patel et al., 2024)

1. ระยะการนอนหลับที่ไม่มีการกลอกตาอย่างรวดเร็ว (Non - Rapid Eye Movement sleep: NREM sleep) เรียกว่า ช่วงหลับธรรมดา เป็นช่วงที่เซลล์ประสาทมีการทำงานร่วมกันภายใต้เปลือกตาที่ปิดอยู่ ระยะนี้ใช้เวลาร้อยละ 75 ของเวลานอนทั้งหมด แบ่งระยะ NREM sleep ออกเป็น 3 ระยะย่อย คือ

1.1 ระยะ 1 (stage 1: N1) เป็นระยะแรกของวงจรการนอนหลับ (sleep cycle) การนอนหลับระยะนี้เรียกว่า ระยะเริ่มง่วง (light sleep) เคลิ้ม ๆ (falling asleep) เป็นการหลับที่ตื้นที่สุด เกิดบ่อยที่สุด ระบบควบคุมการตื่นรู้ของสมองเริ่มลดลง ลูกตามีการเคลื่อนไหวช้าลง กล้ามเนื้อเริ่มผ่อนคลายและเคลื่อนไหวช้าลง อัตรา

การหายใจสม่ำเสมอ อัตราชีพจร และระดับความดันโลหิตลดลง ระยะนี้ถูกปลุกให้ตื่นด้วยการเรียกชื่อหรือแตะตัวเบา ๆ จะตื่นได้ง่าย ถ้าไม่มีอะไรมารบกวนให้ตื่น ร่างกายจะเข้าสู่วงจรการนอนหลับในระยะก่อนหลับลึกต่อไปได้อย่างรวดเร็ว ระยะนี้ใช้เวลา 1-5 นาที หรือร้อยละ 5 ของระยะเวลานอนทั้งหมด

1.2 ระยะ 2 (stage 2: N2) เป็นระยะก่อนหลับลึก (deeper sleep) ช่วงนี้ลูกตายังเคลื่อนไหวไปมาอย่างช้า ๆ ร่างกายเริ่มเข้าสู่ภาวะพัก ความตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลง อัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิ ความดันโลหิต และอัตราการเผาพลาญในร่างกายจะลดลง ร่างกายยังรับรู้สิ่งกระตุ้นจากภายนอกได้ เป็นระยะที่ปลุกให้ตื่นได้ยากขึ้น ในระยะนี้ใช้เวลา 10-25 นาที หรือร้อยละ 45 ของระยะเวลานอนทั้งหมด

1.3 ระยะ 3 (stage 3: N3) เป็นระยะหลับสนิทที่สุด (deepest sleep) ในระยะนี้ปลุกให้ตื่นยากที่สุดแม้ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอก ลูกตาไม่มีการเคลื่อนไหว ระบบการทำงานต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น อัตราการหายใจ อุณหภูมิ ชีพจร ความดันโลหิตลดลง กล้ามเนื้อผ่อนคลาย สมองทำงานช้าลง ความมีสติจะหายไปการนอนหลับในระยะนี้มีความสำคัญมากเพราะมีการหลั่งฮอร์โมนการเจริญเติบโต (growth hormone) เพื่อซ่อมแซมส่วนต่างๆของร่างกาย เสริมสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ รวมทั้งเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันให้แข็งแรง ดังนั้นหากคุณภาพการนอนหลับไม่ดี หรือถูกปลุกจนนอนหลับได้เพียงช่วงหลับตื้น ๆ ร่างกายจะไม่มีการหลั่ง growth hormone เมื่อตื่นขึ้นมาจะรู้สึกอ่อนเพลีย การนอนหลับในระยะนี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพการนอนหลับ การฝันจะพบได้ในช่วงกลางของการนอนหลับในระยะนี้ อาจมีการละเมอหรือปัสสาวะรดที่นอน (Narongsak et al., 2020) ระยะนี้ใช้เวลา 20-40 นาที หรือร้อยละ 25 ของระยะเวลานอนทั้งหมด

2. ระยะการนอนหลับที่มีการกลอกอย่างรวดเร็ว (Rapid Eye Movement sleep: REM sleep) ในระยะนี้เรียก ระยะหลับฝัน (dreaming) ส่วนใหญ่ความฝันจะเกิดในระยะนี้ การฝันจะค่อนข้างโลดโผน เช่น เห็นสิ่งที่ไม่มีอยู่ในโลกปกติ ทำเรื่องแปลก ๆ และพิสดารได้ เช่น เห็นสัตว์ประหลาด มีพลังวิเศษสามารถหายตัว เหาะเหินเดินอากาศได้และสามารถจำความฝันได้ เป็นช่วงที่กล้ามเนื้อต่าง ๆ แทบจะหยุดการทำงานเหมือนเป็นอัมพาต แขนขาไม่มีการเคลื่อนไหวชั่วคราว (temporary paralysis) ไม่มีปฏิกิริยาการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น (Virunhagarun, 2025) ยกเว้นระบบการทำงานที่ยังชีพ ได้แก่ หัวใจ กระบังลม กล้ามเนื้อตาและกล้ามเนื้อเรียบที่ผนังของอวัยวะภายใน เช่น หลอดเลือดและลำไส้ แต่ลูกตาจะกลอกตาไปซ้าย-ขวาอย่างรวดเร็วแม้หลับตาอยู่ สมองตื่นตัว อัตราการเต้นของหัวใจและการหายใจเร็วขึ้น ไม่สม่ำเสมอ ระดับความดันโลหิตใกล้เคียงกับตอนตื่น ในระยะนี้จะปลุกให้ตื่นได้ง่าย ในระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 10 นาทีในครั้งแรก และครั้งต่อไปจะใช้เวลานานขึ้นเรื่อย ๆ นานถึง 20 – 60 นาที (Della et al., 2018) การนอนหลับในระยะนี้มีความสำคัญเนื่องจาก มีความสัมพันธ์กับการเสริมสร้างความจำระยะยาว โดยนำประสบการณ์ต่าง ๆ มาจัดระบบและบันทึกลงในสมองส่วนความจำระยะยาว (Sleep Foundation, 2025) การเรียนรู้ การแก้ไขปัญหา และการสร้างจินตนาการการนอนหลับฝันจะโดยนำประสบการณ์ต่าง ๆ มาจัดระบบและบันทึกลงในสมองส่วนความจำระยะยาวระยะนี้ใช้เวลาร้อยละ 25 ของระยะเวลานอนทั้งหมด (Patel et al., 2024) ดังแสดงในภาพ 1

วงจรการนอนหลับ (sleep cycle)

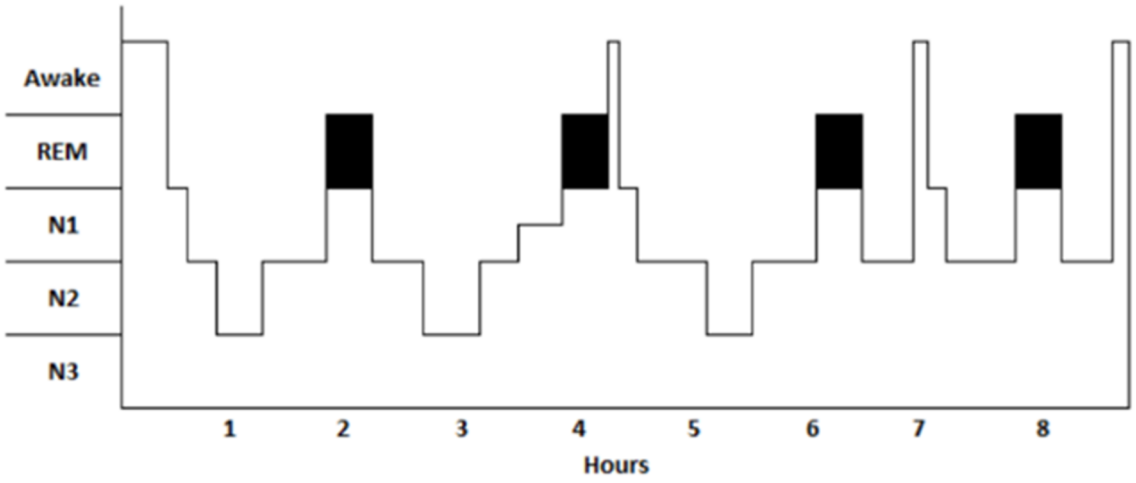
วงจรการนอนหลับ (sleep cycle) จะเริ่มตั้งแต่เริ่มหลับในระยะ NREM sleep: N1 คือ ระยะเคลิ้มหลับและไปสู่ NREM sleep N2 และ N3 ตามลำดับ จนถึงระยะ REM sleep คือ ช่วงหลับฝัน ก่อนที่จะถอยกลับไปสู่ระยะ NREM sleep N3 ไประยะ N2 และ N1 จากนั้นจึงเข้าสู่ระยะ REM sleep นับเป็น 1 วงจรการหลับ วงจรนี้จะดำเนินสลับกันไปเรื่อย ๆ ตลอดเวลาของการนอนหลับ โดยในหนึ่งวงจรใช้เวลาประมาณ 90-120 นาที ในการหลับแต่ละครั้งจะเกิดวงจรการนอนหลับประมาณ 4–6 วงจร โดยระยะเวลาของการนอนหลับในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกัน เพราะช่วง NREM sleep N 2 N3 และ REM sleep จะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น (Memar & Faradji, 2018) ดังแสดงในภาพ 2

ตาราง 1

จำนวนชั่วโมงของการนอนหลับในแต่ละช่วงวัย

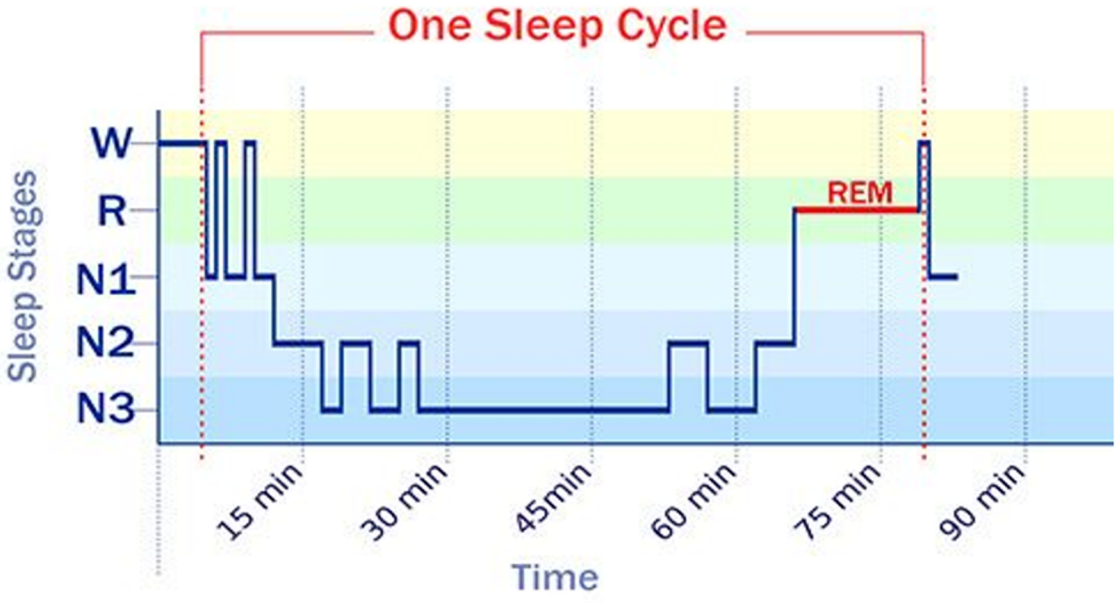
วัย	ช่วงอายุ	จำนวนชั่วโมงนอนหลับ
ช่วงแรกเกิด	1-3 เดือน	14-17
ทารก	4-11	12-15
เด็กวัยหัดเดิน	1-2 ปี	11-14
เด็กก่อนวัยเรียน	3-5	10-13
เด็กวัยเรียน	6-13	9-11
วัยรุ่น	14-17	8-10
ผู้ใหญ่ตอนต้น	18-25	7-9
ผู้ใหญ่	26-64	7-9
ผู้สูงอายุ	65 ปีขึ้นไป	7-8

Note. From “National Sleep Foundation’s Sleep Time Duration Recommendations: Methodology and Results Summary,” by M. Hirshkowitz, K. Whiton, S. M. Albert, C. Alessi, O. Bruni, L. DonCarlos, L., and A.P. Hillard, 2015, *Sleep Health,1*(1), p.41. Copyright 2025 by Elsevier B.V.



ภาพ 1 แสดงระยะของการนอนหลับ

Note. From *Sleep and Affect: Assessment, Theory, and Clinical Implications* (p.18), by M. Christopher, K. Simon, M. Kerri and B. Delwyn, 2015, Copyright by Elsevier Academic Press Inc.



ภาพ 2 วงจรของการนอนหลับ

Note. From "*Sleep Cycle: What Happens When You Sleep*," by Medicine, 2020, https://www.medicinenet.com/sleep_cycle_body_brain/article.htm?ecd=mnl_spc_071219)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการนอนหลับ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการนอนหลับที่มีคุณภาพ แบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยส่วนบุคคล

1.1 อายุ (age) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการนอนหลับมากที่สุด เมื่ออายุมากขึ้น ระยะเวลาของการนอนหลับและคุณภาพการนอนหลับจะลดลง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมน เช่น มีการลดลงของการสร้างเมลาโทนิน (melatonin) ซึ่งส่งผลต่อวงจรการหลับและการตื่นของร่างกาย (Thumcharoen et al., 2023) ส่วนใหญ่เมื่ออายุมากขึ้นจะเข้านอนเร็ว นอนหลับยาก ในช่วงนอนหลับมีการตื่นบ่อย และตื่นเช้ากว่าปกติ (Patel et al., 2024) ระยะการนอนหลับของผู้สูงอายุจะมีช่วงของระยะ NREM sleep ระยะ 1 และระยะ 2 ซึ่งเป็นระดับการนอนหลับตื้นจะยาวขึ้น ส่วนระยะ NREM sleep ระยะ3 ซึ่งเป็นช่วงหลับลึกจะสั้นลงเรื่อย ๆ ทำให้วงจรการนอนหลับสั้นลง ส่งผลให้ผู้สูงอายุมีการนอนหลับไม่เพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย (Limpawattana & Sawanyawisuth, 2018)

1.2 เพศ (sex) เพศหญิงมีปัญหาการนอนหลับมากกว่าเพศชาย ด้วยลักษณะพิเศษทางด้านร่างกายของเพศหญิง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนเอสโตรเจนทั้งก่อน ขณะและหลังมีประจำเดือน ซึ่งจะส่งผลต่อการนอนหลับ (Narongsak et al., 2020)

1.3 ความเจ็บป่วยด้านร่างกาย (physical illness) โรคและความผิดปกติของระบบต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น โรคหอบและโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ทำให้หายใจลำบากส่งผลให้ตื่นบ่อย โรคหัวใจขาดเลือดทำให้มีอาการเจ็บหน้าอก หรือการปัสสาวะบ่อยในตอนกลางคืนจากโรคเบาหวาน (Williams, 2020) ซึ่งอาการเหล่านี้รบกวนการนอนหลับในช่วง REM sleep รวมไปถึงการใช้ยาบางชนิดที่ส่งผลต่อการนอนหลับ ทำให้นอนหลับไม่เพียงพอและไม่มีคุณภาพ

1.4 ด้านจิตใจ (mental) ภาวะเครียด หงุดหงิด ความวิตกกังวลและปัญหาด้านจิตใจ มีผลต่อการหลั่งสารอิพิเนพฟริน (epinephrine) และนอร์อิพิเนพฟริน (nor-epinephrine) ทำให้อัตราการหายใจ ระดับความดันโลหิต และความตึงตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น รวมไปถึงมีการหลั่งของสารคอร์ติซอลเพิ่มขึ้น ทำให้รบกวนวงจร

การนอนหลับในระยะการเข้าสู่การนอนหลับ (Williams, 2020) และจากงานวิจัยพบว่า โรคซึมเศร้าเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการนอนหลับที่ไม่ดี (Chinvararak et al., 2018)

2. พฤติกรรม (behaviors) พฤติกรรมที่มีผลต่อการนอนหลับในตอนกลางคืน เช่น การนอนหลับในเวลากลางวันมากเกินไป ทำให้ไม่ง่วงในเวลากลางคืน หรือการทำกิจกรรมที่เป็นสิ่งกระตุ้นก่อนนอน เช่น การดูรายการโทรทัศน์ การอ่านหนังสือที่ตื่นเต้น ภาวะเครียด (Chinvararak et al., 2018) และการใช้อุปกรณ์เทคโนโลยี เช่น คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือโทรศัพท์มือถือ ซึ่งเป็นการรบกวนกระบวนการนอนหลับทำให้สภาวะร่างกายและจิตใจถูกกระตุ้นผ่านแสงสีฟ้า (blue light) ซึ่งแสงสีฟ้าจะไปยับยั้งการหลั่งของฮอร์โมนเมลาโทนิน (melatonin) (Grzelak, 2024) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่หลั่งออกมาจากสมองและมีความสำคัญต่อการนอนหลับ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อวงจรการนอนหลับ ทำให้นอนหลับยากขึ้น รวมไปถึงการบริโภคเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน เช่น ชา กาแฟ โคลาและช็อกโกแลต เป็นต้น คาเฟอีนมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดการตื่นตัว ระยะการนอนหลับในช่วง NREM sleep ที่ N2 N3 และ REM sleep ลดลง แอลกอฮอล์มีฤทธิ์ในการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic) และเพิ่มระดับฮอร์โมนแคททีโคลามีน (catecholamines) ในเลือด ทำให้หัวใจเต้นเร็ว ตื่นบ่อย ส่วนบุหรี่มีสารนิโคติน ซึ่งออกฤทธิ์ในการกระตุ้นทำให้สมองตื่นตัว ทำให้ตื่นบ่อย รบกวนการนอนหลับ ส่งผลให้คุณภาพและปริมาณการนอนหลับลดลง (Narongsaket et al., 2020)

3. ปัจจัยภายนอกและสิ่งแวดล้อม ที่มีผลต่อการนอนหลับ ได้แก่

3.1 แสง (light) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการหลั่งเมลาโทนิน ซึ่งมีหน้าที่ไปควบคุมการทำงานของจังหวะชีวภาพ (circadian rhythm) ให้ทำงานได้ตามปกติ และทำให้เกิดวงจรการนอนหลับ แสงสว่างที่มีความเข้มแสงมากกว่า 200 ลัคซ์ จะยับยั้งการหลั่งเมลาโทนิน และทำให้การรับรู้ความแตกต่างระหว่างกลางวันและกลางคืนของสมองลดลง โดยสมองคิดว่าช่วงเวลาดังกล่าวยังคงเป็นเวลากลางวัน ส่งผลต่อจังหวะการหลับตื่น เกิดความไม่สุขสบาย นอนไม่หลับหรือหลับไม่สนิท (Williams, 2020)

3.2 เสียง (sound) เสียงจะรบกวนการเข้าสู่ระยะของการนอนหลับ ทำให้นอนหลับยากและตื่นเร็วกว่าที่ต้องการ เสียงที่ดังมากกว่า 45 เดซิเบล จะส่งผลให้การนอนหลับในระยะ NREM sleep ระยะ N3 และการนอนหลับในระยะ REM sleep ลดลง (WHO Regional Office for Europe,2018)

3.3 อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบโดยตรงต่ออุณหภูมิภายในร่างกาย โดยอุณหภูมิห้องที่เหมาะสมแก่การนอนหลับอยู่ในช่วง 15-19 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้องที่สูงกว่า 23.9 องศาเซลเซียส จะทำให้การนอนหลับในระยะ NREM sleep ที่ระยะ N2 N3 และการนอนหลับระยะ REM sleep ลดลง ทำให้ตื่นบ่อยขึ้น มีการเคลื่อนไหวร่างกายมากขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 12.2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดความไม่สุขสบาย ทำให้นอนหลับไม่เพียงพอและไม่มีคุณภาพ (Sleep Foundation, 2025)

3.4 อุปกรณ์เครื่องนอน ลักษณะของเตียงนอน ที่นอน หมอนและผ้าห่ม อุปกรณ์เหล่านี้มีผลกับการนอนหลับ โดยเริ่มจากเตียงนอน ต้องมีความเหมาะสมกับสรีระของร่างกาย ที่นอนถ้านิ่มเกินไป ทำให้ปวดหลัง หมอนควรมีความนุ่มพอดี ไม่นิ่มและแข็งเกินไป และอุปกรณ์การนอนทุกชิ้นต้องสะอาด (MedicineNet, 2020)

3.5 การทำงานเป็นกะ (Shift work) เป็นการทำงานที่ไม่ตรงกับนาฬิกาชีวิตของร่างกายที่เป็นธรรมชาติ โดยปกติช่วงเวลากลางวันจะต้องตื่นเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ และช่วงเวลากลางคืนเป็นช่วงเวลาของการพักผ่อน ทำให้ร่างกายเกิดความสับสนในเวลาเข้านอน ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของการนอนหลับ ทำให้นาฬิกาชีวภาพมีการแปรปรวน (circadian disruption) ส่งผลให้วงจรการหลับและตื่น เมตาโบลิกและฮอร์โมนของร่างกายผิดปกติ (Sleep Society of Thailand, 2025)

ผลกระทบของการนอนหลับที่ไม่มีคุณภาพ

การนอนหลับที่ไม่มีคุณภาพจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยแบ่งออกได้เป็น 3 ด้าน ได้แก่ ผลกระทบทางด้านร่างกาย ผลกระทบทางด้านจิตใจ และผลกระทบทางด้านคุณภาพชีวิต โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ผลกระทบทางด้านร่างกาย ในวัยผู้ใหญ่ถ้าการนอนหลับไม่มีคุณภาพ หรือปริมาณการนอนไม่เพียงพอ จะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย เหนื่อยล้า ง่วงนอนและงีบหลับในตอนกลางวัน มีภาวะบกพร่องในการรับรู้และการประมวลผลของสมอง (cognitive impairment) ประสิทธิภาพการทำงานลดลง มีผลต่อความจำและการนึกคิดที่ลดลง หลงลืม ไม่จดจ่อกับการทำงาน และรู้สึกหงุดหงิด กระสับกระส่าย เนื่องจากมีการสะสมของสาร beta-amyloid ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่สมองสร้างขึ้น ทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน และงานที่รับมอบหมายผิดพลาดมากขึ้น (Gottesman et al., 2024) นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ที่นอนน้อยกว่า 6 ชั่วโมงต่อคืน มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวานและโรคอ้วน (Wu et al., 2024) และส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกันลดลง การนอนไม่เพียงพอกระตุ้นให้มีการหลั่งคอร์ติซอลมากขึ้น และไปยับยั้งการทำงานของเม็ดเลือดขาว ทำให้ความสามารถในการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียและไวรัสเสียไป นำไปสู่การเกิดการอักเสบและเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ (Garbarino et al., 2021)

2. ผลกระทบด้านจิตใจ การนอนหลับที่ไม่มีคุณภาพ ส่งผลกระทบต่อจิตใจทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ในระยะสั้นทำให้มีอารมณ์เปลี่ยนแปลงง่าย โกรธง่าย ฉุนเฉียว หงุดหงิด กระสับกระส่าย ไม่มีสมาธิและมีการตัดสินใจผิดพลาด (Medic, Wille & Hemels, 2017) เมื่อมีปัญหาการนอนไม่หลับเป็นระยะเวลานาน พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะวิตกกังวล (anxiety) และภาวะซึมเศร้า (depression) (Daulatabad et al., 2025)

3. ผลกระทบด้านสังคม เป็นผลกระทบที่ต่อเนื่องมาจากผลกระทบต่อร่างกายและจิตใจ ทำให้ไม่อยากเข้าสังคม เก็บตัวอยู่ในบ้าน เกิดปัญหาแยกตัว จากการศึกษาในเรื่องคุณภาพการนอนหลับที่ไม่ดี ส่งผลต่อการเข้าสู่สังคมลดลง และทำให้สัมพันธภาพระหว่างบุคคลในสังคมลดลงด้วย ซึ่งมีผลทำให้คุณภาพชีวิตลดลง (Praharaj, Gupta & Gaur, 2018)

การประเมินคุณภาพการนอนหลับ

การประเมินคุณภาพการนอนหลับ มีการประเมินหลายแบบ ดังนี้

1. แบบประเมินคุณภาพการนอนหลับของพิทส์เบิร์ก (Thai-Pittsburgh Sleep Quality Index: TPSQI) เป็นแบบสอบถามที่ใช้ประเมินคุณภาพการนอนหลับ มีคำถาม 9 ข้อ คะแนนรวม 0-21 คะแนน ถ้าได้คะแนนรวมมากกว่า 5 แสดงว่า มีคุณภาพการนอนไม่ดี (Sitasuwan et al., 2014) สามารถประเมินแบบออนไลน์ได้

2. การตรวจโพลีซอมโนกราฟี (Polysomnography: PSG) เป็นเครื่องมือที่ผสมผสานการตรวจหลายชนิดเข้าด้วยกัน ประกอบด้วยการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography: EEG) การบันทึกการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อลูกตา (Electrooculography: EOG) การประเมินลักษณะการหายใจและการตรวจการทำงานของกล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) เพื่อประเมินลักษณะและคุณภาพของการนอนหลับ รวมถึงประเมินระดับความลึกของการนอนหลับ ต้องทำโดยผู้เชี่ยวชาญ (Kittivoravitkul, 2025)

3. แอคติกราฟ (ActiGraph) เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กสวมใส่ที่ข้อมือตลอด 24 ชั่วโมง ใช้วัดกิจกรรมหรือการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องเพื่อประเมินการนอนหลับที่บ้าน ซึ่งจะตรวจจับการเคลื่อนไหวต่าง ๆ ขณะหลับ โดยสามารถช่วยวินิจฉัยอาการผิดปกติของการนอนหลับได้ รวมถึงประเมินสถานการณ์นอนและตื่น (Kittivoravitkul, 2025)

4. อุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ (Wearable Technology) ในอดีตอุปกรณ์เหล่านี้ ออกแบบมาใช้เพื่อติดตามการออกกำลังกาย ในปัจจุบันสามารถใช้วัดสัญญาณบางอย่างของร่างกายได้ เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ ความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจ การนำไฟฟ้าของผิวหนัง และอุณหภูมิ รวมทั้งสามารถรวบรวมข้อมูลการนอนหลับ เช่น สายรัดข้อมืออัจฉริยะ สายรัดแขน สมาร์ทวอทช์ (smart watch) ที่คาดศีรษะ และแหวนอัจฉริยะ (smart ring) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้สามารถซื้อได้ง่าย และราคาไม่แพง (Kittivoravitkul, 2025)

ประโยชน์ของการนอนหลับที่มีคุณภาพ

การนอนหลับที่มีคุณภาพ ทำให้ร่างกายได้พักผ่อนอย่างเต็มที่ พร้อมทำกิจกรรมในวันต่อไป การมีคุณภาพการนอนที่ดีอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น ประโยชน์ของการนอนหลับมี ดังนี้

1. ส่งเสริมการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ถ้านอนหลับอย่างมีคุณภาพ ครบทุกระยะของการนอน ในช่วงที่หลับลึกหรือหลับสนิท (NREM ระยะ N3) อัตราการเผาผลาญต่าง ๆ ในร่างกายจะอยู่ในสภาพต่ำสุด จะมีการหลั่งฮอร์โมนการเจริญเติบโต (growth hormone) ช่วยให้มีการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อในอวัยวะต่าง ๆ เซลล์กระดูกและเม็ดเลือดแดงมีการแบ่งตัวมากขึ้น มีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มมากขึ้น ช่วยปรับสมดุลของฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต และมีการซ่อมแซมส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่สึกหรอในช่วงกลางวัน เช่น เนื้อเยื่อ กล้ามเนื้อและกระดูก เกิดการเผาพลาญไขมันให้เป็นพลังงานเพื่อที่จะทำงานในวันถัดไป (Xu et al., 2020)

2. สมองและความจำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การนอนหลับที่มีคุณภาพ โดยเฉพาะช่วงหลับลึก (NREM ระยะ N3) มีความสำคัญต่อกระบวนการเรียนรู้ (cognitive function) ได้แก่ ความจำ (memory) ภาษา (language) และการจัดเก็บความจำให้เป็นระบบ เพื่อเตรียมพร้อมต่อการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ รวมไปถึงการนำความจำเก่ากลับมาใช้ ส่งผลให้มีสมาธิเพิ่มมากขึ้น สมองปลอดโปร่ง ทำให้สามารถคิดวิเคราะห์ ตัดสินใจและแก้ไขปัญหาได้อย่างสร้างสรรค์ (Pholsiripathom & Triprateepsilp, 2023)

3. เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน ในขณะที่นอนหลับ โดยเฉพาะช่วง NREM sleep ระยะ N3 หรือหลับลึก ร่างกายจะมีการหลั่งโปรตีนที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ (adaptive immunity) เพื่อต่อสู้กับเชื้อก่อโรคต่าง ๆ ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันจดจำและจำแนกสิ่งแปลกปลอมได้ โดยร่างกายจะผลิตและปล่อยสารไซโตไคน์ (cytokines) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ช่วยควบคุมการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันต่อการติดเชื้อและการอักเสบช่วยลดการสร้างสารที่กระตุ้นการอักเสบและช่วยให้เซลล์ที (T-cells) ทำงานได้ดีขึ้นในการจับกับเซลล์ที่ติดเชื้อและกำจัดออกจากร่างกาย (Besedovsky et al., 2019)

4. ควบคุมอารมณ์และจัดการกับความเครียด การนอนหลับที่มีคุณภาพ โดยเฉพาะช่วงหลับฝัน (REM sleep) ช่วยรักษาระดับสารสื่อประสาทให้สมดุล โดยเฉพาะเซโรโทนิน (serotonin) และโดพามีน (dopamine) เป็นสารเคมีในร่างกาย มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับการทำงานของสมองและระบบประสาทที่ส่งผลต่อกระบวนการคิด พฤติกรรมและอารมณ์ มีบทบาทในการควบคุมอารมณ์ มีความอดทนต่อสถานการณ์ที่ท้าทาย และสามารถจัดการกับความรู้สึกต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Sleep Foundation, 2025)

สุขอนามัยในการนอนหลับ (sleep hygiene)

สุขอนามัยการนอนหลับ หมายถึง แนวทางปฏิบัติจะทำให้นอนหลับได้ดีและมีคุณภาพมากขึ้น โดยการจัดการพฤติกรรม (behavior) และสิ่งแวดล้อม (environment) ให้เหมาะสม เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับการนอนหลับได้ ทำให้สุขภาพทั้งร่างกาย จิตใจและคุณภาพชีวิตดีขึ้น โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ พฤติกรรมที่ควรหลีกเลี่ยงและพฤติกรรมที่ควรปฏิบัติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.พฤติกรรมที่ควรหลีกเลี่ยง

1.1 การบริโภคเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน (caffeine) เช่น ชา กาแฟ น้ำอัดลม เครื่องดื่มชูกำลัง เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า การบริโภคคาเฟอีนทำให้ลดเวลาการนอนหลับทั้งหมด 45 นาที ลดประสิทธิภาพการนอนหลับร้อยละ 7 เพิ่มระยะเวลาในการเข้านอนจนถึงเวลาเริ่มหลับ 9 นาที ควรหลีกเลี่ยงการบริโภคคาเฟอีน (100 มิลลิกรัม) ก่อนถึงเวลานอนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง (Gardiner et al., 2023)

1.2 การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น สุรา เบียร์ ไวน์ ควรหลีกเลี่ยงการดื่มก่อนนอน 4-6 ชั่วโมง มีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic) ทำให้หัวใจเต้นเร็ว ตื่นบ่อย นอนไม่หลับ จากการศึกษาของ Gardiner et al. (2025) พบว่า การดื่มแอลกอฮอล์ในปริมาณ 5 แก้วมาตรฐานมีผลต่อเวลาการนอนหลับทั้งหมด ประสิทธิภาพการนอนหลับและการตื่นหลังจากนอนหลับแล้ว

1.3 การสูบบุหรี่ ควรหลีกเลี่ยงการสูบบุหรี่ก่อนนอน 4-6 ชั่วโมง เพราะบุหรี่มีสารนิโคตินออกฤทธิ์ในการกระตุ้นสมองให้ตื่นตัว ทำให้ตื่นบ่อยรบกวนการนอนหลับ ส่งผลให้คุณภาพและปริมาณการนอนหลับลดลง (Narongsaket et al., 2020)

1.4 งดใช้อุปกรณ์เทคโนโลยีการสื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเลตและคอมพิวเตอร์ ก่อนเข้านอนอย่างน้อย 30 นาที เพราะอุปกรณ์เหล่านี้มีแสงสีฟ้า (blue light) ซึ่งไปรบกวนกระบวนการนอนหลับ ส่งผลต่อจังหวะการหลับตื่น ทำให้นอนหลับไม่เพียงพอ (Chinvararak et al., 2018)

1.5 ควรหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารมื้อใหญ่ก่อนเวลาเข้านอนอย่างน้อย 3 ชั่วโมง และลดการดื่มน้ำ ในปริมาณมากหลังอาหารมื้อเย็น เพราะจะทำให้ปวดปัสสาวะในเวลากลางคืน ส่งผลต่อการหลับต่อเนื่อง (de Gans et al., 2025)

1.6 ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายหนักก่อนเวลาเข้านอน อย่างน้อย 4 ชั่วโมง แต่ออกกำลังกายเบา ๆ เช่น โยคะ หรือการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นต้น

1.7 ไม่ควรนอนหลับระหว่างวันเกิน 30 นาที เพราะการนอนกลางวันจะส่งผลต่อสมดุลการตื่นและการหลับ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการหลับในระยะต่าง ๆ พบว่า ระยะหลับลึกลดลง ใช้ระยะเวลาในการเริ่มหลับนานขึ้น ทำให้นอนหลับยากและรบกวนการนอนหลับต่อเนื่อง (Sleep Foundation, 2025)

2. พฤติกรรมที่ควรปฏิบัติ

2.1 การวางแผนการนอนหลับ จะช่วยให้ร่างกายนอนหลับได้เพียงพอ โดยการกำหนดเวลาเข้านอนและเวลาตื่นนอนให้สม่ำเสมอทั้งในวันหยุดและวันทำงาน เวลาที่แนะนำให้เข้านอนไม่ควรเกิน 4 ทุ่มของแต่ละคืน เพื่อนอนหลับได้อย่างเพียงพอคืนละ 7-9 ชั่วโมง (Balachandran, 2025)

2.2 ปฏิบัติกิจวัตรการนอนหลับที่สม่ำเสมอ โดยการทำกิจวัตรก่อนเข้านอนเหมือนเดิมทุกวัน เช่น การแปรงฟัน การสวมชุดนอน เป็นต้น เพื่อเป็นการส่งสัญญาณให้กับสมองและร่างกายว่าถึงเวลาเข้านอนแล้ว ควรเข้าห้องนอนก่อนถึงเวลานอน 30 นาที

2.3 ควรออกกำลังกายสม่ำเสมออย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที เพราะการออกกำลังกายช่วยเพิ่มการผลิตสารเอนดอร์ฟิน (endorphin) และช่วยปรับสมดุลของฮอร์โมน ช่วยลดความตึงเครียดของร่างกายและอารมณ์ ส่งผลดีต่อการนอนหลับ แต่ควรออกกำลังกายห่างจากเวลาเข้านอนอย่างน้อย 2 ชั่วโมง (Alnawwar et al., 2023)

2.4 พยายามให้ร่างกายรับแสงแดดให้เพียงพอในตอนเช้าอย่างน้อย 30 นาทีทุกวัน เนื่องจากแสงแดดเป็นตัวควบคุมนาฬิกาชีวิตที่สำคัญ ควรปฏิบัติติดต่อกันอย่างน้อย 4 สัปดาห์ จะช่วยให้หลับได้ดีขึ้น

2.5 จัดสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างบรรยากาศในห้องนอนให้เหมาะสม ควรเงียบไม่มีเสียงดังรบกวน อุณหภูมิในห้องควรอยู่ระหว่าง 15-19 องศาเซลเซียส ห้องนอนควรมืดสนิท ควรปิดไฟที่ไม่จำเป็น เพื่อป้องกันไม่ให้แสงรบกวนการหลั่งสารเมลาโทนิน ที่เป็นตัวช่วยให้นอนหลับดีขึ้น (Narongsak et al, 2020)

2.6 ทำกิจกรรมที่ช่วยผ่อนคลายร่าง กายก่อนนอน เช่น การอาบน้ำอุ่น การนั่งสมาธิ การสวดมนต์ การอ่านหนังสือ การเล่นโยคะนิทรา และการฟังเพลงจังหวะเบา ๆ ทำให้ร่างกายหลั่งสารเอ็นดอร์ฟิน (endorphin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนตามธรรมชาติที่ช่วยบรรเทาอาการปวด ลดความเครียด และปรับอารมณ์ให้ดีขึ้น รวมไปถึงการใช้น้ำมันหอมระเหยจากลาเวนเดอร์จะช่วยให้รู้สึกผ่อนคลายและช่วยให้การนอนหลับสบายขึ้น การดื่มนมอุ่น ๆ จะทำให้เกิดอาการง่วงและนอนหลับได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีสารแอลทริปโทแฟน (l-tryptophan) ที่กระตุ้นการหลั่งของสารซีโรโทนิน (serotonin) ทำให้รู้สึกผ่อนคลายและนอนหลับได้ง่ายขึ้น (Barhum, 2024)

2.7 ถ้าเข้านอนแล้วนอนไม่หลับภายในเวลา 15-30 นาที ไม่ควรฝืนนอนต่อ เพราะจะทำให้เกิดการกังวล ควรลุกจากที่นอน ไปทำกิจกรรมอื่น เช่น สวดมนต์ นั่งสมาธิ อ่านหนังสือ เป็นต้น และกลับมานอนเมื่อรู้สึกง่วงมากเท่านั้น

2.8 ใช้พื้นที่บนเตียงนอนไว้สำหรับนอนหลับและการมีเพศสัมพันธ์เท่านั้น ไม่ควรใช้ที่นอนหรือห้องนอนทำกิจกรรมอื่น เพื่อป้องกันการเรียนรู้เชื่อมโยงกับที่นอนกับการตื่นนอนและความรู้สึกกระวนกระวายเมื่อนอนไม่หลับ ทำให้นอนหลับไม่สนิท (Baglioni, 2020)

บทสรุป

การนอนหลับเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตสำหรับทุกคน โดยเฉพาะในวัยผู้ใหญ่ที่มีอายุระหว่าง 26-64 ปี ซึ่งเป็นวัยทำงานและเป็นกำลังสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ จึงต้องการการนอนหลับที่มีคุณภาพ เพราะมีบทบาทสำคัญต่อการฟื้นฟูร่างกายและจิตใจ มีการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในที่ทำงานและบนท้องถนน และการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง บุคคลในแต่ละวัยต้องการจำนวนเวลาการนอนหลับไม่เท่ากัน ในวัยผู้ใหญ่ควรนอนให้ได้ 7-9 ชั่วโมงต่อคืน แต่ผู้ที่ทำงานเป็นกะ (shift work) มีเวลานอนไม่เป็นเวลา ทำให้การนอนหลับไม่เพียงพอและไม่มีคุณภาพ ส่งผลกระทบต่อร่างกาย จิตใจและสังคม ทำให้คุณภาพชีวิตลดลง ผลกระทบในระยะสั้นจะส่งผลต่อการทำงานของการรู้คิดทันที ความสามารถในการแก้ปัญหา การเรียกคืนความจำ และการตัดสินใจลดลง ส่วนระยะยาวนำไปสู่การควบคุมอารมณ์ไม่ได้ ลดความสามารถในการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ รวมไปถึงการเพิ่มความเสี่ยงของโรคความเสื่อมประสาท ซึ่งการนอนหลับอย่างมีคุณภาพต้องครบวงจรทุกระยะของการหลับ ทั้งหลับตื้น หลับลึก และหลับฝัน เพราะทุกระยะมีความสัมพันธ์กัน ในช่วงหลับตื้นมีบทบาทในการผ่อนคลายร่างกายและจิตใจ เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับระยะการนอนที่ลึกขึ้น ช่วงหลับลึกมีความสำคัญต่อการฟื้นฟูร่างกายและการเจริญเติบโต ช่วงหลับฝัน มีบทบาทสำคัญในการประมวลผลข้อมูลและเสริมสร้างความจำ โดยนำประสบการณ์ต่าง ๆ มาจัดระบบและบันทึกลงในสมองส่วนความจำระยะยาว การได้รับการนอนหลับครบทุกช่วงอย่างสมดุลจึงมีความสำคัญ สำหรับผู้ใหญ่ควรเข้านอนและตื่นนอนเวลาเดิมทุกวัน สร้างบรรยากาศในห้องนอนให้เหมาะสมทั้ง แสงสว่าง เสียง อุณหภูมิและอุปกรณ์ในการนอนหลีกเลี่ยงคาเฟอีนและแอลกอฮอล์ งดการใช้เครื่องมือสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ก่อนนอน รวมไปถึงการส่งเสริมสุขอนามัยการนอนหลับ ดังนั้นทุกคนควรให้ความสำคัญกับการนอนหลับ เพื่อให้ร่างกายได้รับการพักผ่อนที่เพียงพอทุกคืน เพื่อตื่นขึ้นมาอย่างสดชื่นพร้อมรับมือกับความท้าทายในแต่ละวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับผู้ที่ต้องทำงานเป็นกะ หรือผู้ที่มีความเสี่ยงต่อคุณภาพการนอนที่ไม่ดี ควรได้รับการประเมินคุณภาพการนอนหลับด้วยแบบประเมิน (The Pittsburgh Sleep Quality Index: PSQI) ซึ่งสามารถประเมินแบบออนไลน์ หรือ จากหน่วยงานที่มีระบบการคัดกรอง sleep quality เช่น ศูนย์ตรวจการนอนหลับที่มีทีมแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านความผิดปกติของการนอนหลับ เพื่อหาสาเหตุและแนวทางการแก้ไข เนื่องจากปัญหาการนอนอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคอื่น ๆ ในปัจจุบันศูนย์ตรวจการนอนหลับมีเฉพาะในโรงพยาบาลของรัฐและเอกชนขนาดใหญ่บางแห่งซึ่งมีจำนวนจำกัด ดังนั้นหน่วยงานของรัฐควรพิจารณาจัดตั้งหน่วยคัดกรอง sleep qualityในโรงพยาบาลต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เพื่อการให้บริการที่ครอบคลุมและเพียงพอกับจำนวนผู้มีปัญหาการนอนหลับที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันมีอุปกรณ์ wearable technology ที่ช่วยประเมินการนอนหลับ ราคาไม่แพงและใช้งานง่าย เพียงแต่ขาดงานวิจัยที่จะช่วยสนับสนุนประสิทธิภาพและความแม่นยำ ในอนาคตอาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยให้ทุกคนมี sleep qualityที่ดี และส่งเสริมให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

References

Alnawwar, M. A., Alraddadi, M. I., Algethmi, R. A., Salem, G. A., Salem, M. A., & Alharbi, A. A. (2023). The effect of physical activity on sleep quality and sleep disorder: A systematic review. *Cureus, 15*(8), e43595. https://doi.org/10.7759/cureus.43595

Baglioni, C., Altena, E., Bjorvatn, B. et al. (2020). The European Academy for Cognitive Behavioural Therapy for Insomnia: An initiative of the European Insomnia Network to promote implementation and dissemination of treatment. *Journal of Sleep Research , 29*, e12967. https://doi.org/10.1111/jsr.12967

Balachandran, D. (2025). *13 healthy sleep habits*. Retrieved from https://www.mdanderson.org/cancerwise/healthy-sleep-habits.h00-159778812.html#:~:text=Most%20adults%20should%20try%20to%20get%20seven%20to,the%20morning%2C%

Barhum, L. (2024). *12 Sleep Hygiene Tips for a Better Night's Rest*. Retrieved from https://www.verywellhealth.com/sleep-hygiene-8717173

Belloir, J., Makarem, N., & Shechter, A. (2022). Sleep and circadian disturbance in cardiovascular risk. *Current Cardiology Reports, 24*(12), 2097–2107. https://doi.org/10.1007/s11886-022-01816-z

Besedovsky, L., Lange, T., & Haack, M. (2019). The sleep-immune crosstalk in health and disease. *Physiological Reviews, 99*(3), 1325-1380. https://doi.org/10.1152/physrev.00010.2018

Chinvararak, C., Tangwongchai, S., & Dumrongpiwat, N. (2018). Sleep quality and its associated factors in the elderly at Pracha Niwet Village. *Journal of the Psychiatric Association of Thailand, 63*(2), 199–210. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JPAT/article/view/131532

Daulatabad, V., & Gundeti, M. (2025). Systematic review: The impact of poor sleep quality on psychological and physical health. *Journal of Heart Valve Disease, 30*(7), 79-85. Retrieved from https://icr-heart.com/article/systematic-review-the-impact-of-poor-sleep-quality-on-psychological-and-physical-health-2444/

de Gans, C. J., Meewisse, A. J. G., van den Ende, E. S., van Zuylen, M. L., Nanayakkara, P. W. B., Hermanides, J., Stenvers, D. J., & WE Sleep Study Group (2025). The effects of sleep improving interventions in medical hospital wards: The WEsleep study - A randomized clinical trial. *European Journal of Internal Medicine, 139*, 106308. https://doi.org/10.1016/j.ejim.2025.04.015

Della Monica, C., Johnsen, S., Atzori, G., Groeger, J. A., & Dijk, D. J. (2018). Rapid eye movement sleep, sleep continuity and slow wave sleep as predictors of cognition, mood, and subjective sleep quality in healthy men and women, aged 20-84 years. *Frontiers in psychiatry, 9*, 255. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2018.00255

Garbarino, S., Lanteri, P., Bragazzi, N. L., Magnavita, N., & Scoditti, E. (2021). Role of sleep deprivation in immune-related disease risk and outcomes. *Communications Biology, 4*(1), 1304. https://doi.org/10.1038/s42003-021-02825-4

Gardiner, C., Weakley, J., Burke, LM., Roach, G.D, Sargent, C., Maniar, N., Townshend, A., & Halson, S. (2023). The effect of caffeine on subsequent sleep: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews, 69*, 101764. https://doi.org/10.1016/j.smrv.2023.101764.

Gardiner, C., Weakley, J., Burke, L. M., Roach, G. D., Sargent, C., Maniar, N., Huynh, M., Miller, D. J., Townshend, A., & Halson, S. L. (2025). The effect of alcohol on subsequent sleep-in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews, 80*, 102030. https://doi.org/10.1016/j.smrv.2024.102030

Gottesman, R. F., Lutsey, P. L., Benveniste, H., Brown, D. L., Full, K. M., & Lee, J. M. (2024). Impact of sleep disorders and disturbed sleep on brain health: A scientific statement from the american heart association. *Stroke, 55*(3), E61-E76. https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000453

Grzelak, Alicja. (2024). Managing blue light exposure: Impacts on sleep quality and circadian health. *Quality in Sport, 25*, 56741. https://doi.org/10.12775/QS.2024.25.56741.

Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., & Hillard, A. P. (2015). National sleep foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary. *Sleep Health, 1*(1), 40–43. Retrieved from https://fatiguemanagersnetwork.org/wp-content/uploads/Hirshkowitz-et-al.2015_National-Sleep-Foundations-Sleep-Time-Duration-Recommendations.pdf

Jyväkorpi, S. K., Urtamo, A., Kivimäki, M., & Strandberg, T. E. (2021). Associations of sleep quality, quantity and nutrition in oldest-old men The Helsinki Businessmen Study (HBS). *European geriatric medicine, 12*(1), 117–122. https://doi.org/10.1007/s41999-020-00421-z

Kittivoravitkul, P. (2025). Wearable technology: Wearable tech that is more than just fashion, a tool to improve sleep behavior. Retrieved from https://www.samitivejhospitals.com/th/article/detail/wearable-technology-sleep (in Thai)

Limpawattana, P., & Sawanyawisuth, K. (2018). *Aging syndrome and interesting health issues. 2*. Khon Kaen: Klungnana Vithaya Press. (in Thai)

Maiti, A. P. & Duari, P. (2025). The impact of sleep deprivation on mental health: A systematic review of psychological and cognitive consequences. *International Journal of Indian Psychology, 13*(2), 4273-4284. https://doi.org/10.25215/1302.377

Medic, G., Wille, M., & Hemels, M. E. (2017). Short-and long-term health consequences of sleep disruption. *Nature and Science of Sleep, 9*, 151-161. https://doi.org/10.2147/NSS.S134864

MedicineNet. (2020). *Sleep cycle: What happens when you sleep?* https://www.medicinenet.com/sleep_cycle_body_brain/article.htm?ecd=mnl_spc_071219

Memar, P., & Faradji, F. (2018). A novel multi-class EEG-Based Sleep Stage Classification System. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 26*(1), 84-95. https://doi.org/10.1109/TNSRE.2017.2776149

Miller, Christopher & Kyle, Simon & Melehan, Kerri & Bartlett, Delwyn. (2015). Chapter 4. methodology for the assessment of sleep. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417188-6.00004-9.

Narongsak, T., Sanguanvichaiku, T., & Trisithivanij, V. (2020). Sleep and sleep hygiene: Review article. *Journal of Somdet Chaopraya Institute of Psychiatry,14*(2), 69-85. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/journalsomdetchaopraya/article/view/243396/166582

Nelson, K. L., Davis, J. E., & Corbett, C. F. (2022). Sleep quality: An evolutionary concept analysis. *Nursing Forum, 57*(1), 144–151. https://doi.org/10.1111/nuf.12659

Nwaogu, J. M., Chan, A. P. C., Naslund, J. A., & Anwer, S. (2025). The Interplay Between Sleep and Safety Outcomes in the Workplace: A Scoping Review and Bibliographic Analysis of the Literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 22*(4), 533. https://doi.org/10.3390/ijerph22040533

Patel, A. K., Reddy, V., Shumway, K. R., & Araujo, J. F. (2024). *Physiology, sleep stages*. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526132/

Pereira, N., Naufel, M. F., Ribeiro, E. B., Tufik, S., & Hachul, H. (2020). Influence of dietary sources of melatonin on sleep quality: A review. *The Journal of Food Science, 85*(1), 5. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14952.

Pholsiripathom, S., & Triprateepsilp, N. (2023). Surprising reasons to get more sleep. Retrieved from https://www.gj.mahidol.ac.th/main/surprising-reasons-to-get-more-sleep/ (in Thai)

Sitasuwan, T., Bussaratid, S., Ruttanaumpawan, P., & Chotinaiwattarakul, W. (2014). Reliability and validity of the Thai version of the pittsburgh sleep quality index. *Journal of the Medical Association of Thailand, 97*(3), 57-67. Retrieved from https://www.thaiscience.info/journals/Article/JMAT/10905931.pdf

Sleep Foundation. (2025). *REM Sleep: What it is and why it's important*. Retrieved from https://www.sleepfoundation.org/stages-of-sleep/rem-sleep

Sleep Society of Thailand. (2025). *Clinical Recommendations for Diagnosis and Management of Insomnia in Thailand for Adults 2025. Beyond enterprise*. Retrieved from https://drive.google.com/file/d/1xEyOAv5Xx1OCJByLc1wDjYMcGiAjw8h-/view. (in Thai).

Thumcharoen, W., Chalernngam, N., & Chotedelok, Y. (2023). Factors affecting sleep quality of the elderly. *Suranaree Journal of Social Science, 17*(2), 1-19. https://doi.org/10.55766/sjss-2-2023-250683 (in Thai)

Ungvari, Z., Fekete, M., Varga, P., Fekete, J. T., Lehoczki, A., Buda, A., Szappanos, Á., Purebl, G., Ungvari, A., & Győrffy, B. (2025). Imbalanced sleep increases mortality risk by 14-34%: A meta-analysis. *GeroScience, 47*(3), 4545–4566. https://doi.org/10.1007/s11357-025-01592-y

Virunhagarun, T. (2025). *Sleep in the right way, good health throughout life*. Retrieved from https://bundanjaistatic.reeeed.com/book/cmbxunpn4taco07899vq3au3z/preview/9786161879495PDF.pdf?supportedpurview=project. (in Thai)

Williams, P. (2020). *Basic geriatric nursing* (7th ed.). Elsevier.

WHO Regional Office for Europe. (2018). *Environmental noise guidelines for the European region*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization Regional Office for Europe.

Wu, L., Chen, R., Zhang, Y., Pan, H., Wang, Y., & Wang, X. (2024). Sleep duration and mortality in patients with chronic noncommunicable disease: A population-based cohort study. *Environmental Health and Preventive Medicine, 29*, 9. https://doi.org/10.1265/ehpm.23-00249

Xu, H., Xia, Y., Li, X., Qian, Y., Zou, J., Fang, F., Yi, H., Wu, H., Guan, J., & Yin, S. (2020). Association between obstructive sleep apnea and lipid metabolism during REM and NREM sleep. *Journal of Clinical Sleep Medicine: JCSM: Official Publication of the American Academy of Sleep Medicine, 16*(4), 475–482. Retrieved from https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32003732/

การเพิ่มประสิทธิภาพด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
Enhancing Aerodynamic Efficiency to Reduce Environmental Impact

สุฐิต ห่วงสุวรรณ[1] เขมณัฏฐ์ อำนวยวรชัย[1]* สุกัญญา สมมณีดวง[1]
สุธาสินี รูปแก้ว[1] กมล น้อยทองเล็ก[1] และอนิรุทธิ์ ต่ายขาว[2]
Sutit Huangsuwan[1], Khemmanat Aumnuaworachai[1]*, Sukanya Sommaneedoung[1],
Suthasinee Roopkaew[1], Kamol Noithonglek[1] and Anirut Taikhao[2]
[1]คณะการบิน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Aviation, Eastern Asia University
[2]สำนักวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[2]Academic Office, Eastern Asia University
*Corresponding author: lalita@eau.ac.th
Received: February 21, 2025
Revised: June 4, 2025
Accepted: June 9, 2025

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการบินเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจโลก แต่ปัจจุบันยังต้องเผชิญกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เกี่ยวกับการพัฒนาอากาศพลศาสตร์ในอุตสาหกรรมการบิน โดยมุ่งเน้นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์ส่งผลทางบวกในการเพิ่มประสิทธิภาพของการบินและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการบินไปสู่เป้าหมาย Net Zero Emissions ภายในปี 2050

คำสำคัญ: อากาศพลศาสตร์ การบินที่ยั่งยืน ประสิทธิภาพการบิน ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Abstract

The aviation industry plays a crucial role in driving the global economy but currently faces environmental challenges from greenhouse gas emissions. This article presents an analysis of aerodynamic development in the aviation industry, focusing on the study of aerodynamic efficiency improvements to reduce environmental impact. The analysis results indicate that aerodynamic technology has positive effects on enhancing flight efficiency and reducing environmental impact, serving as a key driver for the aviation industry to achieve Net Zero Emissions targets by 2050.

Keyword: aerodynamics, sustainable aviation, flight efficiency, environmental impact

บทนำ

อุตสาหกรรมการบินเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจโลก โดยมีบทบาทหลักในการเชื่อมโยงประเทศต่าง ๆ ผ่านการขนส่งผู้โดยสารและสินค้า แม้ว่าในช่วงการระบาดของโควิด-19 อุตสาหกรรมการบินจะได้รับผลกระทบอย่างหนัก ส่งผลให้เกิดการขาดทุนสะสมกว่า 180 พันล้านดอลลาร์ในช่วงปี ค.ศ. 2020-2022 แต่ในปี ค.ศ. 2022 สถานการณ์เริ่มดีขึ้นเมื่อประเทศต่าง ๆ ทยอยผ่อนคลายหรือยกเลิกข้อจำกัดการเดินทาง ส่งผลให้ความต้องการเดินทางทางอากาศกลับมาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้ว่าจำนวนผู้โดยสารทั่วโลกจะยังไม่กลับสู่ระดับก่อนเกิดโรคระบาดอย่างเต็มที่ แต่คาดการณ์ว่าอุตสาหกรรมการบินจะฟื้นตัวอย่างสมบูรณ์ภายในปี ค.ศ. 2024-2025 (IATA, 2023)

การเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์ทั่วโลกได้ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนจากข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2018 - 2023 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ยกเว้นในช่วงวิกฤตการแพร่ระบาดของโควิด-19 ดังรายละเอียดแสดงในตาราง 1

นอกจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยตรง ยังมีมลพิษอื่น ๆ ที่มีปริมาณน้อยกว่าแต่มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ซึ่งประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) โดยสารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการก่อตัวของโอโซน (O_3) ในชั้นโทรโพสเฟียร์ และส่งผลต่อคุณภาพอากาศบริเวณสนามบินอย่างมาก ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_X) ที่ปล่อยออกมานั้นส่งผลโดยตรงต่อการก่อตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอนที่ไหม้ไม่หมด (UHCs) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้คุณภาพอากาศลดลง และอนุภาคเขม่า (soot) ที่สามารถเร่งการก่อตัวของไอน้ำควบแน่น (contrails) และเมฆเซอร์รัส (Cirrus Clouds) ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลกระทบทางตรงต่อภาวะโลกร้อนซึ่งแม้ว่าอุตสาหกรรมการบินจะคิดเป็นเพียง 2.5% ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ทั่วโลก แต่เมื่อรวมผลกระทบมลพิษต่าง ๆ แล้ว พบว่า มีส่วนทำให้เกิดภาวะโลกร้อนถึง ประมาณ 3.5–4% (Nelson & Reddy, 2017; Overton, 2022; Ritchie, 2024) และเป็นไปตามที่ International Civil Aviation Organization (ICAO) (2023) รายงานว่า การบินพาณิชย์มีส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 2-3 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของโลก และภายในปี ค.ศ. 2030 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3-4

จากประเด็นดังกล่าว ICAO ได้กำหนดเป้าหมายใหม่ภายใต้โครงการ Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation: CORSIA ที่จะ

ควบคุมปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสายการบินให้ไม่เกิน 85% ของระดับปี ค.ศ. 2019 เพื่อเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ระดับ Net Zero ภายในปี ค. ศ. 2050 ทั้งนี้ IATA (2023) จึงได้กำหนดแผนการดำเนินงานที่สำคัญเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยการพัฒนาเชื้อเพลิงการบินยั่งยืน (SAF) การวิจัยเทคโนโลยีอากาศยานใหม่ การปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน และการดำเนินโครงการชดเชยคาร์บอน โดยตั้งเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ภายในปี 2050

การเคลื่อนที่ของอากาศยานขึ้นอยู่กับหลักการของแรงสี่แรงในการบิน ได้แก่ แรงยก (lift) แรงต้าน (drag) แรงขับ (thrust) และแรงโน้มถ่วง (weight) ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของอากาศพลศาสตร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบิน เครื่องยนต์ต้องใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อสร้างแรงขับให้เพียงพอในการเอาชนะแรงต้าน ขณะเดียวกันต้องสร้างแรงยกมากพอเพื่อต้านแรงโน้มถ่วงของเครื่องบิน หากน้ำหนักเครื่องบินเพิ่มขึ้น จะต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการสร้างทั้งแรงขับและแรงยก ดังนั้นการบริหารจัดการแรงทั้งสี่อย่างสมดุลผ่านการออกแบบที่ลดแรงต้าน การใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา การจัดการน้ำหนักบรรทุกและเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบิน ลดการใช้พลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Luo, Eng, Tang, Ma, Su & Bugeda, 2024)

บทความนี้มุ่งเน้นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการบินไปสู่เป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ภายในปี 2050

ตาราง 1

ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์ทั่วโลก (ค.ศ.2018 – 2023)

ปี ค.ศ.	การปล่อย CO_2 (ล้านตันเมตริก)	ร้อยละเมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2019	หมายเหตุ	แหล่งอ้างอิง
2018	918	99.8	2.4% ของการปล่อย CO_2 จากเชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วโลกในปีเดียวกัน	Graver, Zhang & Rutherford, 2019
2019	920	100	ระดับสูงสุดก่อนโควิด-19	Overton, 2022
2020	495 - 600	50 - 65	ผลกระทบจากโควิด-19	Graver, Rutherford & Zheng, 2020
2021	650 - 700	70 - 76	เริ่มฟื้นตัว	International Energy Agency [IEA], 2023; Ukpanah, 2024
2022	800 - 850	87 - 92	ฟื้นตัวต่อเนื่อง	International Energy Agency [IEA], 2023
2023	900 - 950	98 - 103	เกือบกลับสู่ภาวะปกติ	International Energy Agency [IEA], 2023
				International Energy Agency [IEA], 2023

แรง 4 แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน

การเคลื่อนที่ของเครื่องบินในอากาศขึ้นอยู่กับแรง 4 แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics) ได้แก่ แรงยก (lift) แรงต้าน (drag) แรงขับ (thrust) และแรงโน้มถ่วง (weight) ดังภาพ 1 แรง 4 แรงนี้ต้องทำงานร่วมกันเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องบินในขณะบิน การทำความเข้าใจและบริหารจัดการสมดุลของแรง 4 แรง จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบอากาศยานที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

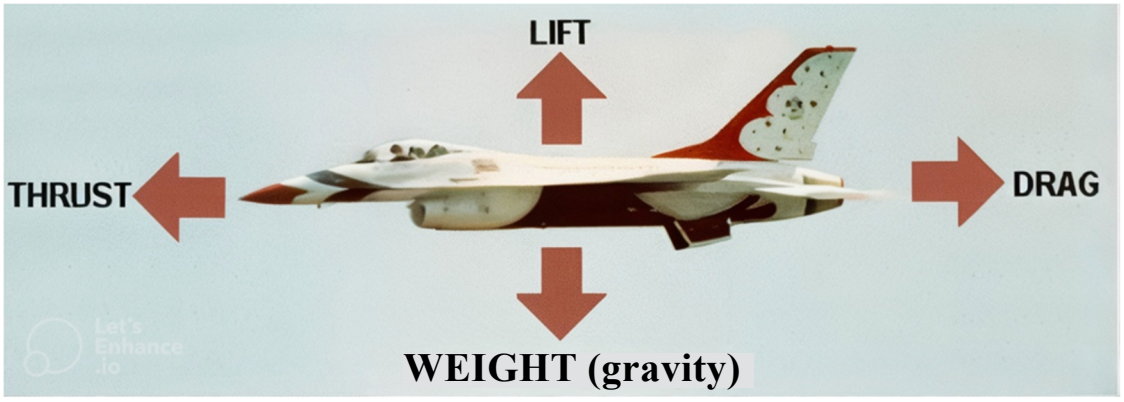
แรงยก (lift) เป็นแรงที่ทำให้เครื่องบินสามารถลอยอยู่ในอากาศได้ แม้ว่าจะมีน้ำหนักหลายสิบตัน ซึ่งเป็นแรงที่มีทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก แรงยกเกิดจากหลักการทางอากาศพลศาสตร์ของปีกเครื่องบิน โดยทั่วไปจะกระทำในทิศทางดันขึ้นใต้ท้องปีก หลักการทำงานของแรงยกเกิดจากอากาศที่ไหลผ่านปีกของเครื่องบิน ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดัน กล่าวคือ บริเวณด้านบนของปีกจะมีแรงดันอากาศต่ำ ขณะที่ด้านล่างของปีกจะมีแรงดันอากาศสูง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงยกขึ้น โดยเครื่องบินต้องได้รับการออกแบบรูปทรงแอร์ฟอยล์ของปีกให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถสร้างแรงยกได้เพียงพอสำหรับการบิน (Golovkin et al., 2018; Tasananakajit, 2019) ซึ่งหลักการของแรงยกสามารถอธิบายได้ตามแนวคิดสำคัญ 2 แนวคิด คือ (1) หลักการของแบร์นูลลี (Bernoulli's Principle) ที่ระบุว่า อากาศที่ไหลผ่านด้านบนของปีกต้องเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้ความดันอากาศลดลง ขณะที่อากาศด้านล่างเคลื่อนที่ช้ากว่าและมีความดันสูงกว่า ความแตกต่างของความดันนี้ทำให้เกิดแรงยก ดังภาพ 2 และ (2) กฎข้อที่ 3 ของนิวตัน (Newton's Third Law) คือ อากาศที่ถูกปีกเบี่ยงลงล่างจะสร้างแรงปฏิกิริยาในทิศขึ้นบน ส่งผลให้เกิดแรงยก (D M. Arif, n.d.)

แรงต้าน (Drag) เป็นแรงที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของเครื่องบินเมื่อผ่านอากาศ โดยมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของเครื่องบินเสมอ แรงต้านเป็นหนึ่งในแรงสำคัญที่มีผลต่อการบิน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) แรงต้านแบบพาราไซต์ (Parasite Drag) เกิดจากแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อพื้นผิวของเครื่องบิน ซึ่งรวมถึง แรงต้านจากความหนืดของอากาศ (skin friction drag) และแรงต้านจากความต้านทานรูปร่าง (form drag) ซึ่งเกิดจากการที่อากาศต้องไหลผ่านโครงสร้างของเครื่องบิน แรงต้านประเภทนี้สามารถลดลงได้โดยการออกแบบตัวเครื่องให้มีความเพรียวลมและใช้วัสดุที่มีผิวเรียบเพื่อลดแรงเสียดทาน และ (2) แรงต้านแบบอินดิวซ์ เกิดขึ้นเนื่องจากการสร้างแรงยกของปีกเครื่องบิน ซึ่งทำให้เกิดกระแสหมุนวนบริเวณปลายปีก เป็นสาเหตุหลักของแรงต้านขณะบิน วิธีลดแรงต้านประเภทนี้สามารถทำได้โดยการออกแบบปีกให้มีสัดส่วนที่เหมาะสม (high aspect ratio) หรือใช้ปีกแบบปลายงอน (winglets) เพื่อลดกระแสหมุนวนบริเวณปลายปีก แรงต้านส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบินของเครื่องบินโดยตรง หากแรงต้านเพิ่มขึ้น เครื่องบินต้องใช้แรงขับ (thrust) มากขึ้นเพื่อต่อสู้กับแรงนี้ ทำให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น (Golovkin et al., 2018; Raymer, 2018; Stephan et al., 2023)

แรงขับ (thrust) เป็นแรงที่ทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์กังหันก๊าซหรือใบพัดของอากาศยาน หลักการทำงานของแรงขับสามารถอธิบายได้ด้วยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน ซึ่งระบุว่าทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ในกรณีของเครื่องบิน เมื่อเครื่องยนต์ปล่อยก๊าซไอพ่นหรือดันอากาศไปทางด้านหลังหรือแรงกิริยา จะเกิดแรงปฏิกิริยาที่ผลักให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แรงขับนี้มีทิศทางตรงข้ามกับแรงต้านและขนานกับลำตัวของเครื่องบินเสมอ การควบคุมความเร็วของเครื่องบินขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับและแรงต้าน โดยเครื่องบินจะเริ่มเคลื่อนที่เมื่อแรงขับมีค่าเท่ากับแรงต้าน สำหรับการบินด้วยความเร็วคงที่ จำเป็นต้องควบคุมให้แรงขับและแรงต้านมีค่าเท่ากันตลอดเวลา หากต้องการเปลี่ยนแปลงความเร็ว นักบินจะต้องปรับกำลังของเครื่องยนต์ กล่าวคือ การลดความเร็วทำได้โดยลดกำลังเครื่องยนต์เพื่อให้แรงต้านมีค่ามากกว่าแรงขับ ในทางกลับกัน การเพิ่มความเร็วทำได้โดยเพิ่มกำลังเครื่องยนต์เพื่อให้แรงขับมีค่ามากกว่าแรงต้าน (Tasananakajit, 2019; Federal Aviation Administration,

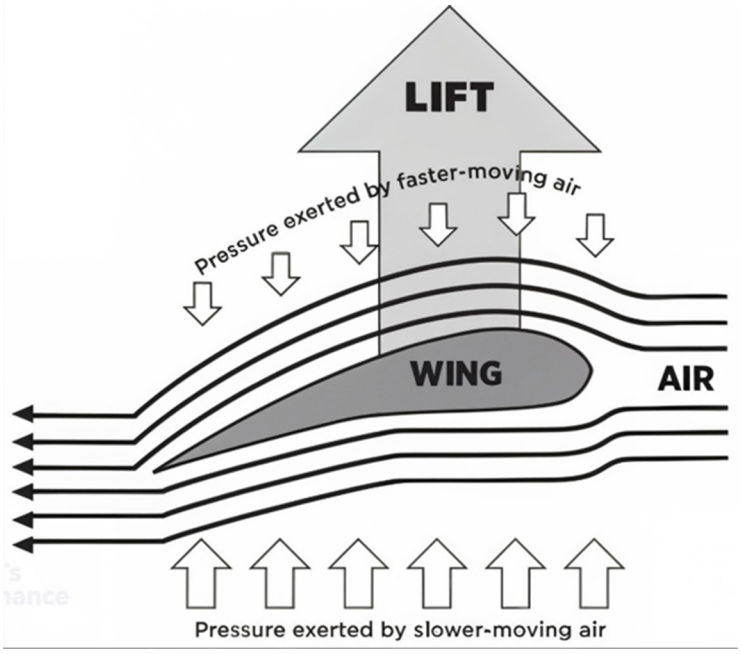
n.d.) ซึ่งแรงขับสำหรับเครื่องบินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) แรงขับจากเครื่องยนต์ไอพ่นและแรงขับจากใบพัด โดยเครื่องยนต์ไอพ่นใช้หลักการปล่อยไอพ่นออกจากเครื่องยนต์ที่ความเร็วสูง พบได้ในเครื่องบินพาณิชย์และเครื่องบินรบ (2) แรงขับจากใบพัดใช้เครื่องยนต์ลูกสูบหรือเทอร์โบพร็อปในการขับเคลื่อนใบพัดเพื่อดึงและผลักอากาศ มักพบในเครื่องบินขนาดเล็กและเครื่องบินโดยสารแบบใบพัด นอกจากนี้ การศึกษาวิจัยของ Usubamatov and Zhumaev (2018) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแรงต่าง ๆ เช่น แรงเฉื่อยและแรงไจโรสโคปิกที่ส่งผลต่อใบพัด ยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของใบพัดในงานอากาศยานอีกด้วย

แรงโน้มถ่วง (weight) เป็นแรงที่ดึงวัตถุทุกชนิดลงสู่ศูนย์กลางของโลก และในบริบทของการบิน แรงโน้มถ่วงจะทำหน้าที่เป็นแรงที่ต่อต้านแรงยก (lift) ของเครื่องบิน แรงโน้มถ่วงของเครื่องบินขึ้นอยู่กับมวลของเครื่องบินและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีค่าประมาณ 9.81 m/s^2 บนพื้นผิวโลก เครื่องบินต้องสร้างแรงยกที่เพียงพอจากปีกเพื่อเอาชนะแรงโน้มถ่วงและทำให้เครื่องบินสามารถบินอยู่ในอากาศได้ ซึ่งแรงโน้มถ่วง (weight) มีหลักการสำคัญที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบของแรงโน้มถ่วงต่อการบิน ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's Laws of Motion) และสมการแรงยกของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Lift Equation) (Washmuth, 2023) ซึ่งแรงโน้มถ่วงมีผลต่อแรงยกและแรงต้านที่กระทำต่อเครื่องบิน ซึ่งส่งผลต่อเส้นทางการบินและประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง การเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วง เช่น ในระหว่างการบินแบบพาราโบลา สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดการตอบสนองที่เร็วขึ้นหรือช้าลง ขึ้นอยู่กับสภาวะแรงโน้มถ่วง (Crevecoeur et al., 2014)



ภาพ 1 แรง 4 แรงของเครื่องบิน

Note. From "*Principles of flying*," by Thaitechniques.com, n.d. (https://www.thaitechnics.com/fly/principle_t.html) Copyright by Thai Technics.Com



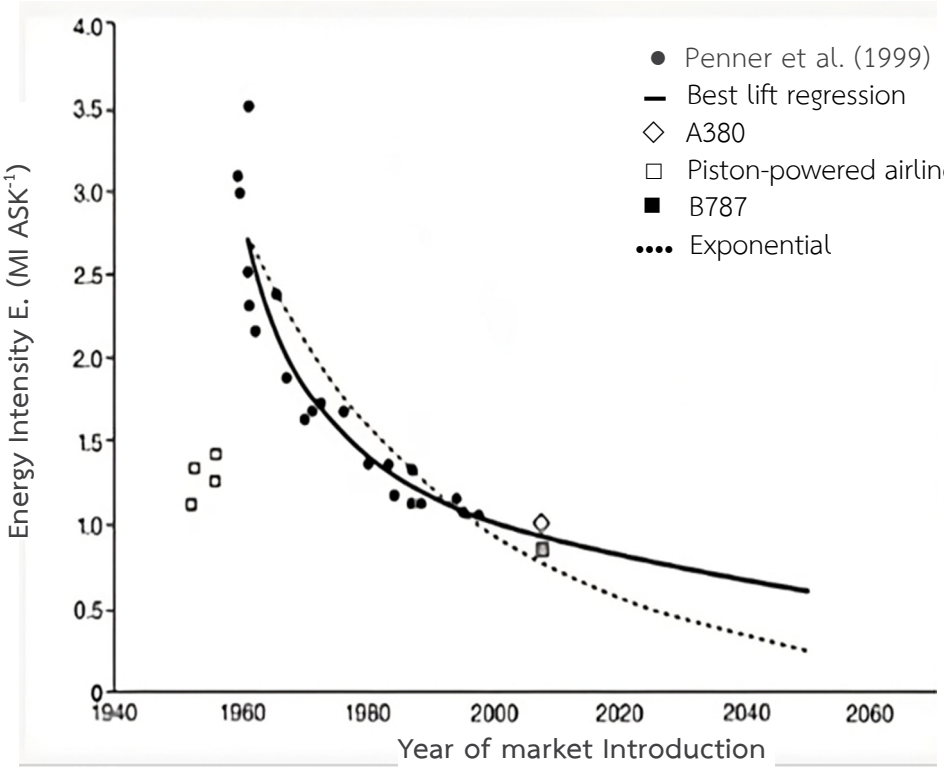
ภาพ 2 แรงยกตามหลักการของแบร์นูลลี

Note. From "*Science World Resources: Lift*," by Science World, 2015 (https://www.scienceworld.ca/stories/science-world-resources-lift/) Copyright 2015 by Science World

การพัฒนาอากาศพลศาสตร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบิน

อุตสาหกรรมการบินในปัจจุบันต้องประสบกับปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แม้ว่าความต้องการการเดินทางทางอากาศจะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ภาคการบินจำเป็นต้องพัฒนาแนวทางที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้ประสิทธิภาพ ซึ่งหนึ่งในแนวทางหลักคือการบูรณาการพัฒนาอากาศพลศาสตร์ร่วมกับเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบินและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการปรับปรุงทางเทคโนโลยีส่วนใหญ่ที่มุ่งเน้นการลดการใช้เชื้อเพลิงจะเน้นไปที่น้ำหนักโครงสร้าง อากาศพลศาสตร์ หรือประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ การลดน้ำหนักโครงสร้างของอากาศยานและการลดแรงต้านเพื่อเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน ล้วนช่วยลดกำลังการขับเคลื่อนและการใช้เชื้อเพลิง ขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์ช่วยลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สำหรับการบิน (Bows-Larkin, 2014; Agarwal, Collier, Schäfer & Seabridge, 2016)

อย่างไรก็ตามการพัฒนาเหล่านี้กำลังประสบปัญหากับข้อจำกัดด้านผลตอบแทนที่ลดลง (Diminishing Returns) ซึ่งเกิดจากการที่เทคโนโลยีในภาคการบินเริ่มเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว กล่าวคือ แม้จะมีการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติม ผลที่ได้กลับลดลงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มในภาพ 3 ที่แสดงถึง ความหนาแน่นของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการบินตั้งแต่การเริ่มต้นของอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์จนถึงการคาดการณ์ในปี ค.ศ. 2050 โดยเส้นถดถอยแบบ best-fit ชี้ให้เห็นว่า อัตราการปรับปรุงประสิทธิภาพเชื้อเพลิงของอากาศยานมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทคโนโลยีเข้าสู่ช่วงที่มีความซับซ้อนและข้อจำกัดเพิ่มขึ้น (Peeters, Williams & Haan, 2009; Agarwal et al., 2016)



ภาพ 3 แนวโน้มความหนาแน่นของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการบินตั้งแต่การเริ่มต้นของอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์จนถึงการคาดการณ์ในปี ค.ศ. 2050

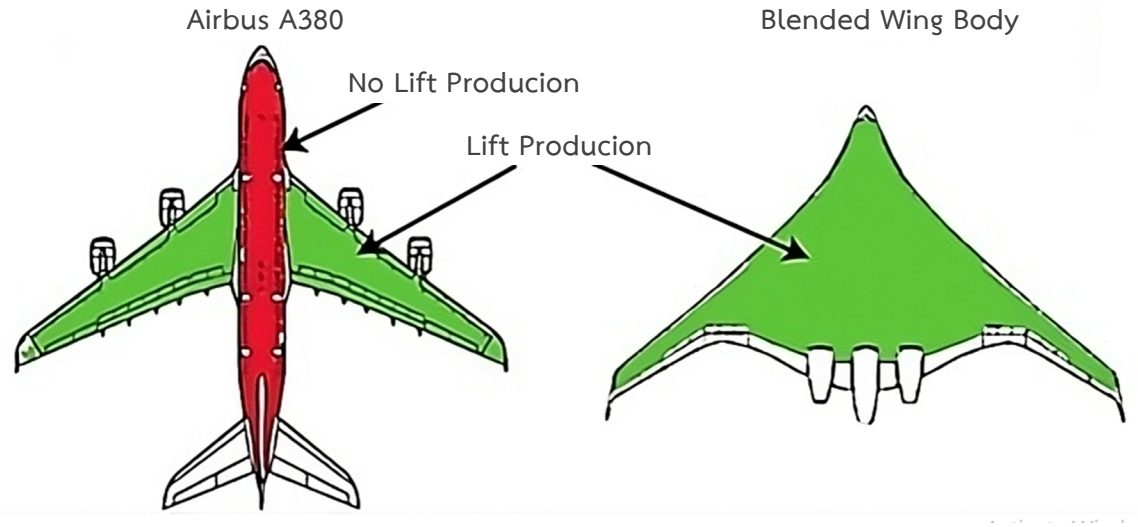
Note. From *Green aviation* (p. 7), by R. Agarwal, F. Collier, A. Schäfe and A. Seabridge, 2016. Copyright 2016 by Wiley

แม้ว่าเครื่องบินรุ่นใหม่จะมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรุ่นเดิม แต่ความท้าทายที่สำคัญ คือ การเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีดังกล่าวมีแนวโน้มว่าจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ภายในระยะเวลาที่สอดคล้องกับเป้าหมายด้านการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาในด้านอากาศพลศาสตร์จึงจำเป็นต้องมุ่งเน้นการบูรณาการเทคโนโลยีจากหลากหลายแนวทางอย่างเป็นระบบ เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีนัยสำคัญต่อการลดการใช้พลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยแนวทางหลักของการพัฒนาเหล่านี้สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) การออกแบบปีกให้มีประสิทธิภาพสูง (2) การพัฒนาวัสดุศาสตร์และโครงสร้างอากาศยาน และ (3) การปรับปรุงระบบขับเคลื่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การออกแบบปีกให้มีประสิทธิภาพสูง

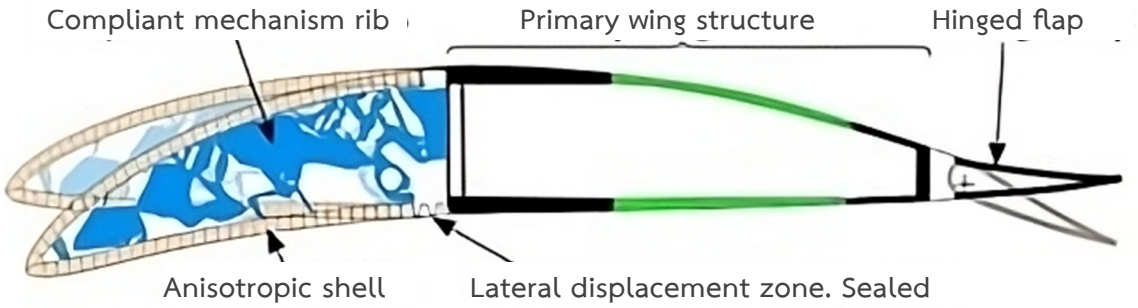
การออกแบบปีกเครื่องบินเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพอากาศพลศาสตร์ เทคโนโลยี Blended Wing-Body: BWB เป็นนวัตกรรมที่โดดเด่นซึ่งผสมผสานปีกเข้ากับลำตัวเครื่องบินอย่างลงตัว โดยไม่มีจุดแยกที่ชัดเจนระหว่างปีกกับลำตัว ทำให้เกิดรูปทรงที่เหมือนสามเหลี่ยมบินขนาดใหญ่ ดังแสดงภาพ 4 การออกแบบลักษณะดังกล่าวช่วยกระจายแรงยกไปทั่วพื้นผิวทั้งหมด ลดการก่อตัวของ wingtip vortices ที่เป็นสาเหตุหลักของแรงต้านเหนี่ยวนำ นอกจากนี้ พื้นผิวที่ใหญ่ขึ้นช่วยกระจายน้ำหนักและสร้างแรงยกได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ขณะที่การผสมผสานโครงสร้างลดพื้นผิวรวมที่สัมผัสอากาศ ส่งผลให้แรงต้านแบบพาราไซต์ลดลง จากการศึกษาของ Marino and Sabatini (2014) พบว่า BWB สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงได้ 15-20% เมื่อเทียบกับเครื่องบินแบบดั้งเดิม และเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้านได้ถึง 25%

เทคโนโลยี Morphing Wing เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการบิน โดยช่วยให้ปีกเครื่องบินสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ตามสภาวะการบินที่แตกต่างกัน การปรับความยาว ความกว้าง มุมโค้ง หรือมุมกวาดของปีกตามเงื่อนไขการบิน ทำให้ปีกสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกระยะของการบิน ในระหว่างขึ้น-ลง ปีกจะปรับเป็นรูปร่างที่เหมาะสำหรับสร้างแรงยกสูงสุด และลดแรงต้านในช่วงบินระดับ (cruise) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนรูปร่างยังช่วยป้องกันการแยกตัวของกระแสอากาศ ดังภาพ 5 ทำให้การไหลเป็นไปอย่างราบรื่น การทำงานของระบบประกอบด้วยสองโหมดหลัก ได้แก่ โหมดปรับความโค้งของ Flap โดยรวม เพื่อเพิ่มแรงยก และโหมดควบคุมปลาย Flap เพื่อควบคุมโหลดและการทรงตัวของเครื่องบิน โดยระบบได้รับการออกแบบให้ปลอดภัย ส่งผลให้เทคโนโลยีนี้มีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการบิน ลดการใช้พลังงาน และสนับสนุนการพัฒนาอากาศยานที่ยั่งยืนในอนาคต (Pecora, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Dong and Arief (2025) แสดงให้เห็นว่า Morphing Wing สามารถเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้านได้ 25% และเพิ่มความสามารถในการควบคุมได้ถึง 40%



ภาพ 4 การเปรียบเทียบการสร้างแรงยกของเครื่องบินแบบ Airbus 380 และ Blended Wing-Body

Note. From “Advanced lightweight aircraft design configurations for green operations,” by M. Marino and R. Sabatini, 2014, *Conference: Practical Responses to Climate Change (PRCC) 2014. Engineers Australia Convention 2014 At: Melbourne, Australia*. Copyright 2014 by Engineers Australia



ภาพ 5 โครงสร้างของ Morphing Wing

Note. From “*Aerodynamic design of a morphing wing sailplane*,” by J. Achleitner, K. Rohde-Brandenburger, P. Rogalla von Bieberstein, F. Sturm and M. Hornung, 2019, https://doi.org/10.2514/6.2019-2816

นอกจากนี้เทคโนโลยี Active Flow Control: AFC เป็นระบบที่ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยในการควบคุมการไหลของอากาศรอบปีกเครื่องบิน โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์ของอากาศยาน เทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยเทคนิคหลากหลาย เช่น Synthetic Jets ซึ่งทำหน้าที่สร้างกระแสอากาศขนาดเล็กในตำแหน่งสำคัญบนผิวปีก เพื่อเติมพลังงานให้กับชั้นขอบของการไหล (boundary layer) และป้องกันการแยกตัวของกระแสอากาศ อีกเทคนิคหนึ่ง คือ Laminar Flow Control ซึ่งมุ่งควบคุมให้การไหลของอากาศบนผิวปีกมีลักษณะเรียบที่สุด เพื่อลดแรงเสียดทานและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ส่วน Circulation Control เป็นเทคนิคที่เป่าอากาศออกจากช่องรอยแยกบนปีก เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนของอากาศบริเวณขอบปีก ทำให้แรงยกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Salunkhe, Wu and Tang (2020) พบว่า การใช้ Slotted Synthetic Jets สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์แรงยกได้ถึง 35.6% และลดแรงต้านได้ 33%

1. การพัฒนาวัสดุศาสตร์และโครงสร้างอากาศยาน

การพัฒนาวัสดุศาสตร์มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการบินและลดผลกระทบต่อโลกหนึ่งในตัวอย่างสำคัญ คือ การออกแบบและพัฒนาเครื่องบิน Boeing 787 Dreamliner ซึ่งถือเป็นจุดเปลี่ยนของการนำวัสดุศาสตร์ขั้นสูงมาใช้ในอุตสาหกรรมการบินอย่างเป็นระบบ โดย Boeing 787 Dreamliner การใช้วัสดุผสมขั้นสูงเป็นนวัตกรรมที่ได้รับการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการบิน โดยเฉพาะพลาสติกเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber Reinforced Plastic :CFRP) ในสัดส่วนที่สูงถึง 50% ของน้ำหนักเครื่องบินและ 80% ของปริมาตรส่งผลให้น้ำหนักรวมของเครื่องบินลดลงอย่างมาก น้ำหนักที่เบาลงนี้เป็นปัจจัยหลักที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งโดยตรงหมายถึง การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษอื่น ๆ ลดลง นอกจากนี้การที่วัสดุผสมมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน และลดความจำเป็นในการบำรุงรักษาบ่อยครั้งเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียม ยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการซ่อมบำรุงตลอดวงจรชีวิตของเครื่องบิน (Ramakrishnan, 2024)

การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (additive manufacturing) ถือเป็นหนึ่งในเทคนิคการผลิตสมัยใหม่ที่มีบทบาทสำคัญต่อการออกแบบและพัฒนาอากาศยานให้มีน้ำหนักเบาลง ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานอย่างรอบด้าน เทคนิคนี้เป็นแนวทางสำคัญในการสร้างชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนสูงและมีโครงสร้างน้ำหนักเบา โดยสามารถผลิตชิ้นงานจากวัสดุผสมหรือวัสดุหลายชนิดได้ภายในชิ้นเดียว ทำให้ลดการใช้วัสดุส่วนเกิน เพิ่มความแข็งแรงในบริเวณที่จำเป็น และลดน้ำหนักรวมของโครงสร้างอากาศยานได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนำไปสู่การลดการใช้พลังงาน เพิ่มระยะทางการบิน และสนับสนุนเป้าหมายด้านความยั่งยืนและการลดการปล่อยมลพิษในอุตสาหกรรมการบินในอนาคต (Kumar & Bairwa, 2023) อย่างไรก็ตาม Luo (2024) ได้แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าวัสดุน้ำหนักเบาจะช่วยลดน้ำหนักของเครื่องบิน แต่ก็อาจทำให้ความแข็งของโครงสร้างลดลงและเกิด Vibration และ Aeroelastic Effects เพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องพัฒนากลยุทธ์การควบคุมขั้นสูง ที่สามารถลดผลกระทบจากการออกแบบน้ำหนักเบาและรักษาเสถียรภาพของอากาศยาน ซึ่งรวมถึงการใช้ Active Vibration Control Systems เพื่อลดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการบิน และ Adaptive Control Algorithms ที่สามารถปรับพารามิเตอร์แบบเรียลไทม์ให้เหมาะสมกับสภาวะการบินและโครงสร้างอากาศยาน การบูรณาการแนวทางเหล่านี้จะช่วยให้สามารถใช้วัสดุน้ำหนักเบาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่กระทบต่อความแข็งแรงและเสถียรภาพของอากาศยาน

2. การปรับปรุงระบบขับเคลื่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ด้านระบบขับเคลื่อนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอากาศยานสมัยใหม่มุ่งเน้นการผสมผสานเทคโนโลยีที่ทันสมัย โดยเฉพาะการบูรณาการระบบ Hybrid-Electric Propulsion ร่วมกับเทคโนโลยี Boundary Layer Ingestion: BLI ซึ่งเป็นแนวคิดที่ช่วยลดแรงต้านและเพิ่มประสิทธิภาพแรงขับ เทคโนโลยีนี้ช่วยให้อากาศยานสามารถลดการใช้เชื้อเพลิง ปรับปรุงสมรรถนะด้านอากาศพลศาสตร์ และเพิ่มความยั่งยืนของระบบขับเคลื่อน จากการศึกษาของ Bilyaz and Perçin (2024) พบว่า ระบบ BLI สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 15% เมื่อเทียบกับระบบดั้งเดิม เนื่องจากการนำอากาศจาก boundary

layer ซึ่งมีความเร็วต่ำกว่ามวลอากาศโดยรอบ มาใช้ในการสร้างแรงขับ ซึ่งวิธีนี้ช่วยให้เครื่องยนต์ต้องใช้พลังงานน้อยลงในการเร่งอากาศเข้าสู่ระบบ ส่งผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนของอากาศยาน นอกจากนี้ Lengyel-Kampmann, Charroin and Meyer (2024) ยังพบว่า BLI สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อน ส่งผลให้ลดการใช้เชื้อเพลิงและปรับปรุงสมรรถนะโดยรวมของอากาศยาน นอกจากนี้มีการศึกษาการนำ BLI ไปใช้กับอากาศยานที่มีการออกแบบ Blended Wing-Body: BWB ยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการลงจอด เนื่องจากสามารถควบคุมแรงขับได้อย่างแม่นยำโดยไม่จำเป็นต้องปรับความเร็วรอบของใบพัด ซึ่งช่วยลดความไม่แน่นอนระหว่างการลงจอด (Yu, Tao & Tang, 2024)

เทคโนโลยี Distributed Electric Propulsion : DEP หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาเพื่อตอบสนองความท้าทายเหล่านี้ DEP คือ ระบบขับเคลื่อนที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กหลายตัว ติดตั้งกระจายอยู่ตามโครงสร้างของอากาศยาน เช่น ปีกหรือลำตัว ซึ่งต่างจากเครื่องบินทั่วไปที่มักพึ่งพาเครื่องยนต์ขนาดใหญ่เพียงไม่กี่ตัว ระบบ DEP ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอากาศยานในหลายด้าน เริ่มจากการเพิ่มแรงยก (lift) โดยเฉพาะช่วงวิ่งขึ้นและลงจอด ซึ่งสามารถใช้ปรากฏการณ์ “Blown Wing” ที่แรงลมจากใบพัดช่วยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศเหนือปีก ทำให้เครื่องบินสามารถวิ่งขึ้นบนรันเวย์ที่สั้นลงได้อย่างปลอดภัย (Nagel, 2025) และสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ไฟฟ้า งานวิจัยในวารสาร Sustainability รายงานว่า อากาศยานที่ใช้ DEP ร่วมกับระบบขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Zhang, Roumeliotis & Zolotas, 2022)

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประสิทธิภาพการบิน

การพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์ในปัจจุบันทำให้ส่งผลกระทบด้านบวก นั่นคือ การเพิ่มประสิทธิภาพด้านการบินและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถจำแนกผลกระทบที่สำคัญได้ 3 ด้านหลัก ดังนี้

1. การลดการใช้เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในต้นทุนที่สำคัญของอุตสาหกรรมการบิน และเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการศึกษาของ Wen (2024) ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีการออกแบบ Laminar Flow Control เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการบินสมัยใหม่ เป็นการประยุกต์แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการควบคุมการไหลของอากาศบนผิวปีกเครื่องบิน โดยเทคโนโลยีนี้ทำงานโดยการดูดอากาศผ่านรูเล็ก ๆ บนผิวปีก เพื่อรักษาลักษณะการไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow) ซึ่งเป็นการไหลที่เรียบและมีระเบียบ แทนการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ที่สร้างแรงต้านมากกว่า ผลลัพธ์ที่ได้คือการลดแรงต้านแบบ Viscous Drag ได้ถึง 60% และสามารถลดแรงต้านรวมของเครื่องบินได้ถึง 30% สิ่งที่น่าสนใจของเทคโนโลยี LFC คือ ไม่เพียงแต่ช่วยลดแรงต้าน แต่ยังช่วยรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพของแรงยกอีกด้วย การไหลแบบลามินาร์บริเวณชั้นขอบ (boundary layer) ช่วยให้การไหลของอากาศเหนือปีกมีเสถียรภาพมากขึ้น ส่งผลให้สามารถรักษาแรงยกไว้ได้ดีกว่าการไหลแบบปั่นป่วน นอกจากนี้ เมื่อแรงต้านลดลง เครื่องยนต์จึงต้องผลิตแรงขับน้อยลงเพื่อรักษาความเร็วการบิน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการประหยัดเชื้อเพลิง นอกจากนี้ ระบบขับเคลื่อนแบบ Boundary Layer Ingesting: BLI ยังช่วยประหยัดพลังงานได้ประมาณ 15% (Bilyaz & Perçin, 2024)

2. การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพัฒนาระบบขับเคลื่อนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอากาศยานสมัยใหม่มุ่งเน้นการผสมผสานเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น ระบบ Boundary Layer Ingestion: BLI เป็นหนึ่งในนวัตกรรมที่โดดเด่น โดยมีการทำงานผ่านการนำอากาศจากชั้น Boundary Layer การศึกษาของ Bilyaz and Perçin (2024) พบว่า ระบบนี้สามารถประหยัดพลังงานได้ 15% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบขับเคลื่อนแบบดั้งเดิมส่งผลให้การใช้เชื้อเพลิงลดลงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามไปด้วย ไม่เพียงแต่เท่านั้น ระบบ BLI ยังช่วยลดการปล่อยมลพิษในรูปแบบอื่น ๆ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคเขม่า ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพของมนุษย์ นอกจากนี้ การ

ศึกษาของ Lengyel-Kampmann et al. (2024) ยังพบว่า ระบบ BLI ช่วยปรับปรุงสมรรถนะโดยรวมของอากาศยาน และเพิ่มเสถียรภาพในการลงจอด ขณะเดียวกันระบบ Distributed Electric Propulsion: DEP ได้ปฏิวัติแนวคิดการขับเคลื่อนอากาศยานด้วยการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กหลายตัวที่กระจายตัวตามโครงสร้างของเครื่องบิน แทนการพึ่งพาเครื่องยนต์ขนาดใหญ่เพียงไม่กี่ตัว การศึกษาของ Zhang et al. (2022) พบว่า DEP ร่วมกับระบบขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ เทคโนโลยีนี้ไม่เพียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างแรงยกในช่วงวิ่งขึ้นและลงจอด ซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องบินปล่อยมลพิษมากที่สุด แต่ยังเปิดโอกาสให้ใช้พลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ไฟฟ้า ตามที่ Nagel (2025) ระบุว่า เทคโนโลยีนี้ช่วยให้เครื่องบินสามารถวิ่งขึ้นบนรันเวย์ที่สั้นลงได้อย่างปลอดภัย เมื่อนำมาใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานสะอาด ระบบ DEP สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เกือบ 100% ในบางช่วงการบิน

3. การเพิ่มประสิทธิภาพการบิน การพัฒนาอากาศพลศาสตร์นอกเหนือลดการใช้พลังงาน และยังช่วยเพิ่มสมรรถนะของอากาศยานและเพิ่มประสิทธิภาพการบินมากขึ้น จากการศึกษาของ Dong and Arief (2025) เทคโนโลยี Morphing Wing เทคโนโลยีนี้สามารถเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน (Lift-to-Drag Ratio) ได้ 25% ทำให้เพิ่มความสามารถในการควบคุมถึง 40% และการพัฒนาระบบขับเคลื่อนแบบ Hybrid-Electric Propulsion ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบินโดยการเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน (lift-to-drag ratio) และค่าสัมประสิทธิ์แรงยก (lift coefficient) เทคโนโลยีเหล่านี้มีส่วนช่วยลดเสียงรบกวนและมลพิษ ซึ่งช่วยในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และบรรเทาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการบิน (Shi, Zhou & Wu, 2021)

นอกเหนือจากพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์ การผสมผสานการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก (alternative fuels) เช่น Sustainable Aviation Fuel: SAF เชื้อเพลิงไฮโดรเจน และระบบนำทางขั้นสูง (Advanced Navigation Systems) มีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบของอุตสาหกรรมการบินต่อสิ่งแวดล้อม (Budd & Budd, 2013) การพัฒนาและบูรณาการเทคโนโลยีเหล่านี้จะเป็นกุญแจสำคัญในการทำให้อุตสาหกรรมการบินก้าวไปสู่ “Net Zero Emissions” ภายในปี ค.ศ. 2050 และเป็นก้าวสำคัญในการสร้างอนาคตที่ยั่งยืนสำหรับการขนส่งทางอากาศ

แนวโน้มและข้อจำกัดการพัฒนาอากาศพลศาสตร์เพื่อการบินที่ยั่งยืน

การพัฒนาอากาศพลศาสตร์เพื่อการบินที่ยั่งยืนเป็นเรื่องที่สำคัญในการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมการบิน หนึ่งในแนวโน้มสำคัญคือการใช้แนวคิด การออกแบบหลายสาขาวิชาแบบบูรณาการ (Multidisciplinary Design Optimization: MDO) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบินในหลายด้าน รวมถึงอากาศพลศาสตร์ โครงสร้างเครื่องบิน ระบบขับเคลื่อน และวงจรชีวิตของเครื่องบิน ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องบินที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและไฮโดรเจน (Pustina, Blandino, Ciottoli & Mastroddi, 2023) แนวทางนี้สามารถช่วยลดแรงต้านอากาศและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อน อย่างไรก็ตามการพัฒนาการบินที่ยั่งยืนกำลังเผชิญกับข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับอากาศพลศาสตร์ โดยเฉพาะการออกแบบปีกและประสิทธิภาพอากาศพลศาสตร์ เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบิน อัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน (lift-to-drag ratio) มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องบินอย่างมาก งานวิจัยของ Luo (2024) พบว่า NACA 4412 เป็นแอร์ฟอยล์ที่ช่วยลดแรงต้านและเพิ่มประสิทธิภาพการบินได้ดี ในขณะที่ NACA 0012 ช่วยให้เครื่องบินมีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์ในช่วงความเร็วสูง นอกเหนือจากนี้การเปลี่ยนผ่านการใช้เชื้อเพลิงแบบดั้งเดิมไปสู่การใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน เนื่องจากไฮโดรเจนมีความหนาแน่นพลังงานต่อปริมาตรต่ำกว่าเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม การใช้ไฮโดรเจนในรูปแบบแก๊สอาจเพิ่มแรงต้านถึงกว่า 67% เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงทั่วไป (Zhang, Lee & Qiao, 2023) ในขณะที่เชื้อเพลิงอากาศยานหมุนเวียน (RJF) ก็ประสบปัญหาด้านความยั่งยืนในแง่ของความพร้อมใช้ของทรัพยากร (Chong & Ng, 2023)

แม้ความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์และการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกช่วยส่งเสริมการบินที่ยั่งยืน แต่ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญทั้งด้านต้นทุนโครงสร้างพื้นฐาน ความทนทานของวัสดุน้ำหนักเบา และข้อจำกัดด้านพลังงาน เพื่อให้การเปลี่ยนผ่านไปสู่การบินที่ใช้พลังงานสะอาดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นโยบายสนับสนุนและโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม จะเป็นกุญแจสำคัญในการผลักดันอุตสาหกรรมการบินไปสู่ “Net Zero Emissions” ภายในปี ค.ศ. 2050 ดังนั้นความร่วมมือระหว่าง รัฐบาล อุตสาหกรรมการบิน และหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้การพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์สามารถนำมาใช้อย่างแพร่หลายและยั่งยืนในอนาคต

สรุป

แรง 4 แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน ได้แก่ แรงยก (lift) แรงต้าน (drag) แรงขับ (thrust) และแรงโน้มถ่วง (weight) เป็นพื้นฐานสำคัญของอากาศพลศาสตร์ ซึ่งแรงเหล่านี้ต้องมีความสมดุลเพื่อให้เครื่องบินสามารถบินได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย การทำความเข้าใจเกี่ยวกับแรงทั้งสี่ ได้แก่ แรงยกช่วยให้การออกแบบปีกของเครื่องบินให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อลดแรงต้าน ในขณะที่การพัฒนาเครื่องยนต์และระบบขับเคลื่อนสามารถช่วยเพิ่มแรงขับเพื่อลดการใช้พลังงานและเชื้อเพลิง เทคโนโลยีด้านอากาศพลศาสตร์ที่ทันสมัย ได้แก่ การออกแบบปีกแบบ Blended Wing-Body: BWB การใช้วัสดุน้ำหนักเบา และระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า มีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพการบิน แนวโน้มของอุตสาหกรรมการบินกำลังก้าวเข้าสู่ยุคของการพัฒนาเครื่องบินที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษ เทคโนโลยีการพัฒนาอากาศพลศาสตร์ ได้แก่ Sustainable Aviation Fuel: SAF Hybrid-Electric Propulsion และการออกแบบเทคโนโลยีต่าง ๆ จะเป็นกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการบินไปสู่เป้าหมาย “Net Zero Emissions” ภายในปี ค.ศ. 2050 ดังนั้น ความก้าวหน้าทางด้านอากาศพลศาสตร์ไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบินเท่านั้น แต่ยังเป็นแนวทางสำคัญในการทำให้อุตสาหกรรมการบินยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

References

Arif, D. M. (n.d.). *Ch03-Physics for aviation*. Retrieve from https://www.academia.edu/34115617/Ch03_Physics_for_Aviation

Achleitner, J., Rohde-Brandenburger, K., Rogalla von Bieberstein, P., Sturm, F., & Hornung, M. (2019). Aerodynamic design of a morphing wing sailplane. *AIAA Aviation 2019 Forum, Dallas, Texas*. Texas: American Institute of Aeronautics and Astronautics

Agarwal, R., Collier, F., Schäfer, A., & Seabridge, A. (2016). *Green aviation*. USA: Wiley & Sons, Inc.

Bilyaz, I. S., & Percin, Ö. B. (2024). *Aerodynamic measurements and benefit quantification of a boundary layer ingested propulsion system. AIAA 2024-1199, Embedded Inlets and Fan Distortion Effects*. Retrieved from https://doi.org/10.2514/6.2024-1199

Bows-Larkin, A. (2014). All adrift: Aviation, shipping and climate change policy. *Climate Policy, 15*(6), 681–702. https://doi.org/10.1080/14693062.2014.965125

Budd, L., & Budd, T. (2013). *Environmental technology and the future of flight. In Sustainable aviation futures (Transport and sustainability Vol. 4). Emerald Group Publishing Limited*. Retrieved from https://doi.org/10.1108/S2044-9941(2013)0000004004

Chong, C. T., & Ng, J. H. (2023). Limitations to sustainable renewable jet fuels production attributed to cost than energy-water-food resource availability. *Nat Commun, 14*, 8156. https://doi.org/10.1038/s41467-023-44049-6

Crevecoeur, F., McIntyre, J., Thonnard, J. L., & Lefèvre, P. (2014). Gravity-dependent estimates of object mass underlie the generation of motor commands for horizontal limb movements. *Journal of Neurophysiology, 112*(2), 384–392. https://doi.org/10.1152/JN.00061.2014

Dong, C., & Arief, M. M. (2025). Morphing wing designs in commercial aviation. *arXiv, 2502*, 07182. https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.07182

Federal Aviation Administration. (n.d.). *Chapter 5 – Aerodynamics of flight*. Retrieve from https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/07_phak_ch5_0.pdf

Golovkin, M. A., Efremov, A. A., Makhnev, M. S., & Setukha, A. V. (2018). Calculation methods for estimating the rotary derivatives of forces and moments acting on the aircraft. *Russ. Aeronaut, 61*(4), 547–554. https://doi.org/10.3103/S1068799818040074

Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). *CO_2 emissions from commercial aviation, 2018 (working paper 2019-16).* Retrieved from https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT_CO2-commercl-aviation-2018_20190918.pdf

Graver, B., Rutherford, D, & Zhang, K. (2020). *CO_2 emissions from commercial aviation: 2013, 2018, and 2019*. Retrieved from https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf

International Air Transport Association. (2023). *Annual review 2023*. Retrieved from https://www.iata.org/contentassets/c81222d96c9a4e0bb4ff6ced0126f0bb/annual-review-2023.pdf

International Civil Aviation Organization. (2023). *Long-term aspirational goal for international aviation.* Retrieved from https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/LTAG.aspx

International Energy Agency. (2023). *Aviation*. Retrieved from https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation

Kumar, R., & Bairwa, K. N. (2023). A review: Aeronautical components and systems should have their weight reduced throughout the design process. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science, 9*(3), 10-14. http://dx.doi.org/10.22161/ijaems.93.3

Lengyel-Kampmann, T., Charroin, G., & Meyer, R. (2024). Experimental and numerical investigation of the counter-rotating DLR Turbo Fan Stage CRISPmulti with boundary layer ingestion. *ASME Turbo Expo 2024: Turbomachinery Technical Conference and Exposition* (pp. 1-13). UK: ASME

Luo, S. (2024). Numerical study on the relationship between lift-to-drag ratio and airfoil of gliders in high-speed cruising conditions. *Highlights in Science, Engineering and Technology, 93*, 65-75. https://doi.org/10.54097/02a7ej10

Luo, S., Eng, T. Z., Tang, Z., Ma, Q., Su, J., & Bugeda, G. (2024). Multidisciplinary optimization of aircraft aerodynamics for distributed propulsion configurations. *Applied Sciences, 14*(17), 7781. https://doi.org/10.3390/app14177781

Marino, M., & Sabatini, R. (2014). Advanced lightweight aircraft design configurations for green operations. *Conference: Practical Responses to Climate Change (PRCC) 2014*. Australia: Engineers Australia

Nagel, L. (2025). *Distributed electric propulsion (DEP) in 2025. Tyto Robotics*. Retrieved from https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/distributed-electric-propulsion

Nelson, E. S., & Reddy, D. R. (2017). *Green aviation: Reduction of environmental impact through aircraft technology and alternative fuels*. London: CRC Press.

Overton, J. (2022). *The growth in greenhouse gas emissions from commercial aviation (Updated 2022)*. Retrieved from Environmental and Energy Study Institute. https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-the-growth-in-greenhouse-gas-emissions-from-commercial-aviation

Pecora, R. (2021). Morphing wing flaps for large civil aircraft: Evolution of a smart technology across the Clean Sky program. *Chinese Journal of Aeronautics, 34*(7), 13–28. https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.08.004

Peeters, P. M., Williams, V., & Haan, A. (2009). Technical and management reduction potentials. In P. J. Upham & S. Gössling (Eds.), *Climate change and aviation: Issues, challenges and solutions* (p. 293). UK: Earthscan.

Pustina, L., Blandino, M., Ciottoli, P. P., & Mastroddi, F. (2023). Towards multidisciplinary design optimization of next-generation green aircraft, *Materials Research Proceedings, 37*, 440-443. https://doi.org/10.21741/9781644902813-97

Ramakrishnan, P. N. (2024). Composite materials, metals, and ceramics used in the Boeing 787: Materials overview. *Journal of Research in Science and Engineering (JRSE), 6*(8). 57-62. https://doi.org/10.53469/jrse.2024.06(07).13

Raymer, D. P. (2018). *Aircraft design: A conceptual approach* (6th ed.). Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Ritchie, H. (2024, April 8). *What share of global CO_2 emissions come from aviation? Our World in Data.* Retrieved from https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions

Salunkhe, P., Wu, Y., & Tang, H. (2020). Aerodynamic performance improvement of a wing model using an array of slotted synthetic jets. *ASME Journal of Fluids Engineering, 142*(10), 101204. https://doi.org/10.1115/1.4047397

Science World. (2015). *Science world resources: Lift.* Retrieve from https://www.scienceworld.ca/stories/science-world-resources-lift/

Shi, J., Zhou, J., & Wu, L. (2021). Aerodynamic investigation of a general aviation aircraft with distributed electric propulsion. *2021 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)* (pp. 672–676). China: IEEE

Stephan, R. A., Stumpf, E., Ruhland, J., & Breitsamter, C. (2023). A modeling approach for trailing edge flap forces and moments in the preliminary aircraft design stage. *AIAA AVIATION 2023 Forum.* San Diego, CA: American Institute of Aeronautics and Astronautics

Thaitechniques.com. (n.d.). *Principles of flight*. Retrieve from https://www.thaitechnics.com/fly/principle_t.html (in Thai)

Thansonanakarachitta, P. (2019). *Did you know? There are 4 forces acting on an airplane at all times.* Retrieved from https://www.scimath.org/article-physics/item/9812-4 (in Thai)

Ukpanah, I. (2024). *Aviation emissions environmental impact. GreenMatch*. Retrieved from https://www.greenmatch.co.uk/blog/aviation-environmental-impact

Usubamatov, R., & Zhumaev, T. (2018). Inertial forces acting on a propeller of aircraft. *The Open Aerospace Engineering Journal, 7*(1), 1–13. https://doi.org/10.2174/1874146001807010001

Washmuth, D. (2023). *Four forces of flight. Overview & Aerodynamics*. Retrieve from https://study.com/academy/lesson/airplanes-force-thrust-drag-lift-weight.html

Wen, S. (2024). Current status and application of laminar flow control airfoil design technology. *Highlights in Science, Engineering and Technology, 120*, 357-363. https://doi.org/10.54097/06qsfh56

Yu, M., Tao, Z., Li, H., & Tang, P. (2024). Optimizing the landing stability of blended-wing-body aircraft with distributed electric boundary-layer ingestion propulsors through a novel thrust control configuration. *Applied Sciences, 14*(18), 8546. https://doi.org/10.3390/app14188546

Zhang, J., Roumeliotis, I., & Zolotas, A. (2022). Sustainable aviation electrification: A comprehensive review of electric propulsion system architectures, energy management, and control. *Sustainability, 14*(10), 5880. https://doi.org/10.3390/su14105880

Zhang, S., Lee, D. E., & Qiao, L. (2023). Assessing the drag implications of hydrogen fuel utilization in small aircraft: A preliminary numerical analysis. *arXiv preprint arXiv, 2310*, 01265. https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.01265

การพัฒนาและทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เซรั่มจากสารสกัดใบไมยราบในอาสาสมัครปกติ

Development and Safety Testing of Serum Products from Mimosa Left Extract in Normal Volunteers

แสงสิทธิ์ กฤษฎี[1] นงนุช บุญแจ้ง[1]* สิริภารัศมิ์ อัศวปัญญาพร[1] และสลิลทิพย์ กุลศิลารักษ์[1]
Saengsit Kritsadee[1], Nongnuch Boonjang[1]*, Siriparas Assavapanyaporn[1] and Salinthip Kunsilarak[1]
[1]สาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ วิทยาลัยสหเวชศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วิทยาเขตสมุทรสงคราม
[1]Department of Applied Thai Traditional Medicine, College of Allied Health Sciences,
Suan Sunandha Rajabhat University, Samut Songkhram Campus
*Corresponding author: nongnuch.bo@ssru.ac.th
Received: January 30, 2025
Revised: February 27, 2025
Accepted: March 5, 2025

บทคัดย่อ

ไมยราบ (*Mimosa pudica* L.) เป็นพืชท้องถิ่นที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย มีสรรพคุณต่าง ๆ มากมายในตำราการแพทย์แผนไทยและปัจจุบันผลิตภัณฑ์บำรุงผิวรูปแบบเซรั่มเป็นที่นิยมอย่างมาก วัตถุประสงค์: เพื่อพัฒนาเซรั่มจากสารสกัดใบไมยราบและศึกษาประสิทธิผลด้านความชุ่มชื้นของผิว วิธีการศึกษา: สกัดสารสำคัญจากใบไมยราบด้วยวิธีแช่สกัด (maceration) เอทานอล85% เป็นเวลา 7 วัน ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน ทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ด้วยวิธี DPPH นำมาพัฒนาเป็นเซรั่ม 3 สูตร ทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่ง 7 รอบ ที่อุณหภูมิ 5 และ 45 องศาเซลเซียส ทดสอบความปลอดภัยโดยการทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังในอาสาสมัคร และศึกษาด้านความชุ่มชื้นของผิวหนังในอาสาสมัครจำนวน 50 คน เป็นเพศชาย 25 คน และเพศหญิง 25 คน อายุระหว่าง 20 - 25 ปี ด้วยเครื่อง Corneometer ก่อนและหลังใช้ 28 วัน ของการใช้ผลิตภัณฑ์เซรั่มบำรุงผิวหน้าจากสารสกัดใบไมยราบ สถิติที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ร้อยละค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า P-value การทดสอบสถิติ paired-sample t Test และผลการศึกษา: สารสกัดจากไมยราบมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 30.31±0.06 µg/mL สารมาตรฐาน BHT มีค่า EC_{50} เท่ากับ 16.36±0.05 µg/ml ผลการทดสอบความคงตัวพบว่าเซรั่ม สูตร 3 มีสีเหลืองใส ความเป็นกรด-ด่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื้อเซรั่มไม่มีการแยกชั้น และพบว่าหลังการใช้ผลิตภัณฑ์เซรั่มบำรุงผิวหน้า สูตร 3 ระยะเวลา 28 วัน มีค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นอยู่ที่ 46.52±11.51 P<.05 สรุป: เซรั่มจากสารสกัดใบไมยราบ สูตรที่ 3 มีความคงตัวทางกายภาพและเคมี และมีผลการให้ความชุ่มชื้นดีที่สุด ซึ่งสามารถนำไปใช้พัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อบำรุงผิวได้ต่อไป

คำสำคัญ: ไมยราบ เซรั่มบำรุงผิว ทดสอบความปลอดภัย

Abstract

Mimosa (*Mimosa pudica* L.) is a local plant found throughout Thailand. It has many properties in traditional Thai medical textbooks, and currently, serum skin care products are very popular. Objective: To develop a serum from *Mimosa pudica* L. leaf extract and study its effectiveness on skin moisture. Method: The active compounds from *Mimosa pudica* were extracted with 85% ethanol for 7 days using a rotary evaporator. The antioxidant activity of the extract was measured using the DPPH method. Three serum formulas were developed and tested for stability in 7 accelerated conditions at 5 and 45 degrees Celsius. Safety was evaluated, and skin moisture levels were measured using a Corneometer before and after 28 days of using the facial serum product from *Mimosa pudica* L. leaf extract. The statistics used for data collection included percentage, mean, standard deviation, P-value, and statistical test. Paired-sample t Test and Results: The extract of *Mimosa pudica* has antioxidant activity with an EC_{50} value of 30.31±0.06 µg/mL. The standard BHT has an EC_{50} value of 16.36±0.05 µg/ml. The stability test result indicated that Serum Formula 3 is a clear yellow color. The acidity-alkalinity did not change significantly. The serum texture did not separate. After using the facial serum formula 3 for 28 days, the average moisture value was 46.52±11.51, with a significance level of $P<.05$. Conclusion: Serum containing Mimosa pudica extract formula 3 has physical and chemical stability, with the best moisturizing effect. It can be further developed into skin care products.

Keywords: mimosa, skincare serum, safety tests

บทนำ

ไมยราบหรือกระทืบยอด หนามหญ้าราบ (จันทบุรี) กะหงับ (ภาคใต้) ก้านของ (นครศรีธรรมราช) ระงับ (ภาคกลาง) หงับพระพาย (ชุมพร) หญ้าจิยอบ หญ้าปันยอด (ภาคเหนือ) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Mimosa pudica* L. วงศ์: Fabaceae (Leguminosae - Mimosoideae) ลักษณะพฤกษศาสตร์: ไม้ล้มลุกอายุหลายปี ทอดเลื้อยตามพื้นดิน บางครั้งสูงถึง 1 ม. มีขนหยาบปกคลุมลำต้น แกนก้านใบ ท้องใบ และช่อดอก ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก 2 ชั้น แกนกลางรวมก้านใบยาว 2.5-5 ซม. ใบประกอบย่อยมี 1-2 ใบ ยาว 1.5-7 ซม. ใบย่อยมี 12-25 คู่ รูปขอบขนานหรือคล้าย ๆ รูปเคียว ยาว 0.5-1 ซม. ช่อดอกออกเดี่ยวหรือเป็นคู่ตามซอกใบ ก้านช่อดอกยาวประมาณ 2.5-4 ซม. ดอกจำนวนมาก ไร้ก้าน กลีบเลี้ยงเล็กมากประมาณ 0.1 มม. กลีบดอกรูประฆังแคบ ยาวประมาณ 2 มม. กลีบดอกมนกลม ยาว 0.5-0.8 มม. เกสรเพศผู้มี 4 อัน รังไข่ยาวประมาณ 0.5 มม. เกลี้ยง ฝักมีหลายฝักในแต่ละช่อดอก รูปขอบขนาน ตรง ยาว 1.5-1.8 ซม. มีขนแข็งตามขอบ มีสรรพคุณตามตำราการแพทย์แผนไทย ราก: แก้ไอ ขับเสมหะ แก้หลอดลมอักเสบเรื้อรัง แก้ระบบการย่อยอาหารของเด็กไม่ดี บำรุงกระเพาะอาหาร ทำให้ตาสว่าง ระงับประสาท แก้บิด ขับปัสสาวะ รักษาโรคปวดเวลามีประจำเดือน ถ้าใช้ขนาดสูงมาก ๆ จะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน แก้ริดสีดวงทวารรสขมเล็กน้อย ฝาด ปวดข้อ กระเพาะอาหารอักเสบเรื้อรัง ต้น: ขับปัสสาวะ แก้ไตพิการ แก้ทางเดินปัสสาวะอักเสบ ขับระดูขาว ขับโลหิต ใบ: โรคผิวหนัง แก้เริม งูสวัด โรคพุพอง ไฟลามป่า ทั้งต้น: ขับปัสสาวะแก้ไตพิการ แก้ทางเดินปัสสาวะอักเสบ ขับระดูขาว แก้ไข้ออกหัด แก้นอนไม่หลับ แก้กระเพาะอาหารอักเสบ สงบประสาท แก้ลำไส้อักเสบ แก้เด็กเป็นตานขโมย แก้ผื่นคัน แก้ตาบวมเจ็บ แก้แผลฝี (Samitinan, 2001)

มีการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดไมยราบ พบว่า สารสกัดไมยราบมีฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลาย เช่น ยับยั้งเชื้อแบทีเรีย เชื้อรา เชื้อไวรัส ช่วยป้องกันตับ รักษาแผลอักเสบ โรคเบาหวาน มีสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบส่วนใหญ่พบสารกลุ่ม Glycosides Flavonoids Tannins Saponins phenolic และ Alkaloids เป็นต้น โดยมี Mimosine Norepinephrine และ Glycoside Mimoside (Azmi et al., 2011) และจากการศึกษาไมยราบ (Mimosa) มีฤทธิ์ต้านการอักเสบของสารสกัดเอทานอลของใบไมยราบถูกตรวจสอบที่ขนาด 200 และ 400 มก./กก. โดยใช้เทคนิค Carrageenan เหนี่ยวนำให้เกิด paw edema และ cotton pellet granuloma ในหนูเผือก สารสกัดแสดงฤทธิ์อย่างมีนัยสำคัญในลักษณะที่ขึ้นกับขนาดยาเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ข้อสังเกตชี้ให้เห็นว่า สารสกัดจากใบไมยราบมีประสิทธิภาพในระยะ exudative และ proliferative ของการอักเสบ เช่น ในการอักเสบเฉียบพลันและเรื้อรัง ผลลัพธ์ที่ได้บ่งชี้ว่าใบไมยราบมีฤทธิ์ต้านการอักเสบที่สนับสนุนการใช้สมุนไพรพื้นบ้านของพืช (Zhang et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการทดสอบอีมัลเจลที่มีส่วนผสมของสารสกัดไมยราบในการทดสอบความปลอดภัยเบื้องต้น (Shakeel Ijaz et al., 2019) ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมายังขาดการศึกษาทางคลินิกเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารสกัดจากไมยราบในผลิตภัณฑ์ดูแลผิว หรือยังไม่มีผลิตภัณฑ์เซรั่มจากสารสกัดไมยราบที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบความปลอดภัย และมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีนโยบายในการส่งเสริมการพัฒนาท้องถิ่น คณะผู้วิจัยจากสาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ จึงเล็งเห็นความสำคัญของศาสตร์การแพทย์แผนไทย ที่ใช้ไมยราบเป็นยาในการบำบัดรักษาโรคหรืออาการต่าง ๆ โดยเฉพาะโรค/ อาการทางผิวหนัง จึงมีความประสงค์ที่จะทำการวิจัยโดยการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรั่มจากสารสกัดไมยราบที่มีความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค และเป็นการเพิ่มมูลค่าของสมุนไพรไทย ต่อยอดการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสร้างอาชีพให้กับชุมชนในท้องถิ่น และพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากของประเทศให้ มั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบไมยราบ

2. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และทดสอบความปลอดภัยเซรั่มจากสารสกัดใบไมยราบในอาสาสมัครปกติ

3. เพื่อทดสอบความชุ่มชื้นของผิวหนังเซรั่มจากสารสกัดใบไมยราบของผิวหนังในอาสาสมัครปกติ

สมมุติฐานการวิจัย

ใบไมยราบมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เซรั่มที่มีส่วนผสมของสารสกัดใบไมยราบมีความปลอดภัย และเซรั่มที่มีส่วนผสมของสารสกัดใบไมยราบช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนังในอาสาสมัครปกติ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างและการสกัดใบไมยราบ

เก็บตัวอย่างไมยราบจากพื้นที่ จ.สมุทรสงคราม คัดเลือกเฉพาะส่วนใบ นำมาล้างทำความสะอาด ตากในที่ร่มให้แห้ง แล้วนำไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปบดเป็นผง นำผงไมยราบน้ำหนัก 402 กรัม ใช้วิธีการแช่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 85% อัตราส่วน 1:1 (โดยปริมาตร) เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (ทำการคนทุกวัน) เมื่อครบกำหนดนำไปกรองแยกส่วนน้ำและกากออกด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำสารสกัดที่ได้มาระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเพื่อรักษาองค์ประกอบ (Nourhan M. Abd El-Aziz, Taha Mehany & Mohamed G. Shehata, 2024)

ทำให้แห้งด้วยการนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนกว่าสารสกัดหยาบจะแห้ง แล้วนำสารสกัดที่แห้งดีแล้วเก็บไว้ในขวดปิดฝาให้สนิทและเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น -20 องศาเซลเซียส และคำนวณ % Yield ตามสูตรคำนวณ ดังนี้

ร้อยละของปริมาณสิ่งสกัดสุทธิ (%Yield) = [ปริมาณสิ่งสกัดที่ได้ (กรัม)/น้ำหนักตั้งต้นของตัวอย่างที่ศึกษา (กรัม)] x 100 (1)

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radicals scavenging assay

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl Radical Scavenging Capacity (DPPH) (Thaipong K. et al., 2006) โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วง เมื่อ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันที่ละลายด้วยเอทานอลจะทำให้สีม่วงจางลงจนเป็นสีเหลือง (Thamwiriyasati et al., 2022)

การเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.05 mM

- ชั่ง DPPH 2.4 mg ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติมเอทานอลเขย่าให้เข้ากัน และปรับปริมาตรจนถึงขีดที่กำหนด

- เตรียมสารละลายมาตรฐาน BHT 5 ความเข้มข้น (1.25–20 µg/ml)

- เตรียมสารสกัดไมยราบ 5 ความเข้มข้น (62.5 - 500 µg/mL)

3. การตรวจวัดคุณสมบัติของสารมาตราฐาน และสารสกัดสมุนไพร

- เติมสารละลายมาตรฐาน และสารละลายสารสกัดสมุนไพร ลงใน 96 well plate จำนวน 100 ไมโครลิตร (µl)

- เติมสารละลาย DPPH radical ลงในหลุมที่มีสารมาตรฐาน และสารละลายสารสกัดสมุนไพร จำนวน 100 ไมโครลิตร (µl)

- เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที

- วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (nm)

- ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย

- นำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้มาคำนวณ % inhibition จากสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = [(\text{Control OD} - \text{Sample OD}) / (\text{Control OD})] \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ Control OD คือ ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH และตัวทำละลายที่ใช้

Sample OD คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารกัดที่ผสมกับ DPPH

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของ % Inhibition ในแต่ละความเข้มข้นไปหาค่า EC_{50} โดยใช้โปรแกรม GraphPad Prism

4. การพัฒนาสูตรเซรั่ม 3 สูตร

ตามตาราง 1 โดยสูตรที่ 1 จะเป็นสูตรพื้นฐานซึ่งยังไม่ใส่สารสำคัญหรือสารสกัด active ingredients ลงไป ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐาน ดังนี้ Phenoxyethanol (สารกันเสียที่ปลอดภัยสูง) Aloe Vera Extract (สารลดการอักเสบและระคายเคือง) Xanthan Gum (สารเพิ่มความหนืด) Sodium Hyaluronate (แก้ปัญหาความไม่เสถียรของกรดเรติโนอิก) Water Preserved by Phenoxyethanol 0.8% (น้ำกลั่นผสมสารกันเสีย) Niacinamide(บี3) Polyglycerin-10 (สารให้ความชุ่มชื้น) Glycereth-26 (ช่วยปรับเนื้อสูตร) Acetyl Glucosamine (กระตุ้นผิวสร้าง Hyaluronic Acid) Witch Hazel plus Allantoin (ลดการระคายเคือง) Galactomyces Ferment Filtrate (บำรุงและฟื้นฟูสภาพผิว) Tocopheryl Acetate (ปกป้องอนุมูลอิสระ) Water (น้ำกลั่น) และในสูตรที่ 2 และ 3 จะเพิ่มสารสำคัญหรือสารสกัดลงไปอัตราส่วนร้อยละ 2.5 และ 2 ตามลำดับ

วิธีการเตรียมเซรั่ม โดย Xanthan Gum ไปละลายกับ Polyglycerin-10 แล้วนำไปผสมกับ Tocopheryl Acetate Water-Soluble แล้วพักไว้ Niacinamide Acetyl Glucosamine Phenoxyethanol ไปละลายกับ Water แล้วพักไว้ นำ Water ที่เหลือขึ้นให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส Aloe Vera Extract Sodium Hyaluronate Water Preserved by Phenoxyethanol 0.8% Glycereth-26 หลังจากนั้นค่อย ๆ เติม ส่วนที่พักไว้ลงไป แล้วปรับอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส แล้วจากนั้นจึงเติม Witch Hazel plus Allantoin Galactomyces Ferment Filtrate จะได้เป็นเซรั่มสูตรพื้น ในสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 จะใส่สารสกัดไมยราบในอัตราส่วนตาม

5. การทดสอบความคงตัวทางกายภาพและทางเคมี

การทดสอบความคงตัวต่อสภาวะเร่ง โดยการเร่งด้วยอุณหภูมิ (heating-cooling cycle) โดยนำเซรั่มทั้ง 3 สูตร ใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ สลับกันเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ 7 รอบ แล้วนำมาประเมินค่าความเป็นกรด-ด่าง pH โดยใช้ pH meter สังเกตสีและการแยกชั้น (Estanqueiro et al., 2014)

ตาราง 1

แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบการทำผลิตภัณฑ์เซรั่ม 3 สูตร

สารและส่วนประกอบ	สูตรที่ 1 (ตำรับพื้น) ปริมาณ (ร้อยละ)	สูตรที่ 2 ปริมาณ (ร้อยละ)	สูตรที่ 3 ปริมาณ (ร้อยละ)
สารสกัดไมยราบ	-	2.5	2
Phenoxyethanol	0.5	0.5	0.5
Aloe Vera Extract	1	1	1
Xanthan Gum	1	1	1
Sodium Hyaluronate, Water Preserved by Phenoxyethanol 0.8%	2	2	2
Niacinamide	1	1	1
Polyglycerin-10	2	2	2
Glycereth-26	4	4	4
Acetyl Glucosamine	2	2	2
Witch Hazel plus Allantoin	1	1	1
Galactomyces Ferment Filtrate	3	3	3
Tocopheryl Acetate	1	1	1
Water	81.5	79	79.5
รวม	**100**	**100**	**100**

6. การทดสอบความปลอดภัยด้วยการใช้ผลิตภัณฑ์เซรั่มจากสารสกัดไมยราบด้วยวิธี skin patch test

ให้อาสาสมัครทาเซรั่ม สูตร 1 และ 3 ในปริมาณ 1 กรัม/สูตร ที่ท้องแขนของอาสาสมัครสุขภาพดี (ซึ่งสูตรที่ 2 ยังไม่มีความคงตัว) จำนวน 6 คน บนพื้นที่ผิว 5x4 ตารางเซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วปิดทับบริเวณที่ทาด้วยผ้าก๊อซและพลาสเตอร์ชนิดกันน้ำ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง โดยไม่ต้องล้างออก แล้วประเมินผลการแพ้ ซึ่งเป็นการประเมินความปลอดภัยเบื้องต้น โดยการสังเกตลักษณะผิวหนังด้วยตาเปล่าเป็นเวลา 30 นาทีหลังแกะผ้าออก โดยพิจารณาตามเกณฑ์การพิจารณาความระคายเคืองของผลิตภัณฑ์ต่อผิวหนัง โดยค่าระดับคะแนน ได้แก่ 0 = ไม่เกิดการระคายเคือง 0.5= ผิวหนังแดงเล็กน้อยหรือมีจุดแดงกระจายเล็กน้อย 1 = ผิวหนังแดง 2 = ผิวหนังแดงชัดเจนร่วมกับอาการบวมน้ำของผิวหนังและมีหรือไม่มีถุงน้ำ และ 3=ผิวหนังแดงรุนแรงร่วมกับอาการบวมน้ำรุนแรงและมีหรือไม่มีถุงน้ำ (Ivens S. et al., (2007)

7. การศึกษาประสิทธิผลด้านความชุ่มชื้นของผิวหนัง

ทาเซรั่มที่ท้องแขน ปริมาณ 0.25 กรัมต่อสูตร ในพื้นที่ผิวหนังขนาด 3x3 เซนติเมตร วันละ 2 ครั้ง ติดต่อกัน 14 วัน ในอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 50 คน เป็นเพศชาย 25 คน และเพศหญิง 25 คน อายุระหว่าง 20-25 ปี วัดความชุ่มชื้นผิวหนังก่อนและหลังทาเซรั่ม ในระหว่างการทดลองไม่อนุญาตให้อาสาสมัครใช้เครื่องสำอางทุกชนิดบริเวณที่ทดสอบ และประเมินผลการทดสอบด้วยเครื่องตรวจวัดความชุ่มชื้นผิว หรือ Corneometer (Probe Corneometer) cm825 (Courage & Khazaka, 1997)

การวัดปริมาณความชุ่มชื้นของผิวหนังนี้ใช้หลักการความสามารถประจุไฟฟ้า โดยวัดค่าความจุไฟฟ้าของผิวหนังบริเวณท้องแขน วัดค่าในสภาวะอุณหภูมิห้อง 20 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 40 ในผิวแห้ง ผิวธรรมดา และผิวมัน คือ <35 35-50 และ >50 ตามลำดับ โดยการวัดใช้เวลาในการวัดสั้น ใช้เวลา 1 วินาทีต่อการวัด 1 ครั้ง หลังจากนั้นวัดซ้ำที่ผิวหนังบริเวณเดิมโดยเว้นระยะเวลาห่างกัน 5 วินาที ทำซ้ำจนครบ 3 ครั้ง (Vararungzarit A. et al., 2020)

รูปแบบการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi-experimental research) มีรูปแบบการการศึกษาจะวัดผลก่อนและหลัง ผู้เข้าร่วมการทดลอง จำนวน 50 คน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาและบุคลากร ของวิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จำนวน 781 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ อาสาสมัครอายุ 20-35 ปี ที่เลือกโดยวิธีเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 50 คน โดยกำหนดคุณสมบัติกลุ่มตัวอย่างดังต่อไปนี้

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการศึกษา

1. อาสาสมัครเข้าร่วมโครงการด้วยความสมัครใจและลงนามในเอกสารยินยอมโดยได้รับการบอกกล่าวอย่างเต็มใจ

2. เป็นผู้มีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัว ไม่มีโรคแทรกซ้อนเฉพาะโรคที่เกี่ยวกับทางเดินหายใจส่วนบน มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในระดับปกติไม่เกิน 23.00

3. มีสัญญาณชีพอยู่ในระดับปกติ อาสาสมัครจะต้องมีค่าความดันโลหิตตัวบนน้อยกว่า 140 มิลลิเมตรปรอท และค่าความดันโลหิตตัวล่าง น้อยกว่า 90 มิลลิเมตรปรอท อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าระหว่าง 60-100 ครั้ง/นาที และอัตราการหายใจมีค่าระหว่าง 16-20 ครั้ง/นาที

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออก

1. อาสาสมัครต้องไม่มีประวัติการแพ้น้ำหอม หรือน้ำมันหอมระเหย

2. อาสาสมัครต้องไม่มีประวัติแพ้ยาหรือผลิตภัณฑ์พลาสติก

3. อาสาสมัครที่มีความดันโลหิตต่ำกว่าปกติ เช่น ภาวะ hypotension

เกณฑ์การถอนอาสาสมัครออกจากการวิจัย (withdrawal/ discontinuation criteria)

1. กลุ่มตัวอย่างขอถอนตัวออกจากการวิจัย

การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ COA.1-048/2023 หลังจากนั้นผู้วิจัยเข้าพบกลุ่มตัวอย่าง แนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยและให้ตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยโดยอิสระ ทั้งนี้สามารถถอนตัวหรือยกเลิกการให้ข้อมูลได้ตลอดเวลา ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะเก็บเป็นความลับ และนำเสนอในภาพรวมเท่านั้น หากเกิดกรณีฉุกเฉิน เช่น อาการแพ้ หรือปัญหาสุขภาพ ให้ทำการปฐมพยาบาลเบื้องต้น ติดตามอาการอย่างใกล้ชิด และส่งต่อสถานพยาบาลต่อไป

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1 เครื่องทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radicals scavenging assay

2 ตรวจวัดความชุ่มชื้นผิว (corneometer) probe corneometer cm825

3 เครื่อง pH meter

4 คอมพิวเตอร์

5 แบบประเมินที่ใช้ในการศึกษา

5.1 แบบสอบถามข้อมูลสุขภาพ

5.2 แบบบันทึกผลการทดสอบ

ขั้นตอนการศึกษา

ผู้วิจัยได้แนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาของการศึกษา อธิบายโดยใช้เอกสารชี้แจงแนะนำข้อมูลและให้กลุ่มตัวอย่างแสดงความยินยอม และดำเนินการตามขั้นตอนการทำการทดลอง จากนั้นผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยต้นเองโดยใช้แบบบันทึกข้อมูลตามขั้นตอนการศึกษาของวิธีการดำเนินการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ จำนวนของการทดสอบ n=50 การใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยใช้ค่าสถิติแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต การกระจายข้อมูล และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการใช้เซรั่มของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สถิติ paired-sample t Test

จริยธรรมวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ COA.1-048/2023 หลังจากนั้นผู้วิจัยเข้าพบกลุ่มตัวอย่าง แนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยและให้ตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยโดยอิสระ ทั้งนี้สามารถถอนตัวหรือยกเลิกการให้ข้อมูลได้ตลอดเวลา ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะเก็บเป็นความลับ และนำเสนอในภาพรวมเท่านั้น

ผลการวิจัย

สารสกัดไมยราบ จากใบแห้งน้ำหนัก 402 กรัม น้ำหนักสารสกัดหยาบเท่ากับ 11.34 กรัม คิดเป็น %yield 45.58 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radicals scavenging assay ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดไมยราบ ด้วยตัวทำละลายเอทานอล และสารมาตรฐาน BHT พบว่า สารสกัดไมยราบมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 30.31±0.06 mg/mL สารมาตรฐาน BHT มีค่า EC_{50} เท่ากับ 16.36±0.05 mg/ml

ผลการทดสอบความคงตัวทางกายภาพและทางเคมี โดยนำเซรั่มทั้ง 3 สูตร การเร่งด้วยอุณหภูมิ (heating-cooling cycle) ใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ สลับกันเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ 7 รอบ พบว่า สูตร 1 และ 3 เป็นสูตรที่ดีที่สุดในการทดสอบเนื่องลักษณะทางกายภาพโดยมีสีเหลืองใส เนื้อเซรั่มไม่มีการแยกชั้น ส่วนสูตร 2 มีการเปลี่ยนสีเล็กน้อยเป็นสีเหลืองเข้ม ผลการทดสอบความเป็นกรดด่าง พบว่า หลังการทดสอบความคงตัวทางกายภาพและทางเคมี เซรั่มสูตร 2 ที่ใส่สารคัญปริมาณร้อยละ 2.5 ส่งผลทำให้มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตามตารางที่ 3 ทำให้เห็นได้ว่าเซรั่มสูตรที่ 1 และ 3 อยู่ในสภาวะคงที่เหมาะที่จะนำไปทดสอบที่ผิวหนังต่อไป ซึ่งกำหนดอุณภูมิที่อยู่ในช่วง 4 ถึง 45 องศาสเซลเซียสเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์

ผลการทดสอบความปลอดภัย หลังจากอาสาสมัครเข้ารับการทดสอบความปลอดภัยด้วยวิธี skin patch test เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า อาสาสมัครที่ทาเซรั่ม ร้อยละ 100 ไม่พบอาการผิดปกติบริเวณผิวหนังที่ทาเซรั่มแต่อย่างใดต่ออาสาสมัคร ทำให้เชื่อได้ว่า เซรั่มทั้ง 3 สูตรนี้มีความปลอดภัยที่ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังของอาสาสมัคร

ผลการวัดด้านความชุ่มชื้นของผิวหนัง ด้วยเครื่อง Corneometer CM825 การวัดปริมาณความชุ่มชื้นของผิวหนังนี้ใช้หลักการความสามารถประจุไฟฟ้าได้เป็นพื้นฐาน โดยผู้วิจัยเลือกเซรั่มสูตร 1 และ 3 ในการทดสอบ ซึ่งหลังจากการทาเซรั่ม สูตร 1 และ 3 ที่ท้องแขน ปริมาณ 0.25 กรัมต่อสูตร ในพื้นที่ผิวหนังขนาด 3x3 เซนติเมตร วันละ 2 ครั้ง ติดต่อกัน 28 วัน ในอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 50 คน พบว่า เซรั่มสูตร 3 มีค่าเฉลี่ยของค่าความจุไฟฟ้าผิวหนังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามตาราง 4 จะเห็นได้ว่า เซรั่มสูตร 1 ซึ่งเป็นตำรับพื้นฐานมีผลความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะสูตรตำรับมีส่วนประกอบบางชนิดที่ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นผิวด้วย จากการทดสอบในอาสาสมัครไม่พบอาการแพ้และผิดปกติของเซรั่มทั้ง 2 สูตร

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง หลังการใช้เซรั่มสูตร 1 และ 3 พบว่า ค่าความจุไฟฟ้าผิวหนัง เท่ากับ 41.824±10.696 และ 46.528±11.516 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ P-value=.000*

จึงเป็นข้อสรุปได้ว่าเซรั่มสูตร 3 ที่มีส่วนผสมของสารสกัดไมยราบนั้น ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนังของอาสาสมัครได้ดีกว่าเซรั่มสูตร 1

ตาราง 2

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

สารสกัด	EC_{50} values of DPPH radical scavenging activity (mg/ml)
สารสกัดไมยราบ	30.31±0.06
BHT	16.36±0.05

ตาราง 3

แสดงผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในการทดสอบความคงตัวทางกายภาพและทางเคมี

การทดสอบความคงตัวทางกายภาพและทางเคมี	ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนทดสอบ	ค่าความเป็นกรด-ด่างหลังทดสอบ
สูตรที่ 1	4.514±0.058	4.513±0.060
สูตรที่ 2	4.490±0.092	4.431±0.081
สูตรที่ 3	4.513±0.038	4.512±0.059

ตาราง 4

แสดงค่าความจุไฟฟ้าผิวหนัง ด้วยเครื่อง Corneometer CM825 เพื่อวัดปริมาณความชุ่มชื้นของผิวหนัง ทำ 3 ซ้ำ

ค่าความจุไฟฟ้าผิวหนัง	ก่อนใช้	หลังใช้	P-value
สูตรที่ 1	39.817±10.123	41.824±10.696	.062
สูตรที่ 3	39.817±10.123	46.528±11.516	.000*

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

ไมยราบเป็นพืชท้องถิ่นที่สามารถพบได้ทั่วไปในทุกจังหวัด ซึ่งจัดเป็นวัชพืช โดยมีการศึกษาวิจัยในประเทศไทยและต่างประเทศน้อยมาก ซึ่งควรนำมาศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของท้องถิ่น โดยผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับตำราการแพทย์แผนไทยที่ทำให้เห็นว่า ไมยราบมีสรรพคุณในการรักษาโรคทางผิวหนัง ซึ่งสารสกัดใบของไมยราบที่ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิวหนัง ซึ่งผลการใช้เซรั่มที่มีส่วนผสมของสารสกัดไมยราบ มีสรรพคุณช่วยให้ผิวหนังมีความชุ่มชื้นในอาสาสมัคร และผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเนื้อเซรั่มที่ซึมเข้าผิวได้เร็วยังช่วยให้การใช้งานของอาสาสมัคร และยังสอดคล้องการศึกษาพัฒนาสูตรตำรับครีมทาผิวแบบเย็นที่มีผลช่วยให้ความชุ่มชื้นแก่ผิว (Patil, Patil & Patil, 2024) และในการเลือกพัฒนาผลิตภัณฑ์บำรุงผิวในรูปแบบเซรั่ม เนื่องจากเป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่มีความเข้มข้นของสารเพิ่มประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์บำรุงผิวอื่น (Nilsuwankosit et al., 2014)

ซึ่งจากผลการทดสอบนี้จะเห็นได้ว่า เซรั่มที่มีส่วนผสมของสารสกัดไมยราบช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนัง ในใบไมยราบมีสารสำคัญหรือ active ingredient ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 30.31±0.06 mg/mL และยังต้านการอักเสบด้วย (Jaiswal & Singh Gaur, 2023)

การศึกษาครั้งนี้ ทำให้เห็นได้ว่าการใช้ประโยชน์ของไมยราบ ที่นอกจากจะนำเอาไปกลั่นน้ำมันหอมระเหย (Kritsadee et al. 2022) แล้วยังสามารถนำไปสกัดเพื่อนำสารสำคัญที่ได้ไปใช้ในการบำรุงผิวที่ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนัง (Potaros et al., 2021) ซึ่งจะสามารถต่อยอดไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้สนับสนุนว่า พืชสมุนไพรไมยราบ มีสรรพคุณตามหลักการแพทย์แผนไทย (Sopitbannalak, 1961) ที่มีสรรพคุณแก้โรคทางผิวหนัง แก้การอักเสบ แก้ปวดข้อ แก้โรคผิวหนังและช่วยบรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการบรรเทาการปวดและทดสอบทางคลินิกต่อไปได้อีกด้วย โดยในการศึกษาการใช้เซรั่มของกลุ่มอาสาสมัครสุขภาพพบว่าช่วยทำให้ผิวชุ่มชื้นขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ควรนำไปต่อยอดการทดสอบทางคลินิกของผลิตภัณฑ์ในการลดการปวดของกล้ามเนื้อ โดยอาจเพิ่มจำนวนอาสาสมัครในการทดสอบการแพ้เพื่อยืนยันผลที่การทดสอบการแพ้ และควรศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระยะยาวเพิ่มเติมด้วย

ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องควรเพิ่มเติมการศึกษาในด้านอื่น ๆ เพิ่ม เช่น การศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้น การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ การศึกษาความเป็นพิษ การหาปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ การศึกษาฤทธิ์ของตำรับเซรั่มในการต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึงการศึกษาหาสารสำคัญที่ออกฤทธิ์เพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนัง และในการศึกษาครั้งถัดไปควรคัดกรองผิวของอาสาสมัครจำแนกเป็นผิวแห้ง ผิวมัน ผิวผสม เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อให้การศึกษาพัฒนาไมยราบเกิดประโยชน์สูงสุดให้กับประเทศและประชาชน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณาจารย์และนักศึกษา สาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วิทยาเขตสมุทรสงคราม ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

References

Abd El-Aziz, M. N., Mehany, T., & Shehata, G. M., (2024). Characterization of orange peel extract-cross linking whey protein nanoparticles and their influences on the physical and sensory properties of orange juice. *LWT, 208*, 116745. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116745

Azmi, L. (2011). Pharmacological and biological overview on mimosa pudica linn. *International journal of pharmacy & life science, 2*(11), 1226–1234. Retrieved from http://www.ijplsjournal.com/issues%20PDF%20files/nov2011/9.pdf

Courage+Khazaka electronic GmbH. (1997). *Sebumeter SM810/ corneometer CM825/ skin-ph-meter PH900 and the software*. Retrieved from https://www.courage-khazaka.com/en/scientific-products/corneometer-cm-825

Estanqueiro, M. (2014). Characterization and stability studies of emulsion systems containing pumice. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 50*(2), 361-369. https://doi.org/10.1590/S1984-82502014000200016

Ijaz, S., Shoaib Khan, H. M., Anwar, Z., Talbot, B., & Walsh, J. J. (2019). HPLC profiling of *Mimosa pudica* polyphenols and their non-invasive biophysical investigations for anti-dermatoheliotic and skin reinstating potential. *Biomedicine & Pharmacotherapy = Biomedecine & Pharmacotherapie, 109*, 865–875. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.089

Ivens, U., Serup, J., & O'goshi, K. (2007). Allergy patch test reading from photographic images: disagreement on ICDRG grading but agreement on simplified tripartite reading. *Skin Research and Technology: Official Journal of International Society for Bioengineering and the Skin (ISBS) [and] International Society for Digital Imaging of Skin (ISDIS) [and] International Society for Skin Imaging (ISSI), 13*(1), 110–113. https://doi.org/10.1111/j.1600-0846.2007.00232.x

Jaiswal, S., & Singh, S. G. (2023). Orange peel and skin health: an exploratory study on potential benefits. *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology, 9*(S1), 91-99. https://doi.org/10.17756/jfcn.2023-s1-013

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. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(3), 95–103. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/262099. (in Thai)

Nilsuwankosit, P. (2014). Development of facial treatment serum product containing niosome of fibroin hydrolysate from Eri silk cocoon. Proceedings of 52nd Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry. The 52nd Kasetsart University Annual Conference (pp. 348-355). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Patil, R. V., Patil, G. S., Patil, M. N., & Patil, P. R. (2024) Formulation and evaluation of herbal cold cream by mimosa pudica plant extract. *Asian Journal of Basic Science & Research, 6*(3), 28-37. Retrieved from https://ajbsr.net/data/uploads/4754.pdf

Potaros, T., Rith Watthanachaiyingcharoen, R., & Potaros, T. (2021). Skin hydrating and anti-wrinkle effects of *Nile tilapia* fish skin collagen cream. *Thai Pharmaceutical and Health Science Journal, 6*(2), 86-90. Retrieved from https://ejournals.swu.ac.th/index.php/pharm/article/view/2441/2466. (in Thai)

Samitinan, T. (2014). *Thai plant names (botanical names-vernacular names)* (Rev. ed.) Bangkok: White Lotus. (in Thai)

Sopitbannalak, K. (1961). *Textbook of Thai traditional medicine* (2nd ed.) Bangkok: Utsahakarnpim Printing.

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts *Journal of Food Composition and Analysis, 19*(6-7), 669-675. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003.

Thamwiriyasati, N., Chancharoen, P., & Klarod, K. (2022). Enzyme and non-enzyme antioxidant activities of cherry tomato, Sida pink tomato, and big red tomato fruit extracts. *Thai Science and Technology Journal, 30*(1), 163-173. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/251071/173449 (in Thai)

Vararungzarit, A. (2020). *Efficacy and safety of body skincare product containing Levan* (Research reports). Chonburi: Faculty of Medicine, Burapha University. (in Thai)

Zhang, J., Yuan, K., Zhou, W. L., Zhou, J., & Yang, P. (2011). Studies on the active components and antioxidant activities of the extracts of Mimosa pudica Linn. from southern China. *Pharmacognosy magazine, 7*(25), 35–39. https://doi.org/10.4103/0973-1296.75899

การพัฒนาแผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

Development of Acne Patches from *Molineria latifolia* Herb. ex Kurz Root Extract Containing Antioxidant and Antibacterial Effects

ไซหนับ กะกา[1] นิศรีณ เจ๊ะน๊ะ[1] อารมาวาตี สาแล๊ะ[1] สุพัตรา พรหมอินทร์[1]*
ปิยะนุช สุวรรณรัตน์[1] และธีระพงษ์ นิลละออ[1]
Sainab Kakka[1], Nisrin Jaehnah[1], Armawatee Salaeh[1], Supattra Prom-in[1]*,
Piyanuch Suwannarat[1] and Theeraphong Ninlaor[1]
[1]หลักสูตรการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
[1]Thai Traditional Medicine Program, Faculty of Health and Sports Sciences
Thaksin University Phatthalung Campus
*Corresponding author: supattra.p@tsu.ac.th
Received: March 4, 2025
Revised: May 9, 2025
Accepted: May 15, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดของรากพร้าวนกคุ่มและนำสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รักษาสิวในรูปแบบแผ่นแปะ โดยเลือกสุ่มเก็บตัวอย่างรากพร้าวนกคุ่มในพื้นที่จังหวัดพัทลุง โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นสถิติเชิงพรรณนาใช้เพื่ออธิบาย ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และนำสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Cutibacterium acne* การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การทดสอบความยืดหยุ่นของแผ่นแปะสิว และทดสอบลักษณะทางกายภาพของแผ่นแปะ โดยพัฒนาทั้งหมด 5 สูตร พบว่าสูตรที่ดีที่สุดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นแปะสิว คือสูตรที่ 5 ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ Pectin NaCMC Glycerol ที่มากกว่าสูตรอื่น ๆ และสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อสิว *C.acne* และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ที่ IC_{50} เท่ากับ 15.70 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร อีกทั้งยังมีค่าความยืดหยุ่น เท่ากับ -24.22 มิลลิเมตร แผ่นแปะที่มีสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม มีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่ม แรงดึงความยืดหยุ่นได้ดี เกาะติดผิวได้นาน และมีลักษณะทางกายภาพ ที่ไม่เปลี่ยนแปลง กลิ่น และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.38–7.00 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ใช้บนใบหน้าของมนุษย์ และมีสะดวกต่อการพกพาและใช้งานของกลุ่มวัยที่มีปัญหาสิว

คำสำคัญ: รากพร้าวนกคุ่ม แผ่นแปะสิว ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย

Abstract

This experimental study aimed to investigate the biological properties of the extract from *Molineria latifolia* Herb ex Kurz. and develop an acne treatment patch product. The samples of *M. latifolia* were randomly collected from Phatthalung province. Descriptive statistics were used to analyze the data, including percentages and means. The extracts from *M. latifolia* were tested for an inhibition effect on the *C. acne* bacteria, antioxidant activity, patch elasticity, and physical characteristics of the acne patch. A total of five formulations were developed. The result revealed that a formula containing pectin, sodium carboxymethyl cellulose (NaCMC), glycerol, and *M. latifolia* root extract was the best in terms of inhibiting *C. acne* bacteria and having an antioxidant activity with an IC_{50} value of 15.70 µg/mL, and the elasticity value of the patch was -24.22 mm. The acne patch containing the extract from *M. latifolia* Herb. exhibited a soft texture, excellent elasticity, and a long period for skin adherence and maintained its physical properties without changes in odor or pH (ranging from 5.38 to 7), which meets the standard for products used on human facial skin. Additionally, the patch is convenient for carrying and using for individuals facing acne problems.

Keywords: *Molineria latifolia* Herb. ex kurz root, acne patches, antioxidant activity, antibacterial activity

บทนำ

สิว คือ ปัญหาของผิวหนังที่มีการเกิดจุดด่างดำ หรืออาการอักเสบของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการอุดตันของเลือดและน้ำมันที่อยู่ในต่อมน้ำมันผิวหนัง สิวสามารถเกิดขึ้นที่หน้า หลัง และบริเวณอื่น ๆ ของร่างกาย มักพบได้บ่อยในกลุ่มวัยรุ่นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมน แต่สิวอาจเกิดขึ้นได้กับทุกช่วงวัย สิวเกิดได้จากปัจจัยหลายประการ ทั้งปัจจัยภายในร่างกาย เช่น การเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนในร่างกาย และปัจจัยภายนอก เช่น สภาพแวดล้อม การทำความสะอาดผิวหนังไม่ดี และการสัมผัสกับสิ่งที่อาจทำให้เกิดการติดเชื้อแบคทีเรียในผิวหนังได้ ปัญหาของสิวส่วนใหญ่ คือ การทำให้ผิวหนังดูไม่สะอาดหรือไม่เรียบเนียน ส่งผลกระทบต่อความไม่มั่นใจและคุณภาพชีวิตเป็นอย่างมาก (Wachiramon, 2013) ในทางการแพทย์แผนปัจจุบันการรักษาสิวมีหลายแบบ รวมถึงการใช้ยาที่เข้มข้น และเทคโนโลยีทางเภสัชกรรมในการจัดการสิวบางครั้งแพทย์อาจแนะนำให้ใช้ยาที่มีส่วนผสมเป็นยาที่ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ลดการอักเสบ เพื่อช่วยควบคุมสิวได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีเชิงรักษาเพื่อลดการเกิดสิว เช่น เครื่องความเย็นที่ช่วยลดการอักเสบและบรรเทาอาการของสิว และการใช้เครื่องมือทางเคมี ทั้งนี้การรักษาสิวขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของสิว (Tuchinda, 2017)

ในทางการแพทย์แผนไทยนั้นอธิบายถึงการเกิดสิวว่ามีความเชื่อมโยงกับช่วงวัยที่อยู่ในช่วงปฐมวัยตอนปลาย (อายุ 16 ปี) และช่วงมัชฌิมวัยตอนต้น (อายุ 17-22 ปี) ธาตุไฟมีมากความร้อนในร่างกายสูงทำให้โลหิตและน้ำเหลือง กำเริบจากสมดุลกระทบต่อมังสัง คือ ผิวหนังแสดงอาการออกมาเป็นสิวตามบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย (Poonrada, 2018) ในการรักษาสิวในแพทย์แผนไทยใช้วิธีการและสมุนไพรจากแหล่งธรรมชาติที่เป็นที่นิยม เช่น การใช้สมุนไพรต่าง ๆ เพื่อลดการอักเสบของสิวและช่วยในการบรรเทาอาการ ซึ่งพืชมีสารสำคัญที่ได้จากการผลิตเมแทบอไลท์ทุติยภูมิที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ มีส่วนช่วยในลดอักเสบของสิว (Buachoon & Klomsungcharoen, 2024) เช่น ว่านหางจระเข้ ขมิ้นชัน หอมแดง ใบบัวบก ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีการแนะนำให้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการดูแลสุขภาพที่ส่งเสริมสุขภาพผิวหนังด้วย เช่น ดื่มน้ำเยอะ การออกกำลังกายและการบริโภคอาหารที่ดีต่อผิว (Lim, 2012)

นอกจากนี้ยังมีสมุนไพรอีกชนิด คือ ต้นพร้าวนกคุ่มมีจำนวนมากในพื้นที่สวนยางพาราในภาคใต้ ซึ่งต้นมีลักษณะคล้ายพืชพวกปาล์ม ต้นขนาดเล็ก แต่ในทางการแพทย์แผนไทยและหมอพื้นบ้านพบว่ารากพร้าวนกคุ่มมีสรรพคุณรากแก้ สิว ฝ้า จุดด่างดำ รักษาฝีภายนอก แก้บวม แก้อาการฟกช้ำ บำรุงกำลัง ใบ ดับพิษร้อน ถอนพิษไข้ กระจายโลหิตฟอกโลหิต แก้พิษงู แมลงกัดต่อย แก้อาการปวดข้อ หัว แก้มดลูกพิการหรือเนื้องอกในมดลูก ช่วยให้มดลูกเข้าอู่เร็ว รักษามดลูกอักเสบ ผลและดอก แก้ไอ แก้เจ็บคอ แก้ปวดท้อง ขับปัสสาวะ (Witthiangbuntham, 2015) และมีการรายงานพบว่า สารสกัดจากพร้าวนกคุ่มมีสารสำคัญ อาทิ สารกลุ่ม Alkaloids ได้แก่ Tazettine Lycorine Crinamrine สารกลุ่ม benzenoid ได้แก่ 2,6-dimethoxy benzoic acid และสารกลุ่ม steroid ได้แก่ beta-sitosterol มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรวมถึงสามารถยังยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *C.acne* (Chotinukul et al., 2020)

ปัจจุบันรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการรักษาสิวมีหลากหลายชนิด ซึ่งแผ่นแปะสิวเป็นวิธีหนึ่งที่อาจช่วยบรรเทาอาการสิวในกรณีที่ไม่รุนแรงได้ เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ขนาดเล็กพกพาได้สะดวก และมีส่วนช่วยดูดของเหลวและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ อุดตันอยู่ในผิวหนัง ป้องกันการเผลอแคะหรือเกาแผล และช่วยป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรีย เพื่อช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดอาการอักเสบ เกิดรอยแดง และช่วยให้แผลสมานตัวกันได้เร็วขึ้น (Poonrada,2018)

คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของรากพร้าวนกคุ่มในการรักษาสิว และนำมาพัฒนาในรูปแบบผลิตภัณฑ์แผ่นแปะสิวที่มีสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม ซึ่งเป็นสมุนไพรท้องถิ่นในภาคใต้ เพื่อให้เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคในการใช้แผ่นแปะสิวที่มีสารสกัดสมุนไพรและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของพืชในท้องถิ่นอีกทางด้วย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

2. เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

3. เพื่อพัฒนาแผ่นแปะรักษาสิวที่มีสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

สมมติฐานการวิจัย

1. สารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้

2. สารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *C.acne*

3. แผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีความคงตัวและคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมในการใช้กับผิวหนัง

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงสร้างของผิวหนัง

ผิวหนังของมนุษย์ประกอบด้วยสามชั้นหลัก ได้แก่ ชั้นหนังกำพร้า (epidermis) ชั้นหนังแท้ (dermis) และชั้นไขมัน (subcutis) โดยแต่ละชั้นมีหน้าที่และโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป (Viyochan, 2017; Sillaparassamee, Jaricksakulchai & Praserttai, 2023)

1. ผิวชั้นหนังกำพร้า (epidermis)

ชั้นหนังกำพร้าเป็นชั้นที่อยู่ด้านนอกสุดของผิวหนัง ทำหน้าที่ปกป้องผิวจากสารพิษ แบคทีเรีย และการสูญเสียน้ำ ชั้นนี้ประกอบด้วย 5 ชั้นย่อย ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลัดเซลล์ผิว (keratinisation) โดยเซลล์ในชั้น horny layer จะถูกยึดติดกันด้วยไลปิด แบริเออร์ (Lipids barriers) ที่ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันและมอบความชุ่มชื้นให้กับผิว หากผิวขาดไลปิดจะทำให้ผิวแห้งหยาบและลอกเป็นขุย ชั้นหนังกำพร้าถูกปกคลุมด้วยน้ำและไลปิดที่เรียกว่า Hydrolipid film ซึ่งช่วยทำให้ผิวอ่อนนุ่มและปกป้องจากแบคทีเรียและเชื้อรา โดยปกติ hydrolipid film จะถูกสร้างและรักษาโดยต่อมเหงื่อและต่อมไขมัน

2. ผิวหนังชั้นหนังแท้ (dermis)

ชั้นหนังแท้เป็นชั้นที่มีความหนาและยืดหยุ่น ประกอบด้วย 2 ชั้นย่อย และเป็นที่อยู่ของต่อมน้ำเหลือง ประสาทรับความรู้สึก และรูรากขน/ผม องค์ประกอบหลัก

ในชั้นนี้ คือ คอลลาเจนและอิลาสติน ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่น ช่วยให้ผิวดูอ่อนเยาว์ เส้นใยเหล่านี้ถูกตรึงไว้ด้วยสารที่มีลักษณะคล้ายเจล เช่น ไฮยาลูโรนิกแอซิด (Hyaluronic acid) ซึ่งมีความสามารถในการจับน้ำได้ดี

3. ชั้นไขมัน (subcutaneous fat)

ชั้นไขมันอยู่ในสุดของผิวหนัง ประกอบด้วยเซลล์ไขมัน (adipocytes) โปรตีนคอลลาเจน และหลอดเลือดที่หล่อเลี้ยงผิวหนัง ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานและเป็นเบาะกันกระแทกให้กับอวัยวะภายใน

การทำงานร่วมกันของชั้นผิวหนังทั้งสามชั้นนี้มีความสำคัญต่อการรักษาสุขภาพผิวและการปกป้องร่างกายจากสิ่งแวดล้อมภายนอก (Beiersdorf, 2024)

สิว (acne)

การเกิดสิว (acne) เป็นปัญหาผิวหนังที่มีหลายปัจจัยร่วมกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดสิว ได้แก่

1. การเพิ่มจำนวนเซลล์ในรูขุมขน (follicular epidermal hyperproliferation) เซลล์ในรูขุมขนที่เรียกว่า keratinocyte จะผลัดตัวออกมาและหลุดออกจากรูขุมขนตามปกติ แต่เมื่อมีการเพิ่มจำนวนเซลล์มากเกินไป จะทำให้เซลล์ที่ตายแล้วสะสมอยู่ภายในรูขุมขน ซึ่งอาจทำให้เกิดสิวอุดตัน (microcomedones) เมื่อเซลล์ keratinocyte เคราติน น้ำมันจากต่อมไขมัน (sebum) และแบคทีเรียสะสมรวมตัวกัน จะทำให้รูขุมขนขยายออกและกลายเป็นสิวอุดตัน (comedones) การกระตุ้นจากฮอร์โมนแอนโดรเจน (androgen stimulation) โดยเฉพาะ Dihydrotestosterone: DHT จะทำให้ keratinocyte เพิ่มจำนวนมากขึ้น นอกจากนี้ การลดลงของกรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) จะทำให้ keratinocyte ไม่สามารถผลัดตัวออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดการอักเสบและการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย *Propionibacterium acnes* (*P. acnes*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบได้ตามปกติในรูขุมขน

2. การผลิตน้ำมันมากเกินไป (sebum production) ต่อมไขมัน (sebaceous glands) มีหน้าที่ผลิตน้ำมัน (sebum) เพื่อเคลือบผิวหนังและรักษาความชุ่มชื้น แต่เมื่อผลิตน้ำมันมากเกินไปจะทำให้เกิดสิวได้ โดยน้ำมันนี้จะถูกแบคทีเรีย *P. acnes* ย่อยสลายเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) ซึ่งจะทำให้สภาพแวดล้อมในรูขุมขนเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *P. acnes* มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการอักเสบและสิวอุดตัน การผลิตน้ำมันมากเกินไปสามารถเกิดจากหลายสาเหตุ โดยเฉพาะการกระตุ้นจากฮอร์โมนแอนโดรเจน ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้ keratinocyte เพิ่มจำนวน แต่ยังทำให้เซลล์ต่อมไขมัน (sebocyte) แบ่งตัวมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตน้ำมันมากขึ้น มีการอักเสบเกิดขึ้นที่ผิวหนัง ระบบภูมิคุ้มกันจะตอบสนองโดยการหลั่งสารต่าง ๆ เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอม เช่น แบคทีเรีย *P. acnes* ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการปวด ร้อน และบวมในบริเวณที่อักเสบ การอักเสบสามารถเกิดขึ้นได้ก่อนและหลังการเกิดสิวอุดตัน

แนวทางป้องกันสิว

การป้องกันสิวสามารถทำได้โดยการ: ล้างหน้าตามแนวรูขุมขนให้สะอาดวันละ 2 ครั้ง รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ครบ 5 หมู่ ผ่อนคลายความเครียด ปรึกษาแพทย์ก่อนเริ่มใช้ยาใด ๆ หากเริ่มมีสิว ควรปรึกษาแพทย์เพื่อป้องกันการเกิดสิวอักเสบรุนแรงที่อาจนำไปสู่แผล เป็นการดูแลรักษาผิวและการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ชีวิตสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดสิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Maneepisamai et al., 2012)

แผ่นแปะสิว (acne patches)

แผ่นแปะสิว (acne patches) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาเพื่อช่วยบรรเทาอาการสิว โดยมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ขนาดเล็ก ซึ่งส่วนผสมหลักคือ สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับของเหลวและสิ่งสกปรก ที่อุดตันอยู่ในผิวหนัง ป้องกันการเผลอแคะหรือเกาแผล ซึ่งอาจทำให้เกิดการติดเชื้อแบคทีเรีย ลดความเสี่ยงต่อการเกิดอาการอักเสบและรอยแดง เมื่อไม่มีการรบกวนผิวบริเวณนั้น ผิวจะอักเสบน้อยลง จึงลดโอกาสการเกิดรอยแดงและรอยดำหลังสิวหายช่วยให้แผลสมานตัวได้เร็วขึ้น ซึ่งแผ่นแปะสิวเหมาะสำหรับการใช้กับสิวที่หัวสิวอยู่ไม่ลึกมาก เพราะแผ่นแปะสิวถูกออกแบบมาเพื่อดูดซับของเหลวจากผิวหนัง เช่น หนองหรือน้ำเหลือง ซึ่งมัก

พบในสิวที่อยู่ “ตื้น” หรือสิวที่มีหัวแล้ว เช่น สิวหัวหนอง หรือสิวซีสต์ที่เห็นหัวสิวชัดเจน ส่วนสิวที่หัวสิวอยู่ลึกลงไปในผิวหนังหรือสิวอุดตันมักจะไม่สามารถใช้ได้ผลดี และอาจช่วยลดรอยดำ รอยแดง และความมัน อาจช่วยลดอัตราการผลิตน้ำมัน เนื่องจากแผ่นแปะสิวทำหน้าที่เป็น “เกราะป้องกัน” ที่ช่วยลดการระคายเคืองจากสิ่งแวดล้อม เช่น ฝุ่น แบคทีเรีย และการสัมผัส เมื่อไม่มีการรบกวนผิวบริเวณนั้น ผิวจะอักเสบน้อยลง จึงลดโอกาสการเกิดรอยแดงและรอยดำหลังสิวหาย อีกทั้งยังดูดซับของเหลวและความชื้นส่วนเกินจากผิว ทำให้ผิวบริเวณนั้นแห้งลงชั่วคราว ลดการสัมผัสของผิวกับอากาศภายนอก ซึ่งช่วยลดการกระตุ้นต่อมไขมันให้ผลิตน้ำมันเพิ่ม และอาจช่วยป้องกันผิวหนังจากรังสียูวีบี (UVB) อย่างไรก็ตามการทดลองที่มีอยู่ในปัจจุบันยังมีขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ค่อนข้างน้อยและระยะเวลาการทดลองที่สั้น จึงยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมในกลุ่มคนจำนวนมากขึ้นและระยะเวลาทดลองที่ยาวนานขึ้นเพื่อยืนยันถึงความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการใช้แผ่นแปะสิว (Chaturaphisanukun, 2019) การใช้แผ่นแปะสิวจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับผู้ที่ต้องการบรรเทาอาการสิวอย่างรวดเร็ว แต่ควรใช้ควบคู่กับการดูแลผิวอย่างเหมาะสมและการปรึกษาแพทย์เมื่อจำเป็น

พืชสมุนไพร พร้าวนกคุ่ม

ชื่อสมุนไพร: พร้าวนกคุ่ม

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Molineria latifolia* Herb. ex Kurz.

ชื่อวงศ์: Hypoxidaceae

ชื่ออื่น ๆ: ว่านสากเหล็ก จ้าลาน มะพร้าวนกคุ่ม พร้าวนก พร้าวนกคุ่ม

ถิ่นกำเนิด พร้าวนกคุ่มเป็นพรรณพืชที่มีถิ่นกำเนิดบริเวณประเทศพม่า ไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทยสามารถพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศ แต่จะพบมากทางภาคตะวันออก ภาคตะวันตก และภาคใต้ บริเวณป่าดิบชื้น ป่าดงดิบหรือตามสวนป่าและสวนผลไม้

ลักษณะทั่วไป พร้าวนกคุ่มจัดเป็นไม้ล้มลุกที่มีลักษณะคล้ายพืชพวกปาล์ม มีความสูงประมาณ 30-40 เซนติเมตร ลำต้นเหนือดินมีลักษณะกลุ่มชุ่มน้ำ และมีหัวคล้ายรากที่มีลักษณะกลมรีแทงลึกลงไปในดินประมาณ 10-30 เซนติเมตร ใบ ออกเรียงสลับติดกันที่โคนต้น ใบมีสีเขียว รูปขอบขนานแกมรูปหอก พับเป็นร่อง ๆ ตามยาว ปลายใบเรียวแหลม โคนใบสอบแคบ กว้างประมาณ 4-6 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30-40 เซนติเมตร มีก้านใบยาว 25-30 เซนติเมตร ดอก มี 6 กลีบ สีเหลือง มีขนปกคลุม โคนเชื่อมติดกัน ดอกแทงออกจากใต้ดินเป็นช่อรวมกันแน่น เป็นทรงกระบอกปลายแหลม ผลสดมีลักษณะกลม เมื่อผลอ่อนจะมีสีเหลืองอมเขียวอ่อน ส่วนผลแก่เป็นสีขาวถึงแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร และยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร มีรสหวานฝาด

สรรพคุณ ราก แก้ สิว ฝ้า จุดด่างดำ รักษาฝีภายนอก แก้บวม แก้อาการฟกช้ำ บำรุงกำลัง ใบ ดับพิษร้อน ถอนพิษไข้ กระจายโลหิต ฟอกโลหิต แก้พิษงู แมลงกัดต่อย แก้อาการปวดข้อ หัว แก้มดลูกพิการหรือเนื้องอกในมดลูก ช่วยให้มดลูกเข้าอู่เร็ว รักษามดลูกอักเสบ ผลและดอก แก้ไอ แก้เจ็บคอ แก้ปวดท้อง ขับปัสสาวะ (Madethai, 2021)

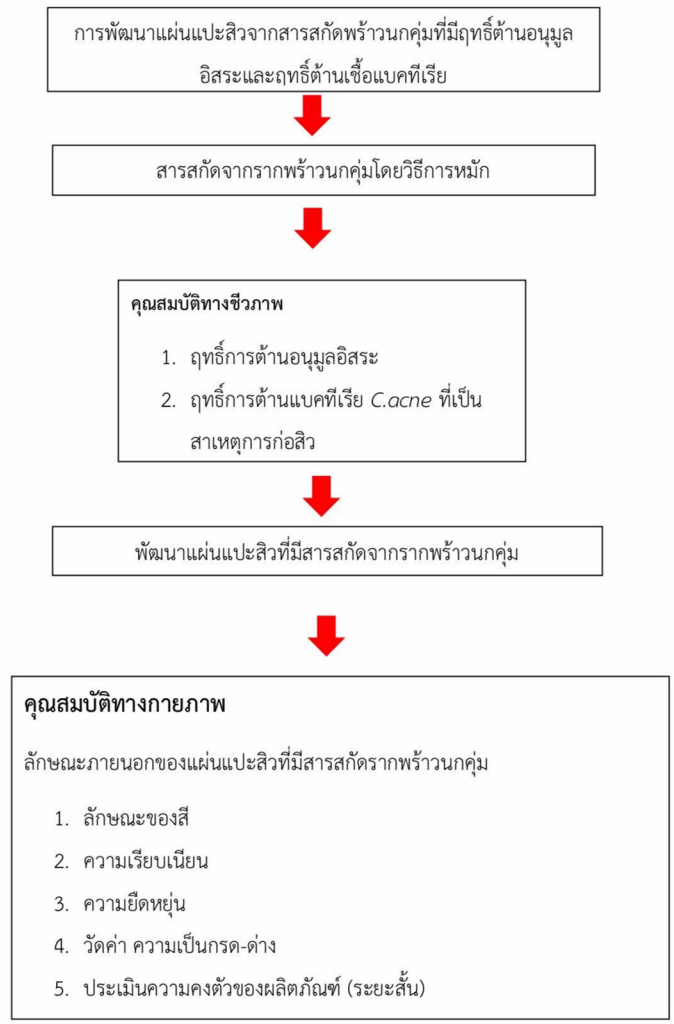
สารสำคัญที่พบในรากพร้าวนกคุ่ม มีรายงานผลการศึกษาวิจัยองค์ประกอบทางเคมี ของพร้าวนกคุ่มระบุว่าพบสารออกฤทธิ์ ที่สำคัญหลายชนิด อาทิ สารกลุ่ม Alkaloids ได้แก่ Tazettine Lycorine Crinamrine สารกลุ่ม benzenoid ได้แก่ 2,6-dimethoxy benzoic acid และสารกลุ่ม steroid ได้แก่ beta-sitosterol (Witthiangbuntham, 2015)

กรอบแนวคิดการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาแผ่นแปะสิวจากสารสกัดพร้าวนกคุ่มที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย มีรายละเอียดดังภาพ 1 และภาพ 2



ภาพ 1 การพัฒนาแผ่นแปะสิวจากสารสกัดพร้าวนกคุ่มที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย



ภาพ 2 ขั้นตอนการดำเนินการการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บตัวอย่างรากพร้าวนกคุ่ม

รากพร้าวนกคุ่มเก็บจากในพื้นที่ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง มาตรวจสอบชนิดพืชที่ถูกต้องตามหลักพฤกษศาสตร์ โดยนักพฤกษศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญและหมอพื้นบ้านที่ใช้พร้าวนกนกคุ่มในการการทำยา พร้อมเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เก็บไว้ (specimen) ของคณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิตัล มหาวิทยาลัยทักษิณ แล้วจึงนำรากพร้าวนกคุ่มสดล้างทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้ง และหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบด้วยตู้อบในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

การสกัดรากพร้าวนกคุ่มด้วยวิธีการหมัก

นำรากพร้าวนกคุ่ม ที่เก็บในพื้นที่จังหวัดพัทลุง อำเภอป่าพะยอม นำรากมาล้างทำความสะอาด และหั่นสมุนไพรเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำรากพร้าวนกคุ่มที่อบแห้งมาสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ 95% เอทานอล ด้วยวิธีการหมัก (maceration) โดยดัดแปลงจาก (Pute et al., 2023) นำรากพร้าวคุ่มน้ำหนัก 250 กรัม หมักด้วยเอทานอล 95% เป็นเวลา 7 วัน โดยทำการเขย่าทุกวัน วันละหลายครั้ง ให้รากพร้าวนกคุ่มเข้ากับเอทานอล จากนั้นกรองเอาสารสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ (Whatman No.1) จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไประเหยเอาสารละลายออก ด้วยเครื่อง Vacuum rotary evaporator โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส นำมาคำนวณหาผลผลิตที่ได้ (%Yield) ดังสูตรด้านล่าง และทำการเก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วปิดฝาสนิทที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ทดลองในขั้นต่อไป

ร้อยละของผลผลิต (%yield) = (น้ำหนักของสารสกัดหยาบ/น้ำหนักของสมุนไพรแห้ง) × 100 (1)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มใน โดยวิธี DPPH radical scavenging assay

การวิเคราะห์ดัดแปลงจากวิธีของ Yamasaki และคณะ เตรียมสารละลายมาตรฐาน DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) โดยละลายใน Absolute ethanol (ร้อยละ 99.9) จากนั้นชั่งสารมาตรฐาน วิตามินซี (Ascorbic acid) และสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม อย่างละ 1 มิลลิกรัม ละลายด้วย Absolute ethanol 1 มิลลิลิตร จนได้เป็นสารละลายตัวอย่าง จากนั้นนำไป Sonicate เป็นเวลา 5 นาที ปิเปตสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 100 50 10 และ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลุม 96 well-microplates และเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครลิตร โดยใช้สารละลายตัวอย่างความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และเติม Absolute ethanol ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เป็น Blank ของสารละลายตัวอย่าง และใช้ Absolute ethanol ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ร่วมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เป็น Control ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader จากนั้นหาค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่มีประสิทธิภาพยับยั้งอนุมูลอิสระได้ลดลงร้อยละ 50 (IC_{50}) จากค่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดกับ % Inhibition (dose response curve) ด้วยโปรแกรม Prism โดยทำซ้ำจนครบ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยและนำค่า Absorbance ที่หาค่าเฉลี่ยมาคำนวณหาหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังต่อไปนี้

% Radical Scavenging Activity = A control-A sample/A sample x100 (2)

เมื่อ A sample คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

A control คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Cutibacterium acne* โดยวิธี Disc Diffusion

โดยเตรียมรากพร้าวนกคุ่มละลายด้วยเอทานอล ด้วยความเข้มข้นสูงสุดที่เตรียมได้เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อ

มิลลิลิตร จากนั้นนำมาทำให้ไร้เชื้อโดยกรองผ่านเมมเบรนที่มีรูพรุน 0.2 ไมโครเมตร แล้วเตรียมตัวอย่างด้วยเทคนิคปลอดเชื้อให้มีความเข้มข้น 10 100 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C.acnes* ด้วยวิธี disc diffusion ในการทดสอบ ใช้ตัวอย่างปริมาตร 10 ไมโครลิตร หยดลงบนแผ่นกระดาษกรอง (Filter Paper Disc) ขนาด 6 มิลลิเมตร จะได้ตัวอย่างปริมาณ 0.1 1 และ 10 มิลลิกรัม แล้วทดสอบเปรียบเทียบกับยามาตรฐาน Clindamycin ปริมาณ 0.002 มิลลิกรัม จากนั้นนำสารแขวนตะกอนเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* ที่ทำการปรับความขุ่นให้เท่ากับ 0.5 McFarland standards มาเกลี่ยให้มีความสม่ำเสมอทั่วผิวอาหารวุ้น BHI ด้วย Cotton swab วาง Filter Paper Disc ที่ได้รับการหยดตัวอย่างไว้แล้วลงบนผิวอาหารวุ้น โดยใช้ตัวทำละลายที่ละลายตัวอย่างเป็น Negative Control ทำการบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37-41 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ประเมินผลการทดสอบโดยการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในหน่วยมิลลิเมตร

ทำการละลายส่วนผสมต่าง ๆ ในน้ำกลั่นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง hotplate และ stirrer เป็นเวลา 25 นาที เติมสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม (ละลายด้วยเอทานอล) ความเข้มข้น 0.5 1 1.5 และ 2 กรัม ผสมให้เข้ากันแล้วเทลงบนจานแม่แบบซิลิโคนสี่เหลี่ยม นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง นำแผ่นแปะวางลงบนกระดาษมันเปล่า หลังจากนั้นนำแผ่นแปะมาตัดให้เป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ปิดด้วยแผ่นใส ใส่ถุงบรรจุภัณฑ์ติดฉลาก

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและความคงตัวของแผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

การทดสอบความเป็นกรด – ด่าง

โดยศึกษาความเป็นกรดด่าง (pH) ของแผ่นแปะสิวพร้าวนกคุ่ม ด้วยเครื่อง pH-conductivity meter (Sartorius®Docu-pH meter) โดยจุ่ม Electrode ลงในเนื้อแผ่นแปะสิวขณะที่ยังไม่อบแห้ง (Srisuksomwong et al., 2023)

การทดสอบความยืดหยุ่น ด้วยเครื่อง Tensile Test

การทดสอบความยืดหยุ่น ด้วยเครื่อง Tensile Test โดยใช้แรงกระทำไปยังวัสดุในแนวเดียวจนกระทั่งวัสดุนั้นแตกหักเพื่อวัดค่าความแข็งแรงของวัสดุเมื่อถูกแรงดึงมากระทำจากแรงกระทำภายนอกจนกระทั่งขาด

การทดสอบปริมาณความชื้นของแผ่นแปะสิวจากสารสัดรากพร้าวนกคุ่มโดยใช้ Moisture Balance

โดยการนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (initial weight) ให้ความร้อนด้วยแหล่งความร้อนอินฟราเรด (Infrared) ระเหยความชื้นออกจากตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักอีกครั้งหลังจากความชื้นระเหยออก คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture) ด้วยสูตร

Moisture (%) = น้ำหนักเริ่มต้น–น้ำหนักหลังทำแห้ง/น้ำหนักเริ่มต้น x 100 (3)

การประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์ โดยวิธี Heating–cooling cycle

ทำการประยุกต์การทดสอบจากจันทรรัตน์และคณะ Jaricksakulchai, Sillaparassamee and Wiangpati (2023) การประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์โดยวิธี Heating-cooling cycle โดยทำการเก็บรักษาในรูปแบบที่สภาวะเร่ง Freeze and Thaw Cycling จำนวน 7 Cycles โดยนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง และนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ทำเช่นนี้นับเป็น 1 cycle แล้วนำมาประเมินผลลักษณะภายนอก กลิ่น เนื้อสัมผัส โดยการสังเกต

ตาราง 1

การพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์แผ่นแปะสิวที่มีสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

สูตรในตำรับ	สูตร				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
Pactin	2	2	2	2	2
NaCMC	1	1	1	1	1
Glycerol	4	4.5	5	5.5	6
95% Ethanol	5	5	5	5	5
M.latifolia root extract	2	2	2	2	2
Water	86	85.50	85	84.50	84

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง และคณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นสถิติเชิงพรรณนา โดยใช้เป็นค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ เพื่ออธิบายผลการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (Charoenphonphibun et al., 2018)

ผลการวิจัย

1. ผลการสกัดรากพร้าวนกคุ่มด้วยวิธีการหมัก

สารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม หมักด้วยเอทานอล 95% เป็นเวลา 7 วัน มีการทำเขย่าทุกวัน พบว่าการสกัดด้วยวิธีการด้วยวิธีการหมัก (maceration) ให้ค่าร้อยละของผลผลิต (%yield) เท่ากับ 2.93 สารสกัดมีสีน้ำตาลเข้ม เหนียวข้น

2. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มใช้วิธี DPPH radical scavenging assay

ผลจากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยใช้วิตามินซี (ascorbic acid) เป็นสารมาตรฐาน โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร พบว่าวิตามินซี (ascorbic acid) ที่ใช้เป็นสารมาตรฐานในการทดสอบนั้นมีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.34 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม สารสกัดรากพร้าวนกคุ่มด้วย 95% เอทานอลนั้นมีค่า IC_{50} เท่ากับ 15.70 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ซึ่งมีค่าแตกต่างกับค่า IC_{50} ของวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญ $p<.05$ DPPH radical

3. ผลการฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acne* โดยวิธี Disc Difusion

จากการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* ของสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม เปรียบเทียบกับยามาตรฐาน Clindamycin ด้วยวิธี disc difusion มีขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* ดังได้สรุปไว้ในตาราง 2 โดยรากพร้าวนกคุ่มมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* ในปริมาณ 10 มิลลิกรัม และ 1 มิลลิกรัม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* เท่ากับ 10.74±0.59 มิลลิเมตร และ 7.26+0.13 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบยาต้านเชื้อแบคทีเรียมาตรฐาน Clindamyin ปริมาณ 0.002 mg มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* เท่ากับ 41.74+0.34 มิลลิเมตร

4. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและความคงตัวของแผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

จากการพัฒนาแผ่นแปะสิวที่มีสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม โดยมีสูตร 5 สูตร มีส่วนประกอบในสูตร ได้แก่ สารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม 95% เอทานอล น้ำกลั่น และสารก่อฟิล์ม ซึ่งทั้ง 5 สูตร ได้แผ่นแปะที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่ม แรงดึงความยืดหยุ่นได้ดี ยืดติดกับผิวได้นานโดยการทดสอบกับ

ผู้วิจัย และมีค่าความเป็น กรด-ด่าง อยู่ที่ 5.38–7 วัดด้วยเครื่อง pH Meter ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับผิวหน้า มีปลอดภัย ไม่ส่งผลให้ผิวหนังขาดน้ำ หรือเกิดการระคายเคือง

4.1 ผลการทดสอบความเป็น กรด – ด่าง

จากการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ทั้ง 5 สูตร ตำรับแผ่นแปะสิวพร้าวนกคุ่ม มีค่า pH อยู่ที่ 5.38–7.00 ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับผิวหน้า ปลอดภัย ไม่ส่งผลให้ผิวหนังขาดน้ำ หรือเกิดการระคายเคือง ดังตาราง 3

4.2 ผลการทดสอบความยืดหยุ่นของแผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

จากการทดสอบความยืดหยุ่น ทั้ง 5 สูตร โดยสูตรที่ 1 แผ่นแปะมีลักษณะค่อนข้างแห้งและแข็ง ไม่ค่อยมีความยืดหยุ่น แรงดึงขาดง่าย Elastic Limit/TensileStrength เท่ากับ 38.62 มิลลิเมตร ต่อ Elasticity -7.18 สูตรที่ 2 แผ่นแปะมีลักษณะค่อนข้างแห้ง ไม่ค่อยมีความยืดหยุ่น แรงดึงขาดง่าย ElasticLimit/Tensile Strength เท่ากับ 65.79 มิลลิเมตร ต่อ Elasticity -14.48 สูตรที่ 3 แผ่นแปะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่ม แต่ยังมีความแห้งตรงด้านบนแผ่น แรงดึงยืดหยุ่นได้ไม่มาก ElasticLimit/Tensile Strength เท่ากับ 65.01 มิลลิเมตร ต่อ Elasticity -15.59 สูตรที่ 4 ผิวด้านบนแผ่นแปะมีลักษณะคล้ายแผ่นเจล แรงดึงความยืดหยุ่นได้มาก แต่ขาดง่าย ElasticLimit/Tensile Strength เท่ากับ 88.41 มิลลิเมตร ต่อ Elasticity -19.12 และสูตร 5 แผ่นแปะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่ม แรงดึงความยืดหยุ่นได้ดีมาก ElasticLimit/Tensile Strength เท่ากับ 120.00 มิลลิเมตร ต่อ Elasticity -19.01 ดังตาราง 4

5. ผลการทดสอบปริมาณความชื้นของแผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

จากการทดสอบความชื้นทั้ง 5 สูตร สูตรตำรับแผ่นแปะสิวพร้าวนกคุ่ม มีค่าความชื้นในช่วง 23–25% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยตามมาตรฐานที่ใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ไม่ทำให้ผิวแห้งหรือเกิดการระคายเคือง ดังตาราง 5

6. ผลการประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (ระยะสั้น)

ทำการเก็บรักษาแผ่นแปะสิวที่มีสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม รูปแบบที่สภาวะเร่ง Freeze and thaw cycling จำนวน 7 รอบ โดยนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง และนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ทำเช่นนี้นับเป็น 1 รอบ ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านอุณหภูมิและความชื้น เพื่อประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาและสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย จากการทดสอบสภาวะความเร่งของแผ่นแปะทั้ง 5 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 2 3 4 และสูตรที่ 5 พบว่า หลังการทดสอบ ทั้ง 5 สูตร มีลักษณะสีที่ไม่เปลี่ยนแปลง กลิ่น เนื้อสัมผัส ค่าความยืดหยุ่น และค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตาราง 6

ตาราง 2

ผลการยับยั้งแบคทีเรีย C. acnes โดยวิธี disc diffusion

Example	Quantity tested (mg)	Diameter of the zone for inhibiting the growth of *C. acnes* bacteriam (mm)*			
		Plate 1	Plate 2	Plate 3	Average±SD
M. latifolia	10	10.53	11.41	10.28	10.74±0.59
	1	7.28	7.12	7.37	7.26±0.13
	0.1	ND	ND	ND	ND
Ethanol (Negative Control)	10	ND	ND	ND	ND
Clindamysin (Positive Control)	0.002	41.62	42.12	41.48	41.74±0.34

Note. ND = Not detect

ตาราง 3

ผลของการวัดความเป็น กรด–ด่าง

Formula	ค่า pH			Average±SD
	1	2	3	
1	7.00	6.40	6.75	6.71±0.25
2	6.56	6.43	6.53	6.50±0.06
3	4.72	6.67	6.24	5.87±0.84
4	5.29	5.79	6.39	5.82±0.45
5	5.63	5.38	5.50	5.50±0.10

ตาราง 4

การทดสอบความยืดหยุ่นของแผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม

Formula	ค่า pH						Average	Average
	1		2		3			
	Elastic Limit/ Tensile Strength (mm)	Elasticity	Elastic Limit/ Tensile Strength (mm)	Elasticity	Elastic Limit/ Tensile Strength (mm)	Elasticity	Elastic Limit/ Tensile Strength (mm)	Elasticity
1	57.44	-12.44	40.14	-8.91	18.29	-0.2	38.62	-7.18
2	57.08	-9.81	81.50	-21.35	58.79	-12.27	65.79	-14.48
3	77.57	-19.23	79.66	-20.19	37.81	-7.35	65.01	-15.59
4	82.85	-10.49	84.57	-24.63	97.83	-22.23	88.41	-19.12
5	140.79	-24.22	74.01	-11.19	145.21	-21.63	120	-19.01

ตาราง 5

การทดสอบปริมาณความชื้นของแผ่นแปะสิวจากสารสกัดพร้าวนกคุ่ม

The time (n=3)		Formula				
		1	2	3	4	5
1	Pre-weight value	0.102	0.126	0.106	0.137	0.102
	Post-weight value	0.079	0.097	0.086	0.108	0.083
	Moisture value	38.47%	24.87%	25.51%	26.03%	24.93%

ตาราง 5 (ต่อ)

The time (n=3)		Formula				
		1	2	3	4	5
2	Pre-weight value	0.087	0.107	0.097	0.117	0.104
	Post-weight value	0.075	0.083	0.007	0.091	0.089
	Moisture value	5.00%	25.71%	5.65%	24.35%	23.89%
3	Pre-weight value	0.126	0.137	0.082	0.125	0.068
	Post-weight value	0.098	0.112	0.069	0.101	0.084
	Moisture value	25.16%	22.51%	5.06%	24.01%	23.49%
Average	Pre-weight value	0.105	0.123	0.095	0.126	0.091
	Post-weight value	0.084	0.097	0.054	0.1	0.085
	Moisture value	22.88%	24.36%	12.07%	24.80%	24.10%

ตาราง 6

การประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (ระยะสั้น)

Formula		Stability assessment									
		Temperature 4 °C					Temperature 45 °C				
		Toweling	Texture	color	smell	flexibility	Toweling	Texture	color	smell	flexibility
Before	Formula 1	/	/	×	×	/	/	/	×	×	/
	Formula 2	/	/	/	×	/	/	/	/	×	/
	Formula 3	/	/	/	×	/	/	/	/	×	/
	Formula 4	/	/	/	×	/	/	/	/	×	/
	Formula 5	/	/	/	×	/	/	/	/	×	/
After	Formula 1	/	/	×	×	/	/	/	×	×	/
	Formula 2	/	/	/	×	/	/	/	/	×	/
	Formula 3	/	/	/	×	/	/	/	/	×	/
	Formula 4	/	/	/	×	/	/	/	/	×	/
	Formula 5	/	/	/	×	/	/	/	/	×	/

หมายเหตุ / คือ

การเซ็ตตัว	/ หมายถึง แผ่นเจลเซ็ตตัว	× หมายถึง แผ่นเจลละลาย
สัมผัส	/ หมายถึง นุ่ม	× หมายถึง แผ่นเจลแห้งแข็ง
สี	/ หมายถึง มีสี	× หมายถึง ไม่มีสี
กลิ่น	/ หมายถึง มีกลิ่น	× หมายถึง ไม่มีกลิ่น
ความยืดหยุ่น	/ หมายถึง มีความยืดหยุ่น	× หมายถึง ไม่มีความยืดหยุ่น

การอภิปรายผล

จากสมมติฐานข้อที่ 1 สารสกัดรากพร้าวนกคุ่มที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยค่า IC_{50} เท่ากับ 99.80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่า สารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซี ทั้งนี้เนื่องจากค่า IC_{50} ของวิตามินซี เท่ากับ 86.51 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งบ่งชี้ว่า สารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซี ค่า IC_{50} ที่สูงกว่าแสดงถึงความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของเรืองผา Rungpha (2013) พบว่า สารสกัดหยาบทั้งส่วนเหนือดินและใต้ดินมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง โดยสารสกัดหยาบด้วยน้ำร้อนจากส่วนเหนือดิน ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง นอกจากพร้าวนกคุ่มจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงแล้ว ยังมีรายงานว่า พร้าวนกคุ่มสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มก่อโรคทางผิวหนัง *C. acnes P. aeruginosa* และ *S. aureus* ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับรายรายงานที่ผ่านมาว่าสมุนไพรที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถลดการอักเสบของผิวหนังและการเกิดสิวได้ (Buachoon, 2020)

จากสมมุติฐานข้อที่ 2 สารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีฤทธิ์ต้านเชื้อ *C. acnes* พบว่า สารสกัดรากพร้าวนกคุ่มเปรียบเทียบกับยามาตรฐาน Clindamycin ด้วยวิธี disc diffusion มีขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* โดยสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* ในปริมาณ 10 มิลลิกรัม และ 1 มิลลิกรัม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* เท่ากับ 10.7440.59 มิลลิเมตร และ 7.26+0.13 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบยาต้านเชื้อแบคทีเรียมาตรฐาน Clindamyin ปริมาณ 0.002 มิลลิกรัม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acnes* เท่ากับ 41.74+0.34 มิลลิตรเมตร ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับวิจัยของ Napisah et al. (2011) ที่ว่าพร้าวนกคุ่ม มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *C. acne* และยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยที่มีความเข้มข้นที่สูงเมื่อเทียบกับ Clindamyin

จากสมมุติฐานข้อที่ 3 แผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีความคงตัวและคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมกับการใช้กับผิวหนัง พบว่า สูตรที่ 5 มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุดด้วยมีสูตรส่วนประกอบของสูตรที่มี Gycerol มากกว่าสูตรอื่น ๆ ทำให้สูตรที่ 5 มีสีที่ใสกว่าสูตรอื่น ๆ ยืดหยุ่นได้ดี เกาะและติดผิวได้นาน มีความชื้นอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย คือ 25%-30% ความคงตัวดีหลังการทดสอบสภาวะเร่งระยะสั้น (heating–cooling cycle) โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะของสี ความเรียบเนียน ความยืดหยุ่น และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เหมาะสมกับผิว คือ 5.38–7 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงสูตรตำรับ ทำให้ได้แผ่นแปะที่มีเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งาน การทดสอบความคงตัวแสดงให้เห็นว่า ส่วนประกอบในสูตรตำรับมีความเสถียร ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัย Puangmala et al. (2024) ที่ว่า การเลือกใช้สารก่อฟิล์มและสารให้ความยืดหยุ่นในสัดส่วนที่เหมาะสม รวมถึงความเข้มข้นของสารสกัด มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นแปะ เช่น ความยืดหยุ่น ความเปราะ และความชื้น นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะเวลาในการอบแผ่นแปะก็มีผลต่อความคงสภาพของผลิตภัณฑ์

จากผลการวิจัย สารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม มีฤทธิ์ในการยับยั้ง เชื้อแบคทีเรีย *C. acne* อีกทั้งยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและหลังจากการทดสอบลักษณะทางกายภาพของแผ่นแปะสิวที่มีสารสกัดรากพร้าวนกคุ่ม ทั้ง 5 สูตร พบว่า แผ่นแปะสิวสูตรที่ 5 มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุดคือ มีลักษณะผิวสัมผัสที่นิ่ม สามารถยืดหยุ่นได้ดี ติดผิวหนังได้นาน

ข้อเสนอแนะ

1. แผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีลักษณะสีที่เข้มและเด่นชัด โดยอาจทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับสีของผลิตภัณฑ์ ให้อ่อนลงหรือให้สีมีความสม่ำเสมอกับสีผิวของผู้ใช้

2. แผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มสามารถเป็นแนวทางในการส่งเสริมนโยบายการใช้ผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรที่มีอยู่ในธรรมชาติในกลุ่มผลิตภัณฑ์สุขภาพเป็นการเพิ่มมูลค่าต่อยอดเชิงพาณิชย์ต่อไป

3. แผ่นแปะสิวจากสารสกัดรากพร้าวนกคุ่มมีการทดสอบความคงตัวระยะสั้นของผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาลักษณะของแผ่นแปะสิวและมีแนวทางการทดสอบความคงตัวระยะยาวเพิ่มเติมเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและช่วงสภาพแวดล้อมที่หลากหลายของผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะยาว

References

Buachoon, N., & Klomsungcharoen, W. (2024). Antioxidant activity and Tyrosinase inhibition activity of extracts from Elaeocarpus hygrophilus to cosmetic formulations for continue commercialization. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 18*(3), 37–54. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/270571 (in Thai)

Buachoon, N. (2020). Phytochemical screening and antioxidant activity of fresh and dried Nasturtium officinal Plants. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 14*(1), 144–154. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/240121 (in Thai)

Charoenphonphibun, K., Chaichalotrakul, S., & Saiwichai, T. (2018). Effectiveness of a non-thermal plasma machine in treating acne on the back. *Journal of the Graduate Research Presentation Conference, 61*(13), 3042. Retrieved from https://rsujournals.rsu.ac.th/index.php/rgrc/issue/view/40 (in Thai)

Chotinukul, T., Soi-ngam, T., Chunhachat, O., & Srithaworn, M. (2021). Development of acne treatment patches from natural materials: Biocellulose mixed with red sandalwood rough extracts. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ), 29*(6), 967-976. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/247182/173597 (in Thai)

Frezza, E. (2017). *Medicated hydrocolloid dressing for acne treatment* (Record no. US 2017/ 0304215 A1). USA: United States Patent. https://bit.ly/3XeGXFM

Heyneman, A., Beele, H., Vanderwee, K., & Defloor, T. (2008). A systematic review of the use of hydrocolloids in the treatment of pressure ulcers. *Journal of Clinical Nursing, 17*(9), 1164–1173. https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2007.02218.x

Inprasert, S., Pithak Saeheng, P., Petcharee, P., Dechbumroong, P., Anuntawuttikul, K., Niwattisaiwong, N., & Suedee, A. (2022). Gel formulation from bark of *Tinospora crispa* (L.) Miers ex Hook. F. & Thomson extract for inflammatory acne. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University, 41*(2), 104-116. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/scimsujournal/article/view/253056/174012 (in Thai)

Jaricksakulchai, J., Sillaparassamee, R., & Wiangpati, T. (2023). Skin cream containing Ganoderma lucidum root extract to increase skin elasticity in the elderly, Sa Kaeo Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(1), 41–51. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/259638 (in Thai)

Jittsomnuek, I., & Akapanchai, D. (2021). Effectiveness of hydrogel mixed with Phak Buran extract in reducing acne inflammation. *Journal of Health Systems Research and Development, 14*(3), 111-124. Retrieved from https://kb.hsri.or.th/dspace/handle/11228/5254 (in Thai)

Kapao, N., & Wattanutchariya, W. (2018). Development of natural acne patch from local materials using quality function deployment technique. In C. Hamontree (Ed.). *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2018): Exploring Innovative Solutions for Smart Society 2018 Jul 4-7 Phuket, Thailand* (pp. 201-204). Phuket: Curran. (in Thai)

Luengnarudom, U., Akkanimat, R., Srirat, P., Pratumthet, C., Nakasen, K., Inthaketu, R., & Phromchiang, J. (2022). Development of wound dressing hydrocolloid patch of Garcinia mangostana Linn. extracts. *Koch Cha Sarn Journal of Science, 44*(1), 51–61. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/kochasarn/article/view/256534 (in Thai)

Nakawajana, S., Srisuphasitanon, S., Sukatta, U., Sukhyai, P., & Piyaboon., O. (2020). Anti-Staphylococcus epidermidis acnes by bio-cellulose acne patches from mangosteen peel extracts. *Journal of Health Science of Thailand, 29*(4), 711–718. Retrieved from https://thaidj.org/index.php/JHS/article/view/9315 (in Thai)

Napisah, H., Azmahani, A., Zubaidi, A. L., Intan, A., & Nazifah, A. (2011). A Preliminary Study on the Antimicrobial Properties of Several Plants Collected from Terengganu, Malaysia. *Journal Of Agrobiotechnology, 2*, 99-106. Retrieved from https://journal.unisza.edu.my/agrobiotechnology/index.phpagrobiotechnology/article/view/22

Pansawat, N., Chuthong, L., and Akrasiritratana, K., (2023). Development of skin patches from herbal compress extracts. *Valaya Alongkorn Research and Development Journal under Royal Patronage, 18*(2), 2-14. Retrieved from https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/article/view/258114/178176 (in Thai)

Pirunrat Saelim. (2012). *Article from Faculty of Medicine, Prince of Songkla University*. Retrieved from https://www.ttmed.psu.ac.th/th blog/113 (in Thai)

Prasertwaree, P., Mingmuang, J., Thongdee, S., Onthong, S., & Chansuwanich, N. (2015). The Development of Transdermal Patch From *Centella asiatica* (L.) Urban. *Bulletin of the Department of Medical Sciences, 57*(2), 174–185. Retrieved from https://he02.tci-thaijo.org/index.php/dmsc/article/view/242715 (in Thai)

Pochananukit, N., & Kajonchipphanngam, S., (2010). Herbal gel for inhibiting acne-causing bacteria. *Ladkrabang Science Journal, 19*(2), 48-58. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/science_kmitl/article/view/100105/77805 (in Thai)

Saenprakob, P., & Saengmanee, K., (2020). Development of an anti-acne facial cleansing gel formula using Thai anchor extract. *Wichcha Journal, 39*(2), 87-100. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/article/view/237057/169773 (in Thai)

Sillaparassamee, R., Jaricksakulchai, J., & Praserttai, C. (2023). Development of body scrub cream from palm kernel meal. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(1), 201–212. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/259641 (in Thai)

Sillaparassamee, R., Jaricksakulchai, J., Kalapakdee, N., Kalapakdee, P., Srichan, N., & Praibueng, T. (2022). Effect of preparation of moringa seeds tea by hot air and freeze drying methods on antioxidant activity by DPPH assay. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 16*(2), 105–118. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/255214 (in Thai)

Teerapattanawong, P., Oon-on, W., & Kaewbutra, S., (2023). Testing for phytochemical components. Total phenolic compounds and antioxidant activity of plai, turmeric, and ginger extracted using the soaking and fermentation technique in different solvents. *Health Science, Science and Technology Review, 16*(3), 54-69. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/journalup/article/view/259852 (in Thai)

Thadachaipongsathorn, N., Kahakitpaisarn, I., Kongwanich, K., & Piyaboon, O. (2022). Effcacy of lemon peel patch with Caesalpinia sappan heartwood crude extracts in inhibiting acne causing Bacteria *Staphylococcus aureus*. *Journal of Health Science of Thailand, 31*(6), 1132–1139. Retrieved from https://thaidj.org/index.php/JHS/article/view/13001 (in Thai)

Wongkhattiya, N., Hanprasert, T., Sanguansermsri, P., Kawaree, Fraser, L. H., & Sanguansermsri., D. (2016). *Effects of Mahahong essential oils in inhibiting bacteria that cause acne*. *Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST), 24*(3), 25-31. Retrieved from https://www.thaiscience.info/Journals/Article/NUST/10984954.pdf (in Thai)

การพัฒนายาอมเยลลี่ตรีผลาโดยใช้ความหวานจากน้ำสกัดชะเอมเทศ
The Development of Triphala Gummy Lozenges using Sweetness from Licorice Extract

จารุวรรณ เพ็ชรสังข์[1] ทักชิตา อนุกูลสวัสดิ์[1] ปิยะนุช สุวรรณรัตน์[1]* สุพัตรา พรหมอินทร์[1] และธีระพงษ์ นิลละออ[1]
Jaruwan Pechsanng[1], Takchita Anukunshawat[1], Piyanuch Suwannarat[1]*,
Supattra Prom-in[1] and Theeraphong Ninlaor[1]
[1]หลักสูตรการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
[1]Thai Traditional Medicine Program, Faculty of Health and Sports Science,
Thaksin University, Phatthalung Campus
*Corresponding author: Piyanuch.s@tsu.ac.th
Received: March 10, 2025
Revised: May 1, 2025
Accepted: May 7, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนายาอมเยลลี่ตรีผลาโดยใช้ความหวานจากน้ำสกัดชะเอมเทศ และประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อยาอมเยลลี่ตรีผลา โดยศึกษาปริมาณน้ำตาลทราย และกลูโคสไซรัปที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเยลลี่ตรีผลาในสูตรที่ 1 2 และ 3 และศึกษาปริมาณน้ำสกัดชะเอมเทศที่เหมาะสมในสูตรที่ 4 5 และ 6 และศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่อผู้บริโภคในอาสาสมัครสุขภาพดี อายุระหว่าง 18 – 60 ปี จำนวน 30 คน โดยให้อาสาสมัครชิมยาอมเยลลี่ตรีผลาจำนวน 6 สูตร และให้คะแนนความชอบ 9 ระดับคะแนน ผลการศึกษาพบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 3 ประกอบด้วย น้ำสกัดตรีผลา น้ำตาลทราย กลูโคสไซรัป เจลาติน กรดซิตริก และกลิ่นเปเปอร์มินต์ ร้อยละ 53.50 15.00 15.00 15.00 0.50 และ 1.00 ตามลำดับ มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุด โดยมีค่าความเคี้ยว (chewiness) ความเหนียวแน่น (cohesiveness) ความหนืด (gumminess) และความแข็ง (hardness) สูงที่สุด และค่าความยืดหยุ่น (springiness) ต่ำที่สุด เมื่อเติมน้ำสกัดชะเอมเทศ และลดอัตราส่วนของกลูโคสไซรัป พบว่ายาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 5 ซึ่งมีปริมาณน้ำสกัดชะเอมเทศร้อยละ 10 มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า อาสาสมัครให้คะแนนความชอบยาอมเยลลี่ตรีผลาทั้ง 6 สูตร ในด้านสี รสชาติ ความยืดหยุ่น ความรู้สึกหลังกลืน และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq .05$ ทั้งนี้ อาสาสมัครให้คะแนนความชอบยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 1 ในด้านรสชาติ ความยืดหยุ่น ความรู้สึกหลังกลืน และความชอบโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือ สูตรที่ 4 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาที่ใช้ความหวานจากน้ำสกัดชะเอมเทศ มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสม และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq .05$ กับยาอมตรีผลาที่ใช้เพียงความหวานจากน้ำตาลทรายและกลูโคสไซรัป ดังนั้นยาอมตรีผลาจึงเป็นทางเลือกให้กับผู้สนใจผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่อไป

คำสำคัญ: ยาอมเยลลี่ ตรีผลา ชะเอมเทศ

Abstract

This study aimed to develop Triphala jelly lozenges using sweetness derived from licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) extract and to evaluate sensory acceptance. The study investigated appropriate amounts of sugar and glucose syrup for the physical properties of Triphala jelly in formulas 1, 2, and 3 and suitable concentrations of licorice extract in formulas 4, 5, and 6. Sensory acceptance was assessed among 30 healthy volunteers aged 18–60 years who tasted all six formulations and rated their preferences using a 9-point scale. The results showed that formula 3, consisting of 53.50% Triphala extract, 15.00% sugar, 15.00% glucose syrup, 15.00% gelatin, 0.50% citric acid, and 1.00% peppermint flavor, exhibited the most favorable physical properties, including the highest values of chewiness, cohesiveness, gumminess, and hardness, along with the lowest springiness. Formula 5, with 10% licorice extract, displayed the best physical properties with the addition of licorice extract and a decrease in the amount of glucose syrup. The sensory evaluation indicated no statistically significant differences ($p \leq .05$) among the six formulations in terms of color, taste, springiness, aftertaste, and overall preference. However, formula 1 received the highest mean scores for taste, springiness, aftertaste, and overall preference, followed by formula 4. These findings suggest that Triphala jelly lozenges sweetened with licorice extract possess appropriate physical properties and are comparably acceptable to consumers as those sweetened with only sugar and glucose syrup. As a result, Triphala jelly lozenges present a viable substitute for customers looking for goods that promote health.

Keywords: jelly lozenge, Triphala, licorice extract

บทนำ

ปัจจุบัน สภาพอากาศในโลกร้อนอบอ้าวมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในร่างกายสูงขึ้น และร่างกายไม่สามารถปรับตัวให้ทันต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้ ส่งผลให้สมดุลของร่างกายเสีย จนอาจก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วยได้ง่าย เช่น รู้สึกไม่สบายตัว อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ นอกจากนี้ ยังส่งผลกระทบต่อธาตุต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ธาตุลมกำเริบ ทำให้เกิดอาการวิงเวียน ธาตุน้ำหย่อน ทำให้กระหายน้ำ และกระทบธาตุดิน ส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้เจ็บป่วยได้ง่ายยิ่งขึ้น นายแพทย์มรุต จิรเศรษฐศิริ อธิบดีกรมการแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก ได้แนะนำให้รับประทานผักผลไม้ และสมุนไพร เพื่อเสริมสร้างภูมิต้านทานของร่างกาย โดยสมุนไพรที่มีฤทธิ์เสริมภูมิคุ้มกัน และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ พลูคาว เห็ด และตรีผลา (Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, 2020)

ตรีผลา เป็นสูตรสมุนไพรทางการแพทย์อายุรเวชอินเดีย ประกอบไปด้วยสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ สมอพิเภก (*Terminalia belerica* (Gaertn.) Roxb.) สมอไทย (*Terminalia chebula* Retz.) และมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* Linn.) ตำรับยาตรีผลา มีรสชาติเปรี้ยว ฝาด มีสรรพคุณช่วยปรับความสมดุลของธาตุทั้ง 4 ในร่างกาย และล้างพิษออกจากระบบต่าง ๆ เช่น ระบบทางเดินอาหาร กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน บรรเทาอาการในกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ บำรุงเส้นเสียง ช่วยให้ชุ่มคอ แก้ไอ และขับเสมหะ (Net-anong et al., 2015) จากการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของตำรับยาตรีผลา พบว่า ตำรับยาตรีผลามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Naik, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าตรีผลามีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ (Rasool & Sabina, 2007) ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย (Madani & Jain, 2008) ฤทธิ์ต้านและยับยั้งเซลล์มะเร็ง (Sandhya et al., 2006) รวมถึงมีฤทธิ์ในการ

ลดระดับไขมันในเลือด (Maruthappan & Shree, 2010) การศึกษาผลข้างเคียงและประสิทธิผลของสารสกัดตำรับยาตรีผลาต่อระบบภูมิคุ้มกันในอาสาสมัครสุขภาพดี พบว่า ตำรับยาตรีผลามีความปลอดภัย และสามารถเสริมภูมิคุ้มกันได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยอาสาสมัครที่ได้รับยาตำรับตรีผลาไม่มีอาการผิดปกติ และมีค่าทางโลหิตวิทยาอยู่ในเกณฑ์ปกติ (Phetkate, 2012) ในทางการแพทย์แผนไทยมีการใช้ตำรับยาตรีผลา เป็น “ยาครอบไข้” หลังจากใช้ยากระทุ้งพิษและแปรไข้ เพื่อช่วยปรับธาตุให้บริบูรณ์ โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่เจ็บป่วยในฤดูร้อน (Tutapa & Fakkham, 2024) ตรีผลาช่วยลดธาตุไฟในร่างกาย ไม่ให้เกิดความร้อนภายในมาก การรับประทานตรีผลาเป็นประจำช่วยป้องกันธาตุไฟกำเริบได้ การแพทย์แผนไทย จึงได้กำหนดให้ตรีผลา เป็นยาปรับธาตุประจำฤดูร้อน การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดตรีผลา (สมอไทย: สมอพิเภก: มะขามป้อม อัตราส่วน 1: 1: 1 และ 1: 2: 3 ตามลำดับ) ด้วยน้ำ พบว่า สารสกัดตรีผลาขนาด 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ไม่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลัน และไม่มีผลต่อการทำงานของตับและไตในหนูทดลอง (Sirirathawong & Jaijoi, 2008) ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาตำรับตรีผลาเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ ยาเม็ดฟู่ แคปซูล เครื่องดื่ม และยาอม เป็นต้น

เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมาก โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กจนถึงวัยรุ่น เนื่องจากมีรูปร่าง และสีสันที่สวยงาม รสหวานอมเปรี้ยว มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม และยืดหยุ่น โดยเยลลี่มีประโยชน์ในการช่วยปรับสมดุลของกระดูก (Thitiset, 2011) กระตุ้นการย่อยอาหารได้ดีขึ้น และเพิ่มภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทั้งนี้การผลิตเยลลี่ หากใส่น้ำตาลทรายในปริมาณสูง จะส่งผลให้น้ำตาลจับพันธะกับน้ำ ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสแน่น แข็ง เหนียว และเคี้ยวยาก (Suwan, 2017) ดังนั้นการใช้สารให้ความหวานจากธรรมชาติ เช่น ชะเอมเทศ (*Glyrrhiza glabra* L.) แทนน้ำตาลทราย จึงมีความเหมาะสม เนื่องจากชะเอมเทศเป็นสมุนไพรที่มีรสหวานขมชุ่ม มีสรรพคุณทำให้ชุ่มคอ แก้คอแห้ง แก้ไอ ขับเสมหะ ซึ่งมักนำมาใช้แต่งรสใน ยาอม และยาแก้ไอต่าง ๆ อีกทั้งมีพลังงานต่ำ รสชาติใกล้เคียงกับน้ำตาลและมีความปลอดภัยต่อสุขภาพ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนายาอมเยลลี่ตรีผลา โดยศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของกลูโคสไซรัป น้ำตาลทราย และชะเอมเทศ ในการผลิตยาอมเยลลี่ตรีผลา วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของยาอมเยลลี่ตรีผลา และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่สนใจผลิตภัณฑ์ที่ส่งเสริมภูมิต้านทานแก่ร่างกาย และเพิ่มมูลค่าให้กับสมุนไพรไทย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนายาอมเยลลี่ตรีผลาโดยใช้ความหวานจากน้ำสกัดชะเอมเทศ

2. เพื่อศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อยาอมเยลลี่ตรีผลา

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ตรีผลา เป็นตำรับยาแผนโบราณ มีรสชาติเปรี้ยวฝาด ช่วยปรับความสมดุลของธาตุทั้ง 4 ในร่างกาย ใช้ในการดูแลสุขภาพของการแพทย์อายุรเวทอินเดีย และการแพทย์แผนไทย (Pichiasunthon, 2015) ซึ่งเป็นการนำสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ สมอพิเภก (*Terminalia belerica* (Gaertn.) Roxb.) สมอไทย (*Terminally chebula* Retz.) และมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* Linn.) มาผสมกันในอัตราส่วนที่เท่ากัน ทางการแพทย์แผนไทย เรียกว่า “พิกัดตรีผลา” เป็นยาลดธาตุไฟในร่างกาย ปรับธาตุประจำฤดูร้อน จากการศึกษาวิจัยพบว่า ตำรับตรีผลา ประกอบด้วยสารแทนนินชนิดไม่ละลายน้ำ (condensed tannins) หรือ โพลีฟีนอล เช่น gallic acid ellagic acid และ ellagitannin และยังมี vitamin C chebulinic acid bellericanin β-sitosterol และ flavonoids ซึ่งแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบ (Wiwakplern, 2020)

เยลลี่ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้ที่ได้จากการคั้น หรือสกัดผลไม้ หรือน้ำที่เติมสารแต่งกลิ่นหรือรสผลไม้ ผ่านกรรมวิธีทำให้เข้มข้น กรองและผสมน้ำตาลทราย ทำให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะ เยลลี่มีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน เช่น อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นสูง และเหนียวแข็ง มีความชื้นร้อยละ 10-25 เนื่องจากมีไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ เพคติน เจลาติน คาราจีแนน หรือแป้งดัดแปร เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่ในการยึดจับน้ำส่วนหนึ่งไว้ (Supimarat, 2000) การรับ

ประทานอาหารที่มีสารให้ความหวานจากธรรมชาติที่มีพลังงานต่ำเป็นทางเลือกที่ดีในการดูแลสุขภาพ สารจากธรรมชาติที่มีความปลอดภัย และได้รับการยอมรับให้ใช้ปรุงแต่งรสหวาน ได้แก่ ชะเอมเทศ ใช้ในตำรับยาสมุนไพรช่วยทำให้ชุ่มคอและแก้คอแห้ง รากของชะเอมเทศมีสารกลุ่ม triterpene saponins ได้แก่ สารไกลไซร์ริซิน 19 (glycyrrhizin) หรือกรดไกรซีร์ริซิก (glycyrrhizic acid) ที่ให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย 50-100 เท่า นอกจากนี้ยังพบสารสำคัญ ได้แก่ 24-hydroxyglyrrhizin และสารที่อยู่ในรูป aglycone (glabranin A และ B glycyrrhetol glabrolide isoglabroline) ทั้งนี้ ไม่ควรใช้ชะเอมเทศในผู้ป่วยที่มีความดันโลหิตสูง โพแทสเซียมต่ำ และรับประทานยาขับปัสสาวะเนื่องจากทำให้มีการสะสมน้ำในร่างกาย ส่งผลให้มีอาการบวมมือและเท้า เพราะสารโซเดียมในร่างกายถูกขับได้น้อยลง แต่โพแทสเซียมถูกขับออกมากขึ้น (Net-anong, 2014)

กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการศึกษาแนวคิดและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนายาอมเยลลี่ตรีผลาโดยใช้ความหวานจากน้ำสกัดชะเอมเทศ ผู้วิจัยได้จัดทำแผนการดำเนินงานวิจัย ดังภาพ 1 และกรอบแนวคิดงานวิจัย ดังภาพ 2



ภาพ 1 แผนการดำเนินงานวิจัย



ภาพ 2 กรอบแนวคิดงานวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบกึ่งทดลอง (quasi-experimental research) โดยการพัฒนายาอมเยลลี่ตรีผลา และศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อยาอมเยลลี่ตรีผลาในอาสาสมัครสุขภาพดี อายุระหว่าง 18-60 ปี จำนวน 30 คน โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมน้ำสกัดและผลิตภัณฑ์ยาอมเยลลี่ตรีผลา

1.1 การเตรียมน้ำสกัดตรีผลา

นำสมุนไพรแห้งตรีผลาจากร้านสมุนไพรชื่อจักรวรรดิยาไทย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประกอบด้วย ผลสมอพิเภก 30 กรัม ผลสมอไทย 15 กรัม และผลมะขามป้อม 45 กรัม มาล้างทำความสะอาด ทุบพอแตก ห่อด้วยผ้าขาวบาง มัดด้วยเชือก จากนั้นนำมาแช่ในน้ำสะอาด ปริมาตร 3 ลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำไปต้มด้วยไฟอ่อน เป็นเวลา 30 นาที กรองเอาแต่น้ำ

1.2 การเตรียมน้ำสกัดชะเอมเทศ

เตรียมรากชะเอมเทศแห้งจากร้านสมุนไพร ชื่อจักรวรรดิยาไทย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปริมาณ 40 กรัม มาล้างทำความสะอาด ทุบพอแตก ห่อด้วยผ้าขาวบาง มัดด้วยเชือก จากนั้นนำมาแช่น้ำสะอาด ปริมาตร 3 ลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ยกขึ้นตั้งไฟอ่อน ต้มเป็นเวลา 30 นาที นำมากรองเอาแต่น้ำ

1.3 การเตรียมยาอมตรีผลา

นำน้ำสกัดตรีผลาใส่ลงในกระทะที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมน้ำตาลทรายและกลูโคส ต้มจนส่วนผสมละลาย ลดอุณหภูมิให้เหลือ 70 องศาเซลเซียส เติมเจลาติน รอจนเจลาตินละลาย เติมกรดซิตริก และกลิ่นเปเปอร์มินต์ลงไป คนเบา ๆ จนเป็นเนื้อเดียวกัน เทลงพิมพ์ ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จนยาอมเยลลี่ตรีผลาแห้งสนิท โดยมีส่วนประกอบดังแสดงในตาราง 1

2. การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติของยาอมเยลลี่ตรีผลา

2.1 การศึกษาปริมาณน้ำตาลทรายและกลูโคสที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติของยาอมเยลลี่ตรีผลา

เตรียมผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 2 และ 3 (ตาราง 1) ตามขั้นตอนการเตรียมยาอมตรีผลา โดยแต่ละสูตรจะมีปริมาณสารให้ความหวานแตกต่างกัน คือ สูตรที่ 1 มีปริมาณกลูโคสไซรัป อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก สูตรที่ 2 มีปริมาณน้ำตาลทราย อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และสูตรที่ 3 มีปริมาณกลูโคสไซรัป อัตราส่วนร้อยละ 15 และน้ำตาลทราย อัตราส่วนร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง และประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของยาอมเยลลี่ตรีผลา

2.2 การศึกษาปริมาณน้ำสกัดชะเอมเทศที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติของยาอมเยลลี่ตรีผลา

เตรียมผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 5 และ 6 (ตาราง 1) ตามขั้นตอนการเตรียมยาอมตรีผลา โดยแต่ละสูตรจะมีปริมาณสารให้ความหวานแตกต่างกัน คือ สูตรที่ 4 มีปริมาณน้ำตาลทราย กลูโคสไซรัป และน้ำสกัดชะเอมเทศ อัตราส่วนร้อยละ 15 10 และ 5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สูตรที่ 5 มีปริมาณน้ำตาลทราย กลูโคสไซรัป และน้ำสกัดชะเอมเทศ อัตราส่วนร้อยละ 15 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และสูตรที่ 6 มีปริมาณน้ำตาลทราย กลูโคส

ไซรัป และน้ำสกัดชะเอมเทศ อัตราส่วนร้อยละ 15 0 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง และประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของยาอมเยลลี่ตรีผลา

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง texture profile analysis-TPA หัววัด P/0.5R ความเร็วของเข็มวัดขณะทดสอบ 5.0 mm/s ระยะทางกด 10 mm (Kanpairo, 2018) โดยรายงานผลเป็นค่า chewiness, cohesiveness gumminess hardness และ springiness บันทึกผลการทดสอบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพสี โดยใช้เครื่องวัดสี spectrophotometer รุ่น CM-5 วัดการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L* หรือ lightness) ค่าสีแดง (a* หรือ redness) และค่าสีเหลือง (b* หรือ yellowness) บันทึกผลการทดสอบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.3 การวิเคราะห์ค่าความชื้น โดยใช้เครื่อง radwag รุ่น MAC 50/NH โดยวางยาอมเยลลี่ตรีผลาบนถาดตัวเครื่องอาศัยความร้อนและชั่งพร้อมกัน วัดค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส บันทึกผลการทดสอบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.4 การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ โดยนำยาอมเยลลี่ตรีผลามาบดหยาบ และบรรจุลงกล่อง วัดค่าปริมาณน้ำอิสระที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่อง Water Activity Meter: AW ยี่ห้อ freund EZ-200 บันทึกผลการทดสอบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.5 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง เตรียมสารละลายยาอมตรีผลาตามขั้นตอนการผลิต ยาอมเยลลี่ตรีผลา นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ก่อนเทลงพิมพ์ขณะยังไม่แข็งตัว ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น FE28 five easy บันทึกผลการทดสอบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

4. การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อยาอมเยลลี่ตรีผลา

งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยทักษิณ ดำเนินการให้การรับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นมาตรฐานสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki The Belmont Report CIOMS Guideline และ International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice หรือ ICH-GCP เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2567 เลขที่รับรอง COA NO. TSU 2024_241 REC No.0467 โดยอาสาสมัครเป็นนิสิตและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง อายุระหว่าง 18-50 ปี จำนวน 30 คน ทำการแจกยาอมเยลลี่ตรีผลาจำนวน 6 สูตร ให้อาสาสมัครชิม และให้คะแนนความชอบ 9 ระดับคะแนน กำหนดระดับคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุดไป จนถึง ระดับคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด (Deepanya, 2008) ประเมินคุณลักษณะ 5 ด้าน ได้แก่ สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ทั้งนี้ในระหว่างการชิมผลิตภัณฑ์ยาอมเยลลี่ตรีผลาแต่ละสูตร อาสาสมัครจะต้องบ้วนปากด้วยน้ำเปล่าทุกครั้ง ซึ่งหากอาสาสมัครเกิดอาการแพ้ระคายเคืองหรือมีปัญหาสุขภาพอันเกิดจากการเข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยจะส่งอาสาสมัครไปยังโรงพยาบาลทันที

5. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามจำนวน 1 ชุด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบบันทึกข้อมูลส่วนบุคคล ระหว่างอายุ 18-60 ปี อย่างน้อย 30 คน ในพื้นที่มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง ประกอบด้วย เพศ อายุ อาชีพ รายได้ โรคประจำตัว ประวัติการแพ้สมุนไพร โดยใช้แบบสอบถามที่มีลักษณะเป็นแบบเติมคำในช่องว่างและแบบคำถามแบบตัวเลือก

ส่วนที่ 2 แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ยาอมเยลลี่ โดยใช้แบบสอบถามที่มีลักษณะการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับคะแนน

5.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี ทำการทดสอบซ้ำ ตัวอย่างละ 3 ครั้ง และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) สำหรับการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ยาอมเยลลี่ตรีผลา ใช้การวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s multiple comparisons test โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ GraphPad prism 8.4.2

ตาราง 1

สูตรการผลิตยาอมเยลลี่ตรีผลา

ส่วนประกอบ	ร้อยละ น้ำหนัก/น้ำหนัก					
	1	2	3	4	5	6
1. น้ำสกัดตรีผลา	53.50	53.50	53.50	53.50	53.50	53.50
2. น้ำตาลทราย	0.00	30.00	15.00	15.00	15.00	15.00
3. กลูโคสไซรัป	30.00	0.00	15.00	10.00	5.00	0.00
4. น้ำสกัดชะเอมเทศ	0.00	0.00	0.00	5.00	10.00	15.00
5. เจลาติน	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
6. กรดซิตริก	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
7. กลิ่นเปเปอร์มินต์	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การศึกษาปริมาณน้ำตาลทรายและกลูโคสที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติของยาอมเยลลี่ตรีผลา

จากการศึกษาปริมาณน้ำตาลทรายและกลูโคสที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติของยาอมเยลลี่ตรีผลา พบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 0 30 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และปริมาณกลูโคสไซรัปร้อยละ 30 0 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีลักษณะเนื้อสัมผัสหนืบ ไม่แข็งจนเกินไป สีน้ำตาลโปร่งใส ดังแสดงในภาพ 3 และมีผลการทดสอบดังแสดงในตาราง 2

1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส พบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 3 ซึ่งมีปริมาณกลูโคสไซรัป ร้อยละ 15 และน้ำตาลทรายร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่า chewiness คือ พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวผลิตภัณฑ์จนสามารถกลืนลงไป cohesiveness คือ การยึดเกาะกันระหว่างพันธะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นพลังงานที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สลายตัวก่อนที่จะแตกแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ gumminess คือ แรงที่ต้องใช้ในการแยกผลิตภัณฑ์ที่เป็นกึ่งของแข็งจนกระทั่งเสียรูป แสดงถึงความเหนียวของผลิตภัณฑ์ และ hardness คือ แรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหักหรือแยกออกจากกันโดยสมบูรณ์ มีค่าสูงที่สุด และค่า springiness ความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์แสดงถึงความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ดังแสดงในตาราง 2 การใช้กลูโคสไซรัป และน้ำตาลทรายในการผลิตเยลลี่จะสร้างพันธะไฮโดรเจน โดยทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างสายพอลิเมอร์ เช่น เจลาตินหรือเพคตินกับโมเลกุลของน้ำ ช่วยให้เกิดโครงร่างตาข่ายเจลที่สามารถกักเก็บน้ำและคงรูปได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและคงตัวมากขึ้น (Suechawakornkul, 2021) ส่งผลให้ค่า chewiness, cohesiveness, gumminess และ hardness สูงขึ้น แต่ springiness ต่ำลง เพราะพันธะที่แข็งแรงในผลิตภัณฑ์ทำให้ยืดหยุ่นน้อย (Suwan, 2017) สอดคล้องกับการศึกษาของ Huayhongthong (2013) ศึกษาผลของน้ำตาลทรายและกลูโคสไซรัปต่อลักษณะทางกายภาพของกัมมี่เยลลี่มะม่วงหิมพานต์ พบว่า ปริมาณน้ำตาลทรายและกลูโคสไซรัปที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพของกัมมี่เยลลี่ เช่น ความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) ของผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อแข็งและมีความยืดหยุ่นน้อย ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 1 มีปริมาณกลูโคสไซรัปร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ไม่มีน้ำตาลทราย และน้ำสกัดชะเอมเทศ มีค่า springiness (ความยืดหยุ่น)

สูงที่สุด เมื่อเทียบกับยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 สอดคล้องกับการศึกษาของ Diniz and Lannes (2016) ที่ศึกษาผลของกลูโคสไซรัปต่อลักษณะทางกายภาพของขนมหวาน พบว่า การเพิ่มกลูโคสไซรัปในปริมาณสูง ส่งผลให้ความหนืด และความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น เนื่องจากกลูโคสไซรัปช่วยให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลและน้ำในผลิตภัณฑ์ ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 2 มีปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ไม่มีกลูโคสไซรัปและน้ำสกัดชะเอมเทศ มีค่า chewiness cohesiveness gumminess และ hardness ต่ำที่สุด และมีค่า springiness ปานกลาง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Diniz and Lannes (2016) ที่ศึกษาผลของน้ำตาลทรายและกลูโคสไซรัปต่อลักษณะทางกายภาพของขนมหวาน พบว่า น้ำตาลทรายสามารถเพิ่มความแข็งและลดความเหนียว (gumminess) ในขนมหวานได้ และมีผลต่อค่า springiness ปานกลาง เนื่องจากน้ำตาลทรายสามารถให้ความยืดหยุ่นได้บางส่วน แต่ไม่สามารถเพิ่มความเหนียวและความยืดหยุ่นได้สูงเท่ากับสารอื่นเหมือนกลูโคสไซรัป

1.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพสี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพสี แสดงดังตาราง 3 พบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 1 มีค่า L* สูงกว่ายาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 และค่า a* และค่า b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้ยาอมเยลลี่ตรีผลามีสีน้ำตาลโปร่งใส การวัดค่าสี (L* a* และ b*) เป็นการประเมินลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่ทำการศึกษา โดยค่า L* ที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า L* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ ส่วนค่า a* ที่เป็นบวก แสดงว่า ตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ค่า a* ที่เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว และในค่า b* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่า b* เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน (Somsaeng, 2007) การที่ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 1 มีค่า L สูงกว่า* สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 และมีค่า a และ b ที่เพิ่มขึ้นจนทำให้ได้สีน้ำตาลโปร่งใส เป็นผลจากการเติมกลูโคสไซรัปในยาอมเยลลี่ตรีผลา มีผลทำให้สีของยาอมเยลลี่มีลักษณะใสหรือโปร่งใส (ค่า L* สูง) และมีโทนสีที่ออกเหลืองและน้ำตาล (ค่า a* และ b* เพิ่มขึ้น) สอดคล้องกับการศึกษาของ Zou et al. (2018) พบว่า กลูโคสไซรัป เป็นน้ำตาลที่มีคุณสมบัติในการเพิ่มความใส และความสว่างของผลิตภัณฑ์ได้ โดยไม่ทำให้เกิดสีเข้มมากนัก ซึ่งอาจช่วยให้ผลิตภัณฑ์ในสูตรที่ 1 มีค่า L สูง* ในขณะที่น้ำตาลทรายอาจทำให้สีเข้มมากขึ้นจากปฏิกิริยาคาราเมล คือ กระบวนการสลายตัวของน้ำตาลเมื่อถูกความร้อนสูง โดยไม่เกี่ยวข้องกับกรดหรือโปรตีน ก่อให้เกิดสารประกอบที่มีสีเหลืองน้ำตาล กลิ่นหอม และรสหวานไหม้เฉพาะตัว และ Maillard reaction เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดอะมิโน เช่น เจลาติน และน้ำตาลที่มีหมู่คาร์บอนิล ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อมีความร้อน ทำให้เยลลี่มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น (Moungthai, 2010) และงานวิจัยของ Martins et al. (2014) พบว่า ประเภทและความเข้มข้นของน้ำตาลมีผลต่อสีในกระบวนการคาราเมล ทำให้มีค่า L* ลดลง (สีเข้มขึ้น) และค่า a และ b** เพิ่มขึ้น (โทนสีเหลืองและน้ำตาล)

1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น

ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระ แสดงดังตาราง 3 พบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 2 มีปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระสูงที่สุด เนื่องจากยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 2 มีน้ำตาลทรายเป็นส่วนประกอบ น้ำตาลทรายเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดซับ และกักเก็บน้ำ ส่งผลให้มีค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระสูงขึ้น ซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้นมากขึ้น และสร้างสมดุลของน้ำในเยลลี่ สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang et al. (2017) การศึกษานี้ได้กล่าวถึงผลกระทบของน้ำตาลทราย (sucrose) ที่ช่วยในการกักเก็บน้ำในขนมหวาน และผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถอธิบายได้ว่าการมีน้ำตาลทรายในสูตรเยลลี่ช่วยเพิ่มค่าความชื้น และปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ Suwan (2018) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์คาราจีแนนเยลลี่รางจืด พบว่า สูตรที่มีน้ำตาลทรายร้อยละ 14.85 มีค่าความชื้นร้อยละ 85.19 และค่าน้ำอิสระร้อยละ 0.99 ซึ่งเยลลี่ที่มีค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระไม่สูงเกินไป จะมี

ความชุ่มชื้นและความเหนียวในระดับที่เหมาะสม ส่งผลดีต่อเนื้อสัมผัส และอายุการเก็บรักษา ดังนั้นค่าความชื้นและน้ำอิสระในสูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 จึงอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ยาอมตรีผลาสูตรที่ 1 ซึ่งมีปริมาณกลูโคสไซรัปร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าความเป็นกรดน้อยที่สุด รองลงมาคือ ยาอมตรีผลาสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 4.38±0.01, 4.32±0.02 และ 4.02±0.01 ตามลำดับ (ตาราง 3) ความเป็นกรดของยาอมเยลลี่ตรีผลาเกิดจากส่วนประกอบในตำรับ คือสมุนไพรตรีผลาและกรดซิตริกที่มีฤทธิ์เป็นกรด สำหรับค่า pH ที่สูงขึ้นในสูตรที่ 1 อาจเกิดจากกลูโคสไซรัป ซึ่งกลูโคสไซรัปมีค่า pH ที่สูงกว่าน้ำตาลทรายทั่วไป อย่างไรก็ตามค่า pH ของยาอมเยลลี่ตรีผลายังคงอยู่ในช่วงที่สามารถรับประทานได้ และไม่มีผลเสียต่อสุขภาพ (U.S. Food and Drug Administration, 2011) สอดคล้องกับการงานวิจัยของ Kim & Lim (2013) ที่ศึกษาผลของน้ำตาลทรายและกลูโคสไซรัปในเยลลี่ พบว่าน้ำตาลทรายทำให้ค่า pH ของเยลลี่ต่ำลง และทำให้เยลลี่มีรสชาติเปรี้ยวอมหวาน ส่วนกลูโคสไซรัปมีผลในการเพิ่มความหวาน และลดความเปรี้ยวจากกรดอินทรีย์

ดังนั้นยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 3 มีคุณภาพเนื้อสัมผัสที่ดี มีความหนึบ การยึดเกาะ ความแข็ง มากกว่ายาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 คุณภาพสีของยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 3 มีค่า (L*) เท่ากับ 11.72±0.08 ค่า (a*) เท่ากับ 1.65±0.12 ค่า (b*) เท่ากับ 0.56±0.12 ค่าความชื้นเท่ากับ 33.80±0.01 ค่าปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.89±0.01 และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ4.02±0.01 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม จึงคัดเลือกยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 3 สำหรับพัฒนาเป็นยาอมเยลลี่ตรีผลาที่มีน้ำสกัดชะเอมเทศ เพราะมีความแข็ง ความหนึบ และการยึดเกาะค่อนข้างดี ส่งผลให้อมในปากได้นานขึ้น



ภาพ 3 ลักษณะทางกายภาพของยาอมเยลลี่ตรีผลา สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3

2. การศึกษาปริมาณน้ำสกัดชะเอมเทศที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติยาอมเยลลี่ตรีผลา

จากการศึกษาปริมาณน้ำสกัดชะเอมเทศที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติยาอมเยลลี่ตรีผลา พบว่า ยาอมตรีผลาสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก กลูโคสไซรัป ร้อยละ 10 5 และ 0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และน้ำสกัดชะเอมเทศร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีลักษณะดังภาพ 4 และมีผลการทดสอบการวัดคุณภาพเนื้อสัมผัส ดังตาราง 2

2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสดังแสดงในตาราง 2 พบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 5 มีค่า chewiness cohesiveness gumminess และ hardness สูงที่สุด และค่า springiness ปานกลาง เนื่องจากมีลักษณะแน่นและหนืด เพราะน้ำสกัดชะเอมเทศมีสารที่เป็นองค์ประกอบในกลุ่ม glycyrrhizin ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยมีผลช่วยเสริมความเหนียวและแน่น ทำให้เนื้อสัมผัสของยาอมเยลลี่ตรีผลามีความหนืดและคงรูปได้ดี (Kanpairo, 2018) น้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแข็งของเยลลี่ น้ำตาลทรายจะทำให้เกิดการก่อตัวของโครงสร้างที่แข็งแรง และสามารถส่งผลให้ hardness และ gumminess สูงขึ้น (Habilla, 2011) ส่วนกลูโคสไซรัปมีบทบาทในการเพิ่มความเหนียวและความยืดหยุ่นของยาอมเยลลี่ตรีผลา โดยการปรับสมดุลของความหนืด (viscosity) ส่งผลต่อค่า cohesiveness และ chewiness ของผลิตภัณฑ์ (Tireki, 2021) นอกจากนี้กลูโคสไซรัปยังช่วยลดการตกผลึกของน้ำตาลทราย จึงทำให้เนื้อสัมผัสยาอมเยลลี่ตรีผลามีลักษณะแน่นและเหนียว (Suwan, 2017) ดังนั้นส่วนประกอบเหล่านี้จึงช่วยเสริมสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลในเนื้อยาอมเยลลี่ตรีผลา ทำให้เกิดความแน่นและหนืด โดยน้ำสกัดชะเอมเทศและกลูโคสไซรัปมีผลสำคัญในการสร้างพันธะทางเคมีที่ทำให้เนื้อเยลลี่มีความเหนียวแน่นหนืด และมีค่า springiness ที่ไม่สูงมาก (ปานกลาง) ซึ่งเป็นผลจากความหนืดที่สูงจากน้ำตาลทรายและกลูโคสไซรัป สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Asl and Hosseinzadeh (2008) พบว่า ไกลเซอร์ไรซิน (glycyrrhizin) และสารพอลิแซ็กคาไรด์ในชะเอมเทศช่วยเสริมความหนืด และความแข็งแรงของโครงสร้างเจล ทำให้ค่า hardness และ cohesiveness มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ปริมาณที่ลดลงจะส่งผลให้ยาอมเยลลี่ตรีผลามีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่น (springiness) และนุ่มมากขึ้น ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 4 มีค่า springiness สูงที่สุด เพราะมีปริมาณกลูโคสไซรัป ร้อยละ 10 และมีปริมาณน้ำสกัดชะเอมเทศร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ทำให้ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 4 มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม เคี้ยวแล้วรู้สึกเด้ง คืนรูปได้ดี ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 6 มีค่า gumminess และ hardness ปานกลาง ค่า chewiness และ cohesiveness ต่ำ เพราะมีน้ำตาลทรายร้อยละ 15 และน้ำสกัดชะเอมเทศร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และไม่มีกลูโคสไซรัป ทำให้เนื้อสัมผัสเยลลี่มีความแข็งและเคี้ยวยากขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดของ Lees and Jackson (1973) อธิบายว่า การควบคุมองค์ประกอบของน้ำตาล และสารเติมแต่งในสูตรเยลลี่เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติของเยลลี่ ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 6 มีค่า springiness ต่ำกว่าทุกสูตร เพราะไม่มีกลูโคสไซรัปในตำรับ ซึ่งกลูโคสไซรัปมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการตกผลึก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เนียนและนุ่มขึ้น หากไม่มีกลูโคสไซรัป ส่งผลให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลทรายได้ง่ายยิ่งขึ้น และทำให้โครงสร้างของเยลลี่มีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น และขาดความยืดหยุ่น

2.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพสี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพสี แสดงดังตาราง 3 พบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 5 ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 15 กลูโคสไซรัปร้อยละ 5 และน้ำสกัดชะเอมเทศร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่า L* (ค่าความสว่าง) สูงที่สุด และทำให้ค่า a* (แนวโน้มสีแดง) และ b* (แนวโน้มสีเหลือง) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม โดยค่า L* ที่สูงสะท้อนถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ ส่วน a* และ b* ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในโทนสีที่เข้มขึ้นจากผลของน้ำสกัดชะเอมเทศ

2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น

ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระ แสดงดังตาราง 3 พบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 6 มีค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระสูงสุดเท่ากับ 55.28 m% และ 0.93 (Aw) ตามลำดับ เพราะมีปริมาณ

น้ำตาลทรายร้อยละ 15 และน้ำสกัดชะเอมเทศร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เนื่องจากในตำรับมีปริมาณน้ำสกัดชะเอมเทศปริมาณสูง สารสำคัญในชะเอมเทศ เช่น glycyrrhizin เป็นสารประกอบประเภท saponin ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) คือ สองโมเลกุลของกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) คือ glycyrrhetic acid ดังนั้นโครงสร้าง amphiphilic นี้ จึงทำให้ glycyrrhizin มีความสามารถในการละลายน้ำ และดูดซับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ดี ส่งผลให้ค่าความชื้นในยาอมเยลลี่ตรีผลาเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากสมบัติการดูดซับความชื้นของสารสกัดดังกล่าว (Sharma et al., 2016)

2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 มีค่า pH เท่ากับ 4.48±0.01 4.30±0.02 และ 4.37±0.02 ตามลำดับ (ตาราง 3) ซึ่งมีค่ามากกว่างานวิจัยอื่นเล็กน้อย ตัวอย่าง เช่น Chanpho (2015) ศึกษาการพัฒนาเยลลี่มะปราง พบว่า pH ของเยลลี่มีค่าประมาณ 3.6 ถึง 3.7 นอกจากนี้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับเยลลี่กำหนดค่า pH อยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.5 โดยค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดคือ 3.2 (Waema & Benhawan, 2022) ทั้งนี้ความเป็นกรด-ด่างของยาอมเยลลี่ตรีผลาอาจส่งผลต่อคุณสมบัติของเยลลี่และอายุการเก็บรักษา ซึ่งเยลลี่ที่มีค่า pH อยู่ในช่วงกรดมาตรฐาน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้เยลลี่ไม่เสียรสชาติ และเก็บได้นานยิ่งขึ้น ดังนั้นในเชิงพาณิชย์ควรปรับ pH ของยาอมเยลลี่ให้อยู่ในช่วง 2.8-3.5 เพื่อให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น

3. การศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

3.1 ข้อมูลลักษณะทั่วไป

ผู้เข้าร่วมวิจัยในครั้งนี้ มีคุณสมบัติครบถ้วนตามเกณฑ์การคัดเข้าโครงการวิจัย ทุกคนปฏิบัติตามคำแนะนำเป็นอย่างดี ไม่มีผู้ร่วมวิจัยใดที่ถูกคัดออกหรือต้องการออกจากโครงการวิจัย ดังแสดงในตาราง 4 โดยอาสาสมัครที่เข้าร่วมการวิจัย มีจำนวน 30 คน ประกอบด้วย เพศชาย จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10 และเพศหญิง จำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 90 อายุระหว่าง 18 ถึง 45 ปี ไม่มีประวัติการแพ้สมุนไพร ไม่มีประวัติโรคประจำตัว จำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 86.66 มีโรคประจำตัว จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33 ไม่เคยรับประทานยา อาหารเสริมและวิตามิน จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 56.67 และรับประทานยา อาหารเสริม และวิตามิน จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 43.33

3.2 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัส ในด้านต่าง ๆ เช่น สี รสชาติ ความยืดหยุ่น ความรู้สึกหลังกลืน และความชอบโดยรวม ของผู้บริโภคจำนวน 30 คน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ยาอมเยลลี่ตรีผลาทั้ง 6 สูตร ที่มีปริมาณสารให้ความหวานแตกต่างกัน พบว่า อาสาสมัครทั้ง 30 คน ให้คะแนนความชอบยาอมเยลลี่ตรีผลาในด้านต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) ดังแสดงในตาราง 5 โดยอาสาสมัครให้คะแนนความชอบยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 1 ซึ่งมีกลูโคสไซรัปร้อยละ 30 โดยน้ำหนักในด้านรสชาติ ความยืดหยุ่น ความรู้สึกหลังกลืน และความชอบโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือ ยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 4 ซึ่งมีน้ำตาลทราย กลูโคสไซรัป และน้ำสกัดชะเอมเทศร้อยละ 15 10 และ 5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และอาสาสมัครให้คะแนนความชอบยาอมตรีผลาสูตรที่ 4 ด้านสีมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Rittilert (2019) ที่ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ มะม่วงหาวมะนาวโห่ พบว่า เยลลี่ที่ใช้มอลทิทอล และอินนูลินแทนน้ำตาลทรายได้รับคะแนนความชอบใกล้เคียงกับเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลทราย นอกจากนี้การศึกษาวิจัยของ Tungsatitporn (2019) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเยลลี่กึ่งสำเร็จรูปจากหญ้าหวาน พบว่า เยลลี่ที่ใช้หญ้าหวานแทนน้ำตาลทรายได้รับคะแนนความชอบใกล้เคียงกับเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลทราย และการศึกษาของ Kanpairo (2018) เรื่องผลการใช้สารทดแทนน้ำตาลทรายต่อคุณภาพของกัมมี่เยลลี่ดาหลา พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรที่ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยซูคราโลสร้อยละ 50 ใกล้เคียงกับกัมมี่เยลลี่ดาหลาสูตรน้ำตาลทราย จะเห็นได้ว่า ความชอบของผู้บริโภคต่อเยลลี่มีความหลายหลาย เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะรสชาติและเนื้อสัมผัสของสารให้ความหวาน ความคุ้นเคยของผู้บริโภคต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ และปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ (Rivero et al., 2023)

ดังนั้น แม้คะแนนความชอบของทั้ง 6 สูตรจะไม่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤.05) แต่พบว่าสูตรที่ 1 มีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าสูตรอื่น ทั้งนี้ตลอดระยะเวลาการทดลอง ไม่พบรายงานอาการแพ้หรือความผิดปกติใด ภายหลังการชิมยาอมเยลลี่ตรีผลาในทุกสูตรที่ทำการศึกษา ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าสูตรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในด้านความเหนียวแน่น (cohesiveness) ความหนืด (gumminess) ความแข็ง (hardness) และการเคี้ยว (chewiness) สูงสุด ได้แก่ สูตรที่ 3 และสูตรที่ 5 แต่กลับไม่ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดจากอาสาสมัคร อาจเนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของสูตรดังกล่าวมีความแน่นและแข็งมากเกินไป ซึ่งไม่สอดคล้องกับความชอบส่วนบุคคลของอาสาสมัครที่อาจต้องการความนุ่ม เคี้ยวง่าย หรือมีเนื้อสัมผัสยืดหยุ่นมากกว่า และอาสาสมัครส่วนใหญ่อายุระหว่าง 18-23 ปี จึงน่าจะมีความชอบเยลลี่ที่มีส่วนผสมของกลูโคสไซรัปมากกว่าน้ำสกัดชะเอมเทศ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Basiri (2020) พบว่า ผลิตภัณฑ์ลูกอมที่มีสารสกัดจากชะเอมเทศมีรสหวานเฉพาะตัว และมีรสขมติดปลาย (aftertaste) อาจไม่เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคบางกลุ่ม โดยเฉพาะวัยรุ่นที่มักชอบรสหวาน ปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย อย่างไรก็ตามอาสาสมัครมีความชอบยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่มีน้ำสกัดชะเอมเทศไม่แตกต่างกับสูตรดั้งเดิม ดังนั้นยาอมเยลลี่ตรีผลาจากน้ำสกัดชะเอมเทศ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพหรือควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด



สูตรที่ 4 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6

ภาพ 4 ลักษณะทางกายภาพของยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

ตาราง 2

ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรต่าง ๆ

สูตร	ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส (mean ± sd)				
	Chewiness(gf)	Cohesiveness	Gumminess(gf)	Hardness(gf)	Springiness(s)
1	12,381.70±1,837.60^{ab}	4.05±0.08^{ns}	23,315.80±3,335.30^{ab}	5,755.5±845.60^{ns}	0.59±0.01^{ns}
2	5,848.40±833.30^{b}	3.75±0.06^{ns}	10,570.50±1,573.20^{b}	2,815.1±384.40^{ns}	0.55±0.01^{ns}
3	18,250.30±4,853.00^{ab}	4.33±0.43^{ns}	39,900.40±9,844.60^{ab}	8,417.2±1,404.60^{ns}	0.49±0.01^{ns}
4	12,716.70±3,545.90^{ab}	3.84±0.06^{ns}	24,567.40±7,456.60^{ab}	6,409.20±2,028.40^{ns}	0.52±0.02^{ns}
5	20,365.00±3,891.00^{a}	4.11±0.28^{ns}	48,193.00±10,224.80^{a}	11,640.30±1,737.10^{ns}	0.42±0.02^{ns}
6	11,208.30±1,816.00^{b}	3.66±0.46^{ns}	38,288.90±20,041.60^{ab}	11,085.40±7,423.60ns	0.35±0.17^{ns}

หมายเหตุ อักษร a, b, ab ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤.05)
อักษร ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤.05)

ตาราง 3

ผลการศึกษาค่าสี ความชื้น ความเป็นกรด และค่าปริมาณน้ำอิสระของยาอมเยลลี่ตรีผลาสูตรต่าง ๆ

สูตร	วัดค่าสี			ค่าความชื้น (m%)	ค่าความเป็นกรด	ค่าปริมาณน้ำอิสระ (AW)
	L*	a*	b*			
1	15.47±0.03^{c}	1.93±0.10^{b}	0.76±0.06^{b}	33.79±0.02^{d}	4.38±0.01^{b}	0.89±0.01^{c}
2	14.74±0.13^{d}	1.53±0.18^{c}	0.43±0.08^{c}	40.68±0.09^{c}	4.32±0.02^{bc}	0.92±0.01^{ab}
3	11.72±0.08^{e}	1.65±0.12^{bc}	0.56±0.12^{bc}	33.80±0.01^{d}	4.02±0.01^{d}	0.89±0.01^{bc}
4	16.73±0.08^{a}	1.61±0.16^{bc}	0.85±0.13^{b}	40.68±0.09^{c}	4.48±0.01^{a}	0.88±0.02^{c}
5	17.06±0.13^{a}	2.51±0.16^{a}	1.74±0.18^{a}	48.21±0.03^{b}	4.30±0.02^{c}	0.89±0.01^{c}
6	16.19±0.06^{b}	2.44±0.11^{a}	1.62±0.07^{a}	55.28±0.09^{a}	4.37±0.02^{b}	0.93±0.01^{a}

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD)

อักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

ตาราง 4

ข้อมูลลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร จำนวน 30 คน

ลักษณะทั่วไปของอาสมัคร	จำนวน (n=30)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	3	10.00
หญิง	27	90.00
อายุ		
18-23 ปี	20	66.66
24-29 ปี	5	16.66
30-35 ปี	2	6.67
36-41 ปี	0	0.00
42-47 ปี	3	10.00
สถานภาพ		
โสด	26	86.67
แต่งงาน	4	13.33
ระดับการศึกษา		
ต่ำกว่าปริญญาตรี	27	90.00
ระดับปริญญาตรี	2	6.67
สูงกว่าปริญญาตรี	1	333
อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา	20	66.67
พนักงานรัฐวิสาหกิจ	4	13.33
รับจ้าง	6	20.00

ตาราง 4 (ต่อ)

ลักษณะทั่วไปของอาสมัคร	จำนวน (n=30)	ร้อยละ
ท่านเคยมีประวัติการเพ้สมุนไพรหรือไม่		
ไม่เคย	30	100.00
เคย		0.00
ท่านมีประวัติเกี่ยวกับโรคประจำตัวหรือไม่		
ไม่เคย	26	86.66
เคย	4	13.33
- ภูมิแพ้	3	10.00
- ความดันโลหิตสูง	1	3.33
ปัจจุบันท่านมีการรับประทานยา อาหารเสริม หรือวิตามินหรือไม่		
ไม่เคย	17	56.67
เคย	13	43.33
- ยาลดความดันโลหิต	12	40.00
- วิตามินต่าง ๆ	1	3.33

ตาราง 5

การยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ยาอมเยลลี่ตรีผลา

สูตรที่	คุณลักษณะ				
	สี	รสชาติ	ความยืดหยุ่น	ความรู้สึกหลังกลืน	ความชอบโดยรวม
1	7.50±1.61^{ns}	6.16±2.08^{ns}	6.96±1.42^{ns}	6.43±1.94^{ns}	6.93±1.68^{ns}
2	6.73±2.05^{ns}	5.93±1.89^{ns}	5.70±1.64^{ns}	6.00±2.26^{ns}	6.06±2.13^{ns}
3	7.07±2.01^{ns}	5.63±2.69^{ns}	6.36±2.22^{ns}	5.73±2.49^{ns}	5.93±2.73^{ns}
4	7.80±1.63^{ns}	5.96±1.86^{ns}	6.53±1.77^{ns}	6.30±2.13^{ns}	6.40±1.86^{ns}
5	7.33±1.71^{ns}	5.00±2.19^{ns}	5.93±2.13^{ns}	5.33±2.41^{ns}	5.53±2.06^{ns}
6	6.93±2.16^{ns}	5.19±2.01^{ns}	6.00±2.25^{ns}	5.10±2.56^{ns}	5.71±2.19^{ns}

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) n = 30 คน

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มความหลากหลายของรสชาติและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ยาอมเยลลี่

2. ควรมีการศึกษาความคงตัวของยาอมเยลลี่ตรีผลาและสรรพคุณของตำรับ

3. ควรศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับเก็บยาอมเยลลี่ตรีผลา

References

Asl, M. N., & Hosseinzadeh, H. (2008). Review of pharmacological effects of Glycyrrhiza sp. and its bioactive compounds. *Phytotherapy research, 22*(6), 709-724. https://doi.org/10.1002/ptr.2362

Basiri, S. (2020). Assessment of sensory, texture and color properties of functional pastilles containing Licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.), *Nutrition and food sciences research, 7*(4), 27-32. Retrieved from https://nfsr.sbmu.ac.ir/article-1-415-fa.pdf

Chanpho, K., Daodee, S., & Sakloetsakun, D. (2015). Effects of gelling and sweetening agents on characteristics of Maprang crude extract's (Bouea macrophylla Griff) jelly product. *In 7th annual northeast pharmacy research conference of 2015 "Challenges and Opportunities of Pharmacy Profession in Post-Millennium Development Agenda" Faculty of Pharmaceutical Sciences, Khon Kaen University, Thailand* (pp. 290-295). Khon Kaen: Khon Kaen University (in Thai).

Deepanya, W. (2008). *Development of gummy jelly Tamarind product*. Phetchabun: Phetchabun Rajabhat University. (in Thai).

Department of Thai Traditional and Alternative Medicine. (2020). *Covid-19 outbreak* [Pamphlet]. Nonthaburi: Department of Thai Traditional and Alternative Medicine. (in Thai).

Diniz, D. T., & Lannes, S. C. (2016). Influence of sugar and syrup on the texture and sensory properties of jelly candies. *Food Science and Technology, 36*(4), 635-642. https://doi.org/10.1590/1678-457X.0055

Habilla, C., Sim, S.Y., Aziah, N., & Cheng, L.H. (2011). The properties of jelly candy made of acid-thinned starch supplemented with konjac glucomannan or psyllium husk powder. I*nternational Food Research Journal, 18*, 213-220. Retrieved from http://www.ifrj.upm.edu.my/18%20(01)%202011/(21)_IFRJ-2010-010_Cheng_USM[1].pdf

Huayhongthong, M. (2013). *Effect of gelatin sugar and glucose syrup content on qualities of cashew apple gummy jelly* (Research report). Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi (in Thai).

Kanpairo, K. (2018). Effect of different sweeteners on the quality of torch ginger (Etlingeraelatior (Jack) R.M. Smith) gummy jelly. *Burapha Science Journal, 23*(2), 944-958. Retrieved from https://scijournal.buu.ac.th/index.php/sci/article/view/1992?utm_source=chatgpt.com (in Thai)

Kim, Y. S., & Lim, S. T. (2013). Effects of sucrose and glucose syrup on the textural properties of gummy candies and gelled confectionery. *International journal of food science & technology, 48*(6), 1135-1141.

Lees, R., & Jackson, E. B. (1973). *Sugar confectionery and chocolate manufacture.* Leonard Hill: New York.

Madani, A & Jain, S.K. (2008). Anti-Salmonella activity of Terminalia belerica: in vitro and in vivo studies. Indian Journal of Experimental Biology, 46(12), 817–821. Retrieved from https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19245178/

Martins, S. I. F. S., Gänzle, M. G., & McMahon, D. J. (2014). Effect of sugar type and concentration on the color of caramel. *Food research international, 63*, 229-235. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.024

Maruthappan, V., & Shree, K. S. (2010). Hypolipidemic activity of Haritaki (*Terminalia chebula*) in atherogenic diet induced hyperlipidemic rats. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research, 1*(2), 229-235. Retrieved from https://journals.lww.com/japtr/fulltext/2010/01020/hypolipidemic_activity_of_haritaki__terminalia.14.aspx

Moungthai, P. (2010). Chemistry on the occurrence of brown color by maillard reaction. *Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology, 2*(4), 1-9. Retrieved from https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/swujournal/article/view/31877

Naik, G. H., Priyadarsini, K. I., Bhagirathi, R. G., Mishra, B., Mishra, K. P., Banavalikar, M. M., & Mohan, H. (2005). In vitro antioxidant studies and free radical reactions of triphala, an ayurvedic formulation and its constituents. *Phytotherapy Research: PTR, 19*(7), 582–586. https://doi.org/10.1002/ptr.1515

Net-anong, S. (2014). *Comparative study of efficacy and adverse effects of Triphala versus simvastatin in blood lipids reduction in dyslipidemia patients. (Clinical Trial Phase II)* (Master's thesis). Thammasat University. (in Thai)

Net-anong, S, Kittipawong, P, Ruangno, S., & Itharat, A. (2015). Free radical scavenging activity and total phenolic content of different times for extraction triphala powder and its stability study. *Thammasat Medical Journal, 15*(3), 472-479. Retrieved from https://he02.tci-thaijo.org/index.php/tmj/article/view/246431/167539 (in Thai)

Pichiasunthon, C., Chawalit, M., & Jirawong, W. (2015). *Explanation of the Phra Narai medicine book in the edition celebrating the 72nd birthday of the Great King, 5 December 1999* (3rd ed.). Bangkok: Amarin printing and publishing (in Thai)

Phetkate, P. (2012). *Study on side effect and immunomodulatory effect of triphala recipies extract in healthy volunteers* (Master's thesis). Thammasat University. (in Thai)

Rasool, M., & Sabina, E. P. (2007). Antiinflammatory effect of the Indian Ayurvedic herbal formulation Triphala on adjuvant-induced arthritis in mice. *Phytotherapy research: PTR, 21*(9), 889–894. https://doi.org/10.1002/ptr.2183

Rittilert, P., & Warin, K. (2019). *Development of karanda (Carissa carandas L.) Gummy Jelly Product* (Research report). Phra Nakhon Si Ayutthaya: Valaya Alongkorn Rajabhat University (in Thai)

Rivero, R., Archaina, D., Sosa, N., & Schebor, C. (2023). Sensory characterization, acceptance, and stability studies on low calories fruit jelly candies. *Journal of Food Science and Technology, 60*(5), 2204-2212. https://doi.org/10.1007/s13197-023-05747-7

Sandhya, T., Lathika, K. M., Pandey, B. N., & Mishra, K. P. (2006). Potential of traditional ayurvedic formulation, Triphala, as a novel anticancer drug. *Cancer Letters, 231*(2), 206–214. https://doi.org/10.1016/j.canlet.2005.01.035

Sharma, V., Katiyar, A., & Agrawal, R. C. (2016). Glycyrrhiza glabra: Chemistry and pharmacological activity. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-26478-3_21-1.

Sirirathawong, S., & Jaijoi, K. (2008). *Anti-inflammatory and Analgesic Activity of Triphala Recipe. National Research Council of Thailand*. Retrieved from https://dric.nrct.go.th/Search/ShowFulltext/2/286058 (in Thai).

Somsaeng, S. (2007). *Comparison of color change of sennai (Guangzhou variety) preserved by high pres sure and heat: An exploratory study* (Doctoral dissertation). Chiang Mai University. Chiang Mai. (in Thai)

Suechawakornkul, J, 2021. *Consumer need analysis and development of low calories vegan jelly enhanced immunity from fingerroot* (Master's thesis). Thammasat University. (in Thai).

Supimarat, S. (2000). *Candy and chocolate production technology*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai).

Suwan, T., Pradutprom, W., Ngamroop, W., Choosuk, N., & Phungamngoen, C. (2017). Development of Babbler's Bill leaf gummy jelly. *Burapha science journal, 22*(1), 189-201. Retrieved from https://scijournal.buu.ac.th/index.php/sci/article/view/1284 (in Thai)

Suwan, T., Narathaphanon, P., Lamsuwan, A., Phongpattanapanich, W., & Kullamethee, P. (2018). Development of Babbler's Bill Leaf Carragenan Jellies. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 28*(2), 403-411. Retrieved from https://ojs.kmutnb.ac.th/index.php/kjournal/article/view/1010 (in Thai).

Thitiset, T. (2011). *Development of the novel scaffolds from gelatin, chitooligosaccharide and demineralized bone matrix for bone tissue engineering application* (Master's thesis). Chulalongkorn University. (in Thai)

Tireki, S., Sumnu, G., & Sahin, S. (2021). Correlation between physical and sensorial properties of gummy confections with different formulations during storage. *Journal of Food Science and Technology, 58*(9), 3397-3408. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04923-3

Tungsatitporn, P., Asot, P., & Pardith, N. (2019). Development of jelly ready meal from stevia. *Journal of home economics technology, 1*(1), 62-71. Retrieved from https://so09.tci-thaijo.org/index.php/hecrmutp/article/view/4372/2565 (in Thai)

Tutapa, M., & Fakkham, S. (2024). The use of medicine for exanthematous fever in Taxila Scriptures. *EAU heritage journal science and technology, 18*(2), 107–123. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/267606 (in Thai)

U.S. Food and Drug Administration. (2011). *Acidified Foods: Guidance for Industry (Draft Guidance)*. Retrieved from https://www.fda.gov/food/food-safety-modernization-act-fsma/acidified-Foods

Waema, S., & Benhawan, A. (2022). *Development of Andrographis paniculata and white fingerroot jelly products combined with propolis and studying their antimicrobial and antioxidant properties* (Research report). Yala: Yala Rajabhat University. (in Thai)

Wiwakplern, N., Nualkaew, S., & Rinthong, P. (2020). Comparative study on the effectiveness of triphala maha pikut tablets, triphala maha pikut extract tablets and senna extract tablets in relieving constipation. *Udonthani Hospital Medical Journal, 28*(2), 178-191. Retrieved from https://he02.tci-thaijo.org/index.php/udhhosmj/article/view/245092/166629 (in Thai).

Zhang, Y., Liu, Y., Zhang, L., & Wang, X. (2017). Effect of sucrose concentration on moisture retention and texture of sugar-based candy. *International Journal of Food Science & Technology, 52*(6), 1370-1376. https://doi.org/10.1111/ijfs.13415

Zou, T., Zhang, M., Sun, J., & Chen, Y. (2018). Effect of glucose syrup and sucrose on the Maillard reaction and the color characteristics of caramelized products. *Food Chemistry, 238*, 28-34. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.127

การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการสินค้าคงคลัง ด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง

Development of an Inventory Management System on a Mobile Application using Machine Learning Technology

ศุภดา สุทธา[1] ธัญญารัตน์ จิ๋วน๊อต[1] และทศพล เศรษฐวัชราวนิช[1]*
Supada Sutta[1], Tanyarat Jivnot[1] and Tossaphol Settawatcharawanit[1]*
[1]วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
[1]College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University
*Corresponding author: tossaphol.set@dpu.ac.th
Received: March 7, 2025
Revised: May 20, 2025
Accepted: May 26, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการพัฒนาการจัดการสินค้าคงคลังให้มีประสิทธิภาพ เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไรให้ธุรกิจ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือร่วมกับการใช้งานระบบ Point of Sale: POS สำหรับสแกนบาร์โค้ดเพื่อขายหน้าร้าน (2) พัฒนาระบบวางแผนการสั่งซื้อล่วงหน้าด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) โดยใช้โมเดล Gradient Boosting Regression ที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด โดยมีค่า MAE=1.4320 MSE=3.7344 RMSE=1.9270 R^2=0.7148 และ MAPE=0.4953 (3) ส่งผลให้ผลกำไรเพิ่มขึ้นและลดต้นทุนจากปัญหาสินค้าคงค้าง และลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น เช่น การติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องใช้พื้นที่ และการใช้โปรแกรมที่ซับซ้อนกับพนักงานที่ไม่ชำนาญ (4) ประเมินประสิทธิภาพของระบบทั้งในด้านการใช้งานและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จำนวน 30 กลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ประกอบการธุรกิจขนาดเล็กแบบเฉพาะกลุ่ม ที่ไม่มีระบบการจัดการคลังสินค้าอัตโนมัติ จึงทำการประเมิน 5 ด้าน ดังนี้ (1) ด้านการจัดการแก้ไขระบบคลังสินค้า ($\overline{X}$ =3.64 SD=0.54) (2) ด้านการใช้ระบบขายหน้าร้าน ($\overline{X}$ =4.12 SD=0.17) (3) ด้านการสั่งสินค้าจากการพยากรณ์ ($\overline{X}$ =3.97 SD=0.07) (4) ด้านความถูกต้องของระบบและความปลอดภัยของข้อมูล ($\overline{X}$ = 3.80 SD=0.20) (5) ด้านการออกแบบการใช้งาน ($\overline{X}$ =4.22 SD=0.22) แสดงให้เห็นว่า แอปพลิเคชันสามารถตอบโจทย์ผู้ใช้งานได้ดีในเชิงการออกแบบ และความสะดวกในการใช้งาน ดังนั้นแอปพลิเคชันนี้จึงเหมาะกับธุรกิจขนาดเล็กที่ต้องการปรับตัวในยุคที่การตลาดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน

คำสำคัญ: การพยากรณ์การสั่งซื้อล่วงหน้า การเรียนรู้ของเครื่อง ระบบขายสินค้าหน้าร้าน การบริหารสินค้าคงคลัง

Abstract

This research focuses on enhancing inventory management efficiency to reduce operational expenses and increase profitability for businesses. The objectives of the study are (1) to develop a mobile application integrated with a Point of Sale: POS system for barcode scanning and in-store sales and (2) to implement a predictive purchasing system using machine learning technology. The Gradient Boosting Regression model was found to yield the best performance, achieving MAE=1.4320, MSE=3.7344, RMSE=1.9270, R^2=0.7148, and MAPE=0.4953; (3) to increase profits and reduce unnecessary costs caused by excess inventory and hardware installation, including complex software systems that are not user-friendly for inexperienced staff; and (4) to evaluate system performance and user satisfaction. The evaluation was conducted with 30 targeted small business owners who currently operate without automated inventory systems. Five aspects were assessed: (1) inventory management and adjustment ($\overline{X}$ =3.64, SD=0.54); (2) POS system usability ($\overline{X}$ = 4.12, SD= 0.17); (3) forecasting-based purchasing decisions ($\overline{X}$ =3.97, SD=0.07); (4) system accuracy and data security ($\overline{X}$ =3.80, SD= 0.20); and (5) user interface design ($\overline{X}$ =4.22, SD=0.22). The results indicate that the application effectively meets user needs, particularly in terms of design and usability. Therefore, the developed application is well-suited for small businesses seeking to adapt to the rapidly evolving marketplace.

Keywords: demand forecasting, machine learning, Point of Sale System, inventory management

บทนำ

ธุรกิจขนาดเล็กมีบทบาทสำคัญในเศรษฐกิจของหลายประเทศ โดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องและเป็นแหล่งสร้างงานสำคัญของประเทศ จากข้อมูลของสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) พบว่า การจัดตั้งครึ่งปีแรก 2567 ธุรกิจขนาดเล็กในประเทศไทยมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 99.7 ของจำนวนธุรกิจทั้งหมด และมีการจ้างงานมากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนการจ้างงานในภาคเอกชน (Department of Business Develop-ment, 2024) การเติบโตของธุรกิจเหล่านี้ทำให้เกิดความต้องการในการปรับตัวและนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน โดยเฉพาะการจัดการสินค้าคงคลังให้เกิดประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยตอบสนองความต้องการของลูกค้า ช่วยลดต้นทุน และเพิ่มผลกำไรให้กับธุรกิจ โดยเฉพาะในธุรกิจขนาดเล็กที่มักเผชิญกับข้อจำกัดในการใช้งานระบบที่ซับซ้อน และการขาดทักษะของพนักงาน

การใช้เทคโนโลยีในการจัดการสินค้าคงคลัง เช่น การขายหน้าร้านด้วยระบบ Point of Sale: POS บนแอปพลิเคชัน (Boonruengpanich, 2022) ซึ่งพบว่าต้องพึ่งพาการใช้งานจากระบบภายนอกอย่างการใช้ Microsoft Excel สำหรับการจัดเก็บข้อมูลสินค้าคงคลังหรือการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Aunsorn, 2023) และยังไม่มีการนำข้อมูลการขายมาพัฒนาด้วยเทคโนโลยีที่สามารถพยากรณ์ยอดขายได้ ที่จะช่วยให้การสั่งซื้อสินค้าตรงตามความต้องการของตลาด และลดการสูญเสียสินค้า ซึ่งการนำข้อมูลการขายสินค้าจากในอดีตมาพยากรณ์ยอดขายเพื่อวางแผนซื้อวัตถุดิบที่มีระยะเวลาในการเก็บรักษาทำให้สามารถควบคุมสินค้าคงคลังได้ อย่างการใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณทางสถิติ (Kritkanjanaphant, 2022) และนอกจากนั้นยังมีการใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ที่สามารถคำนวณ

ผลลัพธ์ทางสถิติกับข้อมูลจำนวนมากได้ดีขึ้นจากการฝึกการเรียนรู้ของโมเดลให้เกิดความสามารถในการพยากรณ์ยอดขาย (Auppakorn & Pakdeesirote, 2021) และนำไปประยุกต์ใช้งานจริงกับระบบอื่น ๆ

งานวิจัยฉบับนี้จึงพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือที่ผสานการใช้งานระบบ Point of Sale กับเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องมาจัดการสินค้าคงคลังเพื่อแก้ปัญหาการลดต้นทุน เพิ่มผลกำไร และข้อจำกัดในการใช้งานระบบ ลดปัญหาสินค้าล้นคลังมีมากเกินความต้องการซื้อ หรือการสูญเสียสินค้าเนื่องจากสินค้าบางชนิดมีระยะเวลาในการเก็บรักษา ทำให้สินค้าหมดอายุก่อนขาย และการจัดการระบบคลังสินค้าเพื่อให้สินค้ามีคุณภาพสดใหม่ในทุกวัน จนเกิดผลกำไรจากการสั่งสินค้าที่เพียงพอต่อความต้องการ พร้อมกับได้รับความประทับใจจากลูกค้าจนต้องกลับมาซื้อสินค้าอีกครั้ง นอกจากนี้ระบบยังช่วยให้เจ้าของร้าน และพนักงานสามารถมองเห็นภาพรวมของสินค้าคงคลัง เช่น ยอดขาย กำไร สินค้าขายดี และสินค้าใกล้หมดอายุ เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจสั่งซื้อสินค้าคงคลังล่วงหน้า โดยการใช้วิธีสำรวจความพึงพอใจกับกลุ่มธุรกิจขนาดเล็กที่ต้องการใช้ระบบพยากรณ์ยอดขาย ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการสินค้าคงคลังได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปปรับใช้กับการขยายตัวของธุรกิจการขายในลักษณะอื่น ๆ ได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือร่วมกับการใช้งานระบบ Point of Sale: POS สำหรับสแกนบาร์โค้ดเพื่อขายสินค้าหน้าร้าน

2. เพื่อนำเข้าข้อมูลสำหรับวางแผนการสั่งซื้อสินค้าคงคลังล่วงหน้าโดยการเปรียบเทียบยอดขายจริงกับยอดขายที่พยากรณ์ด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning)

3. เพื่อเพิ่มผลกำไรและลดต้นทุนจากปัญหาสินค้าคงค้าง และลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น เช่น การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องใช้พื้นที่ และการใช้งานโปรแกรมที่ซับซ้อนสำหรับการทำความเข้าใจโดยเฉพาะกับพนักงานที่ไม่ชำนาญ

4. ประเมินประสิทธิภาพและการยอมรับ ความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การบริหารสินค้าคงคลังมีบทบาทสำคัญในการดำเนินธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บและกระจายสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ การบริหารสินค้าคงคลังที่ดีช่วยลดต้นทุน ลดความสูญเสียจากสินค้าคงค้าง (overstock) หรือสินค้าขาดแคลน (stockout) (Silver, Pyke & Peterson, 2017) และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการบริหารสินค้าคงคลัง ได้แก่ แนวทางการบริหารสินค้าคงคลัง (inventory management) ระบบขายสินค้าหน้าร้าน (Point of Sale: POS) และการพยากรณ์การสั่งซื้อสินค้า (demand forecasting) ซึ่งทั้งหมดนี้ทำงานร่วมกันเชิงระบบเพื่อช่วยให้ธุรกิจดำเนินงานได้มีประสิทธิภาพ

การจัดการสินค้าคงคลังที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัย เทคโนโลยี เพื่อควบคุมปริมาณสินค้าให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาด โดยกระบวนการขายที่สำคัญจำเป็นต้องมีระบบขายสินค้าหน้าร้าน Point of Sale เป็นเครื่องมือในการช่วยบันทึกข้อมูลการขาย ซึ่งทำงานโดยอาศัยการสแกนบาร์โค้ดหรือ RFID เพื่อบันทึกข้อมูลสินค้าและจำนวนที่ขายออกไปแบบอัตโนมัติ ทำให้สามารถติดตามสถานะสินค้าคงคลังได้ทันที ลดข้อผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือ (Kotler & Keller, 2016; Siriwilai, et al., 2023) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นทรัพยากรสำคัญในการพยากรณ์ยอดขายในอนาคต

ด้านการพยากรณ์ของโมเดล Auppakorn and Pakdeesirote (2021) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล Artificial Neural Network: ANN ซึ่งให้ผลลัพธ์ดีที่สุดแต่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรและเวลาในการเรียนรู้ข้อมูลของโมเดลโดย Strubell et al. (2019) ระบุว่า ANN ต้องใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์และเวลาในการประมวลผลสูงกว่าโมเดลทั่วไป

จากงานวิจัย Marie Chana et al. (2023) ;Agada (2024) พบว่า เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องสามารถพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตร และความต้องการยาของผู้ป่วยในโรงพยาบาล ตามลำดับ โดยผลที่ได้ คือ โมเดล Random Forest มีประสิทธิภาพสูงสุดกับข้อมูลที่ใช้สำหรับพยากรณ์ของทั้งสองงาน โดยเฉพาะงานของ Marie Chana et al. (2023) ที่เสนอการใช้คุณลักษณะเพิ่มเติมจากสภาพแวดล้อม เช่น แนวโน้มตลาด ฤดูกาล สภาพอากาศ และคุณภาพของดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์ นอกจากนี้ Zambudio Martínez et al. (2025) พบว่า Gradient Boosting Regressor สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีความแปรปรวนสูงได้ดีกว่า ANN และ Random Forest ที่ใช้ทรัพยากรและเวลาในการประมวลผลการเรียนรู้ข้อมูลน้อยกว่า

งานวิจัยฉบับนี้จึงพัฒนาระบบพยากรณ์ยอดขายด้วยเทคนิค Gradient Boosting ที่เหมาะกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม พร้อมกับมีการนำผลการพยากรณ์ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบ POS และแสดงผลบนแอปพลิเคชันที่พัฒนามาให้สามารถทำงานร่วมกันได้ พร้อมกับสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานตามมาตรวัดแบบ Likert Scale (Likert, 1932) ซึ่งมีช่วงค่าคะแนนเฉลี่ย 1.00–5.00 และแปลความหมายเป็น 5 ระดับ ได้แก่ น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด

ดังนั้นการบูรณาการเทคโนโลยีเพื่อบริหารสินค้าคงคลังอย่างครบวงจร ตั้งแต่ระบบขายหน้าร้าน การพยากรณ์ยอดขาย ไปจนถึงการตัดสินใจสั่งซื้อสินค้า จะช่วยให้ธุรกิจโดยเฉพาะธุรกิจขนาดเล็ก สามารถบริหารจัดการสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้อย่างทันท่วงที

วิธีการดำเนินการวิจัย

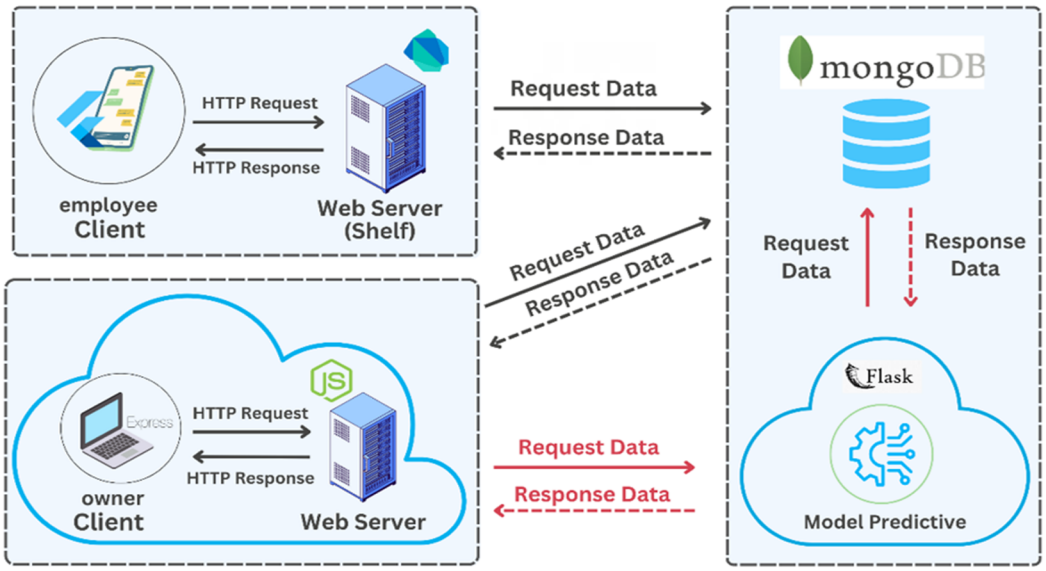
1. การทำงานของระบบ

การทำงานภายในระบบมีทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ (1) ระบบการทำงานของพนักงาน (2) ระบบการทำงานเจ้าของร้าน (3) การเรียนรู้ของเครื่องและฐานข้อมูล

1. พนักงานจะใช้ระบบผ่านโมบายแอปพลิเคชันที่พัฒนาโดยการใช้เฟรมเวิร์ค Flutter version 3.24.2 ที่พัฒนาขึ้นบนภาษา Dart โดย Google และใช้ไลบรารี qrscan version 0.3.2 พัฒนาระบบ Point of Sale และพนักงานสามารถตรวจสอบสินค้าคงคลังพร้อมบันทึกข้อมูลลงระบบ ทำให้มีการนำเข้าข้อมูลการขายสำหรับใช้พยากรณ์เป็นข้อมูลปัจจุบัน

2. เจ้าของร้านจะใช้ระบบผ่านเว็บแอปพลิเคชันพัฒนาโดยการใช้เฟรมเวิร์ค Express version 4.18.2 ที่มีความยืดหยุ่น และง่ายต่อการสร้าง พร้อมกับใช้ Node.js version 20.7.0 พัฒนาการทำงานฝั่งเซิร์ฟเวอร์ เพื่อแสดงรายการต่าง ๆ เช่น หน้าแสดงยอดขายรายวัน ยอดขายรายเดือน ยอดขายของพนักงานแต่ละคน จำนวนสินค้าที่ขาย และการแสดงข้อมูลพยากรณ์เพื่อช่วยเจ้าของร้านตัดสินใจสั่งซื้อสินค้าตามจำนวนที่แนะนำจากการพยากรณ์ยอดขาย ส่วนข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลสินค้า และพนักงาน เจ้าของร้านสามารถเพิ่ม ลบ หรือแก้ไขเปลี่ยนแปลงข้อมูลในระบบได้

3. ระบบการพยากรณ์ยอดขายด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อใช้พยากรณ์การสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้า และระบบฐานข้อมูล ซึ่งระบบการพยากรณ์จะมีสองส่วน คือ ส่วนที่ 1 สร้างการเรียนรู้ของเครื่องด้วยการใช้งานไลบรารี Scikit-learn version 1.1.1 เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ข้อมูลที่นำเข้ามาจากในอดีตจนสามารถพยากรณ์ยอดขายล่วงหน้า และส่วนที่ 2 การแสดงผลค่าพยากรณ์ด้วยการใช้เฟรมเวิร์ค Flask version 2.1.2 ของภาษา Python version 3.12.1 เพื่อแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน โดยข้อมูลจากทั้งสามส่วนพัฒนาด้วย MongoDB version 6.1.0 เป็นฐานข้อมูลร่วมกันเพื่อให้ข้อมูลที่นำไปใช้งานทั้งระบบถูกต้องตรงกัน ดังภาพ 1



ภาพ 1 กรอบการพัฒนาระบบจัดการสินค้าคงคลังผ่านโมบายแอปพลิเคชันด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง

2. กระบวนการของการเรียนรู้ของเครื่อง

ขั้นตอนการดำเนินงานส่วนการเรียนรู้ของเครื่องมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การเก็บรวบรวมและเตรียมข้อมูล (2) การแบ่งข้อมูล (3) การเลือกโมเดล (4) การฝึกโมเดล และ (5) การทดสอบโมเดล โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

1. การเก็บรวบรวมและเตรียมข้อมูล ใช้ข้อมูลในการเรียนรู้ของโมเดลเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 427 วัน ระหว่างวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2568 ถึง 14 กุมภาพันธ์ 2568 ในรูปแบบไฟล์ CSV และเพิ่มคุณลักษณะของข้อมูล (features) ที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ ณ สถานที่ตั้งร้านค้า อ้างอิงจาก OpenWeatherMap.com เพื่อให้โมเดลเข้าใจความสัมพันธ์ของข้อมูลในสถานการณ์จริงจนสามารถเรียนรู้ข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำการแปลงข้อมูลชื่อสินค้าและวันเทศกาลเป็นประเภท Numerical Data หรือเชิงตัวเลข (Inkeaw, 2023) โดยใช้เทคนิค Label Encoding เช่น การกำหนดให้เลข 1 แทนสินค้ามะพร้าวลูก ตามลำดับ และกำหนดประเภทของวันโดยแทนวันเทศกาลด้วยเลข 1 ส่วนข้อมูลของวันในสัปดาห์ใช้เทคนิค One-Hot Encoding (Harris, et al., 2020; Bunruang & Sae-bae, 2024) ซึ่งทั้งสองเทคนิคช่วยให้โมเดลสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับยอดขายและเพิ่มความสามารถในการตรวจจับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นทำการตรวจสอบ และจัดการค่าผิดปกติ (outliers) (Singsanong, 2015) ด้วยวิธี Interquartile Range หรือ IQR (Tukey, 2021) จากนั้นทำการเลือกคุณลักษณะสำคัญ Gradient Boosting Regression (Friedman, 2001) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของข้อมูลเพิ่มเติมได้จนกว่าโมเดลพยากรณ์ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ตามที่ต้องการ คุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้ ดังนี้

1) ข้อมูลสินค้า ได้แก่ ชื่อสินค้า จำนวนสินค้าเข้า สินค้าหน้าร้าน เดือน และจำนวนสินค้าหมดอายุ ซึ่งข้อมูลนี้เป็นข้อมูลการขายในอดีตเพื่อให้โมเดลเรียนรู้ข้อมูลจริงสำหรับพยากรณ์ยอดขายในอนาคต

2) ข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ต่ำสุด สูงสุด (องศาเซลเซียส) และปริมาณน้ำฝนรวม (มิลลิเมตร) ซึ่งข้อมูลนี้สามารถใช้พิจารณาได้ว่าบริเวณที่ตั้งร้านมีอุณหภูมิสูงส่งผลให้ยอดขายสูงขึ้นกว่าช่วงอุณหภูมิปกติ

3) ข้อมูลวันสำคัญ ได้แก่ วันในสัปดาห์ วันเทศกาล และวันธรรมดา ซึ่งข้อมูลนี้ช่วยให้ทราบว่าวันใดมียอดขายมากสุดในหนึ่งสัปดาห์และถ้าวันนั้น ๆ เป็นช่วงเทศกาลหรือวันหยุดยอดขายจะเป็นอย่างไร

4) ข้อมูลฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน (rainy) ฤดูร้อน (summer) และฤดูหนาว (winter) ข้อมูลนี้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยถ้าฤดูร้อนอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้ยอดขายในฤดูนี้สูงขึ้นหรือลดลง

2. การแบ่งข้อมูล เมื่อเตรียมข้อมูลเรียบร้อย แบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ (1) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (training set) สำหรับให้โมเดลใช้ทำการเรียนรู้รูปแบบและการสร้างกฎที่ใช้ในการพยากรณ์ เพื่อให้ผลการพยากรณ์ตรงกับผลลัพธ์ของค่าความเป็นจริงมากที่สุด และ (2) ชุดข้อมูลทดสอบ (test set) ใช้ประเมินความสามารถของโมเดลหลังจากโมเดลเรียนรู้มาแล้ว โดยทั้งสองชุดข้อมูลจะแบ่งตามสัดส่วน คือ ร้อยละ 80 ใช้สำหรับการเรียนรู้ และร้อยละ 20 ใช้สำหรับทดสอบโมเดล

3. การเลือกโมเดล จากการทดลองเปรียบเทียบหลายโมเดล พบว่า Gradient Boosting Regression มีความสามารถสูงสุดในการพยากรณ์ยอดขาย เพราะสามารถเรียนรู้จากข้อผิดพลาดของโมเดลก่อนหน้าและจัดการค่าผิดปกติได้ และพิจารณาจากค่าความผิดพลาดเชิงตัวเลข เช่น Mean Absolute Error: MAE และ R-squared: R^2

4. การเรียนรู้ของโมเดล กระบวนการนี้มีการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์จากการทำซ้ำ (iterative process) หรือการวนลูปจนครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้จนค่าความผิดพลาดจะลดลงถึงระดับที่ยอมรับ โดยกำหนดพารามิเตอร์ตั้งต้นดังนี้ การกำหนดจำนวนรอบการทำซ้ำหรือจำนวนการเรียนรู้ (n_estimators) เท่ากับ 300 การควบคุมอัตราการเรียนรู้ของโมเดลโดยจะให้โมเดลค่อย ๆ เรียนรู้ในแต่ละรอบ (learning_rate) เท่ากับ 0.1 และการกำหนดจำนวนสูงสุดที่ให้โมเดลสามารถเรียนรู้รูปแบบข้อมูลที่ซับซ้อนได้ (max_depth) เท่ากับ 3 จากนั้นจึงเริ่มการเรียนรู้ของโมเดลพร้อมกับตรวจสอบผลลัพธ์

5. การทดสอบโมเดล เมื่อได้โมเดลที่เหมาะสมแล้วจึงประเมินผลลัพธ์จากข้อมูลที่แบ่งไว้สำหรับใช้เป็นชุดข้อมูลทดสอบเพื่อให้โมเดลทำการพยากรณ์ และพิจารณาตัวชี้วัดทั้งสองค่าควบคู่กัน คือค่าของ Mean Absolute Error และค่า R-squared โดยค่าของ Mean Absolute Error ใช้วัดความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างค่าที่โมเดลพยากรณ์ ($\hat{y}$) กับค่าของข้อมูลจริง (y_i) ซึ่งในกรณีนี้คือยอดขายสินค้า ดังสมการที่ (1)

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|y_i - \hat{y}_i\right| \qquad (1)$$

โดย

y_i คือ ค่าจริง หรือยอดขายสินค้า

$\hat{y}$ คือ ค่าที่โมเดลพยากรณ์

n คือ จำนวนตัวอย่างข้อมูลทั้งหมด

หากค่า Mean Absolute Error ที่วัดได้มีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ศูนย์มาก แสดงว่าโมเดลมีความคลาดเคลื่อนน้อย และสามารถพยากรณ์ค่าได้ใกล้เคียงกับข้อมูลยอดขายจริง อย่างไรก็ตามการวัดจากค่า Mean Absolute Error เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะประเมินว่าโมเดลดีที่สุดจึงใช้ค่าของ R-squared เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจเลือกโมเดล (James, Witten, Hastie & Tibshirani, 2021) ดังสมการที่ (2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \overline{y}\right)^2} \qquad (2)$$

โดย

y_i คือ ค่าจริง หรือยอดขายสินค้า

$\hat{y}_i$ คือ ค่าที่โมเดลพยากรณ์

$\overline{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าจริงทั้งหมด

n คือ จำนวนตัวอย่างข้อมูลทั้งหมด

ซึ่งค่าของ R-squared แสดงถึงความสามารถของโมเดลในการอธิบายการกระจายตัวของข้อมูลเป้าหมาย (ความแปรปรวน) โดยค่า R-squared ที่สูงหรือเข้าใกล้ 1 โมเดลสามารถพยากรณ์ข้อมูลได้ใกล้เคียงกับค่าจริง อย่างไรก็ตามหากค่ามีแนวโน้มสูงเกินไป เช่น เกือบเท่ากับ 1 อาจแสดงถึงโมเดล “จำข้อมูล” ในชุดข้อมูลเรียนรู้มากเกิน (overfitting) ซึ่งทำให้ความสามารถในการพยากรณ์กับข้อมูลใหม่ลดลง (James, Witten, Hastie & Tibshirani, 2021)

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาระบบ

1. ระบบโมบายแอปพลิเคชันของพนักงานสำหรับขายสินค้าหน้าร้านจากการสแกนบาร์โค้ด และระบบตรวจสอบสินค้าคงคลังผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยแบ่งการทำงานตามเมนูต่าง ๆ โดยการสแกนบาร์โค้ดเพื่อขายสินค้า พนักงานสามารถนำบาร์โค้ดของสินค้ามาสแกนเพื่อใช้แสดงข้อมูลของสินค้าและบันทึกข้อมูลการขายได้ทันที ดังภาพ 2

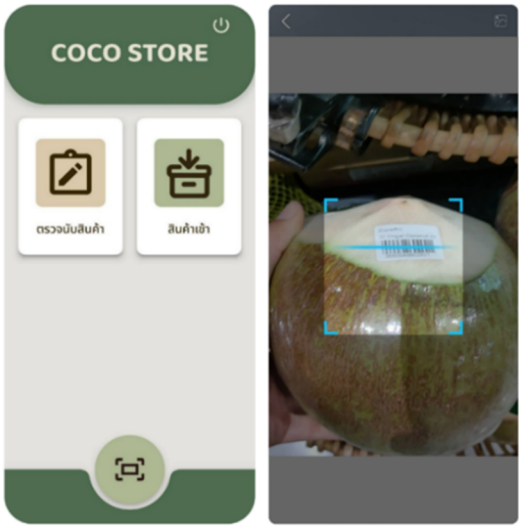
เมื่อสแกนเรียบร้อยจะแสดงหน้าการชำระเงินพร้อมรายละเอียด โดยต้องเลือกวิธีชำระเงินให้เรียบร้อยก่อนจบการขาย ได้แก่ เงินสด หรือโอนจ่าย แต่ถ้าไม่ได้เลือก ระบบจะแจ้งเตือนทันที ดังภาพ 3

ปุ่มเมนูการตรวจนับสินค้าเพื่อตรวจสอบสินค้าคงคลังกับจำนวนหน้าร้าน โดยมีรายละเอียดดังนี้ จำนวนสินค้าหน้าร้าน (ยกมา) จำนวนสินค้านำเข้า (เข้า) จำนวนการขายสินค้า (ขาย) จำนวนสินค้าหมดอายุ (เสีย) และจำนวนสินค้าคงเหลือ (เหลือ) ส่วนอีกปุ่มเป็นระบบสำหรับกานำเข้าสินค้า สำหรับการตรวจสอบจำนวนการนำเข้าสินค้าในระบบกับหน้าร้าน ดังภาพ 4

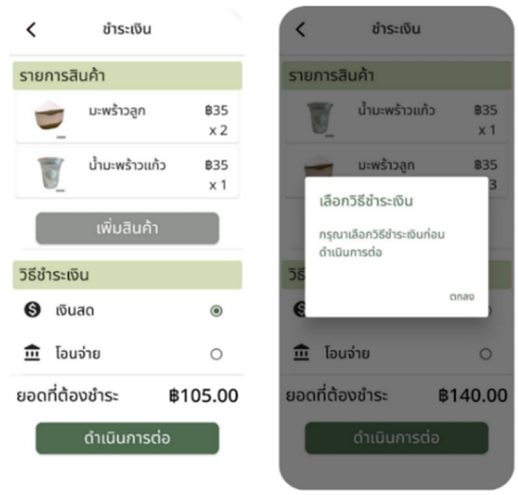
2. ระบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับเจ้าของร้านให้สามารถจัดการสินค้าคงคลังในเมนู STOCK PRODUCT โดยมี 2 ส่วน ได้แก่

1) การแสดงผลการพยากรณ์ที่ใช้แนะนำจำนวนสินค้าแต่ละชนิดที่ต้องการสั่งล่วงหน้า เพื่อเป็นข้อมูลให้เจ้าของร้านใช้ประกอบการตัดสินใจสั่งซื้อได้ทันที ดังภาพ 5

2) ส่วนของ LIST PRODUCT เป็นการแสดงรายการสินค้าคงคลังทั้งหมด แสดงจำนวนสินค้า และสามารถลบรายการสินค้าออกจากคลัง หรือถ้าต้องการเพิ่มรายการสินค้าใหม่สามารถกดปุ่มเพิ่มสินค้าในกรณีที่ไม่เคยมีสินค้านั้นในระบบ และกดปุ่มนำเข้าจำนวนสินค้าจากการพยากรณ์ได้ในส่วนนี้ ดังภาพ 6



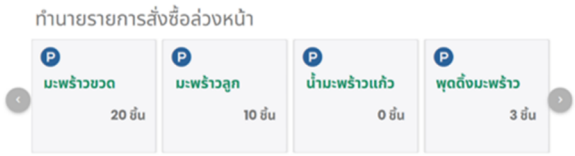
ภาพ 2 หน้าการสแกนบาร์โค้ดเพื่อทำการขายสินค้า



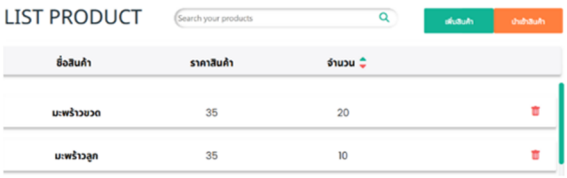
ภาพ 3 หน้าแสดงรายการสินค้า และเลือกวิธีชำระเงิน



ภาพ 4 หน้าการตรวจสอบ แก้ไข คลังสินค้า และหน้าตรวจสอบจำนวนการนำเข้าสินค้าคงคลัง



ภาพ 5 หน้าการพยากรณ์การสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้า

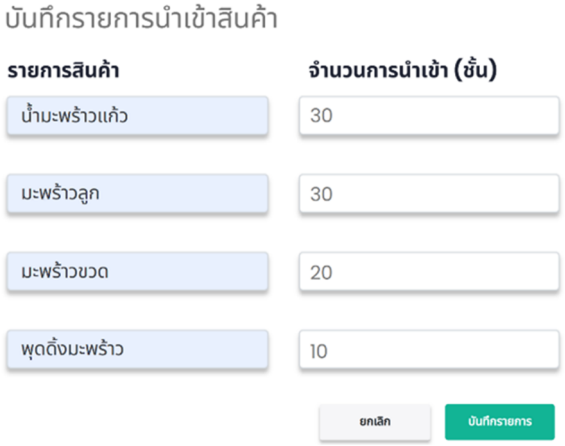


ภาพ 6 หน้าของปุ่มการเพิ่มรายการสินค้า และปุ่มการนำเข้าสินค้า พร้อมแสดงรายการสินค้าที่มีในระบบ

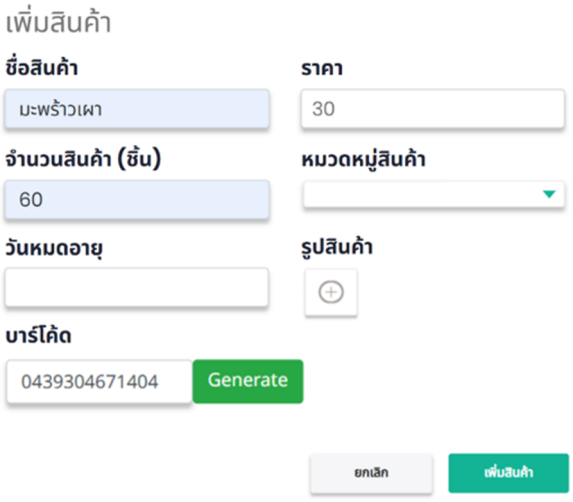
เมื่อกดปุ่มนำเข้าสินค้าจะแสดงหน้าการนำเข้าจำนวนสินค้าที่ช่วยแนะนำจากการพยากรณ์การสั่งซื้อล่วงหน้า โดยส่วนนี้จะนำเข้าได้ต้องมีสิทธิ์การเป็นเจ้าของร้านเท่านั้น แล้วข้อมูลจะส่งไปยังระบบโมบายแอปพลิเคชันสำหรับขายให้พนักงานตรวจสอบกับจำนวนสินค้าในระบบที่มีการนำเข้าอีกครั้ง ดังภาพ 7

ระบบสำหรับการเพิ่มรายการสินค้าใหม่เข้าคลังโดยกรอกรายละเอียด ดังนี้ ชื่อ ราคา จำนวน สร้างรหัสบาร์โค้ด วันหมดอายุ หมวดหมู่ และรูปภาพของสินค้า จากนั้นข้อมูลของรายการสินค้าใหม่แสดงในระบบคลังสินค้า ดังภาพ 8

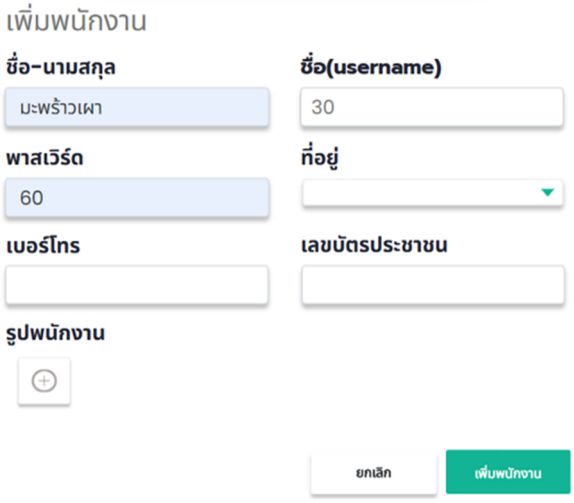
ระบบสำหรับเพิ่มข้อมูลพนักงาน สามารถเพิ่มข้อมูลจากเมนู STAFF ได้ทันทีโดยกรอกรายละเอียด ดังนี้ ชื่อ-นามสกุล ชื่อผู้ใหม่ พาสเวิร์ด ที่อยู่ เบอร์โทร เลขบัตรประชาชน เบอร์โทร รูปพนักงาน จากนั้นจึงบันทึกข้อมูล ดังภาพ 9



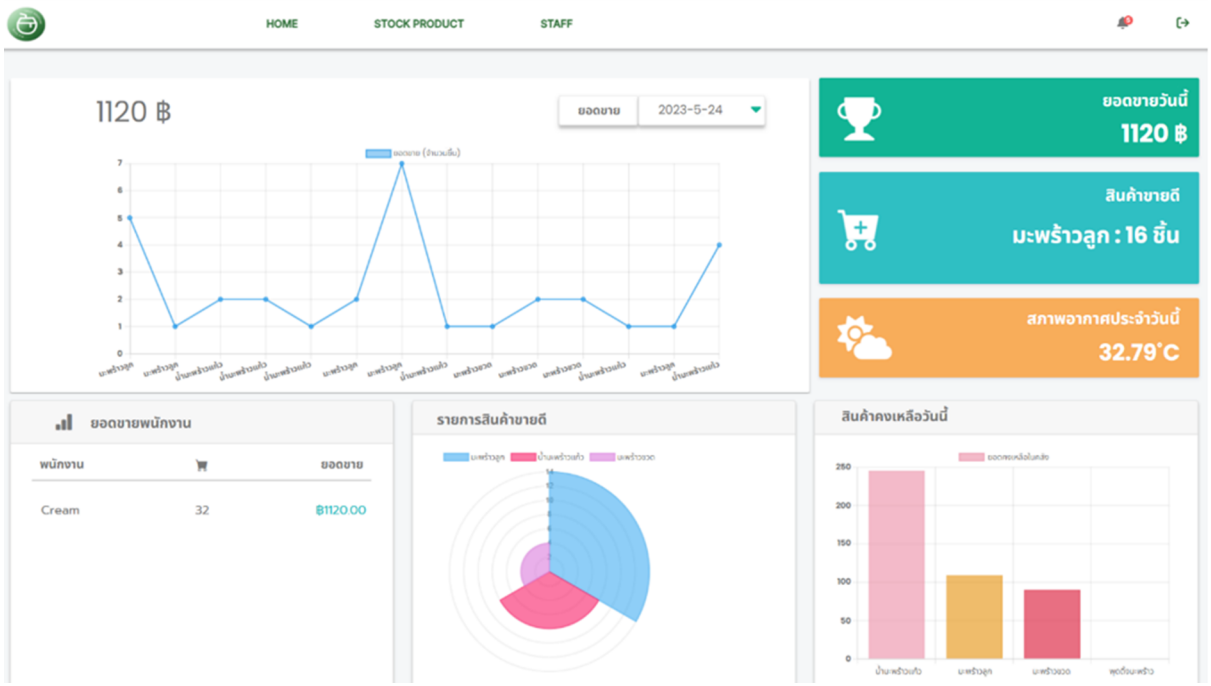
ภาพ 7 หน้าสำหรับกรอกจำนวนสินค้านำเข้าหน้าร้าน



ภาพ 8 หน้าแสดงการเพิ่มรายการสินค้าใหม่



ภาพ 9 หน้าเพิ่มข้อมูลของพนักงานเข้าใหม่



ภาพ 10 หน้าการแสดงยอดขาย สินค้าขายดี สินค้าคงเหลือและยอดขายของพนักงานรายบุคคล

เจ้าของร้านสามารถตรวจสอบจำนวนสินค้าและยอดขายทั้งหมดจากการแสดงรูปแบบต่าง ๆ ทั้งแบบกราฟเส้นเพื่อบอกจำนวนของแต่ละสินค้าที่ขายได้ ซึ่งสามารถเลือกดูยอดขายย้อนหลังจากการเลือกวันที่ต้องการและการแสดงกราฟแท่งเพื่อบอกจำนวนสินค้าคงเหลือแต่ละชนิด พร้อมกับแสดงข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ยอดขายรายวัน สินค้าที่ขายดี อุณหภูมิ สินค้าคงเหลือ รายการสินค้าขายดีแต่ละชนิด และแสดงยอดขายของพนักงานแต่ละคนให้ทราบว่าพนักงานคนใดทำยอดขายได้ดี ดังภาพ 10

นอกจากนี้ ค่า R-squared ยังสามารถบ่งบอกความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างตัวแปรสองตัว เช่น หากวันขายสินค้า (X) เปลี่ยนแปลง อาจส่งผลต่อยอดขาย (Y) ได้ (Silver, Pyke & Peterson, 1998) การทำความเข้าใจความสัมพันธ์นี้ช่วยให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มยอดขายได้อย่างแม่นยำมากขึ้น เพื่อประเมินคุณภาพของโมเดล

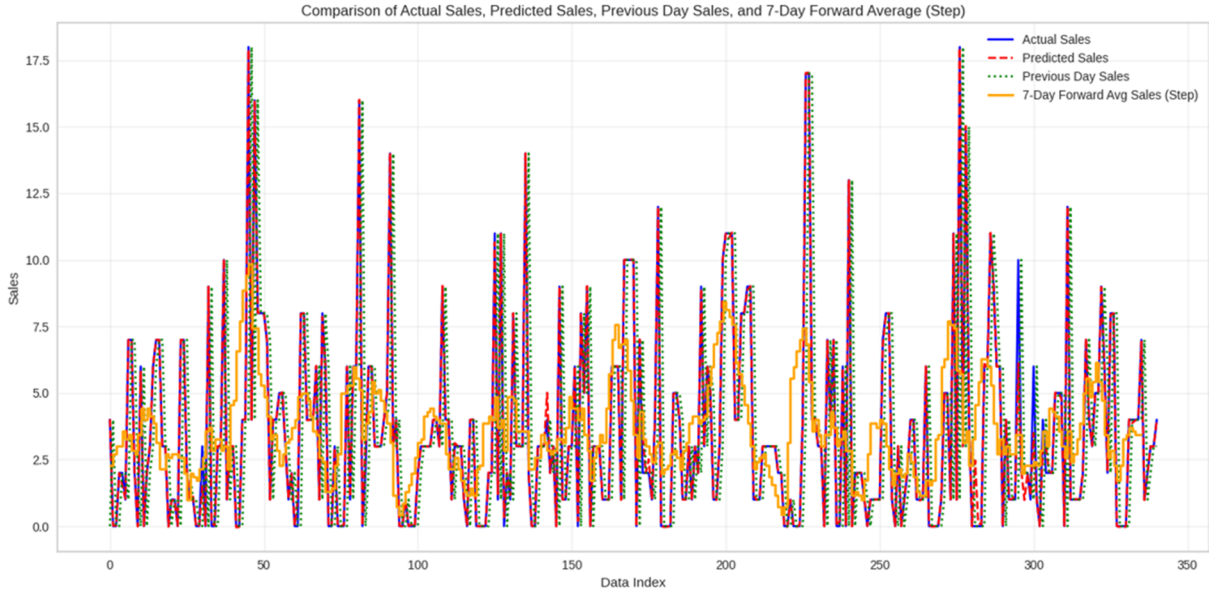
ผลการฝึกการเรียนรู้ข้อมูลของโมเดล

จากการฝึกการเรียนรู้ข้อมูลของโมเดล พบว่าโมเดล Gradient Boosting Regression: GBR มีผลลัพธ์จากการทดสอบการเรียนรู้ข้อมูลดีที่สุด และเปรียบเทียบกับทั้ง 4 โมเดล ดังนี้ Random Forest Regressor: RF K Neighbors Regressor: KNN Decision Tree: DT และ Linear Regression: LR ซึ่งในการพิจารณาประสิทธิภาพของโมเดลจากค่าชี้วัดดังนี้ MAE MSE RMSE R^2 และ MAPE ดังตาราง 1

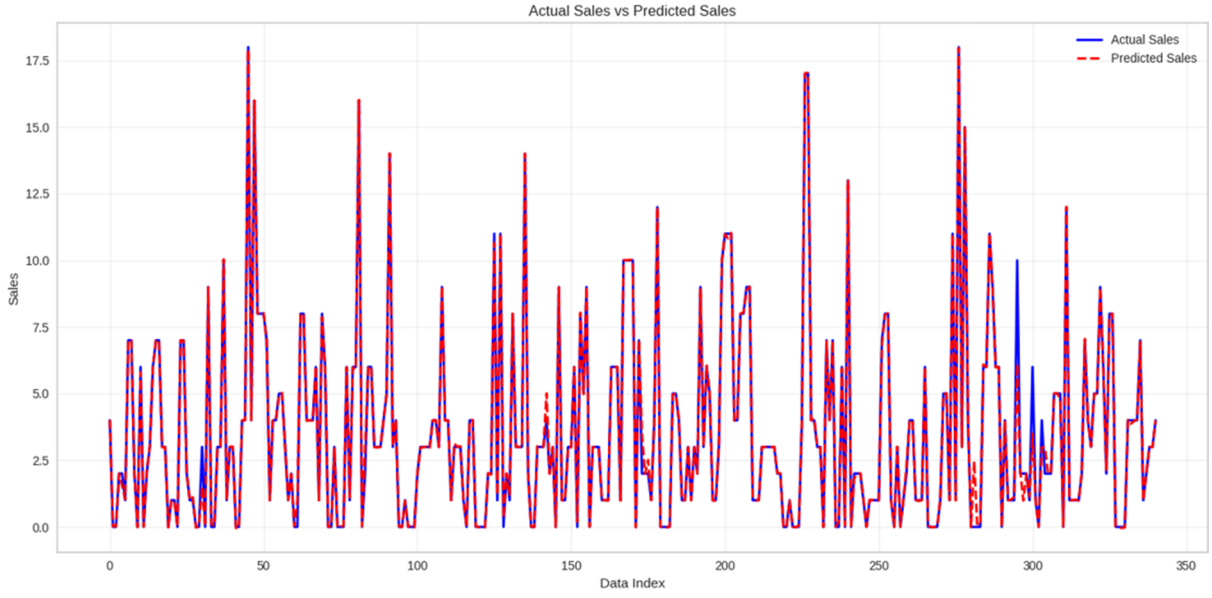
ตาราง 1

การแสดงค่าความแม่นยำของโมเดลทั้ง 5

Model	MAE	MSE	RMSE	R^2	MAPE
GBR	1.4320	3.7344	1.9270	0.7148	0.4953
RF	1.6040	4.4460	2.1013	0.6617	0.5334
KNN	1.9361	6.6138	2.5644	0.4906	0.6181
DT	1.2358	7.1391	2.6529	0.4449	0.4449
LR	2.6413	11.3415	3.3517	0.1445	0.8147



ภาพ 11 การแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริง (สีน้ำเงิน) และค่าจากการพยากรณ์ (สีแดง) จากข้อมูลยอดขายต่อชิ้นกับวันของสินค้ามะพร้าวลูก



ภาพ 12 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริง (สีน้ำเงิน) ค่าจากการพยากรณ์ (สีแดง) ค่ายอดขายจากวันก่อนหน้า (สีเขียว) และค่าเฉลี่ยของยอดขายในสัปดาห์หน้า จากข้อมูลยอดขายต่อชิ้นกับวันของสินค้ามะพร้าวลูก

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์การสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้า จากภาพ 11 แสดงให้เห็นว่าค่าพยากรณ์ใกล้เคียงค่าจริง และพบว่า ค่าMAE ของการพยากรณ์ยอดขาย (predicted sales) มีค่าเป็น 1.43 MAE ของยอดขายก่อนหน้า (previous day sales) มีค่าเป็น 2.94 และ MAE ของค่าเฉลี่ยยอดขายในสัปดาห์หน้า (7-Day Forward Avg Sales) มีค่าเป็น 2.61 ดังภาพ 12 ทำให้ทราบว่า การพยากรณ์ยอดขายด้วยการเรียนรู้ของเครื่องสามารถแสดงค่าความแม่นยำที่น่าเชื่อถือได้จริงโดยค่าที่ได้มีความใกล้เคียงค่ายอดขายจริง และการพยากรณ์ไม่ได้ใช้ข้อมูลจากยอดขายวันก่อนหน้า เพราะกราฟแสดงให้เส้นว่าเส้นสีเขียวใกล้เคียงแต่ไม่ได้อยู่ตรงกัน

การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน

1. ผลการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันในการจัดการสินค้าคงคลังด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง ทำการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ ดังตาราง 2

จากตาราง 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน ซึ่งทดสอบการใช้งานและประเมินประสิทธิภาพจำนวน 30 ครั้ง โดยทดสอบความถูกต้องของสิทธิ์สำหรับเข้าใช้งาน การสแกนบาร์โค้ด การตรวจสอบคลังสินค้า การแจ้งเตือนเพื่อยืนยันคำตอบหรือแจ้งเตือนให้กรอกข้อมูล การเพิ่มและแก้ไขสินค้านำเข้า การเพิ่ม/ ลบ/ แก้ไขรายการสินค้า และการเพิ่ม/ ลบ/ แก้ไขข้อมูลพนักงาน ไม่เกิดข้อผิดพลาดใด ๆ ในทุกหัวข้อการประเมิน สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการทำงานอยู่ที่ 100% สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

2. ผลการประเมินความพึงพอใจ จากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริงจำนวน 30 กลุ่ม ซึ่งเป็นผู้ประกอบการธุรกิจขนาดเล็กในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ฯ และปริมณฑล โดยมีลักษณะธุรกิจเป็นร้านค้าปลีกหรือร้านโชห่วยที่มีการจัดเก็บสินค้าคงคลังและดำเนินการขายหน้าร้านเป็นประจำ กลุ่มตัวอย่างถูกคัดเลือกโดยวิธีการ แบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากต้องการกลุ่มที่มีคุณสมบัติเฉพาะได้แก่ ไม่มีการใช้งานระบบ POS และมีปัญหาในการจัดการสินค้าคงคลัง ดังตาราง 3

ตาราง 2

ผลการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน

รายการทดสอบ	**ผลการทดสอบ**		**ค่าเฉลี่ย**
	ผ่าน	**ไม่ผ่าน**	
1. ความถูกต้องของสิทธิ์การเข้าใช้งาน	30	0	100%
2. การสแกนบาร์โค้ด	30	0	100%
3. การตรวจสอบคลังสินค้า	30	0	100%
4. การแจ้งเตือนเพื่อยืนยัน	30	0	100%
5. การเพิ่มและแก้ไขสินค้านำเข้า	30	0	100%
6. การเพิ่ม ลบ แก้ไขรายการสินค้า	30	0	100%
7. การเพิ่มลบแก้ไขข้อมูลพนักงาน	30	0	100%

ตาราง 3

ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างร้านค้าทั้ง 4 ด้าน

รายการทดสอบ	**ค่าเฉลี่ย**	**SD**	**แปลผล**
1. ด้านการจัดการแก้ไขระบบคลังสินค้า	3.64	.54	มาก
2. ด้านการใช้ระบบขายหน้าร้าน	4.12	.17	มากที่สุด
3. ด้านการสั่งสินค้าจากการพยากรณ์	3.97	.07	มาก
4. ด้านความถูกต้องและความปลอดภัยของข้อมูล	3.80	.20	มาก
5. ด้านการออกแบบการใช้งาน	4.22	.22	มาก
ภาพรวม	**4.68**	**.29**	**มากที่สุด**

จากตาราง 3 ผลการทดสอบความพึงพอใจการใช้งานระบบของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 แห่ง จากการกำหนดให้มีการตอบตามมาตรวัดแบบ Likert Scale (Likert, 1932) พิจารณาโดยแบ่งความเห็นออกเป็นคะแนน 1-5 คือ น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด เมื่อได้ผลลัพธ์จากการสำรวจจึงนำมาคิดค่าเฉลี่ยโดยสามารถแปลความหมายได้ ดังนี้

4.50 - 5.00 หมายถึง มากที่สุด

3.50 - 4.49 หมายถึง มาก

3.50 - 3.49 หมายถึง ปานกลาง

1.50 - 2.49 หมายถึง น้อย

1.00 - 1.49 หมายถึง น้อยที่สุด

สามารถสรุปภาพรวมการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ พบว่า อยู่ในระดับดีมากที่สุด ($\overline{X}$ =4.68 SD=0.29)

การนำไปใช้งานจริง

เมื่อพัฒนาระบบโดยสมบูรณ์ ทั้งระบบโมบายและเว็บแอปพลิเคชัน และการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพตามต้องการ จึงนำไปใช้งานจริงกับร้านค้า

โดยให้พนักงานใช้งานระบบโมบายแอปพลิเคชันเพื่อใช้การสแกนขายจริง และให้เจ้าของร้านลองตรวจสอบยอดขายและจำนวนสินค้าคงคลัง พร้อมกับประเมินความพึงพอใจในการใช้งานทำให้ทราบว่าทั้งเจ้าของร้านและพนักงานมีความเข้าใจในการใช้งานระบบ พนักงานให้ความคิดเห็นว่า ช่วยให้ทราบจำนวนสินค้าที่มีภายในคลังสินค้าทั้งหมดมีระบบจัดการคลังสินค้าง่ายกว่าและถูกต้องมากกว่าการบันทึกด้วยมือ ใช้งานระบบบนโทรศัพท์ขายสินค้าได้อย่างคล่องตัว ทำให้การขายมีความเป็นระบบมากขึ้น ดังภาพ 13

ส่วนเจ้าของร้านก็ให้ความเห็นและพอใจกับการทำงานของระบบ มีความสนใจกับการจัดการบริหารร้านค้าด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ และแสดงผลข้อมูลการขายสินค้าได้ทัน รวดเร็ว สามารถใช้งานและแจ้งเตือนต่าง ๆ ภายในระบบได้อย่างลงตัวภายในแอปพลิเคชันเดียว และการขายหน้าร้านก็สามารถมีความปลอดภัย และสามารถตรวจสอบการขายของพนักงานแต่ละคนได้ และมีระบบการนำเข้าสินค้าจากการแนะนำของระบบ ดังภาพ 14



ภาพ 13 ภาพการใช้ระบบโมบายแอปพลิเคชันของพนักงาน



ภาพ 14 ภาพการใช้งานระบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับเจ้าของร้าน

การอภิปรายผล

ผลการวิจัยและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการสินค้าคงคลังด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องร่วมกับระบบ Point of Sale: POS ในการจัดการสินค้าคงคลังมีผลสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของธุรกิจ ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยและพัฒนารูปแบบการจัดการหน้าร้านและระบบสินค้าคงคลังของร้านโชว์ห่วยบนมือถือ (Aunsorn, 2023) ที่กล่าวว่า ร้านค้าโชว์ห่วยหรือร้านค้าที่ยังไม่มีการใช้งานเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการจัดการบริหารสินค้าคงคลังส่งผลให้เกิดปัญหาในการนำเข้าสินค้า และการสรุปยอดขาย ซึ่งการใช้งานระบบ Point of Sale : POS เพื่อขายหน้าร้านในร้านค้าหรือธุรกิจการค้าและบริการส่วนใหญ่ใช้งานระบบนี้ แต่ตามมาด้วยราคาของระบบที่มีราคาสูงเกินกว่าร้านค้าและบริการขนาดเล็กจะรับมือได้ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ธุรกิจส่วนใหญ่เริ่มมีการปรับแก้รูปแบบการขาย

ผสานกับเทคโนโลยี จึงเป็นทางที่ดีถ้ามีการนำข้อมูลที่ได้จากการขายมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์โดยเฉพาะในด้านการพยากรณ์ยอดขาย และการแนะนำการสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้า สอดคล้องกับการวิจัยศึกษาการพยากรณ์ยอดขายของสินค้าที่มีราคาหลากหลายในธุรกิจค้าปลีกและมีการศึกษาเครื่องมือที่ใช้สำหรับการพยากรณ์แต่ละรูปแบบเพื่อทำให้การสั่งซื้อมีความแม่นยำเพราะเป็นสิ่งสำคัญในการบริหารจัดการธุรกิจให้สามารถลดต้นทุน และเพิ่มกำไรขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ซึ่งจากการพัฒนาผลการทดสอบแสดงค่าความแม่นยำของโมเดล Gradient Boosting Regression มีประสิทธิภาพด้วยค่า MAE=1.4320 MSE=3.7344 RMSE=1.9270 R^2=0.7148 และ MAPE=0.4953 สะท้อนถึงความสามารถในการลดความคลาดเคลื่อนระหว่างยอดขายที่พยากรณ์กับยอดขายจริง นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงการทำงานภายในร้านให้มีระเบียบและสะดวกในการจัดการสินค้าคงคลังบนแอปพลิเคชันกับการพัฒนาระบบการขายหน้าร้าน เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ ประหยัดเวลาในการฝึกอบรมพนักงานให้ใช้ระบบได้เร็วขึ้น จากผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของระบบที่สามารถปรับใช้ตามลักษณะธุรกิจได้ เหมาะกับธุรกิจที่ต้องการขยายกิจการหรือเพิ่มสินค้าหลายประเภทในอนาคต ซึ่งหากธุรกิจที่มีปัญหาการจัดการสินค้าคงคลังสามารถนำระบบนี้ไปใช้เพื่อการพยากรณ์ยอดขาย และบริหารจัดการสินค้าคงคลังได้ดียิ่งขึ้น โดยสามารถเพิ่มฟังก์ชันการจัดการสินค้าหรือการปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อให้ตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของตลาดและเทคโนโลยีที่รวดเร็วในอนาคตได้

References

Aunsorn, S. (2023). Development of purchase and inventory management system on smart phones for a small grocery store. *In Proceedings of the 19th National Conference on Computing and Information Technology* (pp. 391-396). Bangkok: NCCIT (in Thai)

Auppakorn, C. (2021). *Daily sales forecasting with variable-priced items in retail business using machine learning methods* (Unpublished master's thesis). Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)

Agada, A. V. (2024). Predicting the pharmaceutical needs of hospitals. *International Journal of Public Health, Pharmacy and Pharmacology, 9*(1), 1–13. https://doi.org/10.37745/ijphpp.15/vol9n 1113

Boonruengpanich, K. (2022). *Increasing the efficiency of warehouse management with barcode technology: Case study of DAPP Uniform Co., Ltd.* (Master's thesis). Dhurakij Pundit University. Bangkok. (in Thai)

Bunruang, N., & Sae-bae, N. (2024). Predicting accommodation prices on Airbnb using entity embedding. *In Proceedings of the 4th Data Science Conference* (pp. 255-267). Bangkok: SWU (in Thai)

Coors, S. (2018). *Automatic gradient boosting* (Master's thesis). Ludwig MaximiliansUniversity. Munich.

Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics, 29*(5), 1189–1232. https://doi.org/10.1214/aos/1013203451

Chelliah, B. J., Latchoumi, T. P., & Senthilselvi, A. (2022). Analysis of demand forecasting of agriculture using machine learning algorithm. *Environment, Development and Sustainability, 25*, 8966–8983. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02783-9

Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., & Cournapeau, D. (2020). Array programming with NumPy. *Nature, 585*(7825), 357–362. https://doi.org/10.1038/s41586- 020-2649-2

Inkeaw, P. (2023). *Introduction to data science*. Chiang Mai University Press. (in Thai)

James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2021). *An introduction to statistical learning*. Springer.

Kittinaradorn, C. (n.d.). *Machine learning and full stack Python*. Retrieved from https://guopai.github.io/index.html

Kritkanjanaphant, S. (2022). *Sale forecasting of the raw materials: A case study of Kodang Rangsit* (Master's thesis). Dhurakij Pundit University. Bangkok. (in Thai).

Ma, Z., Reich, D. S., Dembling, S., Duyn, J. H., & Koretsky, A. P. (2022). Outlier detection in multimodal MRI identifies rare individual phenotypes among more than 15,000 brains. *Human brain mapping, 43*(5), 1766–1782. https://doi.org/10.1002/hbm.25756

Pakdeesirote, C. (2021). *Machine learning-based demand forecasting in retail* (Master's thesis). Dhurakij Pundit University, Bangkok, Thailand. (in Thai).

Panich, W. (2022). Application of data mining processes with machine learning techniques to prevent government procurement fraud. *NACC Journal, 15*(1), 68-90. Retrieved from https://www.nacc.go.th/uploads/files114740928/tex4.pdf (in Thai)

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling* (3rd ed.). John Wiley.

Singsanong, C. (2015). Management forecasting in business data when outliers existing. *Suthipari that, 29*(91), 1-13. (in Thai)

Sirivilai, N., Saensuk, N., Wongprasert, P., & Monta, P. (2023). *Application of the AppSheet program to support an inventory control system. Rajamangala University of Technology Thanyaburi*. Retrieved from https://anyflip.com/vnwdg/vsvz/basic

Srinoi, T., Bannakulpiphat, T., & Santitamnont, P. (2024). Building height estimation production from open satellite imagery by gradient boosting regression technique. Engineering Journal of Research and Development, 35(2), 85-97. Retrieved from https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eit-researchjournal/article/view/253794/170767 (in Thai)

Siriwilai, N., Saensuk, N., Wongprasert, P., & Monta, P. (2023). *Application of the AppSheet program to support an inventory control system. Rajamangala University of Technology Than yaburi*. Retrieved from https://anyflip.com/vnwdg/vsvz/basic

Tukey, J. W. (2021). *Demand forecasting and inventory management: Case study of air purifier factory* (Master's thesis). Burapha University, Chonburi, Thailand. (in Thai)

Zambudio Martínez, M., Silveira, L. H. M. d., Marin-Perez, R., & Gomez, A. F. S. (2025). Development and comparison of artificial neural networks and gradient boosting regressors for predicting topsoil moisture using forecast data. *AI, 6*(2), 41. https://doi.org /10.3390/ai6020041

การพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมต้นทุนต่ำโดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN กรณีศึกษาหมู่บ้านธารปราสาท

Development of a Low-Cost Flood Warning System using IoT Technology and LoRaWAN Network: A Case Study of Ban Tharn Prasat Village

ณัฐวัฒน์ พิณรัตน์[1] กรวุฒิ โชติพนัส[1] ศุภศักดิ์ เอี่ยมสะอาด[1] ธนศักดิ์ พิทยากร[1] และพรศิริ จงกล[1]

Nattawat Pinrath[1], Kronwut Chotipanus[1], Supasak Eiamsaard[1], Thanasak Phittayakorn[1] and Pornsiri Jongkol[1]

[1]สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[1]Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

Received: April 2, 2025

Revised: May 12, 2025

Accepted: May 19, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRa WAN เพื่อใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ประสบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก ระบบที่พัฒนาประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิก จำนวน 3 ตัวและเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย LoRaWAN ไปยังเกตเวย์ Raspberry Pi เพื่อบันทึกลงฐานข้อมูลบนคลาวด์ (Google Sheets) และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์บน Looker Studio ระบบใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่ ทำให้สามารถทำงานต่อเนื่องได้แม้ไฟฟ้าดับ และมีการแจ้งเตือนผ่าน LINE Application โดยอัตโนมัติ เมื่อระดับน้ำเกินเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อเตือนโรงเรียนและชุมชนให้เตรียมรับมือภัยน้ำท่วมล่วงหน้า โดยจัดทำเป็นชิ้นงาน ต้นแบบ (Prototype) เผื่อเก็บผลการทดลองเป็นจำนวนระยะเวลาแบบสุ่ม 20 วัน ที่แสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณฝนได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำโดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7% มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการเก็บข้อมูลเป็นจำนวน 20 วัน ได้อยู่ที่ 39.71 ข้อมูลถูกส่งแบบเรียลไทม์และการแจ้งเตือนภัยทำได้อย่างทันท่วงที ส่งผลให้โรงเรียนและชุมชนได้รับข้อมูลเพื่อป้องกันความเสียหายจากน้ำท่วมได้รวดเร็วขึ้น ระบบที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานต่ำ และมีความน่าเชื่อถือในการสื่อสารระยะไกล อีกทั้งดูแลรักษาง่ายและรองรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่โครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารจำกัดได้เป็นอย่างดี ช่วยลดผลกระทบจากน้ำท่วมและเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและการรับมือภัยพิบัติในพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ระบบแจ้งเตือนน้ำท่วม ระบบแจ้งเตือน

Abstract

This research aims to develop a real-time flood early warning system using IoT technology and a LoRaWAN network for deployment in rural areas frequently affected by recurrent floods. The developed prototype system consists of three ultrasonic water level sensors and a rain gauge sensor, connected to a microcontroller that transmits data via the LoRaWAN network to a Raspberry Pi gateway. The gateway records the data onto a cloud database (Google Sheets) and displays the results on a real-time dashboard via Looker Studio. The system is powered by a solar panel coupled with a battery, enabling continuous operation even during power outages. It automatically sends alerts through the LINE Application when the water level exceeds a predefined threshold, warning schools and communities to prepare for the flood hazard in advance. Experimental results, gathered over a random 20-day period, demonstrate that the system can continuously and accurately measure water levels and rainfall amounts, achieving an average error of 7%. The standard deviation of the data collected over the 20 days was 39.71. Data was transmitted in real-time, and the flood alerts were delivered promptly, resulting in schools and communities receiving information faster to mitigate flood damage. The developed system is low-cost, low-power consumption, and offers reliable long-range communication. Furthermore, it is easy to maintain and excellently supports deployment in remote areas with limited communication infrastructure. It significantly helps reduce the impact of floods and enhances the efficiency of water resource management and disaster response in the study area.

Keywords: Internet of Things, Flood Early Warning System, warning system

บทนำ

จากปัญหาน้ำท่วมที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในหลายพื้นที่ทั่วโลก รวมถึงในประเทศไทย การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนภัยพิบัติจึงมีความสำคัญมากขึ้น แนวทางการแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมด้วยเทคโนโลยี IoT และ LoRaWAN พบว่า ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและ Internet of Things: IoT มาใช้ในการติดตามสถานการณ์น้ำท่วมและแจ้งเตือนภัยล่วงหน้าอย่างแพร่หลาย ทั้งในระดับสากลและในประเทศไทย เช่น งานวิจัยของ Onboonuea and Tinapron (2023) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดฝุ่น PM10 และ PM2.5 โดยใช้เทคโนโลยี IoT ในการตรวจวัดและแจ้งเตือน เซนเซอร์ที่ศึกษา ได้แก่ PM3003 PM5003 PM7003 และ GP2Y1010AU0F พบว่า PMS5003 และ PMS7003 มีความแม่นยำและการป้องกันสัญญาณรบกวนที่ดีกว่า ขณะที่ GP2Y1010AU0F มีราคาถูกและเหมาะสำหรับการใช้งานพื้นฐาน การเลือกเซนเซอร์ขึ้นอยู่กับงบประมาณและสภาพแวดล้อมของการใช้งาน แม้การศึกษานี้จะเน้นที่การตรวจวัดฝุ่นละออง แต่ก็สะท้อนถึงศักยภาพของ IoT ในการเฝ้าระวังภัยพิบัติด้านสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดอุทกภัยรุนแรงบ่อยครั้งขึ้น จึงเพิ่มความจำเป็นของระบบตรวจวัดและเตือนภัยแบบเรียลไทม์ ระบบ IoT เพื่อการเฝ้าระวังน้ำท่วมมักประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดระดับน้ำ ปริมาณน้ำฝน ติดตั้งในจุดเสี่ยง แล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังศูนย์กลางเพื่อประมวลผลและแจ้งเตือนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประชาชนในพื้นที่ เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในฐานะโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบ IoT ที่เหมาะสมกับงานเตือนภัยน้ำท่วม เนื่องจากสามารถส่งข้อมูลได้ระยะไกลครอบคลุมพื้นที่กว้าง และใช้พลังงานต่ำ ทำให้อุปกรณ์เซ็นเซอร์สามารถทำงานต่อเนื่องได้นานโดยไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อยครั้ง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถส่งข้อมูลครอบคลุมระยะไกลหลายกิโลเมตรโดยใช้พลังงานต่ำมาก ทำให้ LoRaWAN เหมาะอย่างยิ่งสำหรับ

ติดตั้งในพื้นที่ห่างไกล เช่น พื้นที่ชนบทที่ขาดโครงข่ายโทรคมนาคมพื้นฐาน

Sandhya et al. (2023) ได้นำเสนอระบบเตือนภัยน้ำท่วมที่ผสานการทำงานระหว่างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ LoRaWAN โดยใช้โมดูล GSM ส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ขึ้นคลาวด์และส่งข้อความ SMS เตือนภัยไปยังหน่วยงานและชาวบ้าน ขณะเดียวกันก็ติดตั้งไซเรนพร้อมโมดูล LoRaWAN ไว้ตามหมู่บ้านที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมเพื่อให้สามารถกระจายสัญญาณเตือนเป็นวงกว้างในพื้นที่ที่อาจไม่มีสัญญาณโทรศัพท์หรือไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องในยามเกิดภัยพิบัติ แนวทางนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ชนบทของประเทศไทยเช่นกัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีปัญหาสัญญาณโทรศัพท์และไฟฟ้าไม่เสถียร การผสานเทคโนโลยีดังกล่าวช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นว่าการแจ้งเตือนจะเข้าถึงชุมชนได้อย่างทันท่วงทีแม้โครงสร้างพื้นฐานบางส่วนล้มเหลว และยังเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรเทคโนโลยีที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

นอกจากนี้ ในบริบทของประเทศไทยเองก็มีการวิจัยและพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมโดยใช้ IoT และ LoRa WAN เช่นกัน ตัวอย่างเช่น โครงการขอนแก่นสมาร์ทซิตี้ ได้มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ LoRaWAN ภายในท่อระบายน้ำในเขตเมืองเพื่อติดตามพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมซ้ำซาก และเมื่อระดับน้ำสูงขึ้น เซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลแจ้งเตือนไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อเตรียมการป้องกันล่วงหน้า กรณีศึกษานี้สะท้อนว่า แม้ในเขตเมืองก็สามารถใช้เทคโนโลยี LoRa ในการบริหารจัดการปัญหาน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถต่อยอดสู่พื้นที่ชนบทได้หากปรับให้เหมาะสมกับบริบทท้องถิ่น

กรณีศึกษาในครั้งนี้เลือกพื้นที่โรงเรียนบ้านธารปราสาทเป็นพื้นที่นำร่อง เนื่องจากลักษณะพื้นที่ตรงกับข้อจำกัดของระบบเตือนภัยเดิมที่ใช้ในพื้นที่เมือง โรงเรียนบ้านธารปราสาทตั้งอยู่ในตำบลธารปราสาท อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบทที่มีคลองธารปราสาทไหลผ่านทางด้านหลังของโรงเรียน ในช่วงฤดูฝน คลองธารปราสาทมักมีระดับน้ำสูงขึ้นจากการระบายน้ำจากพื้นที่ต้นน้ำและปริมาณฝนที่ตกหนักในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม ซึ่งส่งผลให้เกิดน้ำท่วมซ้ำซากเป็นประจำทุกปี สถิติย้อนหลังระบุว่าในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา โรงเรียนได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมไม่ต่ำกว่า 3 ครั้งต่อปี โดยเฉพาะในปี 2564 และ 2565 ซึ่งระดับน้ำที่ท่วมขังสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 50-80 เซนติเมตร ส่งผลให้ห้องเรียนและอุปกรณ์การเรียนได้รับความเสียหายเป็นวงกว้าง

ปัญหาน้ำท่วมดังกล่าวส่งผลกระทบต่อโรงเรียนในหลายด้าน ทั้งการหยุดเรียนของนักเรียน ความเสียหายต่ออุปกรณ์และทรัพย์สินของโรงเรียน รวมถึงปัญหาด้านความปลอดภัยของนักเรียนและบุคลากร นอกจากนี้ น้ำท่วมยังส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ทำให้เส้นทางคมนาคมถูกตัดขาด และประชาชนต้องอพยพไปยังพื้นที่ปลอดภัย เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าว การมีระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดการรับมือกับสถานการณ์ได้อย่างทันท่วงที และช่วยแจ้งเตือนประชาชนในหมู่บ้านให้สามารถเตรียมความพร้อมและลดผลกระทบจากน้ำท่วมได้ เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียนบ้านธารปราสาทอยู่ในพื้นที่ห่างไกล การเข้าถึงสัญญาณอินเทอร์เน็ต Wi-Fi และเครือข่ายโทรศัพท์มือถือเป็นไปได้ยาก อีกทั้งในช่วงน้ำท่วม ระบบไฟฟ้าอาจถูกตัดขาดชั่วคราว ซึ่งอาจทำให้ระบบแจ้งเตือนที่ต้องพึ่งพาเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบดั้งเดิมหรือไฟฟ้าภายนอกไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้ โรงเรียนยังมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ทำให้ระบบที่ติดตั้งต้องมีต้นทุนต่ำและสามารถดูแลรักษาได้ง่าย

ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่พัฒนาขึ้นจึงต้องมีคุณสมบัติที่สามารถทำงานได้อย่างอิสระ สามารถส่งข้อมูลระยะไกลโดยไม่ต้องพึ่งพาสัญญาณอินเทอร์เน็ต Wi-Fi มีแหล่งพลังงานภายในตัว และสามารถแจ้งเตือนภัยให้กับโรงเรียนและชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถช่วยลดผลกระทบจากน้ำท่วมที่เกิดขึ้นเป็นประจำในโรงเรียนบ้านธารปราสาทและชุมชนโดยรอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติและมีต้นทุนต่ำ สามารถดูแลรักษาได้ง่าย และสามารถแจ้งเตือนภัยได้อย่างทันท่วงทีผ่านช่องทางที่เข้าถึงได้ง่าย เช่น LINE Application ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและการรับมือกับภัยพิบัติในอนาคต ระบบนี้จึงไม่เพียงแต่เหมาะกับโรงเรียนบ้านธารปราสาทเท่านั้น แต่ยังเป็นแนวทางต้นแบบที่สามารถขยายผลไปยังพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมอื่น ๆ ที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานเช่นเดียวกัน

ระบบ IoT ยังต้องเผชิญกับความท้าทายด้านความมั่นคงปลอดภัย อุปกรณ์หลายชนิดมีช่องโหว่ที่อาจถูกโจมตี เช่น การปลอมเครื่องแม่ข่าย การดักจับข้อมูล และการใช้รหัสผ่านที่ไม่ปลอดภัย OWASP ระบุ 10 ช่องโหว่หลัก เช่น การยืนยันตัวตนที่อ่อนแอและการอัปเดต

ซอฟต์แวร์ที่ไม่มีการป้องกัน ตัวอย่างเช่น มัลแวร์ Mirai ที่ใช้ช่องโหว่นี้ในการโจมตี DDoS แนวทางป้องกันคือการเข้ารหัสข้อมูลและการตั้งค่าความปลอดภัยตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ (Boonmee, 2018)

การประมวลผลบนคลาวด์ (Cloud Computing) ในฐานะโครงสร้างพื้นฐานสำหรับ Internet of Things: IoT โดยเน้นบทบาทของคลาวด์ในการเพิ่มศักยภาพของอุปกรณ์อัจฉริยะให้สามารถประมวลผลและแลกเปลี่ยนข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ คลาวด์ช่วยให้ IoT สามารถเข้าถึงทรัพยากรคอมพิวเตอร์ ประมวลผลข้อมูลแบบกระจาย และรองรับปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ โมเดลบริการคลาวด์ประกอบด้วย IaaS PaaS และ SaaS ซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถใช้ทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์โดยไม่ต้องลงทุนโครงสร้างพื้นฐานเอง นอกจากนี้ ยังกล่าวถึง XaaS (Everything as a Service) ซึ่งเป็นแนวโน้มสำคัญในอนาคตที่อุปกรณ์ IoT จะไม่เพียงเป็นผู้ใช้บริการคลาวด์ แต่ยังเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างการประมวลผลอีกด้วย (Thumkanon, Asavasaksakul, Pokudom & Pokudom, 2017)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN สำหรับพื้นที่ชนบทที่ประสบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก

2. เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝนที่สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย LoRaWAN

3. เพื่อพัฒนาและติดตั้งระบบบันทึกและแสดงผลข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนแบบเรียลไทม์บน Looker Studio โดยใช้ฐานข้อมูลบนคลาวด์ (Google Sheets)

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยี LoRa และการประยุกต์ใช้ในระบบ IoT

LoRa ย่อมาจาก Long Range เป็นรูปแบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้เทคนิคที่เรียกว่า CSS: Chirp Spread Spectrum Modulation ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Semtech Corporation (Pires et. al, 2024) ข้อดีของเทคโนโลยีนี้คือสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกล 5-20 กิโลเมตร ในพื้นที่ชนบทและใช้พลังงานต่ำ ทำให้เหมาะสมกับการติดตั้งในพื้นที่ห่างไกล LoRa มีขนาดแบนด์วิดท์ (Bandwidth) 125/250 kHz และสามารถส่งข้อมูลได้สูงสุด 50 kbit/s โดยมีขนาดข้อความสูงสุด 243 ไบต์ ต่อการส่งหนึ่งครั้ง

การเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ LPWAN อื่น ๆ เช่น Sigfox และ NB-IoT แสดงให้เห็นว่า LoRa มีข้อได้เปรียบในแง่ของความสามารถในการรองรับการสร้างเครือข่ายส่วนตัว การป้องกันการรบกวนสัญญาณที่สูง และระยะทางในการส่งข้อมูลที่ไกลกว่า NB-IoT ในพื้นที่ชนบท นอกจากนี้ ยังมีการเข้ารหัสความปลอดภัยแบบ AES 128 บิต ซึ่งดีกว่า Sigfox ที่ไม่มีการเข้ารหัส SENDRA (Sandra et al., 2023)

LoRaWAN เป็นโปรโตคอลเครือข่ายที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของ LoRa โดยกำหนดวิธีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่าย LoRa เปรียบเสมือนชั้นฮาร์ดแวร์ ในขณะที่ LoRaWAN เป็นชั้นซอฟต์แวร์ที่กำหนดวิธีการใช้งานฮาร์ดแวร์ ระบบเครือข่าย LoRaWAN ประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน 4 ส่วนหลัก ได้แก่ อุปกรณ์ปลายทาง อุปกรณ์ เกทเวย์ เน็ตเวิร์คเซิฟเวอร์ และแอปพลิเคชันเซิฟเวอร์ (Padmavathi et al, 2024) ประเทศไทยใช้ ย่านความถี่ 920-925 MHz สำหรับเครือข่าย LoRaWAN ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่กำหนดโดยสำนักงาน กสทช. เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและไม่มีการรบกวนกับเครือข่ายสื่อสารอื่น ๆ อุปกรณ์ LoRa และ LoRaWAN ที่นำมาใช้ในประเทศไทยจึงต้องรองรับความถี่นี้เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

แนวคิดการใช้ระบบ IoT ในการแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม

Perera et al. (2020) นำเสนอระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัจฉริยะที่ใช้ ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลักร่วมกับเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิกที่มีความแม่นยำสูง และโมดูล GSM สำหรับส่ง SMS แจ้งเตือนโดยตรงถึงผู้ใช้งาน ระบบนี้ยังใช้ API สภาพอากาศเพื่อรับข้อมูลปริมาณน้ำฝนล่วงหน้า ช่วยให้สามารถคาดการณ์สถานการณ์น้ำท่วมได้แม่นยำยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีการแสดงข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ทำให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานการณ์ได้ตลอดเวลา ระบบนี้มีข้อดีคือความแม่นยำสูง การแจ้งเตือนแบบทันที และการประยุกต์ใช้ข้อมูลพยากรณ์ล่วงหน้าได้ดี อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของระบบนี้ คือ ความจำเป็นในการพึ่งพาเครือข่าย GSM ซึ่งอาจมีต้นทุนรายเดือน และไม่ครอบคลุมบางพื้นที่ห่างไกล Rani et al. (2020) พัฒนาระบบตรวจสอบและเตือนภัยน้ำท่วมที่เน้นความประหยัด

ต้นทุน โดยใช้เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบ float switch ที่มีราคาถูกแต่ทนทาน ร่วมกับ Arduino Uno และโมดูล Wi-Fi เพื่อส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ ระบบนี้มีจุดเด่นที่แอปพลิเคชันมือถือที่ใช้งานง่าย ช่วยให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงข้อมูลและการแจ้งเตือนได้สะดวก จุดแข็งของงานวิจัยนี้ คือ เหมาะกับชุมชนขนาดเล็กที่มีงบประมาณจำกัด เน้นใช้งานง่าย และติดตั้งรวดเร็ว แต่จุดอ่อนของระบบคือความแม่นยำของเซ็นเซอร์ float switch ต่ำกว่าประเภทอื่น และ Wi-Fi มีข้อจำกัดเรื่องระยะทางและความเสถียรของสัญญาณ Arridha et al. (2020) นำเสนอระบบที่ใช้โมเดล machine learning วิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายชนิด เช่น เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ ความเร็วกระแสน้ำ และปริมาณน้ำฝน เพื่อคาดการณ์น้ำท่วมล่วงหน้า ระบบนี้ใช้เทคนิค Random Forest ซึ่งให้ความแม่นยำสูงในการทำนายสถานการณ์น้ำท่วม และสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีข้อมูลใหม่เพิ่มเติม จุดเด่นของระบบนี้ คือ การวิเคราะห์เชิงลึกที่แม่นยำและสามารถเรียนรู้จากข้อมูลในระยะยาวได้ แต่ข้อเสียคือต้องการเซิร์ฟเวอร์ที่มีความสามารถประมวลผลสูงและข้อมูลจำนวนมากเพื่อฝึกโมเดล Kaur et al. (2021) ทำการเปรียบเทียบระบบเตือนภัยน้ำท่วม IoT ต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของแต่ละระบบ และระบุความท้าทายสำคัญด้านการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลที่ต้องพึ่งพาพลังงานแบตเตอรี่หรือพลังงานแสงอาทิตย์ บทความนี้ยังเสนอแนวทางการแก้ปัญหา เช่น การใช้เทคโนโลยี Low Power Wide Area Network: LPWAN และการออกแบบวงจรประหยัดพลังงาน จุดเด่นของบทความนี้ คือ การให้ภาพรวมแนวโน้มระบบ IoT อย่างรอบด้าน โดยเฉพาะปัญหาและแนวทางด้านพลังงาน แต่ข้อจำกัดคือไม่ได้ลงรายละเอียดระบบต้นแบบที่สามารถใช้งานได้จริง Adu-Manu et al. (2017) ทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับระบบเตือนภัยน้ำท่วม IoT โดยครอบคลุมทั้งด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย บทความนี้ชี้ให้เห็นช่องว่างในการวิจัยที่สำคัญ โดยเฉพาะด้านการประหยัดพลังงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคต เช่น การพัฒนาโปรโตคอลการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จุดแข็งคือการวิเคราะห์เชิงลึกครอบคลุมทุกองค์ประกอบของระบบ IoT แต่ข้อจำกัดคือไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพเชิงปฏิบัติได้จริง เนื่องจากไม่ได้ทดสอบในภาคสนาม PreventionWeb (2024) นำเสนอแนวคิดใหม่ในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) วิเคราะห์ภาพจากกล้องวงจรปิดเพื่อตรวจวัดระดับน้ำแบบเรียลไทม์ ระบบนี้ใช้เทคนิค Deep Learning ในการประมวลผลภาพและระบุระดับน้ำจากภาพถ่าย ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในการแจ้งเตือน โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งเซ็นเซอร์เพิ่มเติม นอกจากนี้ยังสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางทางน้ำและประเมินความเสียหายจากน้ำท่วมได้อีกด้วย จุดเด่นของระบบนี้ คือ การใช้เทคโนโลยีขั้นสูงที่สามารถลดความซับซ้อนของฮาร์ดแวร์ในภาคสนาม ข้อเสีย คือ ระบบต้องใช้กล้องความละเอียดสูงและหน่วยประมวลผลภาพที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจไม่เหมาะกับพื้นที่ชนบทหรือขาดงบประมาณ

กรอบแนวคิดการวิจัย

ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำโดยใช้ เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก เพื่อตรวจสอบระดับน้ำในคลองธารปราสาทแบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่วัดได้จะถูกประมวลผลและส่งผ่านเครือข่าย LoRaWAN ซึ่งสามารถส่งข้อมูลระยะไกลได้โดยใช้พลังงานต่ำ และสามารถทำงานได้ในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต Wi-Fi ระบบจะใช้ Raspberry Pi เป็น LoRaWAN Gateway ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และส่งต่อไปยัง Google Sheets ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลใน Looker Studio ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามระดับน้ำและแนวโน้มของน้ำท่วมได้อย่างชัดเจน ระบบนี้ยังมีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่รองรับการแจ้งเตือนผ่าน LINE Application โดยหากระดับน้ำในคลองสูงเกินค่าที่กำหนด ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังโรงเรียนและชุมชน เพื่อให้สามารถดำเนินมาตรการป้องกันและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ การแจ้งเตือนจะถูกออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพร้อมกับชุมชนบ้านธารปราสาท

สมมติฐานการวิจัย

ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบบเรียลไทม์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางวิชาการอยู่ที่ 5-10%

การใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN สามารถส่งข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนแบบเรียลไทม์

ได้ซึ่งสามารถแจ้งเตือนได้ภายในไม่เกิน 5 นาที ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนต่ำและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในพื้นที่ชนบทที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสาร

วิธีดำเนินการวิจัย

ออกแบบระบบอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ (End-Device/Node)

อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำในระบบเครือข่าย LoRaWAN (แสดงดังภาพ 1) ทำหน้าที่เป็น End-Device หรือ Node โดยประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) จำนวน 3 ตัว และเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลางของระบบ และใช้โมดูลสื่อสาร LoRa (RFM95W) สำหรับส่งข้อมูลไปยังศูนย์ประมวลผล อุปกรณ์ได้รับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ผ่านแบตเตอรี่ขนาด 12V 40Ah เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ระบบตรวจวัดระดับน้ำถูกออกแบบให้ใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกจำนวน 3 ตัว ซึ่งถูกติดตั้งตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ (แสดงในภาพ 2) เพื่อวัดระดับน้ำที่มีความแม่นยำมากขึ้น หลักการทำงานของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก คือ การปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูง (40 kHz) และวัดเวลาที่เสียงสะท้อนกลับมาหลังจากกระทบพื้นผิวน้ำ โดยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกทั้งสามตัวเชื่อมต่อโดยตรงกับ ESP32 ซึ่งประมวลผลข้อมูลที่ได้รับและคำนวณระยะห่างระหว่างตำแหน่งของน้ำและเซ็นเซอร์โดยใช้สมการที่ (1) หลังจากนั้น ระยะห่างดังกล่าวถูกนำไปใช้คำนวณระดับน้ำ โดยพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ และค่าความสูงของระดับน้ำจะแสดงในภาพ 2

สำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการวัดระดับน้ำ ระบบใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกจำนวน 3 ตัว โดยมีข้อดี คือ สามารถลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลผ่านการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าระดับน้ำที่วัดได้จากแต่ละเซ็นเซอร์ ส่งผลให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำสูงขึ้น นอกจากนี้ระบบยังสามารถลดผลกระทบจากการสะท้อนผิดพลาดของคลื่นเสียง (false echo) ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางหรือความไม่สม่ำเสมอของผิวน้ำ อีกทั้งยังรองรับสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยสามารถลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น ลม คลื่นน้ำ หรือสิ่งกีดขวางที่อาจส่งผลต่อค่าการวัด

ระบบคำนวณระดับน้ำจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวอย่างอิสระ โดยใช้การแก้ไขเชิงตรีโกณมิติเพื่อนำค่าระยะทางที่วัดได้มาคำนวณเป็นระดับความสูงของน้ำ (Li) ผ่านสมการที่ (2) สมการนี้พิจารณาความแตกต่างของมุมติดตั้งเซ็นเซอร์และระยะทางการวัดเพื่อปรับปรุงค่าระดับน้ำให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น วิธีนี้ช่วยให้สามารถใช้เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในมุมที่ต่างกันเพื่อสร้างแบบจำลองระดับน้ำที่แม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น ระบบที่นำเสนอสามารถเพิ่มความแม่นยำ ลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอก และปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลผ่านการแก้ไขเชิงตรีโกณมิติ ทำให้ได้ค่าระดับน้ำที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงมากยิ่งขึ้น

$$d = \frac{v}{2t} \quad (1)$$

โดยที่

d คือ ระยะทาง (เมตร)

v คือ ความเร็วของเสียงในอากาศ (343 เมตร/วินาที)

t คือ เวลา (วินาที)

ระดับน้ำจริงถูกกำหนดโดย:

$$L_i = H_i - d_i \times cos(\theta_i) \quad (2)$$

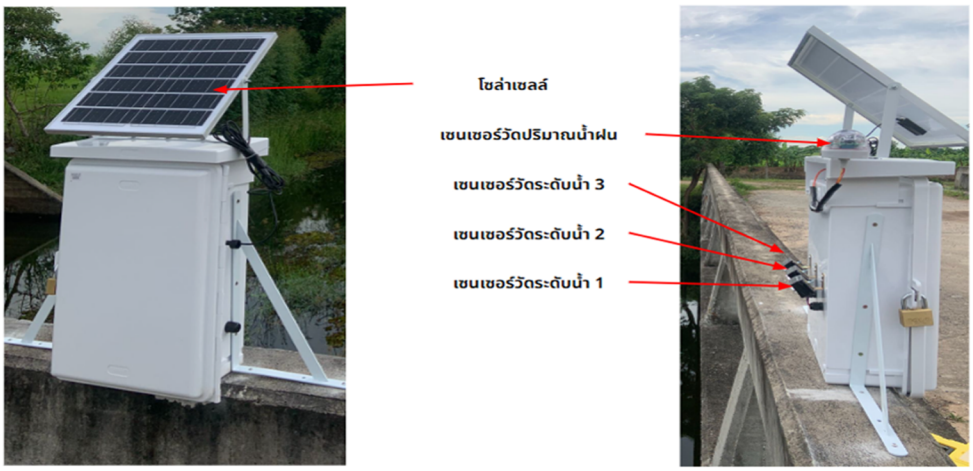
โดยที่

L_i คือ ระดับน้ำที่คำนวณได้จากเซนเซอร์ i (เมตร)

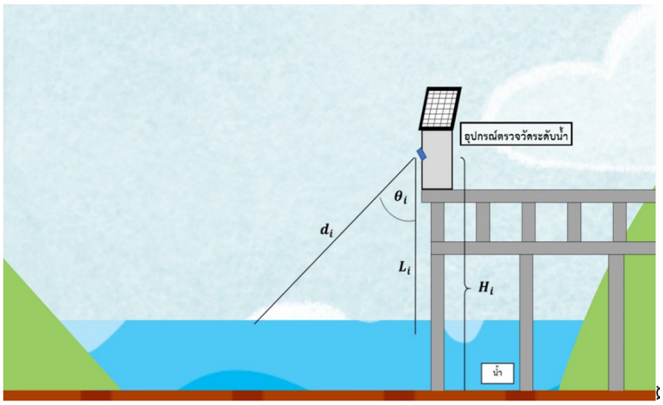
H_i คือ ความสูงของเซนเซอร์ i (เมตร)

d_i คือ ระยะทางที่วัดได้ของ Sensor i (เมตร)

θ_i คือ มุมของเซนเซอร์เทียบกับแกนแนวดิ่ง



ภาพ 1 แสดงการออกแบบของอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ (end-device/node)



ภาพ 2 แสดงการคำนวนระดับน้ำ

ออกแบบระบบการแจ้งเตือนระดับน้ำท่วม

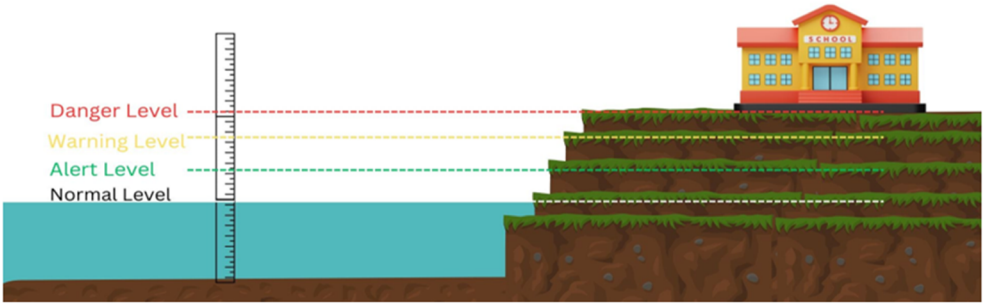
การออกแบบระบบการแจ้งเตือนน้ำท่วม โดยการใช้การแจ้งเตือนผ่าน Line Application โดยใช้ค่าความสูงของระดับน้ำอ้างอิงจากสถานที่จริง โดยที่แบ่งระดับน้ำออกเป็น 4 ระดับ อ้างอิงจากความสูงของเซ็นเซอร์ ดังภาพ 3 โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ โดยอ้างอิงจากสำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 4 ได้กำหนดเกณฑ์ระดับน้ำออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ภาวะปกติ เฝ้าระวัง เตือนภัย และภาวะวิกฤติ ซึ่งสอดคล้องกับระดับมาตรฐานสากลที่แบ่งเป็น Normal Level Alert Level Warning Level และ Danger Level

ระดับปกติ ระดับน้ำอยู่ในสภาวะปกติ ไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม กำหนดให้เป็นระดับน้ำที่ต่ำกว่าระดับตลิ่ง โดยอาจกำหนดเป็นค่าห่างจากตลิ่ง 15 เมตร และใช้สีขาวหรือสีฟ้าเพื่อแสดงระดับนี้บนแดชบอร์ด

ระดับเฝ้าระวัง ระดับน้ำเริ่มสูงขึ้นและควรเฝ้าระวัง แต่ยังไม่ถึงขั้นเตือนภัย กำหนดให้เป็นระดับที่สูงกว่าระดับปกติแต่ยังต่ำกว่าระดับตลิ่ง โดยมักกำหนดที่ประมาณ 60-70% ของระดับตลิ่งในที่นี้ คือ 10 เมตร ใช้สีเขียวเพื่อแสดงระดับนี้บนแดชบอร์ด

ระดับเตือนภัย ระดับน้ำสูงจนมีความเสี่ยงที่จะเกิดน้ำท่วม ควรเตรียมพร้อมรับสถานการณ์ ในที่นี้ คือ 1 เมตร ใช้สีส้มเพื่อแสดงระดับนี้บนแดชบอร์ด

ระดับอันตราย ระดับน้ำสูงถึงขั้นวิกฤติ มีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมรุนแรง จำเป็นต้องอพยพ ในที่นี้ คือ น้ำล้นตลิ่งใช้สีแดงเพื่อแสดงระดับนี้บนแดชบอร์ด



ภาพ 3 แสดงเกณฑ์ระดับน้ำ

ออกแบบระบบการวัดปริมาณน้ำฝน

เซ็นเซอร์ RG-15 Rain Gauge เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้เทคโนโลยี Laser-Based Sensing เพื่อวัดปริมาณน้ำฝนโดยไม่ต้องใช้กลไกทางกลเหมือนกับมาตรวัดน้ำฝนแบบดั้งเดิม (tipping bucket) อุปกรณ์นี้ใช้เลเซอร์อินฟราเรด และอัลกอริทึมการประมวลผลเพื่อวัดปริมาณฝนที่ตกลงมา โดยอาศัยหลักการสะท้อนของแสงเลเซอร์เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นผิวเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ RG-15 สามารถตรวจจับความเข้มข้นของน้ำฝน (rainfall intensity) และปริมาณน้ำฝนสะสม (total accumulated rainfall) ได้อย่างแม่นยำ และสามารถแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/hr) หรือมิลลิเมตรต่อวัน (mm/day) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณน้ำฝนและการแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม โดยในการทดลองได้กำหนดเกณฑ์แบ่งระดับปริมาณน้ำฝน เพื่อช่วยประเมินสถานการณ์และออกแบบระบบแจ้งเตือนล่วงหน้า โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับหลัก ดังนี้

1. ระดับปกติ (normal level): ปริมาณฝนต่ำกว่า 50 มม./วัน

2. ระดับเฝ้าระวัง (alert level): ปริมาณฝนระหว่าง 50-100 มม./วัน อาจเริ่มส่งผลให้ระดับน้ำในคลองหรือพื้นที่ลุ่มต่ำเพิ่มขึ้น

3. ระดับเตือนภัย (warning level): ปริมาณฝนระหว่าง 101-150 มม./วัน มีแนวโน้มว่าน้ำในคลองหรือพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมอาจเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ควรแจ้งเตือนให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและชุมชนเตรียมพร้อมรับมือกับสถานการณ์น้ำท่วม

4. ระดับอันตราย (danger level): ปริมาณฝนมากกว่า 150 มม./วัน มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดน้ำท่วมฉับพลัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีลุ่มต่ำหรือไม่มีระบบระบายน้ำที่ดี

แนวคิดและเงื่อนไขการแจ้งเตือนน้ำท่วม

ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมถูกออกแบบให้สามารถแจ้งเตือนโดยอ้างอิงจากค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำฝน โดยใช้เกณฑ์ต่อไปนี้:

1. ระบบจะทำการแจ้งเตือนหากเข้าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งดังต่อไปนี้

- ระดับน้ำอยู่ในช่วงเฝ้าระวัง (alert level) และปริมาณน้ำฝนอยู่ในระดับเตือนภัย (warning level)

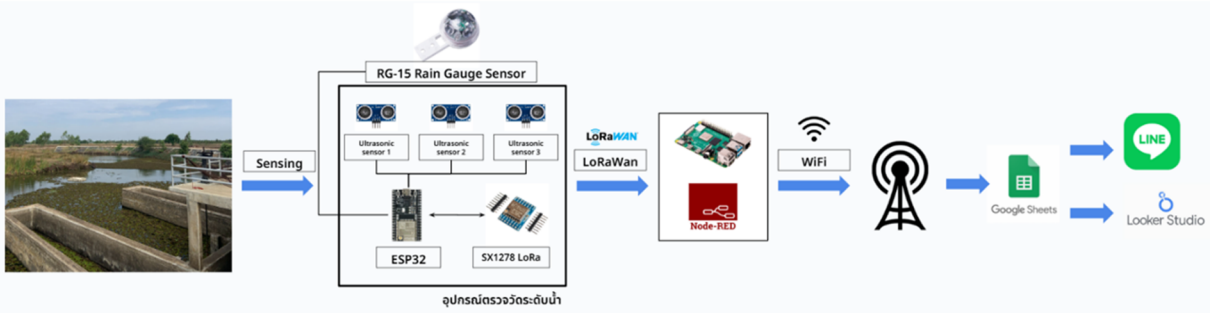
- ระดับน้ำอยู่ในช่วงเตือนภัย (warning level)

- ระดับน้ำอยู่ในช่วงเตือนภัย (warning level) และปริมาณน้ำฝนเกินระดับเฝ้าระวัง (alert level)

- ระดับน้ำอยู่ในช่วงอันตราย (danger level)

- ปริมาณฝนอยู่ในระดับอันตราย (danger level)

2. เมื่อเกิดสถานการณ์ที่เข้าเงื่อนไข ระบบจะดำเนินการแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชัน LINE ไปยังบุคลากรในโรงเรียน หน่วยงานภาครัฐ และประชาชนในพื้นที่เสี่ยง



ภาพ 4 แสดงสถาปัตยกรรมการทำงานของระบบ

กระบวนการส่งข้อมูลในระบบตรวจวัดระดับน้ำ

ระบบตรวจวัดระดับน้ำที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ทำงานโดยการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์และส่งข้อมูลไปยังศูนย์ประมวลผลผ่านเครือข่าย LoRaWAN กระบวนการส่งข้อมูลของระบบดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ดังที่แสดงในภาพ 4 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ (ขั้นตอนการตรวจวัดข้อมูล)

อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลกลางของระบบ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- ESP32 อ่านค่าจากเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก 3 ตัว และเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน (RG-15 Rain Gauge Sensor)

- ข้อมูลจากเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกถูกประมวลผลเพื่อคำนวณระดับน้ำ โดยใช้สมการที่ (1) และ (2)

- ค่าระดับน้ำที่ได้จากเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัวจะถูกนำมาเฉลี่ยและปรับแก้ด้วยวิธีการทางตรีโกณมิติ เพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนในการวัด

- ESP32 ทำการตรวจสอบปริมาณน้ำฝนสะสม ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ RG-15 และรวมข้อมูลเข้ากับค่าระดับน้ำเพื่อเตรียมส่งข้อมูล

2. การส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย LoRaWAN

- ข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลจะถูกเข้ารหัส และส่งไปยังโมดูล LoRa (SX1278)

- โมดูล LoRa ใช้คลื่นความถี่ 433 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ในการส่งข้อมูล

- การส่งข้อมูลใช้โปรโตคอล LoRaWAN Class A ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานของระบบ

- สัญญาณ LoRaWAN มีระยะการส่งข้อมูลประมาณ 1 กิโลเมตร ในสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน

- เมื่อการส่งข้อมูลสำเร็จ ระบบจะเข้าสู่โหมดพัก (deep sleep mode) เพื่อลดการใช้พลังงาน

3. Raspberry Pi เป็นเกตเวย์ของระบบ LoRaWAN (ขั้นตอนการรับข้อมูลและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต)

ระบบนี้ใช้ Raspberry Pi เป็น LoRaWAN Gateway ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำและเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ โดยมีการทำงานดังนี้

- Raspberry Pi รับข้อมูล LoRaWAN จาก ESP32 ผ่าน HAT โมดูล LoRaWAN ที่ใช้ SX130x-based concentrator

- ใช้แพลตฟอร์ม Node-RED เป็นตัวกลางในการประมวลผลฟอร์แมต และส่งข้อมูลไปยัง Google Sheets

- Raspberry Pi เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่าน WiFi เพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์

4. การบันทึกข้อมูลลง Google Sheets (ขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์)

- Node-RED ทำหน้าที่นำข้อมูลที่ได้รับจาก LoRaWAN Network Server และจัดเก็บลงใน Google Sheets

- Google Sheets ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลบนระบบคลาวด์ที่สามารถเข้าถึงได้แบบเรียลไทม์

- ข้อมูลถูกจัดเก็บในรูปแบบตารางข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนในแต่ละช่วงเวลา (แสดงในภาพ 5)

- Google Sheets รองรับการเชื่อมต่อกับ API ภายนอก เพื่อส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มวิเคราะห์ข้อมูล Looker Studio

5. การแสดงผลข้อมูลผ่าน Looker Studio (ขั้นตอนการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์)

1. ข้อมูลจาก Google Sheets ถูกนำเข้าไปแสดงผลใน Looker Studio (Google Data Studio)

2. Looker Studio ช่วยให้สามารถสร้างแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ เพื่อแสดงแนวโน้มของระดับน้ำและปริมาณน้ำฝน

3. ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลผ่านกราฟแสดงแนวโน้มระดับน้ำ และ แผนภูมิแสดงปริมาณน้ำฝนสะสม

4. ระบบสามารถตั้งค่าแดชบอร์ดแบบโต้ตอบเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกช่วงเวลาหรือพื้นที่ที่ต้องการดูข้อมูลได้

6. การแจ้งเตือนผ่าน LINE Application (ขั้นตอนการแจ้งเตือนอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชัน LINE)

- หากค่าระดับน้ำที่วัดได้เกินค่าที่กำหนด ระบบจะทำการแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติ

- Google Apps Script หรือ Webhook API จะทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลใน Google Sheets และส่งข้อความแจ้งเตือนไปยัง LINE Application

- ข้อความแจ้งเตือนมีรูปแบบเป็นข้อความอัตโนมัติจาก LINE Bot

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยโรงเรียนบ้านธารปราสาทและชุมชนโดยรอบ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม เช่น ครู เจ้าหน้าที่โรงเรียน ผู้นำชุมชน อาสาสมัครป้องกันภัยพิบัติ และประชาชนในพื้นที่ การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยพิจารณาพื้นที่ที่มีประวัติการเกิดน้ำท่วมและข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสาร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือฮาร์ดแวร์

1. เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิก 3 ตัว และเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน

2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) และ LoRa Module

3. Raspberry Pi เป็นเกตเวย์รับ-ส่งข้อมูล

4. แผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ สำหรับจ่ายพลังงานให้ระบบ

เครื่องมือซอฟต์แวร์

1. Arduino IDE/ PlatformIO สำหรับพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์

2. Google Sheets และ Looker Studio สำหรับบันทึกและแสดงผลข้อมูล

3. LINE Notify API สำหรับแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม

การเก็บรวบรวมข้อมูล

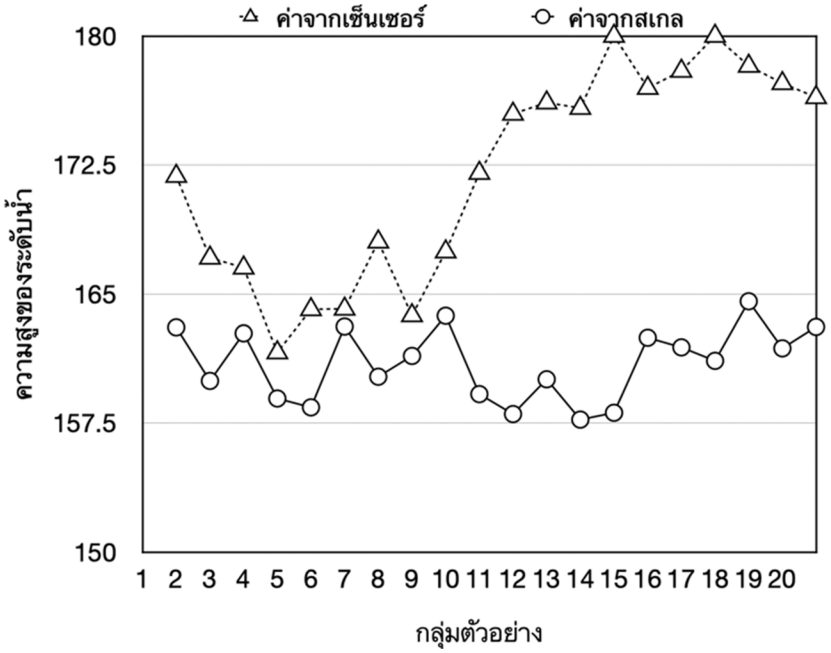
การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น (1) ข้อมูลจากระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม (2) ข้อมูลค่าระดับน้ำและปริมาณฝนเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของระบบ ซึ่งสุ่มเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาทั้งหมด 20 วัน

ผลการวิจัย

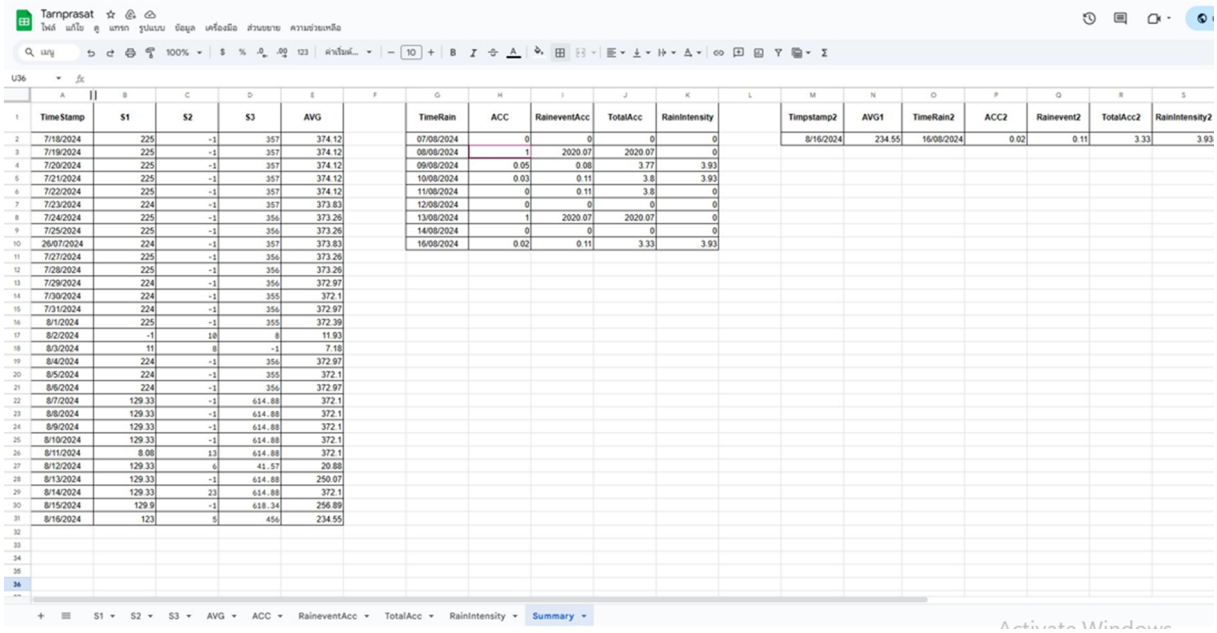
ความแม่นยำของระบบเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เปรียบกับค่ามาตรวัดน้ำที่ติดอยู่ในแม่น้ำโดยเก็บผลการทดลองเปรียบเทียบโดยใช้วิธีการสุ่มวัดจำนวน 20 วันอยู่ในเดือนกรกฎคมถึงสิงหาคมอยู่ในช่วงปลายฤดูฝนตามข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 7% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการเก็บข้อมูลเป็นจำนวน 20 วัน ได้อยู่ที่ 39.71 ดังแสดงในภาพ 5

ตัวชี้วัดความสำเร็จของระบบถูกกำหนดจาก 2 เกณฑ์หลัก ได้แก่ (1) ความแม่นยำของค่าระดับน้ำที่วัดได้โดยต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรวัดน้ำที่ติดตั้งภาคสนาม และ (2) ความสามารถในการแจ้งเตือนภัยได้อย่างรวดเร็ว โดยต้องสามารถส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้เกี่ยวข้องผ่านแอปพลิเคชัน LINE ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที หลังจากค่าระดับน้ำหรือปริมาณฝนเกินค่าที่กำหนด ระบบที่พัฒนานี้สามารถทำงานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยเฉพาะในการทดสอบการแจ้งเตือนซึ่งสามารถแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์อย่างถูกต้อง ดังแสดงในภาพ 6

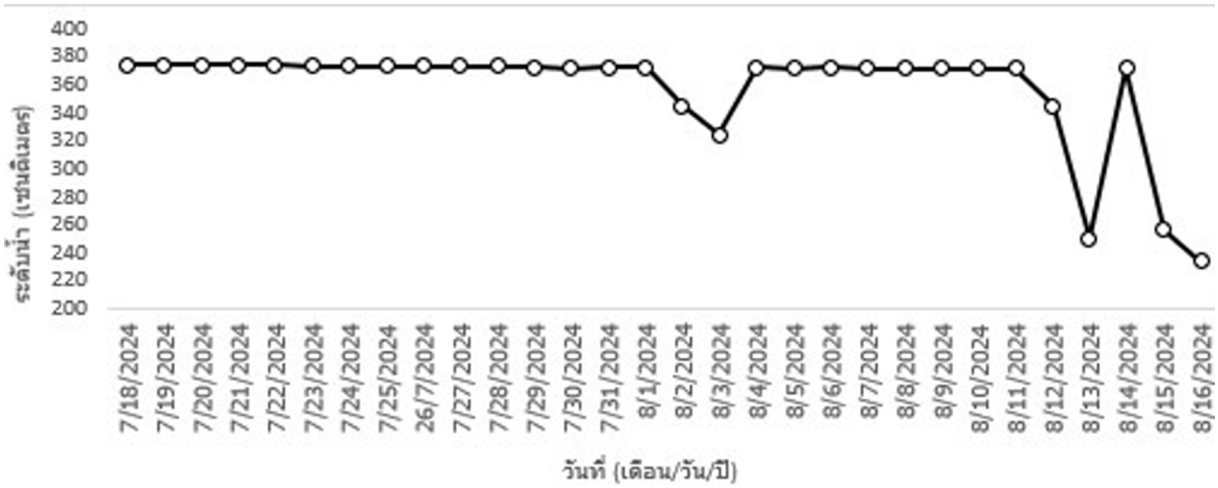
จากภาพ 6 แสดงถึงโครงสร้างของข้อมูลที่จัดเก็บใน Google Sheets ซึ่งแบ่งออกเป็น 9 ชุดข้อมูล (ชีต) ตามประเภทของข้อมูลที่บันทึก โดยชีตที่ 1–3 ใช้สำหรับบันทึกค่าระดับน้ำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ในตำแหน่งต่าง ๆ ชีตที่ 4 เป็นค่าระดับน้ำเฉลี่ย ชีตที่ 5 ใช้บันทึกปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด ชีตที่ 6 เก็บข้อมูลเกี่ยวกับวันที่และเวลาที่มีฝนตก เพื่อใช้วิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณน้ำฝนในแต่ละช่วงเวลา ชีตที่ 7 บันทึกปริมาณน้ำฝนสะสมทั้งหมดและความเข้มของฝน ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการติดตามสภาพอากาศและคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณฝนในพื้นที่ ระบบการจัดเก็บข้อมูลนี้ช่วยให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์และแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากภาพ 7 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำที่วัดได้ในแต่ช่วงเวลาในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่า ระบบสามารถบันทึกค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ โดยใช้ความถี่ในการเก็บ 1 วันต่อครั้งได้โดยไม่พบความผิดพลาดเนื่องจากการเชื่อมต่อ



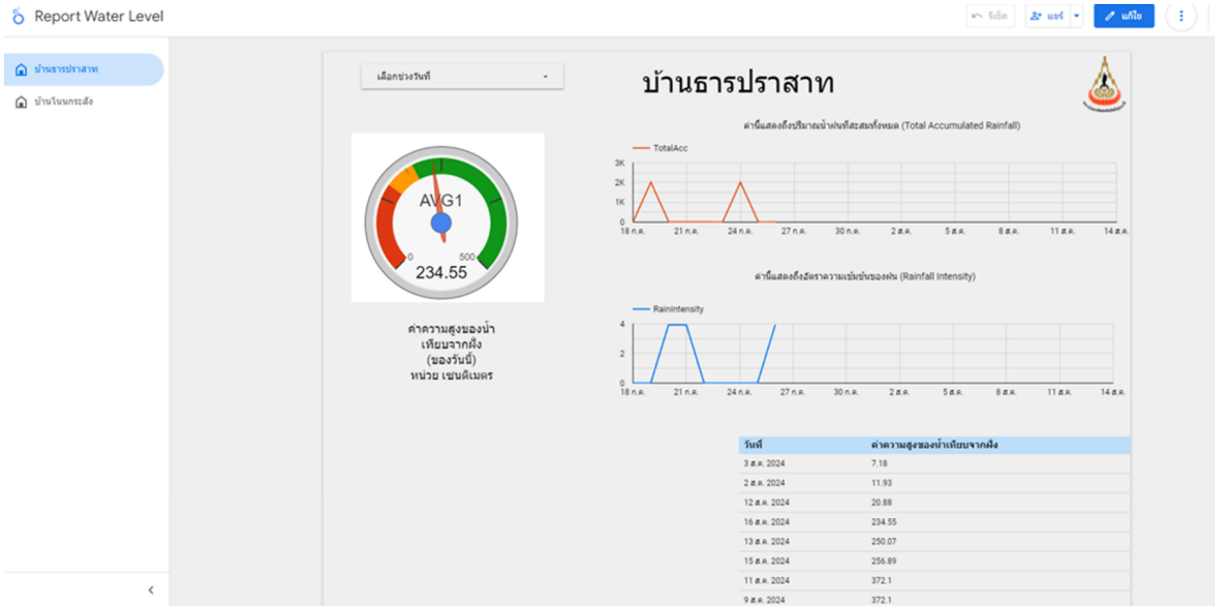
ภาพ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าจาก Sensor และค่าจาก Scale



ภาพ 6 แสดงภาพการเก็บข้อมูล DataSheet Nodered

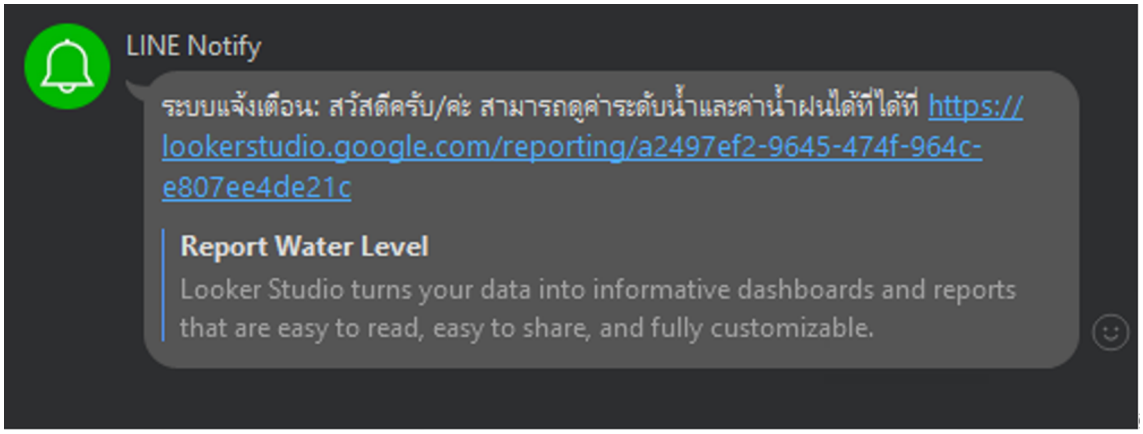


ภาพ 7 แสดงภาพการเก็บข้อมูลบริมาณน้ำในระหว่างระยะเวลา 1 เดือน



ภาพ 8 แสดงภาพการเก็บข้อมูล Dashboard ใน Looker Studio

ภาพ 8 แสดงการแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำฝนในระบบแดชบอร์ด จาก Dashboard บ้านธารปราสาท ที่แสดงในภาพ ระบบถูกออกแบบมาเพื่อติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ โดยมีองค์ประกอบสำคัญดังนี้: มาตรวัดระดับน้ำ (water level gauge) แสดงค่าความสูงของระดับน้ำ ณ ปัจจุบัน เทียบจากฝั่ง หน่วยเป็นเซนติเมตร มีการใช้มาตรวัดสีแบบเขียว-เหลือง-แดง เพื่อบ่งชี้ระดับความปลอดภัยของน้ำตามหลักมาตรฐาน โดยอ้างอิงจากสำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 4 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนสะสม (total accumulated rainfall) กราฟเส้นแสดงข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่สะสมทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลา ในช่วงถัดมา ปริมาณน้ำฝนที่สะสมไม่มีการเพิ่มขึ้นชัดเจน กราฟแสดงอัตราความเข้มข้นของฝน (rainfall Intensity) แสดงอัตราการตกของฝนในแต่ละวัน ตารางแสดงค่าความสูงของระดับน้ำ (water level data table) บันทึกค่าความสูงของระดับน้ำตามวันที่วัด นอกจากนี้ เมื่อทดสอบการแจ้งเตือนการเตือนภัยน้ำท่วม พบว่า ระบบสามารถแจ้งเตือนการเตือนภัยฝนน้ำท่วมไปยังผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในภาพ 9



ภาพ 9 แสดงการแจ้งเตือนผ่าน Line Application

การอภิปรายผล

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมต้นทุนต่ำโดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN เพื่อช่วยให้โรงเรียนและชุมชนในพื้นที่เสี่ยงสามารถเตรียมพร้อมรับมือน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับตรวจวัดระดับน้ำ และเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและส่งผ่านเครือข่าย LoRaWAN ไปยังเกตเวย์ Raspberry Pi ข้อมูลที่ได้รับจะถูกบันทึกลง Google Sheets และแสดงผลแบบเรียลไทม์ผ่าน Looker Studio พร้อมทั้งมีระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติผ่าน LINE Application เพื่อให้หน่วยงานและประชาชนสามารถติดตามสถานการณ์น้ำท่วมได้อย่างทันท่วงที

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนได้อย่างต่อเนื่อง และมีความแม่นยำสูงในการตรวจจับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ โดย ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 7% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Syamsi et al. (2024) ที่ศึกษาเรื่อง Water Level Monitoring for Flood Early Mitigation Based on IoT พบว่า ระบบที่ออกแบบโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและพลังงานแสงอาทิตย์สามารถรักษาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้ที่ ไม่เกิน 10% ในสภาพแวดล้อมภาคสนาม ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ในงานติดตามและแจ้งเตือนระดับน้ำในพื้นที่ห่างไกล (Syamsi et al., 2024)

นอกจากนี้ มาตรฐานจาก World Meteorological Organization: WMO ยังระบุว่า ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัดน้ำฝนที่ใช้ในงานภาคสนามสามารถยอมรับได้ในช่วง ±5% ถึง ±10% ขึ้นอยู่กับสภาพฝนและความถี่ในการเก็บข้อมูล (WMO, 2008)

จากข้อมูลนี้ จึงสรุปได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7% นั้น อยู่ในช่วงมาตรฐานที่ยอมรับได้ทั้งตามงานวิจัยภาคสนามและเกณฑ์สากล ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานในระดับชุมชนที่ต้องการต้นทุนต่ำแต่สามารถแจ้งเตือนภัยได้ทันท่วงที

ระบบแจ้งเตือนภัยผ่าน LINE Application ก็ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแจ้งเตือนได้รวดเร็วเมื่อระดับน้ำถึงเกณฑ์ที่กำหนด อีกทั้งการใช้เครือข่าย LoRaWAN ทำให้สามารถส่งข้อมูลระยะไกลได้อย่างเสถียร แม้ในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต ระบบนี้ยังใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบได้ต่อเนื่องในทุกช่วงเวลา

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาประสิทธิภาพของระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมต้นทุนต่ำควรคำนึงถึงการเพิ่มช่องทางการแจ้งเตือนหลายรูปแบบ เพื่อให้สามารถเข้าถึงกลุ่มผู้ใช้งานได้ครอบคลุมและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ควรเพิ่มการแจ้งเตือนผ่าน SMS หรือการติดตั้งสัญญาณไซเรนควบคู่กับการแจ้งเตือนผ่าน LINE Application เพื่อให้สามารถแจ้งเตือนล่วงหน้าได้แม้ในกรณีที่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือสัญญาณโทรศัพท์มือถือขัดข้อง นอกจากนี้ ควรพิจารณาการนำเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (predictive analytics) มาใช้โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศล่วงหน้า เพื่อให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มระดับน้ำและแจ้งเตือนภัยได้เร็วขึ้น รวมถึงการพัฒนาระบบสื่อสารสำรอง เช่น การใช้โมดูล GSM เพื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถส่งข้อมูลและแจ้งเตือนภัยได้อย่างต่อเนื่องแม้เครือข่ายหลักขัดข้อง

งานวิจัยนี้ถึงแม้ว่าระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับระดับน้ำและแจ้งเตือนภัยได้อย่างทันท่วงที แต่ยังมีข้อจำกัดที่ควรได้รับการปรับปรุง โดยปัจจุบันระบบอาศัยเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์และแจ้งเตือนผ่าน LINE Application ซึ่งอาจทำให้การแจ้งเตือนล่าช้าหรือไม่สามารถเข้าถึงผู้ใช้งานได้ในกรณีที่การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตขาดหาย ดังนั้นควรพัฒนากลไกรองรับเมื่อเครือข่ายล้มเหลว เช่น การเก็บข้อมูลในหน่วยความจำภายในของอุปกรณ์เป็นระยะ หรือการใช้ระบบแจ้งเตือนภัยในพื้นที่ เช่น การติดตั้งสัญญาณไฟหรือเสียงเตือน ณ จุดติดตั้ง เพื่อให้สามารถแจ้งเตือนในกรณีฉุกเฉินได้ทันที นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของสัญญาณ LoRa อาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยทางกายภาพ เช่น ระยะทาง สิ่งกีดขวาง หรือระดับความสูงของเซ็นเซอร์เหนือน้ำ ซึ่งอาจลดคุณภาพของสัญญาณเมื่อเกิดน้ำท่วม ดังนั้นควรเลือกตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ให้เหมาะสม เช่น การยกเสาสัญญาณให้สูงพ้นผิวน้ำ หรือการเพิ่มตัวทวนสัญญาณ (repeater) เพื่อขยายระยะทางการสื่อสารให้ครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงภัยได้มากขึ้น นอกจากนี้ อุปกรณ์เซ็นเซอร์และระบบพลังงานควรได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เช่น การทำความสะอาดเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและการตรวจสอบสถานะแบตเตอรี่ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องในระยะยาว

สำหรับแนวทางการใช้งานในอนาคต ควรขยายผลการทดลองไปสู่การใช้งานจริงในพื้นที่เสี่ยงต่อน้ำท่วมแห่งอื่น เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบและปรับปรุงให้เหมาะสมกับบริบทที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น อาจนำระบบไปทดลองใช้ในหมู่บ้านโนนกระสังซึ่งมีลักษณะทางภูมิศาสตร์คล้ายคลึงกัน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมเพิ่มเติม ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบบเรียลไทม์สามารถเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการบริหารจัดการน้ำและบรรเทาผลกระทบจากภัยพิบัติ ดังนั้นควรพิจารณาการเชื่อมโยงระบบเข้ากับแพลตฟอร์มแจ้งเตือนภัยของภาครัฐ เช่น กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยหรือสำนักงานทรัพยากรน้ำ เพื่อให้สามารถแจ้งเตือนภัยได้อย่างครอบคลุมในระดับพื้นที่ที่กว้างขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการภัยพิบัติร่วมกับหน่วยงานภายนอก และจัดให้มีการฝึกอบรมผู้ที่อาศัยในชุมชมให้มีความรู้และความเข้าใจในการดูแลรักษาระบบได้ด้วยตนเอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (รหัสโครงการ NRIIS 195621)

References

Adu-Manu, K., Tapparello, C., & Heinzelman, W. (2017). Wireless sensor networks for flood monitoring: A systematic review. *Sensors, 17*(11), 2541. https://doi.org/10.3390/s17112541

Arridha, R., Sukaridhoto, S., & Rizal, S. (2020). Real-time potable water quality monitoring using machine learning models. *2020 International Electronics Symposium (IES)* (pp. 234-240). IEEE.

Allahbakhshian-Farsani, P., Vafakhah, M., & Khosravi-Farsani, H. (2020). Regional flood frequency analysis through some machine learning models in semi-arid regions. *Water Resources Management, 34*, 2887–2909. https://doi.org/10.1007/s11269-020-02589-2

Boonmee, S. (2018). IoT security. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 12*(1), 59–67. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/114401 (in Thai)

Kaur, M., Kaur, P. D., & Sood, S. K. (2021). Energy efficient IoT-based cloud framework for early flood prediction. Natural Hazards, 109, 2053-2076. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04910-7

Padmavathi, B. (2024). LoRa-Powered water management system for real time monitoring and control in gated communities. *In 2024 3rd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems* (ICACRS) (pp. 114-122). IEEE

Perera, S., Silva, R., & Fernando, N. (2020). Intelligent flood warning system using IoT technology. *Proceedings of the International Conference on Smart Technologies* (pp. 45-52). IEEE

Onboonuea, T., & Tinapron, S. (2023). Study of the Performance and Design of Dust Sensors. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(3), 26–37. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/265947

Pires, L. M., & Gomes, J. (2024). River Water Quality Monitoring Using LoRa-Based IoT. *Designs, 8*(6), 127. https://doi.org/10.3390/designs8060127

Rani, D. S., Jayalakshmi, G. N., & Baligar, V. P. (2020). Low Cost IoT based Flood Monitoring System Using Machine Learning and Neural Networks: Flood Alerting and Rainfall Prediction. 2020 2nd *International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)* (pp. 261-267). Bangalore, India: IEEE.

Sandhya, E., Sk, K. S., Mantena, S. V., Desanamukula, V. S., Koteswararao, C., Vemula, S. R., & Vemula, M. (2025). Enhancing security and efficiency in Mobile Ad Hoc Networks using a hybrid deep learning model for flooding attack detection. *Scientific Reports, 15*(1), 818. https://doi.org/10.1038/s41598-024-84421-0

Sendra, S., Parra-Boronat, L., Jimenez, J. M., García-García, L., & Lloret, J. (2023). LoRa-based network for water quality monitoring in coastal areas. *Mobile Networks and Applications (Online), 28*(1), 65-81. https://doi.org/10.1007/s11036-022-01994-8

Thumkanon, C., Asavasaksakul, S., Pokudom, N., & Pokudom, K. (2017). Cloud computing: Infrastructure for the Internet of Things. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 11*(1), 30–37. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/84518

Syamsi, A., Budi, S., Sari, R., & Prasetyo, A. (2024). Water level monitoring for flood early mitigation based on Internet of Things (IoT). ResearchGate. https://doi.org/10.51967/tepian.v5i2.2504

World Meteorological Organization (WMO). (2008). Guide to meteorological instruments and methods of observation (WMO-No.8). Geneva: World Meteorological Organization

Comparison of Monthly Rainfall Forecasting Methods in Narathiwat Province
การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนราธิวาส

Tanaphon Jiwmaidang[1], Pornthip Wimonsong[1]*, Thana Charuphanthuse[1],
Kantida Boonma[1] and Bussayamas Hemmanee[1]
ธนพร จิ้วไม้แดง[1] พรทิพย์ วิมลทรง[1]* ธนา จารุพันธุเศรษฐ์[1] กานต์ธิดา บุญมา[1] และบุษยมาศ เหมณี[1]
[1]Disaster Management, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University
[1]สาขาวิชาการจัดการภัยพิบัติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
*Corresponding author: pornthip.wim@sru.ac.th
Received: April 23, 2025
Revised: July 25, 2025
Accepted: July 31, 2025

Abstract

Narathiwat Province exhibits pronounced seasonal variability in average monthly rainfall, which significantly impacts water resource management and disaster preparedness. This study aims to analyze time series patterns and compare the forecasting accuracy of Holt-Winters' Additive Exponential Smoothing: HW-AES and the Box-Jenkins ARIMA: ARIMA models. The analysis is based on 132 observations of monthly average rainfall from January 2013 to December 2023. Model performance was evaluated using Mean Absolute Percentage Error: MAPE, Root Mean Square Error: RMSE, and the smallest absolute differences between observed and forecasted rainfall values. The results revealed that the Holt-Winters': HW model outperformed the ARIMA model, with a lower MAPE (83.86%), RMSE (46.27 millimeters: mm), and forecast-observation difference (116.65 mm), compared to ARIMA's MAPE (198.26%) and RMSE (100.89 mm). The forecasted rainfall for 2024 showed the lowest value in March (46.03 mm) and the highest in November (402.42 mm). These findings suggest that the HW-AES model is more appropriate for forecasting in regions with distinct seasonal rainfall patterns.

Keywords: rainfall forecasting, holt-winter's, ARIMA, time series analysis

บทคัดย่อ

จังหวัดนราธิวาสมีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่มีความผันแปรตามฤดูกาลอย่างเด่นชัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการน้ำและการเตรียมพร้อมรับมือต่อภัยพิบัติ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาและเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณฝนระหว่างแบบจำลอง Holt-Winters' Additive Exponential Smoothing: HW-AES และ Box-Jenkins ARIMA: ARIMA โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวน 132 ค่า ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 โดยประสิทธิภาพของแบบจำลองถูกประเมินด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ต่ำสุดระหว่างค่าปริมาณฝนจริงกับค่าที่พยากรณ์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Holt-Winters: HW ให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำกว่าแบบจำลอง ARIMA โดยมีค่า MAPE ต่ำกว่า (83.86%) RMSE (46.27 มิลลิเมตร: มม.) และค่าความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจริงที่น้อยกว่า (116.65 มม.) เมื่อเทียบกับแบบจำลอง ARIMA ซึ่งมีค่า MAPE เท่ากับ 198.26% และ RMSE เท่ากับ 100.89 มม. การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ. 2567 พบว่า มีค่าน้อยที่สุดในเดือนมีนาคม (46.03 มม.) และมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน (402.42 มม.) ดังนั้น แบบจำลอง HW-AES เหมาะสมกว่าสำหรับการพยากรณ์ในพื้นที่ที่มีลักษณะปริมาณน้ำฝนที่เป็นฤดูกาลอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน แบบจำลองโฮลต์–วินเทอร์ แบบจำลอง ARIMA การวิเคราะห์อนุกรมเวลา

Introduction

Rainfall forecasting plays a crucial role in water resource management, agriculture planning, and disaster risk reduction, particularly in regions with significant climatic variability such as Narathiwat Province in southern Thailand. Narathiwat exhibits rainfall patterns distinctly different from most other areas of Thailand, especially in terms of rainfall distribution and intensity. Most regions in Thailand experience rainfall predominantly influenced by the southwest monsoon from May to October. In contrast, Narathiwat is primarily affected by the northeast monsoon from October to February (Thai Meteorological Department, 2023). This monsoon carries significant moisture from the South China Sea, causing heavy, continuous rainfall that frequently leads to severe flooding. Historical data indicates frequent flooding across all 13 districts of Narathiwat from 2019 to 2024 (Narathiwat Provincial Office, 2023). In 2020, Narathiwat recorded an annual rainfall of 2,009.03 mm, representing approximately 62.82% of the area's 30-year average (2,457.60 mm). Notably, in November 2024, the province recorded an extreme daily rainfall event of 448.60 mm. In 2021, flooding impacted 43,039 households and resulted in eight fatalities (Department of Disaster Prevention and Mitigation, 2023). Consequently, accurate rainfall forecasting is essential to effectively manage these climatic challenges, particularly given climate change's influence on increasing rainfall variability and intensity.

To address these challenges, various forecasting models appropriate for regions with similar climatic conditions have been extensively studied. For instance, Tee and Mansor (2024) effectively applied the ARIMA model for short-term rainfall forecasting in Selangor, Malaysia, achieving high accuracy (MAPE≈16.89%) and effectively capturing

seasonal rainfall trends. Khan et al. (2023) similarly confirmed ARIMA's efficacy in forecasting monthly rainfall in the Klang River Basin (R^2=0.78). Additionally, HW methods have also been evaluated in neighboring regions; Poh and Norrulashikin (2022) identified SARIMA as more accurate for areas with pronounced seasonal patterns. Conversely, Wiguna et al. (2023) found the Multiplicative HW model preferable to the Additive model in Indonesia, demonstrating varying model performances dependent on local rainfall characteristics. In southern Thailand, including Narathiwat, recent research by Waqas et al. (2024) utilizing Deep Learning models (Wavelet-LSTM and Wavelet-CNN-LSTM) indicated potential but significant challenges in accurately modeling intense rainfall variability, reflected by relatively low determination coefficients (R^2≈0.24-0.32) and high error metrics (RMSE ≈ 92-93 mm). Therefore, selecting forecasting models that align closely with local rainfall characteristics is imperative.

This study thus aims to evaluate and compare the forecasting accuracy of HW-AES and ARIMA models. Monthly average rainfall data from 2013 to 2023 were employed, with model performance assessed through standard indicators such as MAPE and RMSE. The findings from this research will support future climate adaptation strategies and hydrological forecasting within the region effectively.

Objective

1. To analyze the time series movement of monthly average rainfall in Narathiwat Province.

2. To evaluate and compare the forecasting accuracy of HW-AES and ARIMA models.

3. To determine the most appropriate model for forecasting monthly rainfall in Narathiwat Province and apply it to forecast values for the year 2024.

Literature review

Based on a comparative review of recent forecasting studies, both HW and ARIMA-based models have demonstrated varying degrees of performance depending on data characteristics and regional contexts. For example, ARIMA (1,0,1) (1,0,1) 12 achieved the lowest MAPE of 3.24% in a study by Sopipan (2014), significantly, outperforming the HW model, which reported a much higher MAE. In more seasonally driven regions, such as Senai, Malaysia, the multiplicative HW model yielded superior performance with a MAPE of 55.18% and MAE of 158.87 compared to the additive variant (MAPE=70.18) (Wiguna et al., 2023). Similarly, Gowri et al. (2022) reported that both HW and ARIMA (1,0,2) models performance well, with HW demonstrating lower RMSE and MAE. Recent applications of Recurrent Neural Networks (RNN) have also shown high accuracy, achieving the lowest RMSE and MAPE among all models evaluated (Aini et al., 2022). In another comparative study, Wutthiwongyothin et al. (2020) found that HW outperformed SARIMA in short-term forecasting based on RMSE, although SARIMA remained competitive in capturing long-term patterns.

Furthermore, while RNN yielded the lowest RMSE (0.377), the adaptive HW model remained a competitive alternative with a MAPE of 0.620 (Aini et al., 2022). These findings emphasize the importance of selecting forecasting models based on the characteristics of the dataset. ARIMA models tend to perform better

in data with strong linear trends and stochastic components, whereas HW models-particularly the multiplicative and adaptive forms-are more effective for capturing complex seasonal fluctuations. A summary of model comparisons and forecasting errors is presented in Table 1.

Table 1

Comparing Forecast Models and Assessing Forecasting Errors

Model	Parameter	MAPE/ RMSE/ MAE	Result	Ref.
Holt-Winters Additive (AHW)	α = 0.6534, β = 0.0036, γ = 0.1182	MAPE = 70.18% MAE = 186.59	HW method favors the multiplicative model for future precipitation forecasting	Wiguna et al., (2023)
Holt-Winters Multiplicative (MHW)	α = 0.8889, β = 0.0001, γ = 0.0246	MAPE = 55.18% MAE = 158.87		
ARIMA	ARIMA (1,0,1) (1,0,1) 12.	MAPE = 3.24%, MAE = 616.918	The less the error measures, the more accurate the prediction is ARIMA	Sopipan (2014)
HW	α = 0.7, β = 0.04, γ = 0.46	MAPE = 11.96%, MAE = 943.194		
ARIMA	sARIMA (0,0,0) (2,2,1) 12	MAPE = 98.24%, RMSE = 100.54	The SARIMA model is more appropriate model to forecast the amount of rainfall in station senai than AHW model.	Poh & Norrulashikin (2022)
AHW		MAPE = 73.12%, RMSE = 89.83		
SARIMA	sARIMA (0,1,1) (2,1,1)12	RMSE (Ave.) = 3.57	HW models had better performance in reproducing the mean series seasonality.	Brito et al., (2021)
HW	α = 0.11, β = 0.03, γ = 0.48	RMSE (Ave.) = 2.93		
AHW	α = 0.1185, β = 0.0141, γ = 0.2111	RMSE = 0.500, MAPE = 0.620	RNN method has better RMSE and MAPE values	Aini et al., (2022)
Recurrent Neural Network	RNN	RMSE = 0.377, MAPE = 1.596		
ARIMA	ARIMA (1,0,2):	RMSE = 54.29, MAE = 39.470	The comparative analysis revealed that HW model accurately forecasts the rainfall with less error	Gowri et al., (2022)
AHW	AHW	RMSE = 48.67, MAE = 36.751		

Conceptual Framework

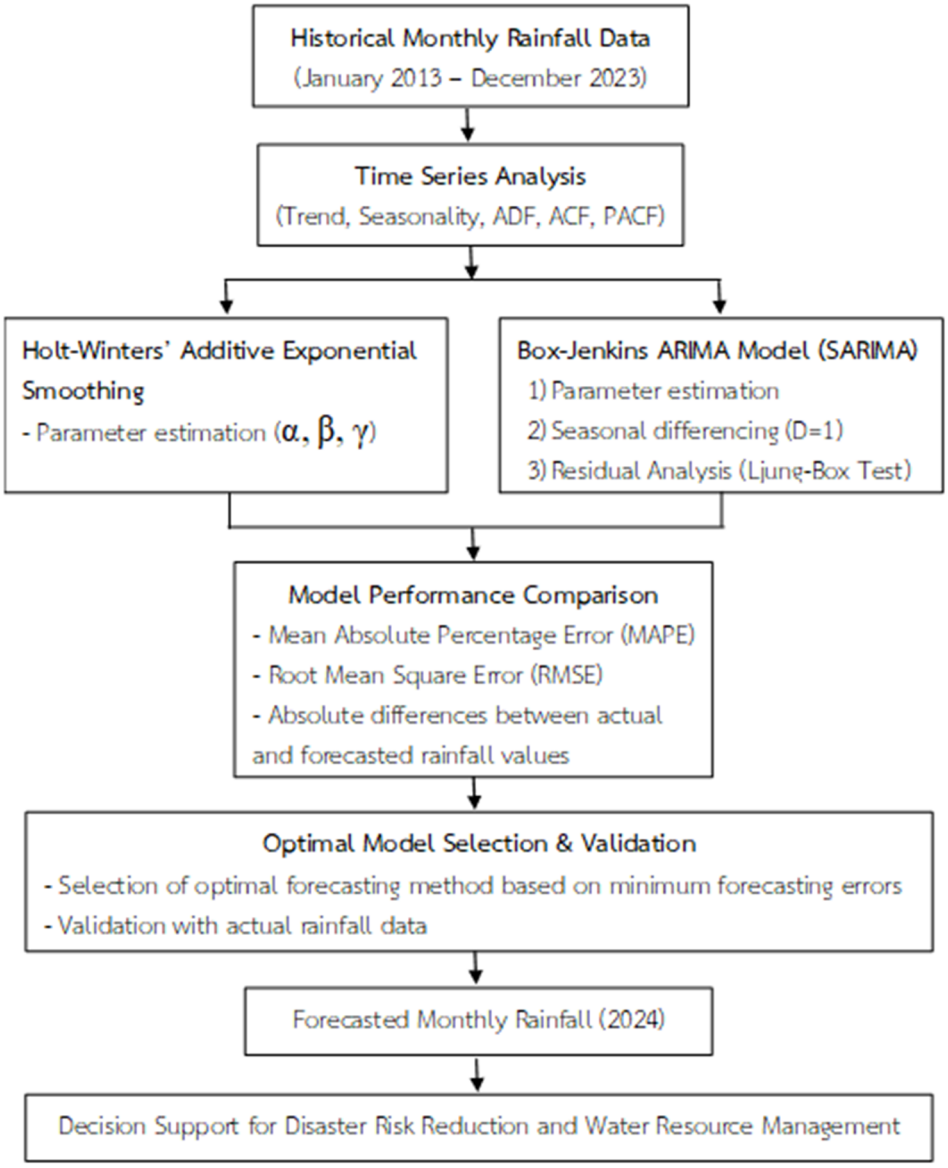


Figure 1 Conceptual Framework

Methodology

Study Area

This study focuses on the entire Narathiwat province, located in the southern-most part of Thailand. The province lies between latitudes 5.7° to 6.7° North and longitudes 101.4° to 102.1° East, covering a total area of 4,475.43 Km^2. The province borders Yala to the north and Malaysia to the south. Its topography includes coastal plains and mountainous terrain, which contribute to distinct seasonal rainfall patterns. The study area and station locations are illustrated in Fig. 2. Details on station selection and data sources are provided in the Data Collection section.

Data Collection

Monthly average rainfall data from January 2013 to December 2023, consisting of 132 observations, were collected from a public database maintained

by the Hydro-Informatics Institute: HII, a national agency responsible for integrating and managing water-related data in Thailand. HII consolidates data from multiple sources, including the Thai Meteorological Department and the Royal Irrigation Department. The dataset used in this study was selected for its temporal continuity, spatial coverage, and completeness. Monthly rainfall data were collected from 20 meteorological stations, including all 17 stations located within Narathiwat Province and 3 from adjacent Yala Province. The inclusion of nearby stations aimed to enhance data coverage in border areas with similar rainfall patterns. Station selection was based on data completeness and geographic proximity to ensure reliable representation of regional rainfall variation (Fig. 2), resulting in a more robust and comprehensive dataset for time series analysis.

The raw monthly rainfall data from the 20 selected weather stations were preprocessed through spatial averaging, producing a single monthly average rainfall series representing the entire study area. All 20 weather stations were included in the dataset. Minor missing values (less than 5%) within each station's time series were filled using interpolation based on monthly or seasonal means, ensuring data completeness and continuity prior to spatial averaging. The resulting dataset, referred to as the monthly average rainfall series, was used for both model calibration and validation. This preprocessing step ensured spatial representativeness and temporal completeness, thereby preparing the dataset for subsequent time series modeling, as described in the Data Analysis section.

Data Analysis

Narathiwat Province exhibits significant seasonal rainfall variation, particularly during the northeast monsoon, without a clear long-term increasing or decreasing trend. This necessitates the use of time series models capable of capturing seasonal patterns without assuming a long-term trend component. Thus, HW-AES, which effectively captures seasonality, and ARIMA, which is widely used for time series forecasting, were selected for comparison.

Monthly rainfall data from January 2013 to December 2023 were collected from the HII, covering both typical and extreme rainfall years linked to major flood events in Narathiwat Province. This 11-year period provides sufficient data length and variability for robust time series modeling. For analytical purposes, the dataset was divided into three subsets. Dataset 1 (January 2013–December 2022; 120 data points) was used for time series decomposition and model calibration as shown in Table 2. Dataset 2 (January–December 2023; 12 data points) was used to evaluate forecast performance by comparing predicted and actual values. Dataset 3, which included the full 132-point series (2013–2023), was used to forecast monthly rainfall for 2024, resulting in 144 projected values.

Time series decomposition of Dataset 1 was performed to examine trend, seasonality, and residual components. Stationarity was assessed and adjusted where necessary, particularly for ARIMA modeling. Microsoft Excel was used for computing HW-AES parameters via recursive formulas and grid search, while IBM SPSS Statistics 25 was employed for ARIMA model development. Model accuracy was assessed using MAPE, RMSE, and the absolute difference between predicted and observed rainfall. MAPE provides an interpretable percentage error suitable for comparison across varying rainfall volumes, while RMSE captures the magnitude of errors and is especially useful in flood-prone regions like Narathiwat. These complementary

metrics guided the selection of the best-performing model, which was subsequently applied to Dataset 3 for forecasting rainfall in 2024.

In the decomposition process, the monthly average rainfall data (Dataset 1) were separated into three main components using the AHW method: level (the baseline smoothed value), trend (the direction and strength of change over time), and seasonality (repeating fluctuations across months). These components were manually computed in Excel using recursive formulas. Visual interpretation of the plots was performed to identify trend and seasonal patterns, as no statistical decomposition tools were used. These findings further confirmed the appropriateness of the HW-AES model for datasets with strong seasonal components and stable long-term trends. For ARIMA modeling, the stationarity of the series was assessed using the Augmented Dickey-Fuller (ADF) test in SPSS, with seasonal differencing applied where necessary to stabilize the mean and variance across time.

Research Tools

In this study, statistical analysis and forecasting were performed using Microsoft Excel and IBM SPSS Statistics version 25. Microsoft Excel was used to compute and evaluate the HW parameters. Specifically, recursive formulas were implemented manually to generate forecasts for different parameter sets. A grid search was conducted by systematically varying α, β, and γ from 0.001 to 1.000. Forecasting errors were calculated using RMSE and MAPE within Excel to identify the parameter combination that minimized the forecasting error. IBM SPSS Statistics was used for advanced statistical modeling, specifically for developing and evaluating ARIMA models.

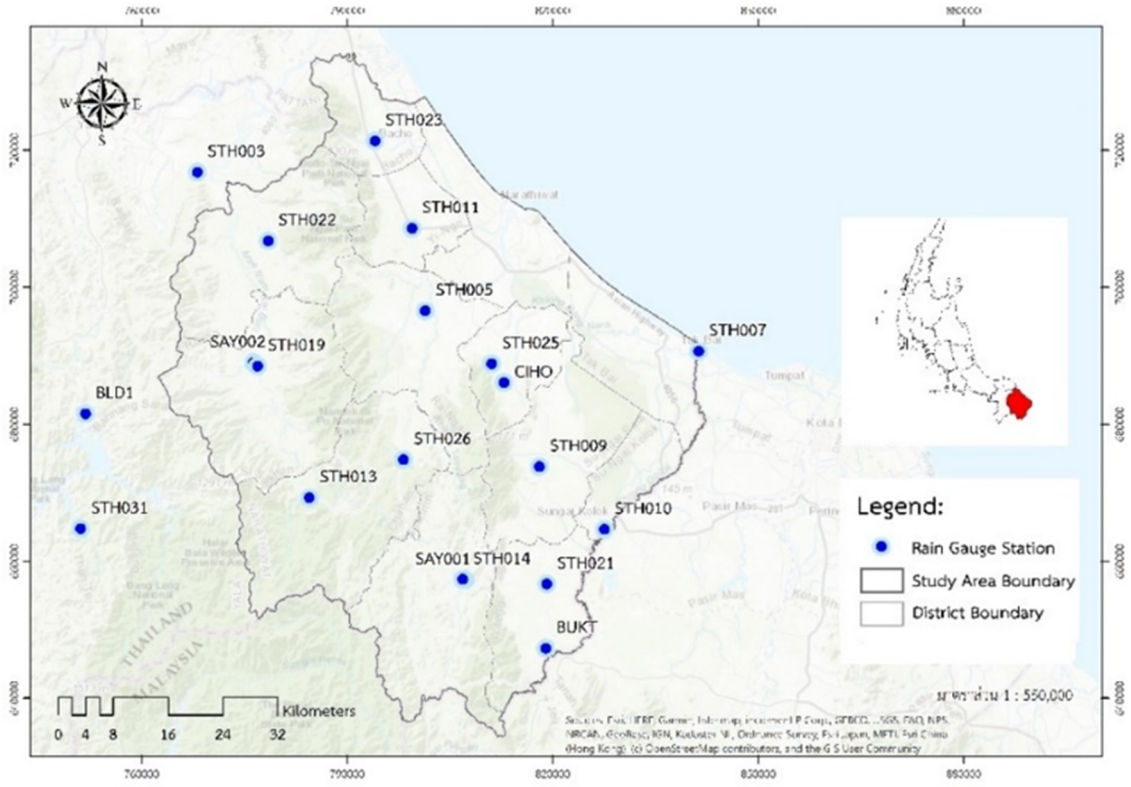


Figure 2 A map showing the locations of the weather stations used in the study

Table 2

Dataset 1 - Rainfall Data from January 2013 to December 2023

Rainfall Data (Unit: Millimeters)											
Month/ Year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Jan	73.91	105.61	163.63	344.46	215.94	115.31	39.59	301.75	35.92	344.53	344.53
Feb	195.73	3.13	7.23	87.06	37.85	70.33	45.05	132.10	2.25	591.77	182.62
Mar	24.37	72.37	17.37	6.65	52.22	52.80	42.98	24.37	130.77	183.58	39.58
Apil	77.42	64.05	35.51	7.22	79.22	107.81	71.93	82.47	143.40	189.68	62.76
May	86.37	115.79	92.98	33.57	91.02	98.60	186.96	138.43	24.34	208.49	142.58
June	52.66	101.79	33.82	59.81	50.18	72.77	241.33	269.60	230.79	209.53	197.57
July	55.61	82.54	59.71	57.31	61.13	85.50	129.65	257.42	141.27	183.03	147.99
Aug	112.15	133.59	72.07	50.55	45.73	70.87	136.64	271.54	252.02	214.87	257.38
Sep	78.57	128.78	176.07	74.77	58.13	129.36	156.87	279.04	130.53	206.24	221.91
Oct	147.79	282.96	239.32	121.76	99.73	160.73	195.04	221.85	167.98	293.48	283.24
Nov	134.99	323.75	328.64	140.30	474.51	239.40	397.72	311.06	300.44	414.56	425.98
Dec	173.72	568.28	171.47	368.71	311.89	318.15	295.88	539.85	438.16	707.74	670.66

Statistical Analysis

Holt-Winters Model

The AHW exponential smoothing method decomposes the time series into three key components: the level (average value), trend (general direction), and seasonal variations (regular fluctuations occurring within specific periods). These components are continually updated and smoothed using parameters α, β, and γ, which are optimized based on historical data to minimize forecast errors. The equations governing these components are expressed as follows (1) – (5):

$$L_t = \alpha\left(\frac{Y_t}{S_{t-m}}\right)\left(1-\alpha\right)\left(L_{t-1}+T_{t-1}\right) \quad (1)$$

$$T_t = \beta\left(L_t - L_{t-1}\right)+\left(1-\beta\right)T_{t-1} \quad (2)$$

$$S_t = \gamma\left(\frac{Y_t}{L_t}\right)+ (1-\gamma)\, S_{t\text{-}m} \quad (3)$$

$$\hat{Y}_t = (L_t + T_t)\ \text{x}\ S_t \quad (4)$$

$$Residual = \ Y_t - \hat{Y}_t \quad (5)$$

where Lt is the level; Tt is the trend; St is the seasonal; Yt is the value from the given data, while t is the time period for the component of L_t, T_t, S_t, and Y_t, $\widehat{Y}_t$ is the forecast value of a period ahead. Additionally, α: level ($0<\alpha<1$), β: trend ($0<\beta<1$) and γ: seasonal are smoothing coefficients. m is the forecast period.

ARIMA Model

Non-stationary time series data can be effectively modeled using the Seasonal Autoregressive

Integrated Moving Average: SARIMA model, denoted as ARIMA (p, d, q) $(\mathrm{P}, \mathrm{D}, \mathrm{Q})$ where s is the seasonal period. This model combines both non-seasonal and seasonal components and includes autoregressive: AR, differencing (I), and moving average (MA) terms. The general form of the SARIMA model can be expressed as equation (6):

$$\boldsymbol{\phi}_p(\boldsymbol{B})\Phi_p\left(\boldsymbol{B}^s\right)(1-\boldsymbol{B})^d\left(1-\boldsymbol{B}^s\right)^D \boldsymbol{Y}_t = \boldsymbol{\theta}_q(\boldsymbol{B})\Theta_Q\left(\boldsymbol{B}^s\right)\boldsymbol{\varepsilon}_t \quad (6)$$

where $\boldsymbol{\phi}_p(\boldsymbol{B})$ and $\boldsymbol{\theta}_q(\boldsymbol{B})$ are non-seasonal autoregressive polynomial of order p and q, respectively; $\Phi_P(B^S)$ and $\Theta_Q(B^S)$ are the seasonal autoregressive polynomial of order P and Q, respectively; Y_t is the observed time series at time t; B is the backshift operator, defined as $B^kY=Y_{t-k}$, d is the degree of non-seasonal differencing: D is the degree of seasonal differencing. ε_t is white noise (error term) at time t.

Measuring Forecast Error

The error measurement component is important to measure the accuracy and the model performance of rainfall forecast data. The standard statistical parameter of MAPE and RMSE were used to measure the accuracy of the HW method. The equations are shown below (7) – (8):

MAPE Calculation

$$\boldsymbol{MAPE} = \frac{1}{\boldsymbol{n}}\sum_{t=1}^{n}\left(\frac{\left|\boldsymbol{Y}_t - \hat{\boldsymbol{Y}}_t\right|}{\boldsymbol{Y}_t}\right)\times 100 \quad (7)$$

RMSE Calculation

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{\boldsymbol{n}}\sum_{t=1}^{n}\left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2} \quad (8)$$

Given n is the value of total observations, Y_t is the actual value and $\hat{Y}_t$ is the forecast value of period t.

Result

Time Series Decomposition and Statistical Characteristics

Figure 3 presents the decomposition of monthly average rainfall data from January 2013 to December 2023 (n=132) using the HW-AES method. This analysis revealed clear seasonal patterns with consistent annual cycles, especially with prominent peaks during the year-end monsoon period, which reflects the climatic behavior in Narathiwat Province. The trend component showed minimal long-term variation, confirming the absence of a significant increasing or decreasing trend over the observed period. The residual component exhibited irregular fluctuations with no systematic pattern, suggesting that the model effectively captured the underlying structures of the rainfall series.

To further support this decomposition, descriptive statistics were computed. The mean monthly rainfall was 293.70 mm, with a standard deviation of 147.35 mm, a minimum of 37.50 mm, and a maximum of 648.30 mm. The coefficient of variation (CV) was approximately 50.2%, indicating high dispersion and irregularity typical of rainfall in monsoon-influenced regions. These characteristics validate the choice of AHW model, which is appropriate for time series with strong seasonality and relatively stable trends.

Additionally, the stationarity of the dataset was assessed before applying the ARIMA model. The Augmented Dickey-Fuller: ADF test confirmed that the raw rainfall series was non-stationary in mean due to its strong seasonal structure. After applying seasonal differencing (d=1, D=1, seasonal period=12), the series met stationarity assumptions. The decomposition in Figure. 3 further visually supports this by showing stable seasonality and a lack of pronounced trend. These findings justify the application of both HW and seasonal ARIMA models in forecasting rainfall patterns in the study area.

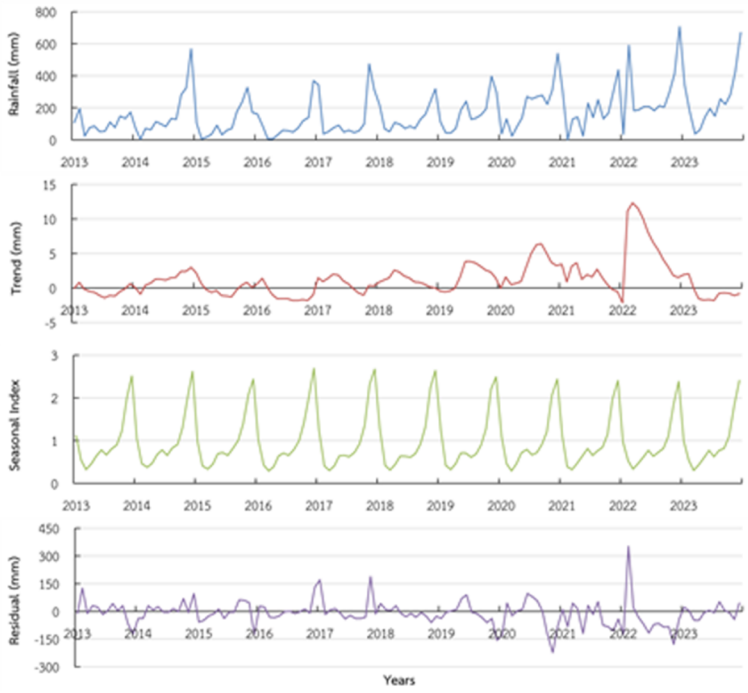


Figure 3 Decomposition of Monthly Rainfall Data Using Holt-Winters Additive Exponential Smoothing Method

Forecast Model Determination using the Exponential Smoothing Method

The monthly rainfall data exhibits significant seasonal patterns without a clear long-term trend. Seasonal components are particularly strong in the last quarter of each year, consistent with the monsoon period. Based on this, the AHW Model was selected for its effectiveness in capturing seasonality in time series data. The optimization of HW parameters was conducted through a grid search process in Microsoft Excel, which systematically tested all combinations of α, β, and γ within the range of 0.001 to 1.000. Recursive formulas were used to calculate forecasted values for each parameter set. The model's performance was evaluated using RMSE and MAPE, and the parameter combination yielding the lowest error values (α=0.2, β=0.05, and γ=0.15) was selected. The model effectively captured seasonal variations while minimizing forecasting errors, aligning with findings from Nurhamidah et al. (2020), who applied the additive HW method to passenger time series data and demonstrated its ability to accurately model trend and seasonality.

Additionally, a sensitivity analysis was performed using the optimized parameter set (α=0.20, β=0.05, γ=0.15) to examine model responsiveness to parameter variation. Model performance was evaluated based on RMSE and MAPE, demonstrating high sensitivity of the model to parameter variations. The obtained parameters align well with previous studies conducted in similar climatic regions, such as Wiguna et al. (2023) and Gowri et al. (2022). These studies confirmed that optimal γ (seasonality parameter) typically ranges between 0.10–0.20 for datasets with strong seasonal characteristics, consistent with this research finding (γ=0.15). Hence, the results demonstrate both theoretical

and practical consistency with existing literature in comparable regions.

Forecast Model Determination using the Box-Jenkins Method

The performance evaluation of the ARIMA (3,0,2) (2,1,1) model using the average monthly rainfall data from Narathiwat Province (2013–2023) revealed several key insights. The resulting RMSE was 100.89 mm, indicating an average prediction error within approximately 101 mm of the actual observed rainfall. The MAPE, however, was relatively high at 198.26%, suggesting substantial variability and inconsistency in predicting precise rainfall amounts, potentially influenced by extreme events or inherent data volatility. Despite these high error metrics, the model demonstrated a satisfactory fit with a stationary R-squared value of 0.442, indicating a moderate explanatory power in capturing rainfall variability. Residual analysis using the Ljung-Box Q test yielded a value of 13.105 with a p-value of 0.218, confirming no significant residual autocorrelation and suggesting adequacy of the model's specification. Moreover, inspection of the ACF and PACF plots for residuals showed that all correlations fell within acceptable confidence bounds, reinforcing the model's validity in capturing the underlying temporal dynamics of the rainfall data (Fig. 4). Nevertheless, the relatively large forecast errors highlight the need for further refinement of model parameters or consideration of alternative approaches, such as hybrid forecasting methods, to achieve more accurate predictions.

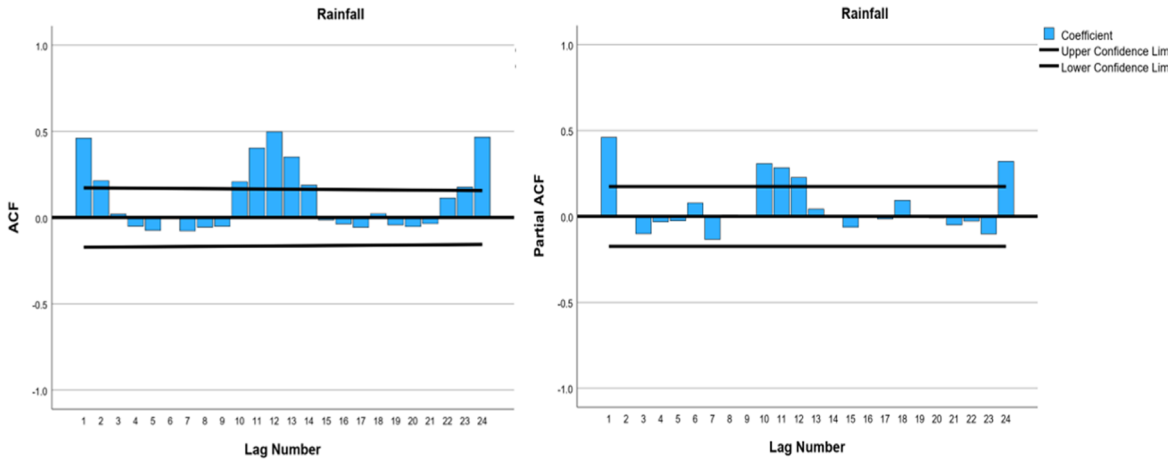


Figure 4. ACF and PACF of the Average Monthly Rainfall Time Series for Narathiwat Province

Comparison of Forecast Models

Forecasting was performed using two models: HW-AES Model and ARIMA. The AHW Model yielded a MAPE of 83.86%, while the Box-Jenkins method, the ARIMA (3,0,2) (2,1,1) model resulted in a MAPE of 198.26%. These results indicated that the AHW method provided a lower forecasting error than ARIMA (3,0,2) (2,1,1), suggesting that it is more appropriate for this dataset. In contrast, the Box-Jenkins method had the lowest MAPE of 33.71% in the study by Homdee et al. (2022), while the basic seasonal exponential smoothing method had the highest MAPE of 284.11%. Differences in data features, seasonal trends, and the stationarity of the time series in the two studies could be the cause of the disparity in the results. The RMSE was used to evaluate the forecasting error for the ARIMA (3,0,2) (2,1,1) and AHW Model. The RMSE for The AHW Model forecasting was 46.27, whereas the RMSE for the ARIMA (3,0,2) (2,1,1) model was 100.89 as shown in Table 3. Based on the evaluation of forecasting accuracy, The AHW Model demonstrates superior performance over the ARIMA (3,0,2) (2,1,1) model for this dataset. The model's ability to capture seasonality more effectively contributes to its lower RMSE, making it a more appropriate approach for long-term rainfall forecasting in regions with strong seasonal fluctuations. This finding aligns with prior studies indicating that ARIMA models effectively capture short-term variations but may require extensive seasonal adjustments to handle strong periodicity in rainfall data (Homdee et al., 2022). These findings provide valuable insights for future applications in hydrological forecasting, climate modeling, and water resource management.

Evaluation of Forecasting Errors

To further validate the forecasting accuracy, the second dataset, comprising the average monthly rainfall from January 2023 to December 2023 (12 months), was utilized to compare actual observed values with the forecasted monthly rainfall for the same period. The results of this verification indicate that the HW-AES method showed the smallest deviation from actual observed values, as summarized in Table 4. The HW-AES method showed an absolute different of 116.65 mm between actual and forecasted rainfall. The Box-Jenkins method exhibited an absolute different of 128.87 mm between actual and forecasted rainfall. These results indicate that the HW-AES method proved to be the most effective in predicting monthly rainfall patterns, as evidenced by the lowest MAPE, RMSE, and smallest deviation from actual observations.

Forecast Results for Monthly Average Rainfall

Based on the analysis, the HW-AES method showed lower MAPE, RMSE, and absolute differences in the monthly average rainfall compared to the Box-Jenkins method. Therefore, it can be concluded that the HW-AES method is the best-performing model for forecasting in this dataset. Consequently, this model was applied to forecast the monthly average rainfall in Narathiwat Province from January 2013 to December 2024, covering a total of 144 forecasted, as shown in Table 5.

From Figure 5, the HW model shows closer alignment to the observed data, particularly in seasonal peaks and variability, indicating better forecasting performance than the ARIMA model.

Table 3

Mean Absolute Percent Erro: MAPE and Root Mean Square Error: RMSE of the Forecast Models

Model	MAPE	RMSE
AHW (α=0.2, β=0.05, and γ=0.15	83.86	46.27
ARIMA (3,0,2) (2,1,1) 12	198.26	100.89

Table 4

Comparison of Errors Between Actual Data and Forecasted Data

Month/Year	Actual Data	Forecasted Average Monthly Rainfall Data (Unit: Millimeters)	
		Holt-Winters' additive	Box-Jenkins
1/2023	182.62	321.08	214.34
2/2023	39.58	179.07	377.53
3/2023	62.76	88.20	174.81
4/2023	142.58	110.24	183.95
5/2023	197.57	149.61	217.34
6/2023	147.99	192.08	235.07
7/2023	257.38	152.95	201.96
8/2023	221.91	203.25	246.64
9/2023	283.24	216.44	242.06
10/2023	425.98	288.32	304.01
11/2023	670.66	469.27	424.63
12/2023	182.62	625.74	609.84
Total Rainfall	2,814.89	2,996.24	3,432.18
Difference in Rainfall Between Actual Data and Forecasted Data		**116.65**	**128.87**

Table 5

Forecasted Monthly Rainfall Data Using the Additive Exponential Smoothing Holt-Winter Method from January 2013 to December 2024 (Unit: Millimeters)

Month/Year	Additive Exponential smoothing Holt-Winter method					
	2013	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Jan	121.28	112.06	164.00	134.54	173.19	173.74
Feb	69.53	40.38	55.77	64.79	53.52	60.43
Mar	35.04	42.57	40.51	36.79	43.41	47.24
Apr	46.36	56.48	49.38	39.83	63.78	77.53
May	62.35	90.12	80.08	57.80	98.57	109.12
Jun	68.36	104.53	71.16	61.42	91.03	101.76
Jul	52.59	87.36	62.78	55.56	81.20	97.14
Aug	67.92	116.38	76.14	62.00	84.04	101.74
Sep	74.27	129.15	113.48	75.68	95.95	135.01
Oct	116.14	212.74	177.92	108.57	129.98	187.20
Nov	205.51	330.20	280.75	148.91	285.19	298.60
Dec	294.44	471.38	296.76	236.25	326.56	344.85
Sum	**1213.78**	**1793.35**	**1468.72**	**1082.14**	**1526.43**	**1734.37**
Average	**101.15**	**149.45**	**122.39**	**90.18**	**127.20**	**144.53**
Month/Year	**Additive Exponential smoothing Holt-Winter method**					
	2019	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Jan	152.40	167.46	290.88	160.50	321.08	257.60
Feb	49.51	86.36	83.57	239.62	179.07	77.23
Mar	39.09	48.81	85.47	161.50	88.20	46.03
Apr	59.76	78.48	130.32	220.87	110.24	66.06
May	116.71	126.28	143.28	276.21	149.61	98.95
Jun	150.25	172.76	197.37	325.81	192.08	118.30
Jul	132.37	177.00	156.66	252.99	152.95	102.11
Aug	147.82	214.44	199.38	280.11	203.25	128.49
Sep	188.54	276.48	204.34	290.76	216.44	134.00
Oct	254.86	342.51	251.02	374.94	288.32	185.74
Nov	435.61	533.28	403.98	592.75	469.27	402.42
Dec	452.84	619.46	479.50	747.71	625.74	374.96
Sum	**2179.76**	**2843.32**	**2625.77**	**3923.77**	**2996.24**	**1991.88**
Average	**181.65**	**236.94**	**218.81**	**326.98**	**249.69**	**165.99**

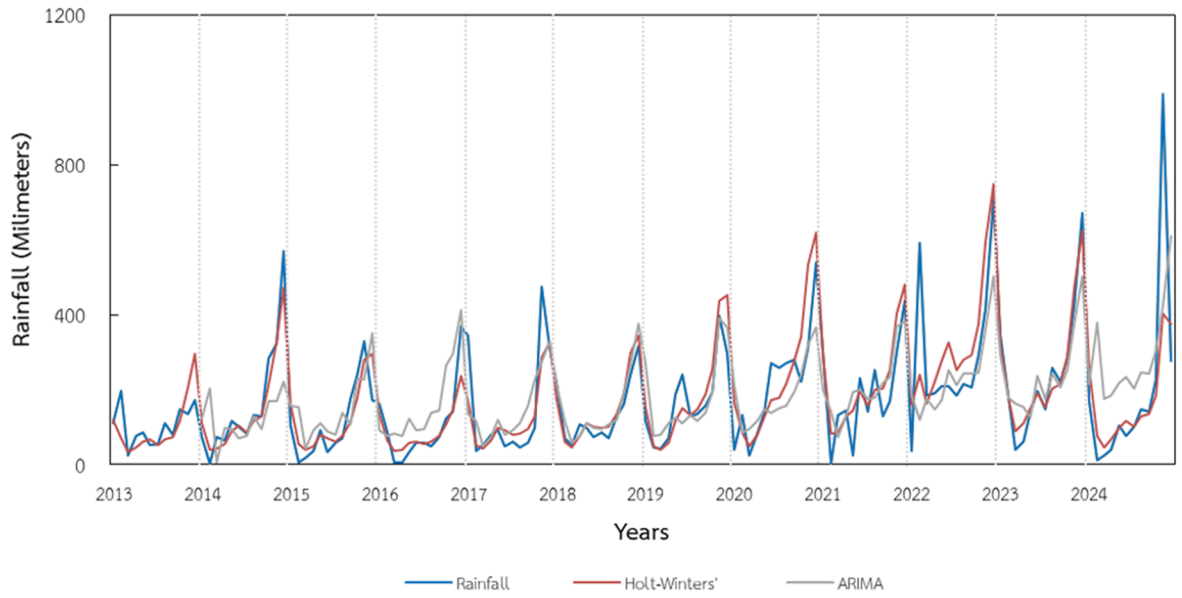


Figure 5 Comparison of observed monthly rainfall and forecasted values from Holt-Winters' additive exponential smoothing and ARIMA (3,0,2) (2,1,1) models from 2013 to 2024.

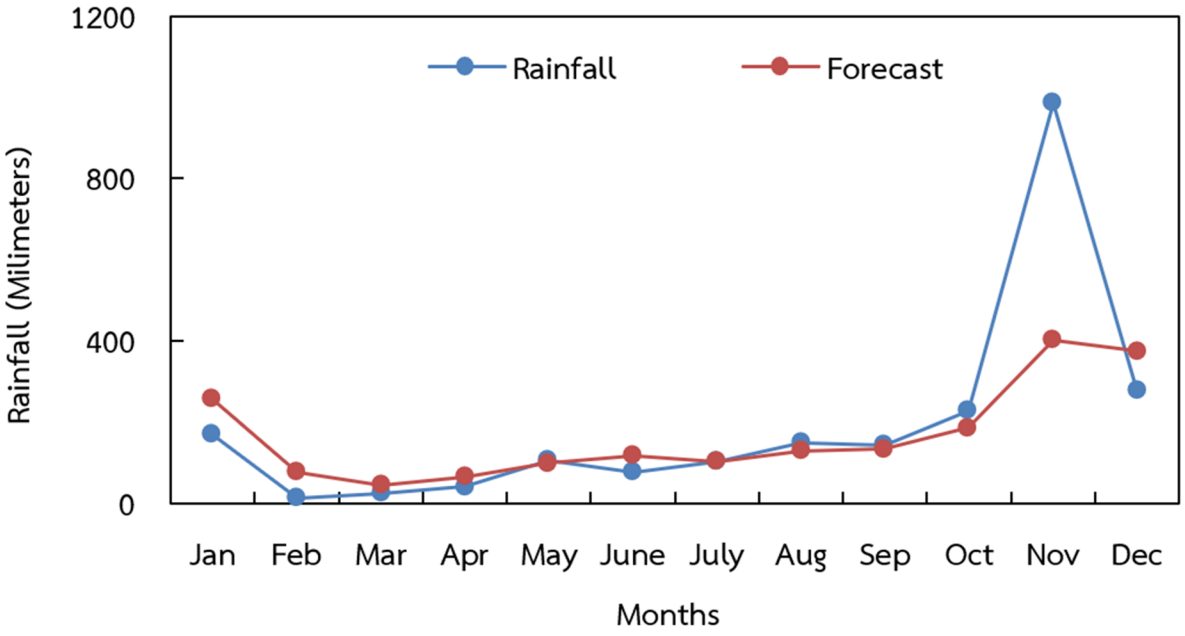


Figure 6 Monthly average rainfall in 2024 based on forecasting using the positive Holt-Winters exponential smoothing method.

From Figure 6, the forecast of the monthly average rainfall for the next 12 months in 2024, based on the HW-AES method, reveals that from January to March, the rainfall tends to decrease. In March, the monthly average rainfall is forecasted to be 46.03 mm, which is the lowest value. From April to June, the rainfall is forecasted to increase, with values of 66.06, 98.95 and 118.30 mm, respectively. The forecast for the period from July to November shows an increasing trend in monthly average rainfall, with the highest value forecasted for November at 402.42 mm.

Discussions

This study evaluated the performance of HW-AES and the ARIMA method for forecasting monthly average rainfall in Narathiwat Province. The findings indicate that the HW-AES method produced the lowest forecasting errors, making it the best-performing model for this dataset. Specifically, the HW model achieved the MAPE of 83.86%, significantly lower than the ARIMA model (MAPE=198.26%). Additionally, the RMSE of HW was 46.27 mm, with an absolute difference of 100.89 mm between observed and forecasted rainfall values. These results highlight the effectiveness of seasonal smoothing techniques in capturing rainfall variability in the region. Using historical monthly rainfall data of Narathiwat Province from January 2013 to December 2023, the HW-AES model was applied to forecast monthly rainfall for January to December 2024. The lowest forecasted rainfall occurred in March 2024, with a predicted value of 46.03 mm. It was also found that the rainfall from April to June was forecasted to increase, with values of 66.06, 98.95 and 118.30 mm, respectively. The increasing trend was forecasted from July to November, with the highest value in November 2024 at 402.42 mm. These results are consistent with the Meteorological Department's 2024 forecast, which predicted the potential impact of El Niño-Southern Oscillation: ENSO on Thailand's climate. The report revealed that rainfall in Thailand is expected to decrease from March to May 2024, followed by an increase from April to June 2024. Additionally, from July to September 2024, the development of La Niña is anticipated, which could result in above-average rainfall levels. These findings indicate that the HW-AES model outperforms the Box-Jenkins model in terms of both forecasting accuracy and error minimization for this dataset. The superior performance of HW can be attributed to the clear seasonal pattern observed in the dataset, which is effectively captured by the model's seasonal component. This result is consistent with the findings of Ghayyib et al. (2024) in Karbala, Iraq, and Tan & Kamisan (2022) in Senai, Johor, who also concluded that the HW method yielded better accuracy in datasets with strong seasonal characteristics. Therefore, the AHW model is recommended for forecasting monthly rainfall in Narathiwat Province, as it produced the lowest forecasting errors and effectively captured expected seasonal patterns-lowest rainfall in March and highest in November 2024. The model was applied to forecast monthly rainfall for the year 2024, and the results were consistent with the region's climatological behavior, confirming its suitability for seasonal rainfall prediction which also aligned with national climate forecasts related to ENSO-driven rainfall variability. However, it is important to note that this study was conducted specifically for Narathiwat Province. Future research should investigate hybrid forecasting models that integrate machine learning with statistical approaches. Additionally, incorporating climate indices (e.g., ENSO) could improve predictive accuracy for long-term rainfall forecasting.

Recommendation

While the HW-AES model demonstrates strong performance for seasonal rainfall forecasting, several limitations should be considered when applying it in practice. First, the model is highly sensitive to parameter settings (α, β, and γ), requiring frequent recalibration and sensitivity analysis as new data become available. Second, HW-AES is less effective in forecasting extreme or anomalous events that fall outside the historical data range, such as sudden climatic shifts or extreme rainfall influenced by phenomena like ENSO or La Niña. Lastly, since HW-AES does not incorporate external climatic factors (e.g., temperature, humidity, or atmospheric pressure), it may benefit from integration with other models or additional meteorological data to improve robustness and forecasting accuracy in operational contexts.

References

Aini, N. N., Iriany, A., Nugroho, W. H., & Wibowo, F. L. (2022). Comparison of adaptive Holt-Winters exponential smoothing and recurrent neural network model for forecasting rainfall in Malang City. ComTech: Computer, *Mathematics and Engineering Applications, 13*(2), 87–96. https://doi.org/10.21512/comtech.v13i2.7570

Brito, G. R. A., Villaverde, A. R., Quan A. L., & Pérez, M. E. R. (2021). Comparison between SARIMA and Holt–Winters models for forecasting monthly streamflow in the western region of Cuba. *SN Applied Sciences, 3,* 671. https://doi.org/10.1007/s42452-021-04667-5

Department of Disaster Prevention and Mitigation. (2023). *Flood, windstorm, and landslide disaster response plan for Narathiwat Province, 2023*. Retrieved from https://backoffice minisitedisaster.go.th/apiv1/apps/minisite_e17/204/content/3107/download?filename=87ddea98ba65edeb4970125534ceff22.pdf (in Thai)

Ghayyib, M. N., Abdulrazzaq, A. A., & Adnan, F. A. (2024). Rainfall forecasting with time series model in Karbala, Iraq. *Al-Kut University College Journal, Special Issue*, 505-514. Retrieved from https://js.alkutcollege.edu.iq/article_24250_dbe336300b4afc34f03f5b06a8da18f0.pdf

Gowri, L. Manjula, K. R., Sasireka, K., & Deepa, D. (2022). Assessment of statistical models for rainfall forecasting using machine learning technique. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering, 6*(2), 51-67. https://doi.org/10.22115/SCCE.2022.304260.1363

Homdee, T., Senawang, W., Maneeakul, P., Paengnawin, T., & Krutsaeng-anant, P. (2022). Forecasting monthly rainfall in Nakhon Phanom Province at the Lower Namkam Project Station. *27th National Civil Engineering Conference, August 24-26, 2022* (pp. 1-6). Chiang Rai: National Civil Engineering. (in Thai)

Hydro - Informatics Institute. (2023). *Rainfall data*. Retrieved from https://data.hii.or.th/ dataset/hii-rainfall (in Thai)

Khan, M.M.H., Mustafa, M.R.U., Hossain, M.S., Shams, S. & Julius, A.D. (2023). Short-Term and Long-Term Rainfall Forecasting Using ARIMA Model. *International Journal of Environmental Science and Development, 14*(5), 292-298. Retrieved from https://pure.hw.ac.uk/ws/portalfiles/portal/103987196/IJESD-V14N5-1447.pdf

Narathiwat Provincial Office. (2023). *Narathiwat Provincial development plan 2023-2027 (*Rev. ed.). Retrieved from http://www2.narathiwat.go.th/nara2016/files/ com_news_develop_plan/2023-01_09cea4479f3f3b8.pdf (in Thai)

Poh, L. C., & Norrulashikin, S. M. (2022). Forecasting amount of rainfall in peninsular malaysia using holt-winter method and Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA). *Proceedings of. Science and Mathematics, 10*, 142 – 152. Retrieved from https://science.utm.my/procscimath/wp-content/uploads/sites/605/2022/10/142-152-Lee-Chi-Poh_Siti-Mariam-Norrulashikin.pdf

Sopipan, N. (2014). Forecasting rainfall in Thailand: A case study of Nakhon Ratchasima Province. *International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Marine Engineering, 8*(11), 712-716. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/275713804_Forecasting_Rainfall_in_Thailand_ A_Case_ Study_of _Nakhon_Ratchasima_Province (in Thai)

Tan, T. J., & Kamisan, N. A. B. (2022). Rainfall forecasting with time series model in Senai, Johor. *Proceedings of Science and Mathematics, 11*, 169–178. Retrieved from https://science.utm.my/procscimath/wp-content/uploads/sites/605/2022/10/169-178-Tan-Theng-Joe_Nur-Arina-Bazilah-Kamisan.pdf (in Thai)

Tee H.Y. & Mansor R. (2024). Forecasting rainfall volume in Selangor with combined ARIMA model. *Journal of Computational Innovation and Analytics, 3*(1), 83-103. https://doi.org/10.32890/ jcia2024.3.1.5

Thai Meteorological Department. (2024). *Forecast of the impacts from the ENSO phenomenon in 2024.* Retrieved from https://www.tmd.go.th/climate/ El-Nino-La-Nina (in Thai)

Thai Meteorological Department. (2024). *Rainfall outlook for Thailand 2024*. Retrieved from https://www.tmd.go.th/ (in Thai)

Waqas, M., Wannasingha Humphries, U., & Hlaing, P. T. (2024). Time series trend analysis and forecasting of climate variability using deep learning in Thailand. *Results in Engineering, 24*, 102997. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024012520

Wiguna, I. K. A. G., Utami, N. L. P. A. C., Parwita, W. G. S., Udayana, I. P. A. E. D., & Sudipa, I. G. I. (2023). Rainfall forecasting using the Holt-Winters exponential smoothing method conceptual framework. *Journal Info Sains : Informatikan dan Sains, 13*(1), 15-23. Retrieved from https://ejournal.seaninstitute.or.id /index.php /InfoSains/article/download/2656/2007

Wutthiwongyothin, S., Srijumpa, K., & Sopha, K. (2020). Estimation of missing daily rainfall data using the quantile method. *25th National Civil Engineering Conference* (p. 1-7). Chonburi: National Civil Engineering (in Thai)

การพัฒนาตำรับยาธาตุอบเชยในรูปแบบผงฟองฟู่ และการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของตำรับยาธาตุอบเชยด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

Development of Effervescent Powder Containing Ya Thatu Obchey Remedy and Quality Control by High Performance Liquid Chromatography

เกศชฎา โชติพูล[1]* และอรุณรัตน์ แซ่อู้[1]
Ketchada Chotpool[1]* and Arunrat Saeu[1]
[1]สาขาการแพทย์แผนไทย วิทยาลัยเฮลท์ แอนด์ เวลเนส มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
[1]Thai Traditional Medicine Program, College of Health and Wellness,
Dhurakij Pundit University
*Corresponding author: ketchada.cho@dpu.ac.th
Received: May 15, 2025
Revised: June 14, 2025
Accepted: June 20, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตำรับยาธาตุอบเชยในรูปแบบผงฟองฟู่ และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผงฟองฟู่ที่มีส่วนผสมของสารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย ซึ่งปกติยาธาตุอบเชยจะถูกเตรียมในรูปแบบยาต้ม แต่มีข้อจำกัดเรื่องรสชาติ กลิ่น และความคงสภาพ มีสรรพคุณบรรเทาท้องอืดท้องเฟ้อ การวิจัยได้เตรียมสูตรต้นแบบทั้งหมด 4 สูตร ผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยถูกพัฒนาขึ้นจากสูตรต้นแบบ F1 ซึ่งมีคุณสมบัติการไหลในระดับดีเยี่ยม และละลายได้ดีที่สุด ด้วยวิธีแกรนูลเปียกโดยใช้ Citric acid Tartaric acid และ Sodium bicarbonate เป็นสารก่อให้เกิดฟองฟู่ ผงฟองฟู่สารสกัดตำรับธาตุอบเชยมีสีน้ำตาลอมแดง เมื่อนำผงยาละลายน้ำสามารถเกิดปฏิกิริยาฟองฟู่ได้ทันที เวลาในการเกิดฟองฟู่เฉลี่ยเท่ากับ 50.67±2.49 วินาที มีกลิ่นหอม รสเปรี้ยวเล็กน้อย เมื่อเตรียมเสร็จบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดถุงด้วยความร้อนเก็บในโถแก้วดูดความชื้นเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าเวลาในการเกิดฟองฟู่เฉลี่ยเท่ากับ 55.1±1.87 วินาที และไม่พบการเกาะกันของผงยา วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผงฟองฟู่ด้วยวิธี HPLC แสดง retention time ที่เวลา 4.10 ที่ตรงกับสารมาตรฐาน Gallic acid ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชยที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีสารสำคัญคือ Gallic acid เป็นส่วนประกอบในตำรับและสามารถใช้สารสำคัญนี้เป็นสารบ่งชี้ในการควบคุมมาตรฐานผลิตภัณฑ์ต่อไป

คำสำคัญ: ผงฟองฟู่ ยาธาตุอบเชย โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

Abstract
This study aimed to develop an effervescent powder formulation of Ya Thatu Obchey and to analyze the chemical quality of the effervescent powder containing the extract of the remedy. Traditionally, Ya Thatu Obchey is prepared as a decoction, which has limitations in terms of taste, odor, and stability. This remedy is used to relieve bloating and flatulence. The research developed four prototype formulations. The effervescent powder of the Ya Thatu Obchey extract was developed from the F1 prototype, which had excellent flow properties and the best solubility, using wet granulation with citric acid, tartaric acid, and sodium bicarbonate as effervescent agents. The resulting effervescent powder of the Ya Thatu Obchey extract exhibited a reddish-brown color, immediate effervescence upon dissolution in water, a pleasant aroma, and a slightly sour taste, and the average effervescence time was 50.67±2.49 seconds. After preparation, the powder was packaged in heat-sealed aluminum foil bags and stored in a moisture-absorbing glass jar for 10 weeks. The average effervescence time was 55.1±1.87 seconds, and no caking of the powder was observed. Chemical quality analysis of the effervescent powder using HPLC showed a retention time at 4.10, consistent with the gallic acid standard. Therefore, it can be concluded that the developed effervescent powder of Ya Thatu Obchey extract contains gallic acid as a key component, which can be used as a marker for product quality control.

Keywords: effervescent, Ya Thatu Obchey Remedy, high performance liquid chromatography

บทนำ

ยาธาตุอบเชย หรือเรียกว่า ยาธาตุเปลือกอบเชย จัดเป็นยาสมุนไพรรักษากลุ่มอาการในระบบทางเดินอาหาร อยู่ในบัญชียาหลักแห่งชาติ มีสรรพคุณบรรเทาท้องอืดท้องเฟ้อ ประกอบด้วยสมุนไพรหลายชนิด ดังนี้ เปลือกอบเชยเทศ (*Cinnamomum verum* J. Presl.) มีสรรพคุณขับผายลม บำรุงธาตุ เปลือกสมุลแว้ง (*Cinnamomum bejolghota* (Buch.-Ham.) Sweet) มีสรรพคุณขับลมในลำไส้ แก้ธาตุพิการ ผลกระวาน (*Amomum krervanh Pierre* ex Gagnep) ขับเสมหะ โลหิต และลม ดอกกานพลู (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry) มีสรรพคุณบำรุงธาตุ แก้ปวดท้อง แน่น จุกเสียด รากชะเอมเทศ (*Glycyrrhiza glabra* L.) ทำให้ชุ่มชื้น แก้เจ็บคอ แก้ไอ เกล็ดสะระแหน่ (*Mentha × piperita* L.) แก้ปวดท้อง ขับลมในกระเพาะลำไส้ แก้จุกเสียดแน่นเฟ้อ และการบูร (*Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl.) มีสรรพคุณแก้ปวดท้อง แก้จุกเสียด แก้ธาตุพิการ เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างยาไทย และสรรพคุณยา 9 รสตามทฤษฎีการแพทย์แผนไทย สามารถแบ่งตามหน้าที่สมุนไพรในตำรับ ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มยารสเผ็ดร้อน ได้แก่ ผลกระวาน ดอกกานพลู เปลือกสมุลแว้ง เปลือกอบเชย การบูร ทำหน้าที่เป็นตัวยาตรงที่มีสรรพคุณบำบัดโรคหรือไข้โดยตรง (2) กลุ่มยารสหวานได้แก่ ชะเอมเทศ ทำหน้าที่เป็นตัวยาช่วยที่มีสรรพคุณแก้โรคแทรกซ้อน หรือโรคตาม (3) กลุ่มยารสหอมเย็น ได้แก่ เกล็ดสะระแหน่ ทำหน้าที่เป็นตัวยาคุมที่ทำหน้าที่คุมฤทธิ์ของตัวยาสำคัญเพื่อให้เป็นไปตามที่ต้องการ (Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, 2021) ยาธาตุอบเชยเตรียมได้โดยการต้มเคี่ยว หลังจากนั้นจึงเติมเกล็ดสะระแหน่ การบูรภายหลัง การเตรียมแบบนี้ทำให้น้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่ระเหยออกไปเกือบหมด เหลือแต่สารจำพวกเรซินหลอมละลายออกมาขณะต้ม (Temsiriruekkul, 2016) สูตรตำรับในน้ำ 100 มิลลิลิตร ประกอบด้วย เปลือกอบเชยเทศ เปลือกสมุลแว้ง ลูกกระวาน ดอกกานพลู รากชะเอมเทศ หนักสิ่งละ 800 มิลลิกรัม เกล็ดสะระแหน่ และการบูร หนักสิ่งละ 50 มิลลิกรัม รับประทานครั้งละ 15–30 มิลลิลิตร

(1–2 ช้อนโต๊ะ) วันละ 3 ครั้ง หลังอาหาร ควรระวังการใช้ยาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของตับ ไต เนื่องจากอาจเกิดการสะสมของการบูรและเกิดพิษได้ (National Drug System Development Committee, 2016) จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีในตำรับยาธาตุอบเชย พบสารบ่งชี้ดังนี้ สาร cinnamic acid ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของ H+/K+ - ATPase เกี่ยวข้องกับการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร และยับยั้งการเจริญของ *Helicobacter pyroli* ที่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร สาร glycyrrhizin มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ใช้รักษาแผลในระบบทางเดินอาหาร พบว่า สารสกัดจากรากชะเอมเทศในขนาดความเข้มข้น 1 mg/mL สามารถยับยั้งการเกาะติดของเชื้อ *H. pylori* ที่เนื้อเยื่อของกระเพาะอาหารคนได้ (Wittschier, 2009) สารสกัดกานพลูขนาด 700 มก./กก. ลดจำนวนแผล และความกว้างของขนาดแผลในหนูทดลองได้ (Perry, 2011) และมีสาร eugenol มีฤทธิ์ในการปกป้องเยื่อบุทางเดินอาหาร (Siniltae, 2019) และยังตรวจพบสาร gallic acid (Tashtoush et al., 2016) ยาธาตุอบเชยมีประสิทธิผลและความปลอดภัยต่อภาวะ functional dyspepsia ไม่แตกต่างจากยา simethicone (Krittasilp et al, 2006)

ตามทฤษฎีการแพทย์แผนไทยได้กล่าวว่า ร่างกายของมนุษย์ประกอบด้วยธาตุทั้ง 4 คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ ซึ่งธาตุทั้ง 4 ต้องอยู่ในภาวะสมดุล ร่างกายจึงจะเป็นปกติ ไม่เจ็บป่วย โดยธาตุดิน คือ องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเป็นของแข็ง มีความคงรูป เช่น อวัยวะต่าง ๆ ธาตุน้ำ คือ องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเป็นน้ำ เป็นของเหลว มีคุณสมบัติ ไหลไปมา เช่น น้ำเลือด น้ำลาย น้ำดี เป็นต้น ธาตุลม คือ องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต มีลักษณะเคลื่อนไหวได้ มีคุณสมบัติคือ ความเบาเป็นสิ่งที่มีพลัง ทำให้ร่างกายมีการเคลื่อนไหว เดิน นั่ง นอน คู้ เหยียดได้ ธาตุไฟ คือ องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต มีลักษณะที่เป็นความร้อน คุณสมบัติเผาผลาญให้แหลกสลาย ไฟทำให้ลมและน้ำในร่างกายเคลื่อนที่ด้วยพลังแห่งความร้อนอันพอเหมาะ ไฟทำให้ดินอุ่น คือ อวัยวะต่าง ๆ ไม่เน่า จะขาดสิ่งใดสิ่งหนึ่งไม่ได้ หากมีความแปรปรวน เสียสมดุลขึ้น ได้แก่ หย่อน กำเริบ หรือพิการ จะทำให้ร่างกายไม่สบาย เกิดเป็นโรคขึ้นได้ (The Royal Institute and the Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, 2007) แพทย์แผนไทยหรือแพทย์แผนโบราณจึงต้องปรุงยาปรับธาตุหรือยาบำรุงธาตุในร่างกายเพื่อให้ธาตุต่าง ๆ แข็งแรงและเป็นปกติ ตัวอย่างอาการธาตุที่ไม่ปกติ เช่น อุจจาระหยาบ ท้องอืดท้องเฟ้อ อ่อนเพลีย อาหารไม่ย่อย เบื่ออาหาร เป็นต้น ยาธาตุอบเชยเป็นอีกหนึ่งตำรับที่ช่วยในการปรับธาตุ บำรุงธาตุ ช่วยย่อยอาหาร ใช้วิธีการต้มเคี่ยวด้วยความร้อนที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก มีข้อดี คือ ออกฤทธิ์เร็ว ดูดซึมได้ง่าย แต่มีข้อเสียเรื่องรสชาติ รวมทั้งกลิ่นของยาอาจทำให้บางคนรับประทานได้ลำบาก กรณีที่จะเตรียมเก็บไว้นาน ๆ อาจมีเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อราทำให้บูดเน่าเสียได้ง่าย สามารถแก้ไขได้ 2 วิธี คือ เติมสารกันเสีย ซึ่งอาจไม่เป็นผลดีเท่าที่ควร หรือเคี่ยวให้เข้มข้นมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น เคี่ยวจนเหลือน้ำหนัก 1 ใน 5 แต่ต้องระวังไม่ให้ไหม้และจดน้ำหนักสุดท้ายที่ได้

เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องรสชาติ กลิ่น และการเก็บรักษายาให้คงสภาพ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาตำรับยาธาตุอบเชยให้อยู่ในรูปแบบผงฟองฟู่ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการรับประทาน สะดวกในการพกพา เมื่อยาผงฟองฟู่แตกตัวอยู่ในรูปสารละลาย จะง่ายต่อการดูดซึม ช่วยให้ยาถูกดูดซึมได้ทันที ไม่ตกค้างในทางเดินอาหาร และควบคุมคุณภาพของผงฟองฟู่ตำรับยาธาตุอบเชยโดยใช้วิธีวิเคราะห์สารบ่งชี้ในตำรับด้วยวิธี HPLC--High Performance Liquid Chromatography เพื่อให้ผงฟองฟู่ตำรับยาธาตุอบเชยได้มาตรฐาน การพัฒนางานวิจัยนี้ยังสร้างมูลค่าผลิตภัณฑ์ตำรับยาสมุนไพรในรูปแบบใหม่ เพื่อใช้ในประเทศและสามารถส่งออกต่างประเทศได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาตำรับยาธาตุอบเชยในรูปแบบผงฟองฟู่ และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผงฟองฟู่ที่มีส่วนผสมของสารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผงฟองฟู่ (effervescent powder) นิยมที่ใช้ทำเป็นยาทางเภสัชกรรม ประกอบด้วย สารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและคาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนต ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อการละลายของผงฟองฟู่ในน้ำอย่างรวดเร็ว และการตั้งตำรับยารูปแบบผงฟองฟู่ทำได้หลายรูปแบบ เช่น แกรนูล ยาเม็ดฟู่ โดยการต้องละลายน้ำดื่ม เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ สะดวกรวดเร็ว ปลอดภัย น่าใช้ และอายุการใช้งานที่นานขึ้น

สารที่มีฤทธิ์เป็นกรด ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟูอาจเลือกใช้ได้จาก 3 แหล่ง คือ กรด (food acids) แอซิตแอนไฮดรายด์ (acid anhydrides) และเกลือของกรด (acid salts) โดยแหล่งที่นิยมใช้แต่เดิมคือกรดที่ได้จากธรรมชาติ เช่น กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก

สารที่มีฤทธิ์เป็นด่างที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟู เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (Potassium bicarbonate) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate)

สารช่วยอื่น ๆ ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟู เช่น สารช่วยลื่น (lubricants) สารช่วยไหล (glidants) สารกันติด (antiadherants) สารยึดเกาะ (binders) สารช่วยแตกตัว (disintegrants) สารเพิ่มปริมาณ (diluents fillers) สารลดแรงตึงผิว (surfactants) สารลดฟอง (anti-foaming agents)

การเตรียมแกรนูล (Granulation) อาจเตรียมโดยวิธีแกรนูลแห้งหรือวิธีแกรนูลเปียก โดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชัน (Fluidization) การเตรียมวิธีแกรนูลแห้งโดยตอกเป็นเม็ดหลวม ๆ (slug) ซึ่งเหมาะกับสารที่ไม่สามารถเตรียมโดยวิธีแกรนูลเปียกได้ นำเม็ดที่ตอกได้มาบดย่อยขนาด ผสมสารช่วยลื่นแล้วตอกเม็ด อาจเตรียมแกรนูลของสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและด่างแยกกันหรือรวมกันก็ได้

การเตรียมโดยวิธีแกรนูลเปียก อาจทำได้ทั้งส่วนที่มีฤทธิ์เป็นกรดและส่วนที่เป็นแหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถทำแยกกันหรือทำร่วมกันก็ได้ โดยใช้น้ำ เอทานอล หรือไอโซโพรพานอล เป็นตัวทำละลาย เมื่อใช้ตัวทำละลายอื่น ที่ไม่ใช่น้ำจะไม่เกิดปฏิกิริยาฟองฟู่ (ถ้าเตรียมที่ความชื้นต่ำ) กรดซิตริกอาจละลายได้บางส่วนในเอทานอลหรือไอโซโพรพานอล และทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดเกาะเมื่อตัวทำละลายระเหยไปแล้ว กรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะเกิดฟองฟู่ขึ้นระหว่างการเตรียม ซึ่งจะต้องระมัดระวังและควบคุมขั้นตอนการเตรียมเป็นพิเศษ ผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟู่ไม่คงตัวเมื่อสัมผัสกับความชื้น ผลิตภัณฑ์ชนิดฟองฟู่ ส่วนใหญ่จะดูดความชื้นได้ดี ทำให้เกิดการเสื่อมสลายถ้าไม่ได้บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม (Harnbunyapipat, 2018)

สมมติฐานของงานวิจัย

1. สูตรที่พัฒนาจะให้คุณสมบัติการแตกตัวในเวลาที่เหมาะสม น้อยกว่า 5 นาที

2. ผงฟองฟู่ที่พัฒนาจะมี Gallic acid ซึ่งสามารถใช้เป็น marker ในการควบคุมคุณภาพได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การคัดเลือกวัตถุดิบ

สมุนไพรที่นำมาผลิตเป็นตำรับยาธาตุอบเชย ได้แก่ เปลือกอบเชยเทศ เปลือกสมุลแว้ง ลูกกระวาน กานพลู รากชะเอมเทศ เกล็ดสะระแหน่ และการบูร โดยซื้อจากร้านขายสมุนไพรจังหวัดกรุงเทพมหานครและได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเภสัชวินิจฉัย (ภาพ 1)



ภาพ 1 ลักษณะภายนอกของเครื่องยาในตำรับยาธาตุอบเชย

2. การหาขนาดของยาธาตุอบเชยต่อการรับประทาน 1 ครั้ง

ชั่งสมุนไพรในตำรับ ประกอบด้วย เปลือกอบเชยเทศ เปลือกสมุลแว้ง ลูกกระวาน ดอกกานพลู รากชะเอมเทศ หนักอย่างละ 8 กรัม ทุบรวมกันพอแตกใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 1,000 มิลลิลิตร ต้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นจนอุณหภูมิลดลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส เติมเกล็ดสะระแหน่ และการบูร หนักอย่างละ 0.5 กรัม คนให้ละลาย จากนั้นใช้วิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying หรือ lyophilization) เพื่อทำการระเหยน้ำออกให้หมดจะได้สารสกัดยาธาตุอบเชยในรูปแบบผงแห้ง สังเกตลักษณะของผงยาและบันทึกผล จากนั้นนำผงยาที่ได้มาชั่งน้ำหนัก และเทียบบัญญัติไตรยางค์กับปริมาณยาที่รับประทานต่อ 1 ครั้ง คือ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เพื่อคำนวณหาปริมาณสารสกัดผงยาธาตุอบเชยที่รับประทานต่อ 1 ครั้ง

3. การเตรียมสูตรต้นแบบผงฟองฟู่

ชั่งสารตามน้ำหนักของแต่ละสูตรตำรับดังตาราง 2 โดยบดผสมสารด้วยโกร่งบดยา ผสมเอทานอล 5 มิลลิลิตร จนปั้นเป็นก้อนได้ แร่งด้วยตะแกรง เบอร์ 16 อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที บดให้มีขนาดเล็กลงด้วยโกร่งบดยา บรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บในภาชนะโหลแก้วสุญญากาศ จากนั้นนำผงยาทุกสูตรมาทำการทดสอบหา effervescent time angle ofrepose compressibility ratio และ Hausner's ratio ซึ่งมีวิธีการ ดังนี้

3.1 Angle of repose หรือ repose angle ($\boldsymbol{\theta}$) วิธีการหา angle of repose คือ การใช้กรวย (funnel) เรียกวิธีนี้ว่า fixed funnel method ใช้ในการวัด static angle of repose ทำได้โดยการกำหนดความสูงของกรวยที่แน่นอน จากนั้นชั่งปริมาณผงยาที่แน่นอน แล้วเทผงยาผ่านกรวยทำให้เกิดกองผงยารูปกรวย (powder cone) ขึ้น จากนั้นวัดความสูงของกรวยผงยา (height, $\boldsymbol{h}$) และรัศมีของกรวยผงยา (radius, $\boldsymbol{r}$) นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ ดังต่อไปนี้

$$\tan\theta = \frac{h}{r} \qquad (1)$$

โดยที่ $\boldsymbol{\theta}$ คือ มุมของการไหล (องศา)

$\boldsymbol{h}$ คือ ความสูงของกรวยผงยา (เซนติเมตร)

$\boldsymbol{r}$ คือ รัศมีของกรวยผงยา (เซนติเมตร)

3.2 Compressibility index และ Hausner's ratio

การหาค่า compressibility index และ Hausner's ratio จะต้องมีการทดสอบเพื่อหาค่า bulk density และ tapped density ก่อน โดย bulk density คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของผงยาที่ยังไม่ผ่านการเคาะหรือทำให้อัดแน่น ในขณะที่ tapped density คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของผงยาที่ผ่านการเคาะหรือทำให้อัดแน่นแล้ว นิยมใช้หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือ g/mL ทำการทดสอบ 1 ซ้ำและนำเสนอผลการทดลองโดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 1

สูตรคำนวณหาค่า Compressibility index และ Hausner 's ratio

สูตรที่	Compressibility index	Hausner's ratio
1	$\frac{V_o - V_f}{V_o} \times 100$	$\frac{V_o}{V_f}$
2	$\frac{\rho_{tapped} - \rho_{bulk}}{\rho_{tapped}} \times 100$	$\frac{\rho_{tapped}}{\rho_{bulk}}$

Note. From "Flowability study of herbal powder for solid dosage form preparation," by C. Monton, K. Kraisintu, J. Suksaeree and L. Charoencha, 2014, *Journal of Science and Technology, 22*(5), pp. 743-754 Copyright 2014 by Thammasat University

โดยที่ Compressibility index คือ ร้อยละที่กดอัดได้ของผงยา

Hausner's ratio คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของผงยาที่ยังไม่ทำให้อัดแน่นต่อความหนาแน่นของผงยาที่ผ่านการอัดแน่น

V_o คือ ปริมาตรของผงยาที่ยังไม่ผ่านการเคาะหรือทำให้อัดแน่น (มิลลิลิตร)

V_f คือ ปริมาตรของผงยาที่ผ่านการเคาะหรือทำให้อัดแน่นแล้ว (มิลลิลิตร)

ρ_{bulk} คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของผงยาที่ยังไม่ผ่านการเคาะหรือทำให้อัดแน่น

ρ_{tapped} คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของผงยาที่ผ่านการเคาะหรือทำให้อัดแน่นแล้ว

4. การพัฒนาตำรับยาธาตุอบเชยในรูปแบบผงฟองฟู่

จากการพัฒนาสูตรต้นแบบผงฟองฟู่ทั้ง 4 สูตร ตามตาราง 3 ผู้วิจัยเลือกสูตร F1 มาพัฒนาเป็นผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย พิจารณาจากคุณสมบัติเวลาในการเกิดฟองฟู่ (effervescent time) คุณสมบัติการไหลจากค่า angle of repose compressibility indext และ Hausner's ratio โดยมีส่วนประกอบดังนี้ citric acid 24 กรัม tartaric acid 18 กรัม sodium carbonate 44 กรัม lactose 14 กรัม และสารสกัดยาธาตุอบเชย 3 กรัม ทำตามขั้นตอนของสูตรต้นแบบฟองฟู่ บรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์เก็บในภาชนะโหลแก้วสุญญากาศเป็นเวลา 10 สัปดาห์ บันทึกผลเวลาในการเกิดฟองฟู่ (effervescent time) สังเกตการเกาะกันของผงยา

5. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร Gallic acid ด้วยวิธี HPLC มีขั้นตอน ดังนี้

5.1 เตรียมสารมาตรฐาน

ชั่งสารมาตรฐาน Gallic acid อย่างแม่นยำ ละลายด้วย Acetonitrile ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และเจือจางด้วย Acetonitrile ให้ได้ความเข้มข้นต่าง ๆ

5.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ชั่งผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชยปริมาณ 1 กรัม สกัดด้วย Acetonitrile 10 มิลลิลิตร นำไป sonicate ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที ดูดสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร กรองผ่านหัวกรองชนิด nylon ขนาด 0.45 µm เพื่อนำไปวิเคราะห์ ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ปริมาตรที่ฉีดครั้งละ 10 ไมโครลิตร

5.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารในตำรับยาธาตุอบเชย

วิเคราะห์ตัวอย่างผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ Gallic acid โดยใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu UV/VIS detector โดยตั้งค่าดังนี้ ใช้คอลัมน์ C-18 ขนาด 4.6*250 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส วัฏภาคเคลื่อนที่ คือ A: 1% Acetic acid ในน้ำ และ B: คือ 1% Acetic acid ใน Acetonitrile โดยมีอัตราส่วน คือ 80% A เวลาในการวิเคราะห์ คือ 10 นาที อัตราการไหล 0.8 มิลลิเมตร/นาที และความยาวคลื่นสูงสุดในการวัด คือ 272 นาโนเมตร

ตาราง 2

สูตรตำรับผงฟองฟู่ต้นแบบจำนวน 4 สูตร

ลำดับ	ส่วนประกอบ	สูตรต้นแบบผงฟองฟู่ (50 กรัม)			
		F1	F2	F3	F4
1	Citric acid	12	12	20	20
2	Tartaric acid	9	9	-	-
3	Sodium bicarbonate	22	-	20	-
4	Sodium carbonate	-	22	-	20
5	Lactose	7	7	10	10
6	Ethanol	5	5	5	5

ผลการวิจัย

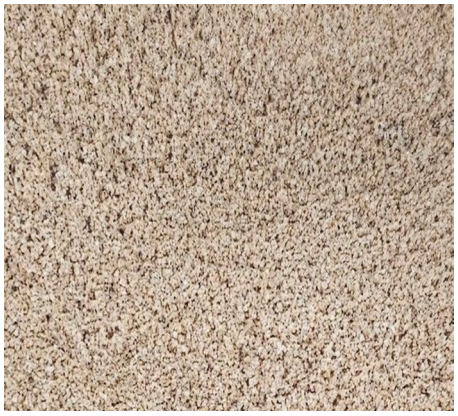
1. ปริมาตรของยาธาตุอบเชยหลังจากต้มเท่ากับ 320 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) ได้สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยลักษณะเป็นผงแห้งสีน้ำตาลอมแดง (ภาพ 2) ชั่งน้ำหนักผงของสารสกัดได้ 3.2 กรัม นำไปเทียบบัญญัติไตรยางศ์กับปริมาณยาธาตุอบเชยต่อการรับประทาน 1 ครั้ง ปริมาตร 30 มิลลิลิตร จากนั้นคำนวณหาน้ำหนักของสารสกัดแห้งที่รับประทานต่อ 1 ครั้ง ได้เท่ากับ 0.3 กรัม นำสารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยไปผสมในสูตรต้นแบบ F1 พบว่า เมื่อละลายผงฟองฟู่ในน้ำเกิดปฏิกิริยาทันที ได้สารละลายสีเหลือง มีกลิ่นหอมรสเปรี้ยวเล็กน้อย (ภาพ 3 และภาพ 4)



ภาพ 2 ลักษณะของสารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย



ภาพ 3 ลักษณะของผงฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยก่อนอบ



ภาพ 4 ลักษณะของผงฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยหลังอบ

2. การไหลของผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยและสูตรต้นแบบ (flow property)

จากการทดสอบหาค่า bulk volume และ tapped volume เพื่อนำมาคำนวณหา compressibility index และ Hausner's ratio พบว่า ค่า compressibility index ของผงฟองฟู่ต้นแบบสูตร F1 F2 และผงฟองฟู่สารสกัดยาธาตุอบเชย มีค่าเท่ากับ 4.35 8.00 และ 8.14 ตามลำดับ สูตร F3 และ F4 มีค่าเท่ากับ 16.67 และ 15.38 ตามลำดับ

ค่า Hausner's ratio ของผงฟองฟู่ต้นแบบสูตร F1 F2 และผงฟองฟู่สารสกัดยาธาตุอบเชย มีค่าเท่ากับ 1.05 1.09 และ 1.09 ตามลำดับ สูตร F3 และ F4 มีค่าเท่ากับ 1.20 และ 1.18 ตามลำดับ ส่วนมุมการไหล (angle of repose) ของสูตร F1, F2 และ ผงฟองฟู่สารสกัดยาธาตุอบเชยน้อยกว่า 30 ° ดังแสดงในตาราง 3

3. เวลาในการเกิดฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย และสูตรต้นแบบ (effervescent time)

เวลาในการเกิดฟองฟู่ของทุกสูตร น้อยกว่า 60 วินาที โดยสูตร F1 ใช้เวลาในการเกิดฟองฟู่น้อยที่สุด คือ 46.67±1.25 วินาที รองลงมาคือ สูตร F2 ใช้เวลา 47.67±0.94 วินาที สูตร F3 ใช้เวลาในการเกิดฟองฟู่มากที่สุดคือ 59.67±2.62 วินาที ส่วนสูตรผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยใช้เวลา 50.67±2.49 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 4 และเมื่อทดสอบความคงตัวของผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าใช้เวลาในการเกิดฟองฟู่ 55.1±1.87 วินาที และไม่มีการเกาะกันของผงฟองฟู่ ดังตาราง 4 และ 5 ตามลำดับ

4. การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารในผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารในผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย จากการวิเคราะห์ตัวอย่างผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ Gallic acid โดยใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่า วิธีวิเคราะห์นี้สามารถแยกสารมาตรฐาน Gallic acid ที่เวลา 4.10 นาที (ภาพ 5) และนำตัวอย่างผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชยมาวิเคราะห์ โดยทำการ spiking พบว่า ความสูงของ peak gallic acid เพิ่มขึ้น โดยที่ retention time ยังคงตำแหน่งเดิมที่เวลา 4.10 (ภาพ 6)

ตาราง 3

คุณสมบัติการไหลของผงฟองฟู่สูตรต้นแบบ และผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย (flow property)

Formula	Bulk volume (V0) (ml)	Tapped volume (Vf) (ml)	Compressibility Index	Hausner ratio	Angle of repose
F1	23	22	4.35	1.05	26.56
F2	25	23	8.00	1.09	28.81
F3	24	20	16.67	1.20	33.82
F4	26	22	15.38	1.18	30.11
ผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย	25	23	8.00	1.09	27.47

ตาราง 4

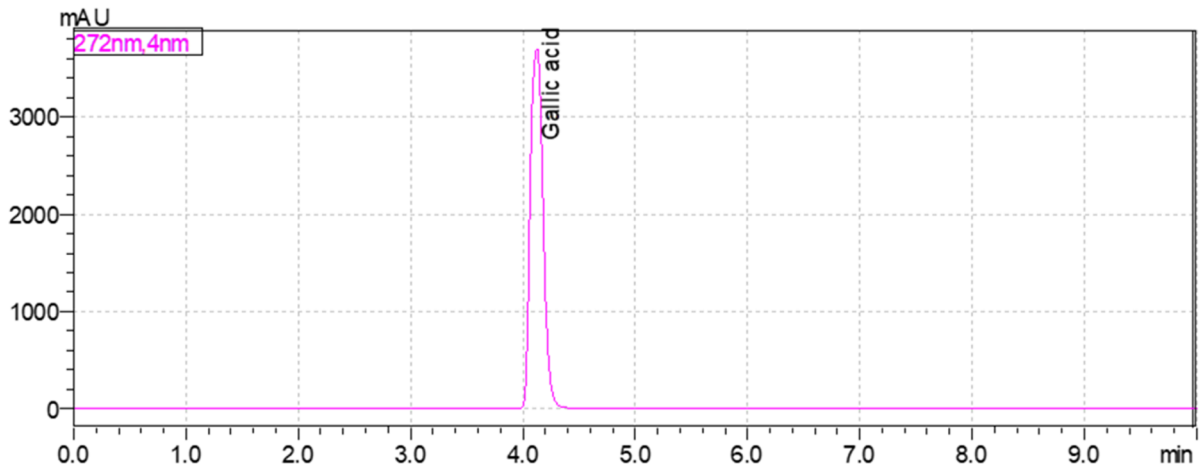
เวลาในการเกิดฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยและสูตรต้นแบบ (effervescent time)

Formula	Effervescent time (Second) ($\bar{x}$ ±SD)
F1	46.67±1.25
F2	47.67±0.94
F3	59.67±2.62
F4	54.33±1.89
ผงฟองฟู่สารสกัด ตำรับยาธาตุอบเชย	50.67± 2.49

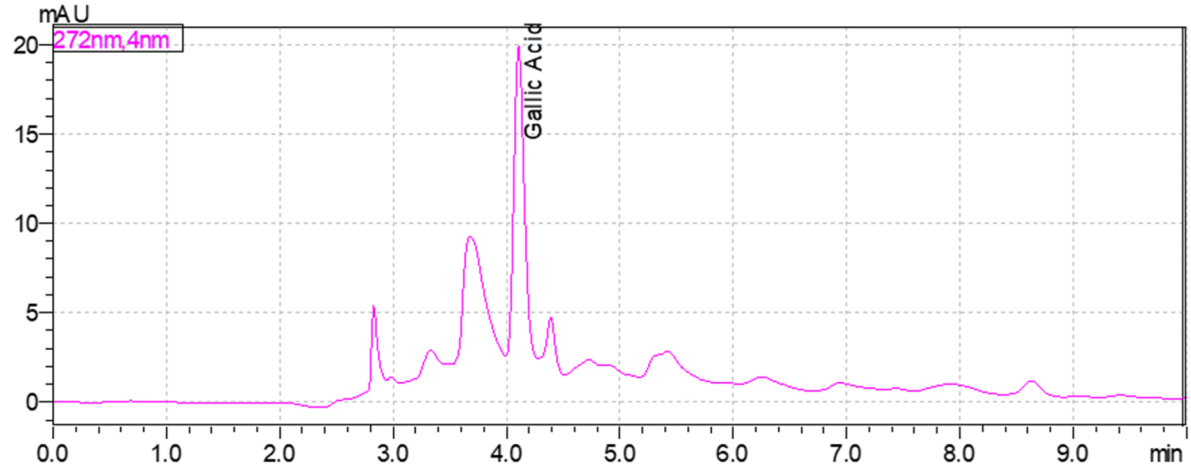
ตาราง 5

ความคงตัวของสูตรผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย

หัวข้อการประเมิน	สัปดาห์ที่										($\bar{x}$ ±SD)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Effervescent time(second)	52	53	54	54	54	56	56	57	58	57	55.1±1.87
การเกาะกันของผงยา	ไม่พบการเกาะกันของผงยา										



ภาพ 5 peak ของสารมาตรฐาน Gallic acid ที่เวลา 4.10 นาที



ภาพ 6 peak ของสาร Gallic acid ในตัวอย่างผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชยที่เวลา 4.10 นาที

อภิปรายผลการทดลอง

สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยลักษณะเป็นผงแห้งสีน้ำตาลอมแดง ชั่งน้ำหนักผงของสารสกัดได้ 3.2 กรัม นำไปเทียบบัญญัติไตรยางศ์กับปริมาณยาธาตุอบเชยต่อการรับประทาน 1 ครั้ง ปริมาตร 30 มิลลิลิตร คำนวณหาน้ำหนักของสารสกัดแห้งที่รับประทานต่อ 1 ครั้ง ได้เท่ากับ 0.3 กรัม นำสารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยไปผสมในสูตรต้นแบบ F1 พบว่า เมื่อละลายผงฟองฟู่ในน้ำเกิดปฏิกิริยาทันที ได้สารละลายสีเหลือง มีกลิ่นหอม รสเปรี้ยวเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

compressibility index ของผงฟองฟู่ต้นแบบสูตร F1 F2 และผงฟองฟู่สารสกัดยาธาตุอบเชย อยู่ในระดับดีเยี่ยม (excellent) สูตร F3 และ F4 อยู่ในระดับดี (good) ตามลำดับ ค่า Hausner ’s ratio ของผงฟองฟู่ต้นแบบสูตร F1 F2 และผงฟองฟู่สารสกัดยาธาตุอบเชย อยู่ในระดับดีเยี่ยม (excellent) สูตร F3 และ F4 อยู่ในระดับดี (good) ส่วนมุมการไหล (angle of repose) ของสูตร F1 F2 และผงฟองฟู่สารสกัดยาธาตุอบเชยน้อยกว่า 30 ° ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม (excellent) จะเห็นได้ว่าการประเมินคุณสมบัติการไหลของผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยทั้ง 3 พารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยมเป็นไปตามข้อกำหนดเภสัชตำรับของสหรัฐอเมริกา (United State Pharmacopeia) และเภสัชตำรับสหราชอาณาจักร (British Pharmacopoeia) (National Drug System Development Committee, 2016)

เวลาในการเกิดฟองฟู่ของทุกสูตร น้อยกว่า 60 วินาที โดยสูตร F1 ใช้เวลาในการเกิดฟองฟู่น้อยที่สุด รองลงมาคือ สูตร F2 และ สูตร F3 ใช้เวลาในการเกิดฟองฟู่มากที่สุด ผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยใช้เวลา 50.67±2.49 วินาที และเมื่อทดสอบความคงของผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชย เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีการเกาะกันของผงฟองฟู่ ใช้เวลาในการเกิดฟองฟู่ 55.1±1.87 วินาที มากกว่าสัปดาห์ที่ 0 เล็กน้อย แต่ทุกสูตรผ่านเกณฑ์ที่ผงฟองฟู่ต้องแตกตัวหมดภายใน 5 นาที

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ Gallic acid โดยใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography: HPLC พบว่า วิธีวิเคราะห์นี้สามารถแยกสารมาตรฐาน Gallic acid พบ peak ที่มี retention time ตรงกับผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชย ที่เวลา 4.10 นาที สอดคล้องกับงานวิจัยตำรับยาธาตุอบเชยที่ตรวจพบ Gallic acid ซึ่งมาจากกานพลู (Rattana, Sungthong, & Lertsatithanakorn, 2017)

สรุปผลการวิจัย

ผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยที่ได้ มีลักษณะสีน้ำตาลอมแดง รสชาติ กลิ่น สามารถยอมรับได้ ผงยามีคุณสมบัติในการไหลที่ระดับดีเยี่ยม ถูกบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ทำให้สามารถกันความชื้นได้ ไม่พบการ

เกาะกันของผงยา ผงฟองฟู่ที่พัฒนาขึ้นพกพาได้สะดวกและง่ายต่อการรับประทานมากขึ้น เมื่อนำผงยาละลายน้ำสามารถเกิดปฏิกิริยาฟองฟู่ทันที จึงสรุปได้ว่า ตำรับยาธาตุอบเชยในรูปแบบผงฟองฟู่เป็นตำรับยาที่ดี การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารในผงฟองฟู่สารสกัดตำรับยาธาตุอบเชยด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography: HPLC มี retention time ตรงกับสารมาตรฐาน Gallic acid ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผงฟองฟู่จากสารสกัดยาธาตุอบเชยที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีสารสำคัญ คือ Gallic acid เป็นส่วนประกอบในตำรับ และสามารถใช้สารสำคัญนี้เป็นสารประกอบหลักในการควบคุมมาตรฐานผลิตภัณฑ์ และควรมีการศึกษาต่อยอดเพิ่มเติมเกี่ยวกับ stability study หรือ bioavailability study

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยพัฒนาและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่มอบทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

References

Department of Thai Traditional and Alternative Medicine. (2021). *Manual for individualized cannabis prescriptions in Thai traditional medicine, non-narcotic parts, for public health service units*. Bangkok: Office of Thai Traditional Medical Cannabis and Kratom Management. (in Thai)

Jindarat, S., Muangnoi, C., Changsiriporn, D., Platong, A., Thanamontra, B., Chiewchanwit, D., Vongvanvatana, V., Rongrungsri, N., Krittasilp, K., Kaewkong, N., Kantawan, S., Virasombat, N., Mongkolporn, V., Prakobkij, W., Wanleepong, K., Maneekul, C., Benchakhanta, S., Boonpok, P., Kunnasut, W., Tongkleaw, L., Vatthanasak, A., Mookkhan, J., Jatuporn, C., Tuntiprawan, K., Teerawongseree, S., Ussawasrisuwan, S., Thamcharoen, P., Keawsontaya, T., Chuthaputti, A., Termviset, P., & Thamlikitkul, V. (2006). Efficacy and safety of cinnamon stomachic mixture for patients with functional dyspepsia. *Siriraj Medical Journal, 58*(11), 1103–1106. Retrieved from https://he02.tci-thaijo.org/index.php/sirirajmedj/article/view/246001 (in Thai)

Harnbunyapipat, T., (2019). *The development of herbal medicine preparation "Ya Tat" in effervescent powder form: An exploratory study* (Master's thesis). Rangsit University. (in Thai)

National Drug System Development Committee. (2016). *Herbal Medicinal Products in the National List of Essential Medicines B.E. 2559*. Bangkok: the National Drug System Development Committee (in Thai)

Monton, C., Kraisintu, K., Suksaeree, J., & Charoencha, L. (2014). Flowability study of herbal powder for solid dosage form preparation. *Journal of Science and Technology, 22*(5), 743-754. Retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/20634/17928 (in Thai)

Perry, L. M. (2011). *Assessment report on Syzygium aromaticum (L.)*. London: European Medicines Agency.

Rattana, S., Sungthong, B., & Lertsatithanakorn, P. (2017). Simultaneous separation of glycyrrhizic acid and gallic acid in cinnamon stomachic mixture extract by thin layer chromatography-densitometric method and screening of anti-free radical substances by bioautographic method. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 13*(Suppl.), 60–71. Retrieved from https://bit.ly/4rlwhCE (in Thai)

Siniltae, S., Chawaha, C., Jitsang, K., Chuengmankhong, S., Chuengwattanakul, T., Homhuan, S., Rangsimakan, S., & Kaeomattawong, R. (2019). Chemical Quality Analysis of Ya Thatu Obchey Formula by High Performance Liquid Chromatography and Identification of Ya Thatu Obchey Formula. Journal of Thai Traditional and Alternative Medicine, 17(3), 418-427. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JTTAM/article/view/232107/158463 (in Thai)

Tashtoush, S., Ereifej, K., Feng, H., Rababah, T., Alu'datt, M. H., Gammoh, S., & Al-Rabadi, G. (2016). Temperature and acidified solvent effect on total anthocyanins and RP-HPLC phenolic acids determination in selected spices. *Food and Nutrition Sciences, 7*(1), 20–29. https://doi.org/10.4236/FNS.2016.71003

Temsiriruekkul, R. (2016). *Public knowledge article: Ya Tat Ob Cheoi, still relevant ?*. Retrieved from https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/348/ยาธาตุอบเชย. (in Thai)

The Royal Institute and the Department of Thai Traditional and Alternative Medicine. (2007). *Thai Traditional Medical and Pharmaceutical Terminology Dictionary*. Bangkok: War Veterans Organization Printing Office under Royal Patronage. (in Thai)

The United States Pharmacopeial Convention. (2009). *USP 32/NF 27 Volume 1*. Maryland: United Book Press.

Wittschier, N., Faller, G., & Hensel, A. (2009). Aqueous extracts and polysaccharides from liquorice roots (Glycyrrhiza glabra L.) inhibit adhesion of Helicobacter pylori to human gastric mucosa. *Journal of ethnopharmacology, 125*(2), 218–223. https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.07.009

ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและยับยั้งไทโรซิเนสของน้ำหมักใบมะรุมโดยเชื้อแอสเปอร์จิลลัส ไนเจอร์ TISTR 3240 สำหรับพัฒนาอิมัลเจลบำรุงผิว

Antioxidant and Antityrosinase Activities of a Fermented Solution from *Moringa oleifera* Leaves by *Aspergillus niger* TISTR 3240 for Skin Care Emulgel Development

ณหทัย เวียงยา[1] ทานตะวัน จันทะพิมพ์[1] พัฒนา ศรีพลากิจ[2] และอรสร สารพันโชติวิทยา[1]*

Nahathai Wiengya[1], Tantawan Jantapim[1], Pattana Sripalakit[2]

and Aurasorn Saraphanchotiwitthaya[1]*

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

[1]Department of Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Naresuan University

[2]ภาควิชาเภสัชเคมีและเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

[2]Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmacognosy, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Naresuan University

*Corresponding author: aurasorns@nu.ac.th

Received: May 14, 2025

Revised: July 19, 2025

Accepted: July 24, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหมักใบมะรุม (*Moringa oleifera* Lam.) ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสของน้ำหมักที่ได้ และนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ทำการทดลองโดยหมักผงใบมะรุมด้วยเชื้อ *Aspergillus niger* TISTR 3240 เป็นเวลา 1-3 วัน แล้วนำน้ำหมักมาวิเคราะห์และทดสอบฤทธิ์ต่าง ๆ ผลการวิจัยพบว่า ผงใบมะรุมหมัก 1 วัน ให้น้ำหมักที่มีปริมาณฟีนอลิกรวมและและฟลาโวนอยด์รวมสูงสุดเท่ากับ 14.60±0.29 mg gallic acid equivalent/g dry herb และ 3.08±0.08 mg quercetin equivalent/g dry herb ตามลำดับ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากการทดสอบโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: DPPH ด้วยร้อยละการยับยั้งสูงสุดเท่ากับ 95.81±3.89 เมื่อหมัก 3 วัน และจากการทดสอบโดยวิธี ferric reducing ability power: FRAP มีค่า FRAP สูงสุดเท่ากับ 22.01±0.79 mM Fe^{2+}/g dry herb เมื่อหมัก 1 วัน นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสสูงสุดร้อยละ 75.84±0.07 เมื่อหมัก 1 วันเช่นกัน เมื่อนำน้ำหมักใบมะรุมที่หมัก 1 วันไปพัฒนาตำรับอิมัลเจลบำรุงผิวจำนวน 13 สูตร พบว่าสูตรที่ 13 (ME-13) ซึ่งประกอบด้วยน้ำหมักใบมะรุม 1 วันความเข้มข้น 1%w/w เป็นสูตรที่ดีที่สุด มีความคงตัวทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยามากที่สุดเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน ผลการวิจัยสรุปได้ว่า น้ำหมักใบมะรุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้จากการหมักเป็นเวลา 1 วัน มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ดังนั้นอิมัลเจล ME-13 ที่มีส่วนผสมของน้ำหมักใบมะรุมจึงมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเครื่องสำอางเพื่อบำรุงผิวและประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: การหมัก ใบมะรุม แอสเพอร์จิลัสไนเจอร์ ฤทธิ์ชีวภาพ อิมัลเจล

Abstract

This research aimed to study the fermentation of moringa leaves (*Moringa oleifera* Lam.), evaluate the antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of the fermented solution, and develop a skincare product. Moringa leaf powder was fermented with *Aspergillus niger* TISTR 3240 for 1–3 days, and the fermented solution was analyzed. The results showed that fermentation for 1 day yielded the highest total phenolic content (14.60±0.29 mg gallic acid equivalent/g dry herb) and total flavonoid content (3.08±0.08 mg quercetin equivalent/g dry herb). The highest antioxidant activity by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: DPPH assay of 95.81±3.89% was observed on day 3, while the highest Ferric Reducing Antioxidant Power: FRAP of 22.01±0.79 mM Fe^{2+}/g dry herb was on day 1. The maximum tyrosinase inhibition of 75.84±0.07% was also found on day 1. The fermented solution from day 1 was then used to formulate an emulgel skincare product. Among the 13 tested formulations, formula ME-13, which contains a 1% w/w solution fermented for one day, was the best formulation. It exhibited superior physical, chemical, and microbiological stability after 28 days of storage at room temperature. In conclusion, the fermented solution of moringa leaves-especially those obtained after one day of fermentation-exhibited notable antioxidant properties and effectively inhibited tyrosinase activity. The emulgel formulation ME-13, which includes the fermented moringa extract, has promising potential for development as a skincare cosmetic product and for future commercial applications.

Keyword: fermentation, Moringa oleifera leaves, Aspergillus niger, biological activity, emulgels

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นอย่างมาก มีความนิยมเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากธรรมชาติเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพมากขึ้น คาดว่า ตลาดผลิตภัณฑ์ธรรมชาติทั่วโลกจะเติบโตอย่างต่อเนื่องจนถึงปี 2033 โดยมีมูลค่ารวมถึง 93.9 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ด้วยอัตราการเติบโตเฉลี่ย 7.4% ต่อปี (EIN Presswire, 2024) ในขณะที่ตลาดเครื่องสำอางจากธรรมชาติก็มีแนวโน้มขยายตัวเช่นกัน คาดว่าจะมีมูลค่าถึง 45.6 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2030 ด้วยอัตราการเติบโตเฉลี่ย 5.3% ต่อปี ปัจจัยหลักที่ขับเคลื่อนการเติบโตนี้ ได้แก่ ความกังวลต่อผลข้างเคียงของสารเคมี เช่น การระคายเคือง ความหมองคล้ำของผิว และผลกระทบระยะยาวต่อสุขภาพผิว รวมถึงการตื่นตัวต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ผู้บริโภคหันมาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ดูแลผิวที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติมากขึ้นเป็นลำดับ (Grand View Research, 2024)

อิมัลเจล (Emulgel) เป็นรูปแบบการนำส่งสารออกฤทธิ์ทั้งในตำรับยาและเครื่องสำอางที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยผสานข้อดีของอิมัลชันและเจลเข้าไว้ในระบบเดียวกัน อิมัลชันมีข้อดีในการกักเก็บและควบคุมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ที่มีสมบัติชอบไขมัน (hydrophobic substances) และมีการทำงานสอดคล้องกับโครงสร้างชั้นไขมันของผิวหนัง แต่ตำรับอิมัลชันพื้นฐานมักมีข้อจำกัดด้านเนื้อสัมผัสที่เหนียวเหนอะหนะ และอาจมีความไม่คงตัวขณะเก็บรักษา ส่วนเจลมีโครงสร้างที่สามารถกักเก็บน้ำได้มาก จึงเหมาะสมสำหรับการละลายและนำส่งสารออกฤทธิ์ที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic substances) อีกทั้งยังให้ความรู้สึกเย็นสบายและซึมซาบรวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดในการนำส่งสารออกฤทธิ์ที่ชอบไขมัน อิมัลเจลจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว และรองรับการนำส่งสารออกฤทธิ์ทั้งที่ชอบน้ำและชอบไขมัน นอกจากนี้อิมัลเจลยังมีคุณสมบัติ

การไหล (thixotropy) และการกระจายตัว (spreadability) ที่ดี ช่วยให้ทาได้ง่ายและให้สัมผัสบางเบา ไม่เหนียวเหนอะหนะ มีความมันน้อย และคงตัวดี (Tadić et al., 2021) อีกทั้งกระบวนการผลิตอิมัลเจลยังทำได้ง่ายไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ เมื่อเทียบกับระบบการนำส่งอื่น ๆ เช่น ไลโปโซม ซึ่งเป็นระบบนำส่งขั้นสูงที่สามารถเพิ่มการดูดซึมทางชีวภาพและนำส่งสารออกฤทธิ์ได้ตรงเป้าหมาย โดยห่อหุ้มสารไว้ภายในโครงสร้างลิพิดสองชั้น แต่มีข้อจำกัดเรื่องความคงตัว กระบวนการผลิตที่ซับซ้อน และต้นทุนที่สูงกว่า (Saroha et al., 2022) เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของสารสกัดจากน้ำหมักใบมะรุมซึ่งหมักในน้ำและสกัดด้วยเอทานอล จึงมีแนวโน้มได้สารออกฤทธิ์ทั้งที่ชอบน้ำและชอบไขมัน ประกอบกับจุดมุ่งหมายในการพัฒนาเครื่องสำอางที่ต้องการความเสถียรและสามารถผลิตในระดับต้นทุนที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงเลือกพัฒนาตำรับในรูปแบบอิมัลเจล ซึ่งเป็นระบบนำส่งที่เหมาะสมในบริบทของงานวิจัยนี้

มะรุม (*Moringa oleifera* Lam.) เป็นสมุนไพรพื้นบ้านที่มีการบริโภคกันโดยทั่วไปในหลายภูมิภาคของโลก มีการนำใบ เมล็ด เปลือก ลำต้น ราก ยาง และดอกของต้นมะรุมมาใช้ในตำรับยาพื้นบ้านอย่างแพร่หลาย ใบและฝักอ่อนนิยมบริโภคเป็นอาหาร เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส่วนใบประกอบด้วยสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ กลุ่ม polyphenols เช่น myricetin quercetin-3-o-β-d-glucoside kaempferol gallic acid chlorogenic acid caffeic acid นอกจากนี้ยังพบสารในกลุ่ม glucosinolates alkaloids isothiocyanates vitamin tannin และ saponins (Meduri et al., 2022) มีรายงานว่าสารสกัดจากใบมะรุมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง มีความปลอดภัยในระดับสูงเมื่อศึกษาในสัตว์ทดลอง และไม่พบผลข้างเคียงใด ๆ ในการศึกษาในมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาทางคลินิกในมนุษย์ที่ใช้ผงใบมะรุมลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด โดยมีผลสนับสนุนจากการศึกษาในสัตว์ทดลองที่ใช้ทั้งผงใบและสารสกัด พบว่ามีฤทธิ์ชีวภาพที่หลากหลาย เช่น ต้านอนุมูลอิสระ ปกป้องอวัยวะต่าง ๆ (ตับ ไต หัวใจ อัณฑะ และปอด) ลดอาการปวด ต้านแผลในกระเพาะ ลดความดันโลหิต ป้องกันรังสี และปรับสมดุลภูมิคุ้มกัน ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลจากสาร polyphenols phenolic acids flavonoids glucosinolates และ alkaloids (Stohs & Hartman, 2015) ในทางเครื่องสำอาง สารสกัดจากใบมะรุมมีศักยภาพในการเป็นสารกันแดด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระดับปานกลางเมื่อใช้ร่วมกับสารอื่น เมื่อนำไปพัฒนาครีมที่มีสารสกัดใบมะรุม 2% ร่วมกับ oxybenzone 2% ให้ค่า Sun Protection Factor: SPF ที่ดี (Tran Thi et al., 2024) นอกจากนี้สารสกัดใบมะรุมยังประกอบด้วยสาร Vicenin-2, 4-Caffeoylquinic acid และ Quercetin 3-O-glucoside ที่สามารถยับยั้งเอนไซม์อิลาสเตส คอลลาจิเนส และไฮยาลูโรนิเดสได้ดีตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย Multi-Target Bio-Affinity Ultrafiltration-High-Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry: AUF-HPLC-MS ซึ่งช่วยเสริมความน่าเชื่อถือในศักยภาพของใบมะรุมในการเป็นส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ดูแลผิวต้านความชรา ซึ่งสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและเวชสำอางเพื่อต่อสู้กับปัญหาความชราและริ้วรอยได้ (Xu et al., 2022)

การหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ และได้รับการยอมรับว่าสามารถเพิ่มปริมาณสารสำคัญบางชนิด และทำให้ฤทธิ์ชีวภาพเพิ่มขึ้นได้ เช่น การหมักเพื่อผลิต ubiquinone (Q10) hyaluronic acid และ resveratrol (Pérez-Rivero and López-Gómez, 2023) นอกจากนี้การหมักยังมีผลดีด้านสิ่งแวดล้อม ในตัวอย่างกรณีของ squalene ซึ่งเดิมได้มาจากตับฉลาม แต่ต่อมาสามารถผลิตได้จากการหมักโดยยีสต์และราชนิดต่าง ๆ เช่น Saccharomyces cerevisiae, Torulaspora delbrueckii, Aspergillus nidulans และ Saccharomyces uvarum (Patal et al., 2022)

เชื้อ *Aspergillus niger* เป็นจุลินทรีย์ที่พบได้อย่างแพร่หลายในธรรมชาติ และมีความสามารถสูงในการผลิตและหลั่งสารชีวโมเลกุล เอนไซม์ และสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ออกนอกเซลล์ จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการหมักอาหารแบบดั้งเดิม รวมถึงการผลิตเอนไซม์ในระดับอุตสาหกรรม Aspergillus สามารถผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิด เช่น protease cellulase hemicellulase และ pectinase ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำลายสิ่งกีดขวางทางกายภาพระหว่าง hemicellulose และ lignin จึงช่วย

เพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยเส้นใย และการดูดซึมสารอาหารได้ดียิ่งขึ้น (Fan et al., 2023)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหมักใบมะรุมด้วยเชื้อ *Aspergillus niger* ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านไทโรซิเนสของน้ำหมักที่ได้ และพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพื่อการบำรุงผิวรูปแบบอิมัลเจล เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผักพื้นบ้านที่มีอยู่มากในท้องถิ่น ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างยั่งยืน และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อผิวในระยะยาว

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาการหมักใบมะรุมด้วยเชื้อ *A. niger* TISTR 3240

2. ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสของน้ำหมักใบมะรุม

3. พัฒนาตำรับอิมัลเจลที่มีส่วนผสมของน้ำหมักใบมะรุมเพื่อบำรุงผิว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แหล่งที่มาของวัตถุดิบ สารเคมี และเชื้อจุลินทรีย์

ใบมะรุม (*Moringa oleifera* Lam.) อายุระหว่าง 1-2 เดือน ได้จากหมู่บ้านชุมชนในจังหวัดพิษณุโลก (Voucher specimen number: 05937 สถานที่เก็บ: PNU Herbarium คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร) พิสูจน์เอกลักษณ์พืชโดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี นางงาม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร *Aspergillus niger* TISTR 3240 ได้จากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย gallic acid kojic acid tyrosinase mushroom quercetin 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: DPPH 2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine : TPTZ Folin Ciocalteu reagent 3,4-dihydroxy-L-phenylalanine: L-DOPA ได้จากบริษัท Sigma-Aldrich (Switzerland) ferrous sulfate และ sodium acetate trihydrate ได้จากบริษัท Kemaus (Australia) sodium carbonate ferric chloride aluminum chloride ได้จากบริษัท Merck KgaA (Germany) สารเคมีในการพัฒนาตำรับอิมัลเจลได้จากบริษัท Phitsanuchemicals Co., Ltd. (Thailand)

2. การเพาะเลี้ยงเชื้อ *Aspergillus niger*

เตรียม Culture medium สำหรับเลี้ยงเชื้อ ประกอบด้วยกลูโคส (50 g/l) และ yeast extract (20 g/l) ในน้ำกลั่น ให้ความร้อนและกวนผสมให้ละลายหมด แบ่งเติมลงใน Erlenmeyer flask-125 ml ฟลาสก์ละ 50 ml นำไปทำให้ปราศจากเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 นาที เมื่อเย็นลง เขี่ยเชื้อ A. niger ลงใน Erlenmeyer flask เลี้ยงเชื้อโดยการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง (27±2 °C) เป็นเวลา 3 วัน

นำ spore suspensions มานับจำนวน ด้วย Hemocytometer ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และเจือจางด้วย culture medium ให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 1×105 spore/ml สำหรับใช้ในการหมักใบมะรุมต่อไป

3. การเตรียมผงใบมะรุม

นำใบมะรุมมาล้างทำความสะอาด นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำไปบดเป็นผงละเอียดโดยการปั่น และทำให้ปราศจากเชื้อโดยการ autoclave ที่ อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 นาที และเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท

4. การหมักใบมะรุมด้วยเชื้อ *A. niger*

เตรียม Culture medium ประกอบด้วยกลูโคส (50 g/l) และ yeast extract (20 g/l) ในน้ำกลั่น ให้ความร้อนและกวนผสมให้ละลายหมด แบ่งเติมลงใน Erlenmeyer flask-125 ml ให้มีปริมาตรสุดท้าย 50 ml นำไปทำให้ปราศจากเชื้อโดยการ autoclave ที่ อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 นาที เมื่อเย็นลง เติมผงใบมะรุม 5 g และ spore suspensions ของเชื้อ *A. niger* ปริมาตร 1 ml (1×105 spore/ml) ลงใน Erlenmeyer flask เลี้ยงเชื้อโดยการเขย่าด้วยเครื่อง Orbital shaker ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง (27±2 °C) เก็บตัวอย่างทั้ง

flask ณ เวลา 1 2 และ 3 วัน มาเติม 80%v/v ethanol 50 ml/flask นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Orbital shaker ที่ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยสำลี แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที (Feitosa et al., 2020) นำส่วนใส (supernatant) ไปทดสอบในส่วนต่อไป

ทำการทดสอบเช่นเดียวกันด้วยน้ำแช่ใบมะรุม โดยเติมเฉพาะ medium และผงใบมะรุม แต่ไม่เติม spore suspensions เขย่าด้วยเครื่อง Orbital shaker ในสภาวะเดียวกันเป็นเวลา 1 วัน ก่อนเตรียมตัวอย่างไปทดสอบ

ทั้งนี้ การกำหนดความเข้มข้นของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบต่าง ๆ พิจารณาจากช่วงการตอบสนองเชิงเส้นของเครื่องมือวัด เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้

5. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content: TPC) โดยวิธี Folin- Ciocalteau

เติมน้ำหมักใบมะรุม (ความเข้มข้น 10 mg dry powder/ml) ปริมาณ 20 µl ลงใน 96-well plate จากนั้นเติม 10%w/v Folin Ciocalteu reagent ปริมาณ 50 µl และ 7.5%w/v Na_2CO_3 ปริมาณ 80 µl ตามลำดับ ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่ม (incubate) ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm ด้วยเครื่อง microplate reader (SynergyH1, BioTek, Norway) ทดสอบเทียบกับสารละลาย gallic acid (ความเข้มข้นสุดท้าย 2.5 - 80 µg/ml) และสร้างกราฟมาตรฐานของ gallic acid โดย plot ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้น เพื่อหาสมการเส้นตรงและค่า r^2 (Singleton et al., 1999) คำนวณปริมาณฟีนอลิกรวมในน้ำหมักใบมะรุมจากสมการเส้นตรงในหน่วย mg gallic acid equivalent (GAE)/g dry herb

6. การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoid Content: TFC) โดยวิธี Aluminum chloride colorimetry

เติมน้ำหมักใบมะรุม (ความเข้มข้น 10 mg dry powder/ml) ปริมาณ 100 µl และ 2%w/v Aluminum chloride ปริมาณ 100 µl ลงใน 96-well plate ผสมให้เข้ากัน บ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 nm ด้วยเครื่อง microplate reader ทดสอบเทียบกับสารละลาย quercetin (ความเข้มข้นสุดท้าย 2.5-80 µg/ml) และสร้างกราฟมาตรฐานของ quercetin โดย plot ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้น เพื่อหาสมการเส้นตรงและค่า r^2 คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์รวมในน้ำหมักใบมะรุมจากสมการเส้นตรงในหน่วย mg quercetin equivalent (QE)/g dry herb (Leakaya et al., 2018)

7. การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

เติมน้ำหมักใบมะรุม (ความเข้มข้น 5 mg dry powder/ml) ปริมาณ 50 µl ลงใน 96-well plate จากนั้นเติม 0.2 mM DPPH ปริมาณ 100 µl ผสมให้เข้ากัน บ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm ด้วยเครื่อง microplate reader ทดสอบเทียบกับ ascorbic acid (positive control) ความเข้มข้นสุดท้าย 20-100 µg/ml คำนวณร้อยละในการต้านออกซิเดชัน (%Inhibition) (Blois, 1958) ดังสมการ (1)

$$\%Inhibiton = \frac{\left(Abs_{DPPH} - Abs_{sample}\right)}{Abs_{DPPH}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ Abs_{DPPH} และ Abs_{sample} คือค่าการดูดกลืนแสงหลุมที่ไม่เติมและเติมสารทดสอบ ตามลำดับ

8. การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant power: FRAP

เติมสารละลาย FRAP reagent (300 mM acetate buffer pH 3.6 10 mM TPTZ ใน 40 mM hydrochloric acid และ 20 mM ferric chloride อัตราส่วน 10:1:1) ปริมาตร 270 µl ลงใน 96-well plate จากนั้นเติมน้ำหมักใบมะรุม (ความเข้มข้น 5 mg dry powder/ml) ปริมาตร 30 µl ผสมให้เข้ากัน บ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 nm ด้วยเครื่อง

microplate reader ทำการทดสอบเช่นเดียวกันโดยใช้สารละลาย ferrous sulphate (ความเข้มข้นสุดท้าย 10-80 µM) และสร้างกราฟมาตรฐานของ ferrous sulphate โดย plot ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น เพื่อหาสมการเส้นตรงและค่า r^2 (Benzie & Strain, 1996) คำนวณ FRAP value จากกราฟมาตรฐานของ ferrous sulfate โดยแทนที่ค่าการดูดกลืนแสงของสารทดสอบในสมการ รายงานผลในหน่วย mM Fe^{2+}/g dry powder (Kiattisin et al., 2019)

9. การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสโดยวิธี Dopachrome

เติมน้ำหมักใบมะรุม (ความเข้มข้น 5 mg dry powder/ml) หรือ kojic acid ความเข้มข้น 5-100 µg/ml ปริมาตร 40 µl 8.0 mM L-Dopa ใน 100 mM phosphate buffer pH 6.8 ปริมาตร 40 µl Tyrosinase mushroom 625 U/ml (ความเข้มข้นสุดท้าย 25 unit/well) ใน phosphate buffer ปริมาตร 40 µl ใน 96-well plate และเติม phosphate buffer จนครบปริมาตร 200 µl ผสมให้เข้ากัน และบ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 nm ด้วยเครื่อง microplate reader นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (%tyrosinase inhibition activity) ดังสมการ (2) (Kobkeatthawin et al., 2021)

$$\%Inhibiton = \frac{\left(Abs_{control} - Abs_{sample}\right)}{Abs_{control}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ $Abs_{control}$ และ Abs_{sample} คือค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เติมและเติมสารทดสอบตามลำดับ

10. การพัฒนาตำรับอิมัลเจลที่มีส่วนผสมของน้ำหมักใบมะรุม

แยกเตรียมส่วนผสมต่าง ๆ ในตำรับ ได้แก่ Carbopol 940 (part A) และ sodium hyaluronate (part B) ในน้ำผสม viscolam AT isopropyl myristate cyclomethicone และน้ำหอมเข้าด้วยกัน (part C) ละลาย sodium citratecitric acid และ di-sodium EDTA ในน้ำ (part D) ผสมน้ำหมักใบมะรุม และ glycerin ในน้ำ (part E) ผสมสารแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน แล้วคนผสมจนเข้ากันดีจนได้เนื้อเนียน บรรจุลงในขวดแก้วเพื่อทดสอบความคงตัวต่อไป

11. การประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์

บรรจุผลิตภัณฑ์สำหรับทดสอบในขวดแก้วเพื่อศึกษาความคงตัว โดยประเมินความคงตัวทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ หลังจากเตรียมเสร็จทันที และเก็บไว้ ณ อุณหภูมิห้อง (27±2 °C) และอุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 28 วัน และในสภาวะเร่ง (Heating cooling cycle) อุณหภูมิ 40 °C 24 ชั่วโมง สลับกับอุณหภูมิ 4 °C 24 ชั่วโมง จำนวน 6 รอบ (Meetham et al., 2018) การประเมินความคงตัวทางกายภาพ ได้แก่ การวัดความหนืดด้วย Viscometer (Brookfield AMETEX Model DV3T Spindle: CP-52, USA) เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างกลับสู่อุณหภูมิห้อง (27±2 °C) อย่างน้อย 30 นาที ประเมินสีด้วยการสังเกตและเครื่อง Chroma meter (HunterLab Model MiniScan EZ, USA) ประเมินความคงตัวทางเคมีโดยการวัดความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter (Mettler Toledo Model S213, Switzerland)

ประเมินความคงตัวทางจุลชีววิทยาเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์โดยวิธี Aerobic Plate Count (APC) ใช้ Nutrient Agar: NA เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยหยดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปริมาตร 100 µl ลงบนจาน NA และกระจายเชื้อด้วยแท่งแก้ว sterile L-shaped จากนั้นนำไปบ่มที่ 37°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในตู้บ่มเชื้อแบบแอโรบิก สังเกตการเจริญของเชื้อในแต่ละวัน เทียบกับ Bacillus subtilis TISTR 1248 (Positive control) (1×104 CFU/ml) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของสภาวะการทดสอบ

12. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA และ Paired t-test แสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) ของการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง ที่เป็นอิสระต่อกัน แต่ละครั้งทดสอบ 3 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติน้ำหมักใบมะรุม

น้ำหมักใบมะรุมที่หมักด้วยเชื้อ *A. niger* เป็นระยะเวลา 1 วัน มีลักษณะเป็นของเหลวใส สีเหลืองอมน้ำตาลอ่อน และมีกลิ่นสมุนไพรเฉพาะตัวของใบมะรุม เมื่อเพิ่มระยะเวลาการหมักเป็น 2 และ 3 วัน พบว่าสีของน้ำหมักมีความเข้มขึ้นเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลเข้ม ลักษณะของเหลวเริ่มขุ่น และกลิ่นสมุนไพรมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหมัก ส่วนน้ำแช่ใบมะรุม 1 วัน มีลักษณะเป็นของเหลวใสสีเขียวอมเหลือง และมีกลิ่นสมุนไพรเฉพาะตัวของใบมะรุม

2. ปริมาณฟีนอลิกรวม และฟลาโวนอยด์รวมในน้ำหมักใบมะรุม

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content: TPC) และฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoid Content: TFC) ในน้ำหมักใบมะรุมที่หมักด้วยเชื้อ *A. niger* เป็นเวลา 1 2 และ 3 วัน เทียบกับน้ำแช่ใบมะรุมที่ไม่เติมเชื้อและแช่ไว้ 1 วัน พบว่า น้ำแช่ใบมะรุม 1 วันมีค่า TPC เท่ากับ 11.54±0.45 mg GAE/g dry herb ในขณะที่การหมักด้วยเชื้อ A. niger เป็นเวลา 1 วัน มีค่า TPC สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<.05$) เท่ากับ 14.06±0.29 mg GAE/g dry herb แต่มีแนวโน้มลดลงในวันที่ 2 และ 3 ของการหมัก ($p<.05$)

ในทำนองเดียวกัน น้ำแช่ใบมะรุม 1 วันมีค่า TFC เท่ากับ 2.29±0.24 mg QE/g dry herb ในขณะที่การหมักด้วยเชื้อ *A. niger* เป็นเวลา 1 วัน ทำให้ค่า TFC สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<.05$) เท่ากับ 3.08±0.08 mg QE/g dry herb แต่มีแนวโน้มลดลงในวันที่ 2 และ 3 ($p<.05$) เช่นเดียวกัน (ตาราง 1)

3. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำหมักใบมะรุม

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำหมักใบมะรุมที่หมักด้วยเชื้อ *A. niger* เป็นเวลา 1 2 และ 3 วัน เทียบกับน้ำแช่ใบมะรุมที่ไม่เติมเชื้อและแช่เป็นเวลา 1 วัน พบว่า น้ำแช่ใบมะรุมมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน โดยสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ด้วย %Inhibition เท่ากับ 92.05±1.11% ในขณะที่น้ำหมักใบมะรุม 1 วัน มีฤทธิ์ยับยั้งฯ ใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยสูงสุดในวันที่ 3 (95.81±3.89%) ($p<.05$) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการยับยั้งสูงสุดของ ascorbic acid (94.84±0.66%, ณ ความเข้มข้น 80 µg/ml) แต่มี potency ต่ำกว่า

ในทำนองเดียวกัน น้ำแช่ใบมะรุม 1 วันมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันค่อนข้างสูงในการทดสอบ FRAP โดยมี FRAP value เท่ากับ 21.60±1.74 mM Fe^{2+}/g dry herb เมื่อเทียบกับน้ำหมักใบมะรุม 1 วัน พบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งฯ ใกล้เคียงกัน (22.01±0.79 mM Fe^{2+}/g dry herb) แต่มีแนวโน้มลดลงในวันที่ 2 และ 3 ของการหมัก ($p<.05$) (ตาราง 2)

4. ฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสของน้ำหมักใบมะรุม

จากการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสของน้ำหมักใบมะรุมด้วยวิธี Dopachrome เมื่อเติมเชื้อ *A. niger* และหมักเป็นเวลา 1 2 และ 3 วัน เทียบกับน้ำแช่ใบมะรุมที่ไม่เติมเชื้อและแช่เป็นเวลา 1 วัน พบว่า น้ำแช่ใบมะรุมมีฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนส โดยมีค่า %Inhibition เท่ากับ 61.56±1.45% ส่วนน้ำหมักใบมะรุมมีฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<.05$) โดยมีค่า %Inhibition เมื่อหมัก 1 และ 2 วัน ใกล้เคียงกันเท่ากับ 75.84±0.07 และ 75.66±1.59% ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในวันที่ 3 ทั้งนี้ ค่า %Inhibition ของน้ำหมักใบมะรุมมีค่าสูงกว่า kojic acid (70.47±1.30%, ณ ความเข้มข้น 80 µg/ml) แต่มี potency ต่ำกว่า (ตาราง 2) ตัวอย่างกราฟมาตรฐานจากการทดสอบต่าง ๆ แสดงดังภาพ 1

ตาราง 1

ปริมาณฟีนอลิกรวม (TPC) และฟลาโวนอยด์รวม (TFC) ของน้ำหมักใบมะรุมที่หมักด้วยเชื้อ A. niger

สารทดสอบ	เวลาหมัก (วัน)	TPC (mg GAE/g)	TFC (mg QE/g)
น้ำหมักผงใบมะรุม	1	14.06±0.29*	3.08±0.08*
	2	11.07±1.19**	2.75±0.05**
	3	12.06±0.24**	1.36±0.19**
น้ำแช่ผงใบมะรุม	1	11.54±0.45	2.29±0.24

*p<.05 เทียบกับน้ำแช่ผงใบมะรุม 1 วัน (n=3), **p<.05 เทียบกับน้ำหมักผงใบมะรุม 1 วัน

ตาราง 2

ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ FRAP และฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสของน้ำหมักผงใบมะรุมที่หมักด้วยเชื้อ A. niger

สารทดสอบ	เวลาหมัก (วัน)	DPPH Inhibition (%)	FRAP (mM Fe^{2+}/ g dry herb)	Dopachrome Inhibition (%)
น้ำหมักผงใบมะรุม	1	90.90±3.10	22.01±0.79	75.84±0.07*
	2	94.84±2.21**	20.53±1.82**	75.66±1.59
	3	95.81±3.89**	19.64±0.73**	74.31±1.09
น้ำแช่ผงใบมะรุม	1	92.05±1.11	21.60±1.74	61.56±1.45
Ascorbic acid	-	94.84±0.66[a]	-	-
Kojic acid	-	-	-	70.47±1.30[b]

a IC_{50} of ascorbic acid: 42.74±0.47 µg/ml (DPPH), b IC_{50} of kojic acid: 67.17±1.42 µg/ml (Dopachrome)

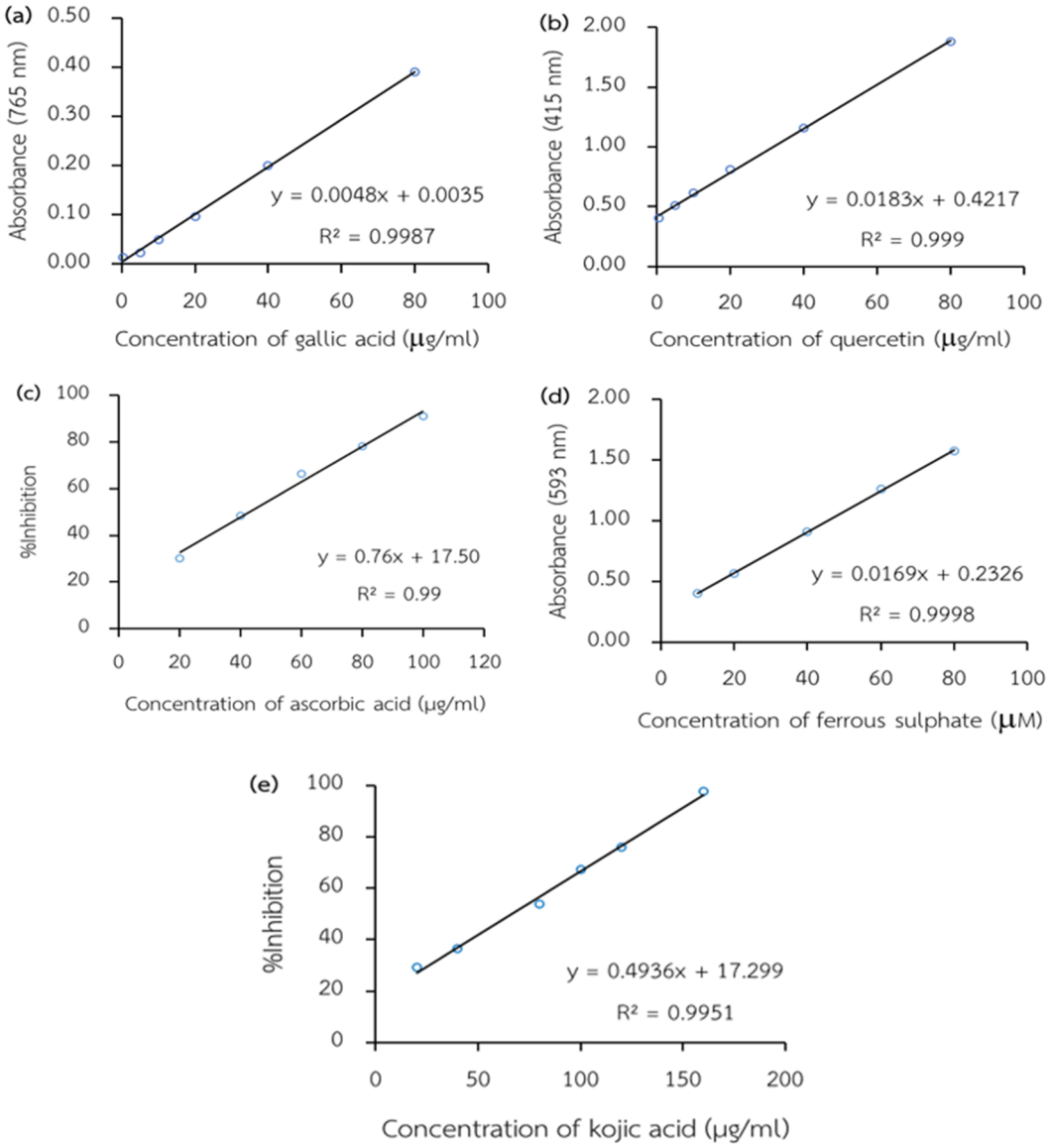
*p<.05 เทียบกับน้ำแช่ผงใบมะรุม 1 วัน (n=3), **p<.05 เทียบกับน้ำหมักผงใบมะรุม 1 วัน

5. การพัฒนาตำรับ Moringa emulgels

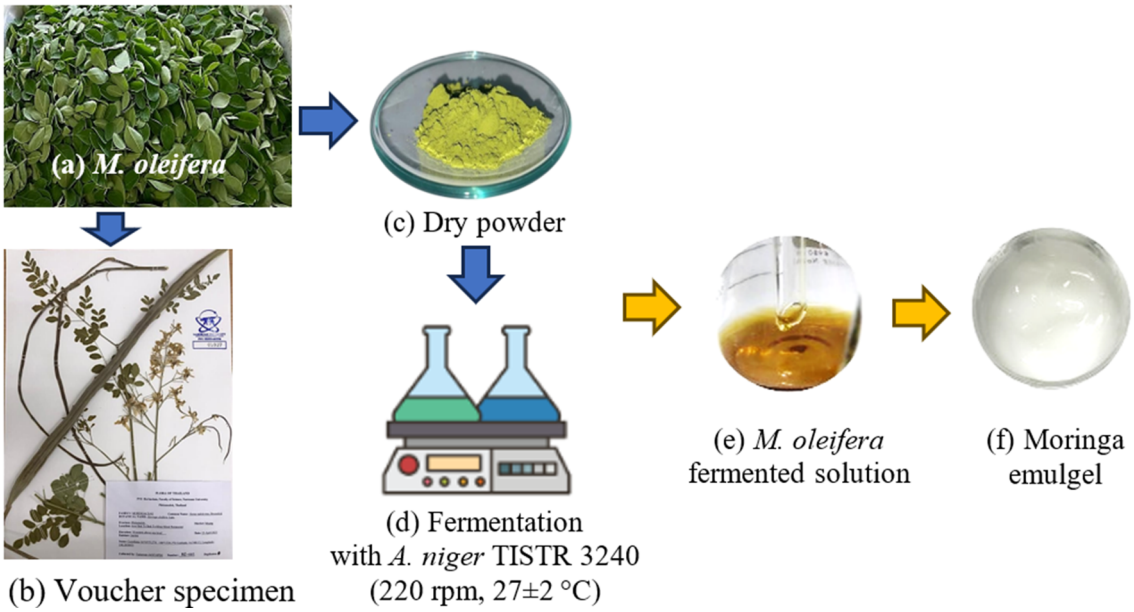
ในการพัฒนาตำรับ Moringa emulgel ได้มีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของสูตรตำรับ (ตาราง 3) ทั้งหมด 13 สูตร เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสบางเบา ไม่มันจนเกินไป มีความหนืดปานกลาง มีความคงตัว และปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยเริ่มจากการปรับความเข้มข้นของสารก่อเจล Carbopol 940 ในสูตรที่ 1–3 ในช่วงความเข้มข้น 0.5–1.5% พบว่า สูตรที่ 2 ซึ่งใช้ความเข้มข้น 1% ให้เนื้อสัมผัสที่เหมาะสม ไม่เหลวหรือข้นจนเกินไป จึงนำไปใช้พัฒนาต่อในสูตรที่ 4–6 โดยปรับระดับของ Viscolam AT 100P ที่ระดับ 2–4% พบว่า สูตรที่ 5 ซึ่งใช้ความเข้มข้น 3% ให้เนื้อ emulgel ที่มีความเสถียร ไม่แยกชั้น และมีลักษณะเนื้อสัมผัสดีที่สุด ในสูตรที่ 7–9 ได้ปรับสัดส่วนของสาร emollients พบว่า สูตรที่ 9 ซึ่งมี isopropyl myristate และ cyclomethicone อย่างละ 2% มีคุณสมบัติซึมซาบได้ดี ไม่เหนียวเหนอะหนะ และได้มีการเติมสารเพิ่มความชุ่มชื้น ได้แก่ glycerine และ sodium hyaluronate ในสูตรที่ 10–11 จากนั้นเติมน้ำหมักใบมะรุมความเข้มข้น 1.0% และ 1.5% ในสูตรที่ 12 และ 13 ตามลำดับ พร้อมทั้งเติม citrate buffer สารกันเสีย สารแต่งกลิ่น และปรับ pH ด้วย triethanolamine

จากการพัฒนาตำรับ พบว่า ตำรับที่ 13 (ME-13) ซึ่งประกอบด้วยน้ำหมัก ฯ 1%w/w เป็นสูตรที่ดีที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติตรงตามที่กำหนดไว้ มีสีและกลิ่นของน้ำหมักที่ไม่เข้มข้นจนเกินไป มีสีขาวนวลเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า เมื่อวัดด้วย Chroma meter มีค่าพิกัดสี L*a*b* เท่ากับ 63.48 -0.79 และ -2.98 แสดงถึงสีขาวเจือสีเขียวอมฟ้าอ่อน มีสีสว่างมากกว่า emulgel base เล็กน้อย ซึ่ง emulgel base (ส่วนผสมเหมือนตำรับ ME-13 แต่ไม่เติมน้ำหมักใบมะรุม) เมื่อเตรียมเสร็จใหม่จะมีสีขาวนวลเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า มีค่าพิกัดสี L*a*b* เท่ากับ 59.48 -0.47 และ -4.35 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ถึงสีขาวที่มีอันเดอร์โทนเย็น เจือเขียวอมฟ้าเล็กน้อย ความแตกต่างของสี (ΔE) ระหว่าง emulgel base กับ ME-13 เท่ากับ 4.24 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยสายตา

ตำรับ ME-13 มีเนื้อสัมผัสบางเบา ไม่มันจนเกินไป มีความหนืดปานกลาง สามารถเกลี่ยบนผิวได้ง่าย มีกลิ่นหอมอ่อนแนวดอกไม้ผสมสมุนไพร สามารถช่วยกลบกลิ่นของส่วนผสมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตำรับมีค่า pH 5.0–5.5 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับผิวหนัง ขั้นตอนการวิจัยเพื่อเตรียม *M. oleifera* emulgel Voucher specimen ของใบมะรุม ลักษณะผงใบแห้ง *M. oleifera* fermented solution และ *M. oleifera* emulgel แสดงดังภาพ 2



ภาพ 1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐาน (a) gallic acid จากการทดสอบ TPC (b) quercetin จากการทดสอบ TFC (c) ascorbic acid จากการทดสอบ DPPH (d) ferrous sulphate จากการทดสอบ FRAP และ (e) kojic acid จากการทดสอบ dopachrome



ภาพ 2 (a) ใบมะรุม (*M. oleifera* Lam.) (b) Voucher specimen (c) ผงใบแห้ง (d) สภาวะการหมักผงใบมะรุมด้วยเชื้อ *A. niger* TISTR 3240 (e) fermented solution และ (f) Moringa emulgel

6. ความคงตัวของตำรับ Moringa emulgel

จากการศึกษาความคงตัวของ Moringa emulgel ตำรับที่ 13 (ME-13) เทียบกับ emulgel base เมื่อเก็บในสภาวะต่าง ๆ พบว่า ตำรับ emulgel base มีสีค่อนข้างคงตัว มีค่าสีเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บในสภาวะเร่ง โดยมีความสว่างของสีเพิ่มขึ้น สำหรับสีของ Moringa emulgel พบค่าสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ในสภาวะเร่ง มีค่าความสว่าง (L*) ลดลง แสดงถึงสีที่เข้มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของสีจนเป็นที่สังเกต

ตำรับ ME-13 เมื่อเตรียมเสร็จใหม่มีความหนืดเท่ากับ 28,435±643.47 cP เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง 28 วัน ความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (29,550±1541.49 cP) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการเก็บที่ 40°C 28 วัน ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ($p<.05$) ในขณะที่การเก็บในสภาวะเร่งทำให้ความหนืดลดลง ($p<.05$) ตำรับ emulgel base เมื่อเตรียมเสร็จใหม่จะมีความหนืด (35,280±622.25 cP) สูงกว่าตำรับ ME-13 อย่างมีนัยสำคัญ ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง 28 วัน แต่ลดลงในสภาวะเร่งอย่างมีนัยสำคัญ ($p<.05$) ยกเว้นที่อุณหภูมิ 40°C ความหนืดไม่เปลี่ยนแปลง

ME-13 และ emulgel base มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในช่วงแคบ (5.38–5.44) และคงที่ตลอดระยะเวลาการศึกษา โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และไม่แสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงแม้ภายใต้สภาวะเร่ง ทั้งตำรับ ME-13 และ emulgel base ไม่พบการเจริญของจุลชีพในทุกสภาวะการเก็บ (ตาราง 4) ในขณะที่ B. subtilis (positive control) มีการเจริญบน NA อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าอาหารเลี้ยงเชื้อและสภาวะการบ่มที่ใช้ในการทดสอบมีความเหมาะสม

การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการหมักผงใบมะรุมด้วยเชื้อ *A. niger* เป็นเวลา 3 วัน พบว่า น้ำหมักใบมะรุมที่หมักเป็นระยะเวลา 1 วัน มีลักษณะทางกายภาพและกลิ่นที่เหมาะสมสำหรับนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง การหมักในระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้น้ำหมักมีสีเข้มขึ้น เริ่มมีความขุ่นและมีกลิ่นที่เข้มข้นมากเกินไป ซึ่งอาจลดความน่าใช้ของผลิตภัณฑ์ได้ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพดังกล่าวอาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายโครงสร้างของเซลล์พืชโดยเอนไซม์ที่ผลิตจาก *A. niger* เช่น เซลลูเลส (cellulase) และเฮมิเซลลูเลส (hemicellulase) ซึ่งส่งผลให้สารออกฤทธิ์ชีวภาพถูกปลดปล่อยออกมาสู่น้ำหมักมากขึ้น (Pandey

et al., 2016) การเพิ่มขึ้นของสี ความขุ่น และกลิ่นของน้ำหมักสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดที่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของสารชีวภาพในกระบวนการหมัก สอดคล้องกับรายงานการหมักพืชสมุนไพรชนิดอื่นที่พบการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกัน (Li et al., 2020) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการหมักในระยะเวลานานอาจส่งเสริมการปลดปล่อยสารชีวภาพต่าง ๆ แต่ควรพิจารณาองค์ประกอบอื่นร่วมด้วย เช่น ความเหมาะสมของลักษณะปรากฏ ปริมาณและความแรงของสารออกฤทธิ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งคุณสมบัติทางชีวภาพที่ดีและมีการใช้ในการทดลอง ได้ศึกษาเปรียบเทียบกับผลของน้ำแช่ใบมะรุม 1 วันเพื่อประเมินผลของการหมักจุลินทรีย์ โดยน้ำแช่ใบมะรุมมีแนวโน้มให้สารกลุ่มฟีนอลิกที่ละลายน้ำได้บางชนิด ขณะที่น้ำหมักอาจมีองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ที่หลากหลายและมีความซับซ้อนมากขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content: TPC) และฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoid Content: TFC) ในน้ำแช่ใบมะรุมที่ไม่เติมเชื้อ *A. niger* พบองค์ประกอบของสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในระดับหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่ระบุว่า ใบมะรุมเป็นแหล่งสำคัญของสารออกฤทธิ์ชีวภาพกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (Stohs & Hartman, 2015; Vergara-Jimenez et al., 2017) เมื่อพิจารณาผลของกระบวนการหมักโดยใช้เชื้อ *A. niger* พบว่า มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาหมัก 1 วัน ซึ่งให้ค่าTPC และ TFC สูงสุดในการทดลอง ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากเอนไซม์ที่สร้างจากเชื้อ *A. niger* เช่น cellulase และ β-glucosidase ช่วยย่อยสลายผนังเซลล์พืชและส่งเสริมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ออกมาสู่สารละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตาราง 3

ส่วนประกอบของสูตรตำรับ Moringa emulgels ตำรับที่ 13 (ME-13) และ emulgel base

Ingredients	emulgel base (%w/w)	ME-13 (%w/w)	Uses
Carbopol 940	1.0	1.0	Gel-forming agent
Viscolam AT 100P	3.0	3.0	Emulsifier
Isopropyl myristate	2.0	2.0	Emollient
Cyclomethicone	2.0	2.0	Emollient
Sodium hyaluronate	0.25	0.25	Humectant
Glycerine	2.0	2.0	Humectant
M. oleifera fermented solution	-	1.0	Brightening agent
Di-sodium EDTA	0.01	0.01	Chelating agent
Citrate buffer	10	10	Buffering agent
Microcare PHC	0.6	0.6	Preservative
Fragrance	0.1	0.1	Fragrance
Triethanolamine	adjust pH to 5.5	adjust pH to 5.5	Neutralizer
Deionized water to	100	100	Solvent

ตาราง 4

คุณสมบัติของ Moringa emulgel ตำรับที่ 13 (ME-13) และความคงตัวของตำรับ ฯ

ตำรับ	สภาวะการเก็บ	สี	ความหนืด (cP)	pH	Microbial growth
ME-13	เตรียมเสร็จใหม่	ขาวนวล	28,435±643.47[b]	5.40±0.01	ไม่พบเชื้อ
	อุณหภูมิห้อง 28 วัน	ขาวนวล	29,550±1541.49[b]	5.41±0.01	ไม่พบเชื้อ
	40 °C 28 วัน	ขาวนวล	35,460±1994.04[a]	5.39±0.01	ไม่พบเชื้อ
	สภาวะเร่ง	ขาวนวล	25,480±1230.37a,b	5.38±0.01	ไม่พบเชื้อ
emulgel base	เตรียมเสร็จใหม่	ขาว	35,280±622.25	5.42±0.02	ไม่พบเชื้อ
	อุณหภูมิห้อง 28 วัน	ขาว	38,400±367.70[a]	5.44±0.00	ไม่พบเชื้อ
	40 °C 28 วัน	ขาว	34,370±113.14	5.39±0.01	ไม่พบเชื้อ
	สภาวะเร่ง	ขาว	32,405±473.76[a]	5.40±0.03	ไม่พบเชื้อ

หมายเหตุ: แสดงผลด้วยค่า Mean±SD (n=3) ap<.05 เทียบกับตำรับเดียวกันมื่อเตรียมเสร็จใหม่ และ bp<.05 ME-13 เทียบกับ emulgel base ในสภาวะการเก็บเดียวกัน วัดความหนืดด้วย Brookfield AMETEK DV3T Cone Plate Spindle CP-52 ความเร็วรอบ 5 rpm อุณหภูมิ 25±2°C และ %Torque 70–90%

อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการหมักยาวนานเกินกว่า 1 วัน ปริมาณ TPC และ TFC มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Feitosa et al. (2020) และ Starzyńska-Janiszewska et al. (2022) ซึ่งพบว่า เมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้น TPC TFC และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มลดลง มีความเป็นไปได้ว่า อาจเกิดจากการเสื่อมสลายของสารออกฤทธิ์บางชนิดผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ในการหมักต่อเนื่อง หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารสำคัญบางชนิดจนไม่สามารถตรวจวัดได้ในรูปแบบเดิม นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังอาจใช้สารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์บางส่วนเป็นแหล่งพลังงานหรือสารตั้งต้นในกระบวนการเมแทบอลิซึม ส่งผลให้ปริมาณของสารเหล่านี้ลดลงในช่วงหลังของการหมัก สัมพันธ์กับแนวโน้มการลดลงของฤทธิ์ชีวภาพ แสดงให้เห็นความสำคัญของการกำหนดระยะเวลาหมักที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารออกฤทธิ์ชีวภาพสูงสุด

จากผลการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำแช่ใบมะรุมที่ไม่เติมเชื้อ *A. niger* พบว่า มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในระดับสูง สอดคล้องกับรายงานของ Vergara-Jimenez et al. (2017) ที่ระบุว่า ใบมะรุมมีปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ปริมาณมาก ซึ่งเป็นสารสำคัญที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ การหมักด้วยเชื้อ *A. niger* สามารถเพิ่มฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้เล็กน้อยจากสภาวะเริ่มต้นที่มีค่าสูงอยู่แล้ว สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่า ใบมะรุมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงโดยธรรมชาติ (Sreelatha et al., 2009; Fitriana et al., 2016) จึงอาจส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงฤทธิ์ชีวภาพหลังการหมักไม่แตกต่างมากนักในทำนองเดียวกัน Feitosa et al. (2020) รายงานว่าการหมักผงใบมะรุมในสภาวะแบบของแข็ง (solid-state fermentation) โดยใช้เชื้อ *A. niger* ทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกเพิ่มขึ้น 136.4% และฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นถึง 783.1% เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากใบมะรุมที่ไม่ผ่านการหมัก ในสภาวะความชื้น 50 และ 70% เมื่อสกัดด้วย 80% ethanol และ 80% acetone ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทดสอบด้วยวิธี FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power assay การหมักดังกล่าวยังส่งผลให้เกิดการสร้างสารประกอบฟีนอลิกชนิดใหม่จำนวน 14 ชนิด ซึ่งไม่พบก่อนการหมัก ได้แก่ (2-hydroxycinnamic

acid kaempferol 3-glicoside p-coumaric acid trans-cinnamic acid luteolin caffeic acid isorhamnetin 6,2 dihydroxyflavone chlorogenic acid epicatechin epigallocatechin gallate quercetin taxifolin และ ferulic acid) โดยสารเหล่านี้มีรายงานว่า มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและต้านจุลชีพอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้จึงสะท้อนให้เห็นว่า แม้ใบมะรุมจะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในระดับสูงโดยธรรมชาติ แต่กระบวนการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ที่เหมาะสม เช่น *A. niger* มีบทบาทในการเสริมฤทธิ์และปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัด ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพหรือเครื่องสำอางที่เน้นคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้ TPC TFC และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำหมักใบมะรุมที่ได้จากงานวิจัย ที่แตกต่างจากรายงานของ Feitosa et al. (2020) นั้น อาจเกิดได้จากความแตกต่างของแหล่งที่มาของพืช และสภาวะการหมักซึ่ง Feitosa et al. (2020) ทำการหมักใบมะรุมแบบสถานะของแข็ง (Solid-state fermentation: SSF) และทำการศึกษาชนิดของน้ำยาสกัดที่เหมาะสม จึงได้ TPC TFC และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่สูงกว่า

สำหรับการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส พบว่า น้ำแช่ใบมะรุม 1 วันมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสโดยใบมะรุมมีฤทธิ์ ฯ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า กระบวนการหมักมีบทบาทในการเพิ่มฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Laksamiani et al. (2022) ที่รายงานว่า สารสกัดใบมะรุมที่สกัดด้วยวิธี maceration มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 115.36 µg/ml (โดยเปรียบเทียบกับ kojic acid ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 48.90 µg/ml) โดยคาดว่าสาร quercetin ในใบมะรุมเป็นสารสำคัญที่มีฤทธิ์ดังกล่าว นอกจากนี้ Hashim et al. (2021) ยังพบว่า สารสกัดใบมะรุมสามารถลดการสร้างเมลานินโดยยับยั้งไทโรซิเนสผ่านกลไก uncompetitive inhibition (ค่า Kii = 73 µg/ml) โดยมี luteolin เป็นสารสำคัญร่วมที่มีบทบาทในการยับยั้งเอนไซม์ พร้อมกับมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเสริมฤทธิ์การทำงาน ในส่วนของงานวิจัยโดย Nurzak et al. (2022) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมจากสารสกัดใบมะรุมที่เตรียมด้วยการหมักใน 70% ethanol พบว่าสารสกัดมีฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 92.37±8.11 µg/ml (เทียบกับ kojic acid ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 65.03±2.44 µg/ml) และเมื่อนำไปพัฒนาเป็นครีมบำรุงผิว พบว่ามีคุณสมบัติทางเครื่องสำอางที่ดี เช่น ค่า pH ที่เหมาะสม ความเป็นเนื้อเดียวกัน และการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากใบมะรุมมีฤทธิ์ในการยับยั้ง tyrosinase activity ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการลดการสร้างเม็ดสีเมลานิน จึงมีแนวโน้มในการนำไปใช้เพื่อส่งเสริมให้ผิวแลดูกระจ่างใส อีกทั้งการหมักยังเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของฤทธิ์ชีวภาพดังกล่าว จึงสามารถพัฒนาน้ำหมักใบมะรุมให้เป็นสารออกฤทธิ์จากธรรมชาติที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพื่อผิวกระจ่างใสและการชะลอวัยของผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยและประสิทธิผลของผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพและกำหนดมาตรฐานของสารสำคัญอย่างเป็นระบบ

ในการเตรียมผงใบมะรุมสำหรับหมัก ได้ทำการฆ่าเชื้อผงใบมะรุมด้วย autoclave เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อน และควบคุมการหมักให้เกิดเฉพาะเชื้อที่ต้องการ เพื่อความสม่ำเสมอของกระบวนการหมักและความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม ความร้อนสูงจากกระบวนการดังกล่าวอาจส่งผลให้สารสำคัญ เช่น สารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เสื่อมสภาพหรือลดลง หากมีการพัฒนาในระดับอุตสาหกรรม อาจพิจารณาใช้วิธีฆ่าเชื้อแบบไม่ใช้ความร้อน (non-thermal sterilization) เพื่อคงคุณค่าสารออกฤทธิ์ได้ดียิ่งขึ้น

ในการพัฒนาตำรับ Moringa emulgel เลือกใช้ Carbopol 940 เป็นสารก่อเจลหลัก โดยปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อส่งเสริมการเกิดโครงสร้างสามมิติของเนื้อเจล ซึ่งช่วยเพิ่มความหนืดและความคงตัวของตำรับ พร้อมทั้งใช้ Viscolam AT 100P เป็นสารเพิ่มความหนืดอีกชนิดหนึ่งที่ช่วยเสริมการเกิดอิมัลชันและรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชัน ทั้งยังมีบทบาทในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้เนียนนุ่ม นอกจากนี้มีการใช้ isopropyl myristate เพื่อเพิ่มความนุ่มลื่น ลดความเหนอะหนะ

และเสริมการซึมผ่านของสารออกฤทธิ์เข้าสู่ผิวหนัง ส่วน glycerin ทำหน้าที่เป็นสารให้ความชุ่มชื้นโดยดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมและช่วยกักเก็บน้ำในผิวหนัง ลดการสูญเสียน้ำและคงความชุ่มชื้นของผิว เติม Cyclomethicone เพื่อช่วยเพิ่มความลื่น เกลี่ยง่าย ลดความเหนอะหนะ และให้ความรู้สึกสบายผิวหลังการใช้ เติมสารควบคุม pH ได้แก่ sodium citrate และ citric acid ในขณะที่ di-sodium EDTA ทำหน้าที่เป็นสารคีเลต และ Microcare PHC ทำหน้าที่เป็นสารกันเสียเพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระยะยาว ในสูตรนี้เติมน้ำหมักใบมะรุมความเข้มข้น 1% w/w ซึ่งคิดเป็นปริมาณสารออกฤทธิ์อย่างน้อยสองเท่าของความเข้มข้นที่แสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (โดยวิธี DPPH และ FRAP) และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส จากการประเมินพบว่าตำรับ ME-13 เป็นตำรับที่มีคุณลักษณะดีที่สุด โดยมีลักษณะของอิมัลเจลที่เหมาะสมตามต้องการ อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ความเข้มข้นดังกล่าวเป็นเพียงแนวทางเบื้องต้น เนื่องจากประสิทธิภาพของน้ำหมักเมื่อใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความสามารถในการซึมผ่านผิวหนัง การปลดปล่อยสารออกฤทธิ์จากตำรับ ความคงตัว รวมถึงปฏิสัมพันธ์กับสารอื่นในตำรับ การประเมินประสิทธิภาพเพิ่มเติมทั้งในระดับ ex vivo และ in vivo จะช่วยยืนยันการนำไปใช้จริงได้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

ตำรับ ME-13 มีสีขาวนวลซึ่งได้จากน้ำหมักใบมะรุมที่มีสารพฤกษเคมีให้สีตามธรรมชาติ เมื่อเก็บในสภาวะต่าง ๆ สีของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเข้มขึ้นภายใต้สภาวะเร่ง (accelerated condition) โดยตรวจวัดจากเครื่อง Chroma meter อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงสีไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ตำรับ ME-13 มีความหนืดต่ำกว่า emulgel base เล็กน้อย ซึ่งคาดว่าเกิดจากผลของน้ำหมักใบมะรุมต่อโครงสร้างพอลิเมอร์ในระบบเจล และอาจมีผลร่วมจากแอลกอฮอล์ในปริมาณเล็กน้อย (0.4% w/w) จากกระบวนการสกัด อย่างไรก็ตาม ตำรับมีความหนืดค่อนข้างคงที่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง แม้จะมีความผันผวนอยู่บ้างภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่แตกต่าง แต่ค่าความหนืดยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้ในเครื่องสำอาง การเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวของตำรับ นอกจากนี้ pH ของตำรับ ME-13 ยังมีความคงที่ตลอดระยะเวลาการศึกษาในทุกสภาวะการเก็บ ซึ่งสะท้อนถึงความคงตัวทางเคมีของระบบ emulgel และองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากน้ำหมักใบมะรุม อีกทั้งยังไม่พบการเจริญของจุลชีพใดในทุกสภาวะการเก็บ แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบสารกันเสียที่เลือกใช้ และความสะอาดของกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า น้ำหมักใบมะรุมที่เตรียมโดยใช้เชื้อ *A. niger* TISTR 3240 เป็นเวลา 1 วัน สามารถเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ รวมถึงเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและเพิ่มฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนา Moringa emulgel ที่มีส่วนผสมของน้ำหมักใบมะรุมได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสม มีความคงตัวทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาที่น่าพอใจ และแนะนำให้เก็บในอุณหภูมิห้อง โดยหลีกเลี่ยงการเก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง

แม้ผลการศึกษานี้จะแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของน้ำหมักใบมะรุมมที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและฤทธิ์ต้านไทโรซิเนส ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางได้ อย่างไรก็ตามควรทำการตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ของเชื้อรา *A. niger* ในผลิตภัณฑ์อย่างเป็นระบบทั้งในน้ำหมักและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เพื่อยืนยันความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

ในอนาคต ควรมีการศึกษาผลของปริมาณและคุณสมบัติของน้ำหมักใบมะรุมที่มีต่อความคงตัวของตำรับเพิ่มเติม รวมถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารพฤกษเคมีในน้ำหมัก และติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำหมัก ฯ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการกำหนดองค์ประกอบในตำรับอิมัลเจลที่พัฒนาขึ้น ตลอดจนการทดสอบความคงตัวระยะยาว การศึกษาประสิทธิภาพในการบำรุงผิวในอาสาสมัคร เพื่อยืนยันผลเชิงคลินิกและสนับสนุนการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร งบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาตรี ประจำปีการศึกษา 2566 คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (P1-66-014)

References

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry, 239*(1), 70–76. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature, 181*, 1199–1200. https://doi.org/10.1038/1811199a0

EIN Presswire. (2024). *Natural health products market to hit US$ 93.9 billion by 2033.* Retrieved from https://www.einpresswire.com/article/789980669/natural-health-products-market-to-hit-us-93-9-billion-by-2033

Fan, Z., Chen, T., Cai, G., Huang, X., Zhong, S., Li, X., & Zhang, E. (2023). Effect of Aspergillus niger fermentation on the metabolites in corn stalks. Fermentation, 9(1), 50. https://doi.org/10.3390/fermentation9010050

Feitosa, P. R. B., Santos, T. R. J., Gualberto, N. C., Narain, N. N., & Santana, L. C. L. A. (2020). Solid-state fermentation with Aspergillus niger for the bio-enrichment of bioactive compounds in Moringa oleifera leaves. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 20*, 101878. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101709

Fitriana, W., Ersam, T., Shimizu, K., & Fatmawati, S. (2016). Antioxidant activity of Moringa oleifera extracts. I*ndonesian Journal of Chemistry, 16*(3), 297–301. https://doi.org/10.22146/ijc.21145

Grand View Research. (2024). *Natural cosmetics market size, share & trends analysis report*. Retrieved from https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-natural-cosmetics-market

Hashim, F., Vichitphan, S., Han, J., & Vichitphan, K. (2021). Alternative approach for specific tyrosinase inhibitor screening: Uncompetitive inhibition of tyrosinase by Moringa oleifera. *Molecules, 26*(15), 4576. https://doi.org/10.3390/molecules26154576

Kiattisin, K., Intasai, N., Nitthikan, N., Nantarat, T., Lee, K. H., Lin, W. H. (2019). Antioxidant, anti-tyrosinase, anti-aging potentials and safety of Arabica coffee cherry extract. *Chiang Mai Journal of Science, 46*(5), 930–935. Retrieved from https://www.thaiscience.info/Journals/Article/CMJS/10990686.pdf (in Thai)

Kobkeatthawin, T., Chantrapromma, S., Suwunwong, T., Rhyman, L., Choong, Y. S., & Mungkin, P. (2021). Synthesis, molecular docking and tyrosinase inhibitory activity of the decorated methoxy sulfonamide chalcones. *Sains Malaysiana, 50*(9), 2603–2604. https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5009-09

Laksmiani, N. P. L., Widiantara, I. W. A., & Pawarrangan, A. B. S. (2022). Potency of moringa (Moringa oleifera L.) leaves extract containing quercetin as a depigmentation agent inhibiting the tyrosinase enzyme using in-silico and in-vitro assay. *Pharmacia, 69*(1), 85–92. https://doi.org/10.3897/pharmacia.69.e73132

Leakaya, N., Sato, V. H., & Chewchinda, S. (2018). Antioxidant activity, total phenolic, total flavonoid content and HPTLC analysis of morin in Maclura cochinchinensis heartwood extract. *The Thai Journal of Pharmaceutical Sciences, 42*, 27–31. (in Thai)

Li, H., Cheng, K. W., Wong, C. C., Fan, K. W., Chen, F., & Jiang, Y. (2020). Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae. *Food Chemistry, 102*(3), 771–776. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.022

Meduri, S. S., Govindharaj, P., Amutha, S., Geetha, P. S., Kanchana, S., & Mini, M. L. (2022). Moringa oleifera; A miracle tree - Review on bioactive compounds, its therapeutic properties, application of innovative technology and value addition. *Ymer, 21*(5), 256–269. https://doi.org/10.37896/YMER21.05/30

Meetham, P., Kanlayavattanakul, M., & Lourith, N. (2018). Development and clinical efficacy evaluation of anti-greasy green tea toner on facial skin. *Brazilian Journal of Pharmacognosy, 28*(2), 214–217. https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.01.001

Miner, P. E. (1993). Emulsion rheology: creams and lotions. In D. Laba (Ed.), *Rheological properties of cosmetics and toiletries* (pp. 313–370). New York, Marcel Dekker.

Nurzak, A. N., Wahyuni, D. F., Yunus, A., & Baso, F. F. (2022). Skin brightening cream formulation and tyrosinase inhibition assay of moringa leaf extract. *International Journal of Pharmaceutical and Biomedical Science, 2*(7), 187–190. https://doi.org/10.47191/ijpbms/v2-i7-01

Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., Soccol, V. T., Vandenberghe, L. P. S., & Mohan, R. (2016). Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: Cassava bagasse. Bioresource Technology, 74(1), 81–87. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00143-1

Patel, A., Bettiga, M., Rova, U., Christakopoulos, P., & Matsakas, L. (2022). Microbial genetic engineering approach to replace shark livering for squalene. *Trends in Biotechnology, 40*(10), 1261–1273. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.03.008

Pérez-Rivero, C., & López-Gómez, J. P. (2023). Unlocking the potential of fermentation in cosmetics: A review. *Fermentation, 9*(5), 463. https://doi.org/10.3390/fermentation9050463

Saroha, A., Verma, A., Dahiya, A., Singh, L., & Garg, R. (2022). Updated review on topical liposomal gel. *International Journal of Health Sciences, 6*(S1), 7475–7491. https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS1.6595

Sreelatha, S., & Padma, P. R. (2009). Antioxidant activity and total phenolic content of Moringa oleifera leaves in two stages of maturity. *Plant Foods for Human Nutrition, 64*(4), 303–311. https://doi.org/10.1007/s11130-009-0141-0

Starzyńska-Janiszewska, A., Stodolak, B., Fernandez-Fernandez, C., Mickowska, B., Verardo, V., & Gómez-Caravaca, A. M. (2022). Phenolic profile, antioxidant activity and amino acid composition of Moringa leaves fermented with edible fungal strains. *Foods, 11*(23), 3762. https://doi.org/10.3390/foods11233762

Stohs, S. J., & Hartman, J. H. (2015). Review of the safety and efficacy of Moringa oleifera. *Phytotherapy Research, 29*(6), 796–804. https://doi.org/10.1002/ptr.5325

Tadić, V. M., Žugić, A., Martinović, M., Stanković, M., Maksimović, S., Frank, A., & Nešić, I. (2021). Enhanced skin performance of emulgel vs. cream as systems for topical delivery of herbal actives (Immortelle extract and hemp oil). *Pharmaceutics, 13*(11), 1919. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13111919

Tran, T. P. A., Tran, T. T. V., Pham, T. L., & Phan, T. K. V. (2024). Potential use of polyphenol-enriched extract from Moringa oleifera leaves as an active ingredient in sunscreen. *Natural Life Science Communications, 23*(2), e2024016. https://doi.org/10.12982/NLSC.2024.016

Vergara-Jimenez, M., Almatrafi, M. M., & Fernandez, M. L. (2017). Bioactive components in Moringa oleifera leaves protect against chronic disease. *Antioxidants, 6*(4), 91. https://doi.org/10.3390/antiox6040091

Xu, Y. B., Chen, G., & Guo, M. (2022). Potential anti-aging components from Moringa oleifera leaves explored by affinity ultrafiltration with multiple drug targets. *Frontiers in Nutrition, 9*, 854882. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.854882

การออกแบบเชิงหลักการอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม
Conceptual Design of High Altitude Pseudo-Satellite

ธนพงศ์ อุ้มปรีชา[1] วันชัย เจียจันทร์[1]* และปริพนธ์ สุขพิมาย[1]
Tanapong Umprechar[1], Wanchai Jiajan[1]* and Pariponth Sukpimai[1]
[1]สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
[1]Graduate School, NavaMinda Kasatriyadhiraj Royal Air Force
*Corresponding author: aerowanchai@gmail.com
Received: May 22, 2025
Revised: July 24, 2025
Accepted: July 31, 2025

บทคัดย่อ

จากบริบทของความมั่นคงสมัยใหม่ที่มีลักษณะซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม (High Altitude Pseudo-Satellite: HAPS) จึงได้รับการพิจารณาในฐานะเทคโนโลยีแห่งอนาคตที่สามารถทดแทนหรือเสริมศักยภาพของระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV) และระบบดาวเทียม (satellite) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในภารกิจด้านการลาดตระเวน การสื่อสาร และการตรวจการณ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบเชิงหลักการของอากาศยาน HAPS ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมุ่งเน้นความเรียบง่ายและความสามารถในการประยุกต์ใช้จริงภายใต้ข้อจำกัดด้านพลังงาน น้ำหนัก และสภาพแวดล้อมที่ระดับความสูง 17 กิโลเมตร เหนือระดับน้ำทะเล แนวทางการออกแบบประกอบด้วย การวิเคราะห์สมดุลระหว่างมวลกับพลังงาน การประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในบริบทภูมิอากาศของ ประเทศไทย และการประมาณค่าทางอากาศพลศาสตร์ อาทิ อัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนัก (power-to-weight ratio) และน้ำหนักต่อพื้นที่ปีก (wing loading) ผลการศึกษาเสนอรูปแบบอากาศยานต้นแบบที่มีน้ำหนักรวม 77 กิโลกรัม มีความกว้างของปีกไม่เกิน 30 เมตร และสามารถปฏิบัติภารกิจได้อย่างต่อเนื่องมากกว่า 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา อย่างน้อย 1 เดือน พร้อมความสามารถในการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายสื่อสารภาคพื้นดิน

คำสำคัญ: เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม อากาศยานไร้คนขับ ดาวเทียม อากาศพลศาสตร์ อัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนัก

Abstract

In the context of modern security, which is characterized by complexity and rapid transformation, High Altitude Pseudo-Satellite: HAPS technology is regarded as a future-oriented solution capable of enhancing or replacing existing Unmanned Aerial Vehicles: UAVs and satellite systems. With applications in surveillance and reconnaissance, this research aims to develop a conceptual design approach for solar-powered HAPS, emphasizing simplicity and practical applicability under constraints related to energy, weight, and environmental conditions at altitudes 17 kilometers above sea level. The proposed design approach includes an analysis of the mass-energy balance, an assessment of solar energy potential within the climatic context of Thailand, and the estimation of aerodynamic parameters such as power-to-weight ratio and wing loading. The study presents a prototype aircraft with a total weight of 77 kilograms and a wingspan not exceeding 30 meters, capable of continuous operation for more than 24 hours for a minimum duration of one month. Furthermore, the system is equipped with real-time data transmission capabilities via ground-based communication networks.

Keywords: High Altitude Pseudo-Satellites, UAVs, satellites, aerodynamic, power-to-weight ratio

บทนำ

จากสถานการณ์โลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ทำให้นานาประเทศเผชิญกับปัญหาด้านความมั่นคงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และยากที่จะคาดการณ์ การรับมือกับภัยคุกคามรูปแบบเดิม ภัยคุกคามแบบอสมมาตร และภัยคุกคามรูปแบบใหม่ จะมีความซับซ้อน และมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น เช่น ปัญหาข้อพิพาทตามแนวชายแดน พื้นที่ทับซ้อน สถานการณ์ความไม่สงบในสามจังหวัดชายแดนใต้ การลักลอบขนยาเสพติดและสิ่งผิดกฎหมายตามแนวชายแดน อีกทั้งปัญหาจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ อาทิเช่น ภัยพิบัติน้ำท่วม ปัญหาไฟป่าและหมอกควัน เป็นต้น

ณ ปัจจุบัน เพื่อแก้ปัญหาด้านความมั่นคงดังกล่าว เทคโนโลยีด้านอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) และดาวเทียมขนาดเล็ก (small-satellite) เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในภารกิจเฝ้าตรวจ ค้นหา ลาดตระเวนทางอากาศ และอวกาศ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการแก้ปัญหาภัยคุกคามทั้งรูปแบบเดิม และรูปแบบใหม่ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังภาพ 1

แต่อย่างไรก็ตาม ในสถานการณ์โลกในอนาคตอันใกล้ ระบบตรวจจับที่ถูกพัฒนาขีดความสามารถทั้งในมิติทางอากาศ และอวกาศ ยังมีข้อจำกัด ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อภัยคุกคาม เช่น ระยะเวลาการปฏิบัติการ ความสามารถในการสื่อสาร และการส่งข้อมูลแบบทันท่วงที เป็นต้น

การปฏิบัติภารกิจในห้วงใกล้อวกาศ (near-space) เทคโนโลยี HAPS ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญที่บทบาทจะเข้ามาทดแทนนวัตกรรมเทคโนโลยีด้านอากาศยานในหลาย ๆ รูปแบบในอนาคต โดยเทคโนโลยี HAPS มีชื่อเต็มว่า High Altitude Pseudo Satellites (Loon LLC, 2019) ในความหมายเชิงเทคนิคเทคโนโลยี HAPS คือ อากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมที่ถูกออกแบบ ให้สามารถปฏิบัติการบินอยู่ในระดับความสูงชั้นบรรยากาศสตาร์โตสเฟียร์ ประมาณ 65,000 ฟุต หรือ 20 กิโลเมตร เหนือระดับน้ำทะเล ดังภาพ 2 ซึ่งเทคโนโลยีนี้เริ่มได้รับความสนใจมากขึ้นในโลกยุคปัจจุบัน เพื่อพัฒนาขีดความ

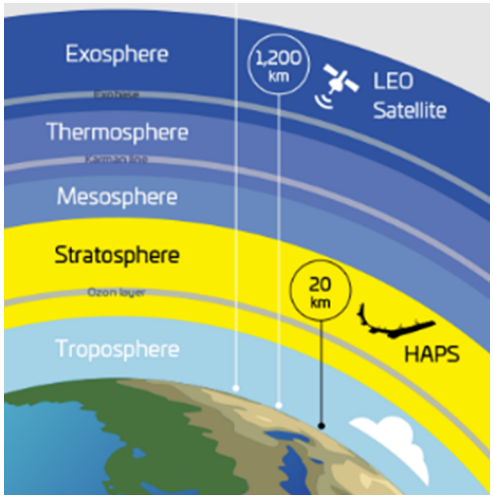
สามารถให้เป็นส่วนเติมเต็มของการปฏิบัติภารกิจในช่องว่างระหว่างอากาศยาน อากาศยานไร้คนขับ และดาวเทียม โดยเทคโนโลยีนี้สามารถปฏิบัติภารกิจได้ยาวนานในระดับระยะเวลาเป็นเดือน จนกระทั่งถึงปี ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานคล้ายดาวเทียม โดยการครองน่านฟ้าเป็นระยะเวลานาน แต่สิ่งที่เป็นข้อแตกต่าง คือ เทคโนโลยีนี้มีศักยภาพในการบินลาดตระเวน เฝ้าตรวจ และส่งข้อมูลตามเวลาจริง (realtime) เหนือน่านฟ้าได้เป็นระยะเวลานาน ซึ่งเป็นข้อจำกัดของดาวเทียมและระบบอากาศยานไร้คนขับที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ในขณะที่เทคโนโลยีมีราคาถูกกว่าเป็นนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบดาวเทียม รวมไปถึงการใช้งานที่ค่อนข้างง่าย และสามารถนำกลับมาซ่อมบำรุงได้ สอดคล้องกับอากาศยานรูปแบบ HALE UAV ซึ่งเป็นอากาศยาน ระดับยุทธศาสตร์ ยกตัวอย่าง เช่น Zephyr (Airbus, 2018) เป็นต้น

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับมือกับภัยคุกคามที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เทคโนโลยี HAPS จะเข้ามามีบทบาทในการนำไปประยุกต์ใช้งานในภารกิจด้านความมั่นคง และพลเรือน ด้วยอัตลักษณ์และคุณลักษณะเฉพาะของเทคโนโลยี HAPS ที่โดดเด่นจะเป็นตัวแปรสำคัญ ในการเชื่อมรอยต่อของข้อจำกัดระหว่างขีดความสามารถของอากาศยานไร้คนขับและเทคโนโลยีดาวเทียมภายในประเทศไทยได้ในอนาคตอันใกล้



ภาพ 1 การพัฒนาขีดความสามารถระบบอากาศยานไร้คนขับ และเทคโนโลยีดาวเทียมของกองทัพอากาศ

Note. From "*The Royal Thai Air Force is moving forward with the Space Air Force, creating its own "NAPA 3" satellite,*" by Siam Rath Online, 2024, retrieved from https://siamrath.co.th/n/585946



ภาพ 2 เทคโนโลยี HAPS ในช่วงความสูงชั้นสตาร์โตสเฟียร์

Note. From "*Alphabet's Loon and SoftBank's HAPSMobile Join Forces*," by LLC. Loon, 2019, retrieved from https://www.uasvision.com/2019/04/26/alphabets-loon-and-softbanks-hapsmobile-join-forces/

ทบทวนวรรณกรรม

การพัฒนา HAPS เริ่มต้นในช่วงทศวรรษที่ 1930 จากการใช้บอลลูนบรรจุไฮโดรเจนเพื่อลอยตัว ต่อมาในช่วงปี 1960 มีการพัฒนาเครื่องบินเจ็ต เช่น U-2 และ SR-71 สำหรับปฏิบัติภารกิจ ในปี 1970 มีการวิจัย HAPS ประเภทเรือเหาะ เช่น High Platform II (Ehrenfried, 2014) และในช่วงปี 2000 เป็นต้นมา เทคโนโลยี HAPS ได้พัฒนาไปสู่การเป็นอากาศยานไร้คนขับอย่างเต็มรูปแบบ ปฏิบัติภารกิจที่ระดับความสูงชั้นบรรยากาศสตาร์โทรเฟียส

ในการศึกษาวิเคราะห์การคาดคะเนเรื่องการตลาดบนพื้นฐานของการวิจัย และพัฒนา ในปี 2020–2025 มีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ (Mordor, 2020) ยกตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกับภารกิจทางทหารของประเทศอังกฤษ (Harry & Antonios, 2021) โดยเทคโนโลยี HAPS นี้มีชื่อว่า Zephyr สามารถในการบินในระดับความสูง 20 กิโลเมตรจากระดับน้ำทะเล และมีสมรรถนะการบินทนนานได้ถึง 26 วันต่อเนื่อง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ทำให้ระบบสื่อสารมีประสิทธิภาพในการปฏิบัติภารกิจในกรณีฉุกเฉินที่ระบบโครงข่ายระบบสื่อสารหลักเสียหาย นอกจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีระดับโลกแล้ว ยังพบ

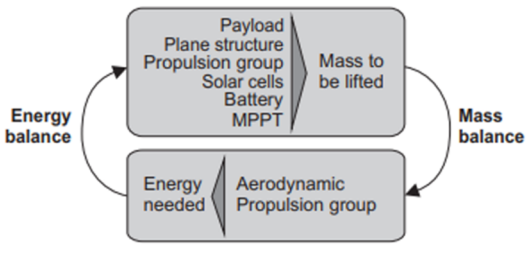
ว่าภายในประเทศไทยมีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอากาศยานพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับปฏิบัติการ อาทิ งานวิจัยจากวารสาร EAU Heritage แบบจำลอง YOLOv5 (Phummalee et al, 2022) ใช้ในการตรวจจับเป้าหมายสำหรับ UAV แบบโจมตี และ (Eiampan et al, 2022) ซึ่งเสนอแนวทางการบริหารความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการบิน UAV แบบ VTOL ที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอิงตามมาตรฐาน ICAO และ NATO AEP-83 ซึ่งทั้งสองกรณีแสดงให้เห็นถึงความพร้อมด้านเทคโนโลยีในประเทศอันสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบระบบ HAPS UAV ได้อย่างเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

อย่างไรก็ตาม การประสบผลสำเร็จด้านการพัฒนาเทคโนโลยี HAPS มีความยาก และมีความท้าทายหลายประการ เนื่องจากการบินปฏิบัติภารกิจที่ระดับความสูง 20 กิโลเมตรจากระดับน้ำทะเลเป็นชั้นที่อากาศค่อนข้างเบาบาง โดยมีความหนาแน่นของอากาศเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นของอากาศที่ระดับน้ำทะเล โดยพลังงานหลักที่ใช้สำหรับเทคโนโลยี HAPS ประเภทอากาศยานไร้คนขับ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ โดยส่วนใหญ่ปฏิบัติภารกิจในช่วงเวลากลางวัน โดยใช้เทคโนโลยีโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนผิวปีก นอกจากนี้พลังงานบางส่วนยังถูกสะสมเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้เป็นพลังงานในการบินต่อเนื่องในช่วงเวลากลางคืน ทั้งนี้เนื่องจากในชั้นบรรยากาศสตาร์โตสเฟียร์มีสภาพแวดล้อมที่มีความคล้ายคลึงกับอวกาศ ดังนั้นความท้าทายด้านเทคนิคในการออกแบบ เป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถช่วยแก้ปัญหาด้านความท้าทายต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบ จากการสำรวจงานวิจัยในแหล่งข้อมูลอ้างอิง พบว่ามีจำนวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากระบวนการออกแบบค่อนข้างน้อย (Noth, 2008) ได้พัฒนากระบวนการออกแบบเชิงหลักการของอากาศยานไร้คนขับที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยมุ่งเน้นการสร้างสมดุลระหว่างมวลและพลังงานที่ต้องใช้ผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ ดังภาพ 3

จากภาพ 3 จะพบว่า การออกแบบเน้นการคำนวณผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหามวลของส่วนประกอบของอากาศยาน โดยอ้างอิงหลักอากาศพลศาสตร์ ความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์และระบบขับเคลื่อน จากกระบวนการออกแบบเชิงหลักการของ (Noth, 2008) ยังมีข้อจำกัดในนำไปประยุกต์ใช้กับอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ ดังนั้น กระบวนการออกแบบของ (Ahmad & Mahdi, 2017) ได้พัฒนาขยายผล และได้ต่อยอดกระบวนการออกแบบของ (Noth, 2008) เพื่อให้สามารถออกแบบเชิงหลักการของเทคโนโลยี HAPS ขึ้นได้จริง โดยมีแนวคิดหลักว่า พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับและสะสมได้ในช่วงเวลากลางวัน จะต้องมีปริมาณมากพอสำหรับช่วงเวลากลางวันและกลางคืน โดยที่น้ำหนักรวมของอากาศยานจะต้องไม่เกินค่าที่ระบบสามารถรองรับได้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อแรงยกที่ต้องการ พื้นที่ปีก และพลังงานที่ใช้ในการบิน หากพลังงานที่ได้รับไม่เพียงพอ หรือมวลของระบบสูงเกินไป อากาศยานจะไม่สามารถบินอยู่รอดได้ตลอดคืน ภายใต้การคำนวณเชิงสุริยะ ซึ่งสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพลังงานตามมุมอาทิตย์ เวลาในแต่ละวัน และละติจูดของพื้นที่ปฏิบัติการ หนึ่งในจุดเด่นสำคัญ คือ การคำนวณ “จุดออกแบบ (Design Point)” ซึ่งเป็นค่ากลางของระบบที่อยู่ในจุดสมดุลสูงสุดของพลังงาน และมวล โดยจุดนี้จะต้องสอดคล้องกับความสามารถของอุปกรณ์ไฟฟ้า โครงสร้างอากาศยาน และพลังงานที่ผลิต และกักเก็บได้ จุด Design Point ถูกหาค่าโดยการปรับค่า Wingspan, AR และน้ำหนักรวมผ่านการ iterate ด้วย MATLAB จนได้จุดที่ระบบสามารถ “อยู่รอดได้ทั้งวันทั้งคืน” ได้จริงในเชิงคำนวณ

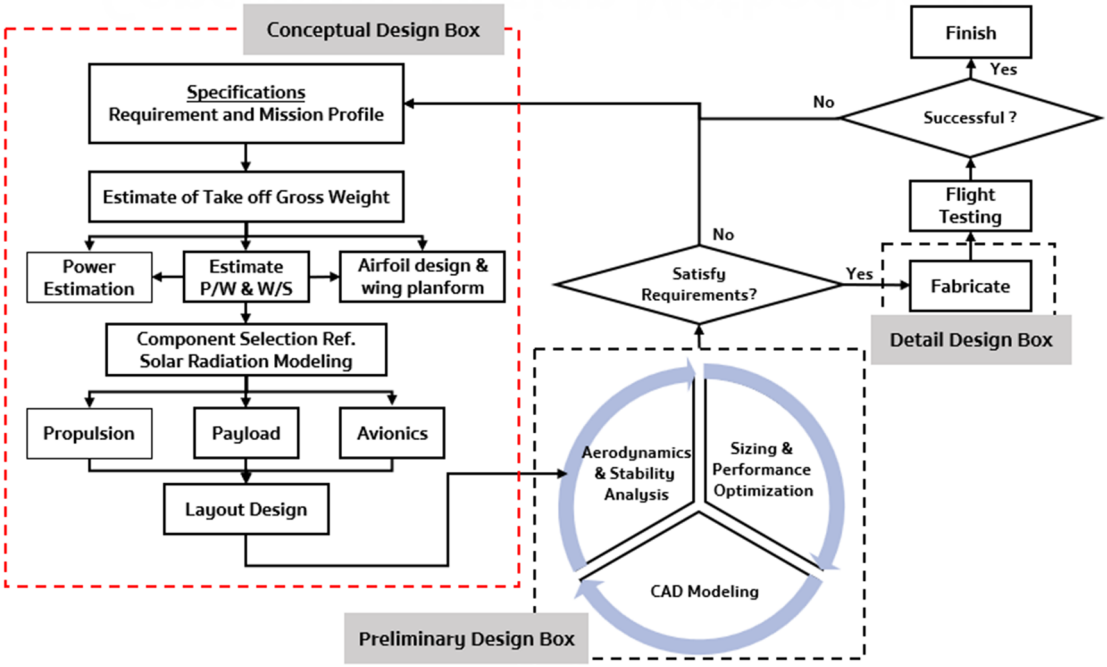
แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบด้วยวิธีการของ (Ahmad & Mahdi, 2017) ยังมีความซับซ้อนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และมีความยากที่จะนำไปใช้ในการออกแบบได้ในเวลาที่จำกัด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอกระบวนออกแบบเชิงหลักการเทคโนโลยี HAPS พลังงานแสงอาทิตย์ ที่เป็นวิธีกระบวนการออกแบบเชิงหลักการแบบดั้งเดิม ที่มีความง่าย ไม่ซับซ้อน คงไว้ซึ่งความน่าเชื่อถือของกระบวนการออกแบบ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการออกแบบจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบเชิงหลักการโดยใช้วิธีของ (Ahmad & Mahdi, 2017) เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์จากกระบวนการออกแบบเชิงหลักการด้วยวิธีแบบดั้งเดิม



ภาพ 3 แนวคิดการสร้างอากาศยานด้วยการสร้างสมดุลระหว่างมวลและพลังงาน

Note. From *Design of solar powered airplanes for continuous flight* (Doctoral dissertation), by A. Noth, 2008, Copyright 2008 by ETH .ZÜRICH



ภาพ 4 ขั้นตอนกระบวนการออกแบบเชิงหลักการโดยอาศัยการคำนวณเชิงสุริยะ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ตามทฤษฎีการออกแบบอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การออกแบบเชิงหลักการ (conceptual design) การออกแบบเบื้องต้น (preliminary design) และการออกแบบรายละเอียด (detail design) ดังภาพ 4

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการมุ่งเน้นการออกแบบเชิงหลักการสำหรับการสร้างอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์เพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดความต้องการ รูปแบบภารกิจ และการกำหนดเงื่อนไขการแผนแบบ

จากภาพ 6 สามารถปฏิบัติภารกิจต่อเนื่องได้เป็นระยะเวลานาน โดยความต่อเนื่องในจัดการพลังงานอากาศยานกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันเพื่อนำมาใช้ในการปฏิบัติการในช่วงเวลากลางคืน โดยการบินของอากาศยานเริ่มต้นจากช่วงทำการบินขึ้น (take-off) ซึ่งโดยทั่วไปใช้ระยะเวลาไม่เกิน 15 นาที โดยช่วงนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับสูงสุด (peak power) เพื่อสร้างแรงยก และความเร็วที่เพียงพอ โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมประมาณ 137.5 วัตต์ชั่วโมง ต่อจากนั้นเข้าสู่ช่วงการไต่ระดับ (climb) ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้เวลานานที่สุดในภารกิจ โดยใช้เวลาสูงสุดถึง 8 ชั่วโมง ด้วยอัตราการไต่เฉลี่ยประมาณ 0.5–0.625 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้เพื่อจำกัดการใช้กำลังไฟฟ้าให้อยู่ภายใต้ขีดความสามารถของระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ และเพื่อให้สามารถไต่ระดับได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ใช้พลังงานมากเกินไป โดยในช่วงนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสะสมประมาณ 4,400 วัตต์ชั่วโมง ซึ่งถือเป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานรวมสูงที่สุดในภารกิจภายหลังจากถึงระดับเพดานบินที่กำหนด ระบบยังคงมีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอสำหรับเข้าสู่ช่วงบินระดับ (cruise) เพื่อปฏิบัติภารกิจตามที่กำหนด โดยจะบินต่อเนื่องจนกว่าจะถึงรอบอายุของแบตเตอรี่ จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการลดระดับ (descent) เพื่อเตรียมการลงจอด โดยในการออกแบบอากามีความต้องการขีดความสามารถของต้นแบบอากาศยานไร้คนขับเบื้องต้น ดังนี้

สามารถบรรทุกอุปกรณ์ระหว่างบรรทุก (payload) 5 กิโลกรัม

มีความกว้างปีกไม่เกิน 30 เมตร

น้ำหนักก่อนวิ่งขึ้นไม่เกิน 100 กิโลกรัม

สามารถปฏิบัติการได้มากกว่า 24 ชั่วโมง อย่างน้อย 1 เดือน

ความสูงปฏิบัติการที่ 17 กิโลเมตร เหนือระดับน้ำทะเล

ความเร็วเดินทาง 17-19 เมตรต่อวินาที

เงื่อนไขการแผนแบบ สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแล้วรังสีจากดวงอาทิตย์จะสม่ำเสมอเท่ากันทั้งบรรยากาศ โดยมีค่าคงที่แสงอาทิตย์ (I_{sc}) มีค่าประมาณ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยในแต่ละ

ตำแหน่งของโลกให้มีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์เรียกว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์ท้องถิ่น (I_0) ซึ่งมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ มุมระหว่างทิศทางของรังสี และทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นโลก (θ_z) ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่อากาศยานปฏิบัติการ โดยสามารถหาค่าความเข้มแสงอาทิตย์ท้องถิ่นได้จาก

$$I_o = I_{SC}\left(1+0.033\cos\left(n\frac{360}{365}\right)\right)\cos\theta_Z \quad (1)$$

ซึ่ง n คือ วันที่ในแต่ละวันของปีนับจากวันแรกของเดือนมกราคม $(1 \le n \le 365)$, θ_Z สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\cos\theta_Z = \cos\varphi\cos\delta\cos\omega_S + \sin\varphi\sin\delta \quad (2)$$

โดยที่ (φ) คือ ละติจูด (δ) คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร (Earth Declination) และ (ω_s) คือ มุมชั่วโมงเนื่องจากการหมุนของโลก (hour angle) ซึ่งค่าต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีต่อไปนี้

$$\delta = 23.45\sin\left(365\frac{284+n}{365}\right) \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}\left(-\tan\varphi\tan\delta\right) \quad (4)$$

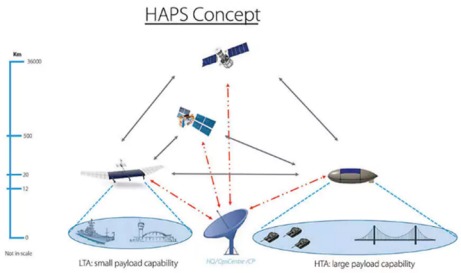
เมื่อทราบมุมชั่วโมงจะสามารถหาเวลาของช่วงวัน (daylight hour) ในตอนกลางวัน (T_{day}) ได้จาก

$$T_{day} = \frac{24*3600}{\pi}\omega_s \quad (5)$$

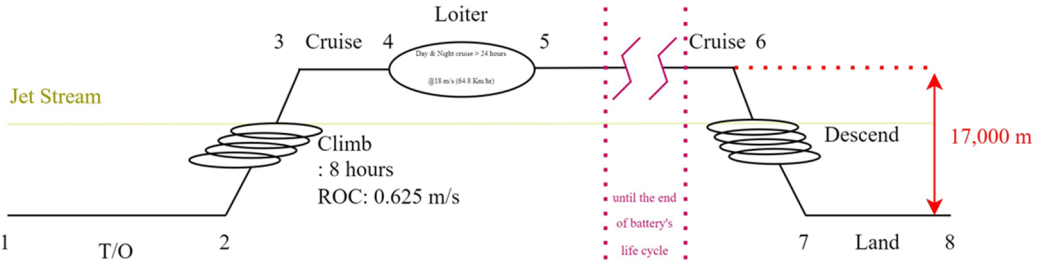
ในความเป็นจริงเมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์เดินทางผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับความสูงจากพื้นโลก และตำแหน่งที่ปฏิบัติการ โดยมีสาเหตุมาจากการที่รังสีสามารถกระจายและถูกดูดกลืนได้โดยก๊าซที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ ดังภาพ 7 โดยค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีค่าระดับความสูงจากพื้นโลกถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ รังสีโดยตรง (I_{dir}) รังสีกระจาย (I_{diff}) และรังสีสะท้อน (reflected radiation) สำหรับการปฏิบัติการในความสูงที่มาก ค่ารังสีสะท้อนจะถูกยกเว้นเนื่องด้วยปราศจากเมฆ และความชื้นที่ต่ำ ดังนั้นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ท้องถิ่นทั้งหมด (I_{tot}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$I_{tot} = I_{dir} + I_{diff} \quad (6)$$

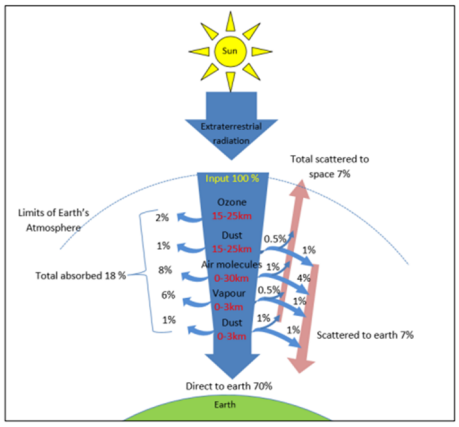
โดยค่ารังสีโดยตรงสามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันของระดับความสูง และมุมเงยของดวงอาทิตย์ซึ่งมีค่าสำหรับระดับความสูงที่สูงกว่า 10 กิโลเมตร



ภาพ 5 แนวทางการปฏิบัติการของอากาศยานในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์



ภาพ 6 รูปแบบการบินปฏิบัติภารกิจ



ภาพ 7 การกระจายพลังงานรังสีของลำแสงผ่านชั้นบรรยากาศ

Note. From *Design of a Swept-Wing High-Altitude Long-Endurance Unmanned Air Vehicle (HALE UAV)* (Doctoral dissertation), by University of Salford Greater Manchester. Copyright 2017 by University of Salford Greater Manchester

ตาราง 1

ค่าคงที่สำหรับการคำนวณรังสีจากดวงอาทิตย์

ตัวแปร	ค่า
c_s ค่าคงที่	0.357
h_s ค่าคงที่ความสูง	7 km
h_b ค่าคงที่ความสูง	40 km
S_s ค่าคงที่	0.678
R_E รัศมีโลก	6356.8 km

$$I_{dir} = I_0 exp\left\{ \frac{c_s exp\left(\frac{-h}{h_s}\right)}{\left[sin\left(\frac{\alpha_s + \alpha_{dep}}{1 + \frac{\alpha_{dep}}{90}} \right) \right]^{Ss + \frac{h}{hs}}} \right\} \quad (7)$$

$$\alpha_{dep} = 0.57 + cos^{-1}\left(\frac{R_E}{R_E + h} \right) \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta_z \quad (9)$$

โดยที่ (h) คือ ความสูงในหน่วยกิโลเมตร และ (α_{dep}) คือ มุมก้ม โดยค่าคงที่อื่นสามารถดูได้จากตาราง 1 ในส่วนของรังสีกระจายสามารถหาได้จากรังสีโดยตรง และระดับความสูงที่ปฏิบัติการ

$$I_{diff} = 0.08 I_{dir}\, exp\left(-\frac{h}{h_s} \right) \quad (10)$$

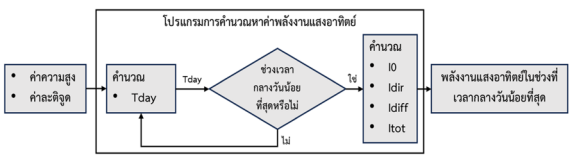
พลังงานจากแสงอาทิตย์ทั้งหมด (E_{day}) สามารถหาได้จากการอินทิเกรตสมการที่ (11) สำหรับช่วงเวลากลางวัน

$$E_{day} = \int I_{tot}\, dt \quad (11)$$

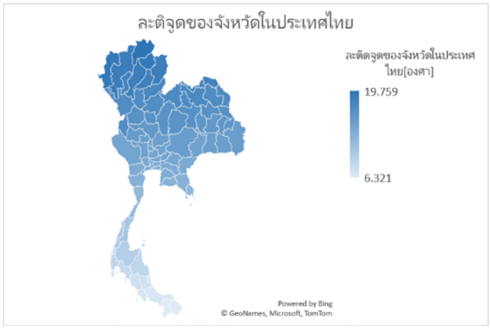
2. พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

2.1 การพิจารณาการเลือกค่าพลังงานแสงอาทิตย์ จะเลือกใช้ช่วงเวลากลางวันน้อยที่สุดเป็นเกณฑ์หลักในการพิจารณา (เหตุการณ์เลวร้ายสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้น) และอินทิเกรตค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ในวันดังกล่าวเพื่อนำค่าพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการคำนวณ โดยมีแผนภาพการคำนวณ ดังภาพ 8

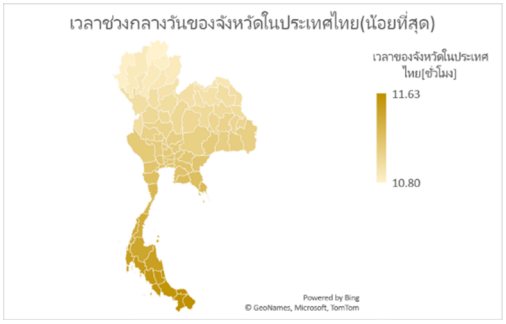
2.2. พลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละจังหวัดของประเทศไทย ประเทศไทยมีช่วงของละติจูดอยู่ในช่วง 6.321 – 19.759 องศาเหนือ ดังภาพ 9 ซึ่งเมื่อนำช่วงของละติจูดมาคำนวณที่ความสูง 17 กิโลเมตร เพื่อหาช่วงเวลากลางวันน้อยที่สุด จะพบว่าภาคเหนือมีช่วงเวลากลางวันน้อยที่สุดมีค่า 10.8 ชั่วโมง และภาคใต้มีช่วงเวลากลางวันน้อยที่สุดมีค่า 11.63 ชั่วโมง ดังภาพ 10



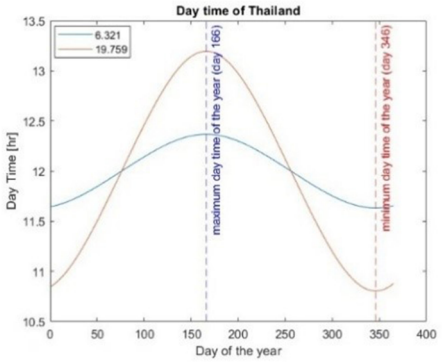
ภาพ 8 แผนภาพแสดงลำดับการคำนวณของโปรแกรมการคำนวณหาค่าพลังงานแสงอาทิตย์



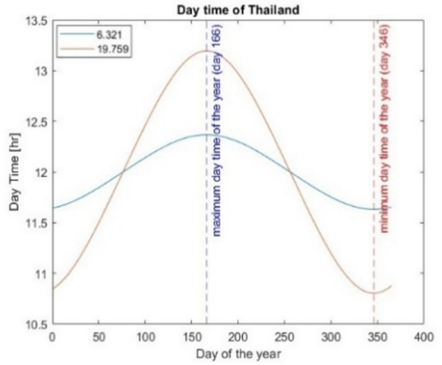
ภาพ 9 ละติจูดของประเทศไทย



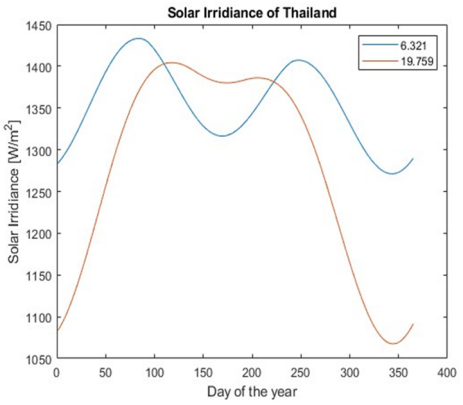
ภาพ 10 ช่วงเวลากลางวันประเทศไทย (น้อยที่สุด)



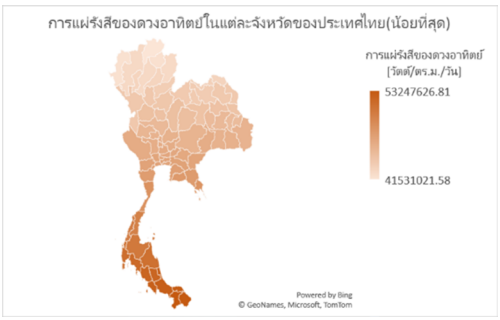
ภาพ 11 เปรียบเทียบช่วงเวลากลางวันของประเทศไทยที่จุดละติจูดต่ำสุด และสูงสุด



ภาพ 12 เปรียบเทียบค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ละติจูดต่ำสุด และสูงสุดของประเทศไทย



ภาพ 13 เปรียบเทียบค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ละติจูดต่ำสุด และสูงสุดของประเทศไทย



ภาพ 14 พลังงานจากแสงอาทิตย์ในแต่ละจังหวัดของประเทศไทย (น้อยที่สุด)

3. การประมาณน้ำหนักรวมทั้งหมดของอากาศยาน

เป็นการประมาณค่าน้ำหนักมากที่สุดที่เป็นไปได้ โดยไม่รวมน้ำหนักของผู้โดยสารและน้ำมัน มีเพียงน้ำหนักของอากาศยานและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขับเคลื่อนอากาศยาน ทางผู้วิจัยได้เลือกวิธีการ Payload weight Fraction เนื่องจากเป็นวิถีการประมาณค่าน้ำหนักจากทำการสำรวจน้ำหนักบรรทุกต่อน้ำหนักรวมของอากาศยานประเภท HAPS ที่มีการพัฒนาขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยไม่ใช้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานหลัก

จากตาราง 2 ทำให้ทราบค่าอัตราส่วนน้ำหนักอุปกรณ์ระหว่างบรรทุก (w_p) ต่อน้ำหนักรวม (w_t) มีค่าเท่ากับ 0.065

4. อุปกรณ์ระหว่างบรรทุก

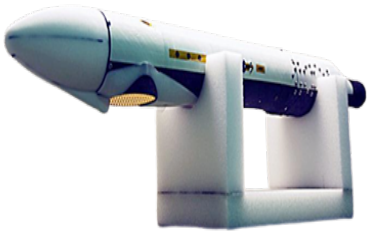
ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจอุปกรณ์เพื่อภารกิจการสำรวจโลกที่ต้องมีคุณสมบัติในการทนทานต่อสภาพแวดล้อมในเรื่องอุณหภูมิ ซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกใช้อุปกรณ์ระหว่างบรรทุกเป็นกล้อง MEDUSA ดังภาพ 15 เป็นเครื่องมือสังเกตการณ์โลกแบบหลายสเปกตรัม (multi-spectral earth observation instrument) มีความสามารถในการถ่ายภาพด้วยระยะการเก็บตัวอย่างภาคพื้นดิน (ground sampling distance) ถึง 30 เซนติเมตร เหมาะสำหรับรูปแบบการบินสำรวจชนิด Corridor scan ซึ่งเป็นการสแกนภาพตามแนวเส้นทางการบินหรือเคลื่อนที่ของแพลตฟอร์ม เพื่อเก็บข้อมูลแบบเป็นแถบยาวต่อเนื่อง โดยเหมาะกับแพลตฟอร์มที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง เช่น HAPS หรือดาวเทียม โดยมีมวล 2.6 กิโลกรัมตัวอย่างคุณภาพข้อมูลภาพการสำรวจ ดังภาพ 16

ตาราง 2

แหล่งข้อมูลเทคโนโลยี HAPS ในปัจจุบัน

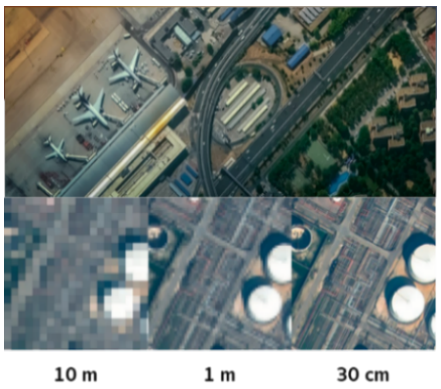
HAPS UAV	W_p / W_t
Zephyr 7	0.047
Zephyr S	0.067
UAVOS Apus Duo 2	0.063
EAV – 3	0.06
PHASA - 35	0.1
Kea Atmos M2	0.1
W_p/W_t average	0.065

Note. From "*Pseudo-Satellite Drone Flies for 25 Days Straight, Sets Endurance*," by Tom Metcalfe, (2018), retrieved from https://www.livescience.com/63378-pseudo-satellite-drone-record.html?utm_source=chatgpt.com



ภาพ 15 MEDUSA (EUSI, 2020)

Note. From "*True 30 cm VHR imagery the highest quality resolution imagery for projects that require unparalleled clarity,*" by EUSI, 2020, Retrieved from https://www.euspaceimaging.com/true-30-cm-imagery/



ภาพ 16 ตัวอย่างระยะการเก็บตัวอย่างภาคพื้นดินที่ 30 เซนติเมตร (EUSI, 2020)

Note. From "*True 30 cm VHR imagery the highest quality resolution imagery for projects that require unparalleled clarity,*" by EUSI, 2020, Retrieved from https://www.euspaceimaging.com/true-30-cm-imagery/

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการติดตั้งจริงจำเป็นต้องเพิ่มน้ำหนักในส่วนอุปกรณ์ติดตั้งซึ่งมีค่าน้ำหนักรวมทั้งหมดของกล้อง และอุปกรณ์การติดตั้งประมาณ 5 กิโลกรัม จากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำไปคำนวณหาน้ำหนักรวมสุทธิของอากาศยานไร้คนขับได้ ดังสมการที่ (12)

$$W_t = \frac{W_p}{W_p/W_t} \qquad (12)$$

ดังนั้นจากผลการคำนวณต้นแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมมีน้ำหนักรวมประมาน 76.923 กิโลกรัม ดังตาราง 3

5. การประมาณ P/W และ W/S

จุดเริ่มต้นในการออกแบบเชิงหลักการ คือ การหาค่าของ P/W (Power-to-weight ratio) และ W/S (Wing loading) ขั้นตอนการประมาณค่าเริ่มต้นของสมรรถนะอากาศยานจะเริ่มต้นที่การคำนวณ Constraint Diagram จากสมการดังต่อไปนี้

1. Maximum Load/Turn

$$\frac{HP}{W} = \frac{1}{550\eta_p}\left[\frac{1}{2}\rho V^3 C_{d0}\left(\frac{S}{W}\right) + 2K\frac{n^2}{\rho V}\left(\frac{W}{S}\right)\right] \quad (13)$$

2. Endurance

$$\frac{HP}{W} = \frac{4}{550\eta_p} C_{d0}{}^{\frac{1}{4}} \left(\frac{K}{3}\right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{2}{\rho}\frac{W}{S}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

3. Cruise

$$\frac{HP}{W} = \frac{2}{550\eta_p} C_{d0}{}^{\frac{1}{4}} K^{\frac{3}{4}} \left(\frac{2}{\rho}\frac{W}{S}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

4. Stall conditions

$$\frac{W}{S} = \frac{\rho_0}{2} C_{L_{max}} V_S^2 \quad (16)$$

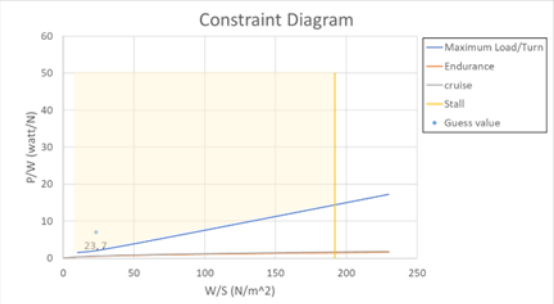
เพื่อสร้าง Constraint diagram ซึ่งเป็นการพล็อตกราฟระหว่าง P/W กับ W/S จำเป็นจะต้องประมาณค่าอื่น ๆ ในสมการเพิ่มเติมด้วยค่าทางสถิต ตามตาราง 4 5 และค่าคงที่ในตาราง 6 ทำให้สามารถเขียนกราฟ Constraint Diagram ดังภาพ 17

จากภาพ 17 จะเห็นได้ว่าขอบเขตสีเหลืองคือขอบเขตที่สามารถเลือกค่า P/W และ W/S ได้ ผู้วิจัยต้องการอากาศยานมีน้ำหนักเบาและใช้กำลังน้อย จึงเลือกที่จะให้จุดออกแบบ (design point) มีตำแหน่งอยู่ที่มุมซ้ายล่างของขอบเขตที่เลือกได้ โดยมีค่า W/S เท่ากับ 23 และ P/W เท่ากับ 7

ตาราง 3

ตารางน้ำหนักส่วนประกอบสำคัญของอากาศยาน

ส่วนประกอบหลัก	ประมาณน้ำหนัก (kg)
อุปกรณ์ระหว่างบรรทุก	5
ระบบอิเล็กทรอนิกส์	2
โซล่าเซลล์	$W_t = \frac{W_p}{W_p/W_t}$
MPPT	
แบตเตอรี่	
ระบบขับเคลื่อน	$W_t = \frac{5}{0.065}$
โครงอากาศยาน	$W_t = 76.923$
น้ำหนักรวม	77(76.923)



ภาพ 17 กราฟ Constraint Diagram

ตาราง 4

ตารางสถิติค่าแรงต้านเนื่องจากรูปร่างอากาศยานจากอากาศยานรูปแบบต่าง ๆ

Aircraft type	C_{D0}
Jet transport	0.015 - 0.02
Twin-engine piton prop	0.022 - 0.028
Small GA with retractable landing gear	0.02 - 0.03
Small GA with fixed landing gear	0.025 - 0.04
Agricultural	0.04 - 0.07
Sailplane/Glider	0.012 - 0.015
Supersonic fighter	0.018 - 0.035
Homebuilt	0.025 - 0.04
Microlight	0.02 - 0.035

Note. From "Design for 4D Printing of Biodegradable Shape Memory Polymers for Disposable UAV Systems," by M. Ebeid and S.James, 2023, *Polymers, 15*(1), (p. 3562). Copyright 2023 by Elsevier

ตาราง 5

ตารางสถิติค่าแรงยกต่อแรงต้านของอากาศยานแต่ละประเภท 2 เครื่องยนต์

Aircraft type	C_{D0}
Jet transport	0.015 - 0.02

Note. From *Aircraft design: A systems engineering approach* by M. H. Sadraey, 2013. Copyright 2013 by John Wiley & Sons

ตาราง 6

ตารางค่าประมาณสำหรับค่าที่จำเป็นในการสร้าง Initial guess values

ค่าประมาณ	
$\rho_{air}0$	ความหนาแน่นระดับน้ำทะเล 1.225 kg/m^3
$\rho_{air}17km$	ความหนาแน่นระดับภารกิจ 0.141 kg/m^3
η_{prop}	ประสิทธิภาพระบบขับเคลื่อน 0.85
V	ความเร็วเดินทาง 18 m/s
n	Load factor 2.5
C_{D0}	สัมประสิทธิ์แรงต้านเนื่องจากรูปร่าง 0.016
AR	Aspect Ratio 26
e	ประสิทธิภาพออสวาลด์ 0.95
K	ค่าคงที่ 0.012882
$C_{L_{max}}$	สัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด 1.6
V_s	ความเร็วร่วงหล่น 12 m/s

Note. From *Design of solar powered airplanes for continuous flight* (Doctoral dissertation), by A. Noth, 2008, Copyright 2008 by ETH .ZÜRICH

6. การประมาณขนาดปีก และค่าอากาศพลศาสตร์ (wing sizing and aerodynamic coefficient)

6.1 การประมาณขนาดปีก

เมื่อทราบค่า P/W และ W/S รวมถึงค่าประมาณอื่น ๆ ในเบื้องต้น จะสามารถนำไปคำนวณหาความกว้างปีกได้

$$AR = \frac{b^2}{S} \tag{17}$$

โดยที่

AR คือ อัตราส่วน Aspect ratio มีค่าเท่ากับความยาวปีก (b) ต่อ พื้นที่ปีก (S)

จัดรูปสมการ (17) ใหม่โดยนำ W/S และน้ำหนักอากาศยานมาใช้ในการคำนวณ

$$b = \sqrt{\frac{W}{S} \cdot AR} \tag{18}$$

ผลลัพธ์จากสมการที่ (18) b มีค่าเท่ากับ 29.22 เมตร

$$S = \frac{b^2}{AR} \tag{19}$$

ผลลัพธ์จากสมการที่ (19) S มีค่าเท่ากับ 32.83 ตารางเมตร

6.2 ค่าสัมประสิทธิ์ทางอากาศพลศาสตร์

ได้แก่ สัมประสิทธิ์แรงยก (C_L) สัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) สัมประสิทธิ์แรงต้านเนื่องจากรูปร่างอากาศยาน (C_{D0}) และสัมประสิทธิ์แรงต้านเนื่องจากแรงต้านสัมประสิทธิ์แรงต้านเนื่องจากแรงต้านเหนียวนำ (C_{Di}) โดยมี K เป็นค่าคงที่แปรผันกับ AR และ e สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C_L = \frac{2W}{\rho V^2 S} \tag{20}$$

ผลลัพธ์จากสมการที่ (19) C_L มีค่าเท่ากับ 1.006

$$C_{Di} = KC_L^2 \tag{21}$$

$$C_D = C_{D0} + C_{Di} \tag{22}$$

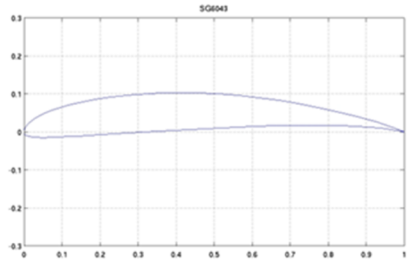
และจากสมการที่ (21) และ (22) C_D มีค่าเท่ากับ 0.0291 เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงต้าน สามารถนำค่าทั้งสองหาอัตราส่วนระหว่าง สัมประสิทธิ์แรงยกต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านได้จากสมการที่ (23)

$$\frac{C_L}{C_D} = \frac{C_L}{C_D} \tag{23}$$

ดังนั้น C_L/C_D มีค่าเท่ากับ 34.64

6.3 การเลือกแพนอากาศ (airfoil selection)

ที่ชั้นความสูงปฏิบัติการ ซึ่งมีย่านเลขเรย์โนลด์ 200,000 – 450,000 ผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบแพนอากาศ โดยใช้โปรแกรม XFLR5 มาวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะเฉพาะทางอากาศพลศาสตร์ โดยใช้วิธีวอร์เทคแลททิซ พบว่า แพนอากาศแบบ SG6043 ดังภาพ 18 มีค่าของสัมประสิทธิ์แรงต้านที่น้อยที่สุดในช่วงของค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ต้องการ มีความซับซ้อนในการขึ้นรูปแพนอากาศน้อย ดังนั้น แพนอากาศแบบ SG6043 จึงมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการดำเนินการกำหนดรูปแบบ และสร้างปีกของอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์เพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมต้นแบบต่อไป



ภาพ 18 แพนอากาศแบบ SG6043

7. การกำหนดแผนแบบของแพนหาง

แพนหางมีหน้าที่สำคัญการช่วยแก้โมเมนต์ที่เกิดจากปีก และช่วยในการบังคับอากาศยาน โดยประกอบไปด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือ Vertical Stabilizer Horizontal stabilizer และ Trim tabs ซึ่งเป็นแผ่นที่มีอยู่ทั้งบน Vertical และ Horizontal stabilizer มีหน้าที่ช่วยทำให้เครื่องบินอยู่ในสมดุลได้ดังภาพ 19

ทางผู้วิจัยได้ออกแบบแพนหางให้มีลักษณะเป็นแบบ boom mounted Invert V-Tail ซึ่งมีข้อดีคือ ทำให้มีแรงต้านรบกวนน้อย (Interference drag) เพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างปีกเนื่องจากมีจุดยึดจากหางเพิ่มมากขึ้นในการลดการโก่งของปีกที่มีลักษณะยาว รวมถึงยังสามารถมีพื้นที่ติดตั้งโซล่าเซลล์บริเวนพื้นที่หางระดับได้เพิ่มเติม โดยที่ขนาดของแพนหางของอากาศยานสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$S_{ht} = \frac{C_{ht} c S_{ref,wing}}{L_{ht}} \quad (24)$$

$$S_{vt} = \frac{C_{vt} b S_{ref,wing}}{L_{vt}} \quad (25)$$

โดยที่

S_{vt} คือ ขนาดของพื้นที่หางแนวตั้ง ซึ่งมี C_t เป็นค่าทางสถิติ

S_{ht} คือ ขนาดของพื้นที่หางแนวนอน ซึ่งมี C_t เป็นค่าทางสถิติ

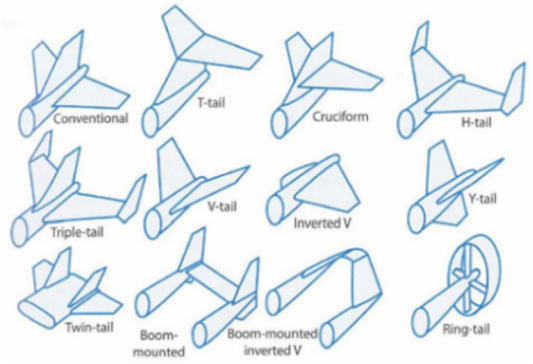
C_{vt} คือ ค่าทางสถิติของหางตั้ง

C_{ht} คือ ค่าทางสถิติของหางนอน

$S_{(ref,wing)}$ คือ พื้นที่ปีก หรือ Span

L_{vt} คือ ความยาว 25% ของคอร์ด ลากตามยาวจนถึง 25% ของหางตั้ง

L_{ht} คือ ความยาว 25% ของคอร์ด ลากตามยาวจนถึง 25% ของหางนอน



ภาพ 19 Empennage design

Note. From *Numerical investigstion of a fixed wing mini UAV* (Master's thesis) by A. H. Jilan, 2022. Copyright 2022 by Chittagong University

ตาราง 7

ค่าคงที่และตัวแปรต่าง ๆ ในการคำนวณขนาดของแพนหางอากาศยาน

	C_t	L_t (m)	Chord (m)
Vertical Tail	0.04	15.23	1.12
Horizontal Tail	0.5	7.60	1.12

จากการคำนวณทำให้ได้พื้นที่หางในแนวตั้ง (vertical tail) เท่ากับ 2.52 ตารางเมตร และพื้นที่หางในแนวนอน (horizontal tail) เท่ากับ 2.42 ตารางเมตร

8. การประมานค่ากำลังไฟฟ้ารวม และพลังงานไฟฟ้ารวม (power estimation)

ขั้นตอนการประมาณค่ากำลังขับของอากาศยานสามารถคำนวณกำลังขับของอากาศยาน (power required) ได้จากการบินตรงระดับด้วยความเร็วคงที่ (steady level flight) ด้วยความเร็วที่กำหนด 18 เมตรต่อวินาที

8.1 กำลังไฟฟ้ารวม (total electric power) จำเป็นต้องทราบถึงกำลังขับที่ต้องการของอากาศยาน โดยกำลังไฟฟ้ารวมของอากาศยานประกอบไปด้วยกำลัง 2 ส่วน ดังภาพ 21 ได้แก่ กำลังขับเคลื่อนที่ต้องการ (P_{req}) สำหรับการบินตรงระดับ (P_{level}) สมการที่ (26) และกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบต่าง ๆ ($P_{elec\,tot}$) สมการที่ (27) โดยมีการกำหนดค่าประสิทธิภาพมอเตอร์และใบพัด อุปกรณ์เอวิออนิกส์ เท่ากับ 0.7 และ 0.9 ตามลำดับ

$$P_{level} = P_{req} = \frac{1}{2}\rho V^3 S C_{D_0} + \frac{W^2}{\frac{1}{2}\rho V S}\left(\frac{1}{\pi e AR}\right) \quad (26)$$

ผลลัพธ์จากสมการที่ (26) P_{level} มีค่าเท่ากับ 392.92 วัตต์

$$P_{elec\,tot} = \frac{1}{\eta_{mot}\eta_{prop}} P_{level} + \frac{1}{\eta_{bec}}\left(P_{av} + P_{pld}\right) \quad (27)$$

โดยที่

η_{mot} คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์

η_{prop} คือ ประสิทธิภาพใบพัด

η_{bec} คือ ประสิทธิภาพ Step Down

$P_{av} + P_{pld}$ คือ ผลรวมกำลังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ผลลัพธ์จากสมการที่ (27) $P_{elec\,tot}$ มีค่าเท่ากับ 583.58 วัตต์

8.2 พลังงานไฟฟ้ารวม (total electric energy) จากค่ากำลังไฟฟ้ารวม สามารถนำไปหาพลังงานไฟฟ้ารวม ($E_{elec\,tot}$) ของอากาศยานได้ จากภาพ 6 แสดงให้เห็นถึงการบินระดับตลอดทั้งการปฏิบัติการ ทำให้สามารถนำค่าของกำลังไฟฟ้ารวมคูณกับเวลาช่วงกลางวัน (T_{day}) และกลางคืน (T_{night}) โดยเลือกเวลาช่วงกลางวัน 10.8 ชั่วโมง ตามสมการที่ (28)

$$E_{elec\,tot} = P_{elec\,tot}\left(T_{day} + \frac{T_{night}}{\eta_{chrg}\eta_{dchrg}}\right) \quad (28)$$

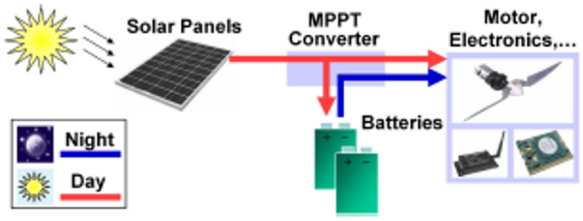
โดยที่

η_{chrg} คือ ประสิทธิภาพการชาร์จประจุ

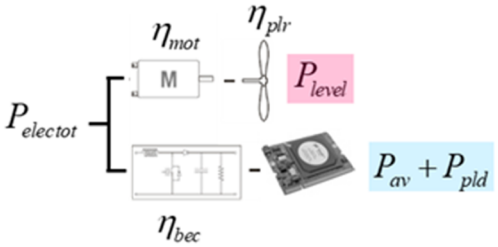
η_{dchrg} คือ ประสิทธิภาพการคลายประจุ

ผลลัพธ์จากสมการที่ (28) $E_{elec\,tot}$ มีค่าเท่ากับ 14,948.2 วัตต์ชั่วโมง

8.3 การเลือกแบตเตอรี่สำหรับการปฏิบัติภารกิจการบิน ผู้วิจัยเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเทียมเมทัล (Li-metal Sion Power) คุณภาพสูง ดังภาพ 22 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นพลังงาน (K_{batt}) 490 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม อีกทั้งยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรมอวกาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นต่ำ คล้ายกับสภาพแวดล้อมของชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์



ภาพ 20 การสมดุลพลังงานของอากาศยานไร้คนขับพลังงานแสงอาทิตย์สมรรถนะสูงเพดานบินต่ำ



ภาพ 21 ผลรวมของกำลังไฟฟ้ารวม



ภาพ 22 แบตเตอรี่ Li-metal Sion Power

8.4 การคำนวณหาพลังงานสำหรับแบตเตอรี่ (E_{batt}) หมายถึง พลังงานที่แบตเตอรี่ต้องกักเก็บเอาไว้ใช้สำหรับการปฏิบัติการในช่วงที่ไม่สามารถสร้างพลังงานได้ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (29)

$$E_{batt} = P_{elec\ tot} \times \frac{T_{night}}{\eta_{dchrg}} \quad (29)$$

ผู้วิจัยเลือกใช้แบตเตอรี่แบบ 12 เซลล์ 44.4 โวลต์ ดังนั้น E_{batt} มีค่าเท่ากับ 192,772.98 แอมแปร์ชั่วโมง จากพลังงานที่คำนวณได้ สามารถคำนวณหาน้ำหนักแบตเตอรี่ (m_{batt}) ได้จากสมการที่ (30)

$$m_{batt} = \frac{E_{batt}}{K_{batt}} \quad (30)$$

ผลลัพธ์จากสมการที่ (30) m_{batt} มีค่าเท่ากับ 17.47 กิโลกรัม

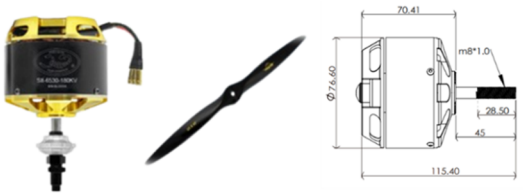
9. ระบบขับเคลื่อน (propulsion system)

เพื่อเลือกมอเตอร์ และใบพัดสำหรับระบบขับเคลื่อน จำเป็นต้องรู้ค่าแรงขับที่ต้องการของอากาศยาน โดยสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนแรงขับ (T) ต่อน้ำหนักอากาศยาน (W) โดยอัตราส่วนแรงขับต่อน้ำหนักอากาศยานควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.31 – 0.5 โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (31) และ (32)

$$\frac{T}{W} = \frac{P/W}{V} \quad (31)$$

$$T = \frac{T}{W} \times W \quad (32)$$

เนื่องด้วยอากาศยานต้นแบบถูกเลือกการออกแบบเป็นอากาศยานแบบใบพัดไฟฟ้าคู่ ดังนั้นระบบขับเคลื่อนมอเตอร์และใบพัดแต่ละข้าง จึงต้องมีแรงขับจำนวนครึ่งหนึ่งของแรงขับที่ต้องการจึงมีค่าเท่ากับ 14.972 กิโลกรัม เพื่อให้ได้แรงขับตามต้องการ โดยจากการสำรวจพบว่ามอเตอร์ SII-6560-180KV ชนิด Volt (12s) และใบพัดแบบ MEJZILK 24*10TH มีแรงขับอยู่ที่ 15.4 กิโลกรัม ดังภาพ 23 โดยมอเตอร์ และใบพัด 1 ชุดมีมวล 1.191 กิโลกรัม โดยอากาศยานต้องการ 2 ชุดทำให้มวลของกลุ่มระบบขับเคลื่อนมีค่า 2.656 กิโลกรัม



ภาพ 23 มอเตอร์ SII-6560-180KV ใบพัดแบบ MEJZILK 24*10T

Note. From "*Propeller 24x10 CCW 2B TH*," by Meizlik, 2020, retrieved from https://shop.mejzlik.eu/propeller-24x10-ccw-2b-th/

10. โซล่าเซลล์ (solar cells)

ในหัวข้อที่ 2 สามารถคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ($E_{day\ density}$) น้อยที่สุดได้ 41,531,021.58 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ติดตั้งโซล่าเซลล์ตามสมการที่ (33) ซึ่งอธิบายถึง พื้นที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์มี (A_{sc}) เท่ากับพลังงานที่ต้องการผลิตต่อด้วยพลังงานที่สามารถสร้างได้ต่อ 1 ตารางเมตร

$$A_{sc} = \frac{E_{elec\ tot}}{E_{day\ density}\eta_{sc}\eta_{cbr}\eta_{mppt}} \quad (33)$$

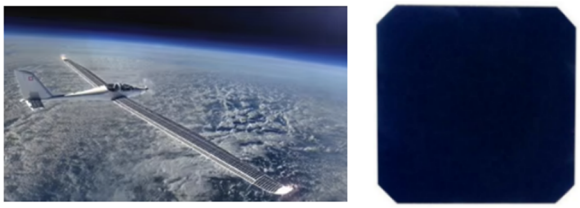
โดยที่

η_{sc} คือ ประสิทธิภาพโซล่าเซลล์

η_{cbr} คือ ประสิทธิภาพเนื่องจากความโกงของปีก

η_{mppt} คือ ประสิทธิภาพควมคุมการชาร์จไฟฟ้า

โดยพื้นที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เท่ากับ 7.577 ตารางเมตร สามารถนำไปหาจำนวนแผ่นโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนผิวปีกได้ โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โซล่าเซลล์ที่มีขนาด 1 แผ่นมีพื้นที่ 0.125*0.125 ตารางเมตร ประสิทธิภาพ 24 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งจำนวนโซล่าเซลล์ทั้งหมด 485 แผ่น โดยแต่ละแผ่นมีมวล 6.5 กรัมทำให้แผงโซล่าเซลล์มีมวล 3.1525 กิโลกรัม เมื่อนำไปคิดน้ำหนักของตัวห่อหุ้มซึ่งมีค่า 0.26 เท่าของแผ่นโซล่าเซลล์ทำให้มวลรวมของโซล่าเซลล์ที่ 3.972 กิโลกรัม ดังภาพ 24



ภาพ 24 ตัวอย่างโซล่าเซลล์ที่นำมาใช้งาน

Note. From "*High Efficiency Sunpower Maxeon 6 Solar Cells 166 X 166 mm GEN 6 Photovoltaic Cells IBC Solar Panel Cells,"* by Starworld Electronics Co., Ltd., Shenzhen, 2013, retrievedfrom https://www.alibaba.com/product-detail/High-efficiency-solar-cells-Sunpower-maxeon_1600802706626.htmlhtml

11. เครื่องชาร์จประจุไฟฟ้า MPPT

เครื่องชาร์จประจุไฟฟ้า MPPT หรือ Maximum Power Point Tracking เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยหาค่ากระแสสูงสุดโดยเลือกใช้แบบที่มีค่าความหนาแน่นกำลังสูงสุด โดยสามารถคำนวณมวลได้ตามสมการที่ (34)

$$m_{MPPT} = k_{MPPT} I_{max} \eta_{sc} \eta_{cbr} \eta_{MPPT} A_{sc} \quad (34)$$

โดยที่

m_{MPPT} คือ มวลของเครื่องชาร์จประจุไฟฟ้า MPPT

k_{MPPT} คือ ค่าคงที่ควบคุมการชาร์จไฟฟ้า

I_{max} คือ ค่าความเข้มของแสงสูงสุด

A_{sc} คือ พื้นที่แผงโซล่าเซลล์

ผลลัพธ์จากสมการที่ (34) m_{MPPT} มีค่าเท่ากับ 0.918 กิโลกรัม

12. โครงอากาศยาน (airframe)

นับตั้งแต่การออกแบบเชิงหลักการของ (Noth, 2008) จนถึง (Ahmad & Mahdi, 2017) จะพบว่า มีการประมาณค่าน้ำหนักของอากาศยานให้ค่าที่สูงเกินจริง โดยน้ำหนักของอากาศยานประเภท HAPS ส่วนใหญ่ 90 เปอเซ็นต์ เป็นน้ำหนักของโครงสร้างปีก ซึ่งมีขนาดใหญ่ และมีความยาวมาก เพื่อรองรับการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ได้อย่างเพียงพอ ผู้วิจัยได้เลือกใช้สมการของ (Ju-Yeol Yun, 2020) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ออกแบบโครงสร้างอากาศยานที่มีน้ำหนักเบา คุณสมบัติการบินที่คล้ายคลึงกับอากาศยานพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะการทำงานในช่วงจำนวนเรย์โนลด์ต่ำ (low reynolds number) และการใช้วัสดุน้ำหนักเบา โดยเลือกใช้พารามิเตอร์สำคัญ ได้แก่ อัตราส่วนความเรียวยาวของปีก (aspect ratio) และพื้นที่ปีกหลัก (main wing area) เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ถดถอย เพื่อสร้างสมการประมาณค่าน้ำหนักที่มีความแม่นยำยิ่งขึ้น โดยใช้ EAV-3 อ้างอิง ซึ่งเป็นสมการร่วมสมัย และพบว่าน้ำหนักที่คำนวณมีค่าใกล้เคียงน้ำหนักจริง ตามสมการที่ (35)

$$W_S = -0.0008AR^2 - 0.005S^2 + 0.53AR + 12.88S + 0.027AR \cdot S - 10.46 \quad (35)$$

ผลลัพธ์จากสมการที่ (35) W_S มีค่าเท่ากับ 45.20 กิโลกรัม

ผลลัพธ์ของงานวิจัย

1. การเปรียบเทียบน้ำหนักคาดการณ์กับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณ

โดยทางผู้วิจัยได้นำผลการคำนวณด้วยกระบวนการออกแบบเชิงหลักการมาเปรียบเทียบกับการคาดการณ์ตามตาราง 8 พบว่า น้ำหนักรวมของอากาศยานมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ตาราง 8

ตารางผลการคำนวณด้วยกระบวนการออกแบบเชิงหลักการแบบดั้งเดิม

ส่วนประกอบหลัก	ผลการคำนวณ (kg)	ค่าประมาณ (kg)
อุปกรณ์ระหว่างบรรทุก	5	5
ระบบอิเล็กทรอนิกส์	2	2
โซล่าเซลล์	3.15	$W_t = \frac{W_p}{W_p/W_t}$
MPPT	0.92	
แบตเตอรี่	17.47	
ระบบขับเคลื่อน	2.38	$W_t = \frac{5}{0.065}$
โครงอากาศยาน	45.20	$W_t = 76.923$
น้ำหนักรวม	**76.94**	**76.923**

2. ผลลัพธ์การออกแบบเชิงหลักการของอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม

จากผลลัพธ์กระบวนการออกแบบเชิงหลักการด้วยวิธีแบบดั้งเดิม ทำให้ผู้วิจัยสามารถกำหนดขนาดและรูปร่างของต้นแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม โดยมีรายละเอียดขนาดและรูปร่าง ดังตาราง 9 ทางผู้วิจัยได้เขียนแบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม CATIA เพื่อให้เห็นเป็นรูปธรรม (M-HAPS) ดังภาพ 25

3. การเปรียบเทียบผลลัพธ์การออกแบบเชิงหลักการทั้งสองวิธี

การเปรียบเทียบผลผลลัพธ์การออกแบบเชิงหลักการด้วยวิธีดังเดิม เข้ากับวิธีออกแบบของ Ahmad and Mahdi (2017) แสดงการเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแผนภูมิแท่ง ดังภาพ 26–28 โดยอ้างอิงจากชุดข้อมูลในตาราง 9 แสดงให้เห็นว่า ค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของต้นแบบอากาศยานไร้คนขับที่ได้จากการคำนวณโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มผลลัพธ์การออกแบบเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ซึ่งทำให้กระบวนการออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอในงานวิจัยมีความน่าเชื่อถือ แต่จะมีชุดข้อมูลที่มีความแตกต่างมากกว่า 10% แบ่งออกไป 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลด้านปีก ข้อมูลอากาศพลศาสตร์ และข้อมูลด้านระบบอิเล็กทรอนิกส์การบิน จากข้อมูลด้านอากาศพลศาสตร์เกี่ยวเนื่องกับข้อมูลด้านปีก วิธีการของ A&M. เป็นการแสดงค่าความเป็นไปได้ในการออกแบบโดยจะแสดงค่าผลการคำนวณที่ให้ผลลัพธ์มวลรวมของอากาศยานรวมน้อยที่สุด ด้วยข้อมูลชุดเดียวกันสามารถปรับค่าต่าง ๆ ได้จากตาราง 6 ในส่วนข้อมูลด้านระบบอิเล็กทรอนิกส์การบินมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าที่ใช้ในการคำนวณด้วยกระบวนการออกแบบเชิงหลักการเป็นการประมาณค่า แต่วิธีของ A&M. เป็นค่าทางสถิติ

แม้ค่าที่ได้จากกระบวนการออกแบบด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีของ (Ahmad & Mahdi, 2017) จะมีความใกล้เคียงกันในเชิงตัวเลข แต่หลักการดำเนินการแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง กล่าวคือ วิธีออกการแบบด้วยวิธีดั้งเดิม ใช้การกำหนด design point ล่วงหน้าและประเมินจาก Constraint Diagram โดยไม่ประเมินพลังงานในลักษณะรอบด้าน ในขณะที่วิธีของ (Ahmad & Mahdi, 2017) ใช้แนวทาง iterative design ที่เริ่มจากภารกิจเป็นตัวตั้งต้นผ่านการคำนวณพลังงานสุริยะในช่วงวัน (รวมทั้ง worst-case day) และออกแบบ geometry ของอากาศยานให้สอดคล้องกับภารกิจนั้น ก่อนสร้าง design space เพื่อนำไปสู่การเลือกจุดออกแบบที่สมดุลพลังงาน



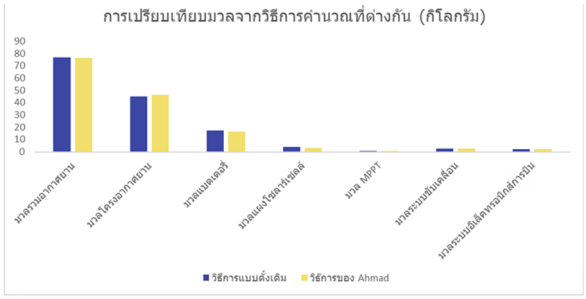
ภาพ 25 แบบจำลองสามมิติ (M-HAPS)

ตาราง 9

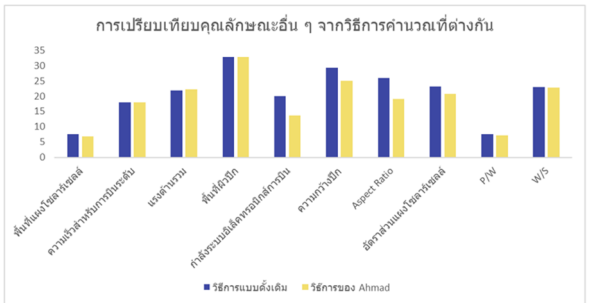
ตารางเปรียบเทียบผลการคำนวณการออกแบบเชิงหลักการด้วยวิธีดังเดิม เข้ากับวิธีออกแบบของต้นแบบอากาศยานไร้คนขับ

	CA.	A&M.	%Diff
มวลรวม	76.944	76.271	0.875
กำลังบินระดับ	392.294	397.34	1.286
มวลโครงอากาศยาน	45.204	46.435	2.723
กำลังไฟฟ้ารวม	583.576	552.20	5.376
มวลแบตเตอรี่	17.468	16.523	5.410
พื้นที่แผงโซลาร์เซลล์	7.577	6.793	10.347
มวลแผงโซลาร์เซลล์	3.972	2.868	27.795
มวล MPPT	0.918	0.868	5.447
มวลระบบขับเคลื่อน	2.382	2.331	2.141
ความเร็วการบินระดับ	18	17.905	0.528
แรงต้านรวม	21.794	22.192	1.826
พื้นที่ผิวปีก	32.832	32.895	0.192
มวลระบบอิเล็กทรอนิกส์	2	2.288	14.4
กำลังระบบอิเล็กทรอนิกส์	20	13.729	31.355
ความกว้างปีก	29.217	25	14.433
AR	26	19	26.923
สัมประสิทธิ์แรงต้านของแพนอากาศ	0.016	0.012	25
สัมประสิทธิ์แรงต้านจากแรงยก	0.013	0.018	38.462
เลขเรย์โนลด์	200726.423	23382	16.487
อัตราส่วนแผงโซลาร์เซลล์	23.079	20.649	10.529
P/W	**7.584**	**7.240**	**4.536**
W/S	**22.983**	**22.739**	**1.062**

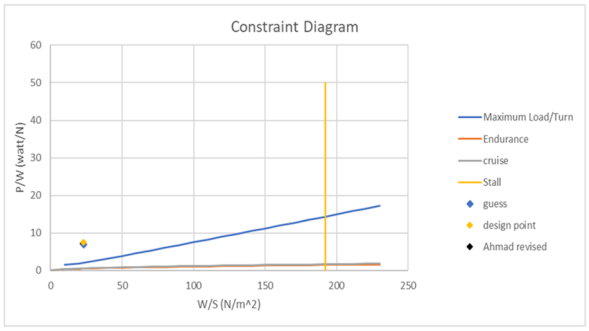
Note. From *Design of a Swept-Wing High-Altitude Long-Endurance Unmanned Air Vehicle (HALE UAV)* (Doctoral dissertation), by University of Salford Greater Manchester. Copyright 2017 by University of Salford Greater Manchester



ภาพ 26 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบ (กลุ่มมวล)



ภาพ 27 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบ (กลุ่มอื่น ๆ)



ภาพ 28 กราฟแสดงจุด P/W และ W/S ที่ได้จากการประมาณ การออกแบบ และวิธีของต้นแบบอากาศยานไร้คนขับ

ตาราง 10

ข้อมูลผลลัพธ์ขนาดต้นแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียม

ข้อมูลสมรรถนะ	
น้ำหนักเครื่องรวม	76.94 kg
ความเร็ว	18 m/s
ความเร็วร่วงหล่นที่ระดับน้ำทะเล	4.84 m/s
ความเร็วร่วงหล่นที่ระดับปฏิบัติการ	14.28 m/s
ความยาว	10.96 m
น้ำหนักระหว่างบรรทุก	5 kg
ปีก	
แพนอากาศ	SG6043
ความกว้างปีก	29.22 m
Aspect Ratio	26
พื้นที่ปีก	32.83 m^2
อัตราส่วนพื้นที่ Solar cell	23.08%
ชุดแพนหาง	
ชุดหาง	Inverted U-tail
แพนอากาศ	NACA 0012
พื้นที่หางแนวตั้ง	2.52 m^2
พื้นที่หางแนวนอน	2.42 m^2
แขนมุมปักเงย	7.63 m

สรุปและการอภิปรายผลงานวิจัย

กระบวนการออกแบบทั้ง 2 แบบที่ได้ทำการศึกษา พบว่า กระบวนการของ (Noth, 2008) ทำให้การออกแบบอากาศยานไร้คนขับเพดานบินสูงเสมือนดาวเทียมมีน้ำหนักที่มากเกินไป ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานได้จริง (Ahmad & Mahdi, 2017) ได้นำวิธีการคำนวณมาปรับใช้เพื่อให้ได้ข้อมูลใกล้เคียงกับส่วนประกอบที่นำมาใช้จริง

1. ผลการออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม

ตามเงื่อนไขการออกแบบปฏิบัติการที่ระดับความสูง 17 กิโลเมตร โดยมีเงื่อนไขทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่ให้ค่าพลังงานน้อยที่สุด น้ำหนักระหว่างบรรทุก 5 กิโลกรัม พบว่า อากาศยานมีน้ำหนักรวม 76.94 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีของ (Ahmad & Mahdi, 2017) พบว่า ข้อมูลน้ำหนักมีแนวโน้มผลลัพธ์การออกแบบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งทำให้เชื่อมั่นถึงความเชื่อถือได้ของกระบวนการออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

ตาราง 11

ตารางเปรียบเทียบ M-HAPS กับอากาศยานในกลุ่มเดียวกันที่ประสบความสำเร็จสูงสุด

	M-HAPS	Zephyr 7	Zephyr 8/S
ความกว้างปีก (m)	29.22	25.5	25
น้ำหนัก (kg)	76.94	53	75
ความสูง (km)	17	21.5	22.5
ระยะเวลา (day)	30	14	25
น้ำหนักบรรทุก (kg)	5	2.5	5

Note. From "*Zephyr High Altitude Platform Station (HAPS),*" by Airbus, 2018, retrieved from https://www.airbus.com/en/products-services/defence/uas/zephyr

2. ผลสรุปการเปรียบเทียบคุณลักษณะอื่น ๆ

จากการเปลี่ยนแปลงของความสูง เป็นการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่น ซึ่งความหนาแน่นส่งผลโดยตรงต่อการสร้างแรงยกของปีก เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง และเพื่อสร้างแรงยกชดเชยทำให้ต้องการพื้นที่ปีก (Wing area) มากขึ้นในขณะที่ Aspect Ratio เท่าเดิม จึงต้องมีความกว้างปีก (Wingspan) มากขึ้น เมื่อความกว้างปีกเพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างอากาศยานและน้ำหนักรวมสูงขึ้น นอกจากนี้ เมื่อความกว้างปีกเพิ่มขึ้นในขณะที่ความต้องการในการสร้างพลังงานสูงขึ้น จะทำให้อัตราส่วนพื้นที่การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลดลงเนื่องจากพื้นที่การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์มีค่าเท่าเดิม

References

Abdulkarim, A., & Alsahlani, M. (2017). *Design of a Swept-Wing High-Altitude Long-Endurance Unmanned Air Vehicle (HALE UAV)* (Doctoral dissertation). University of Salford Greater Manchester. United Kingdom

Airbus. (2018). *Zephyr High Altitude Platform Station (HAPS)*. Retrieved from https://www.airbus.com/en/products-services/defence/uas/zephyr

Ebeid, M., & James, S. (2023). Design for 4D printing of biodegradable shape memory polymers for disposable UAV systems. *Polymers, 15*(1), 3562. https://doi.org/10.3390/polym15173562

Ehrenfried, M. V. (2014). *Stratonauts: pioneers venturing into the stratosphere*. Berlin: Springer International Publishing.

Eiampan, T., & Wongkamchang, P. (2022). Safety risk management of human factors in flight operations with the royal Thai Air Force vertical take-off and landing solar power UAV according to the standards of The International Civil Aviation Organization. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 16*(2), 45-56. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/253492

EUSI. (2020). *True 30 cm VHR imagery the highest quality resolution imagery for projects that require unparalleled clarity*. Retrieved from https://www.euspaceimaging.com/true-30-cm-imagery/

Lyon, H., Inalhan, G., Bourne, D., & Tsourdos, A. (2021). *High-altitude UAS pseudo-satellites: architecture for end-to-end military communications. In: AIAA SciTech Forum 2021, 11-15 and 19-21 January 2021 (online)*. Reston, VA: The American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. https://doi.org/10.2514/6.2021-0521

Lieutenant Colonel Heiner Grest, GE AF. (2022). *High-Altitude Platform Systems Alternative, Supplement, or Competition to Satellites?*. Retrieved from https://www.japcc.org/articles/high-altitude-platform-systems/

Loon, L. L. C. (2019). *Alphabet's loon and softBank's HAPS mobile join forces*. Retrieved from https://www.uasvision.com/2019/04/26/alphabets-loon-and-softbanks-hapsmobile-join-forces/

Jilan, A. H. (2022). *Numerical investigstion of a fixed wing mini UAV* (Master's thesis). Chittagong University of Engineering & Technology. Bangladesh.

Johnson, S., & Taro Kuusiholma, T. (2021). *Hight altitude pseudo satellite*. Retrieved from https://www.tnpscthervupettagam.com/currentaffairs-detail/high-altitude-pseudo-satellite?cat=science-and-technology

Noth, A. (2008). *Design of solar powered airplanes for continuous flight* (Doctoral dissertation). ETH .ZÜRICH, Switzerland.

Meizlik. (2020). *Propeller 24x10 CCW 2B TH*. Retrieved from https://shop.mejzlik.eu/propeller-24x10-ccw-2b-th/ (in Thai)

Metcalfe, T. (2018). *Pseudo-Satellite Drone Flies for 25 Days Straight, Sets Endurance Record*. Retrieved from https://www.livescience.com/63378-pseudo-satellite-drone-record.html?utm_source=chatgpt.com

Mordor Intelligence. (2020). *High-altitude pseudo satellites market – growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021 – 2026)", 2020. Scorpion system. (2022). Scorpion SII-6530-180KV*. Retrieved from https://www.scorpionsystem.com/catalog/aeroplane/motors_1/sii-65/SII-6530-180KV/

Morris, C. (2023). *Sion power's licerion lithium-metal battery technology now available for commercial evaluation*. Retrieved from https://chargedevs.com/newswire/sion-powers-licerion-lithium-metal-battery-technology-now-available-for-commercial-evaluation/

Phummalee, E., & Pramona, N. (2022). Application of computer vision-based guidance system for small attack UAVs. *EAU Heritage Journal of Science and Technology, 18*(3), 12–23.

Sadraey, M. H. (2013). *Aircraft design: A systems engineering approach*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons

Siam Rath Online. (2024, December 5). The Royal Thai Air Force is moving forward with the Space Air Force, creating its own "NAPA 3" satellite, scheduled to launch in April 2026. *Siam Rath Online*. Retrieved from https://siamrath.co.th/n/585946 (in Thai)

Starworld Electronics Co., Ltd., Shenzhen. (2013). *High Efficiency Sunpower Maxeon 6 Solar Cells 166 X 166 mm GEN 6 Photovoltaic Cells IBC Solar Panel Cells*. Retrievedfrom https://www.alibaba.com/product-detail/High-efficiency-solar-cells-Sunpower-maxeon_1600802706626.html

Yun, J., & Hwang, H. (2020). Technology identification, evaluation, selection, and optimization of a HALE Solar Aircraft. *Applied Sciences, 2020*(10), 7593. https://doi.org/10.3390/app10217593

การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอัตโนมัติ
Enhancing the Efficiency of Solar Cells by Automatic Water Cooling

ทรงพล วิจารณ์จักร[1] และกานต์ กอมณี[1]*
Songpol Wijanjak[1] and Kan Komanee[1]*
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม
[1]Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Phanom University
*Corresponding author: kan.k@npu.ac.th
Received: May 20, 2025
Revised: July 27, 2025
Accepted: July 31, 2025

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมในการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูง โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนซึ่งอุณหภูมิอาจสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าลดลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอัตโนมัติ ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 2 แผง คือ แผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน และแบบที่มีระบบระบายความร้อน โดยระบบควบคุมอัตโนมัติใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ปั๊มน้ำ DC 12 โวลต์ ที่มีอัตราการไหล 60 ลิตรต่อนาที มีรูสำหรับปล่อยน้ำ 24 รู และทำงานตามเงื่อนไขที่ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ คือ 50 องศาเซลเซียส และหยุดการทำงานเมื่ออุณหภูมิลดลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส โดยทดลองในช่วงเดือนเมษายน ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ทำการบันทึกข้อมูลทุก 15 นาที ผลการทดลองพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีระบบระบายความร้อน คือ 20.05 และ 18.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ มีค่า 46.26 และ 61.50 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุด คือ 12.00 นาฬิกา ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เท่ากับ 41.28 โวลต์ 7.30 แอมแปร์

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพ การระบายความร้อน

Abstract

Solar cells are increasingly popular for electricity generation due to their clean energy nature. However, their efficiency decreases at high temperatures, especially in hot climates where cell temperatures can reach up to 70°C, resulting in a significant reduction in power output. The objective of this research was to increase the efficiency of solar cells by automatic water cooling. It used two 300-watt monocrystalline solar panels: one without a cooling system and one with a cooling system. The automatic control system uses a microcontroller ESP8266, a 12-volt DC water pump with a flow rate of 60 liters/min, and 24 water release holes, operating based on the set temperature condition of 50°C and stopping working when the temperature drops to 40°C. The experiment was conducted during April, from 9:00 am to 3:00 pm, recording data every 15 minutes. The results showed that water-cooled solar cells had higher efficiency than those without a cooling system, at 20.05 and 18.49, respectively. The average temperature of both types of solar cells was 46.26 and 61.50°C. The time with the highest solar intensity was at 12:00 pm, with a voltage and current of 41.28 volts and 7.30 amperes.

Keywords: solar cells, efficiency, cooling

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นพลังงานทดแทนที่บริสุทธิ์และไม่มีวันหมด (Gupta et al., 2019) ซึ่งข้อดีของพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ไม่ก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษทางอากาศอื่น ๆ การใช้งานพลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยทุกวินาทีดวงอาทิตย์จะปลดปล่อยพลังงานมหาศาล แต่โลกจะได้พลังงานเฉลี่ยเพียง 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร พลังงานส่วนที่เหลือจะถูกดูดซับด้วยชั้นบรรยากาศของโลกและก้อนเมฆปกคลุม สะท้อน และกระจายรังสีดวงอาทิตย์ แม้ว่าชั้นบรรยากาศจะดูดซับและสะท้อนรังสีเหล่านี้ แต่ก็ยังมีพลังงานจำนวนหนึ่งที่มาถึงพื้นผิวโลก ปริมาณแสงแดดที่กระทบพื้นโลกแตกต่างกันไปตาม ภูมิภาค ฤดูกาล เวลาของวัน สภาพภูมิอากาศ และมลพิษทางอากาศ (Ministry of Energy, 2011) ปัจจุบันมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและประจุบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปขั้วลบ และให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก เพราะฉะนั้นจะทำให้เปิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ขั้วทั้ง 2 (Ministry of Energy, 2020)

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นมีปัจจัยหลักหลายด้านที่ส่งต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น เงา ความเร็วลม มุมเอียง ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ และฝุ่น เป็นต้น (Hasan et al., 2022) โดยเฉพาะอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะพบว่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Yadav et al., 2023; Gupta et al., 2019; Kumar et al., 2023) โดยประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเฉลี่ย 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส เช่น เซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (VOC) ที่ 45 โวลต์ ณ อุณหภูมิทดสอบตามมาตรฐาน คือ 25 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 35 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (VOC) ลดลง 2.25 โวลต์

เหลือ 42.75 โวลต์ (Al-Baghdadi et al., 2022) ซึ่งในสภาวะการใช้งานจริงตลอดวันอุณหภูมิสามารถเพิ่มขึ้นสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ปัจจุบันได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำ (Suwapaet & Boonla, 2014) ซึ่งการระบายความร้อนด้วยน้ำได้มีการศึกษาเทคนิคการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 วิธี คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะปกติ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้านหน้าแผง และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้านหลังแผง พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด 42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะปกติ (Boonsri et al.,2017) อย่างไรก็ตามการระบายความร้อนด้วยน้ำจำเป็นที่จะต้องมีระบบอัตโนมัติเพื่อช่วยในการตรวจวัดอุณหภูมิที่เซลล์แสงอาทิตย์และสั่งการให้ปล่อยน้ำสำหรับการระบายความร้อน ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำ microcontroller มาประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดและสั่งอุปกรณ์ให้ทำงาน เช่น การวัดอุณหภูมิและการควบคุมปั๊มน้ำ อีกทั้ง microcontroller บางรุ่นสามารถควบคุมผ่าน IOT (Internet of Things) (Ramli & Jabbar, 2022; Okomba et al., 2023) แม้ว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำจะสามารถช่วยลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ปัจจุบันพบว่าระบบระบายความร้อนยังใช้การควบคุมด้วยมือหรือกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งทำให้การระบายความร้อนไม่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแบบ real-time (Hammas et al., 2025) โดยเฉพาะในประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน เช่น ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้งานวิจัยของ Shah e t al. (2022) ได้มีการนำระบบ ระบายความร้อนร่วมกับการทำความสะอาดแผงในเวลาเดียวกันเพื่อจัดการกับปัญหาฝุ่นละอองและคราบสกปรกที่ลดประสิทธิภาพการรับแสง ซึ่งตรงกับแนวคิดของงานวิจัยนี้ที่เสนอให้ใช้น้ำเพื่อระบายความร้อนพร้อมทำความสะอาดแผงแบบอัตโนมัติ จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าว พบว่า ยังขาดการพัฒนาและทดสอบระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอัตโนมัติที่สามารถสั่งการทำงานตามอุณหภูมิจริงบนผิว

จากสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังถือว่าเป็นการทำความสะอาดบริเวณผิวด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ในคราวเดียวกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ชุดทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 300 วัตต์ มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ 1.96 ตารางเมตร จำนวน 2 แผง คือ แผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน และแบบที่มีระบบระบายความร้อน โดยมีรายละเอียดคุณสมบัติดังแสดงในตาราง 1

นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แผง มาวางยังพื้นราบและตรวจสอบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมกับผิวพื้นโลก 16 องศา โดยหันด้านหน้าแผงไปยังทิศใต้ เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร (Khin et al., 2018) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบระบายความร้อนจะกระบะสำหรับใส่น้ำวางอยู่ใต้โครงสร้าง ใช้ปั๊มน้ำ DC 12 โวลต์ มีอัตราการไหล 60 ลิตรต่อนาที และมีสายยางต่อไปยังบริเวณด้านบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้านบนสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการติดตั้งท่อ PVC โดยมีรูสำหรับปล่อยน้ำจำนวน 24 รู สำหรับระบายความร้อนให้ทั่วพื้นผิวของแผง ส่วนด้านล่างของแผงเซลล์

ระบบควบคุมอัตโนมัติใช้ microcontroller ESP8266 ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถรับและส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ได้อย่างรวดเร็ว และยังมีโมดูล Wi-Fi ในตัว โดยสามารถโปรแกรมด้วย Arduino IDE (Ramschie et al., 2020) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส (Non-touch IR temperature sensor) GY-906 MLX90614 มีช่วงการวัด -70 ถึง 380 องศาเซลเซียส ค่าความแม่นยำ ±0.5 องศาเซลเซียส (ในช่วง 0 ถึง 50 องศาเซลเซียส) สั่งเปิดการทำงานของปั๊มน้ำผ่านโมดูลรีเลย์แบบ 1 ช่อง และมีจอแสดงผล LCD แบบ I2C ดังแสดงในภาพ 2 โดยมีเงื่อนการทำงาน คือ เมื่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ตรวจวัดได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส microcontroller ก็จะประมวลผลและสั่งโมดูลรีเลย์ที่ควบคุมปั๊มน้ำทำงาน และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส ก็จะสั่งให้ตัดการทำงาน เนื่องจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวของผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์มักพบในช่วงเวลากลางวันในเขตภูมิอากาศร้อน เช่นประเทศไทย (Suwapaet & Boonla, 2014)

2. วิธีการทดลอง

ทำการทดลอง 1 วัน ช่วงเวลาในการทดสอบเริ่มจาก 9.00-15.00 นาฬิกา โดยตรวจวัดและบันทึกข้อมูลทุก 15 นาทีการวัดแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (VOC) และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ISC) ใช้มัลติมิเตอร์ (UNI-T UT204+) เพื่อนำไปคำนวณหากำลังสูงสุด วัดอุณหภูมิของผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ อินฟราเรด (Fluke 561) โดยวัดจำนวน 6 จุด แล้วไปหาค่าเฉลี่ย การวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ใช้ไพรานอมิเตอร์ (Kipp & Zonen SMP11) โดยมุมเอียงเท่ากันกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และวัดอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบแก้ว (SATO) โดยเครื่องมือวัดต่าง ๆ มีพิกัดและความแม่นยำ ดังแสดงในตาราง 2

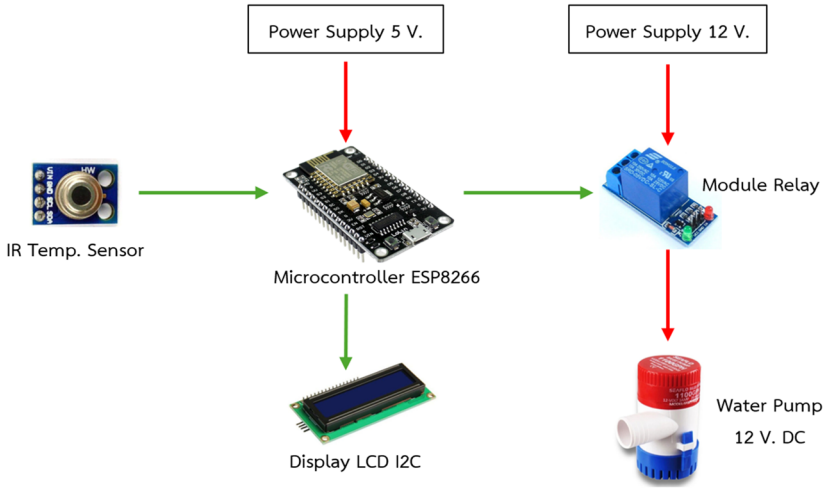
ตาราง 1

Properties solar panel

PV parameters	Value
Max Power, P_{max} (W)	300
Operating Voltage, V_{mp} (V)	36.7
Operating Current, I_{mp} (A)	8.17
Open Circuit Voltage, V_{OC} (V)	44.4
Short Circuit Current, I_{mp} (A)	8.99



ภาพ 1 ชุดระบายความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพ 2 อุปกรณ์ของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ตาราง 2

Range and accuracy of measure instruments

Measure Instruments	Range	Accuracy
Multimeters (UNI-T UT204+)	AC voltage 600 V.	±(0.8%+5)
	DC voltage 600 V.	±(0.5%+2)
	AC current 600 A.	±(2.5%+5)
	DC current 600 A.	±(2.5%+5)
IR Thermometer (Fluke 561)	-40 to 550 °C	±1% of reading or ±1°C
Pyranometer (Kipp & Zonen SMP11)	0 to 1600 W/m^2	±10 W/m²
Glass Thermometer (SATO)	0 to 100 °C	-

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

1. ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับพลังงานจากความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่รับแสงของแผงโซล่าเซลล์ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) (Akkanit, 2017)

$$\eta_{PV} = \frac{P_{\max}}{I\ A_c} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ η_{PV} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (เปอร์เซ็นต์)

$P_{\max}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)

I คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

A_C คือ พื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ (ตารางเมตร)

2. กำลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) (Akkanit, 2017)

$$P_{\max} = V_{OC} \times I_{SC} \quad (2)$$

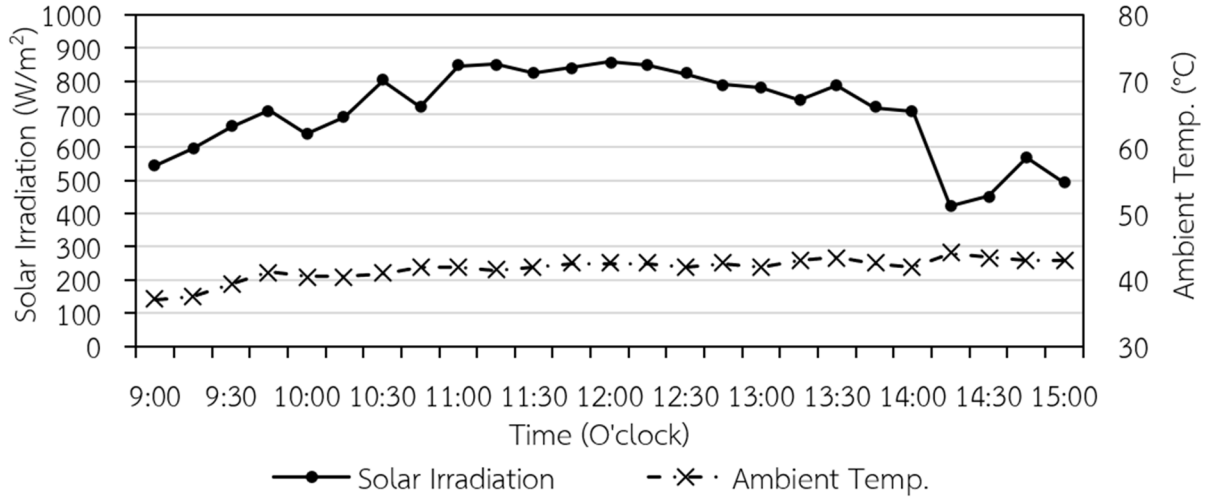
เมื่อ $P_{\max}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)

V_{OC} คือ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (โวลต์)

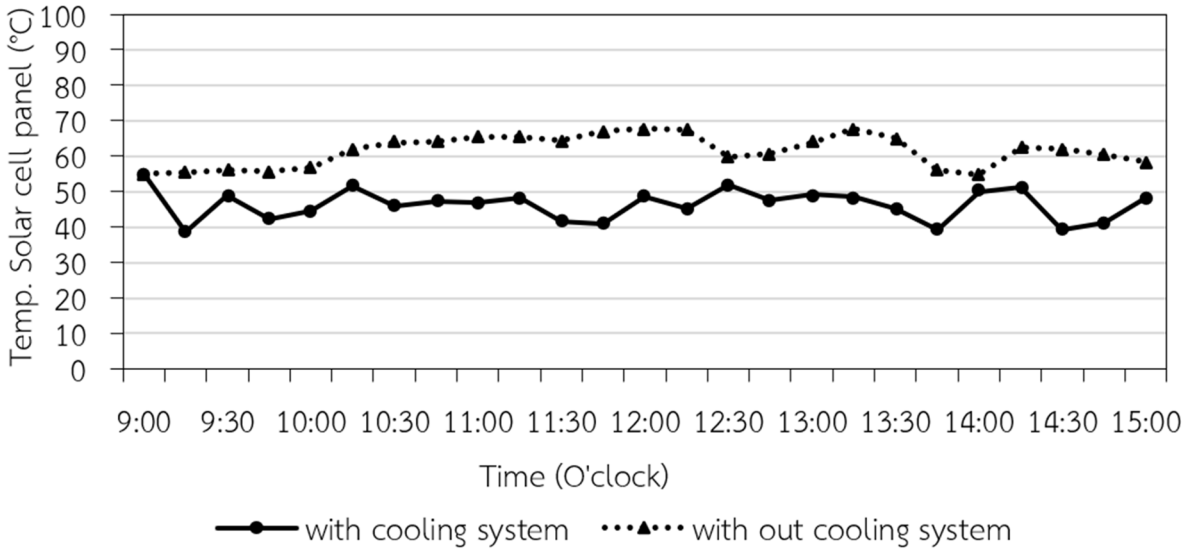
I_{SC} คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (แอมแปร์)

ผลการวิจัยและอภิปราย

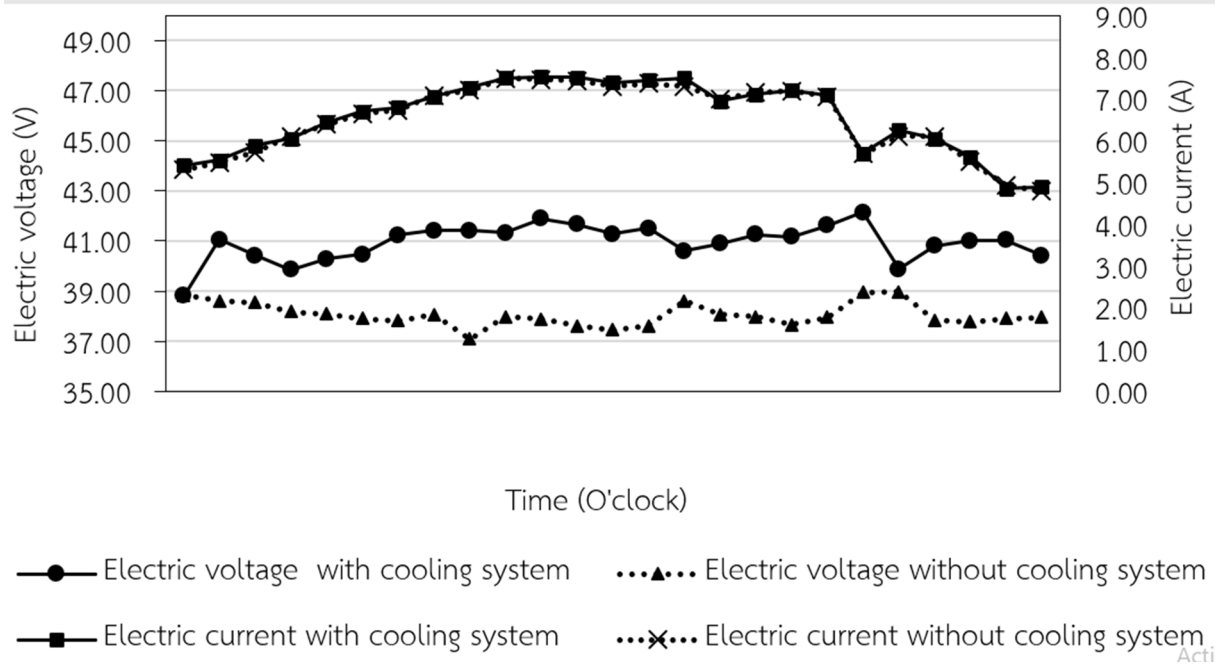
ผลการทดลอง 1 วัน ในช่วงเดือนเมษายน 2567 โดยทดลองในช่วงเวลา 09.00–15.00 น. พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่า 709 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 นาฬิกา คือ 856 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยระหว่างที่ทำการทดลองช่วงจะมีก้อนเมฆปกคลุม ส่งผลให้ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ลดลงบางช่วงเวลา และมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 41.73 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน ภาพ 3 ส่วนการระบายความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน มีค่า 46.26 องศาเซลเซียส และ 61.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละแผงมีค่าเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และ 67.90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (Boonsri et al., 2017) ดังแสดงในภาพ 4



ภาพ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์กับเวลา



ภาพ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลา

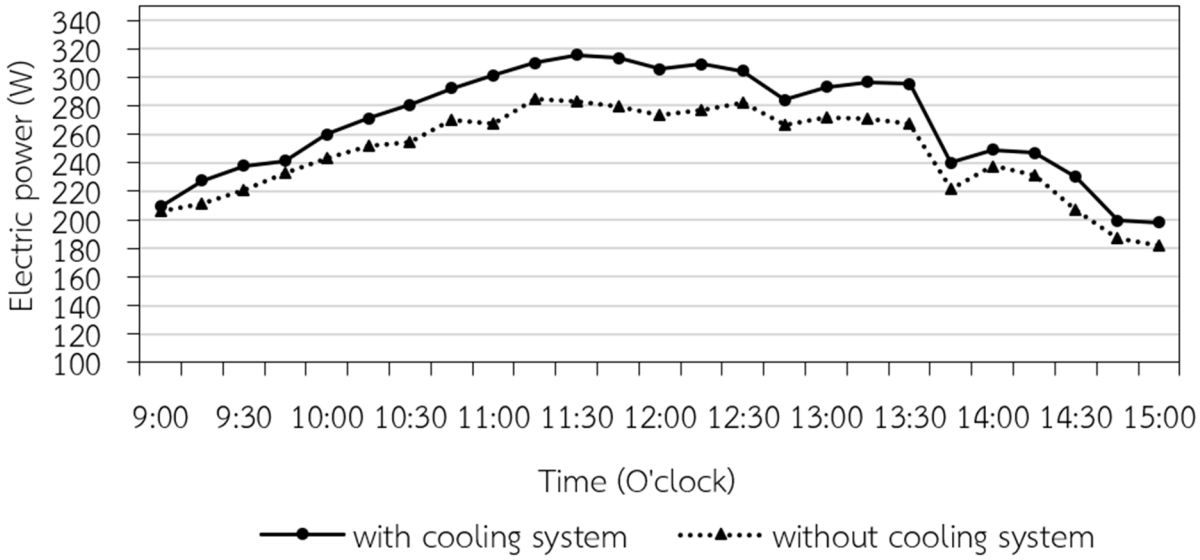


ภาพ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา

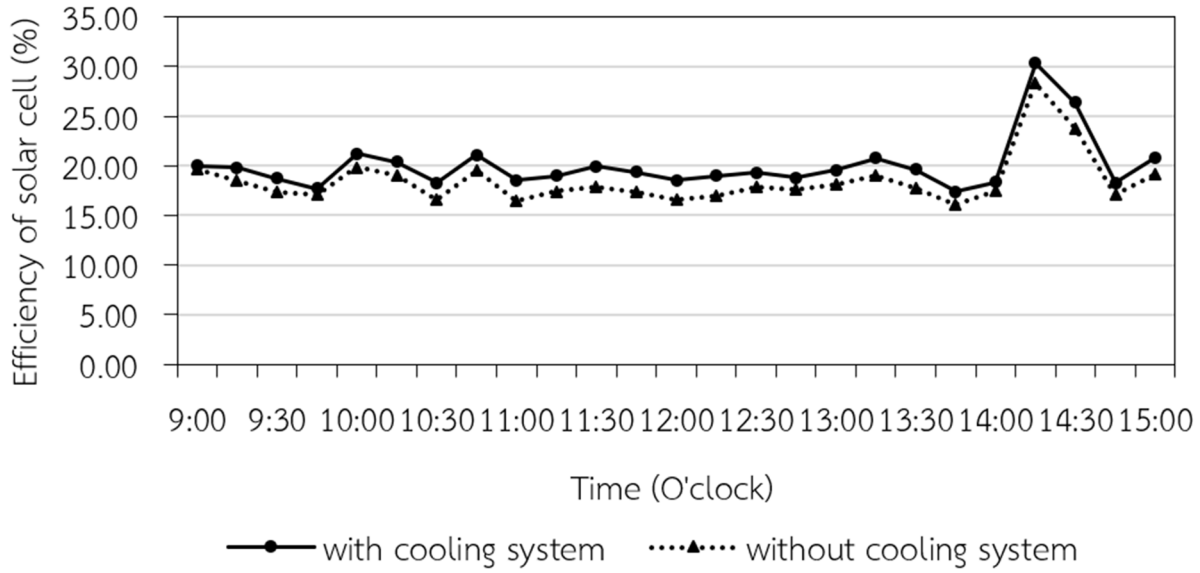
ภาพ 5 แสดงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ผลการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แผง พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ และแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน มีค่า 40.94 และ 38.05 โวลต์ จะเห็นได้ว่า แผงที่มีชุดระบายความร้อนมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า เพราะมีอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าไม่ได้มีเพียงแค่เงา มุมเอียง ความเข้มแสงอาทิตย์ และฝุ่น เพียงเท่านั้น อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีผลอย่างมาก ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ช่องว่างพลังงาน (band gap) ของสารกึ่งตัวนำแคบลง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (Abdul Rozak et al., 2023; Bensalem et al., 2017) ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อน มีค่า 6.55 แอมแปร์ และแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน มีค่า 6.50 แอมแปร์

ส่วนค่ากำลังไฟฟ้า พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ และแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน มีค่า 268.50 และ 247.17 วัตต์ โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำนั้นสามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้ 8.62 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าโดยตรง ดังแสดงในภาพ 6

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์อาทิตย์จะเป็นการหาความสามารถการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ผลการทดลองพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ และแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน มีประสิทธิภาพเท่ากับ 20.05 และ 18.49 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน เป็นเพราะกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นมีปริมาณสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Koohestani et al., (2023) ดังแสดงในภาพ 7



ภาพ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลา



ภาพ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับเวลา

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ microcontroller ในการควบคุมปั๊มน้ำ โดยการสั่งเปิดและปิดการทำงานตามอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นนอกจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็ส่งผลมากเช่นเดียวกัน โดยค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ และแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อน เท่ากับ 20.05 และ 18.49 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่นำเสนอในบทความนี้มาจากการทดลองในช่วงเดือนเมษายน แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและทรัพยากร จึงมีการนำเสนอผลการทดลองใน 1 วัน เป็นกรณีศึกษาเบื้องต้น ทั้งนี้ผลการทดลองในวันดังกล่าวอยู่ภายใต้สภาพอากาศทั่วไปของฤดูร้อน และไม่สามารถแทนค่าเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนหรือฤดูกาลได้

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดลองทุกช่วงฤดูกาล เพื่อให้ได้ผลที่ครอบคลุม และควรศึกษาต้นทุนของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรมในด้านจุดคุ้มทุน และจุดคืนทุน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทดลอง และอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่าง ๆ

References

Abdul Rozak, O., Zamri Ibrahim, M., Zalani Daud, M., Bakhri, S., & Muwaffiq, R. (2023). Impact of cell temperature on the performance of a rooftop photovoltaic system of 2.56 kWp at Universitas Pamulang. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 31*(2), 599. https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i2.pp599-608

Akkanit, C. (2017). Optimization of water cooling system for solar cell module. *Life Sciences and Environment Journal, 18*(2), 378–386. Retrieved from https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/psru/article/view/77392 (in Thai)

Al-Baghdadi, M. A. S., Ridha, A. A., & AL-Khayyat, A. S. (2022). The effects of climate change on photovoltaic solar production in hot regions. *Diagnostyka, 23*(3), 2022303. https://doi.org/10.29354/diag/152276

Boonsri, S., Sangsuwan, S., & Hindee, I. (2017). The study temperature reduction technique of solar panels using different water cooling system. *In Proceedings of the Research and Development Institute Kamphaeng Rajabhat University 14th* (pp. 391–399). Kamphaeng Phet: Kamphaeng Phet Rajabhat University (in Thai)

Gupta, V., Sharma, M., Kumar, R., Pachauri, R. K., & Babu, D. K. N. (2019). Comprehensive review on effect of dust on solar photoโวลต์aic system and mitigation techniques. *Solar Energy, 191,* 596–622. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.079

Hammas, M., Fituri, H., Shour, A., Khan, A. A., Khan, U. A., & Ahmed, S. (2025). A hybrid dual-axis solar tracking system: Combining light-sensing and time-based GPS for optimal energy efficiency. *Energies, 18*(1), 217. https://doi.org/10.3390/en18010217

Hasan, D. S., Farhan, M. S., & Alrikabi, H. (2022). Impact of cloud, rain, humidity, and wind velocity on PV panel performance. *Wasit Journal of Engineering Sciences, 10*(2), 34–43. https://doi.org/10.31185/ejuow.Vol10.Iss2.237

Khin, C., Buasri, P., Chatthawom, R., & Siritaratiwat, A. (2018). Estimation of Solar Radiation and Optimal Tilt Angles of Solar Photovoltaic for Khon Kaen University. *2018 International Electrical Engineering Congress (iEECON)* (pp. 1–4). Krabi: IEEE.

Koohestani, S. S., Nižetić, S., & Santamouris, M. (2023). Comparative review and evaluation of state-of-the-art photovoltaic cooling technologies. *Journal of Cleaner Production, 406*, 136953. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136953

Kumar, M. S., Balasubramanian, K. R., & Maheswari, L. (2023). Impact of temperature on the effectiveness of solar photovoltaic panels. *Research and Developments in Engineering Research, 3*, 89–96. https://doi.org/10.9734/bpi/rader/v3/4876C

Ministry of Energy, Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2011). *Manual for development and investment in solar energy production* (2nd ed.). Retrieved from http://www.dede.go.th (In Thai)

Ministry of Energy, Energy Policy and Planning Office. (2020). *Solar cells*. Retrieved from https://www.eppo.go.th (In Thai)

Okomba, N. S., Esan, A. O., Omodunbi, B. A., Sobowale, A. A., Adanigbo, O. O., & Oguntuase, O. O. (2023). IoT base solar power pump for agricultural irrigation and control system. *Fudma Journal of Sciences, 7*(6), 192–199. https://doi.org/10.33003/fjs-2023-0706-2056

Ojak, A., Rozak, M., Ibrahim, Z., Daud, M. Z., & Bakhri, S. (2023). Impact of cell temperature on the performance of a rooftop photovoltaic system of 2.56 kWp at Universitas Pamulang. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 31*(2), 599–608. https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i2.pp599-608

Ramli, R. M., & Jabbar, W. A. (2022). Design and implementation of solar-powered with IoT- enabled portable irrigation system. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 2*, 212–225. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2022.12.002

Ramschie, A. A., Makal, J. F., & Ponggawa, V. V. (2020). Implementation of the IoT concept in air conditioning control system base on Android. *International Journal of Computer Applications, 175*, 28–36. https://doi.org/10.5120/ijca2020920889

Shah, A. H., Alraeesi, A., Hassan, A., & Laghari, M. S. (2023). A novel photovoltaic panel cleaning and cooling approach through air conditioner condensate water. *Sustainability, 15*(21), 15431. https://doi.org/10.3390/su152115431

Suwapaet, N., & Boonla, P. (2014). The investigation of produced power output during high operating temperature occurrences of monocrystalline and amorphous photovoltaic modules. *Energy Procedia, 52*, 459–465. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.098

Yadav, A., Ayadi, W., & Khalid, M. (2023). The effect of temperature on photovoltaic power generation. *In International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE),* (pp. 473–477). Dubai: IEEE.

ชุดอุปกรณ์กำหนดความถี่ก้าวและระยะก้าว สำหรับการวิ่งโดยใช้แสงไฟและเสียง ในการนำวิ่งที่ความถี่ การก้าวและระยะก้าว

Pace and Stride Frequency Kit for Running, Utilizing Auditory and Visual Cues to Direct the Run at the Specified Frequency, Pace and Stride Length

ธีรศักดิ์ บุญวัง[1] และพิชชาภา คนธสิงห์[1]*
Theerasak Boonwang[1] and Phitchapa Konthasing[1]*
[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
[1]Department of Sports and Health Science, School of Health Science, Mae Fah Luang University
*Corresponding author: phitchapa.kon@mfu.ac.th
Received: May 20, 2025
Revised: August 16, 2025
Accepted: August 21, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว (2) ทดสอบความแม่นยำของชุดอุปกรณ์จากความถี่ก้าวและค่าระยะก้าวโดยการทำงานของชุดอุปกรณ์จะใช้ข้อมูลการประมวลผลภาพ (Image Processing) จากภาพเคลื่อนไหวในขณะวิ่งของผู้วิ่งเพื่อนำมากำหนดใช้เป็นที่มีความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนักวิ่ง ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย (1) ศึกษาความต้องการและลักษณะจำเพาะในการออกแบบ (2) กำหนดคุณลักษณะสำคัญ (3) การเลือกส่วนประกอบ (4) การออกแบบและการสร้างชุดอุปกรณ์สร้างแสงและเสียง (5) การทดสอบการทำงาน โดยใช้นาฬิกาจับเวลาความละเอียด 0.01 วินาทีในการวัดความแม่นยำ ที่ความถี่ก้าว 120 160 200 240 280 และ 320 ก้าวต่อนาที และใช้แถบวัดระยะ (สายวัดหน่วยมิลลิเมตร) ในการวัดระยะก้าวของชุดอุปกรณ์ ที่ระยะ 30 60 90 120 และ 180 เซนติเมตร โดยใช้ค่าร้อยละความแม่นยำ (% of accuracy) เป็นค่าบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์โดยกำหนดความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 5% ผลการทดลองพบว่า (1) ค่าความแม่นยำความถี่การก้าวมากที่สุด 1.32% (2) ความแม่นยำของการแสดงผลระยะก้าวมากที่สุด คือ 1.62% ซึ่งทั้งความแม่นยำของความถี่การก้าวและระยะการก้าวเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดในงานวิจัยนี้ไว้ คือ ไม่เกิน 5% ซึ่งผลผลิตจากงานวิจัยนี้คือต้นแบบชุดอุปกรณ์ สำหรับกำหนดความถี่ก้าวและระยะก้าวที่สามารถนำไปใช้ในการศึกษาค่าการวิ่งประหยัดพลังงาน และใช้เป็นเครื่องมือในการฝึกซ้อมเพื่อหาค่าความถี่และระยะก้าวที่เหมาะสมกับนักวิ่งแต่ละบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว ความถี่ก้าว ระยะก้าว ค่าการวิ่งประหยัดพลังงาน

Abstract

The aims of this research were to (1) create a pacing and stride length device and (2) evaluate the device's accuracy based on stride frequency and stride length measurements. The device analyzes picture data from the runner's movements to ascertain the optimal settings for the individual. The research approach encompassed (1) analyzing design needs and specifications, (2) delineating essential characteristics, (3) selecting components, (4) developing and constructing the light and sound device, and (5) evaluating the device's functionality. A stopwatch with a resolution of 0.01 seconds was employed to assess accuracy at stride frequencies of 120, 160, 200, 240, 280, and 320 strides per minute. A millimeter-scale measuring tape was employed to ascertain the stride length of the device at intervals of 30, 60, 90, 120, and 180 cm. The accuracy percentage (% was utilized to denote the device's performance, with an acceptable margin of error not exceeding ± 5%. The experimental findings indicated that (1) the maximum accuracy for stride frequency was 1.32%, and (2) the maximum accuracy for stride length display was 1.62%. Both stride frequency and stride length precision achieved the predetermined aim established in this investigation, which was no greater than 5%. This research yields a prototype apparatus for measuring stride frequency and stride length, applicable for analyzing energy-efficient running metrics and functioning as a training instrument to identify the best frequency and stride length for individual runners.

Keywords: cadence and stride length regulation system, stride frequency, stride length, running economy

บทนำ

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพที่ดีถือว่า เป็นปัจจัยที่สำคัญอันดับต้น ๆ ในปัจจุบัน การวิ่งเป็นการออกกำลังกายที่เป็นที่นิยมและแพร่หลายเป็นอย่างมากเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ยุ่งยาก หรือไม่มีข้อจำกัดด้านสถานที่เท่ากับกิจกรรมออกกำลังกายอื่น อย่างไรก็ตามการวิ่งออกกำลังกาย หรือเพื่อการแข่งขันจะมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นหากการวิ่งนั้นมีลักษณะของการเคลื่อนไหวของผู้วิ่งที่เหมาะสม เนื่องจากการวิ่งเป็นกิจกรรมที่มีความซับซ้อนและต้องการการประสานงานของกล้ามเนื้อและระบบต่าง ๆ ในร่างกายอย่างมีประสิทธิภาพ (Van Hooren & Meijer, 2024) หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการวิ่ง คือ ค่าการวิ่งประหยัดพลังงาน (running economy) หมายถึงพลังงานที่ใช้ในการวิ่งที่ความเร็วคงที่ (Souza et al., 2022) จากผลการศึกษาและวิจัยพบว่า การมีค่าประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยให้ผู้วิ่ง วิ่งได้เร็ว และนานขึ้นโดยมีการใช้พลังงานที่น้อยลง (Leite et al., 2024) ซึ่งปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ที่มีผลต่อค่าการวิ่งประยัดพลังงานอย่างมาก ประกอบด้วยสองปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่หนึ่ง คือ ระยะก้าว (stride length) หมายถึงระยะทางครอบคลุมในแต่ละก้าว ซึ่งสามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวของผู้วิ่ง โดยระยะก้าวที่เหมาะสมจะมีความจำเพาะและแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชีวกลศาสตร์ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และ

ความยืดหยุ่นของร่างกาย โดยจะส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นประสิทธิภาพการวิ่งของบุคคลในที่สุด และเป็นดัชนีสำคัญที่เป็นตัวกำหนดความสามารถในการวิ่งระยะไกลของนักวิ่งมาราธอนหรือมินิมาราธอนได้ ดังนั้นการเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าวและประสิทธิภาพการวิ่ง จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับนักกีฬา และผู้ฝึกสอนหรือโค้ช ที่ต้องการการฝึกฝนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของนักกีฬา และลดความเสี่ยงในการได้รับบาดเจ็บ นอกจากนั้นแล้วยังมีปัจจัยที่สอง คือ ความถี่ก้าว (stride frequency) หมายถึง จำนวนก้าวที่ทำได้ในหนึ่งนาที ซึ่งความถี่ในการก้าวที่เหมาะสมก็จะเป็นส่วนลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการวิ่งได้เช่นกัน ซึ่งนักวิ่งที่มีประสบการณ์มักจะเลือกความถี่ของการก้าวที่ใกล้เคียงกับความถี่ที่เหมาะสมของตนเองได้ง่ายกว่านักวิ่งมือใหม่ อย่างไรก็ตาม นักวิ่งทั้งสองกลุ่มมักจะเลือกความถี่ของการก้าวที่ต่ำกว่าความถี่ที่เหมาะสมเล็กน้อย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าวและความถี่ก้าว เมื่อวิ่งด้วยความเร็วคงที่ จะมีความสัมพันธ์แบบผกผัน กล่าวคือเมื่อความถี่ของการก้าวเพิ่มขึ้น ความยาวของการก้าวก็จะลดลง และในทางกลับกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นหากนักกีฬาหรือนักวิ่งสามารถมีวิธีการหรือเครื่องมือที่สามารถช่วยในการศึกษาและพัฒนาสมดุลระหว่างระยะก้าวและความถี่ก้าวของตนเองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวิ่ง โดยนักวิ่งที่มีระยะก้าวและความถี่ก้าวที่เหมาะสมจะสามารถวิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Watanabe, Kondo, Kakinoki, Fukusaki & Hatta, 2023)

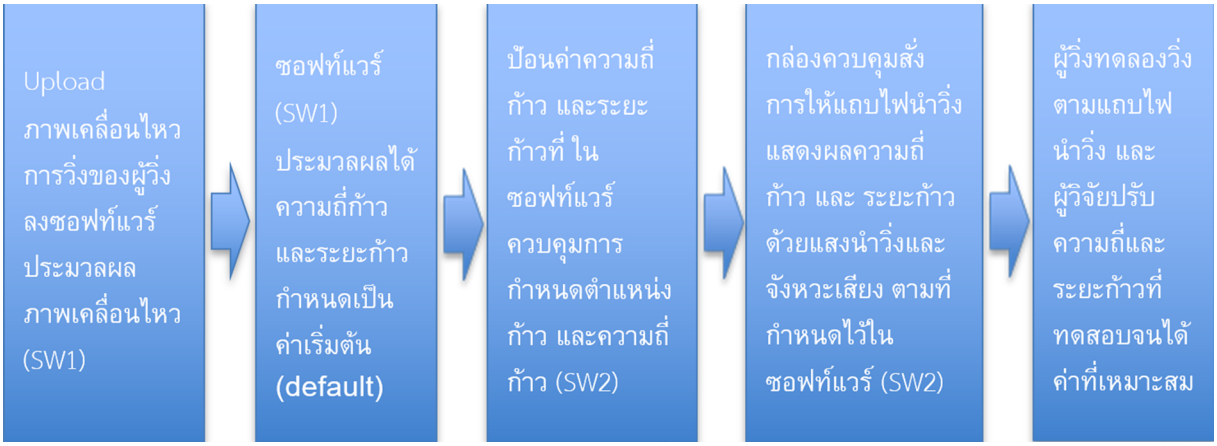
ปัจจุบันได้มีวิธีการฝึกฝนการวิ่งให้มีประสิทธิภาพ โดยการกำหนดความเร็วในการวิ่งที่ต้องการฝึกฝน เพื่อให้ผู้วิ่งหรือนักกีฬาเกิดความคุ้นเคยกับการเคลื่อนไหว และความเร็วนั้น ๆ (Schubert, Kempf & Heiderscheit, 2013) โดยการฝึกฝนอาจเป็นการวิ่งบนลู่วิ่งสายพาน หรือเทคนิคการนำวิ่งโดยผู้วิ่งที่มีความชำนาญเป็นผู้กำหนดความเร็วในการวิ่ง (pacer) (Díaz, Fernández-Ozcorta & Santos-Concejero, 2018) หรือการใช้อุปกรณ์เครื่องมือนำวิ่งเพื่อให้ได้ความเร็วกำหนด เช่น การใช้รถกำหนดจังหวะวิ่ง (Hoogkamer, Snyder & Arellano, 2019) การใช้แสงไฟนำวิ่ง (Sha et al., 2024) เป็นต้น โดยข้อดีของการนำอุปกรณ์นำวิ่งมาใช้ในการฝึกฝน คือ ความแม่นยำ ความคงที่ และการกำหนดตัวแปรในการฝึกฝนที่ซับซ้อนขึ้นได้ เช่น การกำหนดความถี่ก้าว และการกำหนดระยะก้าว (HoGberg, 1952) อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่นำการวิเคราะห์ภาพมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างโปรแกรมและรูปแบบการฝึกวิ่งเฉพาะบุคคลยังมีจำนวนจำกัด ซึ่งการทดสอบหาลักษณะความเป็นธรรมชาติของการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมของผู้รับการฝึก จะมีประโยชน์ต่อการวิ่งประหยัดที่พลังงานของนักวิ่งแต่ละคนเสีย ซึ่งจะเป็นการช่วยลดเวลาในการฝึกฝน ความล้า และลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บระหว่างการฝึกฝนได้ (Barnes & Kilding, 2015)

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยและพัฒนานี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาอุปกรณ์และนำเสนอเทคนิควิธีการ เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาและหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างระยะก้าวและความถี่ก้าวของผู้วิ่งและนักกีฬา โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (image processing) จากภาพเคลื่อนไหวในขณะวิ่งของผู้วิ่งออกมาเป็นค่าระยะก้าว และความถี่ก้าว นำมากำหนดใช้เป็นค่าเริ่มต้นในโปรแกรมควบคุมการกำหนดจังหวะการก้าวและระยะก้าวการวิ่งด้วยแสงและเสียง และให้ผู้วิ่งได้ทดลองวิ่งตามค่าตัวแปรที่กำหนดนั้น และทำการปรับค่าตัวแปรจนได้ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับนักวิ่งที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนั้นชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ยังสามารถใช้ในการฝึกฝนทักษะการวิ่ง และปรับการวิ่งของนักวิ่งให้คุ้นเคยกับกายภาพการวิ่งที่เหมาะสมที่สุดของตนเองได้ และสามารถใช้ในการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ในการบรรลุประสิทธิภาพการวิ่งที่ดีที่สุดได้ด้วยกรอบแนวคิดของการวิจัยแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพ 2 หลักการทำงานและการใช้งานของชุดอุปกรณ์กำหนดความถี่ก้าวและระยะก้าว

วิธีการดำเนินวิจัย

ผู้วิจัยได้วางรูปแบบการใช้งานชุดอุปกรณ์ดังภาพ 2 โดยมีขั้นตอนการออกแบบและดำเนินการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการและลักษณะจำเพาะ

ในการออกแบบงานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตวิจัยให้อยู่ในช่วงการศึกษาการวิ่งความเร็วตั้งแต่ Pace 6 ขึ้นไป (มากกว่า 6 นาที ต่อกิโลเมตร) (Stöhr et al., 2021) และศึกษาเน้นเฉพาะรูปร่างคนไทย (Suwankan, Suwankan, Theanthong & Kemarat, 2024) โดยได้จำแนกลักษณะจำเพาะของตัวแปรต่าง ๆ ในการออกแบบชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว เป็นดังนี้

1.1.ระยะก้าว (stride length) ช่วง 60 ถึง 90

เซนติเมตร อ้างอิงจากนักวิ่งคนไทย โดยมีความแม่นยำของระยะก้าวเป็น +/- 12 เซนติเมตร (Praditpod & Tantipoon, 2017)

1.2. ความถี่การก้าว (stride frequency) ช่วง 170 ถึง 190 ก้าวต่อนาที อ้างอิงจากนักวิ่งคนไทยความเร็ว Pace 6 โดยกำหนดความแม่นยำของความถี่การก้าวเป็น +/- 10% (Praditpod & Tantipoon, 2017)

1.3. ระยะการฝึกฝน (training duration) ระยะที่ใช้ในการฝึกฝน 40 เมตร ในแนวเส้นตรง ซึ่งอ้างอิงจากระยะที่ทำให้ผู้ฝึกฝนเริ่มคุ้นชิน ไม่น้อยกว่า 20 เมตร (Lockie, Murphy, Schultz, Knight & De Jonge, 2011)

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดคุณลักษณะสำคัญของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว

2.1 ระบบการจัดเก็บและประมวลผลภาพเคลื่อนไหว พัฒนาโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ที่สามารถอัปโหลดคลิปหรือวีดีโอการวิ่งบนลู่สนามหรือลู่วิ่งไฟฟ้า เพื่อประมวลผลเป็นระยะก้าวและความถี่การก้าว ใช้สำหรับป้อนเป็นค่าเริ่มต้นในการฝึกฝนการวิ่งโดยใช้ชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว โดยสามารถลดเวลาการฝึกฝนลงได้ แสดงในภาพ 3

2.2 ระบบแสงนำก้าว ใช้เม็ดไฟ LED ความสว่างไม่น้อยกว่า 600 lux ลักษณะแสงสีขาว (white light) และแสงสีอื่นอย่างน้อย 1 สี ระยะห่างระหว่างเม็ด LED ไม่เกิน 6 เซนติเมตร (60 มิลลิเมตร) เรียงเป็นแนวเส้นตรงบนแถบลู่วิ่งทำจากวัสดุกันน้ำ รวมความยาวของแถบลู่วิ่ง 40 เมตร สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมได้โดยผ่านขั้วต่อแบบขันล็อคได้ และสามารถต่อกับส่วนอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟได้อย่างเหมาะสม แสดงในภาพ 4

2.3 ระบบเสียงนำก้าว สามารถส่งสัญญาณเสียงตรงกับความถี่การก้าวได้โดยมีความดังของเสียงที่สามารถได้ยินได้ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงไม่น้อยกว่า 40 เมตร เมื่อทำการทดสอบในตัวอาคารที่เปิดโล่ง

2.4 ระบบควบคุมและการแสดงผล เป็นกล่องบรรจุแผงวงจรที่มีช่องต่อแถบลู่วิ่ง LED สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า และควบคุมการทำงานของหลอดไฟ LED บนแถบลู่วิ่ง ให้มีระยะก้าว และความถี่การก้าว ตามที่กำหนดได้ และมีอุปกรณ์ส่งสัญญาณเสียงนำก้าว โดยส่วนควบคุมนี้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ทาง USB port เพื่อทำงานควบคู่ไปกับโปรแกรมแสดงผลและควบคุมที่พัฒนาขึ้น เพื่อที่ทำหน้าที่แสดงผลกำหนดระยะก้าวและความถี่ก้าว ในการ Training แสดงในภาพ 5 และภาพ 6

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกส่วนประกอบ และชิ้นส่วน ในการพัฒนาชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว

3.1 แถบลู่วิ่ง ใช้เส้นแถบ LED ที่สามารถ แสดงแสงสีขาว เขียว และแดงได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร มีระยะห่างระหว่างเม็ด LED 3 เซนติเมตร (30 มิลลิเมตร) ความสว่างไม่น้อยกว่า 600 lux มีความยาวของแถบ LED 40 เมตร ติดตั้งบนแถบผ้ากันน้ำ ความกว้าง 150 มิลลิเมตร ความยาว 45 เมตร โดยมีชุดสายสัญญาณ และสายจ่ายกระแสไฟ เชื่อมต่อเข้ากับกล่องควบคุมด้วยขั้วไฟ 4 pole แบบขันล็อกได้

3.2 กล่องควบคุมการทำงานของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว ประกอบด้วย

3.2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP32

3.2.2 ชุดอุปกรณ์แปลงไฟฟ้า (switching) กระแสสลับ 220VAC เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง 5 VDC 20A และ VDC 10A สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเส้นแถบ LED และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามลำดับ

3.2.3 อุปกรณ์ส่งสัญญาณเสียง (passive buzzer) DC 5V >85dB

3.2.4 อุปกรณ์ระบายความร้อน พัดลม 5V ขนาด 50 มิลลิเมตร ติดตั้งบนกล่องควบคุม

3.2.5 ส่วนเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เชื่อมต่อโดยใช้สาย micro USB to USB

3.3 โปรแกรมประมวลผลภาพเคลื่อนไหว YOLOv11 pose estimation ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการวิ่งจากวิดีโอ โดยโปรแกรมนี้จะสร้างจุดติดตามบนร่างกายของผู้ที่กำลังวิ่ง 3 จุด ได้แก่ ข้อเท้าซ้าย ข้อเท้าขวา และเอว โปรแกรมจะบันทึกตำแหน่งความสูงในแนวตั้งและระยะทางในแนวนอนของจุดติดตามเหล่านี้

และนำมาแสดงผลเป็นกราฟ เพื่อประมวลผลหาระยะก้าว โปรแกรมจะใช้ระดับความสูงของจุดที่เท้าเคลื่อนที่ โดยจุดที่เท้าเคลื่อนที่ต่ำที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่เท้าวางบนพื้น จากนั้นจึงทำการวัดระยะทางโดยการประมวลผลภาพ ข้อมูลที่โปรแกรมสามารถประมวลผลได้ประกอบด้วย ระยะทางเคลื่อนที่ ระยะเวลาบันทึกตั้งแต่เริ่มต้น จำนวนก้าว ความเร็ว ความสูงของการยกเท้า และระยะเวลาที่วิ่งได้ระยะ 1 กิโลเมตร (PACE)

3.4 โปรแกรมแสดงผลและควบคุมการทำงานของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว โดยโปรแกรมการแสดงผลและอินเทอร์เฟซพัฒนาขึ้นโดยใช้ Visual C และสั่งการผ่านการโปรแกรมด้วยชุดโค้ดคำสั่งใน Arduino UI

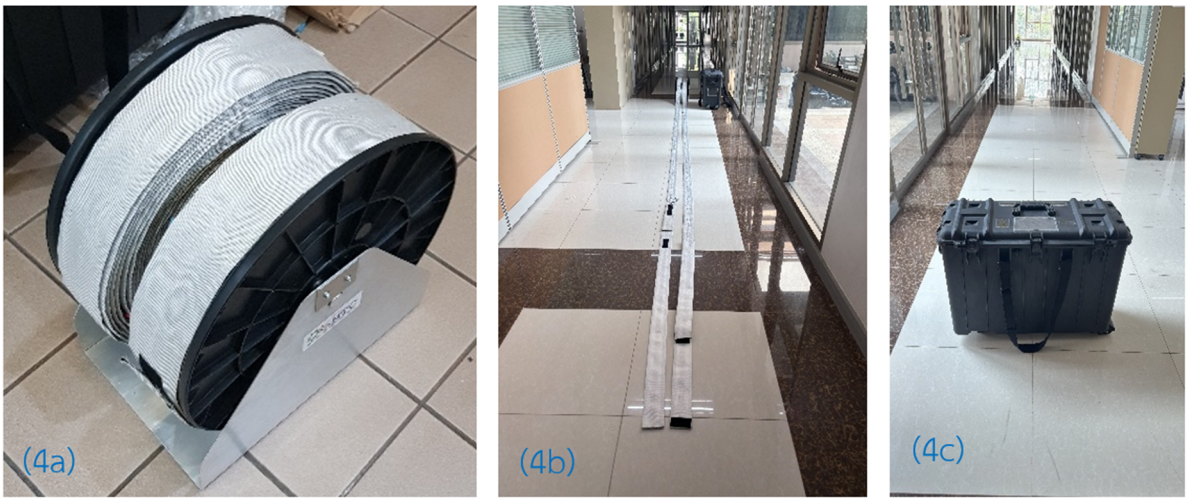
ขั้นตอนที่ 4 การออกแบบ และการสร้างชุดอุปกรณ์

ชุดกำหนดจังหวะและระยะก้าว ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ แถบลู่นำวิ่งด้วยแสง (LED running lane) กล่องควบคุม (controlling unit) และโปรแกรมแสดงผลควบคุม และวิเคราะห์การฝึกฝนการวิ่งบนคอมพิวเตอร์ (step traning and processing program) โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนประกอบหลัก และการเชื่อมต่อการทำงานจะแสดงในภาพ 7



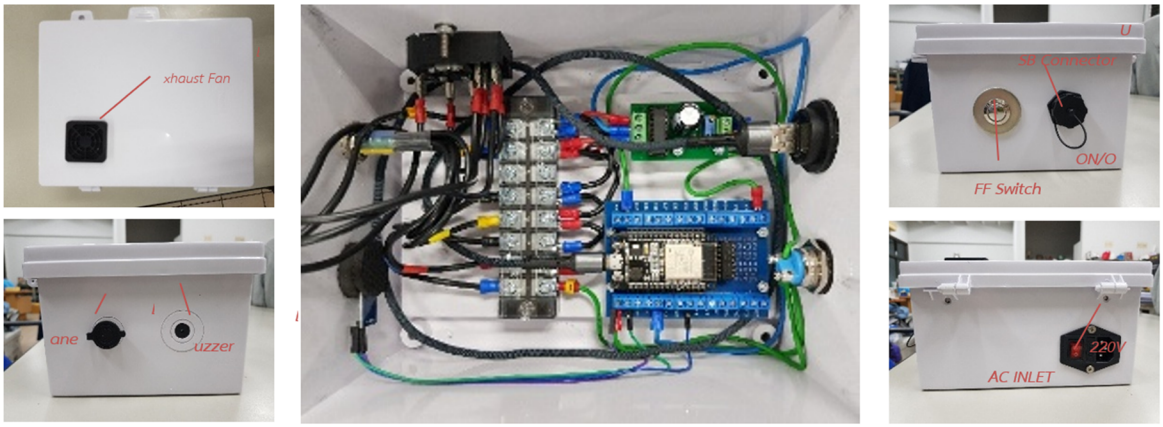
Id	Part
0	nose
1	leftEye
2	rightEye
3	leftEar
4	rightEar
5	leftShoulder
6	rightShoulder
7	leftElbow
8	rightElbow
9	leftWrist
10	rightWrist
11	leftHip
12	rightHip
13	leftKnee
14	rightKnee
15	leftAnkle
16	rightAnkle

ภาพ 3 วิธีการประมวลผลภาพเคลื่อนไหวเป็นค่าความถี่ก้าวและระยะก้าว ด้วย yolov11 pose estimation และการทดสอบโปรแกรมกับภาพเคลื่อนไหวการวิ่ง

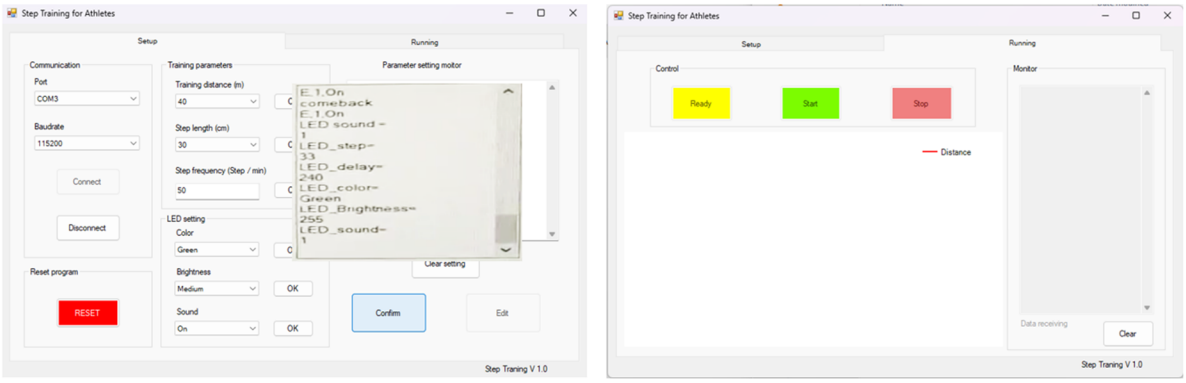


(4a) อุปกรณ์ม้วนเก็บแถบแสงนำวิ่ง (4b) แถบแสงนำวิ่ง ที่ความยาว 40 เมตร (4c) กล่องเก็บแถบแสงนำวิ่ง

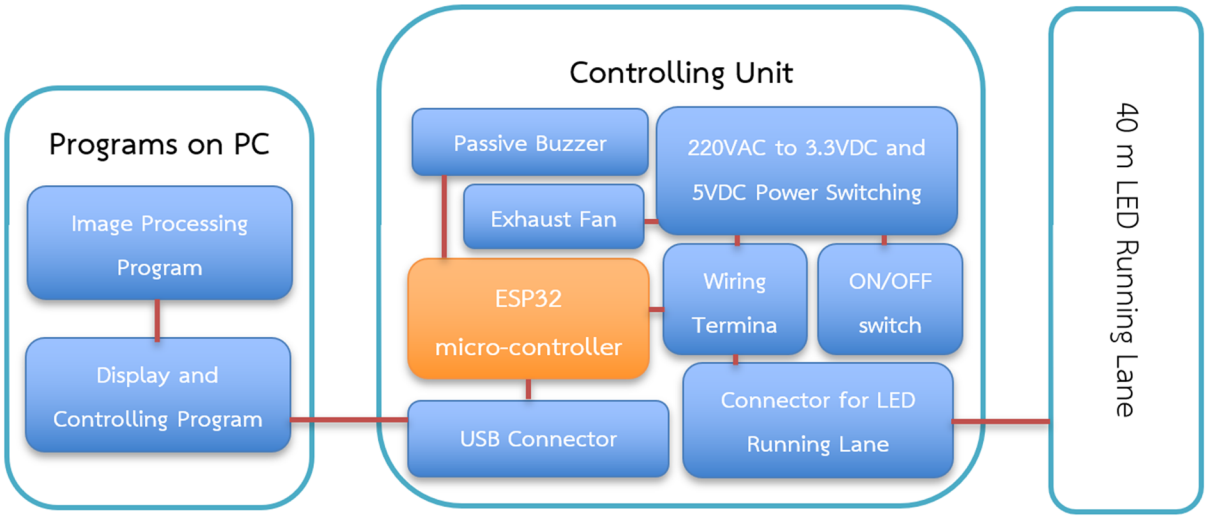
ภาพ 4 ชุดอุปกรณ์แถบลู่นำวิ่งด้วยแสงความยาว 40 เมตร



ภาพ 5 กล่องควบคุมการทำงานแถบไฟนำวิ่ง และสัญญาณเสียงกำหนดจังหวะ



ภาพ 6 อินทอร์เฟซของซอฟต์แวร์แสดงผลและควบคุมการทำงานของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว



ภาพ 7 ผังภาพส่วนประกอบและการสร้างชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว

ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะ และระยะก้าว

ทำการทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะ และระยะก้าว เพื่อทราบว่ามีการทำงานและความแม่นยำ (accuracys) ได้ตามความต้องการ (requirements) และลักษณะเฉพาะที่กำหนด (specifications) หรือไม่ โดยการทดสอบความแม่นยำของการแสดงแสงไฟนำวิ่งตามความถี่ก้าว และระยะก้าวที่กำหนดโดยโปรแกรมควบคุม โดยกำหนดเป็นการทดสอบ 2 การทดสอบ คือ การทดสอบความแม่นยำของความถี่ก้าว และการทดสอบความแม่นยำของระยะก้าว โดยผู้วิจัยกำหนดความแม่นยำของความถี่การก้าวเป็น ± 5% และความแม่นยำของระยะก้าวเป็น ± 5% ซึ่งมีวิธีการทดสอบแต่ละหัวข้อทดสอบดังนี้

5.1 การทดสอบความแม่นยำของความถี่ก้าว เป็นการทดสอบหาความแม่นยำการแสดงผลความถี่การก้าวของแสงบนแถบไฟนำวิ่ง จากการป้อนค่าความถี่การก้าวของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.1.1 ติดตั้งแถบไฟนำวิ่งบนพื้นเรียบในแนวเส้นตรงความยาว 40 เมตร และต่ออุปกรณ์ของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะก้าว และระยะก้าว โดยมีแถบวัดระยะ (สายวัดหน่วยมิลลิเมตร) วางขนานไปกับแถบไฟนำวิ่ง

5.1.2 ตั้งค่าระยะก้าวคงที่ บนโปรแกรมควบคุมการทำงานแถบไฟนำวิ่งเป็นระยะก้าว 60 เซนติเมตร และกำหนดความถี่ก้าว ทดสอบที่ 120 ก้าวต่อนาที (2 ก้าวต่อวินาที)

5.1.3 เริ่มการทำงานของชุดอุปกรณ์กำหนดระยะก้าว จับเวลาการแสดงผลของแสงนำวิ่งจากระยะที่ 0 เมตร จนถึง 40 เมตร ด้วยนาฬิกาจับเวลาความละเอียด 0.01 วินาที บันทึกเวลาในหน่วยวินาที โดยทำการทดสอบซ้ำ 6 ครั้ง ต่อการทดสอบ หาค่าเฉลี่ยเวลา และคำนวณเป็นความถี่การก้าว หน่วยก้าวต่อนาที

5.1.4 ทำการทดสอบโดยเปลี่ยนค่าความถี่การก้าวทดสอบที่ 160 200 240 280 และ 320 ก้าวต่อนาที ที่ระยะก้าวคงที่ 60 เซนติเมตร บันทึกผล และคำนวณเป็นความถี่การก้าว หน่วยก้าวต่อนาที ตามข้อ 5.1.3

5.1.5 ทำการทดสอบที่ระยะก้าว 120 เซนติเมตร โดยทดสอบตามข้อ 5.12 ถึง 5.14

5.1.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ เป็นค่าร้อยละความแม่นยำ (% of accuracy)

5.2 การทดสอบความแม่นยำของระยะก้าว เป็นการทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของการแสดงผลระยะก้าวบนแถบไฟนำวิ่ง จากการป้อนค่าระยะก้าวของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าว โดยมีขั้นตอน ดังนี้

5.2.1 ติดตั้งแถบไฟนำวิ่งบนพื้นเรียบในแนวเส้นตรง ความยาว 40 เมตร และต่ออุปกรณ์ของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะก้าว และระยะก้าว โดยมีแถบวัดระยะ (สายวัดหน่วยมิลลิเมตร) วางขนานไปกับแถบไฟนำวิ่ง

5.2.2 ตั้งค่าระยะก้าวทดสอบ บนโปรแกรมควบคุมการทำงานแถบไฟนำวิ่งเป็น 30 เซนติเมตร และกำหนดคำสั่งในโปรแกรมให้แสดงผลไฟนำวิ่งความถี่เท่ากับศูนย์ (ไฟนำวิ่งติดค้างที่ห่างกันทุกระยะ 30 เซนติเมตร)

5.2.3 วัดระยะความห่างของไฟนำวิ่งที่แสดงผลบนแถบไฟนำวิ่งทุกระยะ และ บันทึกผลในหน่วยเซนติเมตร

5.2.4 ทำการทดสอบซ้ำ โดยกำหนดค่าระยะก้าวทดสอบ เป็น 60 90 120 และ 180 เซนติเมตร และทดสอบตามข้อ 5.2.2 ถึง 5.2.3 จนครบ และเปลี่ยนการกำหนดความถี่ก้าวทดสอบ

5.2.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบ เป็นค่าร้อยละความแม่นยำ (% of accuracy) ด้วยสถิติเชิงพรรณา ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยการค่าร้อยละความแม่นยำ (% Accuracy) คำนวณจากการเปรียบเทียบค่าระยะก้าวและความถี่ก้าวที่ได้จากการทดสอบกับค่าความถี่ก้าวที่ตั้งค่าไว้ เพื่อแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะก้าวและความถี่ก้าวที่ได้จากการทดสอบ

ผลการวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ ได้แก่ ความแม่นยำในการแสดงผลความถี่ก้าว และความแม่นยำในการแสดงผลระยะก้าว โดยมีเกณฑ์เป้าหมายของงานวิจัย คือ กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ไม่เกินร้อยละ 5 การทดสอบความแม่นยำด้านความถี่ก้าว เพื่อประเมินความแม่นยำของแถบแสงนำวิ่งในการแสดงผลตามค่าความถี่ก้าวที่กำหนดดำเนินการโดยตั้งค่าความถี่ก้าวเป้าหมาย ทั้งหมด 6 ระดับ ได้แก่ 120 160 200 240 280 และ 320 ก้าวต่อนาที ในการทดสอบแต่ละระดับความถี่ ได้กำหนดตัวแปรควบคุม คือ ระยะก้าว ให้มีค่าคงที่ 2 ค่า คือ 60 เซนติเมตร และ 120 เซนติเมตร จากผลการทดลองดังแสดงในตาราง 1 และตาราง 2 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ตรวจวัดได้จากความเป็นจริงมีค่าสูงสุด 1.32% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเป้าหมายที่กำหนดไว้

การทดสอบความแม่นยำด้านระยะก้าว เพื่อประเมินความแม่นยำของแถบแสงนำวิ่งในการแสดงผลตามค่าระยะก้าวที่กำหนด ดำเนินการทดสอบโดยกำหนดค่าระยะก้าวเป้าหมายทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ 30 60 90 120 และ 180 เซนติเมตรผลการทดสอบพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการแสดงผลระยะก้าวอยู่ที่ 1.62% ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ไม่เกินร้อยละ 5 ผลการทดสอบทั้งสองส่วนยืนยันว่า ระบบแถบแสงนำวิ่งมีความแม่นยำในการแสดงผลทั้งด้านความถี่ก้าวและระยะก้าวเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ตั้งไว้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด

ตาราง 1

ผลการทดสอบความแม่นยำของการแสดงผลความถี่ก้าว ที่ระยะก้าว 60 ซม.

ผลการทดสอบความแม่นยำของความถี่ก้าวที่กำหนด (ก้าวต่อนาที) ที่ระยะก้าว					**60**	**cm**
ความถี่ก้าวทดสอบ (ก้าว ต่อนาที)	120	160	200	240	280	320
เวลาจากการคำนวณ (วินาที)	33.00	24.75	19.80	16.50	14.14	12.38
การวัดซ้ำ	ระยะเวลาเริ่มจนจบของการแสดงไฟวิ่ง ระยะ 40 เมตร (วินาที)					
1	33.07	25.20	20.28	16.28	13.65	12.80
2	32.68	24.93	19.76	16.32	13.65	12.13
3	33.07	25.22	19.75	16.14	13.66	12.73
4	33.32	24.40	20.10	16.96	14.47	12.84
5	33.12	24.51	19.46	16.80	13.95	12.09
6	32.97	24.65	20.09	16.75	14.38	12.60
ค่าเฉลี่ย (วินาที)	33.04	24.82	19.91	16.54	13.96	12.53
SD (วินาที)	0.21	0.35	0.30	0.34	0.38	0.34
คิดเป็น (ก้าว/นาที)	119.86	159.54	198.92	239.39	283.68	316.02
ความแม่นยำ %	-0.12%	-0.28%	-0.54%	-0.25%	1.32%	-1.24%

ตาราง 2

ผลการทดสอบความแม่นยำของการแสดงผลความถี่ก้าว ที่ระยะก้าว 120 ซม.

ผลการทดสอบความแม่นยำของความถี่ก้าวที่กำหนด (ก้าวต่อนาที) ที่ระยะก้าว					**60**	**cm**
ความถี่ก้าวทดสอบ (ก้าว ต่อนาที)	120	160	200	240	280	320
เวลาจากการคำนวณ (วินาที)	16.50	12.38	9.90	8.25	7.07	6.19
การวัดซ้ำ						
1	16.40	12.86	9.45	8.36	7.49	6.67
2	16.93	12.11	9.70	8.26	7.38	6.10
3	16.23	11.94	9.69	8.22	6.79	6.06
4	16.92	12.16	9.54	8.15	6.98	5.97
5	16.93	12.08	9.98	8.58	6.93	6.36
6	16.79	12.67	10.00	8.33	7.34	5.75
ค่าเฉลี่ย (วินาที)	16.70	12.30	9.73	8.32	7.15	6.15
SD (วินาที)	0.31	0.37	0.22	0.15	0.29	0.32
คิดเป็น (ก้าว/นาที)	118.57	160.95	203.58	238.04	276.83	321.85
ความแม่นยำ %	-1.19%	0.60%	1.79%	-0.82%	-1.13%	0.58%

ตาราง 3

ผลการทดสอบความแม่นยำของการแสดงผลระยะก้าวที่การตั้งค่าความถี่ก้าวต่าง ๆ

ผลการทดสอบความแม่นยำของการแสดงผลระยะก้าว					
ระยะก้าวอ้างอิง (ซม.)	30	60	90	120	180
จำนวนก้าว (ก้าว)	133	66	44	33	22
ระยะทางรวม (เมตร)	39.90	39.60	39.60	39.60	39.60
ค่าเฉลี่ยวัดระยะก้าว (ซม.)	30.5	60.5	90.5	120.5	180.0
ค่าความเบี่ยงเบน (ซม.)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
% ความแม่นยำ	1.62%	0.78%	0.50%	0.43%	0.01%

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์กำหนดจังหวะและระยะก้าวโดยมุ่งเน้นที่ความแม่นยำ ในการแสดงผลแสงไฟนำวิ่งให้สอดคล้องกับค่าความถี่ก้าวและระยะก้าวที่กำหนดผ่านโปรแกรมควบคุม จากผลการทดสอบพบว่าชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้ โดยเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับความถี่ก้าวและระยะก้าวถูกกำหนดไว้ไม่เกิน ±5% ผลการทดลองพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นในการทดสอบความถี่ก้าว คือ 1.79% (ที่ 200 ก้าว/นาที ระยะก้าว 120 ซม.) และค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการทดสอบระยะก้าวคือ 1.62% (ที่ระยะก้าว 30 ซม.) ซึ่งค่าทั้งสองนี้ ต่ำกว่าเกณฑ์เป้าหมายที่กำหนดไว้ ทำให้ชุดอุปกรณ์มีความแม่นยำสูงและน่าเชื่อ

ถือ ซึ่งในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การนำเทคโนโลยีไฟวิ่งนำความเร็ว มีผลช่วยส่งเสริมสมรรถภาพของนักกีฬา โดยทำให้นักกีฬาสามารถรักษาความเร็วให้คงที่และแม่นยำได้ง่ายขึ้น ซึ่งช่วยให้เข้าใกล้กลยุทธ์การวิ่งในอุดมคติซึ่งได้แก่ การคุมความเร็วที่สมบูรณ์แบบ (perfect pacing) มากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การทำลายสถิติโลกและสถิติส่วนตัว ได้ในอนาคต (Taylor, Atkinson & Best, 2021)

ข้อจำกัดของการวิจัย

การทดสอบนี้ดำเนินการในสภาวะควบคุมบนพื้นเรียบและเป็นเส้นตรง ซึ่งอาจไม่สะท้อนถึงการใช้งานจริงที่อาจมีพื้นผิวไม่เรียบหรือทาง ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทดสอบภาคสนามเพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในสภาพแวดล้อมการฝึกซ้อมจริง ควรมีการทดสอบความทนทานและความแม่นยำในระยะยาว เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของอุปกรณ์และทำการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อประเมินผลกระทบของการใช้อุปกรณ์นี้ต่อการพัฒนาเทคนิคการวิ่งและประสิทธิภาพของนักกีฬาโดยตรง

สรุปผลงานวิจัย

ผลผลิต (output) ได้จากงานวิจัยนี้ เป็น ต้นแบบ (prototype) ชุดอุปกรณ์กำหนดความถี่ก้าวและระยะก้าวสำหรับการวิ่งโดยใช้แสงไฟและเสียงในการนำวิ่งที่ความถี่การก้าวและระยะตามที่กำหนดโดยซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นบนคอมพิวเตอร์ โดยมีผลลัพธ์ (outcome) เป็นการนำมาใช้ในการศึกษาและวิจัยหาความถี่ก้าว และระยะก้าวที่ได้ค่าการวิ่งประหยัดพลังงาน และความสัมพันธ์ของความถี่ก้าวและระยะก้าวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนักวิ่งแต่ละคน โดยชุดอุปกรณ์ต้นแบบนี้มีความแม่นยำที่คลาดเคลื่อนจากความถี่ก้าว และระยะก้าวที่กำหนด ไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นไปตามความต้องการของการออกแบบ และเป้าหมายของงานวิจัย ชุดอุปกรณ์ต้นแบบกำหนดความถี่ก้าวและระยะก้าวนี้สามารถนำไปต่อยอดในเชิงพานิชย์ได้ หากมีการพัฒนาและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในอนาคต โดยมีความคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัยและการฝึกฝนการวิ่งประหยัดพลังงานในด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมเกียรติ จิระรุ่งเสถียร และศูนย์เทคโนโลยีซ่อมบำรุงรักษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับความร่วมมือและคำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอันเป็นประโยชน์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

Refernces

Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. Sports Medicine - Open, 1(1), 8. https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y

Díaz, J. J., Fernández-Ozcorta, E. J., & Santos-Concejero, J. (2018). The influence of pacing strategy on marathon world records. *European Journal of Sport Science, 18*(6), 781–786. https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1450899

dos Anjos Souza, V. R., Seffrin, A., da Cunha, R. A., Vivan, L., de Lira, C. A. B., Vancini, R. L., Weiss, K., Knechtle, B., & Andrade, M. S. (2023). Running economy in long-distance runners is positively affected by running experience and negatively by aging. *Physiology & Behavior, 258*, 114032. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.114032

Hoogkamer, W., Snyder, K. L., & Arellano, C. J. (2019). Reflecting on Eliud Kipchoge's marathon world record: an update to our model of cooperative drafting and its potential for a Sub-2-Hour performance. *Sports Medicine, 49*(2), 167–170. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01056-2

HoGberg, P. (1952). Length of stride, stride frequency, ?flight? period and maximum distance between the feet during running with different speeds. *European Journal of Applied Physiology, 14*(6), 431–436. https://doi.org/10.1007/bf00934422

Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & De Jonge, X. a. J. (2011). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 26*(6), 1539–1550. https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e318234e8a0

Praditpod, N., & Tantipoon, P. (2017). Effects of age and gender on reference value of kinematic gait parameters among healthy Thai adults aged 20-69 years. *Journal of Medical Technology, 28*(3), 308–315. Retrieved from https://www.tci-thaijo.org/index.php/ams/article/download/76281/61326

Schubert, A. G., Kempf, J., & Heiderscheit, B. C. (2013). Influence of stride frequency and length on running mechanics. *Sports Health a Multidisciplinary Approach, 6*(3), 210–217. https://doi.org/10.1177/1941738113508544

Sha, J., Yi, Q., Jiang, X., Wang, Z., Cao, H., & Jiang, S. (2024). Pacing Strategies in Marathons: A Systematic review. *Heliyon, 10*(17), e36760. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36760

Souza, V. R. D. A., Seffrin, A., Da Cunha, R. A., Vivan, L., De Lira, C. a. B., Vancini, R. L., & Andrade, M. S. (2022). Running economy in long-distance runners is positively affected by running experience and negatively by aging. *Physiology & Behavior, 258*, 114032. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.114032

Stöhr, A., Nikolaidis, P. T., Villiger, E., Sousa, C. V., Scheer, V., Hill, L., & Knechtle, B. (2021). An analysis of participation and performance of 2067 100-km Ultra-Marathons worldwide. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(2), 362. https://doi.org/10.3390/ijerph18020362

Suwankan, S., Suwankan, S., Theanthong, A., & Kemarat, S. (2024). Prediction of 10 km running time by physical and training characteristics in recreational runners. *Journal of Human Sport and Exercise, 19*(1). https://doi.org/10.14198/jhse.2024.191.17

Taylor, J., Atkinson, G., & Best, R. (2021). Paced to perfection: Exploring the potential impact of WaveLight Technology in athletic. *The Sport and Exercise Scientist , 68*, 8-9. Retrieved from https://bit.ly/4oXgbNT

Van Hooren, B., & Meijer, K. (2024). Dataset of running kinematics, kinetics and muscle activation at different speeds, surface gradients, cadences and with forward trunk lean. *Data in Brief, 54*, 110312. https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110312

Watanabe, T., Kondo, S., Kakinoki, K., Fukusaki, C., & Hatta, H. (2023). Stride-to-stride variability and fluctuations at intensities around lactate threshold in distance runners. *Heliyon, 9*(6), e17437. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17437

การพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอัจฉริยะผ่านแชทบอท กรณีศึกษาองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เทศบาลตำบลหวายเหนียว
Development of Smart Repair Request System via Chatbot A Case Study of Local Government Organization at Huai Niao Subdistrict Municipality

พิชยา สุขปลั่ง[1] ประกฤต จันทร์ขำ[1] วรัญญู คุณพินิจ[1] ศุภกฤษ นาคป้อมฉิน[1]* และสุพิชฌาย์ จันทร์เรือง[2]
Pichaya Sookplung[1], Prakit Junkum[1], Waranyu Kunpinij[1],
Supakit Nakpomchin[1]* and Suphitcha Chanrueang[2]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[1]Department of Information Technology, Faculty of Science and Technology,
Rajabhat Nakhon Pathom University
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]Department of Software Engineering, Faculty of Science and Technology,
Rajabhat Nakhon Pathom University
*Corresponding author: supakrid@webmail.npru.ac.th
Received: June 18, 2025
Revised: August 17, 2025
Accepted: August 25, 2025

บทคัดย่อ

การจัดการปัญหาสาธารณูปโภคขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นยังประสบปัญหาความล่าช้าในการรับแจ้งและติดตาม ขาดช่องทางการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ และขาดระบบติดตามที่โปร่งใส แม้มีการใช้แชทบอทในหลายองค์กรแล้ว แต่ยังขาดการศึกษาเชิงลึกการประยุกต์ใช้แชทบอทบนแพลตฟอร์ม LINE สำหรับการจัดการปัญหาสาธารณูปโภคในระดับท้องถิ่น การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาระบบรับแจ้งและติดตามปัญหาสาธารณูปโภคผ่านแชทบอท LINE และ (2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบในด้านความถูกต้อง ความสะดวกในการใช้งาน และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ การดำเนินงานวิจัยใช้แนวทางการวิจัยและพัฒนา (research and development) โดยพัฒนาระบบต้นแบบด้วยเทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชันที่เชื่อมโยงกับ LINE API ทดสอบระบบกับกลุ่มตัวอย่างในเขตเทศบาลตำบลหวายเหนียว จำนวน 135 คน ประกอบด้วยประชาชนผู้ใช้บริการ เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ รวบรวมข้อมูลจากการทดสอบการใช้งานระบบและแบบสอบถามความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างครบถ้วน รองรับการแจ้งซ่อม การระบุตำแหน่งผ่าน GPS และการตอบกลับแบบโต้ตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยรวม 4.50 จาก 5.00) โดยเฉพาะด้านความสะดวกในการใช้งานและความรวดเร็วในการตอบสนอง การวิจัยนี้แสดงให้เห็นศักยภาพของการใช้แชทบอทบน LINE ในการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการสาธารณะ เป็นแนวทางสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริการและสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชนในยุคดิจิทัล

คำสำคัญ: แชทบอท ไลน์แชทบอท ระบบแจ้งซ่อม เทคโนโลยีสารสนเทศภาครัฐ

Abstract

Public infrastructure problem management in local government organizations continues to face challenges, including delays in reporting and tracking, lack of effective communication channels, and absence of transparent monitoring systems. While chatbot technology has been adopted by various organizations, there remains a lack of in-depth studies on implementing LINE chatbots for local-level public infrastructure problem management. This research aims to (1) develop a public infrastructure problem reporting and tracking system via LINE Chatbot for citizens in local government areas, and (2) evaluate system effectiveness in terms of accuracy, usability, and user satisfaction levels. The researchers employed a research and development approach by developing a prototype system integrated with the LINE API. The system was tested with a sample group of 135 participants in Huai Niao Subdistrict Municipality, comprising service users, operational staff, and information technology experts. Data were collected through system usage testing and satisfaction questionnaires, then analyzed using descriptive statistics. Research findings showed that the system effectively met user requirements, supporting repair reporting, GPS location identification, and interactive responses efficiently. User satisfaction evaluation results were at high levels (overall mean: 4.50 out of 5.00), particularly in terms of usability and response speed. This research demonstrates the potential of LINE Chatbots in improving public service quality, providing guidelines for local government organizations to implement technology for enhanced service efficiency and citizen participation in the digital era.

Keywords: chatbot, line chatbot, repair request system, public sector information technology

บทนำ

ระบบการรับเรื่องร้องเรียนถือเป็นกลไกสำคัญของหน่วยงานภาครัฐในการรับฟังความคิดเห็น ปัญหา และความต้องการของประชาชน อันนำไปสู่การแก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างความโปร่งใสในการบริหาร อย่างไรก็ตาม ระบบรับเรื่องร้องเรียนแบบดั้งเดิมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ยังคงมีข้อจำกัดหลายประการ อาทิ การจำกัดช่วงเวลาการให้บริการเฉพาะในวันและเวลาราชการ ความล่าช้าในการประมวลผลจากขั้นตอนที่ซับซ้อน การจัดเก็บข้อมูลด้วยวิธีแมนนวลซึ่งเสี่ยงต่อการสูญหาย และความไม่ชัดเจนในการติดตามผลของผู้ร้องเรียน (Department of Local Administration, 2022; Office of the Ombudsman Thailand, 2022)

ปัจจุบันหรือยุคดิจิทัล หน่วยงานภาครัฐนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาใช้เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรับเรื่องร้องเรียน โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลหลากหลายรูปแบบ เช่น เว็บไซต์ ฟอร์มออนไลน์ แอปพลิเคชัน อีเมล Call Center Voice Bot และแพลตฟอร์มโซเชียลมีเดีย (David et al., 2023; Li et al., 2023) อย่างไรก็ตาม เครื่องมือบางประเภทอาจเข้าถึงได้ยากในบางกลุ่มประชากร และมักมีต้นทุนสูงในการพัฒนาและดูแลระบบอย่างต่อเนื่อง

สำหรับประเทศไทย LINE เป็นแอปพลิเคชันที่มีผู้ใช้งานมากกว่า 70% ของประชากรอินเทอร์เน็ตทั้งหมด (ETDA, 2022) ด้วยความคุ้นเคยของประชาชน การเข้าถึงง่ายโดยไม่ต้องติดตั้งเพิ่ม และความสามารถในการเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลภายในองค์กรอย่างยืดหยุ่น ทำให้ LINE Chatbot เป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการให้บริการภาครัฐในหลายบริบท เช่น การแจ้งเตือน การให้ข้อมูล และการตอบคำถามอัตโนมัติ (Rodsawang et al., 2020)

อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ LINE Chatbot สำหรับ “การรับเรื่องร้องเรียน” โดยเฉพาะในระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ยังมีการศึกษาน้อยมาก ทั้งที่บริบทดังกล่าวมีความจำเป็นสูง เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณและบุคลากร งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบรับแจ้งปัญหาสาธารณูปโภคผ่าน LINE Chatbot ที่สามารถใช้งานได้จริงในหน่วยงานท้องถิ่น โดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งาน ความแม่นยำในการรับข้อมูล และความพึงพอใจของผู้ใช้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบแจ้งและติดตามปัญหาสาธารณูปโภคผ่านแอปพลิเคชันไลน์แชทบอท สำหรับประชาชนในพื้นที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบแชทบอทที่พัฒนาขึ้นในด้านความถูกต้อง ความสะดวกในการใช้งาน และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอัจฉริยะผ่านแชทบอท มีสาระสำคัญที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีและองค์ความรู้ ดังนี้

1. แนวคิดเกี่ยวกับระบบรับเรื่องร้องเรียนในหน่วยงานภาครัฐ ระบบการรับเรื่องร้องเรียนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) เป็นกลไกสำคัญในการส่งเสริมความโปร่งใสและสร้างความเชื่อมั่นให้กับประชาชน (Prachumrasee et al., 2024) ระบบแบบดั้งเดิมยังเผชิญกับข้อจำกัด เช่น การให้บริการเฉพาะวันราชการ ความล่าช้าในการดำเนินงาน ภาระงานเอกสาร การติดตามผลที่ไม่ชัดเจน และการขาดแคลนบุคลากร (Janpinid & Pookongchai, 2022) ข้อจำกัดเหล่านี้ชี้ให้เห็นความจำเป็นในการพัฒนาระบบงานที่ยืดหยุ่น ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย และสามารถติดตามผลได้อย่างโปร่งใสในแบบเรียลไทม์

2. หน่วยงานภาครัฐได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือดิจิทัลหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ เว็บไซต์ แบบฟอร์มออนไลน์ แอปพลิเคชันมือถือ Call Center อีเมล และผ่านทางแพลตฟอร์มโซเชียลมีเดีย (Preechadech & Yongsiriwit, 2024) โดยแต่ละเครื่องมือมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เช่น เว็บไซต์หรือแอปมือถืออาจเข้าถึงยากในประชาชนบางกลุ่มและต้องใช้ทรัพยากรในการพัฒนา ในขณะที่ Call Center มีต้นทุนบุคลากรสูง LINE Chatbot จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม โดยเฉพาะในประเทศไทยที่มีผู้ใช้งาน LINE มากกว่า 56 ล้านคน (LINE Corporation, 2024) ช่วยให้สามารถสื่อสารผ่านแพลตฟอร์มที่คุ้นเคย ไม่ต้องติดตั้งแอปเพิ่ม รองรับการโต้ตอบแบบ Real-time และเชื่อมต่อกับระบบขององค์กรได้สะดวกและปลอดภัย

3. แนวคิดด้านการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) โมเดล TAM (Davis et al., 1989) อธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้ ซึ่งประกอบด้วยสององค์ประกอบหลักคือ “การรับรู้ถึงประโยชน์ในการใช้งาน” (perceived usefulness) และ “การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน” (perceived ease of use) งานวิจัยนี้ออกแบบแชทบอทให้มีความเรียบง่ายเข้าถึงสะดวก และมีคุณสมบัติที่ตอบโจทย์การใช้งานจริง ซึ่งส่งผลให้ผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับสูง สอดคล้องกับองค์ประกอบของ TAM

4. การพัฒนาระบบในงานวิจัยนี้เลือกใช้แนวทาง Agile Scrum Agile Scrum เป็นกรอบการทำงานที่ยืดหยุ่น เน้นการพัฒนาเป็นรอบสั้น ๆ (sprint) และปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้ (Kent Beck et al., 2001) เหมาะสำหรับงานวิจัยนี้ซึ่งมีข้อจำกัดด้านงบประมาณและทรัพยากร ระบบที่พัฒนาจึงสามารถส่งมอบฟังก์ชันได้อย่างต่อเนื่องและปรับปรุงให้ตรงตามความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งานในระดับท้องถิ่น

5. เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้พัฒนา LINE Chatbot ชุดเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการพัฒนา LINE Chatbot เพื่อความเหมาะสมกับระบบที่ต้องการความยืดหยุ่น ต้นทุนต่ำ และสามารถพัฒนาได้ภายใต้ทรัพยากรที่จำกัด เริ่มจาก BOTNOI (BOTNOI, 2023) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มสร้างแชทบอทที่รองรับการเชื่อมต่อกับ LINE Messaging API โดยเฉพาะและออกแบบมาให้ใช้งานง่าย รองรับภาษาไทย (Railway Technical School Bangkok Thailand et al., 2024) และสามารถจัดการบทสนทนาเชิงตรรกะได้โดยไม่ต้อง

เขียนโค้ดลึก เหมาะสำหรับทีมพัฒนาที่ไม่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางด้าน NLP หรือ Machine Learning โดยตรง ส่วน Node-RED ทำหน้าที่เป็นตัวกลางแบบ low-code สำหรับจัดการ flow ของข้อมูลและเชื่อมต่อระบบภายนอก (OpenJS Foundation & Contributors, 2023) เช่น การบันทึกเรื่องร้องเรียนหรือดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล ซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการพัฒนาเร็ว ปรับเปลี่ยนง่าย และลดความซับซ้อนในการเขียน API (Weber, 2024) ด้านการจัดเก็บข้อมูล ระบบเลือกใช้ MySQL ซึ่งเป็นฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่เหมาะสำหรับข้อมูลประเภทฟอร์มหรือการแจ้งปัญหาที่มีโครงสร้างตายตัว (Oracle, 2023) และสามารถเชื่อมต่อกับ Node-RED ได้โดยตรง ขณะที่ฝั่งเจ้าหน้าที่ใช้ Vue.js ในการพัฒนาแดชบอร์ดเพราะมีโครงสร้าง component-based ช่วยให้สร้างอินเทอร์เฟซที่ตอบสนองเร็วและปรับแต่งได้ง่าย โดยไม่ต้องพึ่งเฟรมเวิร์กขนาดใหญ่หรือซับซ้อน ทั้งหมดนี้จึงเป็นเทคนิคที่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนา LINE Chatbot ที่เน้นความเร็วในการสร้างต้นแบบ ความง่ายในการบำรุงรักษา และการเชื่อมโยงกับระบบเดิมของหน่วยงานภาครัฐหรือท้องถิ่น

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการให้บริการสาธารณะ โดยเฉพาะระบบรับเรื่องร้องเรียนและแจ้งซ่อมผ่านแชทบอท (Chatbot) และแพลตฟอร์มต่าง ๆ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหน่วยงานภาครัฐและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยสามารถสรุปสาระสำคัญของงานที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

พัฒนาระบบบริหารจัดการงานหมู่บ้านผ่าน LINE API โดยใช้แชทบอทในการรับเรื่องร้องเรียน แจ้งเหตุ และส่งข้อมูลให้เจ้าหน้าที่แบบเรียลไทม์ ผลการศึกษาพบว่าระบบดังกล่าวช่วยให้การสื่อสารภายในชุมชนสะดวกรวดเร็วขึ้น ลดความซ้ำซ้อนในการดำเนินงาน และเพิ่มความโปร่งใสในการดำเนินงานภาครัฐระดับพื้นที่ได้ (Mitsophonsiri et al., 2020)

MitraBot ซึ่งเป็นแชทบอทอัจฉริยะสำหรับให้คำปรึกษาเกี่ยวกับสิทธิประโยชน์จากโครงการภาครัฐ โดยระบบนี้ใช้โมเดลภาษาขนาดใหญ่ (LLMs) เช่น LLaMA 3.2 ร่วมกับเทคนิค Web Scraping เพื่อดึงข้อมูลแบบเรียลไทม์ รองรับการใช้งานหลายภาษา และสามารถเข้าถึงได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์หรือสมาร์ตโฟนอย่างสะดวก (Math, 2025)

แชทบอทสำหรับให้บริการข้อมูลด้านกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา โดยใช้ Dialogflow เชื่อมต่อกับ LINE Application ระบบสามารถตอบคำถามที่พบบ่อยได้แบบอัตโนมัติ ช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ และทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ตลอด 24 ชั่วโมง (Chueasathapanasiri et al., 2024)

ระบบแชทบอทสำหรับระบบสหกิจศึกษา โดยนำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกคำถามของนักศึกษา (Tanasirathum et al., 2024) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบคำถามที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำสูงในการให้ข้อมูลเชิงลึก

การพัฒนาแชทบอท “น้องสไบ” สำหรับตอบคำถามเกี่ยวกับการใช้งานห้องสมุดของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา (Ruttanapan & Saiyaitong, 2023) โดยระบบได้รวบรวมคำถามที่พบบ่อยและสามารถตอบกลับแบบอัตโนมัติโดยผ่าน Google Sheet ร่วมกับการทำงานของ Dialogflow

การพัฒนาแชทบอทรู้จำภาพอาหารไทยโดยใช้เทคโนโลยี Computer Vision อย่าง YOLOv5 และ Faster RCNN เพื่อคำนวณคุณค่าทางโภชนาการผ่าน LINE Chatbot ผู้ใช้งานสามารถถ่ายภาพอาหารเพื่อรับข้อมูลด้านสุขภาพได้อย่างสะดวก ระบบนี้มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทเชิงสาธารณสุขหรือโรงพยาบาล (Tangchoopong et al., 2022)

การพัฒนาแชทบอทเพื่อสนับสนุนการประเมินพัฒนาการของเด็กกลุ่มเสี่ยง โดยใช้โมเดล Machine Learning

ได้แก่ Random Forest และ GLM ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์และแจ้งเตือนเมื่อพบความเสี่ยงในการพัฒนา ระบบช่วยให้ผู้ปกครองสามารถติดตามและเฝ้าระวังพัฒนาการของบุตรหลานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Changruenngam et al., 2024)

งานวิจัยการพัฒนาแชทบอทด้านการท่องเที่ยวสำหรับผู้สูงอายุ โดยให้ความสำคัญกับการออกแบบประสบการณ์ผู้ใช้ (UX/UI) ที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย เช่น การใช้ตัวอักษรขนาดใหญ่ การออกแบบคำสั่งที่เรียบง่าย และการสื่อสารด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย ระบบได้รับการทดสอบในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและแสดงให้เห็นว่ากลุ่มเป้าหมายสามารถใช้งานได้จริง (Chaiyawong et al., 2025)

แชทบอท “น้องลำดวน” เพื่อให้บริการข้อมูลแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดศรีสะเกษ โดยใช้ LINE API ผสานกับ Django Framework และมีระบบจัดการหลังบ้านที่ช่วยให้สามารถอัปเดตข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและทันสมัย (Sookkhee & Chatree, 2024)

แชทบอทเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวชุมชนช่างศิลป์จังหวัดนครปฐม โดยเน้นการสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว งานศิลปหัตถกรรมพื้นบ้าน และกิจกรรมของชุมชน ระบบมีการเชื่อมโยงกับ QR Code เพื่อเข้าถึงข้อมูล และใช้ Google Sheet ในการจัดเก็บเนื้อหาเบื้องต้น (Thammasiri et al., 2025) ช่วยให้ผู้ใช้งานได้รับประสบการณ์เชิงวัฒนธรรมอย่างราบรื่นผ่านแชทบอท

ทุกตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าว ได้แสดงให้เห็นถึงการใช้เทคโนโลยีแชทบอทในมิติต่าง ๆ ที่หลากหลายและตอบโจทย์เฉพาะกลุ่ม แต่ยังมีข้อจำกัดในหลายด้าน โดยเฉพาะการบูรณาการเทคโนโลยีหลายประเภทเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ รวมถึงการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์และระบบการเรียนรู้แบบปรับตัว (adaptive learning) ที่ยังไม่สมบูรณ์ในหลายงาน นอกจากนี้ ยังขาดระบบการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก (deep analytics) ที่สามารถช่วยให้แชทบอทพัฒนาและตอบสนองแบบเชิงรุก (proactive) ได้มากขึ้น

ช่องว่างของงานวิจัย (research gap) จึงอยู่ที่ การขาดการผสานระบบแชทบอทที่มีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (machine learning) ร่วมกับการประมวลผลภาษาธรรมชาติขั้นสูง (NLP/NLU) และระบบฐานข้อมูลแบบ Cloud Real-Time เพื่อรองรับการใช้งานในระดับองค์กรหรือชุมชนที่มีข้อมูลหลากหลาย โดยเฉพาะในงานบริการภาครัฐที่ต้องการความน่าเชื่อถือ ปลอดภัย และสามารถปรับตัวได้ตามบริบทของผู้ใช้ที่หลากหลาย นอกจากนี้ ยังพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเสนอระบบแชทบอทที่สามารถผสานข้อมูลจากหลายแหล่งข้อมูลแบบอัตโนมัติ ทั้งภายในและภายนอกระบบ ในระดับที่สามารถสังเคราะห์คำตอบใหม่ได้อย่างชาญฉลาด

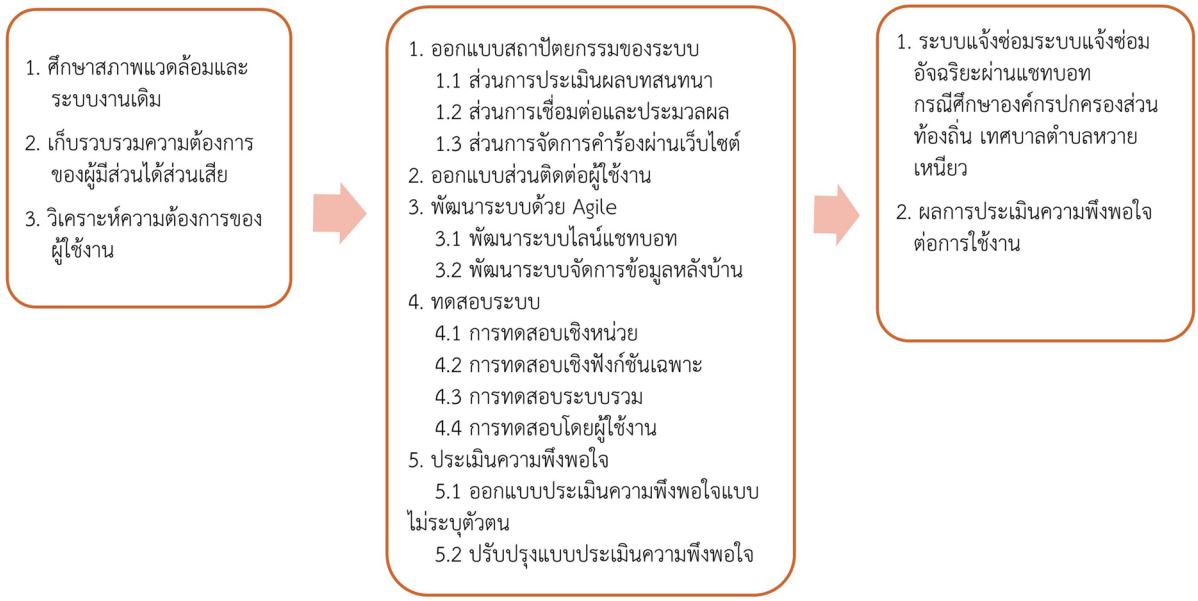
สมมติฐานงานวิจัย

1. การพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอัจฉริยะผ่านแชทบอท กรณีศึกษาองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เทศบาลตำบลหวายเหนียว มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก

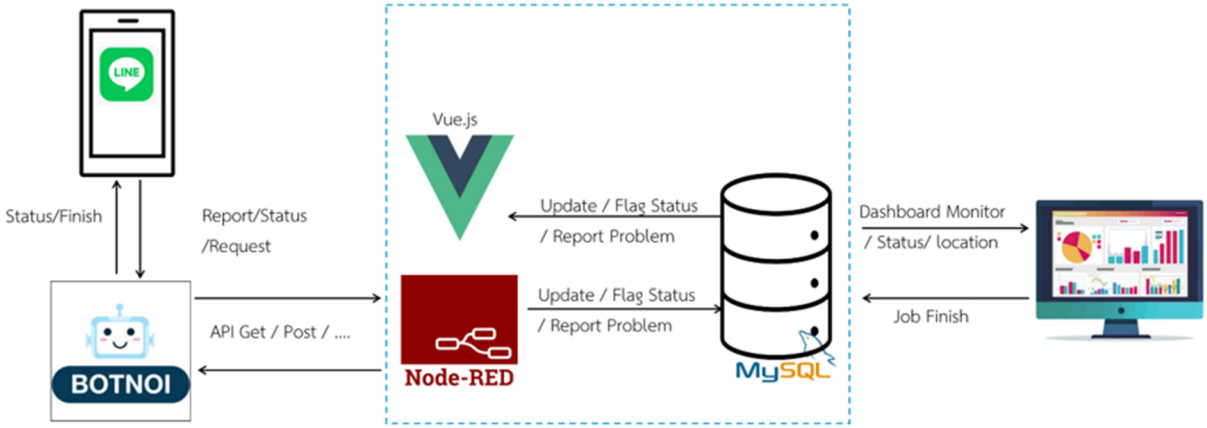
2. ความพึงพอใจต่อการใช้งาน ระบบแจ้งซ่อมอัจฉริยะผ่านแชทบอท กรณีศึกษาองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เทศบาลตำบลหวายเหนียว มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการพัฒนาระบบ ได้มีการใช้เครื่องมือทางเทคนิคหลายประเภทร่วมกัน ได้แก่ LINE Developer Platform และ LINE Official Account สำหรับสร้างและเชื่อมต่อกับ LINE Chatbot Node.js และ Node-RED สำหรับพัฒนาและจัดการระบบฝั่งเซิร์ฟเวอร์ และ Vue.js Framework สำหรับพัฒนาเว็บไซต์สำหรับเจ้าหน้าที่กองช่าง MySQL สำหรับเป็นฐานข้อมูลกลางของระบบ และ Visual Studio Code เป็นเครื่องมือหลักในการเขียนและจัดการโค้ดโปรแกรม เครื่องมือและองค์ประกอบทางเทคนิคเหล่านี้ถูกรวมอยู่ในภาพ 2 ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมของระบบโดยรวม



ภาพ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพ 2 ภาพแสดงสถาปัตยกรรมระบบ

เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่

1. เครื่องมือทางเทคนิคที่ใช้ในการพัฒนาระบบประกอบด้วย LINE Developer Platform และ LINE Official Account สำหรับการสร้างและเชื่อมต่อกับ LINE Chatbot Node.js และ Node-RED สำหรับการพัฒนาและจัดการระบบฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ใช้ Vue.js Framework สำหรับพัฒนาเว็บไซต์ระบบจัดการของกองช่าง MySQL สำหรับเป็นฐานข้อมูลกลางของระบบ และ Visual Studio Code สำหรับเป็นเครื่องมือในการเขียนและจัดการโค้ดโปรแกรมทั้งหมด

2. แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งสร้างขึ้นตามแนวทางการประเมินระบบสารสนเทศในด้านประสิทธิภาพ การออกแบบ และเนื้อหาโดยผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน และมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha)

เท่ากับ 0.87 และ (2) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างที่ออกแบบขึ้นเพื่อรวบรวมความคิดเห็นเชิงลึกจากเจ้าหน้าที่กองช่าง โดยอิงจากประเด็นการใช้งานจริงของระบบ และผ่านการตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อความเหมาะสมของคำถาม

กลุ่มเป้าหมาย การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. เจ้าหน้าที่กองช่างเทศบาลตำบลหวายเหนียว จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นผู้มีบทบาทในการใช้งานระบบจัดการหลังบ้านและให้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะปัญหาสาธารณูปโภคในพื้นที่

2. ประชาชนในเขตเทศบาลตำบลหวายเหนียว จำนวน 127 คน ซึ่งเป็นผู้ใช้งานระบบแจ้งซ่อมผ่าน LINE Chatbot โดยกลุ่มนี้ได้จากการสุ่มแบบมีหลักเกณฑ์ (purposive sampling) โดยพิจารณาจากผู้ที่เคยแจ้งซ่อมผ่านช่องทางดั้งเดิม เช่น การโทรศัพท์หรือการติดต่อด้วยตนเองที่สำนักงานเทศบาล ภายในระยะเวลา 12 เดือนที่ผ่านมา ทั้งนี้ เทศบาลตำบลหวายเหนียวมีประชากรรวมประมาณ 6,010 คน จำนวน 414 หลังคาเรือน ซึ่งขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 127 คน ถือว่าเพียงพอต่อการวิจัยภายใต้ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าความคลาดเคลื่อน ±5% โดยอ้างอิงจากตารางของ Krejcie and Morgan (1970)

3. ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 3 คน เพื่อประเมินความถูกต้อง ความเหมาะสม และศักยภาพของระบบ ทั้งในด้านเทคนิคและประสบการณ์ของผู้ใช้งาน โดยใช้เกณฑ์ ได้แก่ มีประสบการณ์ในการพัฒนาระบบสารสนเทศหรือแชทบอทในภาครัฐหรือการบริการประชาชนไม่น้อยกว่า 5 ปี ปฏิบัติงานในตำแหน่งที่เกี่ยวข้อง เช่น อาจารย์ นักวิจัย หรือผู้เชี่ยวชาญในหน่วยงานภาครัฐหรือเอกชน และมีความเชี่ยวชาญในเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบที่พัฒนาขึ้น

กลุ่มเป้าหมายทั้งหมดมีบทบาทในการให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่พบจริงในพื้นที่ การทดสอบระบบต้นแบบ และการประเมินประสิทธิภาพของระบบหลังการใช้งานจริง

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อสรุประดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อระบบแชทบอทในด้านประสิทธิภาพการทำงาน การออกแบบ และเนื้อหาข้อมูล โดยใช้แบบสอบถามมาตรา ลิเคิร์ท 5 ระดับ (Rensis Likert, 1932) ซึ่งกำหนดคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 โดยแต่ละระดับมีความหมายดังนี้ 5 เท่ากับมากที่สุด 4 เท่ากับมาก 3 เท่ากับปานกลาง 2 เท่ากับน้อย และ 1 เท่ากับน้อยที่สุด ทั้งนี้ กำหนดเกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ยไว้ดังนี้

4.51–5.00 หมายถึง มากที่สุด

3.51–4.50 หมายถึง มาก

2.51–3.50 หมายถึง ปานกลาง

1.51–2.50 หมายถึง น้อย

1.00–1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

วิธีดำเนินการออกแบบและการพัฒนาระบบ

เพื่อให้ระบบสามารถปรับตัวต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างยืดหยุ่นและรวดเร็ว งานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดแบบวนรอบ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการพัฒนาระบบแบบ SDLC โดยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาสภาพแวดล้อมและระบบงานเดิม กระบวนการให้บริการรับเรื่องร้องเรียนที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ศึกษา คือ เทศบาลตำบลหวายเหนียว โดยมุ่งเน้นการรวบรวมข้อมูลจากการสังเกต กระบวนการปฏิบัติงานจริงของเจ้าหน้าที่ และการสัมภาษณ์เชิงลึก เพื่อวิเคราะห์ข้อจำกัดและปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ จากการศึกษาพบข้อจำกัดสำคัญหลายประการ ได้แก่ (1) ความล่าช้าในการรับเรื่องและส่งต่อข้อมูลระหว่างประชาชนกับเจ้าหน้าที่ (2) การไม่มีระบบติดตามสถานะของคำร้อง ทำให้ประชาชนไม่สามารถทราบความคืบหน้าของการดำเนินการได้ และ (3) การเกิดข้อมูลซ้ำซ้อนในกรณีที่มีการแจ้งปัญหาเดียวกันจากหลายคนในพื้นที่ใกล้เคียง ส่งผลให้เกิด

ความซ้ำซ้อนในการจัดสรรทรัพยากรและการดำเนินการของหน่วยงาน เพื่อตอบโจทย์ข้อจำกัดดังกล่าว ทีมวิจัยจึงได้กำหนดแนวทางการพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีแชทบอทผ่านแอปพลิเคชัน LINE ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่ประชาชนในพื้นที่มีความคุ้นเคยและสามารถเข้าถึงได้ง่าย โดยแชทบอทจะทำหน้าที่เป็นช่องทางกลางในการรับเรื่องร้องเรียน พร้อมฟังก์ชันระบุตำแหน่งและจัดเก็บข้อมูลเบื้องต้นอย่างเป็นระบบ

ระบบแชทบอทนี้จะเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์ม Node-RED ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการรับ–ส่งข้อมูลและประมวลผลคำร้องต่าง ๆ โดยมีการจัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล MySQL เพื่อให้สามารถเรียกดู ตรวจสอบ และประมวลผลข้อมูลย้อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้แนวทางดังกล่าวมุ่งหวังให้ระบบสามารถลดความซ้ำซ้อนในการรับข้อมูล เพิ่มความรวดเร็วในการตอบสนองต่อปัญหา และสนับสนุนการบริหารจัดการภาครัฐในระดับท้องถิ่นให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน หลังจากการวางแผนและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ได้มีการดำเนินการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อให้ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบโจทย์การใช้งานจริงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกลุ่มผู้ใช้งานหลักในระบบนี้แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ ประชาชนผู้แจ้งเรื่องร้องเรียน และเจ้าหน้าที่กองช่างผู้รับผิดชอบในการดำเนินการซ่อมแซม

กลุ่มที่ 1 ประชาชนผู้แจ้งเรื่องร้องเรียน

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกและการเก็บรวบรวมความต้องการจากประชาชนในพื้นที่ พบว่าผู้ใช้งานต้องการระบบที่ใช้งานง่าย สะดวก และไม่ซับซ้อน ผ่านแพลตฟอร์มที่มีความคุ้นเคย โดยเฉพาะแอปพลิเคชัน LINE ซึ่งเป็นช่องทางที่ประชาชนส่วนใหญ่ใช้เป็นประจำอยู่แล้ว ผู้ใช้งานต้องการฟังก์ชันที่มีความสามารถดังนี้

1) แจ้งปัญหาได้ด้วยการกรอกข้อมูลผ่านข้อความ

2) ส่งตำแหน่งที่เกิดเหตุด้วยการแชร์พิกัดจากสมาร์ตโฟน

3) แนบภาพถ่ายประกอบเหตุการณ์

4) ติดตามสถานะการดำเนินการของคำร้องแบบเรียลไทม์

ผู้ใช้งานยังต้องการให้ระบบมีการแสดงข้อมูลสรุปก่อนส่งคำร้อง เพื่อให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องและยืนยันข้อมูลได้ก่อนเข้าสู่กระบวนการจัดเก็บ

กลุ่มที่ 2 เจ้าหน้าที่กองช่าง

ด้านเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบ พบว่า ความต้องการหลักมุ่งเน้นไปที่การบริหารจัดการคำร้องได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

ต้องการระบบที่สามารถแสดงรายการคำร้องที่ได้รับจากประชาชนแบบเรียลไทม์

เข้าถึงรายละเอียดของแต่ละคำร้องได้อย่างครบถ้วน เช่น ชื่อผู้แจ้ง เบอร์โทรศัพท์ ตำแหน่ง และภาพประกอบ

ตรวจสอบคำร้องที่ซ้ำซ้อน โดยใช้เงื่อนไขจากชื่อผู้แจ้ง ตำแหน่งพิกัด และระยะเวลา กล่าวคือ หากมีการแจ้งปัญหาจากตำแหน่งใกล้เคียงกัน (ภายในรัศมี 100 เมตร) และเกิดขึ้นภายในช่วงเวลา 30 นาที ระบบจะต้องสามารถแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่เพื่อหลีกเลี่ยงการดำเนินการซ้ำ

บันทึกและเปลี่ยนสถานะของคำร้อง ดังนี้ รับเรื่องแล้ว อยู่ระหว่างดำเนินการ หรือ ดำเนินการเสร็จสิ้น การวิเคราะห์ความต้องการในขั้นตอนนี้เป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างระบบ ฟังก์ชันการทำงาน และส่วนติดต่อผู้ใช้

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ สถาปัตยกรรมระบบแสดงในภาพที่ 2 โดยระบบแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบหลัก ดังนี้

1) ส่วนของการประมวลผลบทสนทนา (dialogue management) เป็นการออกแบบโครงสร้างการสนทนาและจุดประสงค์การใช้งาน (intent) ผ่านแพลตฟอร์ม Botnoi เพื่อให้ระบบสามารถเข้าใจความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง โดยกำหนดกลุ่ม Intent ให้ครอบคลุมการแจ้งซ่อมที่พบบ่อยในระดับท้องถิ่น เช่น ไฟฟ้า ประปา

ถนน และปัญหาอื่น ๆ รวมถึง Intent สำหรับติดตามสถานะการดำเนินงาน แต่ Intent จะเชื่อมโยงกับ Entity และ Slot ที่จำเป็นต้องได้รับจากผู้ใช้งาน เช่น ประเภทปัญหา สถานที่ รายละเอียด ชื่อ เบอร์โทรศัพท์ และตำแหน่งพิกัด (GPS) โดยระบบจะนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ประมวลผลและตอบกลับโดยอัตโนมัติ รายละเอียดของโครงสร้าง Intent ที่เกี่ยวข้องแสดงไว้ในตาราง 1

2) ส่วนของการเชื่อมต่อและประมวลผลข้อมูล พัฒนา API บนแพลตฟอร์ม Node-RED เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างระบบแชทบอทแพลตฟอร์ม Botnoi และฐานข้อมูล MySQL

3) ส่วนจัดการคำร้องผ่านเว็บไซต์ พัฒนาเว็บไซต์ด้วย Vue.js สำหรับเจ้าหน้าที่กองช่างใช้ในการตรวจสอบและจัดการข้อมูลเรื่องร้องเรียน โดยมีฟังก์ชันสำคัญ เช่น การตอบกลับผู้แจ้ง และการป้องกันการบันทึกคำร้องซ้ำซ้อน ซึ่งระบบจะประเมินจากพิกัดทางภูมิศาสตร์และช่วงเวลาการแจ้ง โดยใช้สมการ Haversine ซึ่งเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณระยะทางระหว่างสองจุดบนพื้นผิวทรงกลม โดยอาศัยพิกัดละติจูดและลองจิจูดของจุดทั้งสอง ซึ่งให้ผลลัพธ์แม่นยำเพียงพอสำหรับใช้งานในระบบ GIS

$$d = 2r \cdot \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\right) \quad (1)$$

คำอธิบายสัญลักษณ์

d = ระยะทางระหว่างสองจุดบนพื้นผิวโลก

r = รัศมีของโลก (≈ 6,371 กิโลเมตร)

φ_1, φ_2 = ละติจูดของจุดที่ 1 และ 2 (radian)

λ_1, λ_2 = ลองจิจูดของจุดที่ 1 และ 2 (radian)

$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$

เพื่อคำนวณระยะห่างระหว่างพิกัดของคำร้องใหม่กับคำร้องเดิมในฐานข้อมูล หากตรวจพบว่า คำร้องใหม่อยู่ในรัศมีไม่เกิน 100 เมตร เวลาห่างจากคำร้องเดิมไม่เกิน 30 นาที ชื่อผู้แจ้งตรงกัน ระบบจะไม่บันทึกคำร้องซ้ำโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดข้อมูลซ้ำซ้อน โดยกระบวนการกรองแสดงในภาพ 3

ขั้นตอนที่ 4 การพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

1) ระบบแชทบอทถูกพัฒนาบนแพลตฟอร์ม LINE เพื่อให้ประชาชนสามารถแจ้งปัญหาได้สะดวก รองรับการส่งพิกัด GPS ภาพถ่าย และข้อมูลติดต่อ พร้อมฟังก์ชันตรวจสอบซ้ำโดยอ้างอิงจากพิกัดในรัศมี 100 เมตร และระยะเวลาไม่เกิน 30 นาที เพื่อป้องกันการแจ้งปัญหาซ้ำซ้อน

2) ระบบจัดการข้อมูลหลังบ้านพัฒนาด้วย Vue.js เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL ผ่าน Node-RED เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบ สถานะ และดำเนินการตอบกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทำงานของระบบแชทบอทในการวิจัยนี้ ระบบแชทบอทเริ่มทำงานเมื่อผู้ใช้งานส่งข้อความแจ้งปัญหาผ่านแอปพลิเคชัน LINE ข้อความดังกล่าวจะถูกส่งเข้าสู่โมดูลวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ (Intent Engine) ซึ่งมีหน้าที่ประมวลผลข้อความโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) บนแพลตฟอร์ม BOTNOI

ระบบจะทำการวิเคราะห์ข้อความเพื่อระบุ Intent และ Entity โดยข้อมูลที่ได้จะถูกจัดเก็บไว้ใน Slot ซึ่งเป็นโครงสร้างข้อมูลที่ระบบต้องรวบรวมให้ครบก่อนดำเนินการต่อหากข้อมูลใน Slot ยังไม่ครบถ้วน ระบบจะโต้ตอบกลับไปยังผู้ใช้งานเพื่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม โดยการสนทนาแบบโต้ตอบนี้จะดำเนินไปจนกระทั่งได้รับข้อมูลครบถ้วนตามที่ระบบกำหนด จากนั้นระบบจะบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล ส่งข้อความยืนยันการแจ้งปัญหากลับไปยังผู้ใช้งาน ขั้นตอนทั้งหมดของกระบวนการนี้สรุปและแสดงไว้ในภาพ 4 เพื่อให้เห็นภาพรวมการทำงานของระบบอย่างชัดเจน

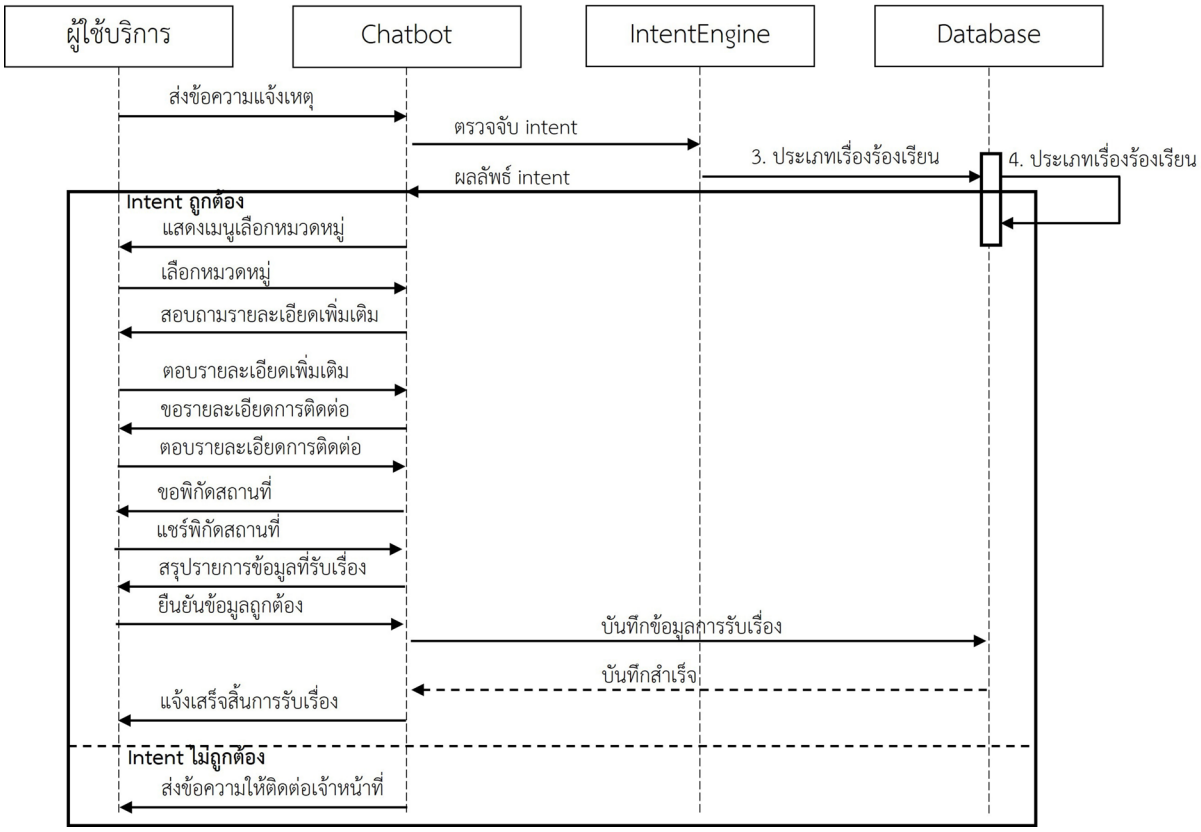
ตาราง 1

แนวทางออกแบบ Intent พร้อม Entity และ Slot สำหรับแชทบอทแจ้งซ่อม

Intent	คำอธิบาย	Entity ที่เกี่ยวข้อง	Slot ที่ต้องเก็บข้อมูล
แจ้งซ่อมไฟฟ้า	ใช้เมื่อผู้ใช้ต้องการแจ้ง ปัญหาไฟฟ้าสาธารณะ	ประเภทปัญหา (ไฟฟ้า) สถานที่ รายละเอียด	cat_report, address, report, name, phone, location
แจ้งซ่อมประปา	แจ้งปัญหาเกี่ยวกับน้ำไม่ไหล ท่อน้ำรั่ว น้ำขุ่น ฯลฯ	ประเภทปัญหา (ประปา) สถานที่ รายละเอียด	cat_report, address, report, name, phone, location
แจ้งซ่อมโยธา	แจ้งปัญหาถนนพัง ฟุตบาทแตก คูระบายน้ำ ฯลฯ	ประเภทปัญหาโยธา สถานที่ รายละเอียด	cat_report, address, report, name, phone, location
แจ้งซ่อมอื่น ๆ	ปัญหาอื่น ๆ เช่น กลิ่น เสียง สุนัขฯ	ประเภทปัญหาอื่น ๆ รายละเอียดเพิ่มเติม	cat_report, address, report, name, phone, location
ติดตามสถานะการแจ้งซ่อม	ผู้ใช้สอบถามว่าสถานะเรื่องของตนได้รับการดำเนินการหรือไม่	tracking ID/ ชื่อ/ เบอร์โทร	Name หรือ phone
ยืนยันการแจ้ง	ผู้ใช้ยืนยันข้อมูลที่ป้อนทั้งหมด	-	-
ส่งตำแหน่ง GPS	ระบบขอพิกัดจากผู้ใช้เพื่อระบุตำแหน่งที่เกิดปัญหา	พิกัด GPS (lat/lon)	lat , lon



ภาพ 3 กระบวนการตรวจสอบคำร้องซ้ำซ้อน



ภาพ 4 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบแชทบอทแจ้งซ่อม ตั้งแต่การรับข้อมูลจากผู้ใช้ ไปจนถึงการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลกลาง

ขั้นตอนที่ 5 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน เพื่อให้ระบบสามารถตอบสนองต่อประสบการณ์ของผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม ทีมพัฒนาได้ใช้เครื่องมือ Figma ในการออกแบบต้นแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ทั้งในส่วนของประชาชนและเจ้าหน้าที่ โดยจัดทำเป็น Mockup และ Interactive Prototype เพื่อทดสอบความเข้าใจและความสะดวกในการใช้งานก่อนเข้าสู่กระบวนการพัฒนา

1) ส่วนการใช้งานของประชาชน (หน้าบ้าน) การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับประชาชนดำเนินการผ่าน 2 ฟีเจอร์ คือ Rich Menu และ Flex Message โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ เมนูสำหรับแจ้งปัญหา เมนูติดตามสถานะการดำเนินงาน เมนูส่งพิกัดตำแหน่งเกิดเหตุ แต่ละเมนูถูกออกแบบให้มีขั้นตอนการใช้งานที่ชัดเจนและเข้าใจง่าย พร้อมทั้งมีหน้าสรุปข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้งานตรวจสอบความถูกต้องก่อนยืนยันการส่งข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นในภาพ 5(a) ถึง 5(d) โดยภาพ 5(a) แสดงหน้าจอแนะนำการใช้งาน พร้อมเมนูหลัก ภาพ 5(b) แสดงเมนูเลือกหมวดหมู่ปัญหา เช่น ไฟฟ้าขัดข้อง น้ำประปา ขยะมูลฝอย ฯลฯ ภาพ 5(c) สำหรับการกรอกข้อมูลผู้แจ้ง เช่น ชื่อ เบอร์โทร รายละเอียด และพิกัด และ ภาพ 5(d) หน้าสรุปข้อมูลก่อนยืนยันหรือย้อนกลับไปแก้ไข

2) ส่วนของเจ้าหน้าที่ (ระบบหลังบ้าน) ระบบสำหรับเจ้าหน้าที่ได้รับการออกแบบให้สามารถจัดการงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยประกอบด้วย ฟังก์ชันจัดการบัญชีผู้ใช้งาน แดชบอร์ดแสดงรายการแจ้งซ่อม และหน้าจอตอบกลับประชาชนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ข้อมูลการตอบกลับจะถูกจัดเก็บในระบบพร้อมสถานะของงานที่สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ โดยรายละเอียดการใช้งานจะแสดงอยู่ในภาพ 6

ทีมพัฒนาได้ใช้เครื่องมือ Figma ในการออกแบบต้นแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานทั้งในส่วนของประชาชน และส่วนของเจ้าหน้าที่ โดยจัดทำเป็น Mockup และ Interactive Prototype เพื่อทดสอบการใช้งานจริงก่อนลงมือพัฒนา

ส่วนของผู้ใช้งาน LINE ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานด้วย Rich Menu และ Flex Message ประกอบด้วยเมนูการแจ้งปัญหา การติดตามสถานะ และการส่งข้อมูลพิกัดผ่าน Flex Menu หลายขั้นตอน รวมถึงการแสดงข้อมูล



ภาพ 5 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (ประชาชน) ผ่าน LINE Rich Menu และ Flex Message

ภาพ 6 และภาพ 7 แสดงการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้สำหรับเจ้าหน้าที่ในการจัดการข้อร้องเรียนผ่านหน้าจอ Village Service – Manage โดยภาพ 7 แสดงรายการข้อร้องเรียนทั้งหมดในรูปแบบตาราง พร้อมข้อมูลสำคัญ เช่น หมวดหมู่ สถานะ ชื่อผู้แจ้ง พิกัด และเวลาที่แจ้งเรื่อง พร้อมปุ่มสำหรับเข้าจัดการรายงานแต่ละรายการ ส่วนภาพ 6 เป็นหน้าจอสำหรับตอบกลับข้อร้องเรียนรายบุคคล โดยแสดงรายละเอียดของเรื่องที่แจ้ง และมีช่องให้พิมพ์ข้อความตอบกลับ รวมถึงปุ่มยืนยันหรือยกเลิกการดำเนินการ ช่วยให้การจัดการเรื่องร้องเรียนเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

ขั้นตอนที่ 6 ระบบได้รับการทดสอบอย่างเป็นระบบใน 4 ระดับ ได้แก่

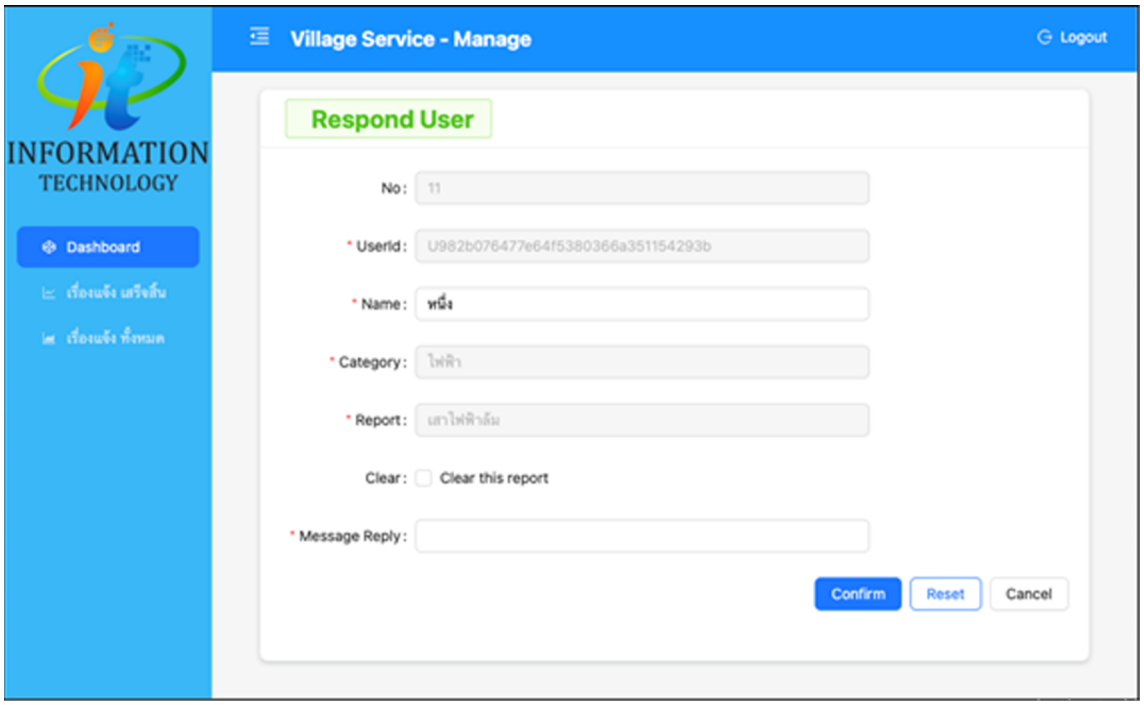
1) การทดสอบเชิงหน่วย (unit testing) ทดสอบการเชื่อมต่อของแต่ละองค์ประกอบ ได้แก่ Botnoi LINE API และ MySQL เพื่อให้มั่นใจว่าทำงานได้อย่างถูกต้อง

2) การทดสอบฟังก์ชันเฉพาะ ทดสอบระบบตรวจสอบซ้ำ โดยตรวจสอบการบันทึกข้อมูลผู้ใช้รายเดิมภายในระยะเวลาและรัศมีที่กำหนด

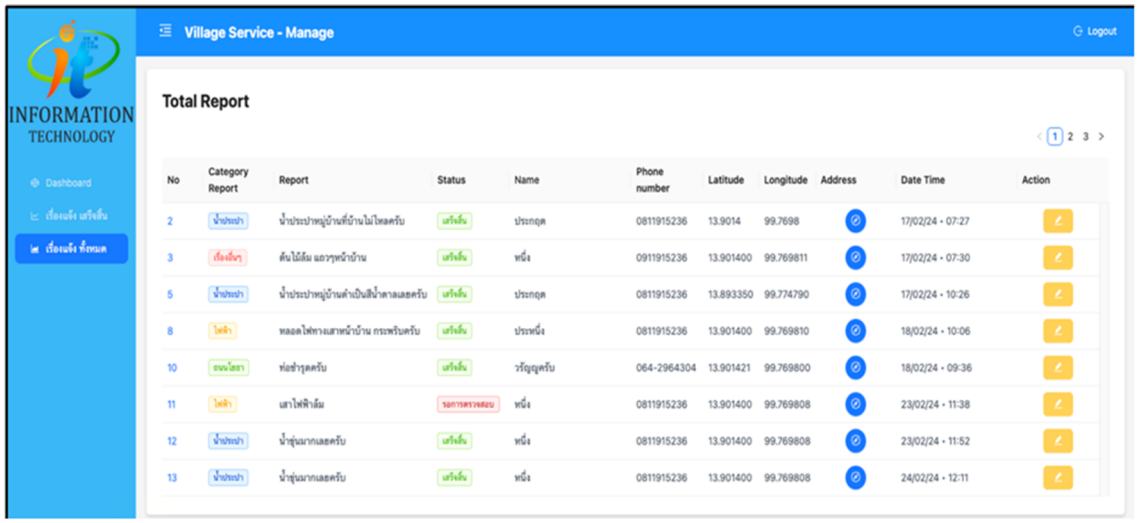
3) การทดสอบระบบโดยรวมทั้งหมด (system integration testing) เป็นการทดสอบการทำงานของระบบแบบครบวงจร ตั้งแต่การสนทนาผ่าน LINE Bot จนถึงการแสดงผลและตอบกลับผ่านระบบหลังบ้าน

4) การทดสอบผู้ใช้งานจริง (usability testing) มีการเผยแพร่ข่าวสารของระบบให้ประชาชนและเจ้าหน้าที่ใช้จริง พร้อมรวบรวมความคิดเห็นเพิ่มเติมและประเมินผลด้านประสิทธิภาพ การออกแบบ และความครบถ้วนของเนื้อหา

การดำเนินการทดสอบในแต่ละระดับช่วยให้มั่นใจว่า ระบบมีความเสถียร ใช้งานง่าย และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างครอบคลุม



ภาพ 6 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้สำหรับการจัดการข้อร้องเรียน



ภาพ 7 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้สำหรับการจัดการข้อร้องเรียน

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนำเสนอโดยอิงตามวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ได้แก่ (1) การออกแบบและพัฒนาระบบแชทบอทแจ้งปัญหาสาธารณูปโภคผ่านแอปพลิเคชัน LINE และ (2) การประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นในด้านความถูกต้อง ความสะดวกในการใช้งาน และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

จากการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจำนวน 50 คน ด้วยแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่าแบบลิเคิร์ท 5 ระดับ พบว่า ภาพรวมของความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย=4.26 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=0.58) โดยด้านการออกแบบได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุด (ค่าเฉลี่ย=4.32) รองลงมาคือ ด้านเนื้อหาของระบบ (ค่าเฉลี่ย=4.29) และด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (ค่าเฉลี่ย=4.18) เมื่อ

วิเคราะห์ข้อมูลแบบเปิดพบว่า ผู้ใช้งานสะท้อนว่าสามารถแจ้งปัญหาได้สะดวก โดยไม่ต้องติดต่อเจ้าหน้าที่โดยตรง และสามารถยกเลิกหรือสอบถามสถานะงานได้ตลอดเวลา ส่วนเจ้าหน้าที่กองช่างให้ข้อมูลว่าระบบสามารถลดปัญหาการแจ้งซ้ำจากผู้ใช้งานซ้ำซ้อน เนื่องจากมีการตรวจสอบพิกัดและเวลาของการแจ้งได้อย่างแม่นยำและข้อมูลที่ได้รับมีความครบถ้วนมากกว่าระบบเดิม

นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการรับแจ้งแบบเดิม พบว่า ระบบใหม่ช่วยลดเวลาการจัดการปัญหาลงโดยเฉลี่ย 25% และสามารถติดตามสถานะการดำเนินงานได้อย่างเป็นระบบ ทั้งนี้แม้การใช้พิกัด GPS และเวลาเพื่อตรวจจับการแจ้งซ้ำจะไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่ แต่ถือเป็นการประยุกต์ใช้ที่เพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการบริหารจัดการปัญหาสาธารณูปโภคในระดับท้องถิ่นได้อย่างชัดเจน

ตาราง 2

ตารางผลการประเมินจากผู้ใช้งาน

Variable	M	SD	ระดับความพึงพอใจ
การทำงานของระบบ			
1.1 ระบบสามารถใช้งานได้ง่ายและไม่ซับซ้อน	4.04	0.45	มาก
1.2 ระบบมีความเสถียรในการทำงาน (ไม่มีข้อผิดพลาดหรือหลุดระหว่างใช้งาน)	3.94	0.65	มาก
1.3 ระบบสามารถตอบสนองได้รวดเร็วเมื่อตอบกลับผู้ใช้งาน	3.94	0.76	มาก
1.4 ระบบสามารถดำเนินการตามคำสั่งหรือคำขอได้ถูกต้อง	4.59	0.64	มากที่สุด
การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้			
2.1 ความชัดเจนของข้อความและปุ่มตัวเลือกที่แสดงในแชท	4.39	0.72	มากที่สุด
2.2 ความเหมาะสมของโครงสร้างเมนูหรือทางเลือกการใช้งาน	4.10	0.57	มาก
2.3 ความน่าสนใจของรูปแบบการสนทนา	3.98	0.62	มาก
2.4 ความเหมาะสมของรูปภาพหรือสัญลักษณ์ประกอบข้อความ	3.65	0.72	มาก
ความครบถ้วนของเนื้อหา			
3.1 ข้อความที่แชทบอทตอบกลับมีความเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน	4.00	0.60	มาก
3.2 เนื้อหาที่แชทบอทนำเสนอมีความถูกต้องและเชื่อถือได้	4.31	0.79	มากที่สุด
3.3 ระบบสามารถให้ข้อมูลได้ครบถ้วนตรงตามความต้องการ	4.02	0.65	มาก
3.4 กรณีระบบเชื่อมต่อกับบริการอื่น (เช่น สถานะการร้องเรียน) ข้อมูลที่แสดงมีความครบถ้วนและไม่ตกหล่น	4.15	0.67	มาก
ความพึงพอใจโดยรวมและแนวโน้มการใช้งานซ้ำ			
4.1 ผู้ใช้งานรู้สึกสะดวกในการใช้งานแชทบอทผ่านแอป LINE	4.00	0.60	มาก
4.2 ระบบช่วยลดขั้นตอนหรือเวลาในการติดต่อเจ้าหน้าที่ได้	4.31	0.79	มากที่สุด
4.3 ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อการใช้งานโดยรวม	4.02	0.65	มาก
4.4 ผู้ใช้งานมีความตั้งใจที่จะกลับมาใช้งานแชทบอทอีกในอนาคต	4.10	0.68	มาก

การอภิปรายผล

ในการพัฒนาระบบแชทบอทรายงานปัญหาสาธารณูปโภคผ่าน LINE สำหรับหน่วยงานท้องถิ่น ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบโดยอิงจากความต้องการของผู้ใช้งานในพื้นที่ โดยเฉพาะปัญหาด้านการสื่อสารระหว่างประชาชนและเจ้าหน้าที่ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่าผู้ใช้งานมักพบความล่าช้าและความไม่สะดวกในการแจ้งซ่อม ระบบที่พัฒนาขึ้นจึงมุ่งเน้นการตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าว โดยใช้เทคโนโลยีแชทบอทร่วมกับการระบุตำแหน่ง GPS และการจัดการฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์

การพัฒนาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) ระบบฝั่งผู้ใช้ผ่าน LINE Chatbot ซึ่งใช้แพลตฟอร์ม BOTNOI ร่วมกับ LINE API และ NLP เพื่อวิเคราะห์ Intent และ Slot อย่างครบถ้วน และ (2) ระบบจัดการหลังบ้านที่พัฒนาด้วย Vue.js และ MySQL เพื่อให้เจ้าหน้าที่ได้สามารถจัดการคำร้องและติดตามสถานะได้เป็นระบบ

ผลการทดสอบระบบจากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน พบว่าระบบมีความถูกต้องทางเทคนิค และสามารถตอบสนองต่อบริบทการใช้งานได้ดี โดยระบบสามารถตรวจสอบข้อมูลซ้ำจากพิกัดและช่วงเวลาได้อย่างแม่นยำ ซึ่งช่วยลดปัญหาการแจ้งซ้ำซ้อน ทั้งนี้ แม้การใช้พิกัดและเวลาจะไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่ แต่การประยุกต์ใช้ในระบบบริการของเทศบาลถือเป็นนวัตกรรมที่มีความเหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ

ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานจริงจำนวน 100 คน พบว่าอยู่ในระดับ “มาก” (ค่าเฉลี่ยรวม 4.26) โดยเฉพาะด้านความสะดวกในการใช้งานที่สามารถแจ้งได้ตลอด 24 ชั่วโมง มีตัวอย่างเชิงคุณภาพจากผู้ใช้ เช่น “สะดวกดี ไม่ต้องโทรหาใคร” หรือ “ส่งพิกัดให้ได้เลย ไม่ต้องอธิบาย” ซึ่งสะท้อนถึงความเหมาะสมในการออกแบบระบบให้ใช้งานง่าย จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกับเจ้าหน้าที่กองช่าง มีข้อแนะนำว่าระบบควรเพิ่มเติมความสามารถ เช่น การแนบรูปภาพหลายภาพต่อครั้ง หรือมีฟังก์ชันตอบกลับสถานะการดำเนินงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น

จากผลการประเมินทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า ระบบแชทบอทที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานจริงในหน่วยงานท้องถิ่น อีกทั้งยังสามารถขยายผลไปใช้กับระบบบริการอื่น ๆ ได้ในอนาคต โดยควรมีการปรับปรุงต่อยอดในด้านประสบการณ์ผู้ใช้งาน และรองรับการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาต่อเนื่องในระยะยาวเพื่อประเมินผลกระทบของการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับชุมชน เช่น ความพึงพอใจในระยะยาว ความเปลี่ยนแปลงด้านจำนวนปัญหาที่แจ้ง และประสิทธิภาพในการบริหารจัดการของเจ้าหน้าที่ นอกจากนี้ อาจมีการทดลองใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น AI หรือ Machine Learning เพื่อพัฒนาให้ระบบแชทบอทมีความสามารถในการเรียนรู้และปรับปรุงการตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น

References

Beck, K., Beedle, M., Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick. B., Martin, R. C., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland. J., & Thomas, D. (2001). *Manifesto for agile software development*. Retrieved from https://agilemanifesto.org/

Botnoi Group. (2023). *Conversational AI chatbot*. https://botnoigroup.com/ai/chatbot (in Thai)

Chaiyawong, T., Liampreecha, W., & Ponanan, K. (2025). Developing an automated conversational system to provide tourism information in Sukhothai Province for the elderly group. *Journal of Management Science Udon Thani Rajabhat University, 7*(2), 1–13. Retrieved from https://so08.tci-thaijo.org/index.php/MSJournal/article/view/3393 (in Thai)

Changruenngam, K., Wanchaitanawong, V., Klinhnu, J., Srisom, N., Nanglae, S., & Changruenngam, T. (2024). Promoting the development of a high-risk child using line chatbot and machine learning. *Journal of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University, 4*(2), 71-82. Retrieved from https://so04.tci-thaijo.org/index.php/jstpcru/article/view/273248 (in Thai)

Chueasathapanasiri, P., Pootangon, P., Sirimongkol, M., Sorranansri, S., & Sarawong, T. (2024). Chatbot for Rajamangala University of Technology Krungthep Student Loan. *Journal of Science and Technology Rajamangala University of Technology Krungthep, 1*(1), 1-5. Retrieved from https://li04.tci-thaijo.org/index.php/stjrmutk/article/view/1869 (in Thai)

David, A., Yigitcanlar, T., Li, R. Y. M., Corchado, J. M., Cheong, P. H., Mossberger, K., & Mehmood, R. (2023). Understanding local government digital technology adoption strategies: A PRISMA review. *Sustainability, 15*(12), 12. https://doi.org/10.3390/su15129645

Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science, 35*(8), 982–1003. https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982

Janpinid, Y., & Pookongchai, K. (2022). Petition Efficiencydevelopment of Damrongthamin Nong Saeng District, Udon Thani Province. *Santapol College Academic Journal, 8*(2), 66-74. Retrieved from https://so05.tci-thaijo.org/index.php/scaj/article/view/257950 (in Thai)

Li, W., Yigitcanlar, T., Browne, W., & Nili, A. (2023). The making of responsible innovation and technology: An overview and framework. *Smart Cities, 6*(4), 1996–2034. https://doi.org/10.3390/smartcities6040093

LINE Corporation. (2024). *LINE Thailand celebrates 13 years as a Life Platform*. Retrieved from https://www.linecorp.com/th/181-copied-/th/pr/news/th/2024 (in Thai)

Math, S. N. B. (2025). MitraBotBot: Your one step guide towards all loans and schemes. I*nterantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management, 09*(01), 1–9. https://doi.org/10.55041/ijsrem40737

Mitsophonsiri, K., Thangsathiryangkui, S., & Ongsuwan, S. (2020). Smart village management system via smart phonewith line API. *Kasem Bundit Engineering Journal, 10*(2), 165-194. Retrieved from https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kbej/article/view/240305/164886 (in Thai)

OpenJS Foundation & Contributors. (2023). *Node-RED*. https://nodered.org

Oracle. (2023). *MySQL*. https://www.mysql.com/

Prachumrasee, K., Ronghanam, P., Thonmanee, K., Phonsungnoen, P., Mangma, P., Setthasuravich, P., & Lowatcharin, G. (2024). From Traditional to Digital: Transforming Local Administrative Organization Workflows in Thailand Through Social Listening Tools. *Social Sciences, 13*(12), 12. https://doi.org/10.3390/socsci13120666

Preechadech, J., & Yongsiriwit, K. (2024). Development of a Smart Office System through LINE Official Account: A Case Study of the Public Sector Development Group, Department of Medical Services. *2024 8th International Conference on Information Technology (InCIT)* (pp. 411–416). Chonburi: IEEE. (in Tha)

Railway Technical School, Bangkok, Thailand, Kingchang, T., Chatwattana, P., & Wannapiroon, P. (2024). Artificial Intelligence Chatbot Platform: AI Chatbot Platform for Educational Recommendations in Higher Education. *International Journal of Information and Education Technology, 14*(1), 34–41. https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.1.2021

Rensis Likert. (1932). *A technique for the measurement of attitudes*. Archives of Psychology. Retrieved from http://archive.org/details/likert-1932

Rodsawang, C., Thongkliang, P., Intawong, T., Sonong, A., Thitiwatthana, Y., & Chottanapund, S. (2020). Designing a Competent Chatbot to Counter the COVID-19 Pandemic and Empower Risk Communication in an Emergency Response System. *Outbreak, Surveillance, Investigation & Response (OSIR) Journal, 13*(2), 2. https://doi.org/10.59096/osir.v13i2.262825 (in Thai)

Ruttanapan, M., & Saiyaitong, C. (2023). Development of Line Chatbot for Research Services Case Study: Institute of Research and Development Rajamangala University of Technology Thanyaburi. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST), 22*, 7889. https://doi.org/10.14456/JARST.2023.8 (in Thai)

Sookkhee, B., & Chatree, J. (2024). Developing the “Nong Lamduan” line chatbot application to recommend tourist attractions in Sisaket Province. *Journal of Applied Information Technology, 10*(1), 1-10. (in Thai)

Tanasirathum, P., Chaisena, N., Pasawapa, W., & Sangkatip, W. (2024). The Development of Chatbot System for Cooperative and Work-Integrated Education Using Machine Learning Method. Journal of Information and Learning [JIL], 35(2), 142–155. Retrieved from https://so04.tci-thaijo.org/index.php/jil/article/view/271130 (in Thai)

Tangchoopong, T., Shakulkhu, S., & Phuyawong, J. (2022). Thai food recognition and nutritious calculation on Line Chatbot with Deep Learning. *Rattanakosin Journal of Science and Technology, 4*(2), 19–31. retrieved from https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/RJST/article/view/246266 (in Thai)

Thammasiri, D., Srisomboon, P., Pooputwibul, K., Roduna, P., & Wattanakul, P. (2025). Developing a Chatbot to Promote Tourism in the Artisan Community in Nakhon Pathom Province. *Information Technology Journal KMUTNB, 21*(1), 69-77. Retrieved from https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/IT_Journal/article/view/260347/174063 (in Thai)

ระบบวิเคราะห์ค่าเวลาการทำงานจากวิดีโอในสายการผลิตอุตสาหกรรม
Design and Development of a Video-Based Work Time Analysis System for Industrial Production Lines

รณกฤต ทิมสันเทียะ[1] และชัยยงค์ เสริมผล[1]*
Ronnakij Thimsanthia[1] and Chaiyong Soemphol[1]*
[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
[1]Department of Electrical and Computer Engineering,
Faculty of Engineering, Mahasarakham University
*Corresponding author: chaiyong.s@msu.ac.th
Received: May 26, 2025
Revised: September 20, 2025
Accepted: September 30, 2025

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน วิธีการจับเวลาการทำงานด้วยนาฬิกาจับเวลา (stopwatch method) แม้จะเป็นวิธีที่ใช้แพร่หลาย แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ ความต่อเนื่อง และภาระการใช้แรงงาน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและไม่สะดวกต่อการตรวจสอบย้อนหลัง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบวิเคราะห์ค่าเวลาการทำงานจากวิดีโอในสายการผลิตอุตสาหกรรม โดยใช้เทคโนโลยีเว็บร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อเพิ่มความถูกต้องและลดข้อจำกัดของวิธีดั้งเดิม ระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นเว็บแอปพลิเคชันซึ่งรองรับการอัปโหลดวิดีโอจากสถานีงาน และสามารถคำนวณค่าเวลามาตรฐานพร้อมทั้งค่าสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ผลการทดลองกับสายการผลิตจำลอง 11 สถานีงาน พบว่า ระบบสามารถลดการบันทึกเวลาที่ต้องทำด้วยคนกว่า 110 ครั้ง เหลือเพียงการอัปโหลดวิดีโอครั้งเดียวต่อสถานี อีกทั้งยังให้ค่าความแปรปรวนต่ำสุดเพียง 0.74% ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำสูง ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จริงในการคำนวณค่าเวลามาตรฐานและสนับสนุนการวิเคราะห์กระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพในระดับอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: ระบบจับเวลา เวลามาตรฐาน การวิเคราะห์วิดีโอ สายการผลิต เว็บแอปพลิเคชัน

Abstract

Currently, the stopwatch method is widely used for measuring work time in production processes; however, it still has limitations in terms of accuracy, continuity, and labor requirements, often leading to errors and difficulties in retrospective verification. This research aims to design and develop a video-based work time analysis system for industrial production lines using web technologies combined with statistical data analysis, in order to enhance accuracy and overcome the limitations of traditional methods. The developed system is a web-based application that supports video uploads from workstations and calculates standard time along with statistical measures such as mean, median, standard deviation, and coefficient of variation. Experimental results from a simulated production line with 11 workstations showed that the system reduced manual time recording from over 110 instances to a single video upload per station. Moreover, it achieved a coefficient of variation (CV) as low as 0.74%, reflecting higher accuracy compared to the traditional stopwatch method.Therefore, the proposed system can be effectively applied to calculate standard time and support systematic analysis of production processes, ensuring practical and reliable use in industrial environments.

Keywords: time measurement system, standard time, video analysis, production line, web application

บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีอุตสาหกรรมมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ระบบการผลิตมีความซับซ้อนและต้องการความแม่นยำสูงมากขึ้น การจัดการเวลาในกระบวนการผลิตจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ลดความสูญเปล่า และสนับสนุนการตัดสินใจที่มีข้อมูลรองรับ ระบบจับเวลาถือเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการวัดระยะเวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอนในสายการผลิต โดยเฉพาะการใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพ กำหนดกำลังการผลิต และวางแผนการจัดสรรทรัพยากรอย่างเหมาะสม รวมถึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในบริบทของอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ

วิธีการจับเวลาแบบดั้งเดิมที่อาศัยการสังเกตและใช้เครื่องมือจับเวลาด้วยมือ แม้จะสามารถใช้งานได้ง่าย แต่ยังคงมีข้อจำกัด เช่น ความผิดพลาดจากมนุษย์ ความไม่ต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล และความสิ้นเปลืองทรัพยากร งานวิจัยปัจจุบันจึงเริ่มประยุกต์ใช้เทคโนโลยีวิดีโอและระบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวัดเวลา เช่น Ji, Pannakkong and Buddhakulsomsiri (2022) ที่นำเสนอแบบจำลองการใช้ computer vision สำหรับการวิเคราะห์เวลาอัตโนมัติ และ Shedage, Deshpande and Khot (2020) ที่ใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์วิดีโอเพื่อปรับสมดุลสายการผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวิดีโอและเว็บเทคโนโลยีในการสนับสนุนการวัดเวลาและการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ แม้งานของ Xiang et al. (2021) จะมุ่งเน้นด้านการวิเคราะห์ metadata ของวิดีโอเพื่อประโยชน์ด้าน digital forensics แต่ก็สะท้อนถึงศักยภาพของวิดีโอในการเป็นแหล่งข้อมูลที่ตรวจสอบย้อนหลังได้และเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการนำวิดีโอมาใช้ในอุตสาหกรรมสมัยใหม่

งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบจับเวลาผ่านวิดีโอโดยใช้เทคโนโลยีเว็บผสานกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อสร้างระบบที่มีความแม่นยำ ยืดหยุ่น สามารถลดต้นทุนการดำเนินงาน และประยุกต์ใช้ได้จริงในภาคอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบจับเวลาในสายการผลิต

2. เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณค่าเวลามาตรฐานในการทำงาน

3. เพื่อลดการใช้ทรัพยากรมนุษย์ในการปฏิบัติงาน

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Department of Industrial Promotion (2020) เอกสารของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ได้ระบุว่า การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสายการผลิตควรอาศัยข้อมูลเชิงเวลาเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพ การวางแผนการผลิต และการลดต้นทุนอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรและมีความต้องการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันอย่างยั่งยืน การศึกษาครั้งนี้อ้างอิงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องใน 3 ด้านหลัก ได้แก่ การจับเวลาในสายการผลิต เวลามาตรฐานและการประยุกต์ใช้ และเทคโนโลยีวิดีโอร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ดังนี้

การจับเวลา

การจับเวลา (time study) เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพของสายการผลิต โดยมีเป้าหมายเพื่อวัดระยะเวลาที่แรงงานใช้ในแต่ละขั้นตอนอย่างถูกต้องภายใต้สภาพการทำงานปกติ วิธีที่นิยมมากที่สุด คือ การใช้นาฬิกาจับเวลา เนื่องจากสะดวกและต้นทุนต่ำ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำและความต่อเนื่อง รวมถึงอคติจากผู้จับเวลา (Wangchuk & Madan, 2023)

งานวิจัยในประเทศไทย เช่น Kamla et al. (2021) ได้ประยุกต์ใช้การจับเวลาแบบทางตรงในโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ พบว่าสามารถใช้งานได้จริงในภาคอุตสาหกรรม แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องความน่าเชื่อถือของข้อมูล ขณะที่งานวิจัยสากลเริ่มหันมาใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ แทน เช่น Ji, Pannakkong and Buddhakulsomsiri (2022) ที่นำ Computer Vision มาใช้ในการทำ Motion Time Study แบบอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดจากมนุษย์และทำให้การวัดเวลามีความต่อเนื่องและแม่นยำมากขึ้น

เวลามาตรฐานและการประยุกต์ใช้

เวลามาตรฐาน (standard time) หมายถึง ระยะเวลาที่แรงงานทั่วไปควรใช้ในการทำงานภายใต้สภาพการทำงานปกติ โดยประกอบด้วย เวลาที่สังเกตได้ การปรับด้วยค่าประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงาน และค่าเผื่อ ที่สะท้อนปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความเหนื่อยล้าและเวลาพัก สูตรการคำนวณสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\text{เวลามาตรฐาน} = (\text{เวลาที่สังเกต} \times (\text{PR}/100)) \times (1+\text{Allowance}) \quad (1)$$

โดยที่

เวลาที่สังเกต คือ เวลาที่จับได้จากการทำงานจริงในการสังเกตแต่ละรอบ หรือค่าเฉลี่ยของเวลาที่จับหลายรอบ

PR (Performance Rating) คือ ค่าร้อยละของความสามารถของผู้ปฏิบัติงานเมื่อเทียบกับพนักงานมาตรฐาน เช่น หากผู้ปฏิบัติงานทำงานเร็วกว่าปกติ ค่านี้อาจเป็น 110%

Allowance คือ อัตราเวลาสำรองที่เพิ่มเข้าไปในเวลาทำงาน เพื่อชดเชยเวลาที่สูญเสียจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเหนื่อยล้า พักระหว่างงาน หรือเวลาที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น 15% หรือ 0.15

เวลามาตรฐานมีบทบาทสำคัญในการวางแผนการผลิต การจัดสรรทรัพยากร และการประเมินประสิทธิภาพของสายการผลิต งานวิจัยของ Akpan and Amade (2024) ยืนยันว่าเวลามาตรฐานที่แม่นยำช่วยเพิ่มความสามารถในการผลิตและส่งผลโดยตรงต่อผลประกอบการขององค์กร ขณะเดียวกัน Ramadhan and Hartati (2024) ได้ชี้ให้เห็นว่าการคำนวณเวลามาตรฐานที่ถูกต้องเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดขีดความสามารถการผลิตและการจัดการกำลังคน

งานวิจัยเหล่านี้สะท้อนให้เห็น แม้การหาค่าเวลามาตรฐานจะมีการใช้มาอย่างยาวนาน แต่การใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมัยใหม่ เช่น การประมวลผลวิดีโอและการคำนวณเชิงสถิติ สามารถทำให้การกำหนดเวลามาตรฐานมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางที่งานวิจัยนี้นำมาประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีวิดีโอและการวิเคราะห์เชิงสถิติ

เทคโนโลยีวิดีโอถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม เพื่อช่วยเก็บข้อมูลการทำงานได้อย่างต่อเนื่องและสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ ลดความผิดพลาดจากการสังเกตด้วยตนเองและเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล การวิเคราะห์วิดีโอควบคู่กับสถิติพื้นฐาน เช่น ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ช่วยให้สามารถประเมินกระบวนการผลิตได้อย่างเป็นระบบ

งานของ Shedage, Deshpande and Khot (2020) ได้นำเสนอการใช้ซอฟต์แวร์ที่ประมวลผลจากวิดีโอเพื่อช่วยปรับสมดุลสายการผลิต (video-based line balancing) ทำให้การวัดเวลาและการจัดสายงานมีความแม่นยำมากขึ้น ขณะที่ Patel, Vaghela and Singh (2024) ศึกษาการใช้ Work Study ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และพบว่าการใช้ข้อมูลเชิงสถิติจากการวัดเวลาที่แม่นยำสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนได้จริง

ในด้านเทคโนโลยีขั้นสูง Gurav and Upadhyay (2025) ได้นำ Computer Vision ร่วมกับ Machine Learning มาใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของแรงงานในสายการผลิต ซึ่งสามารถตรวจจับเวลาได้อย่างละเอียดและแม่นยำกว่าวิธีการเดิมงานของ Spot AI (2024) ยังชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของ Video Analytics ที่ถูกนำไปใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการผลิตและปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการ

ดังนั้นการใช้วิดีโอและการวิเคราะห์เชิงสถิติไม่เพียงช่วยลดข้อจำกัดของการจับเวลาด้วยมือ แต่ยังเป็นแนวทางสำคัญที่สะท้อนว่าการพัฒนาระบบ Web Application เพื่อวิเคราะห์เวลาจากวิดีโอ สามารถตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบวิเคราะห์ค่าเวลาการทำงานจากวิดีโอในสายการผลิตอุตสาหกรรม โดยอาศัยแนวคิดของการนำข้อมูลจากวิดีโอการทำงานมาประมวลผลผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อวิเคราะห์เวลาในการทำงานและคำนวณเวลามาตรฐาน โดยมีโครงสร้างของกรอบแนวคิดการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. นำเข้า (input) ประกอบด้วยวิดีโอการทำงานในแต่ละสถานีของสายการผลิต ข้อมูลเวลาที่จับได้ในแต่ละรอบ และจำนวนรอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นข้อมูลต้นทางที่ใช้ในการประมวลผล

2. กระบวนการ (process) ระบบที่พัฒนาด้วยภาษา HTML CSS และ JavaScript ทำหน้าที่วิเคราะห์วิดีโอเพื่อจับเวลาในแต่ละรอบการทำงาน พร้อมคำนวณค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ระบบยังสามารถแสดงผลในรูปแบบตาราง กราฟ และส่งออกข้อมูล เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

3. ผลลัพธ์ (output) ประกอบด้วยค่าเวลามาตรฐานของแต่ละสถานีงาน ข้อมูลวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละรอบ และข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนกำลังคน ปรับปรุงสายการผลิต และตัดสินใจเชิงกลยุทธ์

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและพัฒนาระบบจับเวลาจากวิดีโอสำหรับใช้ในสายการผลิตอุตสาหกรรม โดยดำเนินงานตามขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การเก็บรวบรวมข้อมูล การออกแบบระบบ และการทดสอบระบบ

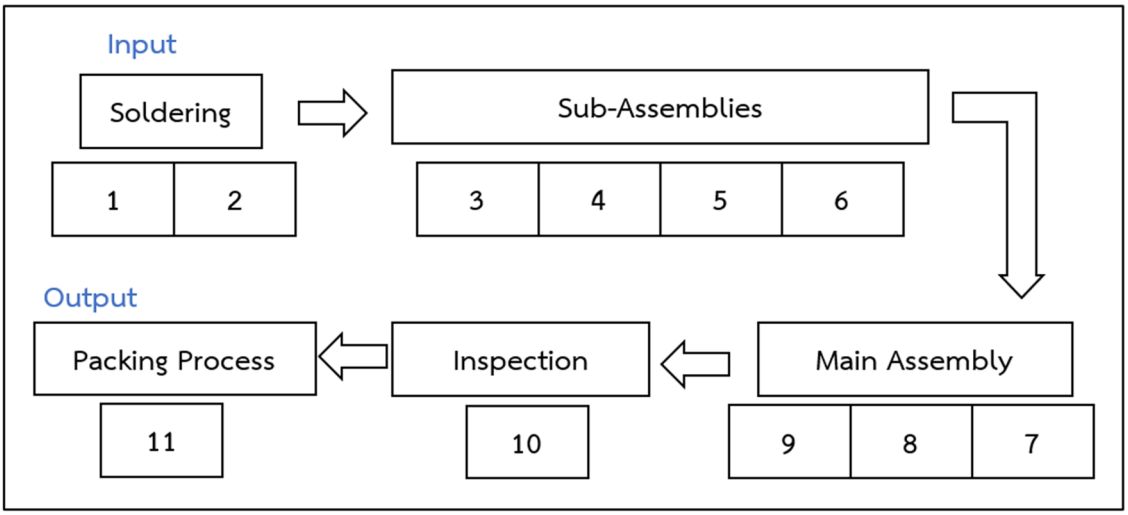
การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจำลองสายการผลิตจำนวน 11 สถานี โดยอ้างอิงจากกระบวนการผลิตจริงในภาคอุตสาหกรรมที่มีลำดับขั้นตอนต่อเนื่องกันอย่างเป็นระบบ เพื่อสะท้อนภาพรวมของสายการผลิตที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด สถานีงานที่เลือกครอบคลุมลักษณะงานที่หลากหลาย ทั้งงานประกอบ งานตรวจสอบคุณภาพ งานบรรจุภัณฑ์ และงานเคลื่อนย้ายวัสดุ เพื่อให้การเก็บข้อมูลมีความสมบูรณ์และสะท้อนถึงลักษณะการทำงานจริงในภาคอุตสาหกรรม ดังภาพ 1

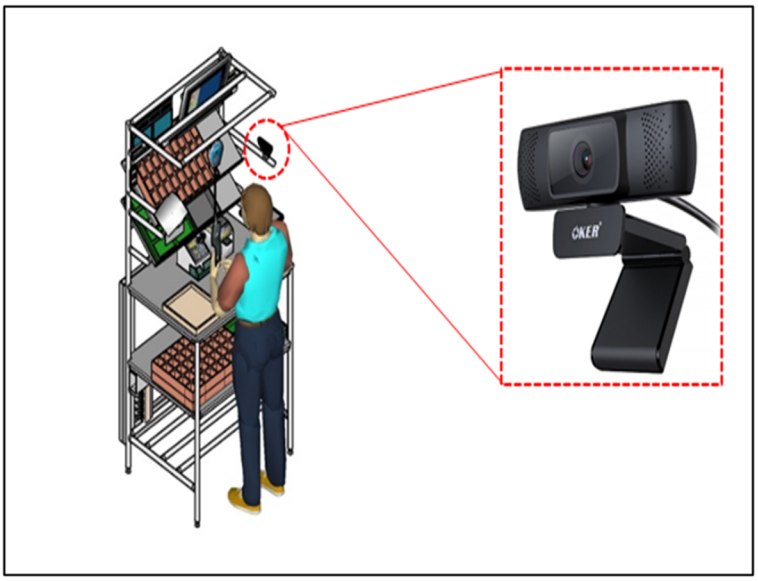
จากภาพ 1 การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ลำดับกระบวนการในสายการผลิตและแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นสถานีย่อยอย่างเป็นระบบ โดยแบ่งออกทั้งหมด 11 สถานีงาน ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในด้านเนื้อหา ระยะเวลา และลักษณะการปฏิบัติงาน การแบ่ง

เช่นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถศึกษารายละเอียดของแต่ละกระบวนการได้อย่างเจาะลึก ช่วยให้การวิเคราะห์เวลาเฉพาะในแต่ละกิจกรรมมีความแม่นยำ ลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์แบบรวมทั้งกระบวนการ อีกทั้งยังเอื้อต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละสถานี และสามารถนำผลลัพธ์ไปใช้ในการออกแบบหรือปรับปรุงสายการผลิตในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

ภายหลังจากการกำหนดสถานีงาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการบันทึกวิดีโอในแต่ละสถานีงานอย่างเป็นระบบ โดยใช้กล้องวิดีโอความละเอียดสูงที่ติดตั้งในมุมซึ่งสามารถครอบคลุมทั้งการเคลื่อนไหวของแรงงานและอุปกรณ์การผลิตได้อย่างครบถ้วน พร้อมทั้งควบคุมปัจจัยแวดล้อม เช่น แสงสว่าง เสียงรบกวน และมุมกล้อง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีคุณภาพและมีความสม่ำเสมอในทุกสถานีงาน การกำหนดจำนวนรอบการทำงานที่บันทึกไว้ล่วงหน้าถูกออกแบบให้เพียงพอต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น การหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน การจัดวางมุมกล้องดังกล่าวช่วยให้การบันทึกภาพมีความต่อเนื่อง ดังภาพ 2



ภาพ 1 แสดงแผนผังสถานีงานย่อยสายการผลิตสินค้า



ภาพ 2 การติดตั้งมุมกล้องบันทึกวิดีโอในสถานีงาน

จากภาพ 2 จะเห็นว่ากล้องถูกติดตั้งในมุมสูงเพื่อให้สามารถบันทึกภาพรวมของพื้นที่การทำงานได้อย่างครบถ้วน ทั้งการเคลื่อนไหวของแรงงานและการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน ทำให้สามารถติดตามลำดับขั้นตอนการทำงานและจับเวลาการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ การเลือกตำแหน่งติดตั้งกล้องยังช่วยลดปัญหาภาพบังหรือการหลุดเฟรม ซึ่งมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์เวลามาตรฐานที่ถูกต้องในขั้นตอนต่อไป การบันทึกวีดีโอจะใช้ระบบสแกนบาร์โค้ดเพื่อจับช่วงเริ่มและสิ้นสุดการทำงานวิดีโอ เพื่อให้ใกล้เคียงกับระบบเดิมที่ใช้การกดเพื่อเริ่มและหยุดในการจับเวลา

เมื่อเสร็จสิ้นการบันทึกวิดีโอ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของไฟล์อย่างรอบคอบ ทั้งในด้านความคมชัดของภาพ ความต่อเนื่องของวิดีโอ และระยะเวลาที่บันทึก เพื่อให้มั่นใจได้ว่า ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมีคุณภาพและพร้อมที่จะนำเข้าสู่ระบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป ขั้นตอนเหล่านี้ช่วยให้มั่นใจได้ว่า ฐานข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้อง เชื่อถือได้ และสามารถสะท้อนถึงสภาพการทำงานจริงในสายการผลิตได้อย่างสมบูรณ์

การออกแบบระบบ

ในการออกแบบระบบวิเคราะห์เวลาผ่านวิดีโอ ผู้วิจัยได้นำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาระบบต้นแบบที่สามารถวิเคราะห์เวลาการทำงานในแต่ละสถานีจากวิดีโอที่ผู้ใช้งานอัปโหลดเข้าสู่ระบบ ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีจุดเด่นตรงที่สามารถทำงานได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้การจับเวลาด้วยมือ ลดข้อผิดพลาดและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากมนุษย์ และช่วยให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดโครงสร้างระบบวิเคราะห์เวลา ดังภาพ 3

โครงสร้างระบบวิเคราะห์เวลาที่พัฒนาขึ้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ส่วนรับข้อมูล (input) ผู้ใช้งานสามารถอัปโหลดวิดีโอการทำงานของแต่ละสถานีผ่านทางหน้าเว็บ โดยระบบจะดึงข้อมูลความยาววิดีโอ และจัดเก็บไว้เพื่อใช้ในการคำนวณ

2. ส่วนประมวลผล (processing) เมื่อวิดีโอถูกอัปโหลดเข้าสู่ระบบ ระบบจะใช้ HTML5 Video API เพื่ออ่านเวลาของวิดีโอ และใช้ JavaScript ในการคำนวณค่าทางสถิติต่าง ๆ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ค่ามัธยฐาน (median) ค่าต่ำสุด (min) ค่าสูงสุด (max) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV)

3. ส่วนแสดงผล (output) ระบบนำเสนอผลการวิเคราะห์ผ่านอินเทอร์เฟซที่เป็นมิตรต่อผู้ใช้ โดยแสดงผลทั้งในรูปแบบข้อความ ตาราง และกราฟ เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำข้อมูลไปใช้งานต่อ เช่น การวางแผนผลิตหรือจัดทำรายงาน

ระบบนี้สามารถใช้งานได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ทั่วไป โดยไม่ต้องติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติม จึงเหมาะสมสำหรับการใช้งานในภาคสนามหรือหน่วยงานที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร

เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนา การพัฒนาระบบนี้อาศัยเทคโนโลยีเว็บแบบครบวงจร ได้แก่

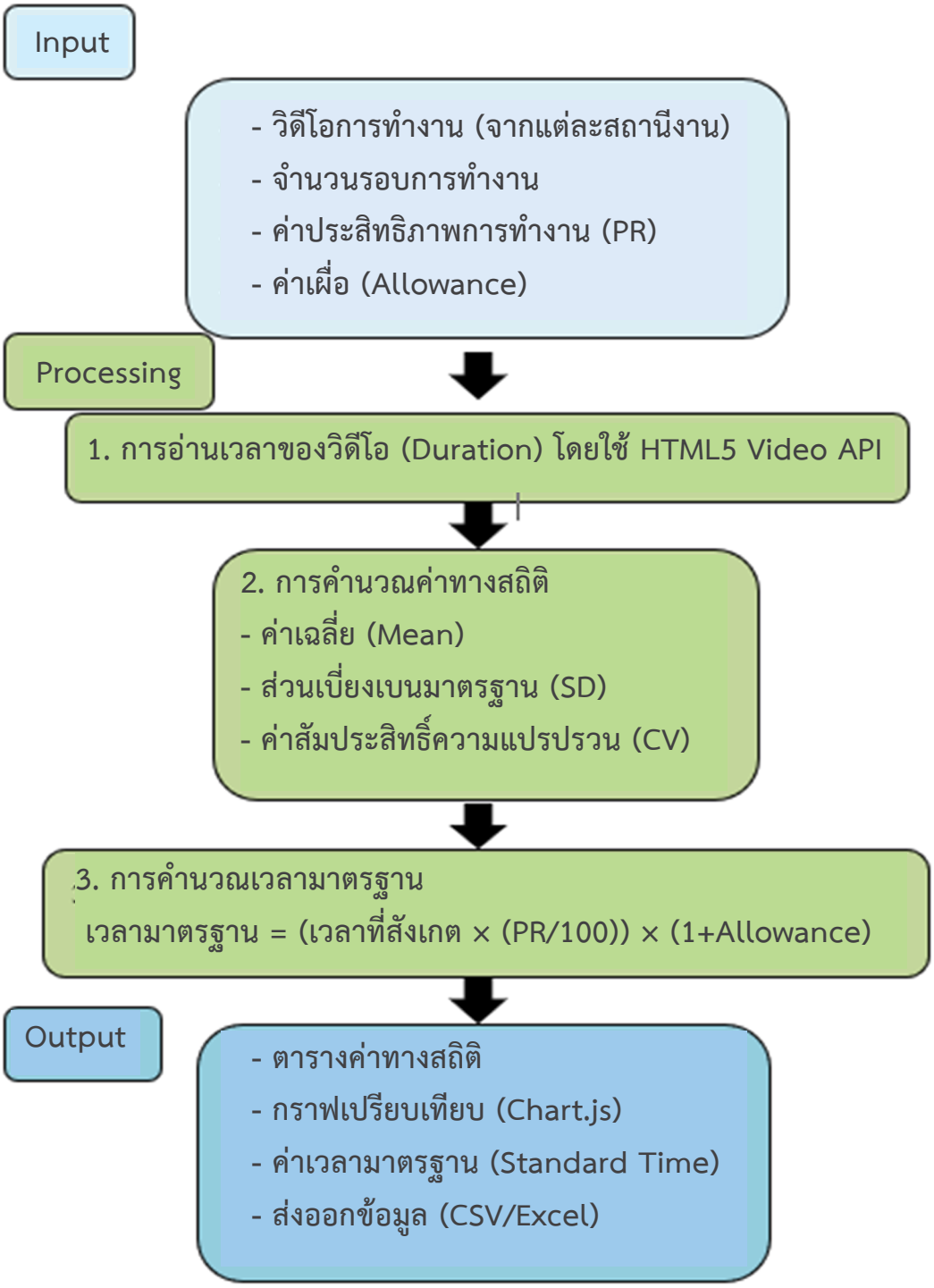
1. HTML ใช้กำหนดโครงสร้างพื้นฐานของหน้าเว็บ เช่น ปุ่มอัปโหลด ช่องกรอกข้อมูล

2. CSS ใช้ตกแต่งและจัดรูปแบบอินเทอร์เฟซของระบบให้ใช้งานง่าย

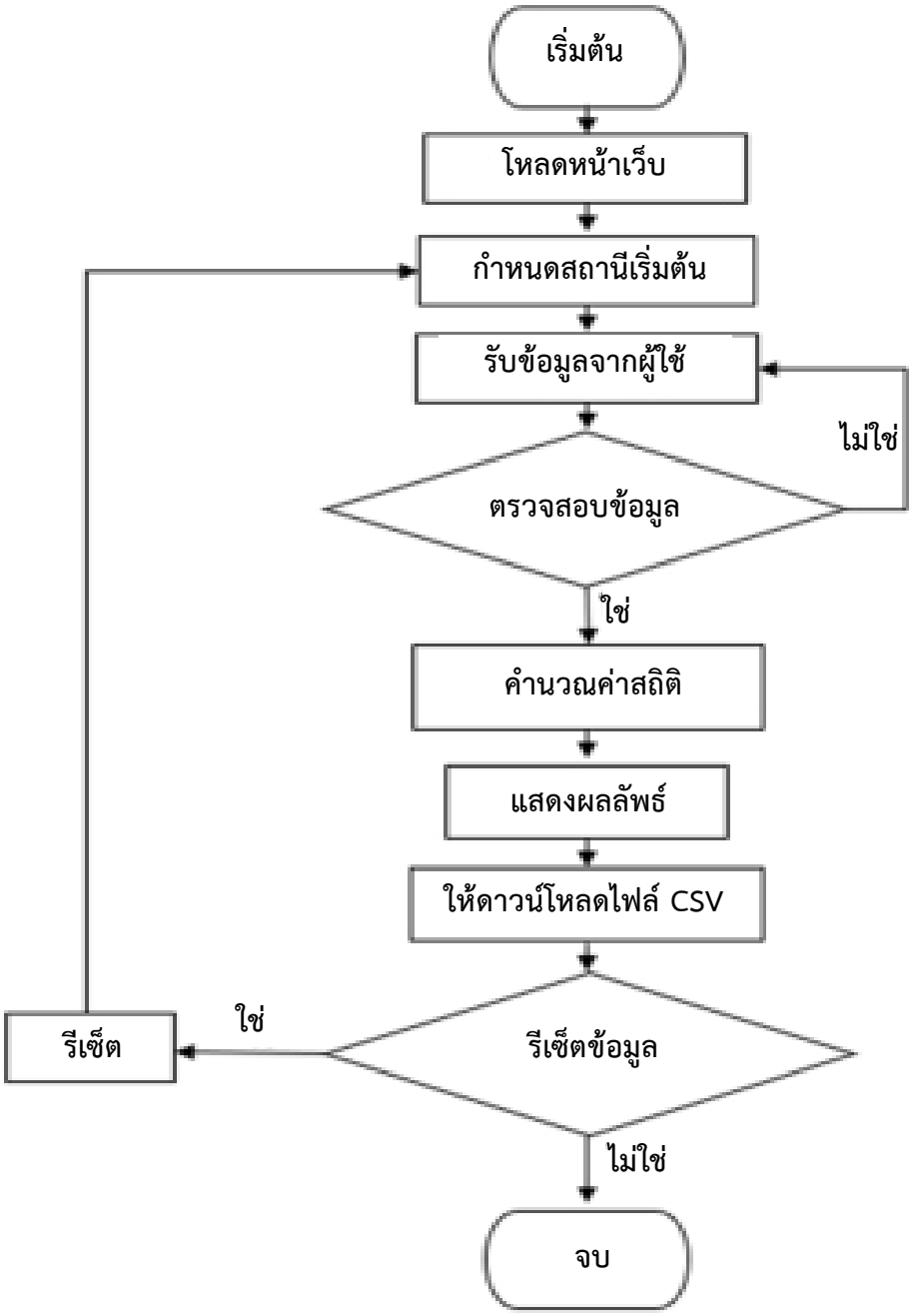
3. JavaScript ใช้ควบคุมกระบวนการทำงานทั้งหมดของระบบ เช่น การอ่านค่าจากวิดีโอ คำนวณสถิติ และควบคุมกราฟหรือการส่งออกไฟล์

ระบบยังใช้ไลบรารี Chart.js ในการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟ และใช้ HTML5 Video API เพื่อดึงข้อมูลความยาวของวิดีโอแบบอัตโนมัติ แนวทางการใช้งาน HTML5 Video API ในระบบนี้อ้างอิงจากเอกสารของ MDN Web Docs (2025) ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการฝังวิดีโอบนเว็บไซต์และการดึงค่าความยาวของวิดีโอเพื่อประมวลผล โดยองค์ประกอบทั้งหมดจะทำงานร่วมกันอย่างเป็นลำดับ

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีจุดเด่นตรงที่สามารถประมวลผลวิดีโอเพื่อคำนวณเวลาการทำงานและค่าสถิติได้ ผู้ใช้ยังคงต้องบันทึกวิดีโอการทำงานและนับจำนวนรอบด้วยตนเอง ก่อนนำวิดีโอเข้าสู่ระบบ ทั้งนี้ระบบยังเปิดโอกาสให้สามารถพิจารณาความถูกต้องของข้อมูลที่ประมวลผลก่อนจะนำไปคำนวณเวลามาตรฐาน (standard time) ด้วยสูตรที่พิจารณาค่า Performance Rating: PR และค่า Allowance รวมอยู่ด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนผ่านแผนภาพโฟลว์ชาร์ตดังภาพ 4



ภาพ 3 โครงสร้างระบบการวิเคราะห์เวลา



ภาพ 4 ผังงานแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบวิเคราะห์เวลามาตรฐาน

จากภาพ 4 ระบบจับเวลาจากวิดีโอที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีลำดับการทำงานตั้งแต่การรับข้อมูลจากผู้ใช้ไปจนถึงการแสดงผลลัพธ์และการส่งออกข้อมูล โดยสามารถอธิบายได้เป็นขั้นตอนดังต่อนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นและโหลดหน้าเว็บ เมื่อผู้ใช้เปิดระบบผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ระบบจะโหลดอินเทอร์เฟซที่พัฒนาด้วย HTML และ CSS โดยแสดงเมนูหลัก ปุ่มอัปโหลดวิดีโอ และช่องกรอกข้อมูลที่จำเป็น เช่น ชื่อสถานีงาน จำนวนรอบที่ต้องการวิเคราะห์ และค่าตัวแปร เช่น Performance Rating (PR) และค่า Allowance

ขั้นตอนที่ 2 ผู้ใช้งานอัปโหลดวิดีโอ ผู้ใช้ทำการเลือกไฟล์วิดีโอจากเครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่ใช้งานและอัปโหลดเข้าสู่ระบบผ่านช่องทางที่กำหนด โดยระบบจะตรวจสอบประเภทไฟล์ ความยาว และความสมบูรณ์ของไฟล์วิดีโอก่อนดำเนินการขั้นต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 อ่านค่าความยาววิดีโอ ระบบจะใช้ HTML5 Video API เพื่ออ่านค่าความยาว (duration) ของวิดีโอที่อัปโหลดเข้ามา ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถดึงข้อมูลเวลาทำงานในแต่ละรอบได้ และลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการกรอกข้อมูลด้วยมือ

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าทางสถิติและเวลามาตรฐาน ระบบจะใช้ JavaScript ในการคำนวณข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และเวลามาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 5 แสดงผลลัพธ์ ระบบจะแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น ตารางข้อมูลสถิติของแต่ละรอบ กราฟเปรียบเทียบเพื่อแสดงความแตกต่างของเวลา เช่น กราฟแท่ง ค่าเฉลี่ยรวม และเวลามาตรฐานรวมของแต่ละสถานี การแสดงผลเหล่านี้ดำเนินการผ่านไลบรารี Chart.js ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นแนวโน้มของข้อมูลได้อย่างชัดเจน และสะดวกต่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละสถานีงาน

ขั้นตอนที่ 6 ส่งออกข้อมูล ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดผลลัพธ์ทั้งหมดเป็นไฟล์รูปแบบข้อมูลที่สามารถส่งออกเพื่อประมวลผลภายนอก เพื่อนำไปใช้งานในซอฟต์แวร์อื่น เช่น Excel หรือระบบวางแผนการผลิต (ERP) ได้ทันที

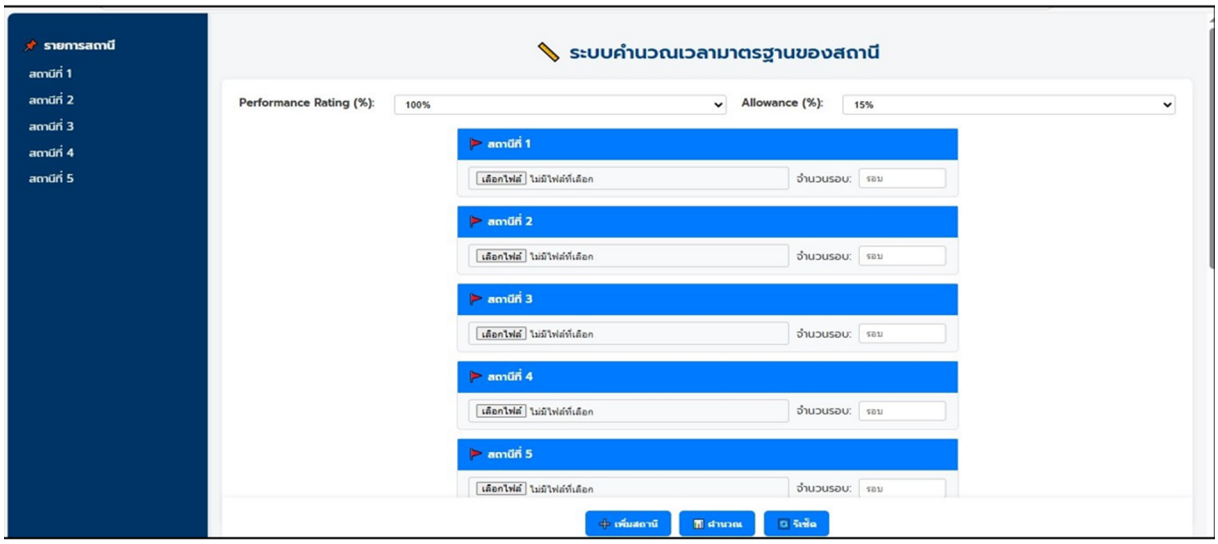
ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบหรือทำรายการใหม่ หากพบว่าเวลาที่ได้จากวิดีโอไม่ตรงกับความเป็นจริง หรือเกิดความผิดพลาดใด ๆ ผู้ใช้งานสามารถรีเซ็ตข้อมูล และเริ่มกระบวนการใหม่ได้จากหน้าเว็บเดิม โดยไม่ต้องรีเฟรชหรือลงโปรแกรมเพิ่มเติม

ผลการดำเนินงาน

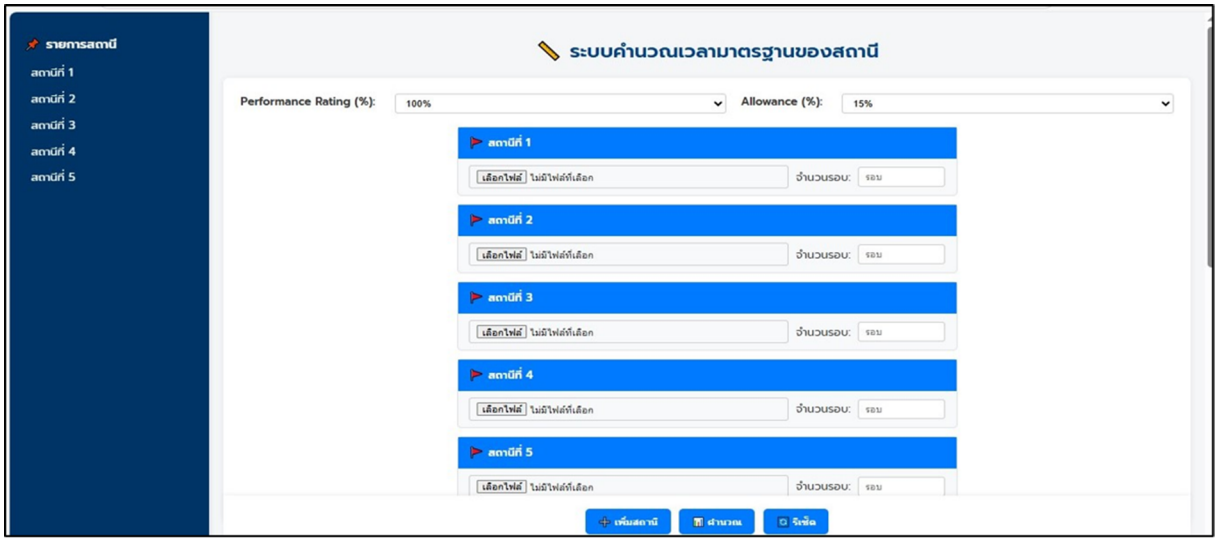
จากระบบวิเคราะห์ค่าเวลาการทำงานจากวิดีโอในสายการผลิตอุตสาหกรรม พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยผู้ใช้งานสามารถอัปโหลดวิดีโอจากแต่ละสถานีงานเข้าสู่ระบบ และระบบจะทำการประมวลผลความยาวของวิดีโอโดยอัตโนมัติผ่าน HTML5 Video API จากนั้นดำเนินการคำนวณค่าทางสถิติต่าง ๆ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และเวลามาตรฐานโดยใช้สูตรที่เหมาะสม

ระบบสามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย ได้แก่ ตารางแสดงข้อมูลสถิติของแต่ละรอบ กราฟเปรียบเทียบ เช่น กราฟแท่งที่แสดงความแตกต่างของเวลาในแต่ละรอบ และผลรวมของค่าเฉลี่ยและเวลามาตรฐานของแต่ละสถานี นอกจากนี้ยังสามารถส่งออกข้อมูลในรูปแบบที่นำไปประมวลผลต่อภายนอกได้ ซึ่งทั้งหมดนี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้อย่างเป็นระบบและตรวจสอบได้

จากการทดสอบระบบกับสายการผลิตจำลองที่ประกอบด้วย 11 สถานีงาน พบว่าระบบสามารถคำนวณข้อมูลได้อย่างถูกต้อง มีความแม่นยำในการแสดงผล และสามารถใช้งานได้จริงในสถานการณ์ใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม ดังภาพ 5 และภาพ 6



ภาพ 5 แสดงหน้าจอหลักของระบบซึ่งประกอบด้วยแบบฟอร์มอัปโหลดวิดีโอ



ภาพ 6 แสดงหน้าจอในส่วนของผลลัพธ์

จากภาพ 5 และภาพ 6 แสดงหน้าจอการทำงานของระบบ ตั้งแต่ขั้นตอนการเพิ่มจำนวนสถานีงาน การอัปโหลดวิดีโอ และการระบุจำนวนรอบการทำงาน ไปจนถึงการแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบตารางข้อมูลสถิติและกราฟเปรียบเทียบ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นแนวโน้มและความแตกต่างของเวลาการทำงานในแต่ละสถานีได้อย่างชัดเจน

เวลามาตรฐาน

การทดลองผู้ทดลองจะอัปโหลดวิดีโอจากสถานีงานจำลอง 11 สถานี (5 ไฟล์สำหรับสถานีที่ 1–5 และ 10 ไฟล์สำหรับสถานีที่ 6–11) แล้วให้ระบบคำนวณค่าเฉลี่ยเวลาโดยอัตโนมัติ ผู้ใช้งานสามารถลบหรือเปลี่ยนวิดีโอได้หากพบข้อผิดพลาด ดังตาราง 1 และตาราง 2

จากตาราง 1 ระบบคำนวณค่าทางสถิติที่ได้จากการประมวลผลวิดีโอในแต่ละสถานีงาน โดยได้คำนวณค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าพิสัย ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และจำนวนรอบที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้เห็นแนวโน้มของค่าเฉลี่ยเวลาทำงานของแต่ละสถานีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ได้ทำการนำเสนอข้อมูลดังกล่าวในรูปแบบกราฟแท่ง ดังภาพ 7

ระบบนำค่าเฉลี่ยจากแต่ละสถานีไปคำนวณเป็นเวลามาตรฐาน โดยใช้สูตรที่รวมค่าประสิทธิภาพ (PR) และค่าเผื่อ (allowance) ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับ

หลักวิศวกรรมอุตสาหการ และเหมาะแก่การประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง ดังตาราง 2

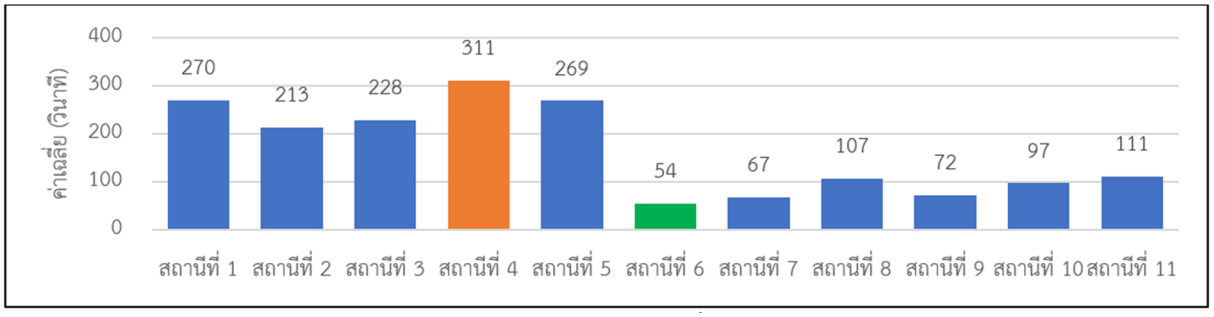
จากตาราง 1 และตาราง 2 จะเห็นได้ว่า แต่ละสถานีใช้เวลาแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยสถานีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 311 วินาที และมีเวลามาตรฐาน 358 วินาที ในขณะที่สถานีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยเพียง 54 วินาที และเวลามาตรฐาน 62 วินาที แสดงให้เห็นว่างานในแต่ละสถานีไม่จำเป็นต้องใช้เวลาเท่ากัน เนื่องจากลักษณะของกิจกรรมมีความซับซ้อนแตกต่างกัน เช่น สถานีประกอบหลัก (main assembly) มีขั้นตอนจำนวนมากจึงใช้เวลามากกว่าสถานีตรวจสอบหรืองานเคลื่อนย้าย

นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) ของแต่ละสถานียังสะท้อนถึงความสม่ำเสมอในการทำงาน เช่น สถานีที่ 1 มีค่า CV เพียง 0.74% แสดงว่ามีความเสถียรสูง ส่วนสถานีที่ 7 มีค่า CV 5.97% บ่งบอกถึงความไม่สม่ำเสมอของเวลาในการทำงาน ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของทักษะแรงงานหรือความซับซ้อนของงานในบางรอบการผลิต

ตาราง 1

ค่าทางสถิติของแต่ละสถานี

สถานี	ค่าเฉลี่ย (วินาที)	ค่ามัธยฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	SD	พิสัย	CV (%)	จำนวนรอบที่เหมาะสม
สถานีที่ 1	270	270	266	273	2	7	0.74	1
สถานีที่ 2	213	211	204	222	7	19	3.29	4
สถานีที่ 3	228	226	220	245	9	24	3.95	5
สถานีที่ 4	311*	310	302	318	6	16	1.93	2
สถานีที่ 5	269	269	259	282	8	23	2.97	3
สถานีที่ 6	54*	54	52	55	1	3	1.85	2
สถานีที่ 7	67	68	61	73	4	12	5.97	11*
สถานีที่ 8	107	107	100	114	4	14	3.74	5
สถานีที่ 9	72	73	66	77	3	11	4.17	6
สถานีที่ 10	97	97	92	103	3	11	3.09	3
สถานีที่ 11	111	110	106	116	3	10	2.7	3



ภาพ 7 แสดงหน้าจอในส่วนของผลลัพธ์แสดงค่าเฉลี่ยเวลาการทำงานของแต่ละสถานี

ตาราง 2

การคำนวณเวลามาตรฐานแต่ละสถานี

สถานี	ค่าเฉลี่ยเวลา(วินาที)	PR (%)	Allowance (%)	เวลามาตรฐาน (วินาที)
สถานีที่ 1	270	100	15	311
สถานีที่ 2	213	100	15	245
สถานีที่ 3	228	100	15	263
สถานีที่ 4	311	100	15	358
สถานีที่ 5	269	100	15	310
สถานีที่ 6	54	100	15	62
สถานีที่ 7	67	100	15	78
สถานีที่ 8	107	100	15	123
สถานีที่ 9	72	100	15	84
สถานีที่ 10	97	100	15	112
สถานีที่ 11	111	100	15	128

การเปรียบเทียบระบบเดิมกับระบบที่พัฒนา

วิธีจับเวลาด้วยมือ (stopwatch method) เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันแพร่หลายในสายการผลิต เนื่องจากมีความสะดวกและต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ ความต่อเนื่อง และไม่สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ ซึ่งมักทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากมนุษย์ (Wangchuk & Madan, 2023) ตรงกันข้ามระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ใช้การบันทึกวิดีโอควบคู่กับการสแกนบาร์โค้ดในช่วงเริ่มและสิ้นสุดการทำงานทุกครั้ง ทำให้ได้ข้อมูลที่ตรงกับเวลาจริงในสายการผลิตและสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้หลายครั้ง ช่วยลดความผิดพลาดจากมนุษย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบเชิงปริมาณพบว่า หากใช้ Stopwatch Method ผู้วิจัยจะต้องทำการบันทึกเวลารวม 110 ครั้ง (11 สถานี×10 รอบ) ขณะที่ระบบที่พัฒนาในครั้งนี้สามารถประมวลผลอัตโนมัติจากวิดีโอโดยไม่ต้องพึ่งแรงงานคน ซึ่งถือเป็นการลดภาระงานได้ทั้งหมด อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติได้อย่างละเอียด เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ข้อมูลจากตาราง 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าสถานีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเวลา 311 วินาที และมีเวลามาตรฐาน 358 วินาที ในขณะที่สถานีที่ 6 ใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 54 วินาที และมีเวลามาตรฐาน 62 วินาที ความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนว่า ลักษณะงานแต่ละสถานีไม่จำเป็นต้องใช้เวลาเท่ากัน นอกจากนี้ ค่า CV ของสถานีที่ 1 อยู่ที่ 0.74% ซึ่งบ่งชี้ถึงความสม่ำเสมอของการทำงาน ในขณะที่สถานีที่ 7 มีค่า CV สูงถึง 5.97% แสดงถึงความแปรปรวนของเวลาการทำงาน ข้อมูลในลักษณะนี้เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์และตัดสินใจด้านการปรับปรุงสายการผลิต ซึ่งไม่สามารถทำได้โดยวิธี Stopwatch แบบดั้งเดิม

ในเชิงคุณภาพ ระบบใหม่ยังมีข้อได้เปรียบที่ชัดเจนกว่าวิธีเดิม ได้แก่ ความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลังจากวิดีโอ ความสะดวกในการแสดงผลเป็นกราฟและตารางโดยอัตโนมัติ และการลดความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องเฝ้าสังเกตจับเวลาโดยตรง ข้อได้เปรียบดังกล่าวทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลไปใช้ต่อยอดในระบบวางแผนการผลิต หรือการวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นแม้ระบบใหม่จะยังไม่เปรียบเทียบกับ Stopwatch แบบเชิงทดลองโดยตรง แต่ด้วยกลไกการบันทึกวิดีโอที่ใช้ระบบสแกนบาร์โค้ดเพื่อจับช่วงเริ่มและสิ้นสุดการทำงาน ทำให้เวลาที่ได้ใกล้เคียงกับเวลาจริงในสายการผลิต อีกทั้งยังให้ข้อมูลที่ครบถ้วนและสอดคล้องกับลักษณะงานจริงมากกว่า จึงถือว่า ระบบนี้สามารถทดแทนวิธีการเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้

ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

จากการทดสอบระบบพบปัญหาบางประการ เช่น ไฟล์วิดีโอที่อัปโหลดไม่สมบูรณ์ ผู้ใช้งานบางรายลืมกรอกข้อมูล หรือดำเนินการไม่ถูกต้องตามขั้นตอน ส่งผลให้การประมวลผลล่าช้าและไม่ครบถ้วน อุปสรรคอีกประการ คือ ระบบยังไม่รองรับการใช้งานผ่านอุปกรณ์มือถือ ทำให้การเข้าถึงในบางกรณีไม่สะดวก

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางปรับปรุง ได้แก่ การเพิ่มระบบแจ้งเตือนเมื่อไฟล์หรือข้อมูลไม่สมบูรณ์ การปรับอินเทอร์เฟซให้ใช้งานง่ายและลดความผิดพลาดจากผู้ใช้ รวมถึงการขยายการรองรับไปยังแพลตฟอร์มมือถือเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและการเข้าถึงในอนาคต

นอกจากนี้ ระบบต้นแบบที่พัฒนายังไม่สามารถจับช่วงเวลาอัตโนมัติได้ ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการพัฒนาต่อยอดโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Computer Vision และ AI เพื่อช่วยตรวจจับช่วงเวลาโดยไม่ต้องพึ่งการกรอกข้อมูลจากผู้ใช้ อย่างไรก็ตาม ข้อเสนอนี้เป็นเพียงแนวทางในอนาคต ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของระบบที่ใช้งานในปัจจุบัน

ตาราง 3

แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างวิธีเดิม (stopwatch method) และระบบที่พัฒนา

เกณฑ์เปรียบเทียบ	Stopwatch Method(ระบบเดิม)	ระบบที่พัฒนา
การเก็บข้อมูล	ต้องจับเวลาทุกครั้งด้วยคน (11 สถานี × 10 รอบ = 110 ครั้ง)	อัปโหลดวิดีโอครั้งเดียว ระบบคำนวณอัตโนมัติ
ความแม่นยำ	เสี่ยงต่อ Human Error (กดช้า/เร็ว)	อ้างอิงจากวิดีโอและสแกนบาร์โค้ด ใกล้เคียงเวลาจริง
การตรวจสอบย้อนหลัง	ทำไม่ได้ ต้องจับเวลาใหม่	ทำได้ วิดีโอสามารถเล่นซ้ำและตรวจสอบหลายครั้ง
ข้อมูลสถิติ	ได้เพียงค่าเฉลี่ย	ได้ Mean, Median, Min, Max, SD, CV, Standard Time
แรงงานที่ใช้	ต้องใช้บุคลากรเฝ้าสังเกต	ลดแรงงานในการบันทึกเวลา
การวิเคราะห์	จำกัดการเปรียบเทียบ	มีกราฟตารางแสดงความแตกต่างแต่ละสถานีชัดเจน
ข้อได้เปรียบเชิงอุตสาหกรรม	ใช้งานง่ายแต่ข้อมูลจำกัด	แม่นยำกว่า สะดวกกว่า และรองรับการใช้งานจริงในโรงงาน

สรุปและอภิปรายผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานวิจัยเรื่องวิเคราะห์ค่าเวลาการทำงานจากวิดีโอในสายการผลิตอุตสาหกรรม พบว่าระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จริง โดยรองรับการอัปโหลดวิดีโอ คำนวณเวลาการทำงานในแต่ละรอบ และแสดงค่าทางสถิติทั้งในรูปแบบตารางและกราฟ ผู้ใช้งานยังสามารถกำหนดจำนวนรอบ ประสิทธิภาพแรงงาน (PR) และค่าเผื่อ (allowance) ได้เอง ส่งผลให้การคำนวณเวลามาตรฐานมีความยืดหยุ่นและเหมาะสมกับบริบทขององค์กร เมื่อเปรียบเทียบกับ Stopwatch Method ระบบใหม่ช่วยลดการบันทึกเวลาที่ต้องทำด้วยคนกว่า 110 ครั้ง เหลือเพียงการอัปโหลดวิดีโอครั้งเดียวต่อสถานี จึงลดภาระและความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงานได้อย่างชัดเจน

ผลการทดลองกับสายการผลิตจำลอง 11 สถานี แสดงให้เห็นว่าลักษณะงานส่งผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ เช่น สถานีที่ 4 (main assembly) ใช้เวลามากที่สุด เนื่องจากเป็นงานประกอบซับซ้อน ขณะที่สถานีที่ 6 (inspection) ใช้เวลาน้อยที่สุดเพราะเป็นงานตรวจสอบที่มีขั้นตอนน้อยและมีเครื่องมือช่วย นอกจากนี้ การใช้ค่าความแปรปรวน (CV) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ยังช่วยยืนยันความต่อเนื่องและความแม่นยำของข้อมูล โดยพบว่าสถานีที่ 1 มีค่า CV ต่ำสุดเพียง 0.74% แสดงถึงความเสถียรของผลลัพธ์ ข้อมูลที่ได้จึงสามารถนำไปใช้ปรับปรุงสายการผลิต เช่น การลด bottleneck การจัดสรรแรงงานให้เหมาะสม และการเชื่อมต่อกับระบบ ERP เพื่อสนับสนุนการวางแผนการผลิต

ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นไม่เพียงแต่เพิ่มความแม่นยำและลดภาระงาน แต่ยังให้ข้อมูลเชิงสถิติที่ช่วยวิเคราะห์ประสิทธิภาพทั้งรายสถานีและเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ในระดับโรงงาน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยครั้งนี้ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากระบบยังไม่สามารถจับช่วงเวลาอัตโนมัติได้ และยังคงอาศัยการป้อนข้อมูลบางส่วนจากผู้ใช้ ข้อเสนอแนะเรื่องการประยุกต์ใช้ AI จึงเป็นเพียงแนวทางการพัฒนาต่อยอดในอนาคต ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของระบบต้นแบบในปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้อุปกรณ์บันทึกวิดีโอที่มีคุณภาพ และจัดเตรียมกระบวนการตรวจสอบไฟล์ก่อนนำเข้าสู่ระบบ

2. ผู้ใช้งานควรได้รับคำแนะนำหรือคู่มือการใช้งาน เพื่อให้สามารถใช้งานระบบได้อย่างถูกต้อง

3. ควรพัฒนาระบบให้สามารถตรวจจับช่วงเวลาการทำงานโดยอัตโนมัติ

4. รองรับการใช้งานผ่านอุปกรณ์พกพา และเพิ่มระบบแจ้งเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาด

5. เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลถาวรเพื่อเก็บข้อมูลย้อนหลัง

References

Akpan, E. O. P., & Amade, B. (2024). Standard time scenario in the production system dynamics. *PM World Journal, 13*(8), 1-10. Retrieved from https://pmworldjournal.com/article/standard-time-scenario-in-the-production-system-dynamics

Department of Industrial Promotion. (2020). *Guidelines for analyzing production line efficiency*. Bangkok: Office of Industrial Economics. (in Thai)

Gurav, V., & Upadhyay, A. (2025). A computer vision-based motion time study for manufacturing assembly line. *Industrial Engineering Journal, 54*(3), 112–120. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/389692640_A_Computer_Vision-Based_Motion_Time_Study_for_Manufacturing_Assembly_Line

Ji, J., Pannakkong, W., & Buddhakulsomsiri, J. (2022). A computer vision-based model for automatic motion time study. *Computers, Materials & Continua, 73*(2), 3279–3297. https://doi.org/10.32604/cmc.2022.030418

MDN Web Docs. (2025). *The video embed element*. Retrieved from https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML/Element/video

Patel, H., Vaghela, S., & Singh, M. D. (2024). Enhancing productivity in small scale manufacturing industry through work study approach: A case study. *International Journal of Research in Engineering and Science, 12*(1), 150–157. Retrieved from https://www.ijres.org/papers/Volume-12/Issue-1/1201150157.pdf

Pornsiri Kamla, Natthawut Srikham, & Suthida Songkhun. (2021). Application of direct time study for analyzing the production process of ready-mixed concrete in a factory. *Proceedings of the 2021 Industrial Engineering Network Conference* (pp. 84-89). Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University. (in Thai)

Ramadhan, S. C. R., & Hartati, V. (2024). Identification of standard times to determine production capacity: A case study. In V. Mardiansyah & B. A. Prasetyo (Eds.), *Proceedings of the Widyatama International Conference on Engineering 2024 (WICOENG 2024)* (pp. 184-191). Atlantis Press

Shedage, J., Deshpande, M., & Khot, S. (2020). Production line balancing using video based line balancing software. *International Research Journal of Engineering and Technology, 7*(10), 950–954. Retrieved from https://mail.irjet.net/archives/V7/i10/IRJET-V7I10120.pdf

Spot AI. (2024). *Using video analytics for manufacturing*. Retrieved from https://www.spot.ai/articles/video-analytics-for-manufacturing

Wangchuk, S., & Madan, A. K. (2023). Stopwatch method for assembly line production. *International Journal of Advances in Engineering and Management, 5*(1), 39–45. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/366953783_Stopwatch_Method_For_Assembly_Line_Production

Xiang, Z., Horváth, J., Baireddy, S., Bestagini, P., Tubaro, S., & Delp, E. J. (2021). Forensic analysis of video files using metadata. *In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops* (pp. 1862–1871). IEEE.

ประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีต่อความร่วมมือในการใช้ยา: การศึกษาเชิงคุณภาพ

Experiences of Patients with Major Depressive Disorder Regarding Medication Adherence: A Qualitative Study

วันเพ็ญ แสงสงวน[1] และณภาภัช ใบตระกูล[1]*

Wanphen Sangsanguan[1] and Napapat Baitrakool[1]*

[1]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

[1]School of Nursing, Eastern Asia University

*Corresponding author: napapat@eau.ac.th

Received: February 17, 2025

Revised: April 4, 2025

Accepted: April 11, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีต่อความร่วมมือในการใช้ยา โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพแบบปรากฏการณ์วิทยา กลุ่มผู้ให้ข้อมูลคือผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่ได้รับการวินิจฉัยจากจิตแพทย์โดยใช้เกณฑ์การวินิจฉัยโรค DSM-5 และมีประสบการณ์การใช้ยารักษาโรคซึมเศร้า จำนวน 15 ราย คัดเลือกโดยวิธีการแบบเจาะจง เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2568 ดำเนินการสัมภาษณ์เชิงลึกโดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง และใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัย พบข้อมูล 4 ด้าน ได้แก่ (1) ความหมายของการใช้ยาในมุมมองของผู้ป่วย พบว่า มีความตระหนักในการใช้ยาเพื่อควบคุมอารมณ์นำมาซึ่งพฤติกรรมใช้ยาอย่างสม่ำเสมอเป็นกิจวัตร (2) ปัจจัยที่ส่งผลต่อความร่วมมือในการใช้ยา พบว่า มีบุคคลในครอบครัวให้การสนับสนุนในการรับประทานยาและบุคลากรทางการแพทย์ให้ความรู้ ติดตามอาการเป็นอย่างดี (3) อุปสรรคต่อความร่วมมือในการใช้ยา พบว่า ผู้ป่วยกลัวติดยา และมีความเชื่อว่าการเจ็บป่วยทางจิตใจสามารถหายได้เอง ขาดความเข้าใจเกี่ยวกับโรคซึมเศร้า (4) ผลลัพธ์จากความร่วมมือในการใช้ยา ด้านการควบคุมอาการและอารมณ์ พบว่า ยาต้านซึมเศร้าช่วยให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น สามารถแสดงบทบาททางสังคมและดำเนินชีวิตได้ตามปกติ มีความภาคภูมิใจในคุณค่าของตนเองจากการจัดการตนเองได้ สรุปได้ว่า ผู้ป่วยโรคซึมเศร้ามีประสบการณ์และมุมมองต่อการใช้ยาที่หลากหลาย ทั้งด้านประโยชน์และข้อจำกัด ที่ส่งผลต่อระดับความร่วมมือในการใช้ยา ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อความต่อเนื่องและประสิทธิผลของการรักษาในระยะยาว

คำสำคัญ: ประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้า ความร่วมมือในการใช้ยา การศึกษาเชิงคุณภาพ

Abstract

This study aimed to explore the experiences of patients with depression regarding medication adherence. A qualitative phenomenological research design was employed. The participants were 15 patients, diagnosed with depression by psychiatrists using DSM-5 criteria, who had prior experience with antidepressant medication. Participants were selected purposively. Data were collected through in-depth, semi-structured interviews conducted between August and October 2025 and were analyzed using content analysis. The results revealed four key aspects: (1) Perceptions of medication use: Patients revealed an awareness of using medication to control emotions, which resulted in consistent medication-taking behavior as part of their daily routine. (2) Factors influencing medication adherence: Family members played a supportive role in helping patients take their medication, while healthcare professionals provided knowledge and closely monitored their symptoms. (3) Barriers to medication adherence: Patients expressed fears of becoming dependent on medication, held beliefs that mental illness could be cured without medication, and lacked adequate understanding of depression. (4) Outcomes of medication adherence: Antidepressants enabled patients to better control their symptoms and emotions, resulting in improved quality of life, the ability to resume social roles, and a sense of self-worth through successful self-management. In conclusion, patients with depression exhibit diverse experiences and perspectives regarding medication use, encompassing both perceived benefits and limitations.

Keywords: experiences of patients with major depressive disorder, medication adherence, a qualitative study

บทนำ

โรคซึมเศร้าเป็นปัญหาสุขภาพจิตที่มีอุบัติการณ์สูงทั่วโลก และถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตและการทำงานของผู้ป่วย (World Health Organization, 2023) โดยผู้ป่วยโรคซึมเศร้ามักประสบกับอาการเศร้าหมอง อารมณ์แปรปรวน และความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันลดลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตอย่างมีความสุขและมีประสิทธิภาพ (American Psychiatric Association, 2022) ในการศึกษานี้อาการของโรคซึมเศร้า (Major Depressive Disorder: MDD) เป็นไปตามเกณฑ์การวินิจฉัยของ Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition (DSM-5) ซึ่งอุบัติการณ์ของโรคซึมเศร้า(Major Depressive Disorder) ทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปี (Cui, et al., 2024) ในปี 2020 มีความชุก (prevalence) ประมาณ 246 ล้านคน หรือคิดเป็น 3,152.9 รายต่อประชากร 100,000 คน และเพิ่มขึ้นอีก 53.2 ล้านคน (เพิ่มขึ้น 27.6%) เนื่องจากผลกระทบจากการระบาดของ COVID-19 (Zhang, et al., 2025) สำหรับประเทศไทยโรคซึมเศร้าเป็นสาเหตุทำให้เกิดความพิการสูงเป็นอันดับ 6 และมีความชุก (prevalence) อยู่ที่ 19.4% (Tangthong & Manomaipiboon, 2023)

การรักษาโรคซึมเศร้าในปัจจุบันเน้นการใช้ยาต้านเศร้า (antidepressants) ร่วมกับการบำบัดทางจิต ซึ่งการปฏิบัติตามการใช้ยาต้านซึมเศร้าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อ

ผลลัพธ์การรักษาที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม การรักษาโรคซึมเศร้ายังเผชิญกับปัญหาความร่วมมือในการใช้ยาของผู้ป่วยที่ไม่สม่ำเสมอหรือขาดยา เป็นผลให้ป่วยซ้ำ เป็นผู้ป่วยเรื้อรังได้ (Marasine & Sankhi, 2021) ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น อาการข้างเคียงของยา ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคและการรักษา รวมถึงปัจจัยทางจิตใจและสังคม (Meng, Chiu & Papoushek, 2024) จากการศึกษาของ Solmi et al. (2021) ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic review) โดยมีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อ ความร่วมมือในการใช้ยาต้านเศร้า (antidepressant adherence) ในผู้ป่วยโรคซึมเศร้า และนำเสนอคำแนะนำเชิงคลินิกจำนวน 10 ข้อ เพื่อปรับปรุงการใช้ยาอย่างต่อเนื่องของผู้ป่วย เช่น การรับรู้ของผู้ป่วยเกี่ยวกับประสิทธิผลและผลข้างเคียงของยา ความเข้าใจเรื่องโรค การสนับสนุนจากครอบครัวและสังคม เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบัน การให้บริการรักษาพยาบาลด้านจิตเวชมีแนวโน้มให้ความสำคัญกับการมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและญาติในการวางแผนการรักษาร่วมกัน โดยเน้นแนวคิดแบบผู้ป่วยเป็นศูนย์กลาง (patient-centered care) ซึ่งมุ่งหวังให้ผู้ป่วยมีบทบาทเชิงรุกในการดูแลสุขภาพของตนเอง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้ยาต้านเศร้าจะเป็นวิธีการรักษาหลักสำหรับผู้ป่วยโรคซึมเศร้า แต่การที่ผู้ป่วยจะใช้ยาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอนั้นจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจที่ละเอียดลึกซึ้ง โดยเฉพาะจากประสบการณ์และความรู้สึกผ่านมุมมองของผู้ป่วย ซึ่งงานวิจัยด้านนี้ยังมีน้อย และเป็นที่น่าสนใจว่าข้อมูลเหล่านี้มีค่าในการสะท้อนปัจจัยที่เอื้อต่อหรือลดทอนความร่วมมือในการใช้ยา เป็นประโยชน์ต่อบุคลากรทางสุขภาพที่จะนำไปใช้ให้เหมาะสมกับบริบทและความต้องการของผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น นำไปสู่การให้คำปรึกษาและการเสริมสร้างแรงจูงใจที่ตรงจุด ลดความกังวล สร้างความเชื่อมั่น และเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาในระยะยาว ซึ่งงานวิจัยปัจจุบันส่วนใหญ่เน้นการประเมินความร่วมมือในการใช้ยาผ่านตัวชี้วัดเชิงปริมาณ เช่น อัตราการใช้ยา หรือการกลับมาป่วยซ้ำ แต่ยังมีงานวิจัยเชิงคุณภาพที่สำรวจประสบการณ์ ความรู้สึก และมุมมองของผู้ป่วยต่อการใช้ยาต้านเศร้าในชีวิตจริงค่อนข้างน้อย ซึ่งข้อมูลเชิงลึกเหล่านี้มีความสำคัญต่อการระบุปัจจัยที่เอื้อต่อหรือขัดขวางความร่วมมือในการใช้ยา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและสำรวจประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีต่อความร่วมมือในการใช้ยา เพื่อให้เข้าใจถึงปัจจัยและความหมายที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้ยาในชีวิตจริงของผู้ป่วยและนำไปสู่การพัฒนาการดูแลรักษาที่ตอบสนองความต้องการและบริบทของผู้ป่วยได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีต่อความร่วมมือในการใช้ยา

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้ใช้หลักแนวคิดของทฤษฎีการดูแลตนเองของ Orem (Orem’s Self-Care Theory) เน้นบทบาทของผู้ป่วยในการดูแลสุขภาพตนเองในด้านการใช้ยา ภายใต้การดูแลของแพทย์และได้รับคำแนะนำในการปฏิบัติตัวจากพยาบาลอย่างไรก็ตาม การวิจัยเชิงคุณภาพแบบปรากฏการณ์วิทยามักไม่ได้อาศัยกรอบทฤษฎีเป็นพื้นฐานที่ชัดเจน แต่เน้นการเข้าใจประสบการณ์ตรงของผู้ให้ข้อมูลหลัก การใช้แนวคิดของ Orem จึงถูกปรับใช้เป็นแนวทางเพื่อช่วยอธิบายและตีความประสบการณ์ของผู้ป่วยในการจัดการและปฏิบัติตามการใช้ยา โดยยึดข้อมูลจากประสบการณ์จริงของผู้ป่วยเป็นแกนหลักของการศึกษา (Lohacheewa & Chanapan, 2020; Tanaka, 2022) ซึ่งความสอดคล้องกับการวิจัยเชิงคุณภาพแบบปรากฏการณ์วิทยา ที่เน้นการเข้าใจประสบการณ์ตรงของผู้ให้ข้อมูล ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มาตรวจตามนัดเพื่อรับการรักษาต่อเนื่อง สามารถรับรู้การเจ็บป่วยของตนเอง และให้ข้อมูลได้ และพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยเกิดจากความตั้งใจที่มีแบบแผน มีการเรียนรู้ถึงผลของการกระทำและผลของการกระทำนั้น ๆ มาจากการตระหนักรู้ด้วยตนเองจากการได้รับการสอนหรือคำแนะนำ

หรือเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงของตนเองในชีวิตประจำวัน และยังสามารถนำความรู้นั้นมาใช้จัดการกับปัจจัยที่ส่งเสริมหรือเป็นผลด้านลบต่อการกระทำปกติอีกด้วย (Lohacheewa & Chanapan, 2020)

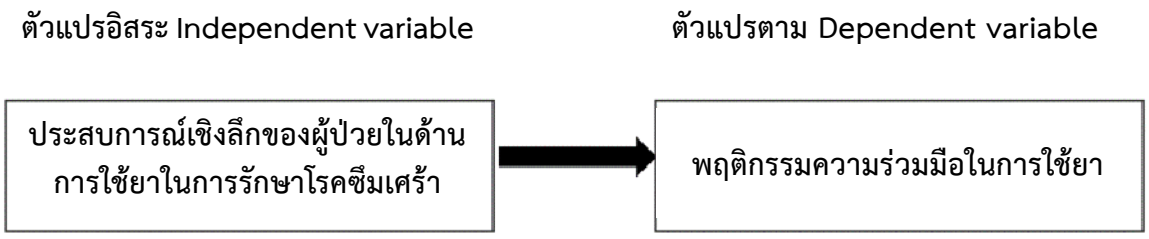
จากการศึกษาของ Tepsuan (2025) เรื่องการศึกษาความสัมพันธ์ของความรู้ทัศนคติต่อความร่วมมือในการกินยาของผู้ป่วยโรคซึมเศร้า ในรูปแบบการศึกษาเชิงปริมาณ พบว่า ผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีความรู้เกี่ยวกับโรคและทัศนคติเชิงบวกต่อการรักษามีความร่วมมือในการกินยาสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ การให้ความรู้และส่งเสริมทัศนคติเชิงบวกจึงช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอในการใช้ยาและอาจส่งผลดีต่อการรักษาโรคซึมเศร้า นอกจากนี้ Sripirom, Jongjitwibrulphon and Wannarit (2022) ศึกษาเรื่องผลของโปรแกรมการให้สุขภาพจิตศึกษาต่อความร่วมมือในการรับประทานยาในผู้ป่วยโรคซึมเศร้า ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มผู้ป่วยมีคะแนนเฉลี่ยความร่วมมือในการรับประทานยาในระดับสูงหลังได้รับความรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.01$) สำหรับการศึกษาในต่างประเทศ ในด้านการศึกษาเชิงปริมาณ เช่น del Pino-Sedeño et al. (2024) ศึกษาการให้โปรแกรมความรู้ที่มีหลายองค์ประกอบ โดยกลุ่มที่ได้รับความรู้มีอัตราการใช้ยาต่อเนื่องในช่วง 3–6 เดือนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกลุ่มที่ได้รับการติดตามใกล้ชิดและได้รับข้อมูลสุขภาพจิตควบคู่กัน

นอกจากนี้ Pedrosa-Naudín et al. (2022) ศึกษาพฤติกรรมการใช้ยาและปัจจัยที่สัมพันธ์กับการไม่ใช้ยาตามแผนการรักษาพบว่า อัตราการไม่ร่วมมือในการใช้ยาต้านเศร้าอยู่ในระดับค่อนข้างสูง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ เพศ อายุ ประเภทของยาที่ใช้ และโรคร่วมทางกาย

ในการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ Hamlin et al (2023) ศึกษาเรื่อง ประสบการณ์ของผู้ป่วยในการติดตามการรักษาด้วยยาต้านอาการซึมเศร้าแบบดิจิทัลในการดูแลผู้ป่วยนอกจิตเวช: การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ พบว่า แอปพลิเคชันดิจิทัลเป็นส่วนเสริมที่มีคุณค่าต่อการรักษาด้วยยาต้านอาการซึมเศร้า ช่วยเน้นย้ำให้เกิดความร่วมมือในการใช้ยามากขึ้น และจากการทบทวนวรรณกรรม ยังไม่พบการศึกษาในด้านประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีต่อความร่วมมือในการใช้ยาแบบการศึกษาเชิงคุณภาพที่ไปสัมภาษณ์ผู้ป่วยโดยตรง จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้

สรุปได้ว่า การศึกษาที่ผ่านมา เป็นการศึกษาในเชิงปริมาณ ยังไม่พบการศึกษาในเชิงคุณภาพที่มีวิธีการสัมภาษณ์ผู้ป่วยโดยตรง ที่ใช้วิธีการตามหลักการของการวิจัยเชิงคุณภาพ

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 1 กรอบแนวความคิด

การวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพแบบปรากฏการณ์วิทยา (phenomenology) เพื่อศึกษาประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้า โดยศึกษาความหมายและสาระสำคัญของประสบการณ์ผู้ป่วยในการใช้ยาและพฤติกรรมความร่วมมือในการใช้ยา ผ่านมุมมอง ความรู้สึกและการตีความของผู้ป่วยเองซึ่งจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมความร่วมมือในการใช้ยามากขึ้น โดยการศึกษาใช้หลักทฤษฎีของโอเร็มในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้ารับการสัมภาษณ์

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีรูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบปรากฏการณ์วิทยา (phenomenology) เพื่อศึกษาประสบการณ์และความหมายที่ผู้ป่วยโรคซึมเศร้าได้มีต่อความร่วมมือในการใช้ยา (medication adherence) โดยวิธีวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (content analysis)

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาปรากฏการณ์วิทยาแบบตีความ (hermeneutic phenomenology) โดยใช้หลักการตีความของ Colaizzi (1978) โดยใช้หลักวิเคราะห์ข้อมูลระบุประเด็นสำคัญ ตีความ จัดกลุ่ม และรวมธีมประเด็นสำคัญ และมีการยืนยัน เพื่อให้แน่ใจว่าการตีความสอดคล้องกับความเข้าใจของผู้ป่วย

ประชากร

ประชากร คือ ผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่ได้รับการวินิจฉัยว่า เป็นโรคซึมเศร้า (major depressive disorder) ตามเกณฑ์การวินิจฉัยโรคของ DSM-5: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders Fifth Edition และมีประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้ยาต้านเศร้า (antidepressants) โดยเป็นผู้ที่อยู่ระหว่างได้รับการรักษา

กลุ่มตัวอย่าง

ผู้ให้ข้อมูล คือ ผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค ซึมเศร้า (Major Depressive Disorder: MDD) ตามเกณฑ์การวินิจฉัยโรคของ DSM-5 ได้รับการรักษาที่โรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่งและอยู่ในระยะที่สามารถให้ข้อมูลได้ คัดเลือกผู้ให้ข้อมูลแบบเฉพาะเจาะจงตามเกณฑ์การคัดเข้า (inclusion criteria) ดังนี้ (1) อายุ 18 ปีขึ้นไป (2) ได้รับการวินิจฉัยจากจิตแพทย์ว่าเป็นโรคซึมเศร้า (3) รับประทานยาต้านเศร้าเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน (4) ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria) มีดังนี้ (1) ได้รับการวินิจฉัยโรคทางจิตเวชอื่นร่วมด้วย เช่น โรคจิตเภท (schizophrenia) โรคอารมณ์สองขั้ว (bipolar disorder) หรือโรคบุคลิกภาพผิดปกติ ซึ่งอาจส่งผลต่อการแสดงอาการซึมเศร้าและพฤติกรรมการใช้ยา (2) มีภาวะสมองเสื่อมหรือความบกพร่องทางสติปัญญา (cognitive impairment) ที่รบกวนการสื่อสาร และให้ข้อมูลได้อย่างครบถ้วน (3) อยู่ในภาวะวิกฤตทางจิตเวช เช่น มีความคิดหรือพฤติกรรมฆ่าตัวตายอย่างรุนแรงในขณะสัมภาษณ์ ซึ่งอาจเสี่ยงต่อความปลอดภัยของผู้ป่วย (4) ไม่สามารถสื่อสารภาษาไทยได้อย่างชัดเจน หรือมีอุปสรรคด้านภาษา ทำให้ไม่สามารถสัมภาษณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการเข้าถึงกลุ่มตัวอย่าง นำหนังสือขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลส่งผู้อำนวยการโรงพยาบาล และประสานงานกับพยาบาลผู้รับผิดชอบคลินิกจิตเวชเพื่อสัมภาษณ์และเก็บรวบรวมข้อมูลกับผู้ป่วยที่มารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาล จากนั้นได้ให้ข้อมูลชี้แจงกับผู้เข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ และติดตามผู้ป่วยทางโทรศัพท์สองครั้งเพื่อให้ข้อมูลอิ่มตัว จำนวน 15 คน (Suwathanpornkul, 2019) คัดเลือกตามเกณฑ์การคัดเข้าที่กำหนดไว้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. แบบบันทึกข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ให้ข้อมูล เป็นข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพสมรส ระดับการศึกษา อาชีพ ความพอเพียงของรายได้ เพื่อใช้อธิบายลักษณะทั่วไปของผู้ให้ข้อมูล

2. แบบสัมภาษณ์เชิงลึก ใช้แบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview guide) โดยใช้คำถามเปิด เช่น ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วย ประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้ยา ปัจจัยที่ส่งเสริมหรือเป็นอุปสรรคต่อความร่วมมือในการใช้ยา ผลลัพธ์ของความร่วมมือในการใช้ยา เป็นต้น

3. แบบบันทึกที่ได้จากการสังเกตในขณะสัมภาษณ์ เช่น การแสดงออกทางสีหน้า ท่าทาง ที่ผู้ให้ข้อมูลแสดงออกในขณะให้สัมภาษณ์

4. เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ และเครื่องบันทึกเสียง แบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม (field notes) แบบฟอร์มขอความยินยอม (informed consent form) ปากกา และสมุดบันทึก

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินการ ดังนี้

1. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างได้รับการตรวจสอบความตรงของเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ซึ่งมีความเชี่ยวชาญด้านการพยาบาลสุขภาพจิตและจิตเวช ประกอบด้วย อาจารย์พยาบาลผู้เชี่ยวชาญด้านการพยาบาลสุขภาพจิตและจิตเวชที่มีความเชี่ยวชาญในการดูแลผู้ป่วยโรคซึมเศร้า จำนวน 1 ท่าน พยาบาลวิชาชีพผู้มีระสบการณ์ในการดูแลผู้ป่วยจิตเวชในแผนกผู้ป่วยใน จำนวน 1 ท่าน และพยาบาลวิชาชีพผู้ให้บริการผู้ป่วยจิตเวชในแผนกผู้ป่วยนอก จำนวน 1 ท่าน โดยได้นำแบบสัมภาษณ์เสนอให้ผู้ทรงคุณวุฒิทั้งสามประเมินความสอดคล้องของแต่ละคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบสามระดับ ได้แก่ +1 = สอดคล้อง 0 = ไม่แน่ใจ และ –1 = ไม่สอดคล้อง จากนั้นคำนวณค่าดัชนีความตรงของเนื้อหารายข้อ (Item-Objective Congruence Index: IOC) โดยคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.67 ขึ้นไป ถือว่ามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยและสามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลจริงได้ (Suwathanpornkul, 2019) ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิไปปรับปรุงถ้อยคำและโครงสร้างของคำถามให้มีความชัดเจนเหมาะสม และตรงประเด็นมากยิ่งขึ้น

2. นำแบบสัมภาษณ์ไปทดลองใช้สัมภาษณ์ในกลุ่มผู้ป่วยโรคไบโพลาร์ที่เคยได้รับการรักษาในช่วงมีอาการซึมเศร้า จำนวน 5 ราย เพื่อประเมินความเข้าใจของผู้ป่วยที่มีต่อคำถาม

ความน่าเชื่อถือของข้อมูล

1. มีการสัมภาษณ์ซ้ำกับผู้ให้ข้อมูลคนเดิม เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูล และยืนยันข้อมูลเป็นความจริงที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

2. นำข้อมูลที่ถอดเทป มาตรวจสอบกับผู้ให้ข้อมูลซ้ำ เพื่อย้ำการตีความว่าถูกต้อง

3. ใช้วิธีการตรวจสอบสามเส้า (triangulation) ผู้วิจัยใช้วิธีการเก็บข้อมูลต่างกันโดยได้ตรวจสอบข้อมูลหลายมุมมอง จากแหล่งผู้ให้ข้อมูลหลายคนในบริบทเดียวกัน จากการสัมภาษณ์ จากการสังเกต และจากเอกสารเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกัน

4. มีการเก็บข้อมูลอย่างละเอียด โดยผู้วิจัยได้บันทึกข้อมูลของผู้ป่วยแต่ละคนอย่างละเอียด เพื่อเข้าใจบริบทของคำตอบได้ดีขึ้น

การพิทักษ์สิทธิ์

ในการวิจัย มีการให้ข้อมูลและขอความยินยอมอย่างเต็มใจ ชี้แจงการรักษาความลับและความเป็นส่วนตัวของผู้เข้าร่วม และขออนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย รหัสโครงการ 1/2567 เอกสารรับรองเลขที่ SN 2567-09 วันที่ 17 เมษายน 2568

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนสิงหาคม ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2568 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย

1. การขออนุมัติจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ผู้วิจัยดำเนินการขออนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของสถาบันที่เกี่ยวข้องก่อนเริ่มเก็บข้อมูล

2. การเตรียมเครื่องมือและแนวคำถามสัมภาษณ์ พัฒนาแนวคำถามสัมภาษณ์เชิงลึกแบบกึ่งโครงสร้างโดยอิงจากวัตถุประสงค์ของการวิจัย และผ่านการตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทดสอบเครื่องมือกับกลุ่มตัวอย่างนำร่อง 1–2 ราย และปรับปรุงตามความเหมาะสม

3. การคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลหลัก (key Informants) ใช้เทคนิคการเลือกแบบเจาะจง (purposive Sampling) โดยกำหนดคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเข้า (inclusion criteria) และคัดเลือกจำนวนผู้ให้ข้อมูลโดยใช้หลักอิ่มตัวของข้อมูล (data saturation) โดยประมาณ 15 ราย

4. การนัดหมายและเตรียมสถานที่สัมภาษณ์ ติดต่อผู้ให้ข้อมูลล่วงหน้าและนัดหมายวัน เวลา และสถานที่ที่สะดวกและเป็นส่วนตัว เช่น ห้องปรึกษาในคลินิก หรือห้องสัมภาษณ์ในโรงพยาบาล และจัดเตรียมเครื่องบันทึกเสียง และอุปกรณ์ที่จำเป็น เช่น แบบฟอร์มยินยอม เครื่องเขียน

5. การเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เชิงลึก ดำเนินการสัมภาษณ์โดยใช้แนวคำถามเปิด เพื่อให้ผู้ให้ข้อมูลเล่าประสบการณ์ด้วยตนเอง ใช้การสนทนาแบบไม่เป็นทางการสร้างความไว้วางใจ และเปิดโอกาสให้เล่าประสบการณ์ได้อย่างเต็มที่ การสัมภาษณ์ใช้เวลาประมาณ 45–60 นาทีต่อราย และบันทึกเสียงการสัมภาษณ์ทุกครั้งและจดบันทึกประกอบ

6. การรักษาความลับและการจัดเก็บข้อมูล เก็บข้อมูลทั้งหมดไว้ในรูปแบบไม่ระบุตัวตน (ใช้รหัส เช่น ID1 ID และจัดเก็บเอกสารและไฟล์เสียงในอุปกรณ์ที่มีรหัสผ่านและเข้าถึงได้เฉพาะผู้วิจัยเท่านั้น

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้สถิติเชิงปริมาณ คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และสถิติการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (qualitative content analysis) การวิเคราะห์ธีม (thematic analysis)

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนำเสนอเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง และ (2) ประสบการณ์ของผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีต่อความร่วมมือในการใช้ยา

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วยผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคซึมเศร้าจากจิตแพทย์ และมีประสบการณ์ในการรักษาด้วยยาต้านเศร้า เป็นเวลาอย่างน้อย 6 เดือน และให้ความร่วมมือหรือไม่ร่วมมือในการรับประทานยาต่อเนื่อง จำนวน 15 คน มีข้อมูลทั่วไป คือ เพศ (1) หญิง 10 คน (66.67%) (2) ชาย 5 คน (33.33%) อายุ (1) 25–44 ปี 11 คน (73.33%) (2) อายุ 45–64 ปี 4 คน (26.67%) ระดับการศึกษา (1) ประถมศึกษา 3 คน (20%) (2) มัธยมศึกษาตอนต้น 2 คน (13.33%) (3) มัธยมศึกษาตอนปลาย 4 คน (26.67%) (4) ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) 1 คน (6.67%) (5) ประกาศนียบัตรวิชาชีพขั้นสูง (ปวส.) 2 คน (13.33%) (6) ปริญญาตรี 3 คน (20%) อาชีพ (1) รับจ้าง 5 คน (33.33%) (2) ค้าขาย 4 คน (26.67%) (3) แม่บ้าน 2 คน (13.33%) (4) ไม่ได้ประกอบอาชีพ 4 คน (26.67%) ความเพียงพอของรายได้ (1) เพียงพอเหลือเก็บ 5 คน (33.33%) (2) เพียงพอ ไม่เหลือเก็บ 8 คน (53.34%) (3) ไม่เพียงพอ เป็นหนี้ 2 คน (13.33%) โรคประจำตัว (1) ทางกาย 10 คน (66.67%) (2) ไม่มีโรคประจำตัวทางกาย 5 คน (33.33%)

ส่วนที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์

จากตาราง 1 แสดงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ป่วยโรคซึมเศร้า จำนวน 15 คน ที่ผ่านการวิเคราะห์แบบการสังเคราะห์เนื้อหา (content analysis) โดยมีรายละเอียดข้อมูลจากการสัมภาษณ์ ดังนี้

ตาราง 1

สรุปหมวดหมู่ หมวดหมู่ย่อย และประเด็นความร่วมมือในใช้ยาต้านอาการซึมเศร้าในผู้ป่วยโรคซึมเศร้า

หมวดหมู่ (Category)	หมวดหมู่ย่อย (Sub-category)	ธีม (Theme)
1. ความหมายของการใช้ยาในมุมมองของผู้ป่วย	1.1 ความคาดหวังต่อยา	1.1.1 การใช้ยาเป็นเครื่องมือเพื่อการขจัดปัญหาความเจ็บป่วย
	1.2 การพึ่งพายาเพื่อควบคุมอารมณ์	1.2.1 การพึ่งพายาเพื่อหลีกหนีความไม่มั่นคงทางจิตใจ
	1.3 การใช้ยาเป็นกิจวัตร	1.3.1 ยา ส่วนหนึ่งของตารางชีวิตที่ต้องทำเสมอ
2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความร่วมมือในการใช้ยา	2.1 การสนับสนุนจากครอบครัว	2.1.1 การสนับสนุนจากครอบครัว
	2.2 การสนับสนุนของบุคลากรทางการแพทย์	2.2.1 บุคลากรทางการแพทย์ให้ความรู้ ติดตามอาการ และให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำ 2.2.1.1 แพทย์อธิบายเข้าใจ มองเห็นประโยชน์ 2.2.1.2 พยาบาลให้ความรู้ในการปฏิบัติคนทุกครั้งที่ไปตรวจตามนัด 2.2.1.3 อสม. ให้ความสนใจดูแลติดตามอาการอย่างต่อเนื่อง
3. อุปสรรคต่อความร่วมมือในการใช้ยา	3.1 อุปสรรคด้านผู้ป่วย	3.1.1 ความเชื่อเกี่ยวกับเรื่องยา 3.1.1.1 ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับโรคซึมเศร้า 3.1.1.2 ความกลัวการติดยา 3.1.2 ขาดความรู้ 3.1.2.1 ขาดความรู้เกี่ยวกับการออกฤทธิ์ของยา 3.1.3 การหลงลืมหรือเบื่อหน่าย 3.1.3.1 หมกมุ่นกับการทำงาน 3.1.3.2 มีความเบื่อหน่ายต่อการกินยา
	3.2 ตราบาป	3.2.1 ไม่อยากให้ใครทราบว่าป่วยจิตเวช
	3.3 อุปสรรคด้านอาการของโรค	3.3.1 อาการของโรคระดับรุนแรง 3.3.2 อาการของโรคทำให้ใช้ยาไปในทางอันตราย 3.3.2.1 ใช้ยาที่มีอยู่รับประทานเพื่อทำร้ายตนเอง
	3.4 อุปสรรคด้านยา	3.4.1 ผลข้างเคียงของยา 3.4.2ระยะเวลาการรักษาด้วยยา
	3.5 อุปสรรคด้านขาดการสนับสนุนจากสังคม	3.5.1 ขาดการสนับสนุนจากครอบครัว/คู่สมรส/เพื่อน
	3.6 อุปสรรคด้านการรับบริการด้านสาธารณสุข	3.6.1 การไปพบแพทย์บ่อยครั้ง 3.6.2 ยาในโรงพยาบาลไม่มีจำหน่าย
4. ผลลัพธ์จากความร่วมมือในการใช้ยา	4.1 การควบคุมอาการและอารมณ์	4.1.1 การเปลี่ยนแปลงและการฟื้นคืนคุณภาพชีวิต
	4.2 การกลับเข้าสู่บทบาททางสังคม	4.2.1 ทำงานได้เป็นปกติ
	4.3 ความภาคภูมิใจในการดูแลตนเอง	4.3.1 มีชีวิตปกติแบบก่อนป่วย

1. ความหมายของการใช้ยาในมุมมองของผู้ป่วย

1.1 ผู้ป่วยมีความคาดหวังต่อยา (1.1.1) มีการใช้ยาเป็นเครื่องมือเพื่อการขจัดปัญหาความเจ็บป่วย ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ฉันกินยาเพราะอยากหาย อยากกลับไปใช้ชีวิตเหมือนคนปกติ”(ผู้ให้ข้อมูล: ID3) “บางช่วงที่ฉันไม่สบาย นั่งนิ่ง ๆ ไม่ได้ ต้องเดินไปเดินมา ทำงานก็ยังเดิน เหมือนในใจมันร้อนรุ่ม เหมือนจะระเบิดออกมาอยู่ตลอดเวลา พูดก็เร็วมาก เหมือนสมองหยุดคิดไม่ได้ แต่หลังจากกินยา ฉันสงบลงได้ ฉันดีใจ ยาช่วยฉันได้” (ผู้ให้ข้อมูล: ID9) “ผมป่วยมานาน ช่วงแรก ๆ ผมคิดว่าไม่ได้เป็นอะไร จึงไม่กินยา คิดวนเวียนแต่เรื่องไม่ดี อยากตาย คุยให้คุณหมอฟัง ผมเข้าใจมากขึ้น แต่นั้นก็กินยามาตลอดช่วง 5 ปีมานี้ ผมกินยาครบ น้องสาวคอยจัดยาให้ทุกวัน ผมกินตามที่หมอบอก ไม่เคยขาด ผมกินยาก่อนนอนเร็ว 6 โมงเย็นผมก็กินแล้ว ง่วง หลับ ไม่กินยานอนไม่หลับ ยาช่วยให้ผมสดชื่นขึ้น ไม่คิดมาก ผมไปออกกำลังกายที่สนามฟุตบอลใกล้บ้านทุกวัน” (ผู้ให้ข้อมูล: ID14)

1.2 การพึ่งพายาเพื่อควบคุมอารมณ์ (1.2.1) ผู้ป่วยมีการพึ่งพายาเพื่อหลีกหนีความไม่มั่นคงทางจิตใจ ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ยาช่วยให้ฉันนอนหลับ ถ้าไม่กินฉันจะคิดฟุ้งซ่าน จะนอนไม่หลับเลย” (ผู้ให้ข้อมูล: ID2) “ฉันพยายามนอนตั้งแต่สามทุ่ม แต่กว่าจะหลับจริง ๆ ก็เกือบตีสองทุกคืนเลย ไม่รู้เป็นอะไร กินยาที่หมอให้มาก็ไม่หลับ จนบางครั้งคิดว่า ยาไม่ได้ช่วยอะไร ไม่อยากกิน แต่ยังไม่เคยหยุดกินนะ ไม่กล้า ได้แต่คิด กลัวจะป่วยมากกว่านี้ ฉันอยากหายป่วย เวลาที่หลับได้ใจฉันเบาขึ้น หยุดคิดซ้ำ ๆ ได้” (ผู้ให้ข้อมูล: ID9) “ในช่วงเริ่มกินยา ฉันมีอารมณ์เศร้ามาก กินยาแล้วไม่ดีขึ้น สงสัยว่าทำไมยาไม่ออกฤทธิ์ แต่ประมาน 1 เดือนหลังจากนั้น ฉันนอนหลับได้ดีขึ้น” (ผู้ให้ข้อมูล: ID11)

1.3 การใช้ยาเป็นกิจวัตรประจำวัน (1.3.1) ยาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตที่ต้องทำเสมอ ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ“เหมือนกินข้าว กินยา มันเป็นกิจวัตรไปแล้ว”(ผู้ให้ข้อมูล: ID3)“ช่วง 10 ปีมานี้ ผมกินยาครบทุกมื้อ น้องสาวคอยจัดยาให้ทุกวัน ผมกินตามที่หมอบอก ไม่เคยขาด ผมกินยาก่อนนอนเร็ว 6 โมงเย็นผมก็กินแล้ว ง่วง หลับ ไม่ต้องกินยานอนหลับ ยาช่วยให้ผมสดชื่นขึ้น ไม่คิดมาก ผมไปออกกำลังกายที่สนามฟุตบอลใกล้บ้านทุกวัน ยาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตผม” (ผู้ให้ข้อมูล: ID14) “สมองมันตื้อไปหมด คิดอะไรก็ไม่ออก ไม่อยากทำอะไรเลย แม้แต่จะขยับตัวก็ไม่มีแรง ถึงแม้อาการจะหนักแต่ฉันก็กินยา สามีหยิบยาให้กิน ฉันกินยาครบทุกมื้อ” (ผู้ให้ข้อมูล: ID15)

2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความร่วมมือในการใช้ยา

2.1 การสนับสนุนจากครอบครัว (2.1.1) ในด้านปัจจัยแวดล้อมที่หล่อหลอมพฤติกรรมการกินยา ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “สงสารแม่ ฉันป่วยเป็นภาระแทนที่ฉันจะดูแลแม่ แม่ต้องมาดูแลฉัน ฉันไม่เคยขาดยา เพราะแม่จัดยาให้ฉันกิน งานก็ไม่มีทำ บางครั้งอยากตาย แม่ก็มาคอยอยู่กับฉัน พูดให้กำลังใจ ฉันรู้สึกไม่มีค่า เป็นภาระของแม่ ฉันบาปจริง ๆ” (ผู้ให้ข้อมูล: ID2) “ในช่วงที่ฉันมีอารมณ์เศร้ารุนแรงมาก ฉันคิดไม่อยากมีชีวิตอยู่ ไม่อยากกินยา บางครั้งมีหูแว่ว บอกให้ฆ่าตัวตาย จะได้สิ้นเรื่อง แต่ฉันคิดถึงเหลน อายุเพิ่ง 9 ขวบ ถ้าฉันตาย เขาจะอยู่กับใคร ฉันจึงต้องกินยาตามหมอบอก” (ผู้ให้ข้อมูล: ID7) “สมองมันตื้อไปหมด คิดอะไรก็ไม่ออก ไม่อยากทำอะไรเลย แม้แต่จะขยับตัวก็ไม่มีแรง ถึงแม้อาการจะหนักแต่ฉันก็กินยา สามีหยิบยาให้กิน ฉันกินยาครบทุกมื้อ” (ผู้ให้ข้อมูล: ID15)

2.2 ความสัมพันธ์กับบุคลากรทางการแพทย์

2.2.1 บุคลากรทางการแพทย์ให้ความรู้ติดตามอาการ และให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำ (2.2.1.1) แพทย์อธิบายเข้าใจ มองเห็นประโยชน์ (2.2.1.2) พยาบาลให้ความรู้ในการปฏิบัติตนทุกครั้งที่ไปตรวจตามนัด และ (2.2.1.3) อสม. ให้ความสนใจดูแลติดตามอาการอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “อสม.ให้ความสนใจดูแลติดตามอาการอย่างต่อเนื่อง มาเยี่ยมที่บ้าน เจอที่ตลาดก็ทักทายกัน เป็นที่พึ่งยามเดือดร้อนได้” (ผู้ให้ข้อมูล: ID7) “พยาบาลพูดคุยกับฉัน ให้ความรู้ในการปฏิบัติตนทุกครั้งที่ไปตรวจตามนัด และคอยติดตามทุกข์สุขของฉัน” (ผู้ให้ข้อมูล: ID8) “ฉันรับยาที่คลินิกใกล้บ้าน ไปตรวจตามนัด

ทุกครั้งเพราะสะดวกใกล้บ้าน คุณหมอดี ให้คำแนะนำทุกครั้ง” (ผู้ให้ข้อมูล: ID12) “หมออธิบายดี ฟังแล้วเข้าใจ ฉันเลยเชื่อใจและกินยา”(ผู้ให้ข้อมูล: ID15)

3. อุปสรรคต่อความร่วมมือในการใช้ยา

3.1 อุปสรรคด้านผู้ป่วย

3.1.1 ความเชื่อเกี่ยวกับเรื่องยา (3.1.1.1) ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับโรคซึมเศร้า และ (3.1.1.2) ความกลัวการติดยา ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ฉันจะไม่กินยาตอนที่ฉันสบายดี จะกินยาเฉพาะตอนที่ป่วยหรือซึมเศร้าเท่านั้น ฉันกลัวติดยาต้องกินตลอดไป” (ผู้ให้ข้อมูล: ID1) “หมอให้ยาต้านเศร้ามา แต่ฉันลังเล ฉันกลัวว่าถ้ากินแล้วจะติดยา ต้องพึ่งมันตลอดชีวิต กลัวว่าร่างกายจะชินกับยา แล้วต้องเพิ่มขนาดยาไปเรื่อย ๆ หรือเลิกกินไม่ได้” (ผู้ให้ข้อมูล: ID5) “ในช่วงรอตรวจ ผู้ป่วยอื่นที่นั่งรอด้วยกัน บอกฉันว่าคนกินยาพวกนี้จะเลิกไม่ได้ พอหยุดก็จะทรุดลงกว่าเดิม เลยรู้สึกไม่กล้ากิน ถึงจะรู้สึกแย่แต่ก็ไม่อยากติดยา” (ผู้ให้ข้อมูล: ID10) “ฉันเคยได้ยินว่าคนกินยาพวกนี้จะเลิกไม่ได้ พอหยุดก็จะทรุดลงกว่าเดิม เลยรู้สึกไม่กล้ากิน ถึงจะรู้สึกแย่แต่ก็ไม่อยากติดยา”(ผู้ให้ข้อมูล: ID11)

3.1.2 ขาดความรู้ (3.1.2.1) ขาดความรู้เกี่ยวกับการออกฤทธิ์ของยา ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “มีคนบอกฉันว่า กินยาต้านเศร้าไปนาน ๆ จะทำให้ไตเสียหาย ทำให้เกิดผลข้างเคียงต่อไต โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเรากินยาเป็นเวลานาน” (ผู้ให้ข้อมูล: ID1) “ฉันรู้ว่าตัวเองต้องการความช่วยเหลือ แต่พอคิดว่าจะต้องกินยาต่อเนื่องนาน ๆ มันก็รู้สึกกลัว กลัวว่าจะหลุดออกจากวงจรนี้ไม่ได้” (ผู้ให้ข้อมูล: ID13) “หมอให้มากินบอกว่ามันช่วยให้อารมณ์ดีขึ้น แต่ฉันกินแล้วมันมึน ๆ งง ๆ ยาจะช่วยฉันให้หายป่วยได้จริงไหม” (ผู้ให้ข้อมูล: ID10)

3.1.3 การหลงลืมหรือเบื่อหน่าย (3.1.3.1) หมกมุ่นกับการทำงาน และ (3.1.3.2) มีความเบื่อหน่ายต่อการกินยา ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์คือ “งานฉันยุ่งมาก บางวันฉันลืมกินยา” (ผู้ให้ข้อมูล: ID1) “ความเข้าใจผิดว่าถ้าลืม ก็ไม่ต้องกินไปทั้งวัน” (ผู้ให้ข้อมูล: ID4) “ฉันวางยาบนหัวเตียง แต่พอตื่นเช้าก็รีบไปทำงาน ลืมทุกที”(ผู้ให้ข้อมูล: ID5) “กินทุกวันจนรู้สึกเหมือนเป็นหุ่นยนต์ สมองไม่แล่นทำงานไม่ว่องไวเหมือนแต่ก่อน เบื่อที่จะกินทุกวัน”(ผู้ให้ข้อมูล: ID8) “ต้องกินยาแบบนี้ไปอีกนานแค่ไหน มันน่าเบื่อและรู้สึกเหมือนชีวิตไม่ปกติเลย” (ผู้ให้ข้อมูล: ID13)

3.2 แรงกดดันจากสังคม (3.2.1) ไม่อยากให้ใครทราบว่าป่วยจิตเวช ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ฉันไม่กล้าพกยาติดตัว เพราะถ้ามีใครเห็นขวดยา แล้วรู้ว่าเป็นยาจิตเวช เขาจะมองฉันเหมือนคนบ้าแค่สายตานั้นก็ทำให้ฉันรู้สึกแย่พอที่จะไม่อยากกินยาอีก”(ผู้ให้ข้อมูล: ID2) “ไม่อยากให้ใครรู้ว่าฉันต้องกินยาจิตเวช” ผู้ให้ข้อมูล: ID5) “ดิฉันแต่งงานครั้งนี้เป็นครั้งที่ 2 ขณะนี้อยู่กับสามีคนที่ 2 เป็นแม่บ้าน มีลูกสาว 1 คน สามีไม่ให้ออกนอกบ้าน ให้เงินจำกัด เงินไม่พอใช้ก็ทะเลาะกัน สามีข่มขู่ ตบตี ดิฉันเบื่อมาก จนเป็นซึมเศร้า หมดความสุขในชีวิต ซังกะตายไม่เคยหัวเราะมานานแล้ว ฉันสงสารลูก ไม่อยากให้ใครรู้ว่าฉันป่วยทางจิตเวช” (ผู้ให้ข้อมูล: ID11)

3.3 อุปสรรคด้านอาการของโรค

3.3.1 อาการของโรคในระดับรุนแรงมีผลต่อความร่วมมือการรักษา ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “มันไม่ใช่แค่ขี้เกียจนะ มันหมดแรงจากข้างในจริง ๆ เหมือนพลังงานชีวิตมันหายไป ยามันก็แค่เม็ดยา ฉันไม่ เห็นว่ามันจะช่วยอะไรได้เลยตอนนี้ ในบางครั้งฉันคิดว่า ยาทำให้ไม่มีแรงมากกว่าเดิมเสียด้วยซ้ำ” (ผู้ให้ข้อมูล: ID9) “ผมเบื่อกับชีวิตแบบนี้ กินยาตามที่หมอบอกมา 3-4 เดือน ก็ไม่เห็นมีอะไรดีขึ้น ฉันไม่อยากทำอะไร ไม่อยากทำงาน ไม่มีแรงแม่ต้องคอยช่วยฉันตลอด ผมเป็นผู้ชาย แต่ผมเป็นภาระมันช่างไร้ค่าจริง ๆ” (ผู้ให้ข้อมูล: ID10) “ฉันถูกสามีตบตีทำร้าย บางช่วงซึมเศร้ามาก คิดอยากตาย เคยคิดจะกระโดดน้ำตาย แต่ห่วงลูก เพราะพ่อก็คงไม่ดูแล ฉันเคยไม่กินยา เพราะรู้สึกว่ายาไม่ช่วยอะไร กลับทำให้ฉันหมดแรง ซึม สมองไม่ปลอดโปร่ง” (ผู้ให้ข้อมูล: ID11) “การเผชิญกับความทุกข์ใจเป็นเวลานาน ทำให้ฉันมีอารมณ์เศร้าเรื้อรัง ปัญหาต่าง ๆ รอบตัวไม่รู้จักหมดสิ้น บางครั้งการจมปลักทำให้ฉันรู้สึกไม่มีค่า ในบางครั้งฉันมีความคิดว่า หรือว่าเป็นเพราะฉันเอง ที่เป็นต้นเหตุของปัญหาทุกอย่างในครอบครัว ฉันไม่อยากกินยา เบื่อ บางครั้งไม่อยากมีชีวิตอยู่” (ผู้ให้ข้อมูล: ID13)

3.3.2 อาการของโรคทำให้ใช้ยาไปในทางอันตราย (3.3.2.1) ใช้ยาที่มีอยู่รับประทานเพื่อทำร้ายตนเอง ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “บางช่วงเวลาที่ฉันป่วยมาก ๆ แม่และสามียุ่งกับงาน ไม่มีเวลามาดูแลฉัน ฉันมีความคิดอยากตาย มีอยู่ครั้งหนึ่ง ฉันกินยาที่หมอให้มานี่แหละ กินหมดเลย แม่มาเจอพอดี พาไปล้างท้อง เลยรอดมาได้” (ผู้ให้ข้อมูล: ID2)

3.4 อุปสรรคด้านยา

3.4.1 ด้านผลข้างเคียงของยา ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ผมสังเกตว่า หลังกินยาจะมีอาการปากแห้ง คอแห้ง ท้องผูก ไม่สุขสบายเลย บางครั้งไม่ได้กินยาตรงตามเวลา เพราะกินแล้วไม่ค่อยสบาย” (ผู้ให้ข้อมูล: ID6) “ยาทำให้ฉันง่วงทั้งวัน ทำอะไรไม่ได้เลย ไม่อยากกิน” (ผู้ให้ข้อมูล: ID9) “ฉันกินยาทุกครั้ง แต่ตื่นมารู้สึกเหนื่อยเหมือนไม่ได้นอน จิตใจไม่สบาย ยาช่วยรักษาแบบไหน ยิ่งกินยิ่งงง ๆ เหมือนอาการป่วยจะมีอาการรุนแรงมากขึ้น” (ผู้ให้ข้อมูล: ID12)

3.4.2 ระยะเวลาการรักษาด้วยยา ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ฉันป่วยมา 5 ปี เคยหยุดกินยานะ หยุดไป 3-4 ครั้งสมองวุ่นวายคิดมาก ไม่โล่ง อารมณ์หงุดหงิด บางช่วงอารมณ์ดิ่งลง เศร้า ไม่อยากทำอะไร ต้องหันกลับมาหาหมอใหม่ ต้องกินยา ตอนนี้ กินอยู่เม็ดเดียว ทำงานได้ ฉันไม่กล้าหยุดยาอีกแล้ว” (ผู้ให้ข้อมูล: ID1) “เมื่อไหร่ฉันจะหยุดยาได้จริง ๆ สักที นี่คือคำถามที่ฉันอยากได้คำตอบมาตลอด หมอไม่ให้ฉันหยุดกินยาสักที ไม่อยากกินยานี้ไปนาน ๆ” (ผู้ให้ข้อมูล: ID9) “ยิ่งหมอบอกว่าหยุดยาเองไม่ได้ ต้องค่อย ๆ ลดยาอีก ยิ่งรู้สึกว่าเป็นภาระ ฉันต้องกินยาไปตลอดชีวิตไหม ฉันไม่อยากอยู่ในสภาพผู้ป่วยตลอดไป”(ผู้ให้ข้อมูล: ID10)

3.5 อุปสรรคด้านขาดการสนับสนุนจากสังคม

3.5.1 ขาดการสนับสนุนจากครอบครัว/คู่สมรส/เพื่อน ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “รู้สึกไม่แน่ใจว่า ยาจะช่วยให้มีกำลัง ร่างกายแข็งแรงขึ้น เพราะในบางครั้ง ไม่กินยา ก็มีอาการเหมือนเดิม กินกับไม่กินไม่เห็นจะต่างกันเลย ผมไม่มีใครดูแล ต้องหากินสู้ชีวิตคนเดียว แม่อยู่ต่างจังหวัด ยอมรับว่าผมไม่มีใคร พอเริ่ม ๆ มีอาการต้องรีบไปหาหมอ” (ผู้ให้ข้อมูล: ID3) “ฉันต้องดูแลคนในบ้านทุกอย่าง สามีให้ค่าใช้จ่ายจำกัด ชีวิตไม่เป็นอิสระ เวลาฉันป่วยไม่มีใครดูแลฉัน ไม่มีใครสนใจ สามีก็ไม่สนใจ” (ผู้ให้ข้อมูล: ID5)

3.6 อุปสรรคด้านการรับบริการด้านสาธารณสุข

3.6.1 การไปพบแพทย์บ่อยครั้ง ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ“ในช่วงที่ผมไม่สบาย ผมต้องมาพบหมอบ่อยครั้งมาก ทำให้ผมเสียเวลา เสียค่าใช้จ่าย บางครั้งผมไม่อยากมาพบหมอตามนัด” (ผู้ให้ข้อมูล: ID6) “หมอให้มาพบบ่อยครั้งเพื่อปรับขนาดยา มาทีเป็นวัน เสียค่าเดินทาง เสียค่ายา บางครั้งก็ไม่ได้มาตามนัด” (ผู้ให้ข้อมูล: ID7)

3.6.2 ยาในโรงพยาบาลไม่มีจำหน่าย ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ยาเดิมที่กินแล้วดี กลับไม่มี ต้องเปลี่ยนสูตรใหม่ แล้วมันก็ไม่ค่อยได้ผลเหมือนเดิม” (ผู้ให้ข้อมูล: ID8) “เวลายาขาด เขาก็ให้ซื้อเองข้างนอก แต่มันแพง เราไม่มีเงินพอจะซื้อยาทุกเดือน” (ผู้ให้ข้อมูล: ID15)

4. ผลลัพธ์จากความร่วมมือในการใช้ยา

4.1 การควบคุมอาการและอารมณ์ (4.1.1) การเปลี่ยนแปลงและการฟื้นคืนคุณภาพชีวิตข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ตอนนี้ฉันไม่ร้องไห้พร่ำเพรื่อแล้ว คิดอะไรเป็นระบบมากขึ้น รู้สึกว่าชีวิตปกติกลับมาแล้ว” (ผู้ให้ข้อมูล: ID8) “เมื่อก่อนฉันปฏิเสธทุกนัด ไม่อยากเจอใคร ไม่อยากคุยกับใคร แต่ตอนนี้ฉันเริ่มกลับไปคุยกับเพื่อนเก่า ไปตลาดเองได้โดยไม่ต้องพยายามหลบหน้าใครเหมือนแต่ก่อน” (ผู้ให้ข้อมูล: ID5) “ฉันดีใจมาก ชีวิตฉันมีคุณค่ากลับมาอีกครั้ง ฉันไม่เศร้าแล้ว ทำงานได้แล้ว” (ผู้ให้ข้อมูล: ID4)

4.2 การกลับเข้าสู่บทบาททางสังคม (4.2.1) ทำงานได้เป็นปกติ ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “ช่วงที่ป่วยหนัก ฉันปล่อยลูกไว้กับสามี ไม่แตะงานบ้านเลย แต่ตอนนี้ฉันเริ่มลุกขึ้นมาทำอาหารให้ลูก ส่งลูกไปโรงเรียน มันอาจไม่มากสำหรับคนอื่น แต่สำหรับฉัน มันคือ การได้กลับมาเป็นแม่อีกครั้ง”(ผู้ให้ข้อมูล: ID11) “หลังจากกินยาอย่างสม่ำเสมอ ฉันเริ่มรู้สึกมั่นใจมากขึ้น กล้าออกจากบ้าน กล้ารับงานนอกเวลา ถึงจะเป็นแค่ไม่กี่ชั่วโมงต่อวัน แต่มันทำให้ฉันรู้สึกว่าฉันยังมีคุณค่า”(ผู้ให้ข้อมูล: ID12)

4.3 ความภาคภูมิใจในการดูแลตนเอง (4.3.1) มีชีวิตปกติแบบก่อนป่วย ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ “เมื่อก่อนฉันไม่เคยสนใจเวลาจะกินยา รู้สึกว่าไม่อยากพึ่ง

อะไรทั้งนั้น แต่ตอนนี้ฉันเตรียมยาด้วยตัวเอง ตั้งนาฬิกาปลุก เตือนตัวเองทุกวัน มันทำให้ฉันรู้สึกว่าอย่างน้อย ฉันก็ยังดูแลตัวเองได้" (ผู้ให้ข้อมูล: ID1) "ฉันเคยคิดว่าตัวเองไร้ค่า ไม่มีอะไรดีเลย แต่ตอนนี้ ฉันเห็นตัวเองในกระจกแล้วคิดว่า เก่งมากที่ผ่านมาได้ ฉันดีเป็นปกติก็เพราะกินยา" (ผู้ให้ข้อมูล: ID2) "ทุกครั้งที่ฉันหยิบยามากิน ฉันจะคิดว่า นี่คือการตัดสินใจของฉันเอง ฉันเลือกที่จะหาย ฉันภูมิใจในตัวเองมากที่ไม่ยอมแพ้ ทั้งที่มันก็ไม่ง่ายเลย"(ผู้ให้ข้อมูล: ID7)

การอภิปรายผล

1. ความหมายของการใช้ยาในมุมมองของผู้ป่วย

(1.1) ผู้ป่วยมีความคาดหวังต่อยา มีการใช้ยาเป็นเครื่องมือเพื่อการขจัดปัญหาความเจ็บป่วย จากผู้ให้ข้อมูลหลายรายพบว่า ยาถูกมองว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการขจัดปัญหาความทุกข์ทางจิตใจ และช่วยให้ผู้ป่วยสามารถกลับคืนสู่ภาวะปกติได้อีกครั้ง ผู้ให้ข้อมูล ID3 ระบุชัดเจนถึงความหวังในการใช้ยา ขณะที่ผู้ให้ข้อมูล ID9 แสดงให้เห็นผลของยาในการควบคุมอาการทางจิต เช่น ความคิดฟุ้งซ่าน พูดเร็ว และความรู้สึกกระวนกระวาย นอกจากนี้ ผู้ให้ข้อมูล ID14 แสดงถึงกระบวนการเรียนรู้และการยอมรับตนเองหลังผ่านประสบการณ์ของโรคซึมเศร้า โดยกล่าวว่าเขาไม่เพียงยอมรับการใช้ยา แต่ยังพัฒนา วินัยในการใช้ยา และเชื่อมั่นว่ายาเป็นส่วนสำคัญของการควบคุมอาการ ความรู้สึกง่วงหลับดีขึ้น และการฟื้นฟูพลังชีวิต ทำให้สามารถออกกำลังกายได้อย่างสม่ำเสมอ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานของ Bui et al. (2022) ที่ชี้ว่า ผู้ป่วยที่เข้าใจกลไกและเป้าหมายของการใช้ยาจิตเวช มีแนวโน้มที่จะยอมรับการรักษามากขึ้น และมองการใช้ยาเป็นส่วนหนึ่งของการฟื้นตัว ไม่ใช่เป็นเครื่องชี้ความอ่อนแอ ในทำนองเดียวกัน งานวิจัยของ Crowe, Inder and McCall (2023) พบว่าการรับรู้ว่ายาช่วยลดความรุนแรงของอาการซึมเศร้าและฟื้นฟูการทำงานประจำวัน ส่งผลให้ผู้ป่วยเกิดความหวังและรู้สึกถึงการควบคุมชีวิตได้ดีขึ้น การสนับสนุนจากครอบครัว เช่น ในกรณีของ ID14 ที่น้องสาวคอยจัดยาให้ ยังส่งเสริมให้ผู้ป่วยมีวินัยในการใช้ยาและลดโอกาสในการหยุดยาเอง โดยรวม ผู้ป่วยโรคซึมเศร้าในการศึกษานี้สะท้อน ความหวังว่ายาจะเป็นทางรอดจากความทุกข์ทรมาน ทั้งในแง่อารมณ์ พฤติกรรม และคุณภาพชีวิต การรับรู้ถึงผลในเชิงบวกของยา ทำให้ผู้ป่วยมีทัศนคติเชิงบวกต่อการรักษาอย่างต่อเนื่อง (Sajatovic, DiBiasi & Legacy, 2017)

การที่ผู้ป่วยมีเจตคติที่ดีต่อยา มองว่ายาช่วยควบคุมอารมณ์และฟื้นฟูชีวิตได้ แรงสนับสนุนจากครอบครัวและบุคลากรทางการแพทย์ส่งผลต่อการใช้ยาอย่างต่อเนื่อง ใช้หลักทฤษฎีพฤติกรรมการวางแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) อธิบาย พฤติกรรมการใช้ยาของผู้ป่วยโรคซึมเศร้าขึ้นอยู่กับความตั้งใจ ผลมาจากทัศนคติที่มีต่อยา รวมถึงได้รับการสนับสนุนจากครอบครัวและบุคลากรทางการแพทย์ ทำให้เกิดพฤติกรรมความร่วมมือในการใช้ยา

1.2 ในด้านการพึ่งพายาเพื่อควบคุมอารมณ์ ผู้ป่วยมีการพึ่งพายาเพื่อหลีกหนีความไม่มั่นคงทางจิต ผู้ป่วยโรคซึมเศร้ารับประทานยาเพื่อลดอารมณ์เศร้า ลดความไม่มั่นคงจิตใจ ทำให้นอนหลับสนิท ช่วยปลดปล่อยความเครียด และลดความคิดฟุ้งซ่าน เหมือนกับการให้สัมภาษณ์ของผู้ให้ข้อมูล ID2 หรือ ID9 มีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของการรักษาด้วยยาสำหรับผู้ป่วยโรคซึมเศร้า (Solmi et al., 2021)

1.3 การใช้ยาเป็นกิจวัตรประจำวัน ผู้ป่วยกินยาด้วยคิดว่าเป็นส่วนหนึ่งของตารางชีวิตที่ต้องทำเสมอ จากการสัมภาษณ์ พบว่า ผู้ให้ข้อมูลหลายรายมีรูปแบบการใช้ยาอย่างสม่ำเสมอและยึดถือเป็นกิจวัตรในชีวิตประจำวัน สะท้อนให้เห็นถึงการยอมรับและบูรณาการพฤติกรรมการใช้ยาเข้าสู่โครงสร้างชีวิตอย่างมั่นคง โดยมองว่าการกินยาเป็นสิ่งที่ต้องปฏิบัติเป็นประจำ เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินชีวิต (Lin, Yen, Hou, Liao & Lin, 2022) ข้อมูลที่ได้สะท้อนให้เห็นความสอดคล้องกับแนวคิดของความร่วมมือในการใช้ยา ซึ่งหมายถึง การที่ผู้ป่วยปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์เกี่ยวกับการใช้ยาอย่างสม่ำเสมอ มีงานวิจัยที่สนับสนุนว่า ความสม่ำเสมอในการใช้ยานั้นมีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ทางคลินิกที่ดีขึ้น เช่น ช่วยลดอาการซึมเศร้า เพิ่มความสามารถในการทำกิจวัตร และทำให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น (Pejuskovic, Lero, Pavlovic, Nikolasevic & Pesic, 2023)

นอกจากนี้ การรับประทานยาต้านเศร้าในผู้สูงอายุที่มีสุขภาพกายดี สามารถให้ผลดีได้ โดยอายุไม่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของยา (Srifuengfung, 2023)

2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความร่วมมือในการใช้ยา

2.1 การสนับสนุนจากครอบครัวในด้านปัจจัยแวดล้อมที่หล่อหลอมพฤติกรรมการกินยา การมีผู้สนับสนุนในครอบครัว เช่น น้องสาวหรือสามี ที่คอยช่วยจัดยาและ

เตือนให้กินยา ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมพฤติกรรมการกินยาอย่างสม่ำเสมอ สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า การสนับสนุนทางสังคมเป็นตัวช่วยสำคัญในการเพิ่มแรงจูงใจของผู้ป่วยในการมีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในกระบวนการฟื้นตัวจากโรค สร้างความร่วมมือในการรับประทานยาต่อเนื่อง (Vega et al., 2021; González de León et al., 2022)

2.2 ความสัมพันธ์กับบุคลากรทางการแพทย์

2.2.1 บุคลากรทางการแพทย์ให้ความรู้ติดตามอาการ และให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำ ในด้านความสัมพันธ์กับบุคลากรทางการแพทย์ที่เป็นผู้ช่วยด้านการดูแลสุขภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างผู้ป่วยและผู้ให้บริการที่ตั้งอยู่บนความไว้วางใจ ความร่วมมือ และความเคารพซึ่งกันและกันเป็นสิ่งสำคัญยิ่งต่อการปฏิบัติตามคำแนะนำด้านยา การเข้าถึงบริการสุขภาพที่ดีและมีเวลาเพียงพอสำหรับการพูดคุยเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ป่วย (Ho, Jacob & Tangiisuran, 2017) การไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการใช้ยาในผู้ป่วยโรคซึมเศร้าเป็นปัญหาที่ซับซ้อน เนื่องจากการให้ยาเป็นความรับผิดชอบที่สำคัญของบุคลากรทางการแพทย์โดยเฉพาะพยาบาล ต้องมีการสื่อสารให้ผู้ป่วยปฏิบัติตามคำแนะนำ (Lin, Yen, Hou, Liao & Lin, 2022) ซึ่งในบางครั้ง ผู้ป่วยต้องการการสื่อสารที่เป็นความลับและการพูดคุยกับบุคลากรทางการแพทย์อย่างต่อเนื่อง การสนับสนุนจากผู้ให้บริการสุขภาพและการดูแลที่เข้าถึงโดยสะดวกและมีคุณภาพจะช่วยเพิ่มความร่วมมือในการรับประทานยาต่อเนื่อง (Ho, Jacob & Tangiisuran, 2017)

3. อุปสรรคต่อความร่วมมือในการใช้ยา

3.1 อุปสรรคด้านผู้ป่วย

3.1.1 ด้านความเข้าใจผิดเกี่ยวกับโรคซึมเศร้าและความกลัวการติดยา ผู้ป่วยบางรายยังมีความรู้สึกผิดต่อตนเองหรือมองว่าการเป็นโรคซึมเศร้าเป็นสัญญาณของความอ่อนแอ ความรู้สึกดังกล่าวอาจทำให้ผู้ป่วยปิดบังอาการและไม่แสวงหาการช่วยเหลือทางการแพทย์อย่างเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ho, Jacob and Tangiisuran (2017) พบว่า ตราบาป (stigma) และความเชื่อผิด ๆ เกี่ยวกับยาและโรคซึมเศร้าเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการใช้ยาอย่างสม่ำเสมอในผู้ป่วยโรคซึมเศร้า และจากข้อมูลของผู้ให้ข้อมูล ID6 ที่กล่าวว่า “ฉันมีความเชื่อว่าการเจ็บป่วยทางจิตใจสามารถหายได้เองโดยไม่ต้องพบแพทย์เพื่อกินยา” ซึ่งแสดงถึงทัศนคติที่ลดทอนความสำคัญของการเข้ารับการรักษา และขาดความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกของโรคซึมเศร้า ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการดูแลอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ งานวิจัยของ Kvarnström, Westerholm, Airaksinen and Liira (2021) พบว่า ความเชื่อด้านลบเกี่ยวกับยาและการมองว่าความเจ็บป่วยทางจิตเป็นสิ่งที่ควร “เอาชนะด้วยตนเอง” ล้วนเป็นปัจจัยขัดขวางต่อความร่วมมือในการรักษา

จากคำพูดของผู้ให้ข้อมูล ID1 ID5 ID10 และ ID11 แสดงถึง ความวิตกกังวลของผู้ป่วยเกี่ยวกับการติดยา (dependency หรือ addiction) เมื่อใช้ยาต้านเศร้า แสดงความลังเล และกลัวว่า “ร่างกายจะชินกับยา แล้วต้องเพิ่มขนาดยาไปเรื่อย ๆ หรือเลิกกินไม่ได้” ผู้ให้ข้อมูล ID10 และ ID11 สะท้อนความเชื่อเดียวกันว่า ผู้ที่กินยาต้านเศร้าแล้วจะเลิกไม่ได้ และเมื่อหยุดกินยาอาการจะกำเริบมากขึ้น ลักษณะความคิดเหล่านี้สอดคล้องกับผลการวิจัยเชิงคุณภาพ พบว่า อุปสรรคสำคัญในการใช้ยาต้านเศร้าในด้านหนึ่งคือ ความเชื่อที่มาจากหลายทาง ทำให้ผู้ป่วยกลัวการติดยา ทำให้เกิดการเสพติด หรือไม่สามารถเลิกได้ ซึ่งมีผลต่อความร่วมมือในการใช้ยาต้านเศร้าอย่างต่อเนื่อง (Ho, Jacob & Tangiisuran, 2017; Davey, 2024)

3.1.2 ขาดความรู้ การขาดความรู้เกี่ยวกับการออกฤทธิ์ของยาต้านเศร้าเป็นอุปสรรคสำคัญที่ส่งผลต่อความร่วมมือในการใช้ยาในผู้ป่วยโรคซึมเศร้า ผู้ป่วยจำนวนไม่น้อยเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์ของยา เช่น เข้าใจว่า ยาจะออกฤทธิ์ทันทีหลังรับประทานหรือคาดหวังว่าจะหายจากอาการทั้งหมดภายในระยะเวลาอันสั้น หากอาการไม่ดีขึ้นในช่วงแรกของการใช้ยา ผู้ป่วยอาจหยุดยาและไม่รับการรักษาต่อเนื่อง González de León et al. (2022) พบว่า ผู้ป่วยจำนวนหนึ่งขาดความรู้เกี่ยวกับการออกฤทธิ์ของยาต้านเศร้า เช่น ไม่ทราบว่ายาต้องใช้เวลาหลายสัปดาห์จึงจะเริ่มออกฤทธิ์ หรือการหยุดยากะทันหันอาจทำให้เกิดอาการถอนยา ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นอุปสรรคต่อความร่วมมือในการใช้ยาต่อเนื่อง

3.1.3 การหลงลืมหรือเบื่อหน่าย ผู้ป่วยหมกมุ่นกับการทำงาน และมีความเบื่อหน่ายต่อการกินยา ผู้ป่วยบางรายลืมรับประทานยาส่งผลให้ระดับยาในร่างกายไม่คงที่ และลดประสิทธิภาพในการควบคุมอาการของโรค นอกจากนี้ ความรู้สึกเบื่อหน่ายจากการต้องรับประทานยาซ้ำ ๆ ทุกวัน ทำให้ผู้ป่วยรู้สึกเหมือนตนเองขาดอิสระและลดความมุ่งมั่นในการใช้ยาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นประเด็นที่พบได้ทั่วไปในการดูแลผู้ป่วยโรคซึมเศร้าเรื้อรัง (González de León et al, 2022)

3.2 แรงกดดันจากสังคม ผู้ป่วยไม่อยากให้ใครทราบว่าป่วยจิตเวช จากการสัมภาษณ์ของผู้ให้ข้อมูล ID2 และ ID5 มีความวิตกกังวลเกี่ยวกับภาพลักษณ์ของตนเองในสายตาผู้อื่น ในกรณีที่เป็นผู้ป่วยจิตเวช การปฏิเสธตนเอง (self-stigma) จะลดแรงจูงใจในการรักษาอย่างต่อเนื่อง เช่น ไม่กล้าพกยาติดตัว หรือหยุดใช้ยาเพื่อหลีกเลี่ยงการเปิดเผยสถานะของตน จากการศึกษาของ González de León et al. (2022) พบว่า แรงกดดันทางสังคม เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ขัดขวางการใช้ยาต้านเศร้า โดยเฉพาะในกลุ่มที่เผชิญกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้อต่อสุขภาพจิต เช่น ครอบครัวที่ไม่มีความเข้าใจ สถานะทางเศรษฐกิจที่อ่อนแอ หรือความรุนแรงในครอบครัว ดังตัวอย่างของผู้ให้ข้อมูล ID11 ที่อยู่ในบริบทของความสัมพันธ์ที่กดดันและถูกกระทำรุนแรงโดยคู่สมรส ซึ่งนอกจากจะกระทบต่อสภาพจิตใจโดยตรงแล้ว ยังส่งผลให้ผู้ป่วยไม่สามารถเข้าถึงบริการรักษาหรือยาที่จำเป็นได้อย่างต่อเนื่อง (Kvarnström, Westerholm, Airaksinen, & Liira, 2021)

3.3 อุปสรรคด้านอาการของโรค

3.3.1 อาการของโรคในระดับรุนแรงมีผลต่อความร่วมมือต่อการรักษา จากการศึกษาของ González de León et al. (2022) รายงานสอดคล้องกับประเด็นนี้ว่า อาการของโรคซึมเศร้าในระดับที่รุนแรง เช่น มีความคิดฆ่าตัวตาย อารมณ์เศร้าเรื้อรัง หรือการหมดพลังชีวิต เป็นปัจจัยสำคัญที่ขัดขวางความร่วมมือในการรักษา การที่ผู้ป่วยที่รู้สึกว่า การรักษาไม่ให้ผลดี ทำให้เกิดภาวะท้อถอยและหยุดยาโดยไม่ปรึกษาผู้รักษา ในกรอบแนวคิดของทฤษฎี Self-Care ของ Orem การดูแลตนเองของผู้ป่วยขึ้นอยู่กับความสามารถในการปฏิบัติพฤติกรรมที่เอื้อต่อสุขภาพ (self-care agency) ซึ่งในกรณีของผู้ป่วยซึมเศร้าอาการรุนแรงที่ทำให้หมดเรี่ยวแรงหรือหมดความหวัง เป็นปัจจัยที่ทำให้ความสามารถในการดูแลตนเองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การวางแผนดูแลผู้ป่วยในระยะยาวจึงควรคำนึงถึงการประเมินอาการเชิงลึก และการให้การสนับสนุนด้านจิตใจและสังคมควบคู่ เน้นให้ผู้ป่วยพึ่งตนเองให้มากที่สุด (Iovino et al., 2020)

3.3.2 อาการของโรคทำให้ใช้ยาไปในทางอันตราย จากใช้ยาที่มีอยู่ จากการศึกษาของ Iovino et al. (2020) ได้ชี้ว่า ภาวะซึมเศร้าในผู้ที่มีโรคเรื้อรังสัมพันธ์กับความสามารถในการดูแลตนเองที่ลดลง และมีความเสี่ยงต่อพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมกับสุขภาพ รวมถึงพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ยาอย่างไม่ปลอดภัย ขณะที่การศึกษาของ Ogundipe, Ogunsemi and Adebowale (2021) เน้นว่า ผู้ป่วยโรคซึมเศร้าที่มีอาการรุนแรง หรือไม่มีระบบสนับสนุนจากครอบครัว มีแนวโน้มที่จะใช้ยารักษาโรคจิตเวชในทางที่ผิดมากกว่ากลุ่มอื่น และจำเป็นต้องมีการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการจ่ายยาอย่างใกล้ชิด

3.4 อุปสรรคด้านยา

3.4.1 ด้านผลข้างเคียงของยา การศึกษาของ Zhang, Peters, Fawns-Ritchie and Strachan (2020); González de León et al (2022); Yassen, Mahmud, Bilal and Abd Wahab (2024) พบว่า ผลข้างเคียงจากยาต้านเศร้ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความร่วมมือในการใช้ยา เนื่องจากผู้ป่วยมีความรู้สึกว่า ยาทำให้อาการแย่ลง มีการรับรู้เชิงลบต่อยา ให้ความสำคัญกับอาการข้างเคียงของยา ทำให้เกิดความไม่พึงพอใจต่อผลของยา

3.5 อุปสรรคด้านขาดการสนับสนุนจากสังคม

3.5.1 ขาดการสนับสนุนจากครอบครัว/คู่สมรส/เพื่อน จากข้อมูลการสัมภาษณ์ ผู้ให้ข้อมูล ID3 กล่าวถึงการไม่มีคนดูแลและไม่เห็นความแตกต่างของการกินยานำไปสู่ความลำบากในการรักษาและความรู้สึกไร้การดูแลจากสังคม ผู้ให้ข้อมูล ID5 ต้องดูแลครอบครัวเอง ไม่ได้รับการสนับสนุนทางการเงินหรืออารมณ์จากคู่สมรส ทำให้รู้สึกขาดอิสระและถูกทอดทิ้งเมื่อเจ็บป่วย ทั้งสองกรณีสะท้อนถึงปัญหาของการขาดการสนับสนุนจากครอบครัวคู่สมรส ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับ ภาวะซึมเศร้า ความยากลำบากในการร่วมมือต่อการรักษา และความรู้สึกโดดเดี่ยวที่ต่อสู้โดยลำพัง (Ju, Kim & Lee, 2022)

3.6 อุปสรรคด้านการรับบริการด้านสาธารณสุข

3.6.1 การไปพบแพทย์บ่อยครั้ง จากข้อมูลการสัมภาษณ์ ผู้ให้ข้อมูล ID6 และ ID7 กล่าวว่า การพบแพทย์ตามนัดที่บ่อยครั้งเพื่อปรับขนาดยาทำให้เกิดภาระทั้งด้านเวลาและรายได้ ผู้ให้สัมภาษณ์บางรายเลือกไม่กินยาตามแพทย์สั่งแบบเคร่งครัด หรือ ปรับขนาดยาเองเมื่ออาการดีขึ้น (Klinpiboon & Chanthapasa, 2023) กล่าวคือ แม้จะมีระบบ telemedicine หรือการจัดส่งยาเพื่อบรรเทาการไปโรงพยาบาลบ่อย ๆ แต่ผู้ป่วยด้านสุขภาพจิตหลายคนยังต้องพบแพทย์เป็นประจำ ทำให้เกิดภาระทางเศรษฐกิจและเวลา ซึ่งสอดคล้องกับประสบการณ์ของผู้ให้ข้อมูล

4. ผลลัพธ์จากความร่วมมือในการใช้ยา

4.1 การควบคุมอาการและอารมณ์

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงและการฟื้นคืนคุณภาพชีวิต แนวคิดเรื่องการฟื้นคืนคุณภาพชีวิตเมื่ออาการซึมเศร้าดีขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลวิจัยการใช้ยาต้านซึมเศร้า

ช่วยให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น (Wiesinger, Kremer, Bschor & Baethge, 2023) ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เมื่ออาการซึมเศร้าลดลง ส่งผลให้พฤติกรรมและการมีส่วนร่วมทางสังคมดีขึ้น เช่น การกลับไปพบเพื่อนหรือออกไปตลาดได้โดยไม่กังวล (ผู้ให้ข้อมูล ID5) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเรื่องของการฟื้นฟูบทบาทและหน้าที่ทางสังคม และความร่วมมือในการใช้ยาต่อเนื่องมีผลสัมพันธ์กับการลดอาการซึมเศร้า ทำให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Santi, Biswal, Naik, Sahoo & Rath, 2023)

4.2 การกลับเข้าสู่บทบาททางสังคม

4.2.1 ทำงานได้เป็นปกติ จากการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูล ID11 สะท้อนถึงการกลับคืนสู่บทบาทของแม่และภาระหน้าที่ที่เคยถูกละเลยในช่วงภาวะป่วย โดยเริ่มลุกขึ้นมาทำอาหารให้ลูก ส่งลูกไปโรงเรียน ซึ่งเป็นกิจวัตรเล็กน้อยแต่สำหรับผู้ป่วยซึมเศร้า เป็นการฟื้นคืนบทบาทแม่และความรู้สึกมีคุณค่าในตัวเองอีกครั้ง จากการศึกษาพบว่า เมื่อภาวะอารมณ์ดีขึ้น ผู้ป่วยจะสามารถกลับสู่การดำเนินชีวิตในครอบครัวและสังคม แสดงบทบาทในชีวิตได้ดังเดิม (Santi et al, 2023)

4.3 ความภาคภูมิใจในการดูแลตนเอง

4.3.1 มีชีวิตปกติแบบก่อนป่วย การรู้สึกว่าตนสามารถควบคุมตนเองและมีบทบาทในการดูแลสุขภาพตนเอง ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ (Zoun et al., 2022) ที่พบว่า ความสามารถในการจัดการโรคของตนเอง (self-management) มีความสัมพันธ์กับความรู้สึกมีคุณค่าในตนเอง (self-worth) และความมั่นใจในความสามารถของตน (self-efficacy) ซึ่งนำไปสู่คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นในผู้ป่วยโรคซึมเศร้า

สรุปผลการวิจัย

สรุปได้ว่า การรักษาผู้ป่วยโรคซึมเศร้า ยาเป็นเครื่องมือสำคัญในการขจัดความเจ็บป่วย ควบคุมอารมณ์ และกลายเป็นส่วนหนึ่งของกิจวัตรประจำวัน ความร่วมมือในการใช้ยาจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน ทั้งการสนับสนุนจากครอบครัวและบุคลากรทางการแพทย์ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และติดตามอาการอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการใช้ยาอย่างสม่ำเสมอมีอุปสรรคทั้งจากตัวผู้ป่วยเอง ระยะเวลาการรักษาที่ยาวนาน ขาดการสนับสนุนจากสังคม และความยากลำบากในการเข้ารับบริการด้านสาธารณสุข การให้ความช่วยเหลือผู้ป่วย ทำให้เกิดความร่วมมือในการใช้ยา และเกิดความภาคภูมิใจในการดูแลตนเอง การศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่า การสนับสนุนทั้งทางครอบครัวและบุคลากรทางการแพทย์มีบทบาทสำคัญต่อการสร้างพฤติกรรมการใช้ยาที่สม่ำเสมอและส่งผลดีต่อคุณภาพชีวิต

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. แนะนำให้มีการศึกษาติดตามผลในระยะยาว (longitudinal study) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของประสบการณ์และพฤติกรรมของผู้ป่วยตลอดช่วงการรักษา

2. ควรมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผู้ป่วยที่มีระดับความร่วมมือในการใช้ยาสูงกับผู้ที่มีระดับต่ำ เพื่อหาแนวทางการส่งเสริมที่เหมาะสมและเฉพาะเจาะจงมากขึ้น

3. อาจนำผลการศึกษานี้ไปใช้ในการออกแบบแนวทางการให้คำปรึกษาหรือแบบฝึกอบรมสำหรับบุคลากรทางสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้ป่วยโรคซึมเศร้า

References

American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). Washington, DC: American Psychiatric Association

Bui, T. N. T., Hotham, E., Loughhead, M., McMillan, S. S., Procter, N., Poole, K., & Suppiah, V. (2022). Exploring mental health clients' current medication knowledge, beliefs, and experience with healthcare providers in the community in South Australia. *Health and Social Care in the Community, 30*(6), e5968–e5978. https://doi.org/10.1111/hsc.14029

Crowe, M., Inder, M., & McCall, C. (2023). Experience of antidepressant use and discontinuation: A qualitative synthesis of the evidence. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing, 30*(1), 21–34. https://doi.org/10.1111/jpm.12850

Davey, M. (2024). *We asked readers about taking antidepressants. The response points to a 'silent epidemic' and urgent need for reform. The Guardian*. Retrieved from https://shorturl.asia/7LA0n

González de León, B., Abt-Sacks, A., Acosta Artiles, F. J., Del Pino-Sedeño, T., Ramos-García, V., Rodríguez Á., C., & Trujillo-Martín, M. M. (2022). Barriers and facilitating factors of adherence to antidepressant treatments: An exploratory qualitative study with patients and psychiatrists. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(24), 16788. https://doi.org/10.3390/ijerph192416788.

Ho, S. C., Jacob, S. A., & Tangiisuran, B. (2017). Barriers and facilitators of adherence to antidepressants among outpatients with major depressive disorder: A qualitative study. *PLoS ONE, 12*(6), e0179290. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179290

Iovino, P., De Maria, M., Matarese, M., Vellone, E., Ausili, D., & Riegel, B. (2020). Depression and self-care in older adults with multiple chronic conditions: A multivariate analysis. *Journal of Advanced Nursing, 76*(7), 1668–1678. https://doi.org/10.1111/jan.14385

Ju, Y. J., Kim, W., & Lee, S. Y. (2022). Perceived social support and depressive symptoms during the COVID-19 pandemic: A nationally-representative study. *International Journal of Social Psychiatry, 69*(1), 47–55. https://doi.org/10.1177/00207640211066737

Klinpiboon, P., & Chanthapasa, K. (2023). The medication use issues and challenges of mental illness exacerbation in patients with schizophrenia: A qualitative study in Thailand. *Patient Preference and Adherence, 13*(17), 2927–2937. https://doi.org/10.2147/PPA.S420973 (in Thai)

Kvarnström, K., Westerholm, A., Airaksinen, M., & Liira, H. (2021). Factors contributing to medication adherence in patients with a chronic condition: A scoping review of qualitative research. *Pharmaceutics, 13*(7), 1100. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13071100

Lin, Y.-Y., Yen, W.-J., Hou, W.-L., Liao, W.-C., & Lin, M.-L. (2022). Mental health nurses' tacit knowledge of strategies for improving medication adherence for schizophrenia: A qualitative study. *Healthcare (Basel), 10*(3), 492. https://doi.org/10.3390/healthcare10030492

Lohacheewa, S., & Chanapan, N., (2020). Factors predicting positive and negative experiences in providing care to schizoprenic patients of caregivers. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing, 34*(1), 113-117. Retrieved from https://he02.tci-thaijo.org/index.php/JPNMH/article/view/241992/164675 (in Thai)

Meng Y, Chiu C, Kapoor M, et al. Patient Perceived Barriers and Enablers to Medication Adherence in the Treatment of Depression: A Qualitative Study. *Journal of Primary Care & Community Health, 2024*, 15. https://doi.org/10.1177/21501319241286313

Ogundipe, R. M., Ogunsemi, O. O., & Adebowale, T. O. (2021). Medication misuse and suicidal behavior among psychiatric patients: The need for close monitoring. *International Journal of Psychiatry in Clinical Practice, 25*(1), 12–19. https://doi.org/10.1080/13651501.2020.1853620

Pejuskovic, B., Lero, M., Pavlovic, V., Nikolasevic, G., & Pesic, V. (2023). Medication adherence in the treatment of depression. *European Psychiatry, 66*(Suppl 1), S160. https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2023.392

Sajatovic, M., DiBiasi, F., & Legacy, S. N. (2017). Attitudes toward antipsychotic treatment among patients with bipolar disorders and their clinicians: a systematic review. *Neuropsychiatric Disease and Treatment, 13*, 2285–2296. https://doi.org/10.2147/NDT.S139557

Santi, N. S., Biswal, S. B., Naik, B. N., Sahoo, J. P., & Rath, B. (2023). Quality of life and medication adherence in patients with major depressive disorder: An interim analysis of a randomized study. *Cureus, 15*(6), e39997. https://doi.org/10.7759/cureus.39997

Solmi, M., Miola, A., Croatto, G., Pigato, G., Favaro, A., Fornaro, M., & Carvalho, A. F. (2021). How can we improve antidepressant adherence in the management of depression? A targeted review and 10 clinical recommendations. *Brazilian Journal of Psychiatry, 43*(2), 189–202. https://doi.org/10.1590/1516-4446-2020-0935

Sripirom, V., Jongjitwibrulphon, N., & Wannarit, K. (2022). The effect of psychoeducation program on patients with major depressive disorder at the psychiatric outpatient unit, Siriraj Hospital. *Journal of Nursing Division, 49*(2), 1–11. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JND/article/view/256660 (in Thai)

Suwathanpornkul, I. (2019). *Educational research: Concepts and applications* (2nd ed). Bangkok: Chula University Press (in Thai)

Tepsuan, L. (2025). The Study of the Relationship between Knowledge, Attitude, and Medication Adherence in Major Depressive Disorder Patients: A Cross-Sectional Study at Songkhla Hospital. *Region 3 Medical and Public Health Journal, 22*(3), 191–200. Retrieved from https://thaidj.org/index.php/smj/article/view/16203 (in Thai)

Vega, D., Lopez, M., & Cohen, A. N. (2021). Social support and medication adherence in patients with severe mental illness: A systematic review. *Journal of Psychiatric Research, 137*, 460–468. https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.03.026

Wiesinger, T., Kremer, S., Bschor, T., & Baethge, C. (2023). Antidepressants and quality of life in patients with major depressive disorder: Systematic review and meta-analysis of double-blind, placebo-controlled RCTs. *Acta Psychiatrica Scandinavica, 147*(6), 545–560. https://doi.org/10.1111/acps.13541

World Health Organization. (2023). *Depression*. Retrieved from https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/depression

Yassen, A. O., Mahmud, N. M., Bilal, A. D., & Abd Wahab, M. S. (2024). Antidepressant adherence among outpatients with major depressive disorder. *Pharmacia, 71*, 1–10. https://doi.org/10.3897/pharmacia.71.e123345

Zhang, Y., Peters, C., Fawns-Ritchie, C., & Strachan, F. (2020). Adverse effects of antidepressants and their impact on treatment adherence in patients with depression: A population-based study. *BMC Psychiatry, 20*(1), 101. https://doi.org/10.1186/s12888-020-02523-3

Zoun, M. H. H., Koekkoek, B., van Grieken, R. A., Sinnema, H., Smit, F., & Spijker, J. (2022). A patient perspective on the self-management of chronic anxiety and depression: A mixed-methods study. *International Journal of Depression and Anxiety, 5*(2), 029. https://doi.org/10.23937/2643-4059/1710029

รูปแบบสมรรถนะและบทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

Competency and Role Model of Village Public Health Volunteers (VHV) Prototype Khlong luang District, Pathum Thani Province

ศศิกาญจน์ สกุลปัญญวัฒน์[1] อุทัยวรรณ พงษ์บริบูรณ์[1]* และกะรัตเพชร ทองเกตุ[2]
Sasikarn Skulpunyawat[1], Uthaiwan Pongboriboon[1]* and Karatpetch Tongkate[2]
[1]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Nursing, Eastern Asia University
[2]คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[2]School of Pharmacy, Eastern Asia University
*Corresponding author: uthaiwan.pongboriboon@gmail.com
Received: August 3, 2025
Revised: October 11, 2025
Accepted: October 17, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องรูปแบบสมรรถนะและบทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา (1) ศึกษาสมรรถนะและบทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี (2) พัฒนารูปแบบรูปแบบสมรรถนะอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ต้นแบบที่สอดคล้องกับบริบทท้องถิ่น ประชากรอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) จำนวน 2,356 คน ขนาดกลุ่มตัวอย่างคำนวณโดยใช้สูตรทาโร่ ยามาเน่ จำนวน 500 ราย ทำการกระจายโดยการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ การเก็บข้อมูลใช้แบบสอบถาม 5 ระดับ (rating scale) การหาค่าความเชื่อมั่น (reliability) โดยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's Alpha Coefficient) เท่ากับ 0.97 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาความถี่และร้อยละ ผลการวิจัยพบว่า อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง และผู้สูงอายุ สมรรถนะและบทบาทหน้าที่โดยรวมอยู่ในระดับ "สูง" ในทุกมิติ โดยมีสมรรถนะด้านทัศนคติด้านความชอบในการทำงาน มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ส่วนพฤติกรรมสุขภาพโดยรวมและความสามารถในการปฏิบัติบทบาทหน้าที่ก็อยู่ในระดับ "สูง" จากภาพโมเดลที่นำเสนอ อสม. ต้นแบบพบว่า ปัจจัยความรู้ และทัศนคติ เป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมสุขภาพของ อสม. และปัจจัยมีอิทธิพลโดยตรงต่อบทบาทหน้าที่ที่กำหนดตามมาตรฐานสาธารณสุขพื้นฐาน คือ ปัจจัยด้านความรู้และทัศนคติของ อสม. และเป็นกลไกสำคัญในการยกระดับคุณภาพชีวิตและสุขภาพของประชาชนในชุมชนได้อย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: สมรรถนะ บทบาท อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน

Abstract

The study on the competency and roles model of Village Health Volunteers: VHV in Klong Luang District, Pathum Thani Province, is an exploratory (survey) study. Its objectives are: (1) to examine the competencies and roles of Village Health Volunteers in Klong Luang District, Pathum Thani Province; and (2) to develop a prototype model of Village Health Volunteer competencies. The population comprises 2,356 VHVs, with a sample size calculated using Taro Yamane's formula, resulting in 500 respondents, selected via stratified sampling. Data were collected using a 5-point rating scale questionnaire. Reliability was assessed by Cronbach's Alpha coefficient, equal to 0.97. Data were analyzed using descriptive statistics (frequencies and percentages). Findings indicate that VHVs in Klong Luang District, Pathum Thani Province are predominantly female and older adults. Overall competence and roles were at a "high" level across all dimensions, with attitudes-related competence and, particularly, the "liking for work" subdimension showing the highest mean. General health behaviors and the ability to perform duties also remained at a "high" level. From the presented model, the prototype VHV revealed that knowledge and attitudes are fundamental components that directly influence the health behaviors of VHVs, and these factors directly influence the defined roles according to foundational public health standards. Knowledge and attitudes are key mechanisms for sustainably and effectively enhancing the quality of life and health of community residents.

Keywords: competency, role, Village Health Volunteers



บทนำ

อสม. เป็นกลไกสำคัญของระบบสุขภาพชุมชนไทย ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างบริการสุขภาพภาครัฐกับครัวเรือนและชุมชน โดยเฉพาะด้านการส่งเสริมสุขภาพ การป้องกันโรค และการดูแลสุขภาพครอบครัว และชุมชนอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ต่างจังหวัดและชนบท รวมถึงชุมชนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางประชากรและสังคมสูง (WHO, 2020; Primary Health Care Division, 2024) ซึ่งบทบาทและสมรรถนะของ อสม. จึงส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตสุขภาพของประชาชนในพื้นที่เหล่านี้

อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วแต่ยังมีความท้าทายด้านสุขภาพ ได้แก่ การดูแลผู้สูงอายุ โรคเรื้อรัง และความเสี่ยงด้านพฤติกรรมสุขภาพ การทำความเข้าใจสมรรถนะและบทบาทของ อสม. ในบริบทนี้จะเอื้อให้สามารถออกแบบการฝึกอบรม สนับสนุนทรัพยากร และปรับปรุงกระบวนการบริการสุขภาพระดับชุมชนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (ข้อมูลเบื้องต้นจากสภาพพื้นที่และนโยบายท้องถิ่นของจังหวัดปทุมธานี)

ความรู้ ความสามารถ และทัศนคติของ อสม. มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ด้านพฤติกรรมสุขภาพในชุมชน เช่น การป้องกันโรค การดูแลสุขภาพในครอบครัว และความสามารถในการเชื่อมต่อประชาชนกับบริการสุขภาพ ดังนั้น การวัดและทำความเข้าใจสมรรถนะ (competence) และบทบาทหน้าที่ของ อสม. เป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบโปรแกรมฝึกอบรม การวางแผนทรัพยากร และการพัฒนานโยบายระดับพื้นที่ที่ตอบโจทย์ความต้องการสุขภาพของประชาชน

งานวิจัยนี้จะช่วยระบุช่องว่างระหว่างทฤษฎีและการปฏิบัติจริงในบริบทคลองหลวง เพิ่มพูนกรอบแนวคิด Knowledge-Skills-Attitudes: KSA ที่เชื่อมโยงกับพฤติกรรมสุขภาพและบทบาทหน้าที่ของ อสม. และสามารถนำไปสู่การสร้างกรอบประเมินผล (scorecard) เพื่อการ

ติดตามและยกระดับศักยภาพอสมในระยะยาว ผลลัพธ์จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้กำหนดนโยบายและหน่วยงานสนับสนุนในระดับท้องถิ่น/จังหวัด เพื่อพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรม ทรัพยากร และแนวทางการปฏิบัติงานที่สอดคล้องกับบริบทชุมชน และทำให้การดูแลสุขภาพระดับชุมชนมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ความน่าสนใจของการศึกษานี้อยู่ที่การสำรวจบริบทท้องถิ่นของอสมในอำเภอคลองหลวง ซึ่งอาจมีลักษณะทางสังคม เศรษฐกิจและสุขภาพที่เฉพาะตัว การศึกษาจะช่วยระบุปัจจัยที่ส่งเสริมหรือขัดขวางสมรรถนะและการปฏิบัติหน้าที่ของ อสม. ในบริบทจริง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Knowledge-Skills-Attitudes: KSA กับพฤติกรรมสุขภาพและการปฏิบัติหน้าที่จะให้กรอบทฤษฎีที่นำไปสู่การออกแบบโปรแกรมพัฒนา อสม. ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ข้อค้นพบคาดว่า จะช่วยในการออกแบบยุทธศาสตร์พัฒนาทรัพยากรมนุษย์สุขภาพชุมชน การกำหนดแนวทางนโยบายระดับพื้นที่ การสร้างคู่มือแนวปฏิบัติ และการประเมินผลการทำงานของ อสม.

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาสมรรถนะและบทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

2. พัฒนารูปแบบสมรรถนะอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ต้นแบบ ที่สอดคล้องกับบริบทท้องถิ่น

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน

อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (Village Health Volunteer) หรือที่เราเรียกย่อ ๆ ว่า อสม. นั้นเป็นรูปแบบหนึ่งของการมีส่วนร่วมของประชาชนในการดูแลสุขภาพของตนเอง ครอบครัว และชุมชน โดยผ่านกระบวนการอบรมให้ความรู้จากเจ้าหน้าที่สาธารณสุขและการปฏิบัติงานด้วยความเสียสละต่อประชาชนในหมู่บ้าน เป็นบุคคลที่ได้รับการคัดเลือกจากชาวบ้านในแต่ละกลุ่มบ้านและได้รับการอบรมตามหลักสูตรที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด โดยมีบทบาทหน้าที่สำคัญในฐานะผู้นำการเปลี่ยนแปลงด้านพฤติกรรมสุขภาพอนามัย (change agents) การสื่อข่าวสารสาธารณสุข การแนะนำเผยแพร่ความรู้ การวางแผน และประสานกิจกรรมพัฒนาสาธารณสุข ตลอดจนให้บริการสาธารณสุขด้านต่าง ๆ เช่น การส่งเสริมสุขภาพ การเฝ้าระวังและป้องกันโรค การช่วยเหลือและรักษาพยาบาลขั้นต้น โดยใช้ยาและเวชภัณฑ์ตามขอบเขตที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด การส่งต่อผู้ป่วยไปรับบริการ การฟื้นฟูสภาพ และจัดกิจกรรมพัฒนาสุขภาพภาคประชาชนในหมู่บ้าน/ชุมชนคุณสมบัติของ อสม. เป็นบุคคลที่ชาวบ้านในระแวกหรือคุ้มยอมรับและเชื่อถือ สมัครใจและเต็มใจช่วยเหลือชุมชนด้วยความเสียสละ มีเวลาเพียงพอที่จะช่วยเหลือชุมชน (อยู่ประจำในหมู่บ้าน ไม่ย้ายถิ่นในระยะเวลา 1-2 ปี) และมีความคล่องตัวในการประสานงาน อ่านออกเขียนได้ เป็นตัวอย่างที่ดีในด้านพัฒนาสุขภาพ การพัฒนาชุมชนและไม่ควรเป็นข้าราชการหรือลูกจ้างของรัฐ

บทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.)

บทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน หมายถึง บทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านตามมาตรฐานสาธารณสุขมูลฐาน กรมการปกครองส่วนท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย ประกอบด้วย บทบาทหน้าที่ 8 ประการ คือ (1) การปรับพฤติกรรมสุขภาพ โดยทำตนเป็นแบบอย่างและสร้างพฤติกรรมสุขภาพ ในชุมชน (2) การดูแลสิ่งแวดล้อมป้องกันควบคุมโรคติดต่อ (3) การบริหารจัดการวางแผนแก้ไข ปัญหาและพัฒนาชุมชน (4) การสื่อข่าวสารสาธารณสุขระหว่างเจ้าหน้าที่และประชาชนในหมู่บ้านหรือชุมชน (5) การประสานงานกับบุคคลองค์กรและเครือข่าย (6) การดูแลสิทธิประโยชน์ด้านหลักประกันสุขภาพและสาธารณสุขของประชาชนในหมู่บ้าน (7) การให้บริการสาธารณสุขแก่ประชาชน (8) การปฏิบัติงานที่ศูนย์สาธารณสุขมูลฐาน (ศสมช.) หรือสถานที่ตามกำหนดของหมู่บ้าน

สมรรถนะอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน หมายถึง คุณลักษณะของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านที่แสดงออกถึง พฤติกรรมที่เกิดจาก ความรู้ (knowledge) ทักษะ (skills) และทัศนคติ (attitude) ของปัจเจกบุคคลที่มีอิทธิพลอย่างสูงต่อผลสัมฤทธิ์ของการทำงานของอาสา

สมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ตามบทบาทหรือความรับผิดชอบ ประกอบด้วยสมรรถนะ 4 ด้าน คือ ด้านความรู้ ด้านทักษะ ด้านทัศนคติ และด้านพฤติกรรมสุขภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Utinat, Chusak and Banchonhattakit (2024) ได้ศึกษาเพื่อทดสอบรูปแบบ ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปฏิบัติงานตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ตัวแปรที่มีอิทธิพลทางตรงต่อการปฏิบัติงานตามบทบาท หน้าที่ของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความพึงพอใจในงานและการเห็นคุณค่าในตนเอง ส่วนตัวแปรที่มีอิทธิพลทางอ้อมต่อการปฏิบัติงาน ตามบทบาทหน้าที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ การเสริมสร้างพลังอำนาจในงาน สัมพันธภาพในชุมชน คุณลักษณะความเป็นอาสาสมัครและลักษณะงาน

Kerdchuen, Tuicharoen and Nimkratoke (2025) แนวทางการพัฒนาอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) คุณภาพเพื่อสนับสนุนกำลังคน ด้านสาธารณสุขสำหรับระบบสุขภาพในอนาคต ผลการวิจัยพบว่า อสม. ส่วนใหญ่เห็นด้วยว่า อสม. คุณภาพ ควรมีคุณสมบัติสำคัญ 4 ด้าน ได้แก่ ทัศนคติ ความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมและการแสดงออก

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยมีวัตถุประสงค์ศึกษาสมรรถนะและบทบาทของ อสม.

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี จำนวน 2,356 คน

ตัวอย่างกลุ่มตัวอย่างกำหนดโดยใช้สูตรการคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างทาโร่ ยามาเน่ ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 500 คน และกระจายกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (stratified random sampling) กระจายกลุ่มตัวอย่างในแต่ละตำบลตามสัดส่วนจำนวนประชากร ดังนี้ คลองหนึ่ง จำนวน 149 คน คลองสอง 81 คน คลองสาม 87 คน คลองสี่ 63 คน คลองห้า 50 ตน คลองหก 43 คน และคลองเจ็ด 27 คน

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง (inclusion criteria)

1. เป็นอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านที่ขึ้นทะเบียน อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
2. กลุ่มตัวอย่างร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจและลงนามในเอกสารยินยอม
3. เป็นสมาชิก อสม. ที่มีอายุงานสูงกว่า 1 ปีขึ้นไป
4. เพศชายและเพศหญิง
5. ไม่จำกัดอายุ การศึกษา ศาสนา ภูมิลำเนา

เกณฑ์การคัดออกกลุ่มตัวอย่าง (exclusion criteria)

1. มีเหตุทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้
2. ไม่ยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
3. แจ้งความจำนงขอออกจากการวิจัย

เกณฑ์การยุติการเข้าร่วมโครงการวิจัย (termination criteria)

เกณฑ์การยุติการเข้าร่วมโครงการวิจัย คือ ผู้ร่วมวิจัยปฏิเสธการให้ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นจากการสังเคราะห์แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพัฒนาเป็นแบบสอบถาม 5 ระดับ (rating scale) ประกอบด้วยแบบสอบถามแบ่งเป็น 6 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับสมรรถนะ อสม.

2.1 แบบสอบถามสมรรถนะด้านความรู้ของอาสาสมัครประจำหมู่บ้าน

2.2 แบบสอบถามสมรรถนะด้านทักษะของอาสาสมัครประจำหมู่บ้าน

2.3 แบบสอบถามทัศนคติของอาสาสมัครประจำหมู่บ้าน

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามพฤติกรรมสุขภาพของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน

ส่วนที่ 4 แบบสอบถามสมรรถนะตามบทบาทหน้าที่อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1. การหาความตรงของเนื้อหา (content validity) ดำเนินการโดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสาธารณสุข นักวิชาการด้านการวัดและประเมินผลตรวจสอบพิจารณาความเหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์ ตรงตามเนื้อหา เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of item Objective Consistency: IOC) ของแบบสอบถามโดยผู้วิจัยส่งแบบสอบถามให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน พิจารณา คัดเลือกคำถามที่มีค่า IOC สูงกว่า 0.6 ขึ้นไป

2. ทำการหาค่าความเชื่อมั่น (reliability) ด้วย Cronbach's Alpha นำแบบสอบถามไปทดลองใช้กับ อสม. 30 คน และการใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's Alpha Coefficient) เท่ากับ 0.97

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ผู้วิจัยขอหนังสือและนัดหมายกับหน่วยงานและอาสาสมัครสาธารณสุขตำบล เพื่อดำเนินการส่งแบบสอบถาม

2. ผู้วิจัยนัดหมาย วัน เวลา ในการเก็บ รวบรวมข้อมูลกับผู้เกี่ยวข้อง และดำเนินการเก็บข้อมูลแบบสอบถามในกลุ่มต่าง ๆ

3. ผู้วิจัยส่งและติดตามการเก็บรวบรวมแบบสอบถามโดยติดต่อขอรับคืนด้วยตนเอง

4. ผู้วิจัยและทีมคณะวิจัย ตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของแบบสอบถามก่อนนำไปวิเคราะห์ข้อมูล

5. ผู้วิจัยและทีมคณะวิจัย ตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของแบบสอบถามก่อนนำไปวิเคราะห์ข้อมูล

การพิทักษ์สิทธิ์

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย เลขที่ SN 2566-22 การศึกษาวิจัยครั้งนี้ไม่มีความเสี่ยงที่อาจจะเกิดผลข้างเคียงหรือฤทธิ์ไม่พึงประสงค์ต่อกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการวิจัย

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลลักษณะทั่วไปของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัย ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เทียบกับเกณฑ์ ดังนี้

4.21–5.00 สมรรถนะในระดับสูงที่สุด

3.41–4.20 สมรรถนะในระดับสูง

2.61–3.40 สมรรถนะในระดับปานกลาง

1.81–2.60 สมรรถนะในระดับน้อย

1.00–1.80 สมรรถนะในระดับน้อยที่สุด

ประกอบด้วยผลการวิจัย 4 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ (frequency) ร้อยละ (percentage)

ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นเกี่ยวกับสมรรถนะ อสม โดยใช้สถิติอ้างอิง

ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมสุขภาพของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน โดยใช้สถิติอ้างอิง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ส่วนที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลตามรูปแบบ อสม. ต้นแบบ โดยใช้สถิติอ้างอิง Correlation และ Multiple Regression

กาหนดเกณฑ์การแปลความหมายค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ Wongratana (1998) ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสมพันธ์ (r) แปลผล

0.91-1.00 มีความสัมพันธ์ระดับสูงมาก

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แปลผล

0.91-1.00 มีความสัมพันธ์ระดับสูงมาก

0.71-0.90 มีความสัมพันธ์ระดับสูง

0.31-0.70 มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง

0.01-0.30 มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ

0.00 ไมมีความสัมพันธ์กัน

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

ผลการวิจัยพบว่า อสม. ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (81.4%) อายุสูงกว่า 60 ปี (39.8%) และ 51-60 ปี (39.4%) ระดับการศึกษา ส่วนใหญ่จบระดับประถมศึกษา (36.2%) และมัธยมศึกษาตอนปลาย (35%) สถานภาพสมรส พบว่า ส่วนใหญ่สมรสแล้ว (64.2%) ภูมิลำเนา พบว่า เกือบทั้งหมดมีภูมิลำเนาอยู่ในภาคกลาง (90.4%) อาชีพหลักส่วนใหญ่ คือ แม่บ้าน (46.8%) และธุรกิจส่วนตัว (25.8%) รายได้เฉลี่ยต่อเดือนส่วนใหญ่มีรายได้น้อยกว่า 5,000 บาท (36.8%) และ 5,000-10,000 บาท (35.2%) ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน อสม. ส่วนใหญ่ (65.2%) มีประสบการณ์การทำงานสูงกว่า 5 ปี

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับสมรรถนะ อสม.

2.1 สมรรถนะด้านความรู้ของ อสม.

ผลการวิจัยพบว่า ความรู้ของ อสม.โดยภาพรวมอยู่ในระดับสูง ($\overline{X}$ =3.67 SD=0.61) จำแนกความรู้รายด้านได้ดังนี้ ความรู้การดูแลสุขภาพแบบองค์รวมระดับสูง ($\overline{X}$ = 3.76 SD=0.61) ความรู้โภชนาการระดับสูง ($\overline{X}$ =3.57 SD=0.73) ความรู้เกี่ยวกับการออกกำลังกาย มีระดับสูงในทุกด้าน ($\overline{X}$ =3.67 SD=0.71) ความรู้เกี่ยวกับการใช้ยาระดับสูง ($\overline{X}$ =3.66 SD=0.71)

2.2 แบบสอบถามสมรรถนะด้านทักษะของ อสม.

ผลการวิจัยพบว่า ทักษะของ อสม.โดยรวมอยู่ในระดับสูง ($\overline{X}$ =3.62 SD=0.72) เมื่อจำแนกรายด้านพบว่า ทักษะการออกกำลังกายระดับสูง ($\overline{X}$ =3.52 SD=0.67) ทักษะการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพระดับสูง ($\overline{X}$ = 3.69 SD=0.56) ทักษะการสื่อสารระดับสูง ($\overline{X}$ =3.67 SD=0.67)

2.3 แบบสอบถามสมรรถนะด้านทัศนคติของ อสม.

ผลการวิจัยพบว่า ทัศนคติของ อสม. โดยภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ =4.04 SD=0.68) เมื่อจำแนกเป็นรายด้านพบว่า ทัศนคติด้านการตระหนักรู้อยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ =3.80 SD=0.67) ด้านความชอบอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ =4.23 SD=0.73) ด้านแนวโน้มการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพ อยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.11 SD=0.64)

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามพฤติกรรมสุขภาพของ อสม.

ผลการวิจัยพบว่า พฤติกรรมสุขภาพของ อสม. โดยรวมอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ =3.81 SD=0.72)

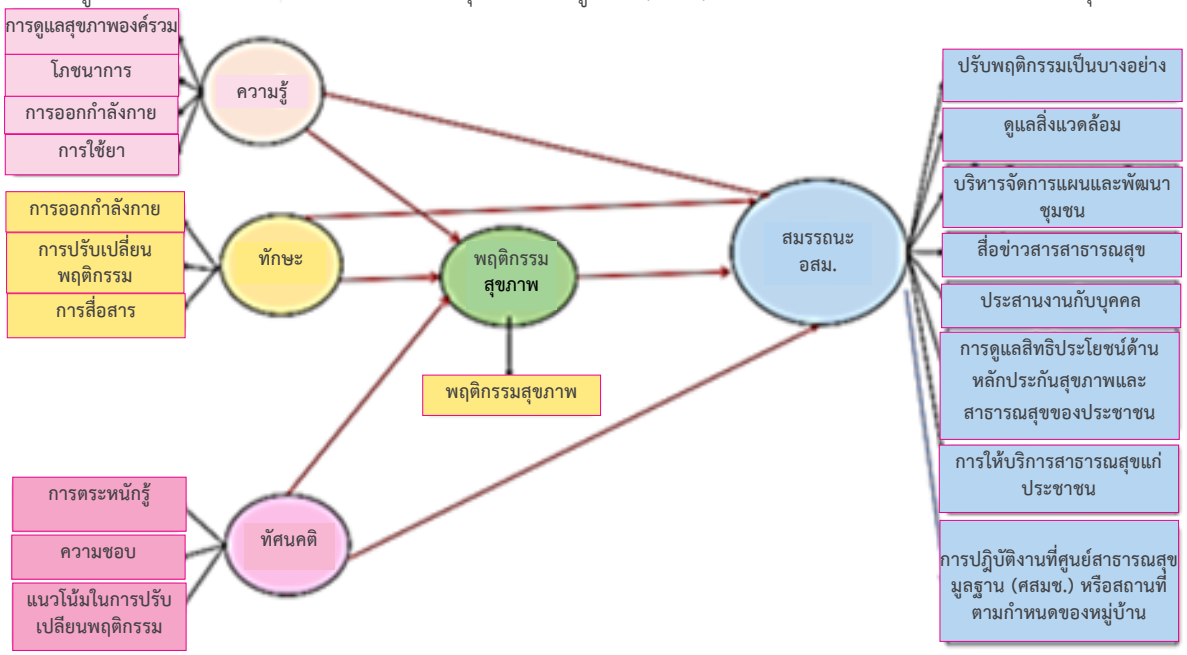
ส่วนที่ 4 แบบสอบถามสมรรถนะตามบทบาทหน้าที่ อสม.

ผลการวิจัยพบว่า อสม. มีสมรรถนะตามบทบาทหน้าที่โดยรวมในระดับสูง ($\overline{X}$ =3.81 SD=0.70) เมื่อจำแนกรายด้านพบว่า บทบาทหน้าที่สามารถปฏิบัติได้ดีที่สุด คือ ด้านการดูแลสิ่งแวดล้อมป้องกันควบคุมโรคติดต่อ ในระดับสูง ($\overline{X}$ = 4.00 SD=0.62) รองลงมาคือ ด้านการให้บริการสาธารณสุขแก่ประชาชน ในระดับสูง ($\overline{X}$ =3.89 SD=0.68)และด้านการดูแลสิทธิประโยชน์ด้านหลักประกันสุขภาพและสาธารณสุขของประชาชนในระดับสูง ($\overline{X}$ =3.83 SD=0.70) ตามลำดับ

สรุปว่า สมรรถนะของ อสม. ด้านความรู้ ทักษะ ทัศนคติ มีระดับสูงในทุกด้าน อสม. มีพฤติกรรมสุขภาพในระดับดี มีสมรรถนะตามบทบาทหน้าที่ในทุกด้านอยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะบทบาทหน้าที่ด้านการดูแลสิ่งแวดล้อมป้องกันควบคุมโรคติดต่อ และการให้บริการสาธารณสุขแก่ประชาชน

ส่วนที่ 5 พัฒนารูปแบบอาสาสมัครประจำหมู่บ้านต้นแบบ สถิติที่ใช้ สถิติอ้างอิง Correlation และ Multiple Regression

รูปแบบสมรรถนะอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ต้นแบบ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี



ภาพ 1 ร่างรูปแบบอาสาสมัครประจำหมู่บ้านต้นแบบ

ผลการวิจัย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของ อสม. กับพฤติกรรมสุขภาพพบว่า สมรรถนะด้านความรู้ (knowleage) มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพ ทางบวกในระดับปานกลาง (r=0.56) สมรรถนะด้านทักษะ (skill) มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพทางบวกในระดับปานกลาง (r= 0.49) สมรรถนะด้านทัศนคติ (attitude) มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพบวกในระดับปานกลาง (r= 0.56)

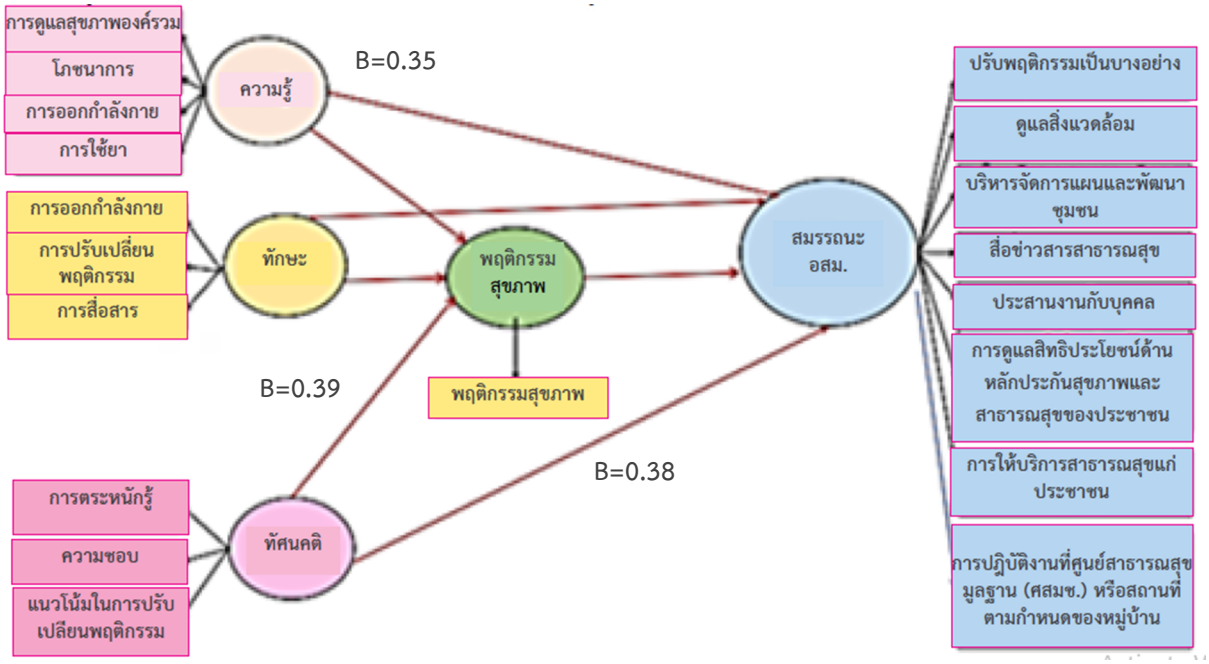
โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมสุขภาพสูงที่สุด คือ ด้านทัศนคติ (attitude) (B=0.39) รองลงมาคือ ด้านความรู้ (B=0.35) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .01

ผลการวิจัย ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของ อสม. และพฤติกรรมสุขภาพ กับบทบาทหน้าที่ของ อสม. พบว่า ด้านทัศนคติ (attitude) มีความสัมพันธ์กับบทบาทหน้าที่มากที่สุดคือ มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูง (r=0.75) รองลงมาคือ ด้านทักษะ (skill) ความสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูง (r=0.72) และด้านความรู้ (knowleage) มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับปานกลาง (r=0.70) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .01 ตามลำดับ ส่วนพฤติกรรมสุขภาพมีความสัมพันธ์ทางบวกกับบทบาทหน้าที่ในระดับปานกลาง (r= 0.56)

โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อบทบาทหน้าที่ของ อสม . มากที่สุดคือ ด้านทัศนคติ (attitude) (B=0.39) มีอิทธิพลระดับปานกลาง รองลงมาคือ ด้านทักษะ (skill) (B=0.31) มีอิทธิพลระดับปานกลาง ส่วนด้านความรู้ (knowleage) (B=0.12) และพฤติกรรมสุขภาพ (B=0.1) มีอิทธิพล ระดับต่ำ

สรุป สมรรถนะของ อสม. ที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมสุขภาพได้แก่ ด้านทัศนคติ (attitude) ด้านความรู้ (knowleage) มีอิทธิพลในระดับปานกลาง

สมรรถนะของ อสม. ที่มีอิทธิพลต่อบทบาทหน้าที่ของ อสม. ได้แก่ ด้านทัศนคติ (attitude) และด้านทักษะ (skill) ในระดับปานกลาง ส่วนด้านความรู้ (knowleage) และพฤติกรรมสุขภาพ มีอิทธิพลระดับต่ำ



ภาพ 2 รูปแบบอาสาสมัครประจำหมู่บ้านต้นแบบ

อภิปรายผล

การวิเคราะห์สมรรถนะและบทบาทหน้าที่ของ อสม.ตามความคิดเห็นของ อสม. พบว่า อยู่ในระดับ “สูง” ในทุกมิติ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมสุขภาพสูงที่สุด คือ ด้านทัศนคติ (attitude) (B=0.39) รองลงมาคือ ด้านความรู้ (knowleage) (B=0.35) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wichianprapha, Homsin and Srisuriyawet (2012) เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมสุขภาพของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน จังหวัดจันทบุรี พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมสุขภาพของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ได้แก่ การรับรู้ความสามารถแห่งตนต่อพฤติกรรมสุขภาพ การรับรู้ความ เสี่ยงต่อการเจ็บป่วย อายุ การได้รับการอบรมเพิ่มเติม การเข้าร่วมประชุมและการรับรู้แรงจูงใจในการปฏิบัติหน้าที่

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อบทบาทหน้าที่ของ อสม. มากที่สุดคือ ด้านทัศนคติ (attitude) (B=0.39) มีอิทธิพลระดับปานกลาง รองลงมาคือ ด้านทักษะ (skill) (B=0.31) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tangbua, Kerddonsai, Wongphatcharacharas and Umad (2024) เรื่อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปฏิบัติงานตามบทบาทของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านในทีมหมอครอบครัว อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติงานตามบทบาทของ อสม.ในทีมหมอครอบครัว ได้แก่ การรับรู้บทบาท แรงจูงใจ ทัศนคติ และแรงสนับสนุนทางสังคม

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง รูปแบบสมรรถนะและบทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาสมรรถนะและบทบาทอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (2) พัฒนารูปแบบสมรรถนะอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ต้นแบบที่สอดคล้องกับบริบทท้องถิ่น

ประชากรประกอบด้วย อสม. จำนวน 2,356 คน ในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ขนาดกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 500 ราย วิธีเลือกตัวอย่างโดยการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (stratified sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ประกอบด้วยแบบสอบถาม Rating scale 5 ระดับ เพื่อประเมินสมรรถนะ อสม. 3 ด้าน คือ ด้านความรู้

ด้านทักษะ และด้านทัศนคติ ประเมินพฤติกรรมสุขภาพและประเมินสมรรถนะตามบทบาทหน้าที่ การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือการหาความเชื่อมั่นของเครื่องมือประเมินด้วย Cronbach's Alpha Coefficient เท่ากับ 0.97 ซึ่งบ่งชี้ถึงความเชื่อมั่นของแบบสอบถามในระดับสูง การวิเคราะห์ข้อมูล: สถิติอ้างอิงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อสรุประดับสมรรถนะ บทบาทหน้าที่ และพฤติกรรมสุขภาพ และพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อบทบาทหน้าที่ของ อสม. ด้วยสถิติ correlation และ Multiple regression

ผลการวิจัยสำคัญที่พบว่า ประชากร อสม. ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงและผู้สูงอายุ สมรรถนะโดยรวมอยู่ในระดับ "สูง" ในทุกมิติ มิติที่เด่นคือ สมรรถนะด้านทัศนคติ โดยเฉพาะด้านความชอบในการทำงาน มีค่าเฉลี่ยสูงสุดท่ามกลางมิติอื่น ๆ ด้านพฤติกรรมสุขภาพพบว่า พฤติกรรมสุขภาพโดยรวมอยู่ในระดับ "สูง" และสมรรถนะการปฏิบัติบทบาทหน้าที่ อสม. อยู่ในระดับ "สูง"

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่นำไปสู่รูปสมรรถนะอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ต้นแบบพบว่าความรู้ และทัศนคติเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อพฤติกรรมสุขภาพของ อสม. ส่วนทักษะและทัศนคติมีอิทธิพลต่อสมรรถนะการปฏิบัติตามบทบาทหน้าที่ตามมาตรฐานสาธารณสุขพื้นฐานของ อสม.

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. รูปแบบสมรรถนะอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ต้นแบบ ที่ค้นพบชี้ให้เห็นว่า ความรู้ และทัศนคติ เป็นกรอบพื้นฐานที่ขับเคลื่อนพฤติกรรมสุขภาพของชุมชนผ่านการปฏิบัติงานของ อสม.

2. อิทธิพลของปัจจัยด้านทักษะและทัศนคติมีอิทธิพลต่อการปฏิบัติตามบทบาทหน้าที่ของ อสม. สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนากรอบการฝึกอบรมและแนวทางการสนับสนุนที่ครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ และการปรับทัศนคติ

3. ผู้กำหนดนโยบายควรให้ทรัพยากรเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนการเสริมสร้างความรู้ ทักษะ และทัศนคติที่สอดคล้องกับบริบทชุมชนคลองหลวง

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต

1. ผลลัพธ์สามารถนำไปสู่การออกแบบโปรแกรมฝึกอบรมที่เฉพาะเจาะจงต่อบริบทคลองหลวง ปรับปรุงคู่มือแนวปฏิบัติ และพัฒนากลไกประเมินผลเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตและสุขภาพของประชาชนในชุมชนอย่างยั่งยืน

2. ผลลัพธ์ยังช่วยเสริมกรอบประเมินผล (scorecard) สำหรับการติดตามประสิทธิภาพของ อสม. ในระดับพื้นที่

References

Jadaman, P. (2017). *21st Century: Organizational and human Resource Management in Thailand in the 4.0 Era*. Bangkok Paisan Builder Formula. (in Thai)

Kerdchuen, K., Tuicharoen, J., & Nimkratoke, T. (2025). Developing the Potential of Village Health Volunteers in Managing "Health station" in Partnership. *Journal of Health Research and Development Nakhon Ratchasima Provincial Public Health Office, 10*(2), 55–68. retrieved from https://he02.tci-thaijo.org/index.php/journalkorat/article/view/269274 (in Thai)

Koontorn, P. (2018). *Development of personnel competencies in supporting the government system 4.0*. Retrieved from https:// dric.nrct.go.th/Search/ShowFulltext2/306923 (in Thai)

Primary Health Care Division. (2024). *Number of village health volunteers who applied to be volunteers*. Retrieved from https://www.thaiphc.net/phc/phcadmin/administrator/Report/OSMRP000VHV.php (in Thai)

Srisaeng, B. (2024). *Introduction to Research* (9th ed.). Bangkok: Bangkok: Suwiriyasan. (in Thai)

Tangbua, S., Kerddonsai, T., Wongphatcharacharas, N., & Umad, W. (2024). Factors influencing the role performance of village health volunteers inthe family doctor team mueang nonthaburi district nonthaburi province. *Academic Journal of Community Public Health, 10*(4), 118-130. https://he02.tci-thaijo.org/index.php/ajcph/article/view/269992/185206 (in Thai)

Thotet, P. (2020). *A Study of the competency development model for village health volunteers 4.0 North Region, 2018*. Nakhon Si Thammarat: Nakhon Si Thammarat Rajabhat University (in Thai)

Thienjaruwattana, W., Nawsuwan, K., & Vachiraprapan, S. (2021). Guidelines for development of quality Village Health Volunteers (VHVs) to support the health workforce. *Journal of Health Science 30*(2), 353–366. Retrieved from https://thaidj.org/index.php/JHS/article/view/10018 (in Thai)

Utinat, K., Chusak, T., & Banchonhattakit, P. (2024). Factors affecting the performance of public health personnel transferred into Samut Sakhon Provincial Administrative Organization. *Singburi Hospital Journal, 33*(2), B97–107. retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/shj/article/view/270863 (in Thai)

Wichianprapha, T., Pornnapa Homsin, P., & Srisuriyawet, R. (2012). Factors affecting health behaviors of health volunteers, Chanthaburi Province. *The Public Health Journal of Burapha University, 7*(2), 53-68. https://journal.lib.buu.ac.th/index.php/health/article/view/2605 (in Thai)

Wongratana, C. (1998). Techniques for using statistics for research (7th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Book Center. (in Thai)

Yaebkai, Y., & Pangsiri, M. (2021). Factors affecting the work competency of the family volunteers in Sukhothai Province. *Journal of health and health management, 7*(2), 65–77. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/slc/article/view/252282 (in Thai)

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/

