



วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
EAU Heritage Journal

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Science and Technology

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม 2567 Vol. 18 No. 2 May-August 2024

ISSN 3027-7221 (Online)



นโยบายการจัดพิมพ์

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

บทความที่เสนอเพื่อตีพิมพ์

บทความที่เสนอเพื่อพิจารณาต้องเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัยทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ เรื่องที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ ผ่านกระบวนการพิจารณาถ้อยแถลงโดยผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาของบทความ เป็นการประเมิน Double Blind Review ที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อและสังกัดของกันและกัน และต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาในวารสารอื่น ๆ (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้ส่งบทความโดยตรง) บทความที่ได้รับการถ้อยแถลงจากผู้ทรงคุณวุฒิและทำการปรับแก้เรียบร้อยแล้ว 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. รูปแบบการจัดหน้าและจัดแนวข้อความชัดเจน (ไม่ต้องปรับขวา)
4. เขียนชื่อ ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน และที่อยู่ของผู้เขียนอย่างชัดเจน โดยแยกออกจากส่วนต้นฉบับและบทคัดย่อ
5. แผนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษมาพร้อมกับบทความ โดยกำหนดความยาวของบทคัดย่อไม่เกิน 15 บรรทัด พร้อมทั้งกำหนดคำสำคัญ (key words) ไม่เกิน 6 คำ
6. แยกไฟล์ตาราง รูปภาพ ที่ประกอบในเนื้อหาบทความ และส่งมาพร้อมกับไฟล์บทความ

การอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

ในกรณีที่ผู้เขียนต้องการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลในเนื้อเรื่องให้ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนามปี (APA) โดยระบุชื่อผู้แต่ง ปีพิมพ์ และเลขหน้าที่มีข้อมูลปรากฏอยู่ (ชื่อ นามสกุล, ปีพิมพ์, เลขหน้า) ตัวอย่างเช่น (ธวัชชัย สันติวงศ์, 2540, น. 142)

(Fuchs, 2004, p. 21)

ส่วนการเขียนรายการอ้างอิงท้ายเล่ม ให้ใช้ระบบการอ้างอิงแบบ APA Style (6th edition) ตัวอย่างการเขียนรายการอ้างอิง มีดังนี้

1. หนังสือ

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

สำนักพิมพ์หรือหน่วยงานที่พิมพ์.

ประคอง กรรณสูตร. (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). สารสำคัญเกี่ยวกับการเรียนการสอนภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษา. ใน *เอกสารการสอนชุดวิชาการสอนภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 2, หน่วยที่ 9). นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

3. วารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. *ชื่อวารสาร*, ปีที่ฉบับที่, เลขหน้า.

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

4. หนังสือพิมพ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปี, เดือน, วันที่). ชื่อบทความ. *ชื่อหนังสือพิมพ์*, หน้า. ศรีสกุล สิวาพิระพันธ์. (2545, กรกฎาคม 11). จับทีวีใส่กระเป๋า เขาทำกันอย่างไร?. *มติชน*, น. 19.

5. วิทยานิพนธ์

กอบกุล สรรพกิจจานง. (2541). *การวิจัยเชิงนโยบายเพื่อการพัฒนา นโยบายการใช้อินเทอร์เน็ตสำหรับสถาบันอุดมศึกษาไทย*. คุุณินิพนธ์ครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

6. สารสนเทศจากอินเทอร์เน็ต

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

มานพ แก้วผกา. (2549). *เศรษฐกิจพอเพียงกับการค้าเสรีไปด้วยกัน ได้จริงหรือ*. 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 วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย 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 18 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม 2567 Vol. 18 No. 2 May-August 2024

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 วารสารได้ปรับเปลี่ยนจำนวนผู้ทรงคุณวุฒิในการประเมินบทความ จากการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวนไม่น้อยกว่า 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 จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567

วัตถุประสงค์

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

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

ขอบเขตเนื้อหาการตีพิมพ์

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

ประเภทบทความที่รับ

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

กำหนดการเผยแพร่

กำหนดออกเผยแพร่อาย 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>

นโยบายการประเมินบทความ

โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ตั้งแต่ ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน 2565) บทความทุกบทความจะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ที่มีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่าน (เดิมใช้ผู้ทรงคุณวุฒิไม่น้อยกว่า 2 ท่าน) ในรูปแบบของการประเมินบทความที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนไม่ทราบชื่อและสังกัดของกันและกัน (Double-Blind Peer Review)

โดยบทความจากบุคลากรภายใน จะได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด ส่วนบทความจากบุคลากรภายนอก จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด หรือจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ลิขสิทธิ์

ข้อความภายในบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งหมด รวมถึงรูปภาพประกอบ ตาราง เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย การนำเนื้อหา ข้อความหรือข้อคิดเห็น รูปภาพ ตาราง ของบทความไปจัดพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบต่าง ๆ ต้องได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการวารสารอย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษร

ข้อความที่ปรากฏในบทความในวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย และคณาจารย์ บุคลากร ท่านอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยแต่อย่างใด

แหล่งผลิต กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

ที่ปรึกษา ดร.โชติรัส ขวัญชัย

บรรณาธิการ ดร.กัญจน์ณิชา โภคอุดม

กองบรรณาธิการ ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุตินา
รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ แก้วปาน
รองศาสตราจารย์ ดร.นุจรี ไชยมงคล
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญใจ ศรีสถิตนรากร
รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชุตินาสกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิสา ชายเกลี้ยง
รองศาสตราจารย์ ดร.เพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญญพัฒน์ ไชยเมล์
รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระชาติ ตั้งจิรภัทร
รองศาสตราจารย์ พันเอกหญิง ดร.สุวิมล เสนียวงศ์ ณ อยุธยา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งตะวัน สุภาพผล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร เดชะศิลารักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัตถ์ ธารีลาภ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาดา สุขศิลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภา โส๊ะสลาม
อาจารย์อุบลรัตน์ ชนะโรค

ผู้ช่วยบรรณาธิการ ดร.จรุงรัตน์ พันธุ์สุวรรณ
นางสาวนริศรา ทุมมณี

อธิการบดี มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยบูรพา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยทักษิณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย



จรรยาบรรณการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

บทบาทและหน้าที่ของผู้เขียน

1. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ได้มาก่อน
2. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่จัดส่งมานั้น ไม่อยู่ระหว่างการรอตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ
3. ผู้เขียนต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
4. ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่น หากมีการนำผลงานเหล่านั้นมาใช้ในผลงานตัวเอง รวมทั้งจัดทำรายการอ้างอิงให้ครบถ้วน
5. ผู้เขียนต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ใน Template ของวารสาร
6. ผู้เขียนที่มีรายชื่อปรากฏในบทความทุกคนต้องเป็นผู้เขียนที่มีส่วนร่วมในงานเขียนจริง ในกรณีที่บทความวิจัย ผู้เขียนทุกคนต้องมีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจริง ทั้งนี้ ผู้เขียนที่ส่งบทความต้องตรวจสอบผู้เขียนให้ครบถ้วน ทางกองบรรณาธิการไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงชื่อภายหลังการส่งบทความ

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่ตนรับผิดชอบ
2. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนและผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลใด ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
3. บรรณาธิการต้องตัดสินใจคัดเลือกบทความมาตีพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการประเมินบทความแล้ว โดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหา กับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
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 ผู้ประเมินบทความตระหนักว่าตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้เขียนเป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ
3. ผู้ประเมินบทความ ควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์และความเข้มข้นของผลงาน ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย
4. ผู้ประเมินต้องระบุผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้เขียนไม่ได้อ้างถึง เข้าไปในการประเมินบทความด้วย นอกจากนี้หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ประเมินต้องชี้แจงให้บรรณาธิการทราบด้วย

จริยธรรมการวิจัยใน มนุษย์และสัตว์

บทความวิจัยที่ส่งเข้ามารับการตีพิมพ์ ถ้างานวิจัยเกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในมนุษย์ ผู้เขียนต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน จากสถาบันที่ผ่านการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานการวิจัยในคน สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ สำหรับการทดลองในสัตว์ต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ และอยู่ภายใต้หลักพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558



บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของปี 2567 ปัจจุบันวารสารของเราได้รับการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) ให้เป็นวารสารกลุ่มที่ 1 จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 (ครอบคลุมการตีพิมพ์เผยแพร่ถึงเล่มที่ 3 ปี 2567) และในขณะนี้ทางวารสารได้ส่งข้อมูลเพื่อรับการประเมินคุณภาพในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 5 พ.ศ. 2568-2572 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยทางศูนย์ TCI จะทำการประกาศผลให้ทราบภายในเดือนมกราคม 2568

กองบรรณาธิการต้องขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนวารสารด้วยดีเสมอมา ตลอดระยะเวลากว่า 18 ปีที่เราได้เปิดดำเนินการ เรามีความมุ่งมั่นตั้งใจในการพัฒนาและจัดทำวารสารให้มีมาตรฐาน เพื่อเป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์เผยแพร่องค์ความรู้ทางวิชาการในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อันได้แก่ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เกษษศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง โดยมีรูปแบบการเผยแพร่วารสารแบบออนไลน์ผ่านระบบ ThaiJO

สำหรับบทความในฉบับนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 14 บทความ โดยเป็นบทความวิชาการเพียง 1 บทความ คือ บทความเรื่อง “การเปลี่ยนแปลงการรับบริจาคเลือดหลังช่วงระบาดของโรคโควิด-19 ในประเทศไทย นอกจากนี้อีก 13 บทความล้วนเป็นบทความวิจัยที่มีความน่าสนใจและสอดคล้องตามวัตถุประสงค์การเผยแพร่ของวารสาร โดยจะขอยกตัวอย่างชื่อของ 5 บทความแรก อันได้แก่ บทความเรื่อง “การติดตั้งและการต่อระบบ Hybrid off grid inverter เพื่อพัฒนาโรงเรือนปิดสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์แบบอัตโนมัติ” “การพัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำร่ำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร” “การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดฝึกการซ่อมการขับเคลื่อนสำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิง” “การพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบัน ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง กรณีศึกษาสนามบินภาคเหนือของประเทศไทย” และ “การพัฒนาระบบการวิเคราะห์ห่อการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพโดยใช้การแสดงการไหลของการวิเคราะห์ทางไฟฟ้า”

กองบรรณาธิการ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้และประโยชน์จากบทความในวารสาร และต้องขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความสนใจติดตามวารสารมาอย่างต่อเนื่อง เรายินดีน้อมรับทุกคำแนะนำเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาและปรับปรุงวารสารให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น แล้วพบกันใหม่ในฉบับหน้าค่ะ

บรรณาธิการ

สารบัญ

Academic Articles

- 1 ■ การเปลี่ยนแปลงการรับบริจาคเลือดหลังช่วงระบาดของโรคโควิด-19 ในประเทศไทย
Changes in Blood Donation after the COVID-19 Pandemic in Thailand
วิรัชศักดิ์ จรภักดี รุ่งกาญจน์ สังฆรักษ์ และฉวีวัฒน์ วรรณตุง

Research Articles

- 14 ■ การติดตั้งและการต่อระบบ Hybrid Off Grid Inverter เพื่อพัฒนาโรงเรือนปิดสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ
Installation and Connection of Hybrid Off Grid Inverter System to Develop Closed Greenhouses for Automatic Hydroponic Vegetable Cultivation.
รังสรรค์ พงษ์พัฒนาไพ และณมน วรรณานวงศ์
- 27 ■ การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดฝึกซ้อมการขับขี่สำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิง
Design and Prototyping of Driving Test Kit for Eco Mileage Challenge Vehicle
วสวัตดี เสาวดี และชวิน จันทรเสนาวงศ์
- 43 ■ การพัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร
The Development of Knowledge Transfer Application of Ancient Boxing Dance in Sakon Nakhon Province
ลธิทิพร วงศ์บาตร สุรสิทธิ์ อัยยัคฒาวงศ์ และนิภาพร ชนะมาร
- 59 ■ การพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบัน ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง
กรณีศึกษาสนามบินภาคเหนือของประเทศไทย
Thunderstorm Nowcasting Using Machine Learning Techniques:
A Case Study of the Airports in Northern Thailand
ชญาณิชฐ์ เมืองสง ขจิตพรพรณ กฤตพลวิมาน และรัชกฤษ ธนพัฒน์ดล

สารบัญ

- 78 ■ การพัฒนาระบบการวิเคราะห์หาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพโดยใช้การแสดงผลของการวิเคราะห์ทางไฟฟ้า
Development of Camera Fault Analysis System Using Visualization of Electrical Analysis Flow
ภัทราวดี พรหมเกตุ และชัยยงค์ เสริมผล
- 92 ■ การปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสำนักงานภาครัฐ โดยใช้แบบจำลองพลังงาน:
กรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง
Energy Improvement of Building Frames in Government Office Buildings Using Energy Modeling: Case Study of Bang Mae Nang Municipality Office
ทินกร เชื้อวงศ์ ศุภรัชชัย วรรัตน์ และ ประยุทธ์ ฤทธิเดช
- 107 ■ การศึกษาการวางยารักษาไข้พิษไข้กาฬตามพระคัมภีร์ตักกะศิลา
The Use of Medicine for Exanthematous Fever in Taxila Scriptures
มัชฌิมา ตูตะพะ และศุภะลักษณ์ พักคำ
- 124 ■ การประยุกต์ใช้ผังแสดงความสัมพันธ์ตามหลักการวิศวกรรมอุตสาหกรรม
ในการจัดผังสนามเด็กเล่น
Application of Relationship Diagram in Industrial Engineering Principle to Children Playground Design
พรศิริ จงกล ธนาคาร ศรีมะเริง ภาคิน อัดตวิริยะสุวร มนูญขยา ถาวรสวัสดิ์ และรชนีกร พลปลัฟ
- 138 ■ การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและ
ลอยน้ำสำหรับระบบให้น้ำพืชไร่: กรณีศึกษาไร่กระท่อม ต.ระแหง อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี
Comparative Performance Study of Ground-Based and Floating Solar Photovoltaic Based on Electrical Generation System for Farm Crop Irrigation System: Case Study on Kratom Farm, Rahaeng Subdistrict, Lat Lum Kaeo District, Pathum Thani
กันยารัตน์ เอกเอี่ยม องอาจ ทับปรี และประภาวรรณ แพงศรี

- 152 ■ การคัดเลือกผู้รับเหมาโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์
สำหรับงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง
Supplier Selection Using Analytic Hierarchy Process
for Installation Fire Protection System in High-Rise Building
เชษฐ ด้งทรงจิตรากุล ศุภลักษณ์ ใจเรือง อนุชา หิรัญวัฒน์ และลักขณา ฤกษ์เกษม
- 171 ■ การเพิ่มความมั่นคงในการบริหารจัดการกุญแจลับ สำหรับการกู้คืนกุญแจ
แบบหลายเอเจนต์ที่อาศัยศูนย์กลางในการกู้คืนกุญแจ
Enhancing Security in Secret Key Management for Multi-Agent Key Recovery Utilizing
a Centralized Key Recovery Center
กนกวรรณ กันยะมี และจำริญ จันทร์กฤษ
- 184 ■ การพัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด
Developing an Innovative Genital Model for Practicing Cleaning Skill
दनัย दुसूरक्ष भरनधवरन हूरुकररह सुधतरा दररुदुधसूरु औरकरसर गुरुर
- 200 ■ การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการทรงตัวของหุ่นยนต์จักรยานสองล้อโดยใช้
ระบบการควบคุมพีไอดี
Development and Stability Optimization of a Two-Wheeled Bicycle Robot Using
PID Control System
เรว้ดณ้ บุนจันทร คิวพงษ์ กิ่งแก้ว และอรรรลลลลล วงศ์เจรู



การเปลี่ยนแปลงการรับบริจาคเลือดหลังช่วงระบาดของโรคโควิด-19 ในประเทศไทย

Changes in Blood Donation after the COVID-19 Pandemic in Thailand

วีรศักดิ์ จรภักดี¹ รุ่งกาญจน์ สังฆรักษ์¹ และธีรวัฒน์ วรรณตุง¹

Weerasak Jorapakdee¹, Rungkarn Sungkaruk¹ and Tirawat Wannatung¹

¹สาขาวิชาเทคนิคการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

¹Department of Medical Technology, Faculty of Medicine, Western University

Received: November 24, 2023

Revised: December 21, 2023

Accepted: December 28, 2023

บทคัดย่อ

โรคโควิด-19 (Coronavirus disease 2019 (COVID-19)) เกิดจากการติดเชื้อไวรัส Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2--SARS-CoV-2 ในช่วงระบาดของโรคโควิด-19 ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย รายงานการขาดแคลนเลือดบริจาคทั่วประเทศซึ่งเป็นปัญหาหนักมากในช่วงปี พ.ศ. 2564 ความกังวลใจของผู้บริจาคเลือดต่อการติดโรคโควิด-19 ทำให้หน่วยรับบริจาคเลือดทุกแห่งต้องวางมาตรการและแนวปฏิบัติด้านความปลอดภัยในการรับบริจาคเลือดที่ชัดเจนเพื่อสร้างความมั่นใจแก่ประชาชนให้มาบริจาคเลือดมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงแนวปฏิบัติในการรับบริจาคเลือดโดยศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนประกอบด้วยผู้ปฏิบัติงานธนาคารเลือด ผู้บริจาคและผู้รับเลือดมีความปลอดภัยต่อการติดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 จึงกำหนดเกณฑ์เพื่อคัดกรองโรคโควิด-19 โดยปัจจุบันผู้ติดเชื้อไวรัสนี้ ให้งดบริจาค 14 วันหลังจากหายป่วย ผู้ป่วยโรคโควิด-19 ที่ไม่แสดงอาการให้งดบริจาค 7 วัน หลังจากตรวจพบเชื้อ ผู้บริจาคที่ได้รับวัคซีนโรคโควิด-19 ในประกาศแรกเริ่มให้งดบริจาค 7 วัน ภายหลังจึงลดเหลือ 2 วัน หลังได้รับวัคซีน การตรวจเลือดผู้บริจาคทางห้องปฏิบัติการไม่ได้ตรวจหาแอนติบอดีต่อเชื้อและตัวเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ซึ่งอาจพบได้ในผู้บริจาคเลือดที่ติดเชื้อแต่ไม่แสดงอาการ เนื่องจากมีข้อมูลสนับสนุนแน่ชัดว่าเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 สามารถพบในเลือดได้แต่ไม่ติดต่อผ่านทางเลือดและส่วนประกอบของเลือด ดังนั้นผู้รับเลือดจึงไม่ได้มีความเสี่ยงมากไปกว่าเดิมในการรับเลือดจากผู้บริจาคที่เคยติดโรคโควิด-19 หรือได้รับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 เทียบกับเลือดผู้บริจาคทั่วไปก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19

คำสำคัญ: โควิด-19 เชื้อ SARS-CoV-2 การรับบริจาคเลือด

Abstract

Coronavirus disease 2019 (COVID-19) is caused by infection with Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2--SARS-CoV-2. During the COVID-19 pandemic, the National Blood Centre--NBC and Thai Red Cross Society--TRCS reported a nationwide shortage of donated blood, which was a serious issue in 2021. The concern of blood donors over the COVID-19 infection triggers all blood donation units to lay down clear safety measures and guidelines for blood donation to build confidence among people to donate more blood. The changes in blood donation guidelines by NBC and TRCS aim to ensure safety against SARS-CoV-2 infection for all stakeholders, including blood bank practitioners, donors, and recipients. Hence, the criteria have been established to screen for COVID-19. Currently, people infected with COVID-19 must defer from donation 14 days after full recovery; asymptomatic COVID-19 patients must defer from donation. 7 days after detecting infection, donors who have received the COVID-19 vaccine must defer their donation 7 days after receiving the vaccine, according to the initial announcement, later reduced to 2 days. The laboratory will not test the donated blood for SARS-CoV-2 antibodies or SARS-CoV-2, which may be found in asymptomatic COVID-19 donors. Therefore, blood recipients are not at any greater risk than before when receiving blood from a donor who has previously contracted COVID-19 or received the COVID-19 vaccine, compared to general donor blood before the COVID-19 pandemic.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, blood donation



บทนำ

โรคโควิด-19 (COVID-19) หรือ Coronavirus disease 2019 ซึ่งมีสาเหตุจากเชื้อไวรัส Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2--SARS-CoV 2 มีการรายงานครั้งแรกในเมืองอู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย์ สาธารณรัฐประชาชนจีน เมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2562 (Li, Cui & Zhang, 2020) ซึ่งหลังจากนั้นไม่นานก็เกิดการระบาดหนักไปทั่วโลก ในประเทศไทยรายงานการพบเชื้อนี้ครั้งแรกเมื่อวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2563 (Department of Disease Control, 2021) ซึ่งวิกฤตการระบาดนี้ยาวนานโดยนับตั้งแต่ พ.ศ. 2563 จนถึง ณ วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2565 อ้างอิงข้อมูลจากกระทรวงสาธารณสุข กรมควบคุมโรค (The Center for COVID-19 Situation Administration--CCSA, 2022) พบผู้ติดเชื้อสะสม 4,681,309 ราย และเสียชีวิต 32,764 ราย การระบาดครั้งนี้มีผลกระทบทางด้านการแพทย์และสาธารณสุขเป็นอย่างมากซึ่งรวมถึงการรับบริจาคเลือดใน

ประเทศด้วย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยซึ่งเป็นหน่วยงานหลักรายงานปัญหาขาดแคลนเลือดสะสมทั่วประเทศและมีการออกมาตรการและแนวปฏิบัติต่าง ๆ เพื่อให้ประชาชนคลายความกังวลในการมาบริจาคเลือดแต่ยังคงควบคุมให้มีมาตรฐานความปลอดภัยที่เกี่ยวกับการติดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ทั้งของผู้ปฏิบัติงาน ผู้บริจาครวมถึงเลือดบริจาคที่จะไปยังผู้ป่วย การเปลี่ยนแปลงแนวทางการรับบริจาคเลือดในช่วงวิกฤตนี้เกี่ยวเนื่องกับข้อมูลทางวิชาการทั้งในและต่างประเทศที่มีการรายงานตามสถานการณ์การระบาดในระลอกต่าง ๆ บทความวิชาการนี้ให้ข้อมูลถึงการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการรับบริจาคเลือดภายหลังวิกฤตโควิด-19 แนวทางการคัดกรองผู้บริจาคเลือดหลังวิกฤตโควิด-19 มาตรฐานการตรวจเลือดบริจาคทางห้องปฏิบัติการธนาคารเลือด ความปลอดภัยของเลือดผู้บริจาคหลังวิกฤตโควิด-19 และผลของแอนติบอดีต่อเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในเลือดผู้บริจาคที่หายจากโรคโควิด-19 หรือได้รับวัคซีนป้องกัน

โรคโควิด-19 หรือมีเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 อยู่ในร่างกาย แต่ไม่มีการแสดงของโรคต่อผู้รับเลือด

โรคโควิด-19 (COVID-19)

โรคโควิด-19 เป็นโรคระบบทางเดินหายใจที่สามารถทำให้เกิดปอดอักเสบอย่างรุนแรงจนเสียชีวิตได้ เริ่มระบาดปลายปี ค.ศ. 2019 เฉพาะในประเทศจีน และมีการระบาดนอกทวีปเอเชียและแพร่กระจายไปทั่วโลก ต้นปี ค.ศ. 2020 มีสาเหตุจากเชื้อไวรัสกลุ่มโคโรนาที่พบใหม่ชื่อว่า SARS-CoV-2 ติดต่อโดยการกระจายของเชื้อทางน้ำลาย การไอ จาม ละอองน้ำลายเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจซึ่งพบเชื้อได้ร้อยละ 100 ส่วนการพบเชื้อในอุจจาระเลือดและพบได้ร้อยละ 50 (Peiris et al., 2023) ส่วนในปีสภาวะมีโอกาสพบเชื้อได้น้อยกว่าร้อยละ 1 (Zheng et al., 2020) ขณะที่ไม่พบเชื้อในน้ำอสุจิ (Alvarez et al., 2023) เชื้อนี้สามารถคงทนอยู่ได้นานในอุจจาระประมาณ 22 วัน ซึ่งนานกว่าในระบบทางเดินหายใจซึ่งพบ 18 วัน และเลือดซึ่งพบ 16 วัน อย่างไรก็ตามไม่พบการติดต่อทางการให้เลือด (Politis et al., 2021; Cho et al., 2020) และไม่ติดต่อผ่านรกจากแม่สู่ลูก (Schwartz, 2020) ผู้ป่วยโรคโควิด-19 ส่วนใหญ่มีอาการไม่รุนแรงพบมีไข้ หนาวสั่น เจ็บคอ ไอ ปวดศีรษะ มีน้ำมูกไหล ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ สูญเสียการรับรส การได้กลิ่น ในบางรายอาจปวดตา อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย รู้สึกชาตามตัว ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรงซึ่งพบได้น้อยกว่าประมาณร้อยละ 10-20 มักพบกลุ่มผู้สูงอายุ เด็กเล็ก และผู้ที่มีปัญหาทางสุขภาพอยู่เดิมจะเกิดภาวะปอดอักเสบได้มากทำให้ออกซิเจนในเลือดต่ำ หายใจหอบเหนื่อย ระบบการหายใจล้มเหลวและเสียชีวิตในที่สุด (World Health Organization, 2023)

สถานการณ์การรับบริจาคเลือดในช่วงวิกฤตโควิด-19

วิกฤตแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ในไทยในช่วงปีพ.ศ. 2563-2565 ทำให้มีจำนวนผู้บริจาคเลือดลดลง เนื่องจากหน่วยงานต่าง ๆ ไม่สามารถจัดกิจกรรมรับบริจาคเลือดได้ สาเหตุจากการมีมาตรการบังคับ lockdown การจำกัดการเดินทางและการจำกัดการเข้าถึงพื้นที่สาธารณะรวมถึงหน่วยบริจาคเลือดต่าง ๆ เหล่านี้ส่งผลให้เกิดปัญหาขาดแคลนเลือด

โรงพยาบาลทั่วประเทศเกิดการขาดแคลนเลือดโดยพร้อมกัน ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยไม่สามารถจ่ายเลือดให้กับโรงพยาบาลต่าง ๆ ได้อย่างเพียงพอซึ่งโดยปกติจะมีถุงเลือดบริจาคประมาณ 200,000 หน่วยต่อเดือน จากข้อมูลช่วงการระบาดระลอกที่ 2 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 ระลอกที่ 3 เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และระลอกที่ 4 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2564 ทำให้จำนวนหน่วยเลือดลดลงเหลือประมาณ 150,000 หน่วย ขาดแคลนสะสมยาวนานมากกว่า 5 เดือน (National Blood Center, Thai Red Cross Society, 2021) ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยจึงต้องปรับรูปแบบการจัดการเลือดใหม่ มีการขอรับบริจาคเลือดทดแทนจากญาติผู้ป่วยทุกราย ออกรับบริจาคเลือดเป็นหน่วยเล็กรับบริจาคเลือดให้ถึงที่ รวมถึงเพิ่มการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อออนไลน์เพื่อสร้างการรับรู้การขาดแคลนเลือด มีการเผยแพร่มาตรการและแนวปฏิบัติในการบริจาคเลือดที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลทางการแพทย์และนโยบายการควบคุมโรคระบาดของรัฐบาล เช่น การกำหนดลักษณะผู้มีความเสี่ยงสูง ให้ข้อมูลการฉีดวัคซีน แนวทางการคัดกรองความเสี่ยงของตนเอง ก่อนมาบริจาค วิธีการตรวจไวรัส SARS-CoV-2 ชนิด Antigen Test Kit-ATK ด้วยตนเอง (Chulalongkorn Hospital, Thai Red Cross Society, 2021) รวมถึงเผยแพร่วิธีที่ค้นถึงมาตรการความปลอดภัยตามคำแนะนำของกรมควบคุมโรค เพื่อสุขอนามัยของผู้มาบริจาคเลือดและบุคลากรที่ปฏิบัติงานลดความเสี่ยงในการแพร่เชื้อ สร้างความมั่นใจให้กับผู้บริจาคเลือดและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง

แนวทางการคัดกรองผู้บริจาคเลือดหลังวิกฤตโควิด-19

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยได้ปรับปรุงเกณฑ์การคัดกรองรับบริจาคเลือดจากเดิมที่ใช้มาก่อนช่วงวิกฤตโควิด-19 ซึ่งมี 32 ข้อ เป็นแบบใหม่ 37 ข้อ (Chiawsin, Phetchan & Pakphumphong, 2021) โดยประกาศใช้อย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ซึ่งผู้บริจาคทุกคนต้องให้ข้อมูลตามความเป็นจริงเพื่อความปลอดภัยของผู้บริจาคเลือดเองรวมทั้งผู้ป่วยที่จะได้รับเลือดด้วย การประเมินตามเกณฑ์คัดกรองนี้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการรับบริจาคเลือดของธนาคารเลือดทุกแห่ง (ภาพ 1) เกิดขึ้นเป็นลำดับแรกเมื่อผู้บริจาคตัดสินใจ

เข้ามาบริจาคเลือดซึ่งเป็นการคัดกรองตนเอง โดยการให้ข้อมูลในใบสมัครผู้บริจาคโลหิตและแบบสอบถามสำหรับผู้บริจาคเลือด (ภาพ 2) ซึ่งแบ่งคำถามเป็น 4 ส่วนคือ (1) สุขภาพทั่วไป เพื่อให้มั่นใจว่าผู้บริจาคพร้อมทั้งร่างกายจิตใจ รวมทั้งเลือดที่จะบริจาคมานั้นมีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้ป่วย (2) การตั้งครรภ์/คลอดบุตรเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพของมารดาและทารกซึ่งมีความเสี่ยงสูงเนื่องจากเสียเลือดและสูญเสียธาตุเหล็กรวมถึงอาจส่งผลต่อทารกในครรภ์หรือคุณภาพน้ำนมที่จะให้บุตร (3) ประวัติด้านเพศสัมพันธ์ เพื่อพิจารณาความเสี่ยงการติดเชื้อทางเพศสัมพันธ์ รวมถึงการใชยาป้องกันโรคติดต่อ HIV (4) ประวัติความเสี่ยงของการติดเชื้อต่าง ๆ โดยเฉพาะเชื้อโรคกลุ่มต่าง ๆ ที่สามารถถ่ายทอดทางเลือดไปยังผู้รับ ในภาพรวมมีเกณฑ์ใหม่ que เพิ่มขึ้น 5 ข้อซึ่งอยู่ในแบบสอบถาม 37 ข้อ และการลงข้อมูลอุณหภูมิร่างกายที่ตรวจได้ในใบสมัครผู้บริจาค ซึ่งเจ้าหน้าที่หรือแพทย์จะบันทึกข้อมูลไว้เป็นลายลักษณ์อักษรซึ่งแต่เดิมไม่มีการบันทึกไว้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. การวัดอุณหภูมิร่างกาย โดยการศึกษาในผู้ป่วยโควิด-19 พบว่า ในช่วงการติดเชื้อ 3 วันแรกจะมีไข้ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 38-40 °C (Peiris et al., 2023) ซึ่งผู้บริจาคทุกคนสามารถประเมินตนเองว่าเสี่ยงหรือไม่ ปกติร่างกายมีอุณหภูมิ 35.4–37.4 °C หากพบว่า ร่างกายมีอุณหภูมิตั้งแต่ 37.5 °C ขึ้นไป ถือว่ามีไข้ ให้งดบริจาคเลือดอย่างน้อย 7 วัน

2. ท่านเคยได้รับการปลูกถ่ายอวัยวะหรือเซลล์ต้นกำเนิดเม็ดเลือดหรือไม่ ผู้ที่ได้รับการปลูกถ่ายอวัยวะต้องใช้ยากดภูมิคุ้มกันตลอดชีวิตเพื่อป้องกันการปฏิเสธอวัยวะที่ปลูกถ่ายไว้ซึ่งตัวยาสสามารถทำให้เกิดความพิการของทารกในครรภ์ได้ ให้งดบริจาคเลือดถาวร ยกเว้นการปลูกถ่ายกระจกตาให้งดบริจาคเลือดอย่างน้อย 1 เดือนสำหรับผู้รับการปลูกถ่ายเซลล์ต้นกำเนิดเม็ดเลือด ส่วนใหญ่ไม่ต้องรับยากดภูมิคุ้มกันแต่เซลล์เหล่านั้นอาจมีผลต่อกระบวนการสร้างเม็ดเลือดของผู้รับได้ จึงให้งดบริจาคเลือดถาวรเช่นกัน

3. ท่านเคยถูกเข็มที่เปื้อนเลือดตำในระยะ 1 ปีที่ผ่านมาหรือไม่ การถูกเข็มเปื้อนเลือดที่อาจมีเชื้อโรคตำ มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อที่ถ่ายทอดทางเลือดเช่นเดียวกับ

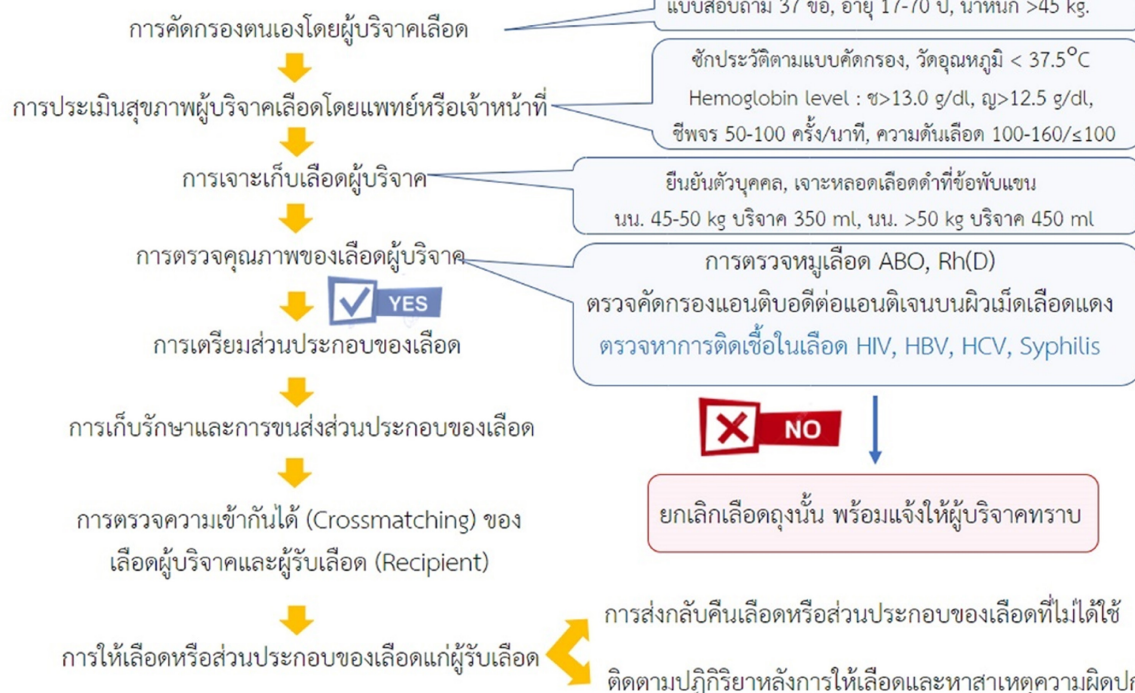
การรับเลือดที่ติดเชื้อ ให้งดบริจาคอย่างน้อย 1 ปี หลังจากวันที่เกิดเหตุ โดยควรติดตามตรวจหาการติดเชื้อในช่วงดังกล่าวร่วมด้วยเพื่อมั่นใจว่าไม่ได้รับเชื้อก่อนจะมาบริจาคเลือดภายหลัง 1 ปี

4. ท่านเคยป่วยเป็นโรคไขหวัดใหญ่ โรคไขเลือดออก โรคซิคุนคุนยา โรคไขชิก้า หรือ โรคโควิด-19 ในระยะ 1 เดือนที่ผ่านมาหรือไม่ ซึ่งการเป็นโรคดังกล่าวสามารถพบเชื้อในเลือดได้จึงอาจถ่ายทอดทางเลือดไปยังผู้รับเลือดได้ ซึ่งศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ได้กำหนดเกณฑ์เพิ่มเติมในข้อนี้ไว้ โดย โรคไขหวัดใหญ่/โรคไขเลือดออก ให้งดบริจาคเลือด 1 เดือนหลังรักษาหาย โรคซิคุนคุนยา ให้งดบริจาคเลือดอย่างน้อย 6 เดือนและต้องไม่มีอาการปวดข้อแล้ว โรคไขชิก้า ให้งดบริจาคเลือดอย่างน้อย 6 เดือน ส่วนโรคโควิด-19 ให้เป็นไปตามประกาศของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยที่เป็นปัจจุบัน (ตาราง 1)

5. ท่านได้รับวัคซีนเพื่อป้องกันโรคในระยะ 2 เดือนที่ผ่านมาหรือไม่ โปรดระบุชนิดวัคซีนที่ได้รับ โดยเกณฑ์นี้มิมาแต่เดิมโดยไม่ได้ให้ระบุชนิดวัคซีน ภายหลังรัฐบาลมีมาตรการและการจัดหาวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 จนประชาชนได้รับวัคซีนมากขึ้นแต่ชนิดวัคซีนมีความหลากหลายโดยมีรายงานผลข้างเคียงและผลกระทบต่อผู้บริจาคแตกต่างกัน จึงปรับให้ผู้บริจาคระบุชนิดของวัคซีนที่ได้รับด้วย ซึ่งในปัจจุบันศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ได้กำหนดเกณฑ์โดยกรณีได้รับวัคซีนโควิด-19 ที่ได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยา (อย.) ได้แก่ inactivated vaccine (Sinovac, Sinopharm) mRNA vaccine (Pfizer/BioNTech, Moderna) และ Viral vector vaccine (AstraZeneca, Johnson & Johnson) ในประกาศแรกเริ่มให้งดบริจาค 7 วัน ภายหลังจึงลดเหลือ 2 วัน หลังได้รับวัคซีน กรณีมีอาการข้างเคียงหลังฉีดวัคซีน ให้เว้น 7-14 วัน ตามความรุนแรงของอาการ (ตาราง 1)

6. ท่านมั่นใจว่า เลือดของท่านมีความปลอดภัยต่อผู้ป่วยหรือไม่ คำถามสุดท้ายนี้เป็นการทบทวนตนเองและให้ความมั่นใจว่าเลือดของตนเองมีความปลอดภัยต่อผู้ป่วยจริง แสดงความบริสุทธิ์ใจที่จะบริจาคเลือดที่ปลอดภัยแก่ผู้รับ

กระบวนการรับบริจาคเลือดของธนาคารเลือด



ภาพ 1 กระบวนการรับบริจาคของธนาคารเลือด

แบบสอบถามสำหรับผู้บริจาคโลหิต	
เพื่อความปลอดภัยของท่านผู้บริจาคโลหิต และความปลอดภัยของผู้ป่วยที่จะรับเลือดของท่าน โปรดตอบคำถามตามความเป็นจริง และหากไม่แน่ใจว่าให้สิทธิของท่านปลอดภัย กรุณาตอบว่าไม่ สำหรับผู้สมัครใหม่ การพิจารณาต้องใช้เวลาในการคัดกรองสุขภาพผู้บริจาคโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย	
สุขภาพทั่วไป	ใช่ ไม่ใช่
1. ท่านรู้สึกสบายดี สุขภาพแข็งแรง พร่องที่จะบริจาคโลหิต.....	☐ ☐
2. ท่านนอนหลับพักผ่อนเพียงพอ (ไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง).....	☐ ☐
3. ท่านรับประทานอาหารที่มีไขมันสูง ภายใน 6 ชั่วโมงที่ผ่านมา.....	☐ ☐
4. ท่านมีโรคประจำตัว หรือเคยเป็นโรค (ระบุ).....	☐ ☐
5. ท่านรับประทานยาปฏิชีวนะ (ยาฆ่าเชื้อ) ภายใน 7 วันที่ผ่านมา หรือไม่.....	☐ ☐
6. ท่านรับประทานยาแอสไพริน ยาคลายกล้ามเนื้อ ยานกัปวดข้อ หรือยาอื่นๆ ในกลุ่ม เดียวกันภายใน 2 วันที่ผ่านมา.....	☐ ☐
7. ท่านมีการใช้ ยา / สุณโร / อาหารเสริมที่มีโบทนเป็นส่วนประกอบ เป็นประจำ ได้แก่.....	☐ ☐
8. ท่านดื่มแอลกอฮอล์ภายใน 24 ชั่วโมงที่ผ่านมา.....	☐ ☐
9. ท่านเคยบริจาคเซลล์ต้นกำเนิดเม็ดโลหิตในระยะเวลา 6 เดือนที่ผ่านมา..... โปรดระบุ ☐ กระแสเลือด ☐ โขกระดูก	☐ ☐
การตั้งครรภ์ / คลอดบุตร	
10. ท่านเคยตั้งครรภ์ หรือเพิ่งบุตร มาก่อน.....	☐ ☐
11. ท่านอยู่ในช่วงตั้งครรภ์ หรือให้นมบุตร.....	☐ ☐
12. ท่านคลอดบุตร หรือเพิ่งบุตร ภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา.....	☐ ☐
ประวัติด้านเพศสัมพันธ์: สำหรับทุกเพศ	
13. ท่านหรือคู่ครองท่านเคยมีเพศสัมพันธ์กับ : ผู้ที่ไม่ใช่คู่สมรส / ผู้ที่ทำงานบริการทางเพศ/ ผู้เสพยาเสพติด / ผู้ที่อาจติดเชื้อเอชไอวีหรือโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อื่น.....	☐ ☐
14. ท่านเคยใช้วิธีการหารป้องกันการใช้เข็มฉีดยาเอชไอวี.....	☐ ☐
15. ท่านมีพฤติกรรมเพศสัมพันธ์แบบชายกับชาย.....	☐ ☐
ประวัติความเสี่ยงของการติดเชื้อต่าง	
16. ท่านสูบบุหรี่ สูตนิปูน ภายใน 3 วันที่ผ่านมา / ตอนพื้น รักษาจากฟัน ภายใน 7 วันที่ผ่านมา.....	☐ ☐
17. ท่านท้องเสีย ท้องร่วง ภายใน 7 วันที่ผ่านมา.....	☐ ☐
18. ท่านเคยเจาะหู เจาะผิวหนัง ลัก ลบรอยสัก มีเข็ม ภายใน 4 เดือนที่ผ่านมา.....	☐ ☐
19. ท่านเคยได้รับการผ่าตัดเล็ก ภายใน 7 วันที่ผ่านมา.....	☐ ☐
20. ท่านเคยผ่าตัดใหญ่ ภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา.....	☐ ☐
21. ท่านเคยป่วยและได้รับโลหิต / ส่วนประกอบโลหิต ภายใน 1 ปีที่ผ่านมา.....	☐ ☐
22. ท่านเคยได้รับการปลูกถ่ายอวัยวะ หรือเซลล์ต้นกำเนิดเม็ดโลหิต.....	☐ ☐
23. ท่านเคยถูกเข็มที่ใช้เปลี่ยนเลือด ฉีด ในระยะ 1 ปีที่ผ่านมา.....	☐ ☐
24. ท่านเคยป่วยเป็นโรคตับอักเสบ หลังอายุ 11 ปี.....	☐ ☐
25. คู่ชอบท่านหรือบุคคลในครอบครัวของท่าน เป็นโรคตับอักเสบ ในระยะเวลา 1 ปี ที่ผ่านมา.....	☐ ☐
26. ท่านเคยตรวจพบว่ามีภาวะของโรคตับอักเสบ.....	☐ ☐
27. ท่านเคยป่วยเป็นโรคมมาเลีย ในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา.....	☐ ☐
28. ท่านเคยเข้าไปในพื้นที่ที่มีเชื้อมาเลียชุกชุม ในระยะ 1 ปีที่ผ่านมา.....	☐ ☐
29. ท่านเคยป่วยเป็นโรคไข้วัดใหญ่ / โรคไข้เลือดออก / โรคซิกา / โรคชิคุนกุนยา / โรคไข้กาฬ โรคโคโรนา-19 ในระยะ 1 เดือนที่ผ่านมา.....	☐ ☐
30. ท่านได้รับวัคซีนเพื่อป้องกันโรคในระยะ 2 เดือนที่ผ่านมา.....	☐ ☐
ระบุชื่อ.....	
31. ท่านได้รับเข็ม ภายใน 1 ปี ที่ผ่านมา.....	☐ ☐
32. ท่านเคยมีประวัติเสพยาเสพติด.....	☐ ☐
33. ท่านเคยถูกควบคุมตัวหรือจำไว้ในเรือนจำติดต่อกันเกิน 72 ชั่วโมง ในช่วง 1 ปีที่ผ่านมา.....	☐ ☐
34. ท่านเคยมีน้ำหนักลด มีไข้ มีต่อมน้ำเหลืองโตโดยไม่ทราบสาเหตุ ในระยะ 3 เดือนที่ผ่านมา หรือเคยตรวจพบวัณโรคเชื้อเอชไอวี.....	☐ ☐
35. ช่วง พ.ศ. 2523 - 2539 ท่านเคยทำนักกายอยู่ในประเทศเหล่านี้ เป็นเวลาสะสมมากกว่า 3 เดือน อังกฤษ ไอร์แลนด์เหนือ สกอตแลนด์ เวลส์.....	☐ ☐
36. ช่วง พ.ศ. 2523 - 2544 ท่านเคยทำนักกายอยู่ในประเทศฝรั่งเศส และไอร์แลนด์ เป็น ระยะเวลาสะสมมากกว่า 5 ปี.....	☐ ☐
37. ท่านมั่นใจว่าโลหิตของท่านมีความปลอดภัยต่อผู้ป่วย.....	☐ ☐
ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ได้ให้ข้อมูลและบอกกล่าวตามความเป็นจริง	
ข้าพเจ้าขอบริจาคโลหิตให้กับศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย นำไปใช้ประโยชน์ในงานบริการโลหิตหรืองานวิจัยทางการแพทย์ ด้วยความสมัครใจ และรับทราบว่าโลหิตที่ได้รับการตรวจสอบแล้วจะจัดส่งให้โรงพยาบาลที่ได้รับอนุญาตนำไปใช้ในการแพทย์ รวมทั้งให้ทราบว่าสามารถนำใบฉีกเบียนยาเพื่อจำหน่ายและแจกจ่ายให้แก่โรงพยาบาลได้ฟรีทุกหน่วย	
ข้าพเจ้ามั่นใจว่าโลหิตของฉันจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้อื่น	
ทั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับทราบข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและโอกาสเกิดผลข้างเคียงจากการบริจาคโลหิตแล้ว และยืนยันที่จะบริจาคโลหิตในครั้งต่อไป	
ข้าพเจ้ารับทราบถึงวัตถุประสงค์การให้บริการรวมตลอด ใช้ และเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลเพื่อการวิจัยทางการแพทย์และการ บริการโลหิตครบถ้วนแล้ว	
ลงชื่อผู้สมัคร.....วันที่.....	
*กรณียังหากรรมการแพทย์ประจำศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ หรือองค์การที่เกี่ยวข้อง (ซึ่งเป็นผู้แทนสถาบันการศึกษาวิจัยและการทดลองในมนุษย์ พ.ศ. 2525) หรืองานวิจัยที่ประกาศเพิ่มเติมภายหลัง	
ความเห็นเพิ่มเติม (ถ้ามี)	
ลงชื่อแพทย์หรือเจ้าหน้าที่ผู้ดำเนินการนัดกรอง.....	

ภาพ 2 แบบสอบถามสำหรับผู้บริจาคเลือดแบบใหม่ 37 ข้อ ของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยที่ใช้ในปัจจุบัน

Note. From “Blood Donation Manual” by P. Chiawsin, S. Phetchan and T. Pakphumphong, 2021, p 11. Copyright 2021 by the National Blood Centre, the Thai Red Cross Society. Adapted with permission of the author

ตาราง 1

มาตรการรับบริจาคเลือดในสถานการณ์การระบาดโควิด-19

มาตรการ	29 มกราคม 2563 ฉบับที่ 1 (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2020)	17 กุมภาพันธ์ 2563 ฉบับที่ 2 (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2020)	3 มีนาคม 2563 ฉบับที่ 3 (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2020)	7 เมษายน 2563 ฉบับที่ 4 (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2021)	9 สิงหาคม 2564 (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2021)	10 พฤษภาคม 2565 (Hfocus news agency, 2022)	6 ตุลาคม 2565 (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2022)
1. ผู้เดินทางจากต่างประเทศที่มีการระบาดของโรคโควิด-19	งดบริจาค 14 วัน	งดบริจาค 4 เดือน	งดบริจาค 4 สัปดาห์	งดบริจาค 4 สัปดาห์	งดบริจาค 28 วัน/ 4 สัปดาห์ (ถ้ามีผลตรวจ PCR เป็นลบงดบริจาค 14 วัน)	งดบริจาค 5 วัน	ไม่ระบุ
2. ผู้สัมผัสใกล้ชิดกับผู้ติดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2	งดบริจาค 4 สัปดาห์	งดบริจาค 4 เดือน	งดบริจาค 4 สัปดาห์	งดบริจาค 4 สัปดาห์	งดบริจาค 28 วัน/ 4 สัปดาห์ (ถ้ามีผลตรวจ PCR เป็นลบงดบริจาค 14 วัน)	งดบริจาค 5 วัน	ไม่ระบุ
3. ผู้ได้รับการวินิจฉัยว่าติดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2	งดบริจาค 4 สัปดาห์ หลังจากหายป่วย	งดบริจาค 4 สัปดาห์ หลังจากหายป่วย	งดบริจาค 3 เดือน หลังจากหายป่วย	งดบริจาค 4 สัปดาห์	งดบริจาค 28 วัน/ 4 สัปดาห์ หลังจากหายป่วย	งดบริจาค 14 วันหลัง จากหายป่วย	งดบริจาค 14 วันหลัง จากหายป่วย
4. ผู้ป่วยโรคโควิด-19 ที่ไม่แสดงอาการ	ยังไม่ระบุ	ยังไม่ระบุ	ยังไม่ระบุ	ยังไม่ระบุ	ไม่ระบุ	งดบริจาค 10 วันหลัง จากพบเชื้อ	งดบริจาค 7 วันหลัง จากพบเชื้อ
5. ผู้บริจาคที่ได้รับวัคซีน โรคโควิด-19	ยังไม่ระบุ	ยังไม่ระบุ	ยังไม่ระบุ	ยังไม่ระบุ	งดบริจาค 7 วัน หลัง ได้รับวัคซีน หรือหาย จากอาการข้างเคียง รับวัคซีน 7-14 วัน	งดบริจาค 7 วันหลัง ได้รับวัคซีนหรือหาย ได้ รับวัคซีนหรือหาย จากอาการข้างเคียง รับวัคซีน 7-14 วัน	งดบริจาค 2 วันหลัง ได้รับวัคซีน
6. การติดตามข้อมูลผู้บริจาคเลือดให้ทราบทันที 2. เรียกคืนส่วนประกอบเลือดของผู้บริจาคเลือดรายนั้นเพื่อทำลาย 3. ติดตามความปลอดภัยผู้ป่วยที่ได้รับเลือกจากผู้บริจาคที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค โควิด-19	1. ภายหลังบริจาคเลือดหากผู้บริจาคได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคโควิด-19 ให้แจ้งหน่วยรับบริจาคเลือดและเพื่อทำลาย 3. ติดตามความปลอดภัยผู้ป่วยที่ได้รับเลือกจากผู้บริจาคที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค โควิด-19	1. ภายหลังบริจาคเลือดหากผู้บริจาคได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคโควิด-19 ให้แจ้งหน่วยรับบริจาคเลือดและเพื่อทำลาย 3. ติดตามความปลอดภัยผู้ป่วยที่ได้รับเลือกจากผู้บริจาคที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค โควิด-19	1. ภายหลังบริจาคเลือดหากผู้บริจาคได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคโควิด-19 ให้แจ้งหน่วยรับบริจาคเลือดและเพื่อทำลาย 3. ติดตามความปลอดภัยผู้ป่วยที่ได้รับเลือกจากผู้บริจาคที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค โควิด-19	1. ภายหลังบริจาคเลือดหากผู้บริจาคได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคโควิด-19 ให้แจ้งหน่วยรับบริจาคเลือดและเพื่อทำลาย 3. ติดตามความปลอดภัยผู้ป่วยที่ได้รับเลือกจากผู้บริจาคที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค โควิด-19	1. ภายหลังบริจาคเลือดหากผู้บริจาคได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคโควิด-19 ให้แจ้งหน่วยรับบริจาคเลือดและเพื่อทำลาย 3. ติดตามความปลอดภัยผู้ป่วยที่ได้รับเลือกจากผู้บริจาคที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค โควิด-19	1. ภายหลังบริจาคเลือดหากผู้บริจาคได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคโควิด-19 ให้แจ้งหน่วยรับบริจาคเลือดและเพื่อทำลาย 3. ติดตามความปลอดภัยผู้ป่วยที่ได้รับเลือกจากผู้บริจาคที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค โควิด-19	1. ภายหลังบริจาคเลือดหากผู้บริจาคได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคโควิด-19 ให้แจ้งหน่วยรับบริจาคเลือดและเพื่อทำลาย 3. ติดตามความปลอดภัยผู้ป่วยที่ได้รับเลือกจากผู้บริจาคที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรค โควิด-19

มาตรฐานการตรวจเลือดบริจาคทางห้องปฏิบัติการธนาคารเลือด

ผู้บริจาคเลือดที่ผ่านการคัดกรองแล้วจะได้รับการเจาะเก็บเลือดใส่ถุงเก็บเลือดที่ปลอดเชื้อ และเก็บเลือดใส่หลอดเลือดอีก 4 หลอดตามกระบวนการรับบริจาคเลือดของธนาคารเลือด (ภาพ 1) เพื่อใช้ตรวจคุณภาพของเลือดบริจาค ประกอบด้วย การตรวจหมู่เลือดระบบ ABO และ Rh โดยการทดสอบหมู่เลือด Rh จะตรวจเฉพาะแอนติเจน D เท่านั้น การตรวจกรองแอนติบอดีต่อแอนติเจนของเม็ดเลือดแดง (antibody screening) และการตรวจคัดกรองการติดเชื้อที่ถ่ายทอดทางเลือด ได้แก่ เชื้อไวรัสตับอักเสบบี (HBV) เชื้อไวรัสตับอักเสบบี ซี (HCV) เชื้อไวรัสเอชไอวี (HIV) และเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคซิฟิลิส (*Treponema pallidum*) แต่ไม่รวมถึงโรคโควิด 19 ซึ่งเกิดจากเชื้อ SAR-CoV-2 ซึ่งปัจจุบัน Association for the Advancement of Blood & Biotherapies--AABB (AABB's Transfusion Transmitted Diseases Committee, 2020) Food and Drug Administration--FDA (U.S. Food & Drug Administration, 2022) ไม่ได้มีข้อกำหนดในการตรวจหาเชื้อนี้ในเลือดบริจาค เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยงของการแพร่เชื้อผ่านทางเลือดหรือส่วนประกอบของเลือด (Cho et al., 2020; Politis et al., 2021; Corman et al., 2020) การตรวจเลือดบริจาคทางห้องปฏิบัติการธนาคารเลือดตามมาตรฐานศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยมีรายละเอียด (ตาราง 2) (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2015) ดังนี้

- การตรวจยืนยันหมู่เลือดโดยตรวจหาแอนติเจนหมู่เลือดที่อยู่บนเม็ดเลือดแดงรวมถึงแอนติบอดีของหมู่เลือดที่อยู่ในพลาสมาของผู้บริจาค เพื่อใช้เป็นข้อมูลกำกับบนถุงเลือดบริจาค สำหรับเตรียมจ่ายให้แก่ผู้ป่วยให้ตรงตามหมู่เลือดของผู้รับ ในห้องปฏิบัติการจะตรวจยืนยันหมู่เลือดหลักชนิด ABO และ Rh เป็นลำดับแรก โดยใช้หลักการจับกันของแอนติเจนหมู่เลือดบนเม็ดเลือดแดงกับแอนติบอดีที่จำเพาะ ซึ่งสามารถเกาะกลุ่มให้เห็นด้วยตาเปล่า โดยปฏิกิริยา agglutination ที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองโดยวิธีการตรวจมาตรฐานทางธนาคารเลือดซึ่งนักเทคนิคการแพทย์เป็นผู้ทดสอบด้วยตนเอง (Conventional

Tube Test--CTT) หรือใช้เครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติที่ใช้หลักการ Column Agglutination Test--CAT ซึ่งใช้ตัวอย่างตรวจในปริมาณที่น้อยกว่าวิธี CTT สามารถตรวจวิเคราะห์หลายตัวอย่างในเวลาเดียวกันเหมาะสมสำหรับห้องปฏิบัติการที่มีเลือดบริจาคเป็นจำนวนมาก

- การตรวจคัดกรองแอนติบอดีต่อแอนติเจนบนเม็ดเลือดแดงอื่น ๆ ที่มีความสำคัญทางคลินิก นอกเหนือจากระบบ ABO (unexpected antibodies) เพื่อป้องกันปฏิกิริยาหลังการรับเลือดที่ไม่พึงประสงค์ของผู้ป่วย ซึ่งมีแอนติเจนของหมู่เลือดดังกล่าวเหล่านั้นที่ตรงกับแอนติบอดีในพลาสมาของผู้บริจาค โดยใช้หลักการการเกาะกลุ่มของแอนติบอดีจากซีรัมของผู้บริจาคกับเม็ดเลือดแดงที่มีแอนติเจนของหมู่เลือดย่อยชนิดต่าง ๆ ที่มีความสำคัญทางคลินิก (screening cells) ซึ่งเกาะกลุ่มให้เห็นด้วยตาเปล่าเมื่อปั่นอ่านทันที และ/หรือ incubate 37 °C และ/หรือ Indirect Antiglobulin Test--IAT สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งวิธี CTT หรือใช้เครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ

- การตรวจหาเชื้อโรคที่ถ่ายทอดทางการให้เลือดซึ่งมีอุบัติการณ์การพบในประชากรได้สูง ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพสามารถทำให้เสียชีวิตได้ ซึ่งศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยได้กำหนดมาตรฐานให้ตรวจหาเชื้อโรค 4 ชนิดตามมาตรฐานสากล ประกอบด้วย เชื้อไวรัสตับอักเสบบี เชื้อไวรัสตับอักเสบบี ซี เชื้อไวรัสเอชไอวี และเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคซิฟิลิส ทำการตรวจร่วมกัน 2 วิธีที่แตกต่างกัน วิธีแรกตรวจทางด้านน้ำเหลืองวิทยา (serology testing) ซึ่งเป็นการตรวจหาแอนติเจนของเชื้อหรือตรวจหาแอนติบอดีต่อเชื้อ โดยวิธี Enzyme Immunoassay Test--EIA หรือ Chemiluminescence Immunoassay--CMIA หรือเทคนิคอื่นที่ได้รับการรับรองจากกระทรวงสาธารณสุขว่าสามารถตรวจคัดกรองเลือดบริจาคได้ ส่วนวิธีที่สองตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อไวรัส (Nucleic Acid Testing--NAT) ประกอบด้วย HBV DNA HCV RNA และ HIV RNA โดยใช้หลักการ multiplex real-time PCR ซึ่งตรวจหาเชื้อทั้ง 3 ชนิด ได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน โดยผลการตรวจหาเชื้อทุกวิธีต้องให้ผลเป็นลบจึงจะนำเลือดเข้าคลังธนาคารเลือด สำหรับนำไปใช้กับผู้ป่วยต่อไป

ตาราง 2

การตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการทางธนาคารเลือดของเลือดบริจาค

สิ่งส่งตรวจ	รายการตรวจ	หลักการทดสอบ	เกณฑ์ของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย	
			ต้องตรวจ	ไม่ต้องตรวจ
เลือดครบส่วนในสารกันเลือดแข็ง CPDA-1	หมู่เลือด	ปฏิกิริยาการเกาะกลุ่มของเม็ดเลือดแดง (Agglutination) โดยใช้ Anti-A Anti-B และ Anti-A,B	✓	
	• หมู่ Rh	โดยใช้ Anti-D ด้วยวิธี CAT หรือ CTT		
ซีรัมที่แยกได้จากเลือด	ตรวจคัดกรองแอนติบอดี	Indirect antiglobulin test โดยใช้ CAT หรือ CTT	✓	
ซีรัมที่แยกได้จากเลือด	ของหมู่เลือด	EIA หรือ CMIA หรือเทคนิคอื่นที่ได้รับการรับรองจากกระทรวงสาธารณสุขว่าสามารถตรวจคัดกรองเลือดบริจาคได้ โดยใช้แอนติบอดีหรือแอนติเจนที่จำเพาะต่อส่วนประกอบของเชื้อที่ติดต่อผ่านทางเลือด	✓	
	• ไวรัสตับอักเสบ B	• ตรวจหาแอนติเจน (HBsAg)		
	• ไวรัสตับอักเสบ C	• ตรวจหาแอนติบอดี (Anti-HCV)		
	• ไวรัสเอชไอวี	• ตรวจหาแอนติเจนและตรวจหาแอนติบอดี (HIVAg/Ab)		
	• ซิฟิลิส	• ตรวจหาแอนติบอดี (Treponemal antibodies)		
		Multiplex Real-time PCR โดยการตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อ 3 ชนิดพร้อมกัน	✓	
เลือดครบส่วนในสารกันเลือดแข็ง EDTA	ตรวจหาสารพันธุกรรมที่ติดต่อกับเลือด (Nucleic acid testing ; NAT)	• ตรวจหา HBV DNA		
	• ไวรัสตับอักเสบ B	• ตรวจหา HCV RNA		
	• ไวรัสตับอักเสบ C	• ตรวจหา HIV RNA		
	• ไวรัสเอชไอวี	Real-time PCR โดยตรวจหาสารพันธุกรรมตรงตำแหน่งยีนที่จำเพาะอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง		✓
nasopharyngeal/throat swab/เลือดครบส่วนในสารกันเลือดแข็ง EDTA	ตรวจการติดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2	• ตรวจหา SARS-CoV-2 RNA		
		Electro-chemiluminescence immunoassay (ECLIA) โดยใช้ recombinant protein ที่เป็นส่วน receptor-binding domain (RBD) ของโปรตีน spike		
ซีรัมที่แยกได้จากเลือด	ตรวจหาภูมิคุ้มกันต่อเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 และภูมิคุ้มกันที่ป้องกันการติดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 (neutralizing antibody)	• ตรวจระดับ SARS-CoV-2 IgM IgG IgA		✓
		Micro-neutralization assay (Micro NT)		
		• ตรวจ titer ของ SARS-CoV-2 neutralizing antibody		

Note. From “Standards for Blood Banks and Transfusion Services (4 th ed.)” by National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2015, Copyright 2015 Udomsuxsa Partnership Limited

ความปลอดภัยของเลือดผู้บริจาคหลังวิกฤตโควิด-19

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยมีการปรับปรุงการคัดกรองคุณสมบัติของผู้บริจาคเลือดตั้งแต่ในช่วงวิกฤตโควิด-19 จนถึงปัจจุบันโดยเพิ่มข้อมูลอุณหภูมิร่างกาย ข้อมูลประวัติการป่วยโรคโควิด-19 รวมทั้งข้อมูลการรับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 ที่กำหนดให้ผู้บริจาคเลือดต้องหายจากการเป็นโรคโควิด-19 มาไม่ต่ำกว่า 14 วัน จึงบริจาคเลือดได้ (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2022) ซึ่งจะเป็นเวลาที่จะไม่พบเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 รวมถึงซากสารพันธุกรรม RNA ของเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในเลือดผู้บริจาคแล้ว (Duan et al., 2022) นอกจากนี้ยังกำหนดเกณฑ์ให้บริจาคเลือดได้หลังจากรับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 มาไม่ต่ำกว่า 2 วัน ซึ่งในประกาศแรกเริ่มให้งดบริจาค 7 วัน (National Blood Centre, Thai Red Cross Society, 2021) ในกรณีที่ไม่มีผลข้างเคียงรับวัคซีน แต่ถ้ายังมีอาการข้างเคียง ให้พิจารณางดบริจาค 7-14 วันหรือจนกว่าร่างกายเข้าสู่สภาวะปกติมากที่สุดซึ่งจะไม่พบส่วนประกอบของเชื้อที่ใช้ผลิตวัคซีน

การตรวจทางห้องปฏิบัติการยังคงใช้แนวทางการตรวจหาเชื้อโรค 4 ชนิด ที่สามารถติดต่อทางเลือดตามเดิมเหมือนก่อนเกิดวิกฤตโควิด-19 ได้แก่ ไวรัสตับอักเสบบี ไวรัสตับอักเสบซี ไวรัสเอชไอวี และแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคซิฟิลิส แต่ไม่ได้กำหนดให้ตรวจหาเชื้อ SARS-CoV-2 จากเลือดที่รับบริจาค ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานงานธนาคารเลือดในระดับนานาชาติอื่น ๆ ได้แก่ AABB (AABB's Transfusion Transmitted Diseases Committee, 2020) และ FDA (U.S. Food & Drug Administration, 2022) เนื่องจากเชื่อนี้ก่อให้เกิดโรคที่ปอดเป็นหลักผ่านระบบทางเดินหายใจ ติดต่อกันจากละอองหรือหยดของสารคัดหลั่งได้แก่ น้ำมูก น้ำลาย เสมหะ ที่ฟุ้งกระจายในอากาศซึ่งมาจากระบบทางเดินหายใจของผู้ที่มีเชื้อ ไม่พบรายงานการติดต่อผ่านทางเลือด (Cho et al, 2020; Politis et al, 2021; Corman et al., 2020) และผ่านรกจากแม่ที่ติดเชื้อไปยังลูกในครรภ์ (Schwartz, 2020) จึงยังไม่มีข้อมูลที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยงของการแพร่เชื้อ ถึงแม้จะมีโอกาสพบได้ในเลือดของผู้บริจาคที่มีเชื้อแต่ไม่มีอาการแสดงของโรค (asymptomatic SARS-CoV-2 infected donor) เพราะแนวทางไม่ได้กำหนดให้ต้องตรวจคัดกรองผู้บริจาคทุกคนก่อนบริจาคด้วยชุดตรวจ SARS-CoV-2 ชนิด ATK หรือให้

ผู้บริจาคตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ด้วยเทคนิค real-time PCR ก่อนมาบริจาค นอกเหนือจากประเด็นในเรื่องเชื้อ SARS-CoV-2 ซึ่งอาจพบในเลือดแต่ยังไม่พบรายงานความเสี่ยง ในเลือดบริจาคยังอาจมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อผู้ได้รับเลือดซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของส่วนประกอบเลือด เช่น แอนติบอดี แอนติเจนต่อเซลล์เม็ดเลือด ซึ่งทางห้องปฏิบัติการธนาคารเลือดจะทำการทดสอบความเข้ากันได้ของเลือดและส่วนประกอบของเลือดของผู้บริจาคและผู้รับ (crossmatching) เพื่อให้ผู้รับได้รับเลือดที่ตรงหมู่เลือด ABO และ Rh เป็นลำดับแรก ทั้งยังมีการตรวจหาแอนติบอดีต่อเม็ดเลือดแดงสำหรับหมู่เลือดอื่น ๆ unexpected alloantibody การตรวจทางห้องปฏิบัติการเหล่านี้ก่อนการให้เลือดสามารถช่วยป้องกันอันตรายของผู้รับเลือดจากปฏิกิริยาการเข้ากันไม่ได้ของเลือดจนทำให้เม็ดเลือดแตกแบบเฉียบพลัน (acute hemolytic transfusion reaction) ได้

ผลของแอนติบอดีต่อเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในเลือดผู้บริจาคที่หายจากโรคโควิด-19 หรือได้รับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 หรือมีเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 อยู่ในร่างกาย แต่ไม่มีอาการแสดงของโรค ต่อผู้รับเลือด

การติดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 และการได้รับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกายให้สร้างแอนติบอดีต่อโปรตีนส่วนประกอบต่าง ๆ ของเชื้อไวรัส ได้แก่ Spike–S Envelope–E Membrane–M และ Nucleocapsid–N มีการศึกษาพบว่า ในเลือดบริจาคจากผู้บริจาคที่เคยติดเชื้อมาก่อนมีแอนติบอดีต่อ nucleocapsid เป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 75 และเป็นแอนติบอดีต่อ spike จากผู้ที่ได้รับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 มากกว่าร้อยละ 50 (Permpikul et al., 2023) โดยระดับของแอนติบอดีต่อเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในเลือดแตกต่างกันได้ในแต่ละบุคคลขึ้นกับหลายปัจจัย ทั้งเกิดจากปัจจัยภายในตัวบุคคลเอง ได้แก่ เพศ อายุ ระบบการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของตนเอง และปัจจัยภายนอก ได้แก่ สายพันธุ์เชื้อ ปริมาณเชื้อที่ได้รับ ความรุนแรงของโรค ชนิดของวัคซีน จำนวนเข็มวัคซีนที่ฉีด จากการศึกษาพบว่า การติดเชื้อโดยธรรมชาติสามารถกระตุ้นการสร้างแอนติบอดีต่อเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในสัปดาห์ที่ 2 หลังจากเริ่มมีอาการโรคโควิด-19 ซึ่งเป็น

ชนิด IgM ก่อน และตามด้วย IgG ในภายหลัง มีระดับสูงสุดในสัปดาห์ที่ 3-4 และลดลงมากโดยเฉพาะชนิด IgM จนอาจตรวจไม่พบภายใน 2-6 สัปดาห์ ส่วน IgG จะลดลงเล็กน้อยอยู่ได้นานหลายเดือนและจะลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่งในช่วง 3 เดือน โดยระดับแอนติบอดีเหล่านี้ในผู้ป่วยที่ติดเชื้อรุนแรงหรือมีปอดอักเสบร่วมด้วยจะมีระดับที่สูงกว่าผู้ป่วยที่ไม่มีอาการปอดอักเสบ (Sethuraman, Jeremiah & Ryo, 2020; Sritipsukho et al., 2023) ส่วนในผู้ที่ได้รับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 ในเข็มที่ 1 จะมีภูมิคุ้มกันต่อเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 เป็นชนิด IgM อยู่ประมาณ 1 เดือนและหลังจากนั้นระดับจะลดลงมากจนหายไป เมื่อได้ฉีดเข็มกระตุ้นเข็มที่ 2 จะทำให้ภูมิคุ้มกันเพิ่มสูงขึ้นและเป็นชนิด IgG อยู่ประมาณ 3 เดือน และหากฉีดเข็มกระตุ้นเข็มที่ 3 จะเพิ่มระดับภูมิคุ้มกันซึ่งจะอยู่ได้นานประมาณ 4 เดือน (Poovorawan et al., 2023)

ในช่วงวิกฤตโควิด-19 ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2021 ที่ยังพบผู้ป่วยหนักจำนวนมากและยังฉีดวัคซีนป้องกันได้ไม่ครอบคลุมประชากรส่วนใหญ่ หลายประเทศรวมถึงประเทศไทยมีการแยกพลาสมาซึ่งเป็นส่วนน้ำเหลืองจากเลือดผู้ป่วยที่หายจากโรคโควิด-19 เรียกว่า convalescent plasma ซึ่งมีแอนติบอดีต่อเชื้อ SARS-CoV-2 ชนิดที่เป็น neutralizing antibody ที่สามารถป้องกันการติดเชื้อโดยการเกิด neutralization จับกับอนุภาคไวรัส ยับยั้งการเข้าจับกับเซลล์เยื่อปอดซึ่งเป็นอวัยวะเป้าหมาย เพื่อนำไปรักษาผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่มีอาการร่วมของปอดอักเสบซึ่งมีความเสี่ยงจะเสียชีวิตสูง ผลการศึกษาพบว่า สามารถช่วยลดความรุนแรงของโรคให้ลดลงได้หากเริ่มให้การรักษาดังแต่ระยะแรกที่ติดเชื้อแต่การศึกษาไม่ยืนยันประโยชน์จาก convalescent plasma ชัดเจน เพราะใช้ร่วมกับการรักษาด้วยยาต้านไวรัสและการดูแลอื่น ๆ ตามมาตรฐานผู้ป่วยหนัก (Duan et al., 2020) จากข้อมูลการศึกษา (Poovorawan et al., 2022) ในผู้ป่วยไทยที่หายจากโรคโควิด-19 พบ SARS-CoV-2 neutralizing antibody

ในเลือดได้ยาวนานถึง 1 ปี โดยระดับจะค่อย ๆ ลดลง ผู้ป่วยที่เคยมีอาการรุนแรงมากจะมีระดับแอนติบอดีที่สูงเป็น 2 เท่าเมื่อเทียบกับผู้ป่วยที่มีอาการน้อยและคงอยู่ได้ยาวนานกว่า อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนที่สนับสนุนถึงประสิทธิภาพของ neutralizing antibody ในการป้องกันโรคโควิด-19 ในลักษณะที่เป็น passive vaccine หรือการที่ผู้รับเลือดได้รับ neutralizing antibody จากส่วนประกอบของเลือดบริจาค เนื่องจากพบว่า ผู้ป่วยที่หายจากโรคโควิด-19 ก็สามารถติดเชื้อซ้ำได้อีก

บทสรุป

วิกฤตการระบาดของโรคโควิด-19 ที่ยาวนานส่งผลกระทบต่อกระบวนการบริจาคเลือดทั่วโลก หน่วยงานการเลือดหลักในประเทศไทยคือ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยจึงต้องออกมาตรการและแนวปฏิบัติในการรับบริจาคเลือดหลายฉบับให้ทันต่อข้อมูลที่สนับสนุนการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 จนถึงปัจจุบันมีข้อมูลสนับสนุนแน่ชัดว่าเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 สามารถพบในเลือดได้แต่ไม่ติดต่อผ่านทางเลือดและส่วนประกอบของเลือด ดังนั้นแนวทางการรับบริจาคเลือดในปัจจุบันจึงไม่ได้ตรวจหาแอนติบอดีต่อเชื้อในเลือดผู้บริจาครวมถึงตัวเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ซึ่งอาจพบได้ในผู้บริจาคเลือดที่ติดเชื้อแต่ไม่แสดงอาการ เพียงแต่มีการคัดกรองข้อมูลประวัติผู้บริจาคเพิ่มเติมในเรื่อง อุณหภูมิ ประวัติการติดโรคโควิด-19 รวมถึงข้อมูลการได้รับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 เพื่อป้องกันการติดเชื้อของบุคลากรผู้ปฏิบัติงานและผู้บริจาคอื่น ๆ และเนื่องจากยังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดถึงประสิทธิภาพของภูมิคุ้มกันต่อเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ที่สามารถพบได้ในเลือดบริจาคของผู้บริจาค ดังนั้นผู้รับเลือดจึงไม่ได้มีความเสี่ยงมากกว่าไปกว่าเดิมในการรับเลือดจากผู้บริจาคที่เคยติดโรคโควิด-19 หรือได้รับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 เทียบกับเลือดผู้บริจาคทั่วไปก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19



References

- AABB's Transfusion Transmitted Diseases Committee. (2020). *Update: Impact of 2019 Novel Coronavirus and Blood Safety* (aabb.org). Retrieved from <https://www.aabb.org/docs/default-source/default-document-library/regulatory/impact-of-2019-novel-coronavirus-on-blood-donation.pdf>
- Alvarez, G., Molina, M., Castilla, J. A., Clavero, A., Gonzalvo, M. C., Sampedro, A., Bernat, N., & Caba, O. (2023). Study of SARS-CoV-2 in semen from asymptomatic donors with the presence of virus in nasopharyngeal swabs. *Reproductive Biomedicine Online*, 47(6), 103321. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2023.103321>
- Chiawsin, P., Phetchan, S., & Pakphumphong, T. (2021). *Blood donation manual*. Bangkok: Namauksornkarnpim (in Thai)
- Cho, H. J., Koo, J. W., Roh, S. K., Kim, Y. K., Suh, J. S., Moon, J. H., Sohn, S. K., & Baek, D. W. (2020). COVID-19 transmission and blood transfusion: A case report. *Journal of Infection and Public Health*, 13(11), 1678–1679. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.05.001>
- Chulalongkorn Hospital, Thai Red Cross Society. (2021). *How to swab correctly for testing Antigen Test Kit*. Retrieved from [https://chulalongkornhospital.go.th/kcmh/line/การสวอบอย่างถูกวิธีสำ/ \(in Thai\)](https://chulalongkornhospital.go.th/kcmh/line/การสวอบอย่างถูกวิธีสำ/ (in Thai)
- Corman, V. M., Rabenau, H. F., Adams, O., Oberle, D., Funk, M. B., Keller-Stanislawski, B., Timm, J., Drosten, C., & Ciesek, S. (2020). SARS-CoV-2 asymptomatic and symptomatic patients and risk for transfusion transmission. *Transfusion*, 60(6), 1119–1122. <https://doi.org/10.1111/trf.15841>
- Department of Disease Control. (2021). *Situation of coronavirus disease 2019 (COVID-19) public health measures and obstacles to disease prevention and control in travelers*. Retrieved from <https://ddc.moph.go.th/uploads/files/2017420210820025238.pdf> (in Thai)
- Duan, K., Liu, B., Li, C., Zhang, H., Yu, T., Qu, J., Zhou, M., Chen, L., Meng, S., Hu, Y., Peng, C., Yuan, M., Huang, J., Wang, Z., Yu, J., Gao, X., Wang, D., Yu, X., Li, L., Zhang, J., ... Yang, X. (2020). Effectiveness of convalescent plasma therapy in severe COVID-19 patients. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(17), 9490–9496. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004168117>
- Hagman, K., Hedenstierna, M., Rudling, J., Gille-Johnson, P., Hammas, B., Grabbe, M., Jakobsson, J., Dillner, J., & Ursing, J. (2022). Duration of SARS-CoV-2 viremia and its correlation to mortality and inflammatory parameters in patients hospitalized for COVID-19: a cohort study. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 102(3), 115595. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2021.115595>
- Hfocus News Agency. (2022). *Blood donation guidelines during the Coronavirus Disease 2019 pandemic No.3*. Retrieved from <https://www.hfocus.org/content/2022/05/25088> (in Thai)
- Li, X., Cui, W., & Zhang, F. (2020). Who was the first doctor to report the COVID-19 outbreak in Wuhan, China ?. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine*, 61(6), 782–783. <https://doi.org/10.2967/jnumed.120.247262>
- National Blood Centre, Thai Red Cross Society. (2015). *Standards for blood banks and transfusion services* (4th ed.). Bangkok: Udomsuksa Partnership Limited (in Thai)

- National Blood Centre, Thai Red Cross Society. (2020). *Measures to prevent COVID-19 infection through the blood*. Retrieved from <https://blooddonationthai.com/ประกาศ/คำสั่ง/มาตรการป้องกันการติดเชื้อ/> (in Thai)
- National Blood Center, Thai Red Cross Society. (2021). *Blood donation after COVID-19 vaccination*. Retrieved from <https://www.facebook.com/nbctrc/photos/a.265156926928741/3765604000217332/> (in Thai)
- National Blood Center, Thai Red Cross Society. (2021). *Measures to prevent the spread of COVID-19*. Retrieved from <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=735168297837041&set=p.735168297837041&type=3> (in Thai)
- National Blood Centre, Thai Red Cross Society. (2022). *Blood Donation Guidelines during the COVID-19 Pandemic*. Retrieved from <https://www.facebook.com/nbctrc/posts/476783381150596/> (in Thai)
- National Blood Centre, Thai Red Cross Society. (2021). *Crisis of blood depletion throughout the country Every hospital lacks blood for surgery. Asking for blood donations to save patients' lives*. Retrieved from <https://redcross.or.th/news/information/15631/> (in Thai)
- Peiris, J. S., Chu, C. M., Cheng, V. C., Chan, K. S., Hung, I. F., Poon, L. L., Law, K. I., Tang, B. S., Hon, T. Y., Chan, C. S., Chan, K. H., Ng, J. S., Zheng, B. J., Ng, W. L., Lai, R. W., Guan, Y., Yuen, K. Y., ... HKU/UCH SARS Study Group (2003). Clinical progression and viral load in a community outbreak of coronavirus-associated SARS pneumonia: a prospective study. *Lancet (London, England)*, 361(9371), 1767–1772. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(03\)13412-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(03)13412-5)
- Permpikul, P., Tongyoo, S., Chaimayo, C., Kanpai, P., Virat, J., Virat, S., Chuchaaaim, J., Thongput, A., & Bhatnagar, S. (2023). Anti-SARS-CoV-2 antibody among SARS-CoV-2 vaccinated vs post-infected blood donors in a tertiary hospital, Bangkok, Thailand. *PloS One*, 18(5), e0285737. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285737>
- Politis, C., Papadaki, M., Politi, L., Kourti, G., Richardson, C., Asariotou, M., Tsakris, A., & Mentis, A. (2021). Post-donation information and haemovigilance reporting for COVID-19 in Greece: Information supporting the absence of SARS-CoV-2 possible transmission through blood components. *Transfusion Clinique et Biologique: Journal de la Societe francaise de Transfusion Sanguine*, 28(1), 55–59. <https://doi.org/10.1016/j.traccli.2020.10.007>
- Poororawan, Y., Nagavajara, P., Wanlapakorn, N., Chirathaworn, C., Chansaenroj, J., Puenpa, J., Yorsaeng, R., Thitithanyanont, A., Sripramote, M., Chalongsiriyalert, P., Jirajariyavej, S., Kiatpanabhikul, P., Saiyarin, J., Soudorn, C., Thienfaidee, O., Palakawong Na Ayuthaya, T., Brukesawan, C., Chaiwanichsiri, D., ... Intharasongkroh, D. (2022). *Long-term kinetics of antibody against SARS-CoV-2 in the recovery patients with COVID-19* (Research report). Bangkok: Health Systems Research Institute (in Thai)

- Poovorawan, Y., Wanlapakorn, N., Nilyanimit, P., Yorsaeng, R., Chansaenroj, J., Suntronwong, N., Thatsanatorn, T., Srimua, D., Assawakosri, S., Kanokudom, S., & Withaksabut. W. (2023). *Immunogenicity of the third Covid-19 vaccines booster dose in adults with completed 2 doses as recommended by the Ministry of Public Health* (Research report). Bangkok: Health Systems Research Institute (in Thai)
- Schwartz, D. A. (2020). An analysis of 38 pregnant women with COVID-19, their newborn infants, and maternal-fetal transmission of SARS-CoV-2: Maternal Coronavirus infections and pregnancy outcomes. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 144(7), 799–805.
<https://doi.org/10.5858/arpa.2020-0901-SA>
- Sethuraman, N., Jeremiah, S. S., & Ryo, A. (2020). Interpreting diagnostic tests for SARS-CoV-2. *Journal American Medical Association*, 323(22), 2249–2251. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.8259>
- Sritipsukho, P., Siribumrungwong, B., Tantiyavarong, P., Satdhabudha, A., Damronglerd, P., & Jaru-ampornpan, P. (2023). *COVID-19 Vaccine Effectiveness in Thailand: A Real World Study (2nd years)* (Research report). Pathum Thani: Thammasat University. (in Thai)
- The Center for COVID-19 Situation Administration (CCSA). (2022). *Report on COVID-19 infection situation information*. Retrieved from <https://covid19.nrct.go.th/daily-report-30sep2022/> (in Thai)
- U.S. Food & Drug Administration. (2022). *Updated Information for Blood Establishments Regarding the COVID-19 Pandemic and Blood Donation*. Retrieved from <https://www.fda.gov/vaccines-blood-biologics/safety-availability-biologics/updated-information-blood-establishments-regarding-covid-19-pandemic-and-blood-donation>
- World Health Organization. (2022). *Coronavirus disease 2019 (COVID-19) WHO Thailand situation report-21 december 2022*. Retrieved from <https://www.who.int/thailand/emergencies/novel-coronavirus-2019/situation-reports>
- World Health Organization. (2023). *Coronavirus disease (COVID-19)*. Retrieved from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/coronavirus-disease-\(covid-19\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/coronavirus-disease-(covid-19))
- Zheng, S., Fan, J., Yu, F., Feng, B., Lou, B., Zou, Q., Xie, G., Lin, S., Wang, R., Yang, X., Chen, W., Wang, Q., Zhang, D., Liu, Y., Gong, R., Ma, Z., Lu, S., Xiao, Y., Gu, Y., Zhang, J., ... Liang, T. (2020). Viral load dynamics and disease severity in patients infected with SARS-CoV-2 in Zhejiang province, China, January-March 2020: retrospective cohort study. *BMJ (Clinical Research ed.)*, 369, m1443. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1443>



การติดตั้งและการต่อระบบ Hybrid Off Grid Inverter เพื่อพัฒนาโรงเรือนปิด สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ

Installation and Connection of Hybrid Off Grid Inverter System to Develop Closed Greenhouses for Automatic Hydroponic Vegetable Cultivation

รังสรรค์ พงษ์พัฒนาไพ^{1*} และณมน วรณานวงศ์²

Rungsun Pongpattanaumpai^{1*} and Namon Vorathnanuwong²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีเครื่องจักรกล คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

¹InnovativeTechnology Machinery, Faculty of Agricultural Technology,

Rajabhat Mahasarakham University

²สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

²Department of Industrial Education, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

*Corresponding author: emailit62@gmail.com

Received: November 21, 2023

Revised: February 11, 2023

Accepted: February 19, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาสร้างโรงเรือนปิดด้วยวัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนตสีใส โดยมี การประยุกต์ใช้พลังงานสีเขียวให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม คณะผู้วิจัยได้มีการพัฒนาโรงเรือนปิดรูปร่างหลังคาทรงจั่ว มีขนาด ความกว้าง 4 เมตร ความยาว 8 เมตร และความสูง 3.40 เมตร โดยมีโครงสร้างหลังคาทำมุมข้างละ 15 องศา เพื่อนำแผง โซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Solar Cells) ขนาด 340 วัตต์ ข้างละ 6 แผง รวมทั้งสิ้น 12 แผง โดยแต่ละข้าง ต่อระบบแบบอนุกรม และนำแต่ละข้างนำมาต่อระบบแบบขนาน โดยผ่านเครื่องอินเวอร์เตอร์ขนาด 5,500 วัตต์ ให้มีการทำงาน แบบออฟกริด (Off Grid) โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ เพื่อลดปริมาณการใช้งานไฟฟ้า ในช่วงเวลากลางวัน (08.00 น.-17.00 น.) เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ พัดลมดูดระบายความร้อน ปั๊มพ่นหมอก และปั๊มดูดสารละลายปุ๋ยชนิดเอและปุ๋ยชนิดบี โดย ได้ทดลองผลิตผักกรีนโอ๊คไฮโดรโปนิคส์ในแนวตั้ง ระบบกึ่งน้ำลึก (DRFT) และทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบ พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งต้นกำลัง ผลการทดลองใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดสอบกับพัดลมดูดระบายความร้อน สามารถหมุนทำงานได้ พบว่า ผลิตแรงดันเฉลี่ยอยู่ที่ 226.7 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.19 แอมป์ และผลการ ทดสอบกับปั๊มดูดสารละลายของน้ำปุ๋ยทำงาน พบว่า ผลิตแรงดันเฉลี่ยอยู่ที่ 226.7 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย อยู่ที่ 1.13 แอมป์ โดยผลการทดลองทั้งสองชนิดนี้ สามารถนำไปควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นภายในโรงเรือนปิดผ่านระบบสมาร์ท โฟนให้ทำงานอัตโนมัติได้ ผลการทดลองผลิตผักกรีนโอ๊ค 2 ครั้ง ในโรงเรือนปิดที่พัฒนาสร้างขึ้นพบว่า จำนวนหลุมปลูก ในแนวตั้งที่เหมาะสมคือ 720 หลุมต่อการปลูก 1 ครั้ง สามารถผลิตผักกรีนโอ๊คไฮโดรโปนิคส์ในโรงเรือนปิดได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: โรงเรือน ไฮโดรโปนิคส์ พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

This study aimed to design and develop a closed greenhouse constructed with clear polycarbonate sheets. The design integrates green energy for eco-friendliness. The researchers developed a greenhouse with a gabled roof measuring 4 meters wide, 8 meters long, and 3.40 meters high. The roof structure had a 15-degree angle on each side to accommodate six polycrystalline solar panels of 340 watts on each side, totaling 12 panels. Each side was connected in series and then in parallel, passing through a 5,500-watt inverter for off-grid operation without batteries, to reduce electricity usage during daylight hours (08.00–17.00). This system powered cooling fans, mist sprayers, and pumps for solution A and B fertilizers. The team experimented with vertically grown hydroponic green oak lettuce using the Deep Raft Technique (DRT) and tested the efficiency of the solar power system, which served as the primary energy source. The experiment with the cooling fan generated an average voltage of 226.7 volts and an average current of 0.19 amps. The test with the fertilizer solution pumps showed an average voltage of 226.7 volts and an average current of 1.13 amps. Both experiments allowed for temperature and humidity control inside the greenhouse through a smartphone-based automatic system. The experimental results from two cycles of growing green oak lettuce in the closed greenhouse revealed that the optimal number of vertical planting holes was 720 per cycle. This setup enabled the successful production of hydroponic green oak lettuce within the closed greenhouse.

Keywords: greenhouse, hydroponics, solar energy



บทนำ

ปัจจุบันคนไทยหันมาใส่ใจดูแลสุขภาพมากขึ้น การบริโภคผักผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่ช่วยเสริมสร้างร่างกายให้แข็งแรง ซึ่งผักปลอดสารพิษเป็นตัวหนึ่งที่ได้รับคามนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับผักปลอดสารพิษที่จำหน่ายอยู่ตามท้องตลาดในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น Green Oak Red Oak Red Coral Butter Head Cos และ Iceberg เป็นต้น การปลูกผักปลอดสารพิษเป็นสินค้าชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในการส่งออกเชิงพาณิชย์ (Pincham, Urbunnuanchat & Junnapiya, 2015) และการจัดจำหน่ายเพื่อการบริโภคทั่วไป เนื่องจากเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ มีความจำเป็นในเรื่องความปลอดภัยจากสารพิษ บางทีมีการปลูกในที่โล่งแจ้งทำให้มีปัญหาหลายปัจจัยคือ ภูมิอากาศโรคและแมลงรบกวน (Chaithima et al., 2019) ซึ่งสภาพภูมิอากาศแต่ละที่มีความแตกต่างกันและผักเมืองหนาวโดยมากจะปลูกในบริเวณภาคเหนือของประเทศ ในกรณีที่ปลูกในพื้นที่อื่นด้วยข้อจำกัดทางด้านดินฟ้าอากาศ

และอุณหภูมิ ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี (Bureau of Occupational and Environmental Disease, 2021) ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพ ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค จึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ผักปลอดสารพิษจะมีราคาค่อนข้างสูง บางชนิดมีราคาสูงถึงกิโลกรัมละ 300 บาท บางชนิดจำหน่ายเป็นต้นในราคาสูงถึงต้นละ 25 บาท เมื่อเทียบกับผักไทยที่ปลูกด้วยวิธีปกติทั่วไปซึ่งมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 5-30 บาท การปลูกพืชไร่น้ำหรือการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการแนะนำให้เกษตรกรได้ศึกษา เพื่อยกระดับผลผลิตทางการเกษตร ในขณะที่กระแสของการบริโภคผักปลอดสารพิษกำลังได้รับความนิยมในสังคม จึงเป็นช่องทางการเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนอีกทางหนึ่ง การปลูกพืชไร่น้ำ คือ วิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดินโดยไม่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูก แต่เป็นการปลูกพืชในสารละลายที่มีธาตุอาหารครบถ้วน โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง (Jinobua, 2016) การปลูก

ในโรงเรือนที่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เป็นไปตามที่พืช ผัก ผลไม้ ที่ปลูกต้องการ จะช่วยควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ให้มีสภาวะพอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชได้ (Namhomchan & Seriphatthanon, 2014) ทำให้สามารถเพาะปลูกพืช ผัก ผลไม้ ได้อย่างมีคุณภาพ และมีปริมาณตามที่ต้องการในครัวเรือนระบบโรงเรือนปิด

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนานวัตกรรมโรงเรือนระบบปิด เพราะสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ และป้องกันการเกิดโรค โดยใช้พัดลมช่วยถ่ายเทอากาศ มีโครงสร้างขนาดความกว้าง 4 เมตร ความยาว 8 เมตร และความสูง 3.40 เมตร เหตุผลเพราะออกแบบต้องการให้มีขนาดใหญ่เกินไป สามารถนำไปประกอบติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายง่าย โดยมีรูปร่างหลังคาทรงจั่วทำมุมข้างละ 15 องศา ทั้งสองข้าง เหตุผลเพราะมีแนวคิดที่จะนำแผงโซลาร์เซลล์มาวางบนหลังคาโรงเรือนปิด โดยใช้ Hybrid off grid inverter เป็นแหล่งพลังงาน เป็นแหล่งต้นกำลัง เพื่อนำไปควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในโรงเรือนปิด และทดสอบหาค่าสมรรถนะของโรงเรือนปิดที่พัฒนาสร้างขึ้น ช่วยประหยัดลดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้น เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาผลิตพืชผักปลอดสารพิษ บริโภคในครัวเรือนเพื่อให้เหมาะสำหรับเกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมต่อไปเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการใช้สารเคมี ยาฆ่าแมลง และลดความยุ่งยากในการผลิตผักไฮโดรโปนิคส์และเป็นทางเลือกในการดำเนินการเชิงธุรกิจจำหน่ายในจังหวัดหรือส่งออกต่อไป

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย

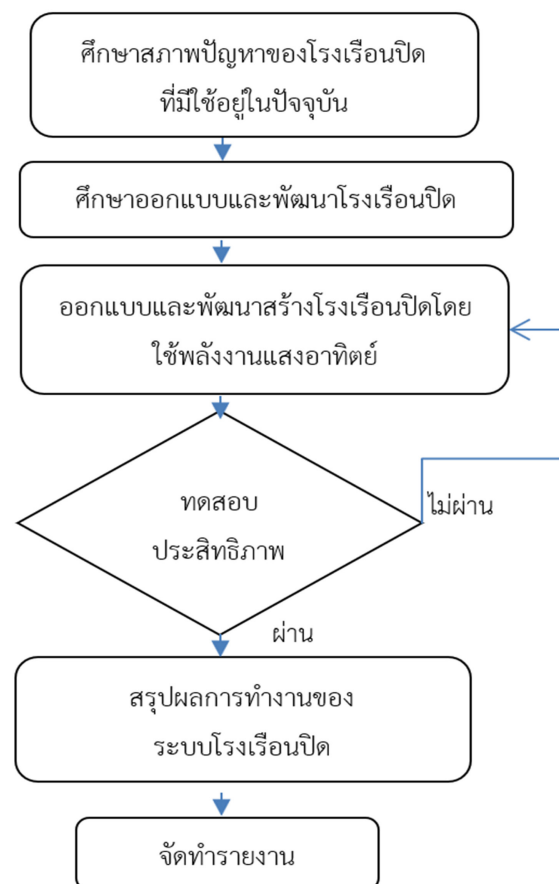
1. ผู้ศึกษาวิจัย ออกแบบพัฒนาโดยใช้วัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนตสีใส แทนพลาสติกคลุมโรงเรือนสีใส เป็นวัสดุปิดคลุมโครงสร้างของโรงเรือนปิด โดยเป็นวัสดุมุ่งหลังคาที่สามารถรองรับสียูวีได้มากกว่าเดิมมีระบบหัวพ่นหมอก มีพัดลมดูดระบายอากาศ และวัสดุอื่น ๆ

2. ทำการวิจัยและพัฒนาโครงสร้างโรงเรือนปิดใช้เหล็กชุบกันสนิมทั้งหมดแทนเหล็กดำ ออกแบบด้านบนให้สามารถถอด-ประกอบได้โดยมีขนาดความกว้าง 4 เมตร ความยาว 8 เมตรและความสูง 3.5 เมตรโดยออกแบบ

โครงสร้างหลังคามีรูปร่างลักษณะทรงจั่วให้ทำมุมข้างละ 15 องศา โดยที่สามารถนำแผง Solar Cell มาวางแล้วเป็นมุมที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด ให้สามารถปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในแนวตั้งได้เป็นอย่างดี ให้ผลผลิตที่ดี ไม่เกิดโรคอันมีสาเหตุจากความร้อนภายในโรงเรือนปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

3. ทดสอบหาประสิทธิภาพของพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งต้นกำลัง และจุดที่เหมาะสมในการติดตั้ง เช่น พัดลมดูดระบายอากาศ หัวพ่นหมอก ปุ่มสูบลมละลายน้ำปุ๋ย ที่สามารถลดความร้อนได้มากที่สุดในช่วงเวลาวิกฤตคือ ในช่วงฤดูร้อน

4. การทดสอบหาประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ ที่จะจ่ายให้ระบบอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ในโรงเรือนปิด จะทำการทดลองช่วงเวลากลางวันที่มีแสงแดดเท่านั้น ต่อระบบเป็นแบบออฟกริด (Off Grid) โดยไม่มีการต่อแบตเตอรี่ร่วมกับระบบ (08.00 น.-17.00 น.)



ภาพ 1 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

วิธีดำเนินการออกแบบและพัฒนา

1. การออกแบบพัฒนาโรงเรือนปิด

การออกแบบและพัฒนาชุดโครงสร้างของโรงเรือนปิดเลือกใช้วัสดุเป็นเหล็กชุบกัลวาไนซ์เพื่อป้องกันการเกิดสนิม อายุการใช้งานนาน โดยออกแบบโครงสร้างให้สามารถถอด-ประกอบได้ โดยมีเงื่อนไขในการออกแบบประกอบด้วย ดำเนินการออกแบบและเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ ขนาดของโรงเรือนปิดให้มีความกว้างเท่ากับ 4 เมตร มีความยาวเท่ากับ 4 เมตร และมีความสูงเท่ากับ 3.40 เมตร หลังคาเป็นแบบทรงจั่ว ทำมุมเท่ากับ 15 องศาและดำเนินการสร้างให้ได้ตามแบบ (ดังภาพ 2-4)

นำท่อนางปลูกแบบพีวีซีขนาดความยาว 4 เมตร ที่ทำการเจาะหลุมปลูกแล้ว นำมายึดติดตั้งเข้ากับโครงสร้างฐานหลักในแนวตั้ง ให้ได้จำนวน 8 แถว โดยระยะห่างระหว่างแถวของนางปลูกจะต้องเท่ากัน โดยให้มีระยะเท่ากับ 20 เซนติเมตร (ดังภาพ 3)

นำนางปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในแนวตั้งที่ประกอบเสร็จแล้ว โดยดำเนินการเคลื่อนย้ายโครงสร้างชุดนางปลูกผักจำนวน 4 ชุด เข้าไปในโรงเรือนปิด โดยวางระยะของโครงสร้างนางปลูกในแนวตั้งให้มีระยะที่เท่ากัน จำนวน 4 แท่นปลูก (ดังภาพ 4)



ภาพ 2 พัฒนารูปแบบสร้างโรงเรือนปิดที่ใช้สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในแนวตั้ง



ภาพ 3 ต่อระบบรางปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในแนวตั้ง



ภาพ 4 ต่อระบบรางปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ภายในโรงเรือนปิด

2. การออกแบบวงจรควบคุม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบไปด้วยระบบอินเวอร์เตอร์ (Hybrid off grid inverter 5.5 kw) มีค่า Rated Power: 230 VAC/5500 W มีความสามารถ Maximum PV Array Power: 6000 W มีขนาดตัวเครื่องเท่ากับ 138x302x451 มิลลิเมตร มีระบบการชาร์จเป็นแบบ MPPT พัดลมดูดระบายความร้อนในโรงเรือนปิด ปั๊มสูบน้ำในโรงเรือนปิด และปั๊มพ่นหมอกในโรงเรือนปิด (ดังภาพ 5-10) (Namhomchan & Seriphatthanon, 2014)

ต่อระบบปั๊มสูบน้ำ SOBO WP-8000 ปั๊มน้ำตู้ปลา รายละเอียดขนาด 17x14x15 ซม. กำลังไฟ 135 วัตต์ กำลังปั๊ม 6,000 ลิตร/ ชั่วโมง ปั๊มน้ำได้สูง 5.5 เมตร ปั๊มน้ำแกนใบพัดเป็นเซรามิค Outflow ท่อดูดสามารถต่อเกลียว PVC 6 ฟุตได้ต่อเข้ากับระบบรางปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ จำนวน 2 ตัว (ดังภาพ 5)

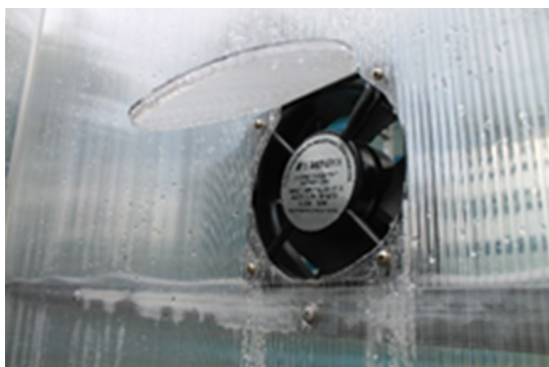
ทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยดำเนิน

การวางแผนพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้โดยมุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 15 องศา (Sukprapaphon, 2010) ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างโรงเรือนปิด รูปทรงหลังคาเป็นทรงจั่วทำมุม 15 องศาทั้งสองด้าน (ดังภาพ 8) ดำเนินการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับตัวควบคุมการชาร์จประจุ

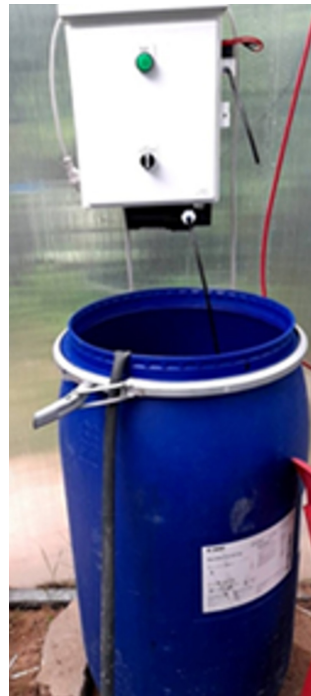
ดำเนินการต่อระบบเบรกเกอร์ที่ตู้สวิตช์บอร์ดเข้ากล่องควบคุม (ภาพ 10) ดำเนินการออกแบบวางระบบติดตั้งการควบคุมการทำงานของระบบการพ่นหมอก และดำเนินการติดตั้ง Digital Timer AC 220v 25A KG316T-II-inl สามารถตั้งโปรแกรมการเปิด-ปิด ได้ 16 ครั้ง เครื่อง Timer 220v 25A ต่อ input ไฟ 220v เข้ามาในช่องเสียบสายไฟอินพุต ส่วนช่อง output ก็เอาไปต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เราต้องการจะสั่งเปิดปิดระบบเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนปิดให้สามารถควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ (ดังภาพ 10) (Sitawan, 2015).



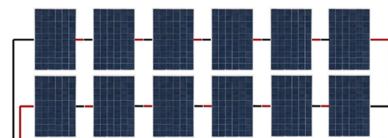
ภาพ 5 ติดตั้งปั๊มปลุกผักไฮโดรโปนิคส์ในแนวตั้ง



ภาพ 6 แสดงลักษณะการติดตั้งพัดลมดูระบายความร้อน



ภาพ 7 แสดงการติดตั้งระบบการพ่นหมอกในโรงเรือนปิด



ภาพ 8 แสดงลักษณะแผงโซลาร์เซลล์ที่วางบนหลังคาทรงจั่วทำมุม 15 องศา ข้างละ 6 แผง



ภาพ 9 แสดงการติดตั้งและการต่อระบบ Hybrid off grid inverter 5.5kw.



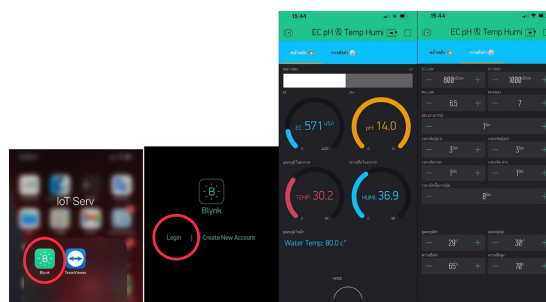
ภาพ 10 แสดงการติดตั้งระบบการพ่นหมอกในโรงเรือนปิด

ดำเนินการออกแบบวางระบบการควบคุมสารละลายปุ๋ย AB อุปกรณ์เติมออกซิเจนให้กับสารละลายภายในโรงเรือนปิด ติดตั้งชุดควบคุมการทำงานของระบบ ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า PH, ค่า EC, และอื่น ๆ เข้ากับกล่องตู้ควบคุมการทำงาน เพื่อให้ระบบเซนเซอร์วัดตรวจจับค่าอุณหภูมิ วัดความชื้น โดยให้ควบคุมการทำงานเป็นแบบปกติและควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ (ดังภาพ 11)

ออกแบบเขียนโปรแกรมโดย Blynk เพื่อสั่งให้ควบคุมการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ภายในโรงเรือนปิดโดยระบบสมาร์ตโฟน ใช้ application ใน Google Play ชื่อว่า Blynk กด Login เข้าใช้งานโดยใช้ Email ชื่อ pongpattanaumpai@hotmail.com Password rungsunXXXXX ระบบก็เข้าสู่โหมดการทำงานส่งผ่านมือถือได้โดยอัตโนมัติหรือจะสั่งผ่านโดยระบบใช้ระบบมือถือปุ่มการทำงานแบบปกติก็ได้ (ดังภาพ 12) การออกแบบวางระบบไฟปลูกพืช เพื่อให้แสงสว่างเฉพาะช่วงเวลาตอนกลางวัน เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของผักกรีนโอ๊คไฮโดรโปนิคส์ในระบบโรงเรือนปิด โดยติดตั้งจำนวนหลอดไฟปลูกพืช (bulb plant grow) ที่ให้แสงธรรมชาติที่ เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช สามารถปลูกพืชได้ภายในอาคาร เหมาะสำหรับพืชผัก Hydroponic เป็นหลอด LED ที่มีคุณภาพสูง อายุการใช้งานยาวนาน ความร้อนต่ำไม่เป็นอันตรายต่อพืช ประหยัดพลังงานได้ 85% กำลังไฟ 10 วัตต์ 220-240v. จำนวน 20 หลอด จำนวน 2 แฉนวน และจำนวน 2 แฉนวนในแนวตั้ง ระยะห่างประมาณ 1 เมตร โดยใช้สวิทช์แสงเป็นตัวควบคุมการเปิดในเวลากลางวัน และปิดในเวลาตอนเช้าให้ทำงานแบบอัตโนมัติ



ภาพ 11 แสดงกล่องควบคุมการทำงานภายในโรงเรือนปิด



ภาพ 12 แสดงการเข้าสู่ระบบการทำงานของโปรแกรม Blynk

3) วางแผนการทดลองปลูกผัก

ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design--CRD จำนวน 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วย 2 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 (T1) คือ ใส่ปุ๋ยน้ำหมักเศษปลา

กรรมวิธีที่ 2 (T2) คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร AB

วันที่ 1 มีนาคม 2565 เก็บผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมเพื่อดำเนินการวิจัย ประกอบไปด้วย ทดสอบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Pinthong, 2014) การทดสอบเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ โดยที่แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ในการ

ทดลองครั้งนี้เป็นแผงชนิด โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells) ขนาด 340 W. สูงสุด แรงดันไฟฟ้า สูงสุด 36.5 V. โดยผู้ศึกษาวิจัยได้เก็บผลการทดลองในช่วง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 โดยเริ่มทำการวัดตั้งแต่ช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. วิธีการทดลองปลูกผักกรีนโอ๊คแบบ ไฮโดรโปนิคส์ในแนวตั้งภายในโรงเรือนปิด โดยมีแหล่งจ่ายที่เป็นพลังงานแสงอาทิตย์โดยการทดลองผสมสารละลายที่ใช้ ป้อนปุ๋ยสารละลาย A และสารละลาย B แบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อปลูกผักกรีนโอ๊คในแนวตั้ง ในโรงเรือนปิด และมีการ ควบคุมอุณหภูมิ โดยพัดลมดูดอากาศ และเพิ่มความชื้น โดยการพ่นหมอก สำหรับปลูกผักกรีนโอ๊คด้วยระบบกึ่ง น้ำลึก DRFT โดยทำการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน ปิดระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส

1. ควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนปิดให้มีอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส
2. ควบคุมค่า pH ของสารละลายให้มีค่า 5.8-7.0 ตามช่วงอายุของผักสลัดกรีนโอ๊ค
3. ควบคุมค่า EC ของสารละลายตามช่วงอายุ ของผักสลัดกรีนโอ๊ค
4. นำต้นพืชที่มีอายุ 17 วันเข้ามาไว้ในโรงเรือน ปิดแล้วดูแลต่ออีก 30 วัน
5. ทำการวัดขนาดความสูง ความกว้าง และความ ยาวรากทุก 7 วัน จนผักกรีนโอ๊ค รวมอายุครบ 30 วัน (อายุ พืชครบ 45 วัน)
6. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทาง สถิติในแต่ละลักษณะที่ศึกษาและเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยของ แต่ละกรรมวิธีด้วย Least Significant Different–LSD โดยใช้ โปรแกรมวิเคราะห์ ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป Statistix9

ผลการทดลอง

1. ความสูง

จากการทดลองเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจาก ปลา และการใช้ปุ๋ยเคมี AB ในการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ ในสภาพโรงเรือนปิด พบว่า ความสูงในช่วงแรกของการปลูก จะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจากปลาจะมีความสูงมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี AB แต่หลังจากสลัดอายุที่ 42 และ 49 วันหลัง

ปลูก สลัดที่ได้รับปุ๋ยเคมี AB จะมีความสูงมากกว่าการใช้ ปุ๋ยน้ำหมักจากปลา (ดังตาราง 1)

2. จำนวนใบ

จากการทดลองเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจาก ปลาและการใช้ปุ๋ยเคมี AB ในการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ ในสภาพโรงเรือนปิด พบว่า จำนวนใบในช่วง 14 วันแรก สลัดที่ได้รับปุ๋ยน้ำหมักจากปลา มีการสร้างใบมากกว่าสลัด ที่ได้รับปุ๋ยเคมี AB หลังจากปลูกผักสลัดที่อายุ 35 42 และ 49 วันหลังปลูก สลัดที่ได้รับปุ๋ยเคมี AB มีจำนวนใบที่มากกว่า สลัดที่ได้รับปุ๋ยน้ำหมักจากปลา (ดังตาราง 2)

3. ความกว้างใบ

จากการทดลองเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจาก ปลาและการใช้ปุ๋ยเคมี AB ในการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ ในสภาพโรงเรือนปิด พบว่า การใช้ปุ๋ยน้ำหมักจากปลาและ การใช้ปุ๋ยเคมี AB ไม่มีผลต่อความกว้างของผักสลัด แต่สลัด ที่ได้รับปุ๋ยน้ำหมักจากปลาจะมีความกว้างมากกว่าสลัดที่ ได้รับปุ๋ยเคมี AB (ดังตาราง 3)

4. ความยาวใบ

จากการทดลองเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจาก ปลาและการใช้ปุ๋ยเคมี AB ในการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ ในสภาพโรงเรือนปิด พบว่า สลัดที่ได้รับปุ๋ยน้ำหมักจาก ปลาในทุกช่วงของการเจริญเติบโตมีแนวโน้มให้ความยาว ใบสูงกว่าสลัดที่ได้รับปุ๋ยเคมี AB (ดังตาราง 4)

5. น้ำหนักผลผลิต

จากการทดลองเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจาก ปลาและการใช้ปุ๋ยเคมี AB ในการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ใน สภาพโรงเรือนปิด พบว่า ผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ที่ได้รับปุ๋ย เคมี AB มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 91.75 กรัม มากกว่า สลัดที่ได้รับปุ๋ยน้ำหมักจากปลา (ดังตาราง 5)

ตาราง 1

ความสูงที่อายุ 14 21 28 35 42 และ 49 วันหลังย้ายปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ในโรงเรือนปิด

กรรมวิธี	ความสูง(เซนติเมตร)					
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน
การใส่ปุ๋ยน้ำหมักปลา	4.15	4.625A	5.25A	5.70	6.275B	10.00B
การใส่ปุ๋ยเคมี AB	3.625	4.025B	4.55B	5.05	9.125A	13.525A
F-test	ns	*	*	ns	*	*
ค่า C.V. (%)	8.77	7.52	8.25	9.46	13.94	12.10

1/ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี Least Significant Difference--LSD

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตาราง 2

จำนวนใบที่อายุ 14 21 28 35 42 และ 49 วันหลังย้ายปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ในโรงเรือนปิด

กรรมวิธี	จำนวนใบ					
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน
การใส่ปุ๋ยน้ำหมักปลา	4.05A	5.20	6.40	7.85B	6.275B	10.00B
การใส่ปุ๋ยเคมี AB	3.85B	4.95	6.55	8.475A	9.125A	13.525A
F-test	*	ns	ns	*	*	*
ค่า C.V. (%)	2.07	4.02	3.62	3.38	3.82	3.38

1/ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี Least Significant Difference--LSD

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตาราง 3

ความกว้างใบที่อายุ 14 21 28 35 42 และ 49 วันหลังย้ายปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ในโรงเรือนปิด

กรรมวิธี	ความกว้าง(เซนติเมตร)					
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน
การใส่ปุ๋ยน้ำหมักปลา	1.825	2.55	2.85	3.3	3.4	3.425
การใส่ปุ๋ยเคมี AB	1.725	1.95	2.475	2.85	2.85	2.925
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ค่า C.V. (%)	7.8	22.66	21.23	20.87	21.51	21.34

1/ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี Least Significant Difference--LSD

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตาราง 4

ความยาวใบที่อายุ 14 21 28 35 42 และ 49 วันหลังย้ายปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ในโรงเรือนปิด

กรรมวิธี	ความยาว(เซนติเมตร)					
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน
การใส่ปุ๋ยน้ำหมักปลา	3.6	4.05A	4.275	4.765	5.125	5.675
การใส่ปุ๋ยเคมี AB	3.0	3.375B	3.85	4.225	4.575	5.20
F-test	ns*	ns	ns	ns	ns	ns
ค่า C.V. (%)	11.87	8.5	8.63	6.58	6.71	6.91

1/ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี Least Significant Difference--LSD

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตาราง 5

ผลผลิตของน้ำหนักรากผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ ในโรงเรือนปิด ที่อายุ 49 วัน

กรรมวิธี	ผลผลิต(กรัม)
การใส่ปุ๋ยน้ำหมักปลา	63.75 B
การใส่ปุ๋ยเคมี AB	91.75 A
F-test	*
ค่า C.V. (%)	8.52

1/ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี Least Significant Difference--LSD

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยการทดสอบทำงานของระบบอินเวอร์เตอร์ (Hybrid off grid inverter 5.5 kw) มีค่า Rated Power: 230 VAC/5500 W มีความสามารถ Maximum PV Array Power: 6000 W มีขนาดตัวเครื่องเท่ากับ 138x302x451 มิลลิเมตร มีระบบการชาร์จเป็นแบบ MPPT (ดังภาพ 15)

สรุปผลที่ได้จ่ายแรงดันขาออก OUTPUT ที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์ สรุปผลวิจัย คือ ช่วงเวลา (08.00 น.-17.00 น.) มีค่าเฉลี่ยแรงดันเท่ากับ 226.7 โวลท์ (V) และเวลา 11.00 น. แรงดันขาออก (output) ของ Hybrid off grid inverter 5.5 kw ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ 232 โวลท์ (V) โดยเวลา 08.00 น. และเวลา 16.00 น. ได้ค่าแรงดันน้อยที่สุดเท่ากับ 223 โวลท์ (V) ผลการวิจัยทดสอบพดลมดูระบายความร้อนในโรงเรือนปิด โดยที่ได้ทำการเชื่อมต่อกับระบบพลังงาน

แสงอาทิตย์ไว้เรียบร้อยแล้ว (ดังภาพ 13)

สรุปผลวิจัย คือ ช่วงเวลา (08.00 น.-17.00 น.) มีค่าเฉลี่ยของกระแสเท่ากับ 0.19 แอมแปร์ (A) ที่แรงดันเท่ากับ 226.7 โวลท์ (V) และเวลา 11.00 น. ที่แรงดันเท่ากับ 232 โวลท์ (V) มีค่ากระแสมากที่สุดเท่ากับ 0.43 แอมแปร์ (A) และมีค่ากระแสน้อยที่สุด คือ เวลา 15.00 น. ที่แรงดัน 224 โวลท์ (V) มีค่ากระแสเท่ากับ 0.11 แอมแปร์

ผลการวิจัยทดสอบปั้มน้ำในโรงเรือนปิด โดยที่ได้ทำการเชื่อมต่อกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ไว้เรียบร้อยแล้ว (ดังภาพ 14)

สรุปผลวิจัย คือ ช่วงเวลา (08.00 น.-17.00 น.) มีค่าเฉลี่ยของกระแสเท่ากับ 1.13 แอมแปร์ (A) ที่แรงดันเท่ากับ 226.7 โวลท์ (V) และพบว่า เวลา 11.00 น. ที่แรงดันเท่ากับ 232 โวลท์ (V) มีค่ากระแสมากที่สุดเท่ากับ 1.15 แอมแปร์ (A) และมีค่ากระแสน้อยที่สุด คือ เวลา 10.00 น. ที่แรงดัน 230 โวลท์ (V) และเวลา 17.00 น. แรงดัน 224 โวลท์ (V) มีค่ากระแสเท่ากันเท่ากับ 1.11 แอมแปร์

ผลการวิจัยทดสอบปั้มน้ำในโรงเรือนปิด โดยที่ได้ทำการเชื่อมต่อกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ไว้เรียบร้อยแล้ว (ดังภาพ 15-16)



ภาพ 13 แสดงผลการทดสอบที่ Function Display



ภาพ 14 แสดงผลการทดสอบการวัดกระแสและแรงดันของพัดลมตู้ระบายความร้อน



ภาพ 15 แสดงผลการทดสอบการวัดกระแสและแรงดันของปั้มน้ำ



ภาพ 16 แสดงผลการทดสอบการวัดกระแสและแรงดันของปั้มน้ำ

สรุปผลวิจัย

สรุปผลวิจัย คือ ช่วงเวลา (08.00 น.-17.00 น.) มีค่าเฉลี่ยรวมของกระแสเท่ากับ 0.112 แอมแปร์ (A) ที่แรงดันเท่ากับ 226.7 โวลต์ (V) และเวลา 13.00 น. ที่แรงดันเท่ากับ 229 โวลต์ (V) มีค่ากระแสมากที่สุดเท่ากับ 0.13 แอมแปร์ (A) และมีค่ากระแสน้อยที่สุด คือ เวลา 08.00 น. ที่แรงดัน 223 โวลต์ (V) เวลา 17.00 น. แรงดัน 224 โวลต์ (V) มีค่ากระแสเท่ากันเท่ากับ 0.10 แอมแปร์

อภิปรายผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาสร้างโรงเรือนปิดด้วยวัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนต โดยใช้พลังงานสีเขียวเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม คณะผู้วิจัยได้มีการพัฒนาโรงเรือนปิดรูปร่างหลังคาทรงจั่วมีขนาดความกว้าง 4 เมตร ความยาว 8 เมตร และความสูง 3.40 เมตร ให้โครงสร้างหลังคาทำมุม 15 องศา และนำแผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Solar Cells) ขนาด 340 วัตต์ จำนวน 12 แผง ติดตั้งวางบนหลังคา ต่อระบบแบบอนุกรมผ่านอินเวอร์เตอร์ขนาด 5500 W ให้ทำงานแบบออฟกริด (Off Grid) โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ เพื่อลดปริมาณการใช้งานไฟฟ้า ในช่วงเวลากลางวัน (08.00 น.-17.00 น.) เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ พัดลมดูดระบายความร้อน บั๊มพ่นหมอก และปั๊มดูดสารละลายปุ๋ย AB โดยได้ทดลองผลิตผักกรีนโอ๊คไฮโดรโปนิคส์ในแนวตั้ง ระบบกึ่งน้ำลึก (DRFT) และทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งต้นกำลัง และผลการทดลองใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดสอบกับพัดลมดูดระบายความร้อนสามารถหมุนทำงานได้ พบว่า ผลิตแรงดันเฉลี่ยอยู่ที่ 226.7 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.19 แอมป์ และผลการทดสอบกับปั๊มสูบน้ำทำงานพบว่าผลิตแรงดันเฉลี่ยอยู่ที่ 226.7 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.13 แอมป์ สามารถนำไปควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นภายในโรงเรือนปิดผ่านระบบสมาร์ตโฟนให้ทำงานอัตโนมัติ (Namhomchan & Seriphatthanon, 2014)

ผลการทดลองผลิตผักกรีนโอ๊ค 2 ครั้ง ในโรงเรือนปิดที่พัฒนาสร้างขึ้นพบว่า จำนวนหลุมปลูกในแนวตั้งที่เหมาะสม คือ 720 หลุมต่อการปลูก 1 ครั้ง สามารถผลิต

ผักกรีนโอ๊คไฮโดรโปนิคส์ได้เป็นอย่างดี (ดังภาพ 17)

ผลผลิตด้านผักกรีนโอ๊คที่ได้รับปุ๋ยเคมี AB ที่ใช้กันทั่วไปมีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบและน้ำหนักผลผลิตมากกว่าผักสลัดที่ได้รับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากปลาสดคล้อยกับ Veena (2019) ผลจากใช้ปุ๋ยอินทรีย์และน้ำหมักชีวภาพชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ผัก 3 ชนิด ที่ปลูกแบบหมุนเวียน ได้แก่ กระเจี๊ยบเขียว ผักกาดหัว และคะน้า วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 12 ดำรับการทดลอง ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ร่วมกันน้ำหมักชีวภาพส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชทั้งสามชนิดมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่าง

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างให้โรงเรือนมีน้ำหนักที่เบา โดยใช้วัสดุที่เป็นโครงสร้างอลูมิเนียม เพื่อให้สามารถให้โรงเรือนเคลื่อนย้ายไป-มาได้ง่ายและมั่นคง

2) ควรมีการพัฒนาและปรับปรุงในส่วนการผสมสารละลาย A และสารละลาย B โดยใช้ระบบควบคุมแบบเทอร์โมอิเล็กทริกส์เข้ามาช่วยในการผลิตผักไฮโดรโปนิคส์ในโรงเรือนแบบปิด

3) ควรมีการทดลองต่อยอดงานวิจัยเข้าร่วมกับพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่น พลังงานลม พลังงานก๊าซชีวภาพ มาใช้ร่วมกันด้วย เพื่อนำไปใช้ในอนาคตได้จริง ๆ ลดต้นทุนในการผลิตผักเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์



ภาพ 17 แสดงผลการทดลองปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1) โรงเรือนปิดที่ออกแบบพัฒนาสร้างขึ้นควรมีการพัฒนาเป็นแบบโรงเรือนปิดทรงจั่วสองชั้น

2) โรงเรือนปิดที่ออกแบบพัฒนาสร้างขึ้นในอนาคตสามารถนำไปพัฒนางานวิจัยครั้งต่อไปได้ คือ พัฒนาระบบภายในโรงเรือนปิด เพื่อปลูกพืชชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น กัญชง กัญชา และอื่น ๆ ตามความต้องการของชุมชนในพื้นที่นั้น ๆ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโรงเรือนปิดในงานวิจัยนี้ ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ในการ

แปลงไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ เนื่องจากระบบส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง แต่สามารถแปลงใช้อุปกรณ์คงค่าแรงดัน Voltage Regulator ได้

3) การวิจัยในครั้งต่อไป แนะนำให้ผู้วิจัยใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากปลาที่มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นกว่านี้ เพราะงานทดลองนี้ควบคุมปริมาณสารอาหารในรูปค่า EC อยู่ที่ 1.2 เท่านั้น หากให้ปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้น อาจได้รับผลผลิตที่มากขึ้นได้



References

- Bureau of Occupational and Environmental Disease. (2021). *Disease and health hazard surveillance, prevention and control for informal workers, situation report on in 2020*. Retrieved from <http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/galleries3/202105/> (in Thai)
- Chaithima, W., Chalerphol, J., Sirisunyaluck, R., & Pastpipatkul, P. (2019). Farmer's opinions on pesticide free vegetable growing in Saraphi District, Chiang Mai Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(suppl.1), 191-198. (in Thai)
- Jinobua, J. (2016). *Aeroponics, growing plants with roots suspended in the air*. Chiang Mai: Food Process Engineering Department. Bangkok: School of Agro-Industry Faculty of Agro-Industry Kasetsart University. (in Thai)
- Namhomchan, T., & Seriphatthanon, A. (2014). Temperature and relative humidity control system in soilless greenhouses. Cooling type using water evaporation method combined with automatic water mist spray. Using a programmable logic control system. *Eau Heritage Journal Science and Technology*, 8(1), 98-111. (in Thai)
- Nilawong, V (2019). Influence of organicandBio-extractson the growth and yield of Okra, Chinese radish, and kal. *Science Journal Ubon Ratchathani University*, 21(3), 95-103 (in Thai)
- Pincham, K., Urbunnuanchat, M., & Junnapiya, S. (2015). Development of agricultural markets in Education: Research of farmers who produce products that are safe from toxins, Food Safety Project. Central vegetable and fruit market, Ratchaburi Province. *Journal of Interdisciplinary Research: Graduate Edition*, 4(2), 122-132. (in Thai)
- Pinthong, T. (2014). *Study of hot and cold water heating systems using thermoelectrics with solar cells*. Nakhon Sawan: Department of Industrial Technology Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology Nakhon Sawan Rajabhat University. (in Thai)
- Sitawan, D. (2015). *Thermoelectric technology*. Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)

Sukprapaphon, B. (2010). *Electrical energy from solar energy and solar cell system design*. Faculty of Industrial Technology. Chiang Rai Rajabhat University. Synchrotron Light Research Institute (M.P.P.). Synchrotron Light Research Institute. Retrieved from <https://www.slri.or.th>(23 February 2016). (in Thai)



การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดฝึกซ้อมการขับขี่สำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิง

Design and Prototyping of Driving Test Kit for Eco Mileage Challenge Vehicle

วสวัตดี เสาวดี¹ และชวิน จันทระเสนาวงศ์²

Wasawat Saowadee¹ and Chawin Chantharasenawong²

¹กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

¹Department of Mechanical Engineering, Academic Division Chulachomklat Royal Military Academy

²สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Received: November 29, 2023

Revised: January 16, 2024

Accepted: January 22, 2024

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดฝึกซ้อมการขับขี่สำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิงนั้น เป็นการจำลองการขับขี่เพื่อเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ขับขึ้นบนเครื่องทดสอบกับการขับขึ้นบนสนามจริง โดยการใช้น้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ก่อน-หลังการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถประหยัดเชื้อเพลิงก่อนไปแข่งขันจริง โดยการทดสอบแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอน 1 ทดสอบขับขี่โดยการปรับเพิ่ม-ลด แรงกดของชุดสร้างแรงต้านที่ล้อช่วยแรงที่ 0 5 10 15 และ 20 นิวตัน และนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลการแข่งขันครั้งก่อน เพื่อหาค่าแรงต้านจำลองบนเครื่องทดสอบ ขั้นตอนที่ 2 ทำการขับขี่รถประหยัดที่ความเร็วสูงสุดต่าง ๆ ดังนี้ 50 55 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อหาความเร็วสูงสุดที่เหมาะสมที่สุดในการขับขี่ ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบการขับขี่โดยใช้ข้อมูลการทดสอบในข้างต้น เพื่อเปรียบเทียบดูแนวโน้มอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ระยะทาง 18 กิโลเมตร ตามกฎกติกาการแข่งขัน จากผลการทดสอบได้ค่าแรงกดที่ชุดสร้างแรงต้านเท่ากับ 6.84 นิวตัน และความเร็วสูงสุดที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ช่วยให้รถมีอัตราประหยัดเชื้อเพลิงมากที่สุด จากผลการทดสอบในระยะทาง 18 กิโลเมตรพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉลี่ยอยู่ที่ 51.48 กรัม (265.80 กิโลเมตรต่อลิตร) ดังนั้นในส่วนของการปรับปรุงพัฒนาส่วนต่าง ๆ ในอนาคตนั้น ผู้วิจัยสามารถใช้ชุดฝึกซ้อมการขับขี่สำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อคาดการณ์อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ก่อนจะทำการเข้าแข่งขันจริงเพื่อหาจุดที่ดีที่สุดของการปรับปรุงเพื่อการแข่งขันในครั้งถัดไป

คำสำคัญ: รถประหยัดเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ความเร็วเฉลี่ยที่ขับขี่

Abstract

The prototype of the eco-car driving practice kit was designed and developed for simulating eco-car driving in order to compare the fuel consumption rates between driving on the tester and driving on the real field. The test was divided into three stages. In Stage 1, the eco-car was tested by driving at an average speed of 30 km/h with adjustments to increase or decrease the downforce of the drag force generated at the wheels at 0, 5, 10, 15, and 20 newtons. The average fuel-consumption rate was calculated, and the result was compared with the results from the Honda Eco Mileage Challenge No. 25/2565, which found the fuel-consumption rate at 256.75 km/L. The test result showed that the downforce of the drag force generating set was close to the result of the Honda Eco Mileage Challenge, i.e., 6.84 newtons. In Stage 2, the eco-car was driven at different speeds, i.e., 50, 55, and 60 km/h. The test results showed that at 60 km/h, the car fuel consumption was the best. In Stage 3, the data from the above driving tests were compared to find the tendency of the average fuel consumption rates at the 18-km distance according to the rules of the competition. The test results showed that the average fuel consumption rate was 51.48 grams (265.80 km/L). Therefore, in terms of future improvement and development, the researcher can predict the fuel consumption rate before the real competition to find the best point of improvement for the next competition.

Keyword: eco car, fuel-consumption rate, average driving speed

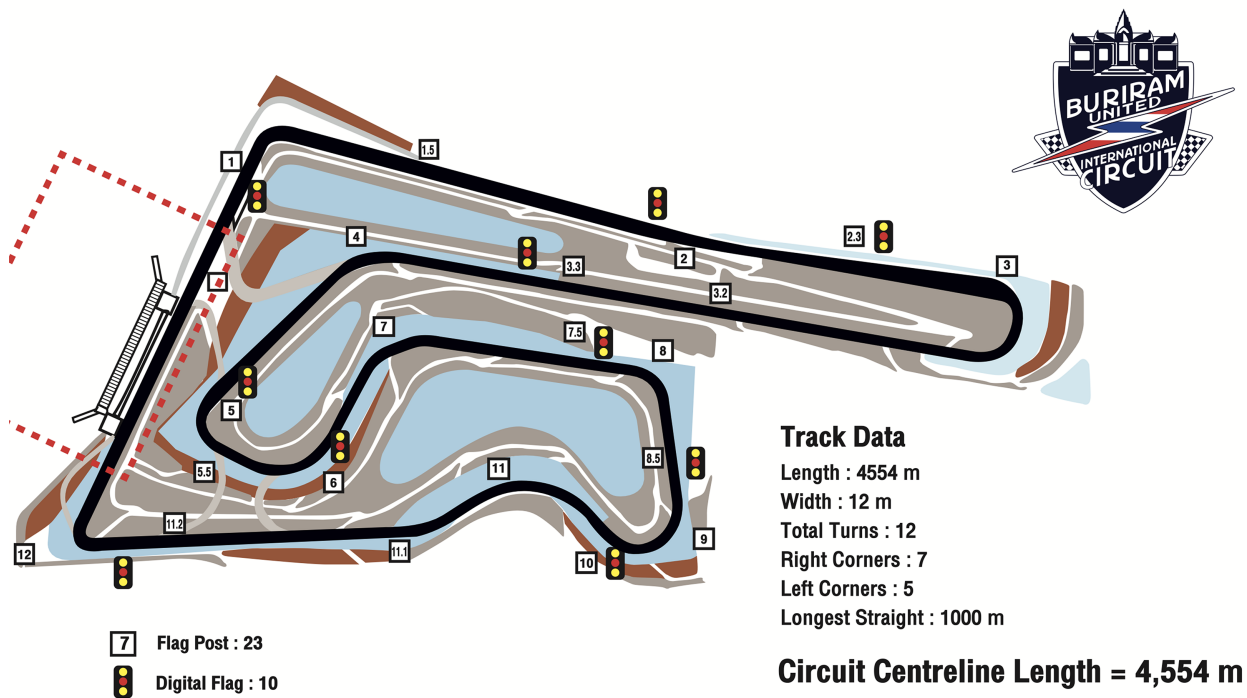


บทนำ

บริษัทเอ.พี. ฮอนด้า จำกัด ได้จัดกิจกรรมการแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง Honda Eco Mileage Challenge ภายใต้แนวความคิดที่ว่า “น้ำมัน 1 ลิตรจะสามารถวิ่งไปได้ไกลแค่ไหน” โดยมีเป้าหมายให้ทุกคนได้ประดิษฐ์ คิดค้น ทดสอบ ทดลองและคำนึงถึงการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยความร่วมมือจากสำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นสถานศึกษาที่เข้าร่วมโครงการจะต้องจัดสร้างรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงของสถานศึกษาตนเอง (Kaewpra & Tantisuphachai, 2020) โดยกำหนดให้ทุกประเภทแข่งขันใช้เครื่องยนต์ฮอนด้าเวฟ 110 ไอ ระบบหัวฉีดทั้งหมด เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้ความสามารถของนักเรียนนักศึกษา โดยในการแข่งขันจริงที่ทางฮอนด้าจัดขึ้นนั้นได้จัดที่สนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งสนามแข่งขันนั้นมี

ขนาดได้มาตรฐาน โดยหนึ่งรอบสนามช้างฯ มีระยะทางยาว 4,554 เมตร ความกว้างของสนาม 12 เมตร มีทางโค้งทั้งหมด 12 โค้ง แบ่งเป็นโค้งขวา 7 โค้ง และโค้งซ้าย 5 โค้ง โดยทำการแข่งขันกันประมาณ 4 รอบสนาม (ระยะทางรวม 18 กิโลเมตร) ดังแสดงในภาพ 1

Anansaowaphak (2020) โดยในแต่ละปีที่ผ่านมาผลการแข่งขันของโรงเรียนมีลำดับการแข่งขันที่ดีขึ้นตามลำดับแต่ยังไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ โดยในแต่ละปีการชักซ้อมการขับขี่รถฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิงของทางทีมได้ฝึกซ้อมที่สนามกีฬาของทางโรงเรียน แต่เนื่องด้วยสถานที่ค่อนข้างแคบทำให้การชักซ้อมไม่เป็นไปตามเป้าหมาย อีกทั้งรถประหยัดเชื้อเพลิงมีรัศมีวงเลี้ยวที่กว้างและเวลาขับขี่มีการใช้ความเร็วที่สูงซึ่งอาจเกิดอันตรายในการซ้อมขับขี่



ภาพ 1 สนามแข่งขันที่สนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จังหวัดบุรีรัมย์

Note. From Competition rules by Honda Eco Mileage Challenge, 2023, retrieved from <https://www.thaihonda.co.th/econo-test/FileUploadMain/ImagesUpload/>

เพื่อให้การชักซ้อมเป็นไปอย่างสมบูรณ์งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นออกแบบและจัดสร้างเครื่องฝึกทดสอบการขับที่ใช้ของรถประหยัดเชื้อเพลิง จำลองการสร้างแรงต้านของเครื่องฝึกทดสอบเพื่อให้มีความเหมือนกับการขับขึ้นในสนาม รวมถึงใช้ชุดฝึกการขับซึ่งดังกล่าวในการเก็บผลการทดสอบต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงก่อนการแข่งขันจริงอีกด้วย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. สร้างต้นแบบชุดฝึกซ้อมการขับสำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิง
2. เปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ทดสอบบนเครื่องทดสอบกับการขับขึ้นสนามจริง

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิจัยต่าง ๆ พบว่า การขับขึ้นให้ประหยัดเชื้อเพลิงนั้นมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง

ทั้งเรื่องของอากาศพลศาสตร์ น้ำหนักของตัวรถ เทคนิคการขับขึ้น เป็นต้น จากการศึกษางานวิจัยพบว่า

Kaewpra and Tantisuphachai (2020) ได้ทำการสร้างตัวถังรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงกึ่งอัตโนมัติ Autokan1 เพื่อหาคุณภาพและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเกณฑ์ขอบเขตการทดสอบถนนที่ใช้ในการวิ่งทดสอบเป็นสนามกีฬาพื้นถนนลาดยาง สตาร์ทเครื่องยนต์และเร่ง เครื่องยนต์ประมาณ 3-5 วินาที ให้รถมีความเร็วประมาณ 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และดับเครื่องยนต์ เมื่อรถมีความเร็วลดลงประมาณ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ให้สตาร์ทเครื่องยนต์อีกครั้งเพื่อเร่งเครื่องยนต์ให้รถมีความเร็ว ประมาณ 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และดับเครื่องยนต์ทำซ้ำให้รถวิ่งครบ 5 รอบสนาม เมื่อวิ่งทดสอบครบ 5 รอบสนาม หรือเท่ากับระยะทาง 2,200 เมตร ทดลองวิ่งทดสอบทั้งหมด 9 ครั้ง และนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ไปคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง จากการทดสอบวิ่งทดสอบพบว่า มีค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเท่ากับ 782.22 กิโลเมตรต่อลิตร ดังตาราง 1 และจากการเข้าร่วมการแข่งขันฮอนด้าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

ครั้งที่ 22 ประจำปี พ.ศ. 2562 ผลการแข่งขัน ได้รับรางวัลสถิติ ประหยัดน้ำมันสูงสุดลำดับที่ 28 น้ำมัน 1 ลิตร สามารถวิ่งได้ ระยะทาง 737.54 กิโลเมตร ตามผลการจับสถิติวันแข่งขัน

Nimrotham and Koolnapadol (2017) ได้ศึกษา อัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับการแข่งขัน การวิจัยนี้ศึกษาการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ในระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ โดยปรับเปลี่ยนจากกล่องมาตรฐานมาเป็นกล่องควบคุมการฉีด (API) ใช้กับเครื่องยนต์รถประหยัดประเภทรถประติษฐ์ ซึ่งมี 3 ล้อ อุปกรณ์อื่น ๆ อยู่ภายใต้กฎการแข่งขันฮอนด้า ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เทคนิคและการพัฒนานั้นสำหรับ เพื่อใช้ในการแข่งขันรถประหยัดเชื้อเพลิง

การทดสอบในสนามทดสอบซึ่งมีความยาว 6,000 เมตร ใช้บริเวณถนนในมหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ บางคล้า ความเร็วในการทดสอบ 25-30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อวิ่งครบตาม ระยะทางกำหนดนำเชื้อเพลิง ทดสอบมาซึ่งน้ำหนักเพื่อหา อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง โดยสูตรคำนวณความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะใช้สูตรเดียวกับการแข่งขันฮอนด้า ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่า อัตราการฉีดที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดคือตารางการฉีดแบบที่ 3 จากการสังเกตพฤติกรรมของเครื่องยนต์แบบที่ 1 และ 2

พบว่า เมื่อมีระยะเวลาการฉีดนาน กำลังของเครื่องยนต์ก็จะมีอัตราเร่งที่สูง ซึ่งมีผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แต่กรณี ความต้องการใช้ความเร็วที่ 25-30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และการใช้กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์จะใช้เวลาในช่วงการออกตัว เท่านั้น เมื่อรถมีการเคลื่อนที่แรงต้านทานการหมุนจะเริ่มลดลง จึงต้องมีการลดระยะเวลาการฉีดให้น้อยลง ซึ่งตารางการฉีดแบบที่ 3 จะมีการกำหนดรูปแบบการฉีดโดยจะมีการฉีดเชื้อเพลิงเฉพาะในรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้งาน และ จะกำหนดอัตราการฉีดเฉลี่ยในรอบที่ใช้งานตามจำนวน ความต้องการ โดยสังเกตจากแรงสูญเสียจากอากาศจากเรือนล้อ แรงของเครื่องยนต์ ส่วนรอบไม่ใช้งานจะตัดการฉีดเชื้อเพลิง การตั้งค่าการชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำที่สูงมีผลต่อการฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งอาจเปรียบเทียบกับตัวชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำเหมือนกับตัวหมุนในคาร์บูเรเตอร์ เมื่อขนาดหม้อน้ำใหญ่จะจ่ายน้ำมันมากกว่าขนาดหม้อน้ำเบอร์เล็กตามลำดับ การพัฒนา รถเพื่อความประหยัดที่ดีขึ้นหรือการนำไปใช้ในรถจริงนั้นถ้า มีองค์ความรู้ด้านสมรรถนะและแบบจำลองเครื่องยนต์และ ควบคุมส่วนผสมอากาศ-เชื้อเพลิงให้เกิดการหมุนวนก่อน เข้าเครื่องยนต์จะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยที่ ใช้เชื้อเพลิงเท่าเดิม ในการออกแบบซึ่งเมื่อนำทดสอบวิ่งใน สนามทดสอบเป็นจำนวนระยะทาง 6,000 เมตร จะได้ผล การทดสอบการประหยัดเชื้อเพลิงในแต่ละแบบ ดังตาราง 2 3 และ 4 ตามลำดับ

ตาราง 1

แสดงผลการทดลองหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงกึ่งอัตโนมัติ

แรงดันน้ำมัน เชื้อเพลิง	ครั้งที่	น้ำมันที่ใช้ไป (ซีซี)	ระยะทาง (เมตร)	ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	อัตราสิ้นเปลือง (กิโลเมตรต่อลิตร)
3 บาร์	1	3	2,200	33	733.33
	2	2.5	2,200	32	880.00
	3	3	2,200	33	733.33
	4	3	2,200	34	733.33
	5	3	2,200	35	733.33
	6	2.5	2,200	32	880.00
	7	3	2,200	33	733.33
	8	3	2,200	34	733.33
	9	2.5	2,200	33	880.00
	ค่าเฉลี่ย	2.83	2,200	33.22	782.22

ตาราง 2

แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อทดสอบการวิ่งในสนามทดสอบโดยใช้ตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 1

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	เวลา (นาทีก)	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ซีซี)	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลเมตรต่อลิตร)
1	14.20	25.35	19.23	310.55
2	13.55	26.56	20.13	328.06
3	14.33	25.12	18.00	333.33
ค่าเฉลี่ย	14.14	25.46	18.80	318.34

ตาราง 3

แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อทดสอบการวิ่งในสนามทดสอบโดยใช้ตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 2

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	เวลา (นาทีก)	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ซีซี)	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลเมตรต่อลิตร)
1	14.30	25.17	11.00	545.45
2	14.37	25.05	10.90	550.45
3	14.50	24.82	10.60	566.03
ค่าเฉลี่ย	14.39	25.01	10.83	553.97

ตาราง 4

แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อทดสอบการวิ่งในสนามทดสอบโดยใช้ตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 3

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	เวลา (นาทีก)	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ซีซี)	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลเมตรต่อลิตร)
1	14.54	24.75	10.37	578.64
2	14.36	25.06	10.95	547.98
3	14.13	25.26	10.07	595.86
ค่าเฉลี่ย	14.35	25.03	10.47	574.16

ผลการทดสอบวันแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง คณะผู้วิจัยได้นำตารางการฉีดเชื้อเพลิงในแบบที่ 2 และ 3 มาใช้ในการแข่งขันรถประหยัดเชื้อเพลิง พบว่า สถิติการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยสถิติก่อนการปรับปรุงพัฒนารถประหยัดจะมีค่าสถิติ 368.78 กิโลเมตรต่อลิตร ที่ความเร็วเฉลี่ย 25.10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง วิ่งใน ระยะทาง 10.2 กิโลเมตร หลังการใช้ตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 3 ร่วมกับเทคนิคการพัฒนาเครื่องยนต์ที่ได้จากงาน

วิจัย ในการทดสอบในระยะทาง 10.2 กิโลเมตร ทำสถิติ ได้ 560.84 กิโลเมตรต่อลิตร โดยใช้ความเร็วเฉลี่ย 26.53 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีผลการประหยัดเพิ่มขึ้น เป็น 34.28%

Thanomputra (2006) ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องยนต์ ประหยัดเชื้อเพลิงเพื่ออนาคต (นนทรีอีสาน) โดยพัฒนา โครงสร้างของรถทำจากเหล็กกล่องขนาด 13 มิลลิเมตร และ 19 มิลลิเมตร ขึ้นรูปเป็นโครงและประกอบโดยใช้รอยเชื่อม โครงรถมีความกว้าง 450 มิลลิเมตร ยาว 2,900 มิลลิเมตร

ตัวถังรถหุ้มด้วยอะลูมิเนียมยึดติดกับโครงด้วยหมุดย้ำ รถแข่งมี 3 ล้อ ใช้ขอบล้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.41 เมตร โดยล้อหน้า 2 ล้อใช้สำหรับบังคับเลี้ยวล้อหลังสำหรับการขับเคลื่อนและเบรก ชุดส่งกำลังเป็นชนิดโซ่มีอัตราทด 7.95:1 ใช้ล้อแบบลูกบอล 6902Z ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 28 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15 มิลลิเมตร และเจาะรูน้ำมันที่เพลาล้อหลังเพื่อเพิ่มสารหล่อลื่น ด้านเครื่องยนต์การพัฒนาเครื่องยนต์ภายใต้กฎกติกา ทำตามแนวคิดที่ว่า การลดปริมาตรกระบอกสูบ เพื่อลดปริมาณสารทำงานในห้องเผาไหม้ การใช้อัตราส่วนการอัดและเวลาการจุดระเบิดที่เหมาะสมเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และเครื่องยนต์มีกำลังมากขึ้น การลดระยะยกและช่วงเวลาเปิดวาล์วไอดีเพื่อลดปริมาณสารทำงาน รถจึงทำการดัดแปลงจากเครื่องยนต์ 1 กระบอกสูบ 4 จังหวะ ขนาด 125 ซีซี กลายเป็นเครื่องยนต์ที่มีปริมาตร กระบอกสูบ 121.16 ซีซี ขนาดกระบอกสูบ 52.3 มิลลิเมตร ช่วงชัก 56.4 มิลลิเมตร อัตราส่วนการอัด 16.5:1 วาล์วไอดีเปิดที่ 0 องศา ก่อน TDC วาล์วไอดีเปิดที่ 34 องศา ก่อน BDC ระยะยกวาล์วไอดี 2 มิลลิเมตร การจุดระเบิดที่ 1 องศา ก่อน TDC ระบบจุดระเบิด CDI 2 หัวเทียน

ผลการทดสอบรถก่อนการพัฒนา 4 ครั้ง ที่ระยะทาง 9 กิโลเมตร ใช้วิธีขับแบบสตาร์ทเครื่องยนต์และเร่งเครื่องเป็นเวลา 7 วินาที แล้วดับเครื่องยนต์ รวม 18 ครั้งต้องการทดสอบ แสดงในตาราง 5 จากการวิเคราะห์รถที่อัตราเร็วเฉลี่ย 25.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สมมติประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง 31.5% วิธีการขับชนิดนี้มีความต้องการเชื้อเพลิง 0.30 กรัม ต่อการเร่งเครื่องยนต์หนึ่งครั้ง และต้องการเชื้อเพลิงทั้งหมด 5.57 กรัม สถิติดีที่สุดไม่เกิน 1,162 กิโลเมตรต่อลิตร จากผลการทดสอบพบว่า ใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 12.73 กรัม ค่าความประหยัดเฉลี่ย คือ 509.00 กิโลเมตรต่อลิตร รถมีประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง 13.80% หลังจาการถถูกพัฒนาเสร็จสมบูรณ์ได้ทำการทดสอบรถ 8 ครั้ง ระยะทางเท่าเดิมและใช้วิธีขับแบบสตาร์ทเครื่องยนต์และเร่งเครื่องเป็นเวลา 5-7 วินาที แล้วดับเครื่องยนต์รวม 12-15 ครั้งต่อการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงในตาราง 6 จากการวิเคราะห์รถที่อัตราเร็ว

เฉลี่ย 25.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความต้องการเชื้อเพลิงทั้งหมด 3.446 กรัม สถิติดีที่สุดไม่เกิน 1,880 กิโลเมตรต่อลิตร ผลการทดสอบพบว่าใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 6.08 กรัม ค่าความประหยัดเฉลี่ย คือ 1,065.75 กิโลเมตรต่อลิตร และประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 17.85% ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ต่ำสาเหตุเนื่องจากในสนามทดสอบ อาจมีความชันของถนน และอากาศล้อมรอบมีความเร็วในทิศด้านการเคลื่อนที่ของรถทำให้ต้องใช้แรงขับเคลื่อนมากขึ้น สาเหตุอีกประการหนึ่งเนื่องจากวิธีการขับแบบสตาร์ทเครื่องยนต์เร่งเครื่องและดับเครื่องติดต่อกัน ซึ่งการเร่งเครื่องยนต์ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำและการเร่งรถ 15 ครั้งมีความต้องการพลังงานหรือแรงขับเคลื่อนสูงกว่าเดิม 2.38 เท่าของวิธีสตาร์ท เร่งเครื่อง และขับด้วยความเร็วคงที่ อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยต้องผ่อนคันเร่งเมื่อรถเข้าโค้งและเบรกเมื่อมีสิ่งกีดขวาง ดังนั้นตลอดการแข่งขันทำให้มีการเร่งเครื่องยนต์หลายครั้งและความประหยัดลดลง

ตาราง 5

ผลการทดสอบรถก่อนการพัฒนา

ครั้งที่	การสตาร์ท (ครั้ง)	ระยะเวลาเร่ง เครื่องยนต์ (s)	อัตราเร็ว เฉลี่ย (km/h)	ค่าความประหยัด (km/liter)
1	18	7	25.35	517
2	18	7	25.49	508
3	18	7	25.29	514
4	18	7	25.44	497
ค่าเฉลี่ย			25.39	509.00

ตาราง 6

ผลการทดสอบรถหลังการพัฒนา

ครั้งที่	การสตาร์ท (ครั้ง)	ระยะเวลาเร่ง เครื่องยนต์ (s)	อัตราเร็ว เฉลี่ย (km/h)	ค่าความประหยัด (km/liter)
1	15	7	26.47	918
2	15	7	26.54	909
3	12	6	25.65	1034
4	12	6	25.70	989
5	12	6	25.53	1097
6	12	5	25.47	1139
7	12	5	25.23	1208
8	12	5	25.17	1232
ค่าเฉลี่ย			25.72	1065.75

1. ประเภทของแรงเสียดทาน Friction

1.1 แรงเสียดทานชนิดแห้ง (dry friction)

คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันของวัตถุที่มีสถานะเป็นของแข็ง โดยแรงเสียดทานชนิดแห้งสามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิดย่อย คือ (1) แรงเสียดทานสถิต (static friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุในสถานะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วหยุดนิ่งอยู่กับที่ (2) แรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุในสถานะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ดังแสดงในภาพ 2

1.2 ทิศทางของแรงเสียดทาน Friction

ทิศของแรงเสียดทานมีทิศสวนทางกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีรายละเอียดดังนี้ (ก) รถเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา ยางรถหมุนเคลื่อนที่ในทิศตามเข็มนาฬิกาและแรงเสียดทาน F มีทิศจากซ้ายไปขวา (ข) รถแล่นถอยหลังจากขวาไปซ้าย ยางรถหมุนเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา แรงเสียดทาน F มีทิศทางจากขวาไปซ้าย (ค) รถเบรกล้ออยู่นิ่งแต่รถจะ

เคลื่อนที่ไปต่อจากเดิม คือ จากขวาไปซ้าย แรงเสียดทานมีทิศจากซ้ายไปขวา ดังแสดงในภาพ 3

1.3 ทฤษฎีพื้นฐาน Pavement Friction

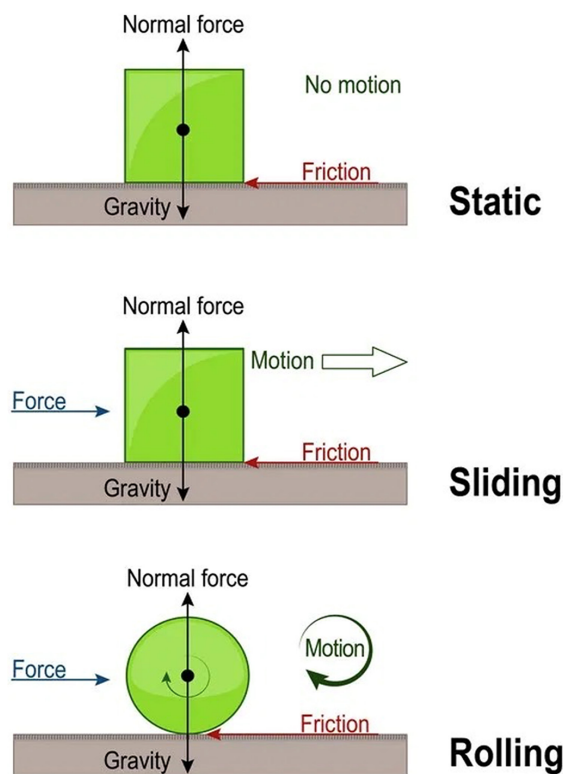
ความเสียดทานของผิวทาง (pavement friction) คือ แรงที่ต้านการเคลื่อนไหวยาระหว่างยางของรถยนต์กับผิวถนน แรงต้านนี้จะเกิดขึ้นเมื่อยางรถยนต์หมุนหรือไถลไปตามพื้นผิวของถนน ดังแสดงในภาพ 4 ซึ่งแรงต้านนี้จะหาได้จากสมการที่ 1 โดยแรงเสียดทานของผิวถนนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ ความเสียดทานตามยาว (longitudinal friction) และความเสียดทานด้านข้าง (side force friction)

$$\mu = F/FW \quad (1)$$

โดยที่ μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

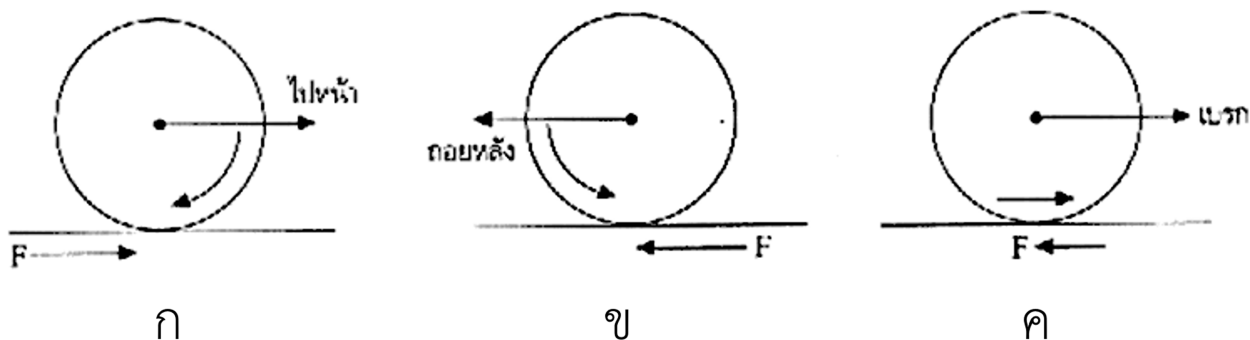
F = แรงเสียดทานในแนวตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ (หน่วย นิวตัน)

FW = แรงกดที่เกิดจากน้ำหนักรถยนต์ที่กระทำต่อล้อในแนวตั้ง (หน่วย นิวตัน)



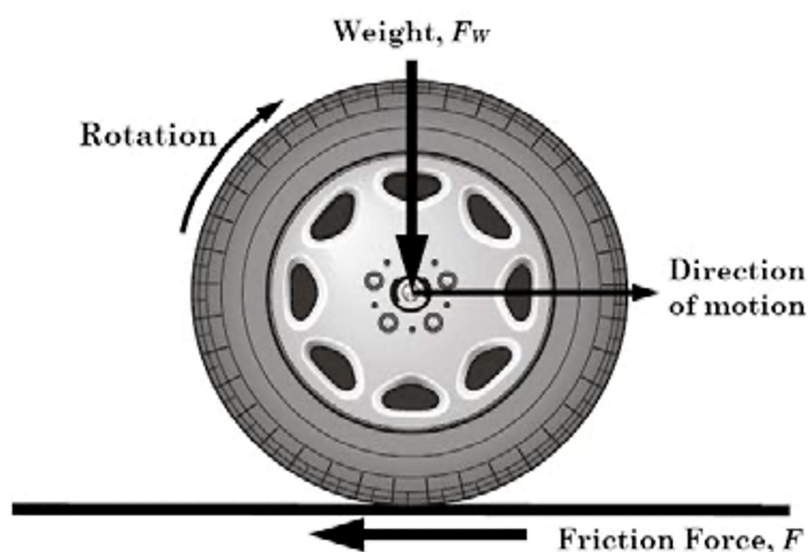
ภาพ 2 รูปแรงเสียดทานประเภทต่าง ๆ

Note. From Type of Friction by Friction, 2018, retrieved from <https://ngthai.com/science/27846/friction/>



ภาพ 3 ทิศทางของแรงเสียดทาน

Note. From *Type of Friction* by Friction, 2018, retrieved from <https://ngthai.com/science/27846/friction/>



ภาพ 4 แรงที่กระทำต่อล้อรถยนต์ขณะมีการเคลื่อนที่

Note. From *Pavement Friction* by Pavement Friction, 2015, Retrieved from <https://sites.google.com/site/patcharayutchanhom/khwam-seiyd-than-khxng-phiw-thang-pavement-friction>

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการออกแบบฐานของชุดทดสอบและขั้นตอนการสร้างฐานของชุดทดสอบ

1.1 ขั้นตอนการออกแบบฐานของชุดทดสอบ

เริ่มจากการเขียนแบบด้วยโปรแกรม Shapr 3D และโปรแกรม Fusion 360 ดังแสดงในภาพ 5 และได้จำลองภาพ AR เพื่อดูขนาดและมิติของโครงสร้างบนสถานที่จัดตั้งจริง เพื่อให้เหมาะสมกับสถานที่จัดตั้งและขนาดของตัวรถที่ทำการทดสอบขับเคลื่อนและเก็บผลการทดลอง ดังแสดงในภาพ 6

1.2 ขั้นตอนการสร้างฐานของชุดทดสอบ

การศึกษาออกแบบและสร้างต้นแบบชุดฝึกซ้อมการขับเคลื่อนสำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิง เป็นการสร้างต้นแบบชุดฝึกซ้อมการขับเคลื่อนสำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิงและทำการทดสอบการขับเคลื่อนเพื่อเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ทดสอบบนเครื่องทดสอบกับการขับเคลื่อนบนสนามจริง โดยทั่วไปเมื่อเวลาที่มีการปรับแต่งชิ้นส่วนต่าง ๆ ของรถประหยัดเชื้อเพลิง ทั้งระบบส่งกำลัง ระบบอัตราทดเกียร์และอื่น ๆ ทางผู้วิจัยต้องทำการทดสอบการขับเคลื่อนบนถนนเพื่อเก็บผลอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง รวมถึงค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการ

ข้อนี้ แต่ยังมีปัจจัยหลายด้านที่ไม่สามารถควบคุมให้การเก็บผลทดสอบมีความเสถียรได้ ดังนั้นงานวิจัยการออกแบบและสร้างต้นแบบชุดฝึกซ้อมจะช่วยทำให้การทดสอบการข้อนี้มีผลการทดสอบที่แม่นยำมากขึ้น โดยสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ชุดขับเคลื่อน

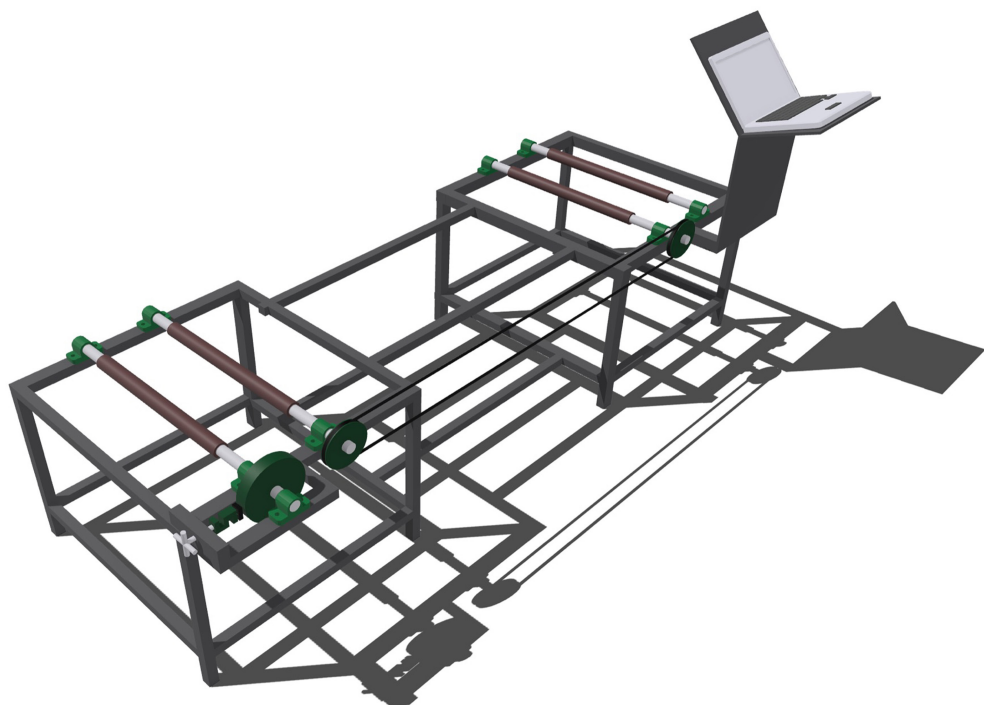
ทำการออกแบบและสร้างชุดขับเคลื่อน ติดตั้งลูกปืนตึกตาขนาด 2 นิ้ว จำนวน 8 ตัว บนชุดฐานทั้งส่วนของล้อหน้าและล้อหลัง และติดตั้งร่วมกับแกนเพลาดันขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 ท่อน ยาวท่อนละ 90 เซนติเมตร ซึ่งแกนเพลาลูกตึงดังกล่าว สามารถรองรับน้ำหนักของตัวรถและผู้ข้อได้แข็งแรงเพียงพอ และระหว่างเพลาล้อหน้าและเพลาล้อหลังส่งกำลังด้วยพูลเลย์ขนาด 3 นิ้ว เพื่อให้ขณะวิ่งทดสอบล้อหน้าจะหมุนตามไปด้วย เพื่อคำนึงถึงแรงเสียดทานของล้อหน้าขณะข้อ ดังแสดงในภาพ 7

2. ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดสร้างแรงกดเขียนแบบชุดสร้างแรงด้านการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม Shapr 3D และโปรแกรม Fusion 360 และจัดสร้างชุดสร้างแรงด้านการเคลื่อนที่และตำแหน่งจุดวัดเซนเซอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในภาพ 8

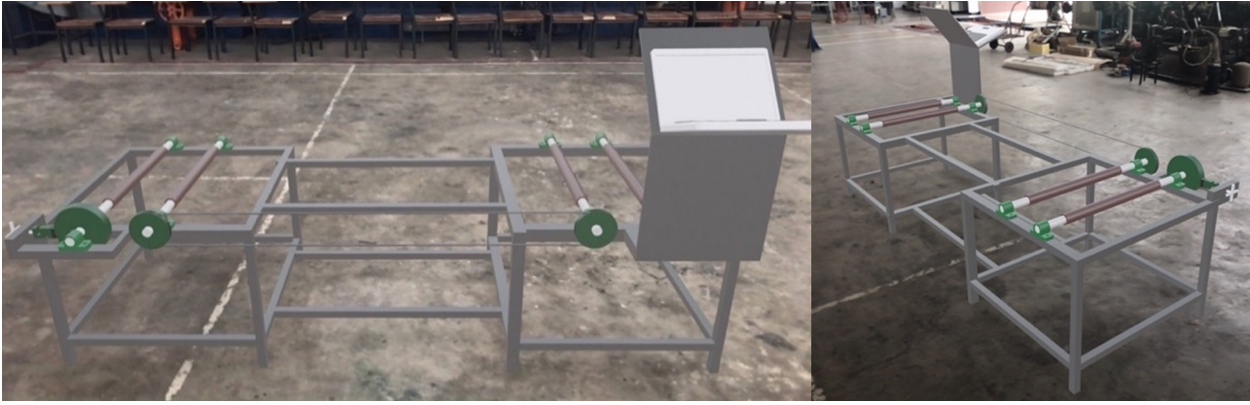
3. ขั้นตอนการประกอบชุดเก็บผลการทดลองเขียนคำสั่งโปรแกรม Arduino

3.1 เซนเซอร์โหลดเซลล์

ใช้บอร์ด Arduino Uno กับชุดโหลดเซลล์และตัวขยาย HX711 โดยใช้คำสั่ง Module Weight Sensors ของทางบอร์ด Arduino เพื่อทำการเก็บผลการทดลอง โดยสามารถเพิ่ม-ลด ค่าแรงกดที่ชุดสร้างแรงด้านได้ การต่อวงจรกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในภาพ 9



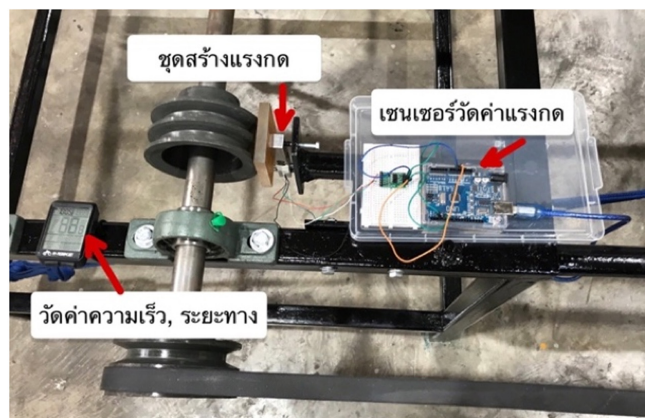
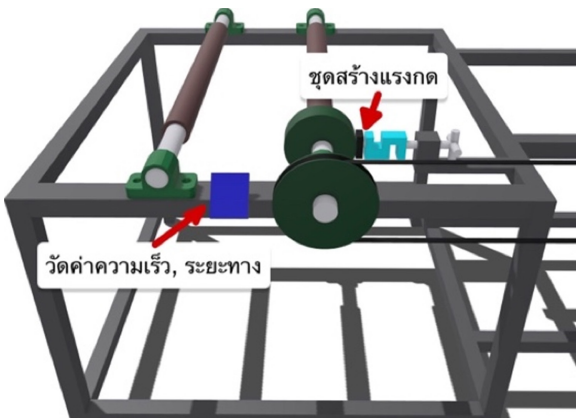
ภาพ 5 ภาพการเขียนแบบด้วยโปรแกรม Shapr 3D และโปรแกรม Fusion 360



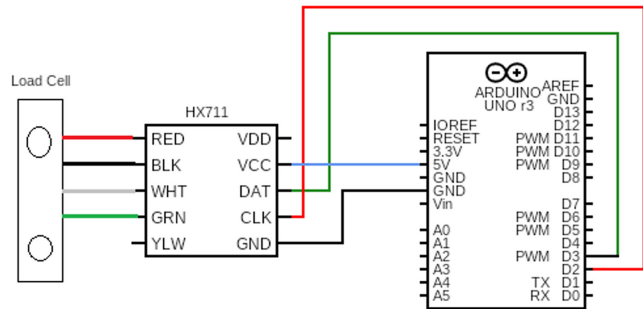
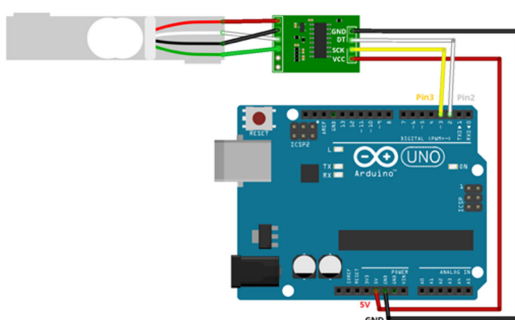
ภาพ 6 ภาพ AR ที่ได้จากการสร้างรูป 3 มิติของชุดทดสอบและชุดเก็บผลการทดลอง



ภาพ 7 ภาพชุดขับเคลื่อนระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง



ภาพ 8 ภาพชุดสร้างแรงกด



ภาพ 9 การต่อวงจรเซนเซอร์โหลดเซลล์

Note. From Load Cell and HX711 by Amplifier Module Weight Sensors, 2018, retrieved from <https://blog.thaieasyelec.com/how-to-use-load-cell-and-hx711-amplifier-module/>

4. ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง

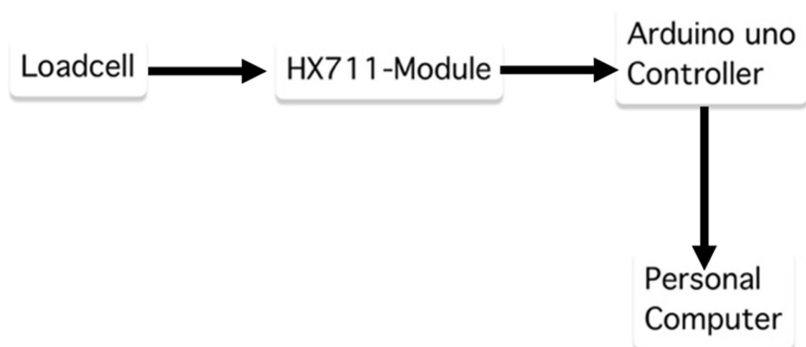
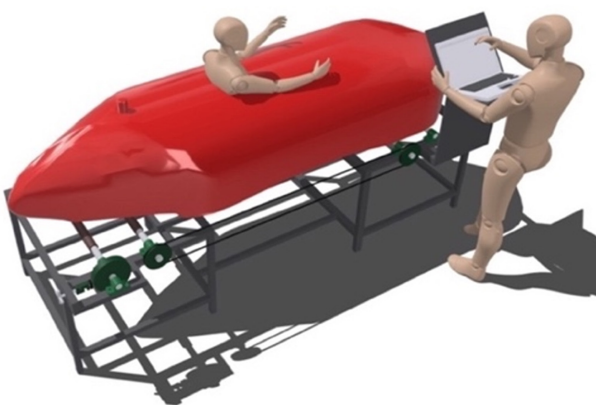
4.1 ประกอบส่วนโครงสร้าง ชุดระบบเซนเซอร์ และอุปกรณ์วัดผลต่าง ๆ

นำส่วนโครงสร้าง ชุดระบบเซนเซอร์และอุปกรณ์วัดผลต่าง ๆ ประกอบเข้าด้วยกัน และแผนภูมิไดอะแกรมแสดงโหลดเซลล์วัดค่าแรงกดคู่กับวงจร Arduino ดังภาพ 10 และทำการเตรียมระบบต่าง ๆ ทั้งระบบตรวจวัดเก็บผลการทดลองและระบบเชื้อเพลิง โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเบนซิน E-20 ระบบความดันลมที่ระบบถังน้ำมัน 3 บาร์ เป็นต้น และติดตั้งเซนเซอร์ ECU เพื่ออ่านค่าต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ขณะทำงาน เช่น วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและน้ำมัน องศาการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ เป็นต้น ดังแสดงในภาพ 11

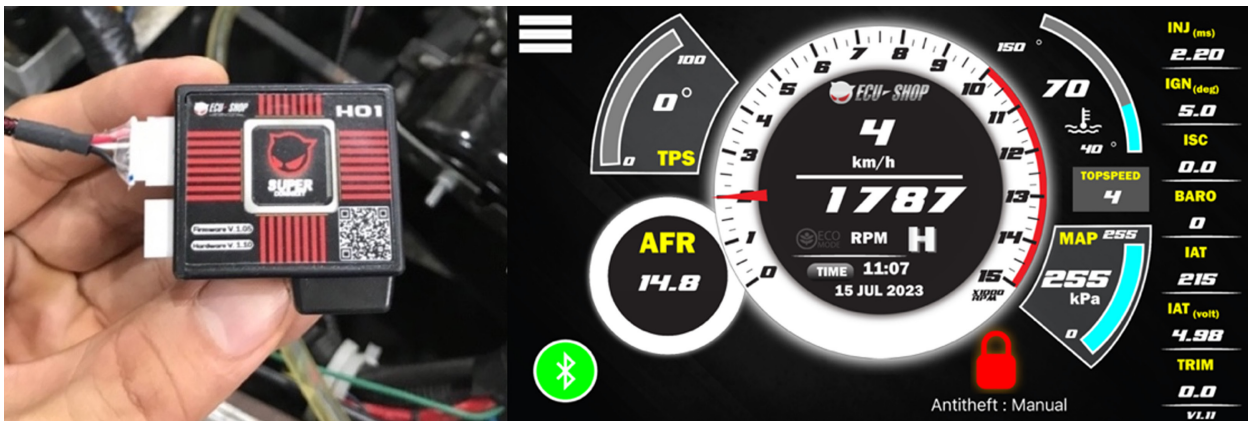
4.2 กำหนดเงื่อนไขการทดสอบ

การทดสอบการขับซิ่งรถประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้เครื่องยนต์ฮอนด้ารุ่นเวฟ 110 ไอ โดยการทดสอบจะขับซิ่งตามกติกาการแข่งขันที่ความเร็วเฉลี่ย 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

โดยแบ่งการเก็บผลการทดสอบเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 ขับซิ่งรถประหยัดที่ระยะทาง 5 กิโลเมตร จำนวน 3 รอบ และปรับเพิ่ม-ลดแรงกดที่ชุดสร้างแรงดันที่ 0 5 10 15 และ 20 นิวตัน เพื่อทำการหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ขั้นตอนที่ 2 ขับซิ่งรถประหยัดที่ระยะทาง 5 กิโลเมตร จำนวน 3 รอบ โดยขับซิ่งที่ความสูงที่สุดดังนี้ 50 55 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อหาความเร็วสูงสุดในการขับซิ่งที่ใช้อัตราการใช้น้ำมันน้อยที่สุด ขั้นตอนที่ 3 ขับซิ่งที่ระยะทาง 18 กิโลเมตร ตามระยะทางแข่งขันจริง เพื่อคาดคะเนระยะทางสูงสุดที่สามารถขับซิ่งได้ที้น้ำมันเชื้อเพลิง 1 ลิตร โดยในแต่ละหัวข้อที่กล่าวมาทำการทดสอบในสถานที่ปิด มีการควบคุมปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ให้มีค่าคงที่มากที่สุด เพื่อลดความเบี่ยงเบนของผลการทดลองมีตัวแปรที่ควบคุม อาทิ อุณหภูมิของเครื่องยนต์ตอนเริ่มทดสอบ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในการทดสอบเลือกช่วงเวลาในแต่ละวันที่ใกล้เคียงกัน วิธีการถอดหลอดแก๊วน้ำมันมาซึ่ง ลักษณะการบิดคันเร่ง แรงดันลมที่ใช้ในหลอดน้ำมัน เป็นต้น ตัวแปรตามที่ได้จากการทดสอบ คือ ปริมาณน้ำหนักน้ำมันเชื้อเพลิงที่ซังก่อน-หลังการทดสอบ ซึ่งด้วยตราซังดิจิตอลค่าความคลาดเคลื่อน 0.01 กรัม ดังภาพ 12



ภาพ 10 ภาพตอนเก็บผลทดสอบและแผนภูมิไดอะแกรมแสดงโหลดเซลล์วัดค่าแรงกดคู่กับวงจร Arduino



ภาพ 11 เซนเซอร์ ECU เพื่ออ่านค่าต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ขณะทำงาน



ภาพ 12 การชั่งน้ำหนักน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนและหลังการทดสอบ

ผลการวิจัย

1. ทดสอบขับซีเพื่อเปรียบเทียบค่าแรงกดที่ชุดสร้างแรงดัน

ทดสอบขับซีรถประหยัดตามกฎการแข่งขัน และปรับเพิ่ม-ลดแรงกดที่ชุดสร้างแรงดันที่ 0 5 10 15 และ 20 นิวตัน จำนวน 3 ครั้ง เพื่อทำการหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย โดยขับซีที่ความเร็วสูงสุด 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากนั้นดับเครื่องยนต์เพื่อให้รถไหลด้วยแรงเฉื่อยจนหมดความเร็วที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จึงสตาร์ทเครื่องยนต์แล้วทำการเร่งจนความเร็วจนถึงจุดที่กำหนดอีกครั้ง ทำสลับกันตลอดระยะทาง 5 กิโลเมตร โดยให้มีความเร็วเฉลี่ย 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ผลค่าอัตราสิ้นเปลืองเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละสภาวะ ดังนี้

- สภาวะแรงกด 0 นิวตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยไป 5.65 กรัม อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 336.76 กิโลเมตรต่อลิตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.98

- ที่สภาวะแรงกด 10 นิวตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไป 8.07 กรัม อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 235.64 กิโลเมตรต่อลิตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.35

- ที่สภาวะแรงกด 15 นิวตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไป 12.06 กรัม อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 157.96 กิโลเมตรต่อลิตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.55

- ที่สภาวะแรงกด 20 นิวตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไป 45.56 กรัม อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 42.97 กิโลเมตรต่อลิตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.21

- ที่สภาวะแรงกด 25 นิวตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไป 59.36 กรัม อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 33.17 กิโลเมตรต่อลิตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.75 ผลการทดสอบแสดงดังภาพ 13

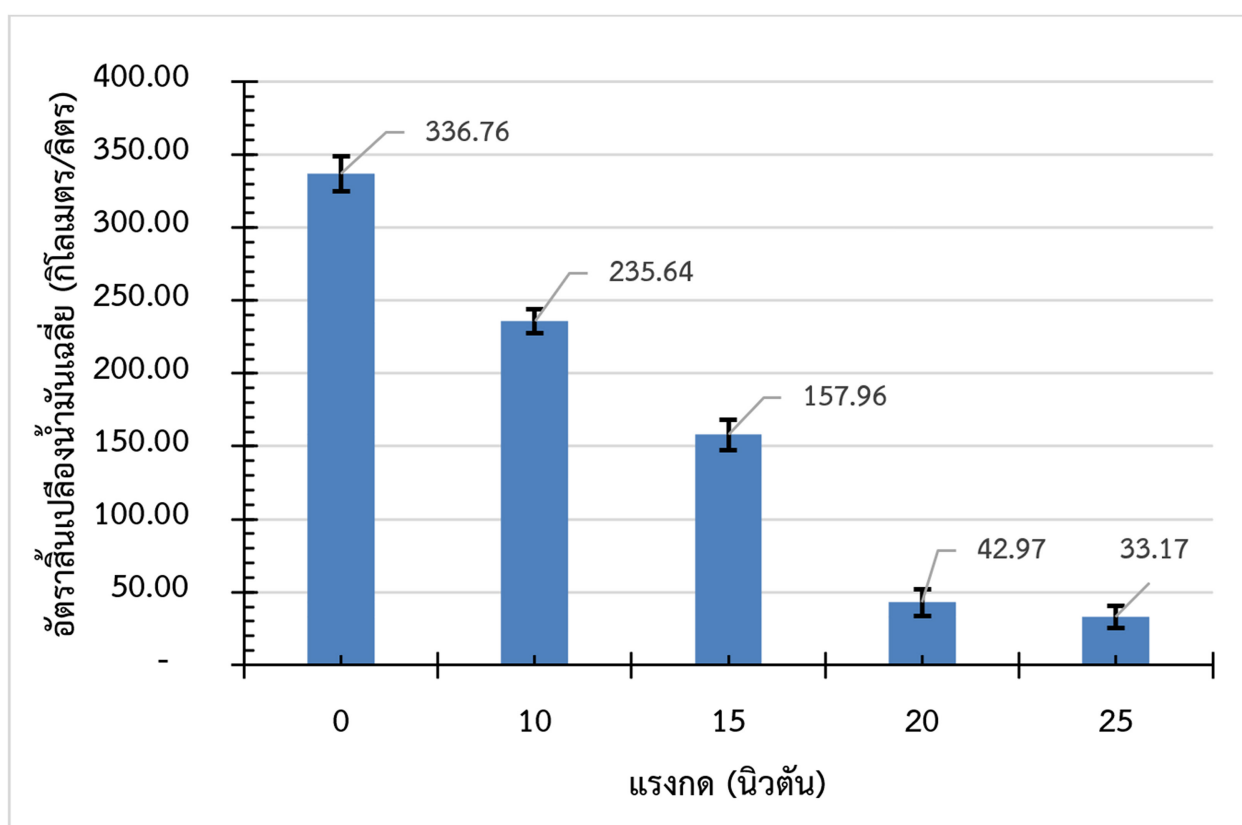
2. ทดสอบการขับขึ้นเพื่อหาความเร็วสูงสุดที่เหมาะสม

ทำการขับขึ้นรถประหยัดที่ความเร็วสูงสุด ดังนี้ 50 55 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่แรงกดที่ชุดสร้างแรงดัน 6.84 นิวตัน โดยขับขึ้นที่ความเร็วสุดตามที่กำหนด จากนั้นดับเครื่องยนต์เพื่อให้รถไหลด้วยแรงเฉื่อย และสตาร์ทเครื่องยนต์แล้วทำการเร่งจนความเร็วถึงจุดที่กำหนดอีกครั้ง ทำสลับกันจนถึงระยะทาง 5 กิโลเมตร โดยให้มีความเร็วเฉลี่ย 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยเมื่อถึงระยะทางที่กิโลเมตรที่ 1 2 3 4 และ 5 ได้ทำการหยุดการทดสอบและชั่งน้ำหนัก

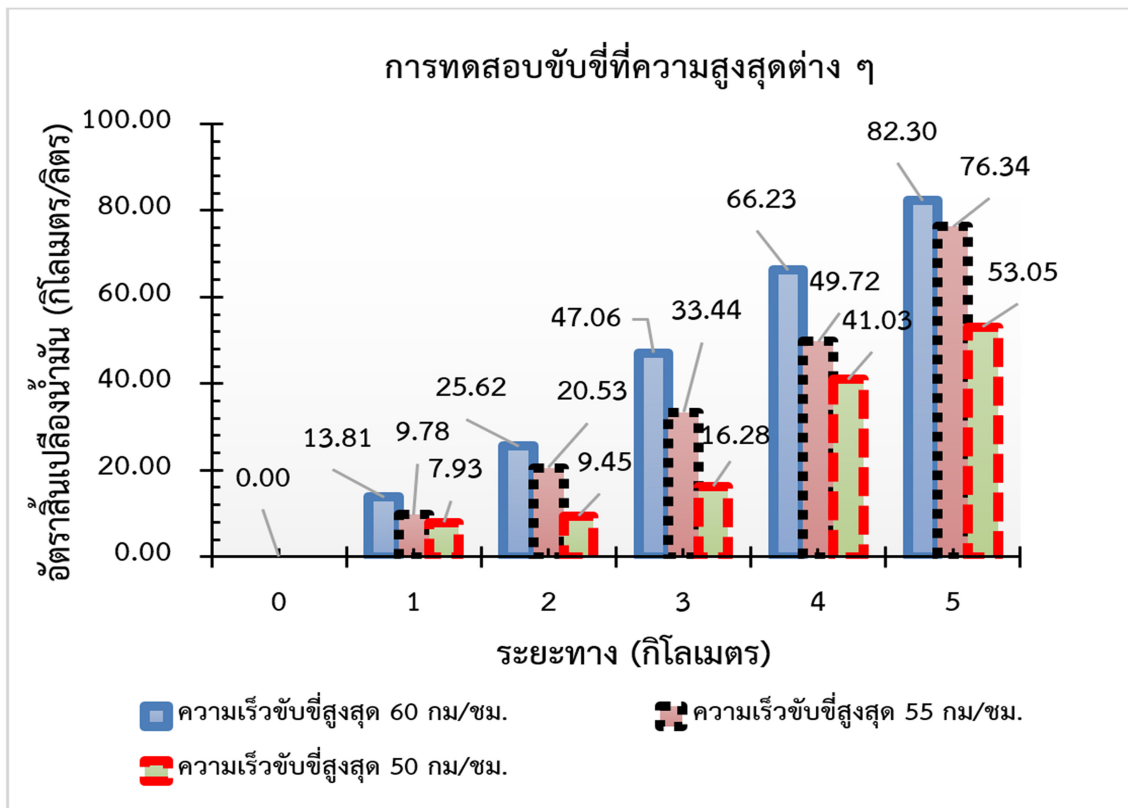
ของเชื้อเพลิงตามระยะทางดังกล่าว เพื่อทำการเปรียบเทียบหาความเร็วสูงสุดในการขับขึ้นที่ทำให้การขับขึ้นประหยัดน้ำมันมากที่สุด ได้ผลการทดสอบ ดังแสดงในภาพ 14

3. ขับขึ้นที่ระยะทาง 18 กิโลเมตร ตามกฎกติกาการแข่งขัน เพื่อคาดคะเนระยะทางสูงสุดที่สามารถขับขึ้นได้ที่น้ำมันเชื้อเพลิง 1 ลิตร

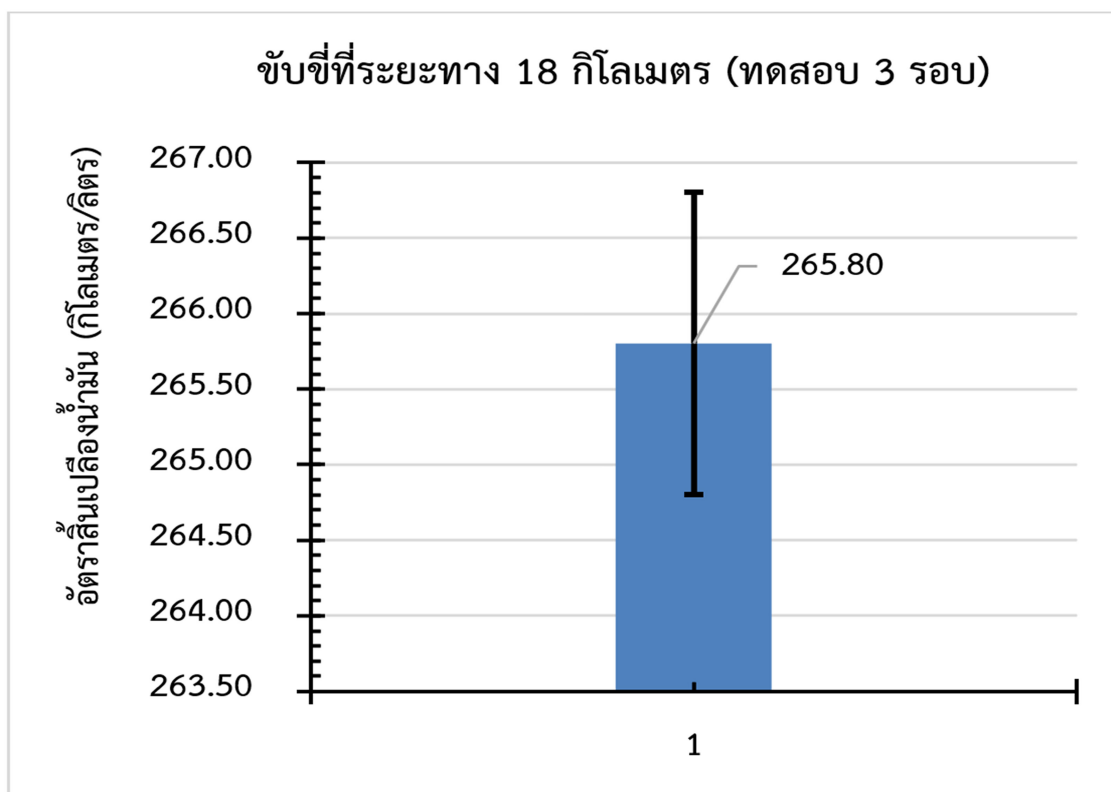
จากการทดสอบเพื่อหาค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการขับขึ้นให้มีอัตราสิ้นเปลืองน้อยที่สุดในขั้นต้น จากนั้นทดสอบการขับขึ้นที่ระยะทาง 18 กิโลเมตรตามกติกาการแข่งขัน จำนวน 3 รอบ พร้อมเก็บข้อมูลเพื่อดูแนวโน้มอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และได้เทคนิคการขับขึ้นการเร่งเป็นเวลาดสั้น ๆ จาก (Kaewpra & Tantisuphachai, 2020) ดังแสดงในภาพ 15



ภาพ 13 ผลการทดสอบขับขึ้นเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง และแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพ 14 ผลการแข่งขันรถฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิงครั้งที่ 25/2565



ภาพ 15 ผลอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงการทดสอบขับขี่ที่ระยะทาง 18 กิโลเมตร (ทดสอบ 3 รอบ)

การอภิปรายผล

จากข้อมูลผลการทดสอบขับขึ้นเพื่อหาค่าแรงกดที่ชุดสร้างแรงต้านในส่วนที่ 1 มาเปรียบเทียบกับผลการแข่งขันรถฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิงครั้งที่ 25/2565 เมื่อวันที่ 11-12 มกราคม 2566 ที่มีผลการแข่งขันมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ 256.75 กิโลเมตรต่อลิตร พบว่าค่าแรงกดที่สร้างแรงต้านที่ใกล้เคียงกับผลการแข่งขันครั้งก่อนคือที่ค่าแรงกดเท่ากับ 6.84 นิวตัน จากนั้นนำผลที่ได้มาเก็บผลต่อในส่วนที่ 2 ในเรื่องของความเร็วสูงสุดที่เหมาะสมที่สุดในการขับขึ้น จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็วในการขับขึ้นสูงสุด 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในทุก ๆ ช่วงระยะทาง มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วสูงสุดค่าอื่น ๆ และที่ความเร็วสูงสุด 55 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรองลงมาตามลำดับ เนื่องจากการเปิด-ปิด สวิตช์และสตาร์ทรถ ระบบการทำงานของกล่องควบคุมจะมีการฉีดน้ำมันก่อน 1 ครั้ง เพราะฉะนั้นการขับขึ้นที่ความเร็วสูงสุดที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในระยะทางที่กำหนด จึงช่วยลดจำนวนการสตาร์ทลงได้ แต่การขับขึ้นยังมีค่าความเร็วเฉลี่ยตามที่กติกากำหนด จึงสามารถทำให้การขับขึ้นที่สภาวะทดสอบมีค่าประหยัดเชื้อเพลิงมากที่สุด จากนั้นในส่วนที่ 3 ทดสอบการขับขึ้นด้วยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในขั้นต้นที่ระยะทาง 18 กิโลเมตร ตามกติกาการแข่งขัน จำนวน 3 รอบ พร้อมเก็บข้อมูลเพื่อดูแนวโน้มอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย ซึ่งผลการทดสอบได้ค่าอัตราสิ้นเปลืองเฉลี่ยเท่ากับ 268.80 กิโลเมตรต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.21

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการหาแรงต้านแรงกดของเครื่องทดสอบการขับขึ้นพบว่า แรงต้านที่คำนวณได้นั้นเป็นเพียงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในเงื่อนไขสภาวะที่กำหนด ในการแข่งขันจริงที่สนามอาจมีปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องอีกหลายปัจจัย อาทิเช่น เรื่องของโมเมนต์ความเฉื่อยของรถในการเคลื่อนที่ อุณหภูมิของอากาศ ทิศทางลม เป็นต้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่คำนวณได้นั้นสามารถใช้บอกเป็นแนวทางในการทดสอบการขับขึ้นที่ได้มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด

อาทิ ระบบส่งกำลัง ระบบเบรก ระบบหล่อลื่นของชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลให้ทราบถึงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสำหรับการแข่งขันต่อไป ทางผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในงานวิจัยที่ต้องแก้ไข เช่น ความละเอียดของเครื่องมือวัดเก็บผล ปัจจัยแวดล้อมโดยรอบในการเก็บผลทดสอบ เป็นต้น ซึ่งจะเป็นข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยการเก็บผลการทดสอบในครั้งถัด ๆ ไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากหลาย ๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา คือ รศ.ดร.ชวิน จันทระเสนวงศ์ ในการแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการและเจ้าหน้าที่กองทุนวิจัยและพัฒนาของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่กรุณาช่วยพิจารณาถ้อยแถลงโครงการวิจัยและช่วยประสานงานต่าง ๆ ให้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณกองทุนวิจัยและพัฒนา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย ประจำปี 2566 และขอขอบพระคุณ พันเอก อรรถพล จินดาทรัพย์ ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่ให้การสนับสนุนทั้งสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับการทดลอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่กองวิชาทุกนายที่ให้การช่วยเหลือในการทำงานจนทำให้งานวิจัยประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่สละเวลาในการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัยเรื่อง ออกแบบและสร้างต้นแบบชุดฝึกซ้อมการขับขึ้นสำหรับรถประหยัดเชื้อเพลิง ตรวจสอบความถูกต้องของภาษา และพิจารณาความเชิงตรงเนื้อหาของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับการช่วยเหลืออีกจำนวนมาก ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณ และขอบคุณไว้โอกาสนี้



References

- Anansaowaphak, B. (2020). *Eco Mileage Challenge Vehicle 2020*. Nakhon Nayok: Mechanical Engineering Division, Education Division, Chulachomklao Royal Military Academy. (in Thai)
- Friction. (2018). *Type of friction*. Retrieved from <https://ngthai.com/science/27846/friction/> (in Thai)
- Honda Eco Mileage Challenge. (2023). *Competition rules*. Retrieved from <https://www.thaihonda.co.th/econo-test/FileUploadMain/ImagesUpload/> (in Thai)
- IR Sensor. (2022). *Digital tachometer using IR sensor with arduino for measuring RPM*. Retrieved from <https://how2electronics.com/digital-tachometer-ir-sensor-arduino/> (in Thai)
- Kaewpra, P., & Tantisuphachai, K. (2020). The body building a semi-automatic fuel-economical artificial car ‘Autokan 1’. *Vocational Education Central Region Journal*, 4(1), 53–59. (in Thai)
- Nimrotham, C., & Koolnapadol, N. (2017). Appropriate Fuel Injection Rate of Econo Car for Competition. *The Journal of Industrial Technology Thepsatri Rajabhat University*, 12(1), 13-23. (in Thai)
- Pavement Friction. (2015). *Pavement friction*. Retrieved from <https://sites.google.com/site/patcharayutchanhom/khwam-seiyd-than-khxng-phiw-thang-pavement-friction>
- Thanomputra, S. (2006). *The development of an economy vehicle for the future: Nontree-Esan*. Bangkok: Faculty of Science and Engineering Kasetsart University. (in Thai)
- Tinphabath, P. (2006). *Eco power car*. Nakhon Nayok: Mechanical Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Phranakhon. (in Thai)
- Types of Bicycle Trainers. (2020). *Different types of bicycle trainers*. Retrieved from <https://alta24.com/th/5-types-of-bike-trainers/>
- Weight Sensors. (2018). *Load cell and HX711 amplifier module*. Retrieved from <https://blog.thaieasyelec.com/how-to-use-load-cell-and-hx711-amplifier-module/>



การพัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร

The Development of Knowledge Transfer Application of Ancient Boxing Dance in Sakon Nakhon Province

สิทธิพร วงศ์บาตร¹ สุรสิทธิ อัยยัฒมาวงศ์¹ และนิภาพร ชนมะมาร์^{1*}

Sittipron Wongbat¹, Surasit Uypatchawong¹ and Nipaporn Chanamarn^{1*}

¹หลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

¹Program of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

*Corresponding author: nipaporn@snru.ac.th

Received: November 28, 2023

Revised: January 18, 2024

Accepted: January 24, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร (2) ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร และ (3) ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร พัฒนาตามกระบวนการวงจรการพัฒนา (SDLC) โดยใช้โปรแกรม Android Studio Visual Studio Code และภาษา Dart เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน และแบบประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 คน โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย สถิติที่ใช้คือ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร ที่พัฒนาขึ้นมีทั้งหมด 23 ท่ารำ สามารถทำงานได้ 2 ส่วน คือ (1) ผู้ใช้งานเรียนรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร โดยการเลือกในเนื้อหา ซึ่งสามารถใช้เป็นสื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนครได้จริง และผู้สนใจทั่วไปที่สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา และ (2) ผู้ดูแลระบบจัดการข้อมูลท่ารำมวยโบราณได้ พิจารณาจากผลการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.43$ $SD=.60$) และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X}=4.37$ $SD=.74$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แอปพลิเคชันนี้สามารถใช้เป็นสื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนครได้จริง อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นสื่อในการส่งเสริมด้านสุขภาพ ด้านศิลปวัฒนธรรม และการท่องเที่ยว ในจังหวัดสกลนครได้

คำสำคัญ: แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ แอนดรอยด์ ท่ารำมวยโบราณ การถ่ายทอดความรู้

Abstract

This research aims to develop applications for Android operating systems. The objectives are as follows: (1) to develop a knowledge transfer application for ancient boxing dance in Sakon Nakhon Province; (2) to evaluate the effectiveness of the knowledge transfer application for ancient boxing dance in Sakon Nakhon Province; and (3) to assess satisfaction with the use of the knowledge transfer application for ancient boxing dance in Sakon Nakhon Province. The development process followed the Software Development Life Cycle--SDLC using Android Studio, Visual Studio Code, and Dart. Performance assessments were conducted by five experts, and satisfaction assessments were gathered from a sample of 100 people using a simple randomization method. The statistical measures used were the mean and standard deviation. The results of this research indicate that the application for knowledge transfer of ancient boxing dances in Sakon Nakhon Province, which includes a total of 23 dances, can function in two ways: (1) users can learn the ancient boxing dance in Sakon Nakhon Province by selecting content that serves as a medium for conveying knowledge of ancient boxing dances, allowing interested individuals to learn at any time, and (2) administrators can manage information about ancient boxing dances. Based on the overall performance assessment results, the application scored at a high level ($\bar{X}=4.43$ $SD=.60$), and user satisfaction was also high ($\bar{X}=4.37$ $SD=.74$). Therefore, the application can serve as a medium to promote health, arts, culture, and tourism in Sakon Nakhon Province.

Keywords: mobile application, android, ancient boxing dance, knowledge transfer



บทนำ

ความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือมีอิทธิพลการใช้ชีวิตประจำวันและนำไปสู่การเกิดขึ้นของการเรียนรู้ผ่านโทรศัพท์มือถือที่กำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน (Sarrab et al., 2018) ซึ่งจากจากรายงานของ Statista ระบุว่า จำนวนผู้ใช้สมาร์ทโฟนทั่วโลก ล่าสุดมีประมาณ 3.5 พันล้านคน คิดเป็นประมาณ 45.15% ของประชากรโลก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของสมาร์ทโฟนที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตจนอาจกล่าวได้ว่า สมาร์ทโฟนเป็นเสมือนปัจจัยพื้นฐานในชีวิตลำดับที่ 5 ซึ่งหมายความว่าเราคงมีชีวิตอยู่ไม่ได้ถ้าขาดสมาร์ทโฟน เพราะสมาร์ทโฟนในปัจจุบันมีอิทธิพลอย่างมากต่อมนุษย์และส่งผลกระทบให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในสังคมปัจจุบัน ดังนั้นจะไม่ได้พูดถึงแอปพลิเคชันไม่ได้เพราะเป็นตัวช่วยในการตอบสนองความต้องการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ สมาร์ทโฟน

จะไม่มีประสิทธิภาพได้อย่างสมบูรณ์เลยถ้าไม่มีแอปพลิเคชันต่าง ๆ มาช่วยเสริมให้การทำงานของตัวสมาร์ตโฟนนั้นตอบโจทย์กลุ่มผู้ใช้งานขึ้น (Plookpanya, 2021) มีงานหลากหลายศาสตร์ที่นำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน เช่น งานวิจัยของ Adnas and Aprilianto (2022) ได้ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสำหรับ E-Paritta โดยใช้เฟรมเวิร์ก Flutter และกระบวนการวงจรการพัฒนา (SDLC) โดยเปลี่ยนจากหนังสือมาอยู่ในรูปแบบแอปพลิเคชันเพื่อให้ประชาชนชาวพุทธศาสนาสามารถเข้าถึง Paritta ได้ง่าย ในงานวิจัย Boonchom et al. (2020) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สำหรับการเผยแพร่มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของภาคใต้ตอนล่าง ด้วยการประยุกต์ใช้กระบวนการ SDLC ใช้เครื่องมือ Ionic Framework การจัดการฐานข้อมูล MySQLi โดยใช้ JSON ใช้โปรแกรม

XAMPP จำลองเว็บเซิร์ฟเวอร์ ส่วนงานวิจัย Manalu et al. (2023) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันมือถือเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวเชิงท้องถิ่นในเมืองนูซันตาราประเทศอินโดนีเซีย ส่วนงานวิจัยทางด้านการแพทย์และสาธารณสุข Lima et al. (2022) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสำหรับการคำนวณการให้ยาแวนโคมัยซิน ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันแรก ที่พัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณสูตรการให้ยาแวนโคมัยซินสำหรับผู้ใหญ่และผู้ป่วยเด็กที่ติดเชื้อ MRSA รุนแรง และงานวิจัยของ Alvarez-Moya et al. (2021) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสำหรับคนอ้วน เพื่อส่งเสริมนิสัยที่ดีต่อการดูแลสุขภาพ

กระแสสุขภาพกำลังเป็นที่ตอบรับจากคนทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยทั้งในกลุ่มของคนรุ่นใหม่ รวมถึงกลุ่มผู้สูงอายุ และยิ่งการระบาดของโควิด-19 ก่อให้เกิดกระแส การตื่นตัวของการระวังป้องกัน รวมถึงการสร้างเสริมสุขภาพให้แข็งแรง โดยเฉพาะท่าทางการเคลื่อนไหวแบบนาฏกรรมไทย มาใช้ในการออกกำลังกาย (Kasikorn Research Center, 2020) เช่นเดียวกับจังหวัดสกลนคร มีท่ารำมวยโบราณ จังหวัดสกลนคร เป็นศิลปะการแสดงพื้นบ้านที่พัฒนาจาก ศิลปะการป้องกันตัวสู่การเป็นศิลปะการแสดงที่มีชื่อเสียง และเป็นที่ยอมรับของชาวจังหวัดสกลนครมักมีการนำมาแสดง ในเทศกาลสำคัญต่าง ๆ ของจังหวัด โดยเฉพาะประเพณี เทศกาลออกพรรษาแห่ปราสาทผึ้ง และนำมาแสดงต้อนรับ แขกบ้านแขกเมืองและนักท่องเที่ยวในโอกาสสำคัญต่าง ๆ เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดอีกด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่า การแสดงรำมวยโบราณสกลนครเป็นเอกลักษณ์ที่โดดเด่นของจังหวัดสกลนครอย่างหนึ่ง (Banlue, 2020) จาก การศึกษาข้อมูลผู้วิจัยได้มองเห็นว่าการถ่ายทอดความรู้ เรื่องท่ารำมวยโบราณยังอยู่ในรูปแบบการแสดงให้นักท่องเที่ยวทั่วไปได้ชื่นชมในช่วงเทศกาล หรือมีกลุ่มเยาวชนรวมตัวกันเป็นกลุ่มนาคเล่นน้ำเพื่อเรียนรู้และสืบทอดท่ารำมวยโบราณ (Uchatam, personal communication, 2023) โดยมีการรวมกลุ่มกันในเรียนรู้ฝึกซ้อม และทำการแสดงรำมวยโบราณในงานต่าง ๆ อีกทั้งมีเผยแพร่ความรู้ในรูปแบบ หนังสือ เอกสาร การบอกเล่า และในบางเว็บไซต์เท่านั้น ยังไม่มีการเผยแพร่หรือถ่ายทอดในรูปแบบของแอปพลิเคชัน ที่สามารถติดตั้งใช้งานผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ที่จะทำให้การถ่ายทอดข้อมูลหรือเผยแพร่ข้อมูลได้เข้าถึง ทุกกลุ่มวัยและศึกษาเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่า แอปพลิเคชันกำลังเป็น เทคโนโลยีดิจิทัลที่ได้รับความนิยม สามารถประยุกต์ใช้กับ งานได้หลายศาสตร์ ซึ่งในยุคสมัยของเทคโนโลยีที่เข้ามา มีบทบาทในชีวิตมากขึ้น ได้มีเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ทันกับยุค สมัยเข้ามาใช้ เป็นสื่อการเรียนรู้เพื่อให้เกิดความสนใจในการ เรียนรู้มีการโต้ตอบและมีส่วนร่วมมากขึ้น ทำให้คณะผู้วิจัย มีแนวคิดที่จะนำเอาองค์ความรู้ด้านการพัฒนาแอปพลิเคชัน บนโทรศัพท์มือถือ และศาสตร์ทางด้านคอมพิวเตอร์ มาใช้ ในการพัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวย โบราณจังหวัดสกลนคร ซึ่งรำมวยโบราณเป็นศิลปะอย่าง หนึ่งที่สำคัญต่อชาวจังหวัดสกลนคร เพื่อเป็นสื่อเผยแพร่ ความรู้เกี่ยวกับท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร ที่ใช้ได้ สะดวกโดยที่ไม่ต้องศึกษาจากหนังสือ สามารถใช้สมาร์ตโฟน ก็สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังเป็นการเรียนรู้รูปแบบ ใหม่ให้กับผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร ได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันการ ถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งาน แอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัด สกลนคร

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพัฒนาแอปพลิเคชัน การถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร มีดังนี้

1. การพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ คือ กระบวนการสร้างแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมที่สามารถ ทำงานบนแพลตฟอร์มอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือใด ๆ ทั้งแบบ Android หรือ iOS การพัฒนาแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) Native Application คือ แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้ภาษาและ Library ของ Platform นั้น ๆ เช่นระบบ ปฏิบัติการแอนดรอยด์พัฒนาด้วยภาษาจาวา (2) Web

Application คือ แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยการสร้างหน้าเว็บและมีการแสดงหน้าเว็บผ่านแอปพลิเคชันแทนการเข้าผ่านเว็บเบราว์เซอร์ และ (3) Hybrid Application คือ แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ Framework เป็นการพัฒนาแบบ Cross Platform ซึ่งจะใช้ภาษาใดภาษาหนึ่งเป็นตัวกลางในการพัฒนา จากนั้น Framework จะทำการแปลงภาษานั้น ๆ ให้เป็นแอปพลิเคชันและสามารถใช้งานได้ทุกแพลตฟอร์ม (Boonchom et al., 2020)

2. แนวคิดกระบวนการวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle–SDLC) มี 5 ขั้นตอน คือ (1) ขั้นตอนของการวางแผน (planning) เป็นการวิเคราะห์ปัญหาและการสืบค้นงานเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (2) ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลและการออกแบบ เป็นการศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานของระบบเดิมเพื่อทำความเข้าใจกับปัญหาที่เกิดขึ้น รวบรวมความต้องการในระบบใหม่จากผู้ใช้งานระบบแล้วนำความต้องการเหล่านั้นมาศึกษา และวิเคราะห์ออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว (3) ขั้นตอนการพัฒนาระบบ เป็นขั้นตอนของการสร้างระบบหรือแอปพลิเคชันตามที่ได้วิเคราะห์และออกแบบไว้ (4) ขั้นตอนการทดสอบระบบ เป็นขั้นตอนการทดสอบหาข้อผิดพลาดของระบบเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข และ (5) ขั้นตอนการบำรุงรักษาระบบ เป็นขั้นตอนที่นำระบบงานหรือแอปพลิเคชันไปใช้งานจริง (Kesorn, 2014; Wianrob et al., 2022)

3. การประเมินประสิทธิภาพแบบ Black Box Testing เป็นการทดสอบเชิงพฤติกรรมเพื่อประเมินว่าซอฟต์แวร์ทำงานได้ถูกต้องตามขอบเขตที่กำหนดไว้โดยที่ไม่ต้องรู้โครงสร้างภายในของซอฟต์แวร์ ไม่คำนึงถึงคำสั่งหรือโค้ด สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องมีความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างหรือโค้ดภายใน ซึ่งเป้าหมายของการทดสอบแบบ Black Box คือต้องวัดว่าระบบสามารถให้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการหรือไม่ เช่น ทดสอบแล้วได้ผลลัพธ์ตามความต้องการ ซอฟต์แวร์ทำงานได้ตามหน้าที่ ซอฟต์แวร์ง่ายต่อการใช้งาน ประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล การทดสอบการยอมรับของผู้ใช้ การออกแบบ หรือประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน (Aonzo et al., 2020; Boonchom et al., 2020)

4. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ศึกษาการ

งานวิจัยที่มีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือมาประยุกต์ใช้ในในศาสตร์ต่าง ๆ ดังนี้

Adnas and Aprilianto (2022) ได้ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสำหรับ E-Paritta โดยใช้เฟรมเวิร์ก Flutter และกระบวนการวงจรการพัฒนา (SDLC) โดยเปลี่ยนจากหนังสือ Paritta มาอยู่ในรูปแบบของแอปพลิเคชัน เพื่อให้ประชาชนชาวพุทธศาสนาสามารถเข้าถึง Paritta ได้ง่าย

Wianrob et al. (2022) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันจับคู่เพื่อนร่วมทางโดยใช้ไลเซนส์เบสเซอร์วิสผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่แบบพกพา เป็นการพัฒนาตามกระบวนการ SDLC และประยุกต์ใช้ LBS เป็นการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันในการจับคู่เพื่อนร่วมทางสามารถนำไปใช้กับงานการท่องเที่ยวได้ ใช้งานได้ง่าย ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

Trakulmaykee et al. (2023) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันที่ชื่อว่า “มาตะ ลุ่มน้ำ” เพื่อส่งเสริมโลจิสติกส์ท่องเที่ยวบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยใช้การวิเคราะห์และออกแบบด้วยหลักการ UML และประยุกต์ใช้ REST API เพื่อทำการส่งผ่านข้อมูลระหว่าง Client และ Server แอปพลิเคชันนี้จะทำงาน 2 รูปแบบ คือ ส่วนแสดงข้อมูลในรูปแบบแอปพลิเคชันและส่วนหลังบ้านใช้ในการบริหารจัดการข้อมูล ซึ่งสามารถทำงานรองรับขนาดของหน้าจอที่แตกต่างกันไป ซึ่งผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

Kumkrua and Chokchaisiri (2019) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สนับสนุนงานท้องถิ่นของเทศบาลเมืองกาญจนบุรี พัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา PHP และ JavaScript ใช้ MySQL บริหารจัดการฐานข้อมูล แอปพลิเคชันรองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เป็นแอปพลิเคชันที่สามารถรองรับข้อมูลข่าวสาร การประชาสัมพันธ์ บริการแจ้งทุกข์ เรื่องร้องเรียนของเทศบาลเมืองกาญจนบุรี รวมถึงแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว และเบอร์โทรฉุกเฉิน ผ่านแอปพลิเคชัน อีกทั้งยังสามารถบริหารจัดการข้อมูลได้ ซึ่งแอปพลิเคชันนี้มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

Boonchom et al. (2020) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สำหรับการเผยแพร่มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของภาคใต้ตอนล่าง พัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้ SDLC มีการใช้เครื่องมือ Ionic Framework การเชื่อมต่อกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL โดยใช้ JSON ใช้โปรแกรม XAMPP สำหรับจำลองเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งแอปพลิเคชันนี้ได้ส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์การเรียนรู้และการเผยแพร่มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมอย่างต่อเนื่อง ทำให้สิ่งที่มีคุณค่าเหล่านี้จะไม่หายไปจากชุมชน ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

จะเห็นได้ว่า มีนักวิจัยหลากหลายศาสตร์ที่ได้นำกระบวนการพัฒนามาประยุกต์ใช้การสร้างแอปพลิเคชันที่สามารถตอบสนองความต้องการได้ ซึ่งแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือผู้ใช้งานกำลังเป็นที่นิยม เพราะคนส่วนใหญ่จะมีการใช้โทรศัพท์หรือสมาร์ทโฟนอย่างกว้างขวาง ดังนั้นงานวิจัยการพัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร จึงได้กรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงตามภาพ 1 ที่จะสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันนี้ให้คนทั่วไปสามารถใช้งานได้จริง ได้เรียนรู้ถึงศิลปะการรำมวยโบราณของคนสกลนครและสามารถนำทำรำมวยโบราณไปประยุกต์เป็นท่าทางการออกกำลังกายได้

สมมติฐานการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร อยู่ในระดับมาก

2. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัด อยู่ในระดับมาก

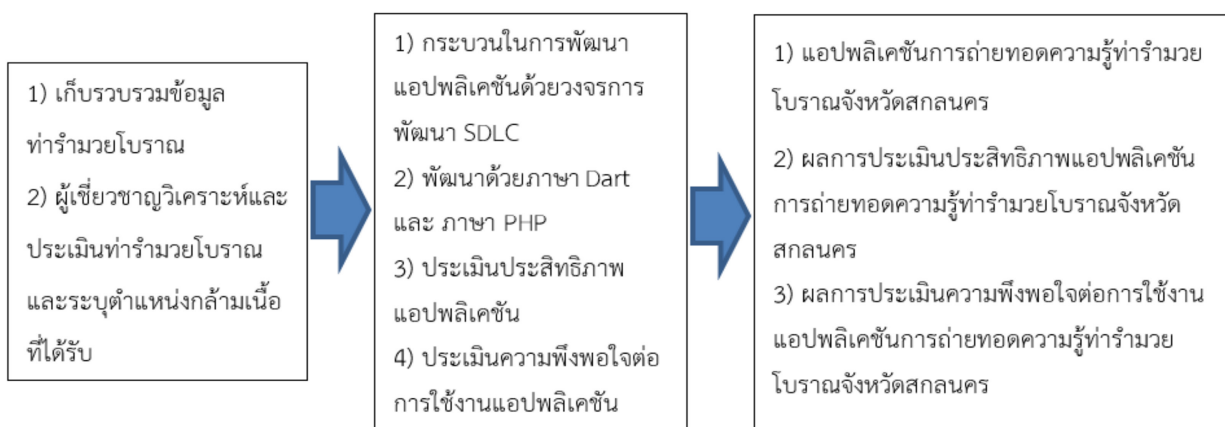
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการตามระเบียบวิธีวิจัยการวิจัยและพัฒนา (research & development) อธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เป็นประชาชนทั่วไปหรือนักท่องเที่ยวในจังหวัดสกลนคร ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างคือ บุคคลทั่วไป จำนวน 100 คน คัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling)

ผู้เชี่ยวชาญสำหรับประเมินประสิทธิภาพ ประกอบด้วย นักวิชาการศึกษาและผู้มีประสบการณ์ในการเล่นทำรำมวยโบราณ ที่มีประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปี จำนวน 2 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา มีประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปี จำนวน 2 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาแอปพลิเคชัน ประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปี จำนวน 1 คน รวมทั้งสิ้น 5 คน



ภาพ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบไปด้วย (1) แอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร (2) แบบประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร และ (3) แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาเกี่ยวกับทำรำมวยโบราณวิเคราะห์รวบรวมทำรำมวยโบราณและรวบรวมจากหนังสือทำรำมวยโบราณ (Banlue, 2020) ที่สามารถนำไปประยุกต์เป็นท่าออกกำลังกายได้ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาระบุตำแหน่งหรือกล้ามเนื้อที่ได้จากการเล่นทำรำมวยโบราณที่ได้แต่ละท่ารำ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติที่ใช้ คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Khathong et al., 2020) โดยทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

- 4.51–5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด
- 3.51–4.50 หมายความว่า ระดับมาก
- 2.51–3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง
- 1.51–2.50 หมายความว่า ระดับน้อย
- 1.00–1.50 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบ

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันนี้ตามกระบวนการของ SDLC (Adnas & Apriyanto, 2022; Kesorn, 2014; Boonchom et al., 2020) ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวางแผน ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

จากหนังสือรำมวยโบราณ รายงานศิลปะและวัฒนธรรมท้องถิ่น สถาบันราชภัฏ หนังสือรำมวยโบราณสกลนคร พิพิธภัณฑ์เมืองสกลนครมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร หนังสือรำมวยโบราณประยุกต์ สกลนคร หนังสือเชิดชูเกียรติอาจารย์จำลอง นวลมณี ผู้มีผลงานดีเด่นทางด้านวัฒนธรรม และเป็นผู้คิดประดิษฐ์ทำรำมวยโบราณ (Banlue, 2020) ดังนั้นจึงได้ทำรำมวยโบราณ 2 หมวด จำนวน 23 ท่ารำ คือ (1) ท่ารำเดี่ยว 14 ท่ารำ คือ ท่าเสื่อออกจากเหล่า ท่าเสื่อสำอวย่างสามชুম ท่ากุมภันต์ถอยทัพ ท่าลับหอก โหมกขักดี ท่าตบผาบปราบมาร ท่าทะยานเหยื่อเสื่อลากหาง ท่าไก่เลียบลำ ท่าพระรำนาวคันศร ท่ากนิกรเข้าถ้ำ ท่าเตี้ยต่ำเสื่อหมอบ ท่าทรพิชนพ้อ ท่าล้อแก้วเมขลา ท่าม้ากระตีบโรง และท่าซ่างโหลงทะเลายป่า และ (2) ท่ารำหมู่ 9 ท่ารำ คือ ท่ากาเดินก้อนไถ ท่าหะพราย ท่าย้ายเล่าหรืออย่างสามชুম ท่านาวเหยี่ยวไฟหรือนาวเรียวไฟ ท่าไล่ลูกแตก-ตบผาบปราบมาร ท่าซ่างม้วนวง ท่าทวงอ๊กกวั๊ก ชู ท่าแหลวลากาตากปีก และท่าเลาะเลียบตูป จากนั้นทำการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญพร้อมทั้งระบุตำแหน่งกล้ามเนื้อที่ได้จากทำรำมวยโบราณของแต่ละท่ารำ

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์และออกแบบ เป็นการ

นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบเชิงวัตถุด้วย UML (Boonchom et al., 2020; Wianrob et al., 2022) สำหรับพัฒนาแอปพลิเคชัน ดังภาพ 2 เป็นการวิเคราะห์แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ของแอปพลิเคชัน ซึ่งแอปพลิเคชันนี้จะมีผู้ใช้งาน 2 ส่วน คือ (1) ผู้ใช้งานทั่วไปที่สนใจเข้ามาใช้แอปพลิเคชันเพื่อเรียนรู้ทำรำมวยโบราณที่สามารถทำกิจกรรมในแอปพลิเคชันดังภาพ 3 แผนภาพกิจกรรม (activity diagram) และ (2) ผู้ดูแลระบบที่สามารถเข้ามาบริหารจัดการข้อมูลทำรำมวยโบราณ การกำหนดสิทธิ์ของผู้ดูแลระบบ การจัดการ แก้ไขและลบข้อมูลทำรำมวยโบราณแสดงดังภาพ 4

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาระบบ แอปพลิเคชันการ

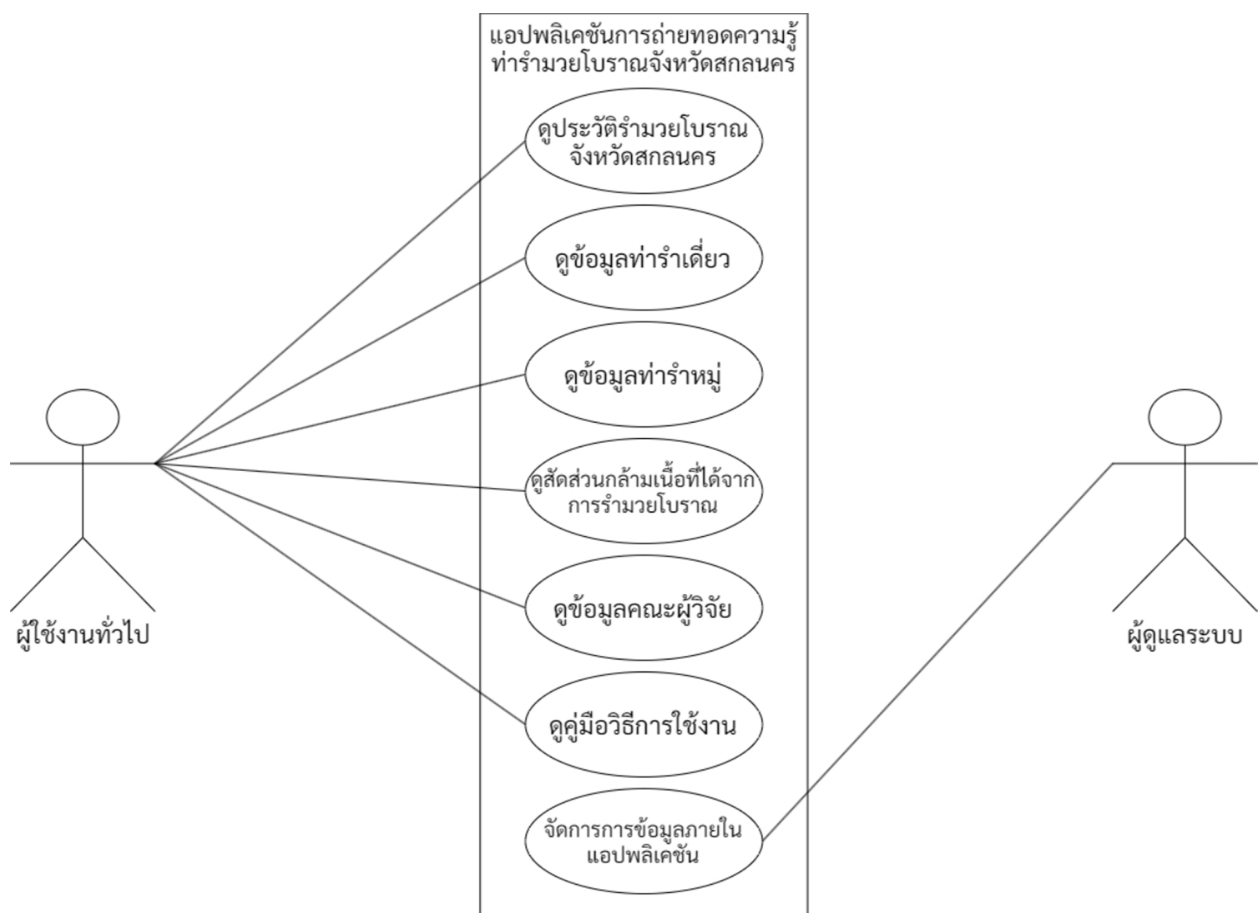
ถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร มีการพัฒนา 2 ส่วน คือ (1) ส่วนโมบายแอปพลิเคชัน สำหรับผู้ใช้งานทั่วไป พัฒนาโดยใช้ภาษา Dart ด้วยโปรแกรม Visual Studio Code ใช้ในการเขียนแอปพลิเคชัน โปรแกรม Android Studio ใช้ในการเป็นแบบจำลองโทรศัพท์มือถือ

และ (2) ส่วนเว็บแอปพลิเคชัน สำหรับผู้ดูแลระบบ พัฒนาด้วยภาษา PHP ใช้โปรแกรม XAMPP สำหรับจำลองเว็บเซิร์ฟเวอร์ และจัดการฐานข้อมูลด้วย MySQL และใช้แพลตฟอร์มออกแบบกราฟิกด้วย Canva

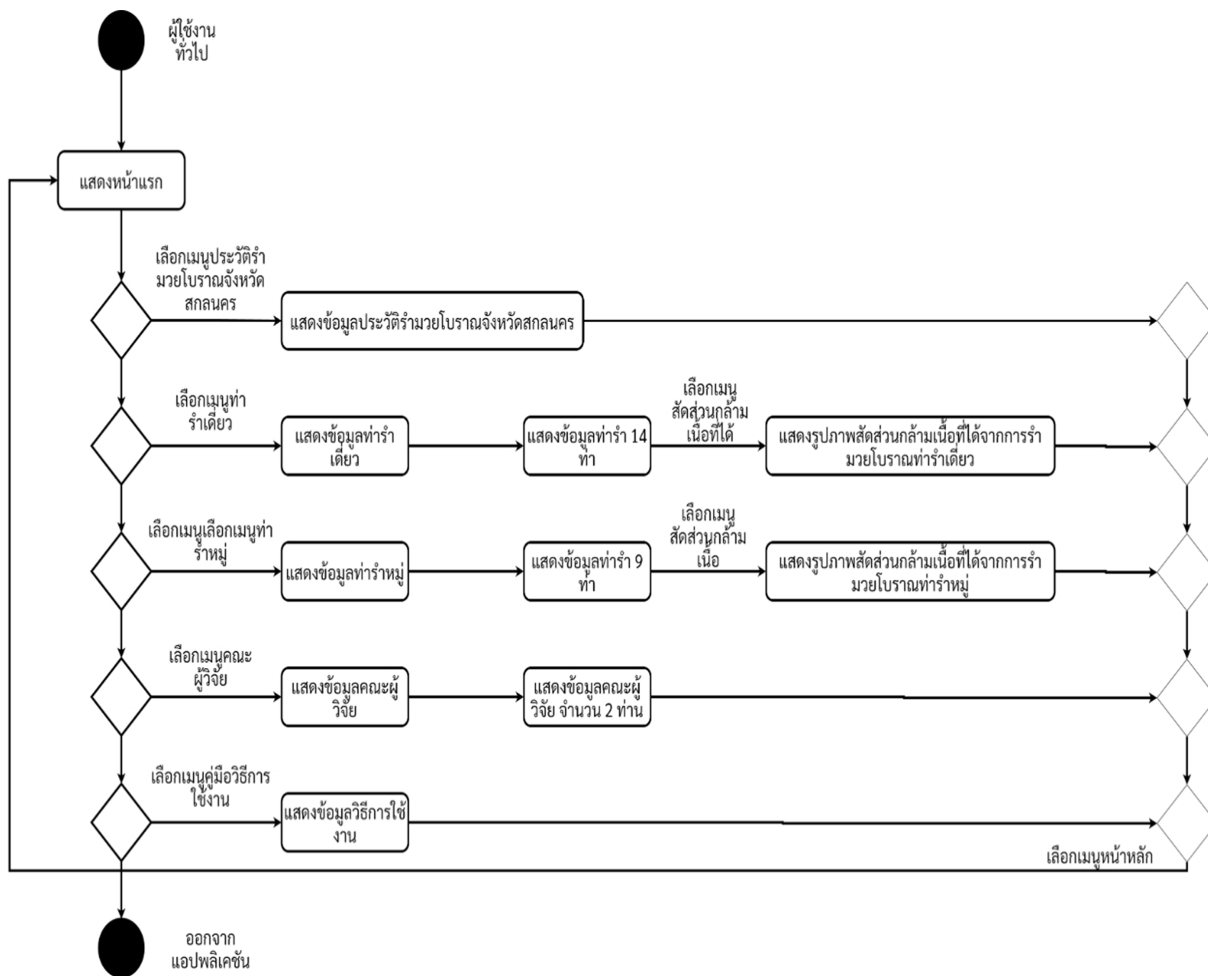
ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพ เป็นขั้นตอนการประเมินผลประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนครที่พัฒนาขึ้น โดยใช้แบบสอบถามกับผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน แบ่งเป็น นักวิชาการศึกษาและผู้มีประสบการณ์ในการเล่นทำรำมวยโบราณ จำนวน 2 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา จำนวน 2 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาแอปพลิเคชัน จำนวน 1 คน เพื่อให้ได้ระดับประสิทธิภาพและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแอปพลิเคชัน โดยการทดสอบประสิทธิภาพครั้งนี้

ได้กำหนดประเด็นการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการทดสอบระบบแบบ Black Box (Aonzo et al., 2020; Boonchom et al., 2020) โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ การออกแบบหน้าจอ เนื้อหาและการนำเสนอ การใช้งาน โหมดแอปพลิเคชัน และ การใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

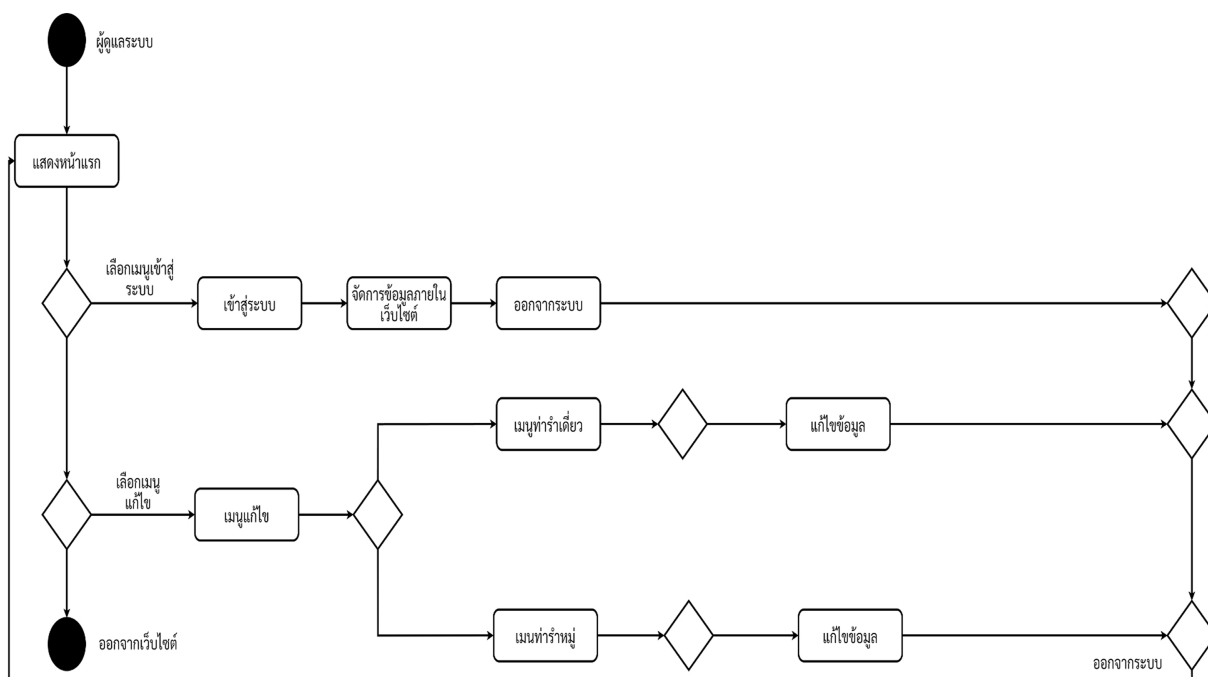
ขั้นตอนที่ 5 การบำรุงรักษาระบบ เป็นขั้นตอนที่จะนำไปเผยแพร่ใช้งานจริง ซึ่งได้ทำฐานข้อมูลแอปพลิเคชันการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำรำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร โดยผู้ใช้งาน จำนวน 100 คน เพื่อให้ได้ระดับความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชัน และได้แนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชันต่อไปให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพ 2 แผนภาพยูสเคสของแอปพลิเคชัน



ภาพ 3 แผนภาพกิจกรรมส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป



ภาพ 4 แผนภาพกิจกรรมส่วนของผู้ดูแลระบบ

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถอธิบายตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1. ผลจากการพัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนครการพัฒนาจากยุคที่ใช้เทคโนโลยี Android Studio ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยใช้โปรแกรมภาษา Dart และโปรแกรม Visual Studio Code แล้วทำการเชื่อมต่อฐานข้อมูลแอปพลิเคชันและเว็บแอปพลิเคชัน หลังจากนั้นทำการ Build แอปพลิเคชัน ชื่อ app-release.apk ออกมาอยู่ในรูปแบบไฟล์ .apk เพื่อนำไปทดสอบในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยการติดตั้งแอปพลิเคชันต้องทำการดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน app-release.apk จาก QR Code ภาพ 5 เมื่อดาวน์โหลดเรียบร้อยแล้วทำการติดตั้งจะปรากฏดังภาพ 6 เมื่อคลิกไอคอน SNK Traditional Boxing Dance ตามภาพ 7 แล้ว สามารถใช้งานแอปพลิเคชันได้

แอปพลิเคชันนี้ทำงานได้ 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งานทั่วไปสามารถติดตั้งเข้ามาเรียนรู้ท่ารำมวยโบราณได้ ซึ่งมีทั้งหมดจำนวน 23 ท่ารำ แบ่งเป็นท่ารำเดี่ยว จำนวน 14 ท่ารำ และท่ารำหมู่ จำนวน 9 ท่ารำ แสดงตัวอย่างแอปพลิเคชันดังภาพ 7 จากภาพ (ก) เมื่อเปิดใช้งานแอปพลิเคชันจากปรากฏหน้าแรกของแอปพลิเคชัน เมื่อต้องการเรียนรู้ท่ารำมวยโบราณแต่ละท่า สามารถเมนูได้ดังภาพ (ข) ซึ่งจะมีทั้งวิธีการใช้นอแอปพลิเคชัน ประวัติของท่ารำมวยโบราณ ข้อมูลของแต่ละท่ารำได้ เมื่อผู้ใช้งานเลือกท่ารำมวยโบราณตามท่ารำที่สนใจ ดังภาพ (ค) เป็นตัวอย่างข้อมูลท่ารำออกจากเหล่า จะมีการแสดงข้อมูลวิธีการปฏิบัติตามท่ารำ จากนั้นเมื่อต้องการรู้ข้อมูลเกี่ยวกับมัดของกล้ามเนื้อที่จะได้สามารถกดปุ่มกลุ่มเนื้อได้ ซึ่งจะปรากฏข้อมูลดังภาพ (ง) ซึ่งจะแสดงในรูปแบบแอนิเมชันกล้ามเนื้อมัดต่าง ๆ แสดงทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ดูแลระบบเข้าไปดำเนินการจัดการข้อมูลท่ารำมวยโบราณได้ ดังภาพ 8 เป็นตัวอย่างหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่เข้ามาจัดการเพิ่มข้อมูล หรือเลือกบางท่ารำที่ต้องการแก้ไขข้อมูล หรือเพิ่มเติมข้อมูลได้ อีกทั้งยังสามารถลบข้อมูลท่ารำได้

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนครโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน จากตาราง 1 พบว่า ประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน ทั้ง 4 ด้าน โดยภาพรวมมีประสิทธิภาพอยู่

ในระดับมาก ($\bar{X}=4.43$ SD=.60) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า การใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพมากที่สุด ($\bar{X}=4.53$ SD=.61) รองลงมามีประสิทธิภาพในระดับมาก คือ การใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ ($\bar{X}=4.50$ SD=.54) เนื้อหาและการนำเสนอ ($\bar{X}=4.43$ SD=.26) และการออกแบบหน้าจอ ($\bar{X}=4.32$ SD=.62) ตามลำดับ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร โดยกลุ่มตัวอย่าง 100 คน จากตาราง 2 พบว่า ความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน ทั้ง 4 ด้าน โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.37$ SD=.74) เมื่อพิจารณารายด้านที่ผู้ใช้งานพึงพอใจเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยพบว่า ด้านการนำเสนอเนื้อหา มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X}=4.36$ SD=.68) ด้านประสิทธิภาพและการนำไปใช้ประโยชน์ มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X}=4.32$ SD=.75) ด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X}=4.32$ SD=.78) และด้านการออกแบบแอปพลิเคชัน มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X}=4.26$ SD=.76) ซึ่งหากพิจารณาเป็นรายชื่อ 5 อันดับแรกที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับระดับมาก เรียงจากค่าเฉลี่ยที่มากไปหาน้อย คือ ความชัดเจนในการนำเสนอเนื้อหา ($\bar{X}=4.42$ SD=.67) เนื้อหาบนแอปพลิเคชันมีประโยชน์ ($\bar{X}=4.41$ SD=.63) ความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ ($\bar{X}=4.40$ SD=.69) แอปพลิเคชันสามารถใช้เป็นสื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้ได้ ($\bar{X}=4.39$ SD=.74) และสามารถใช้งานได้ง่าย ($\bar{X}=4.38$ SD=.69) ตามลำดับ



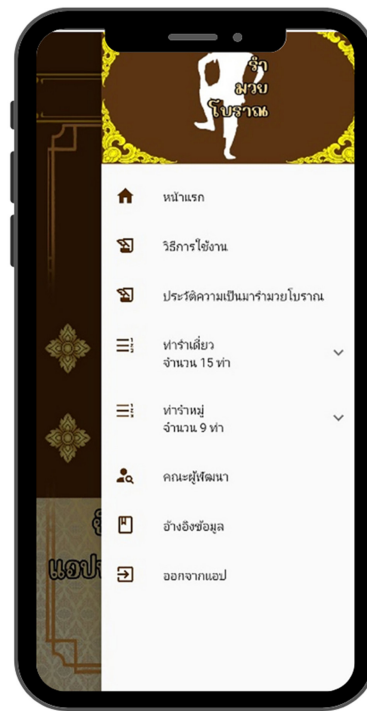
ภาพ 5 QR app-release.apk



ภาพ 6 แสดงไอคอน SNK Boxing Dance



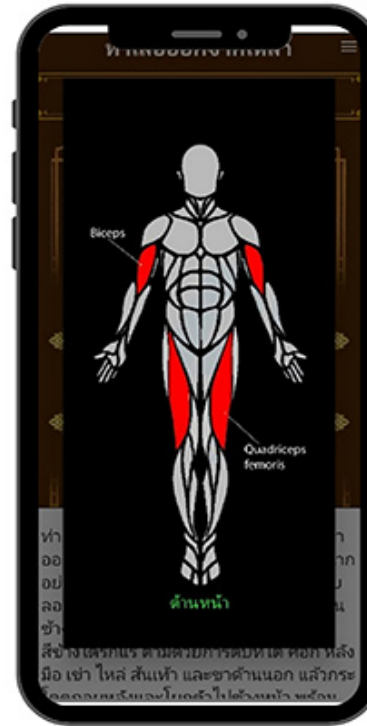
(ก)



(ข)

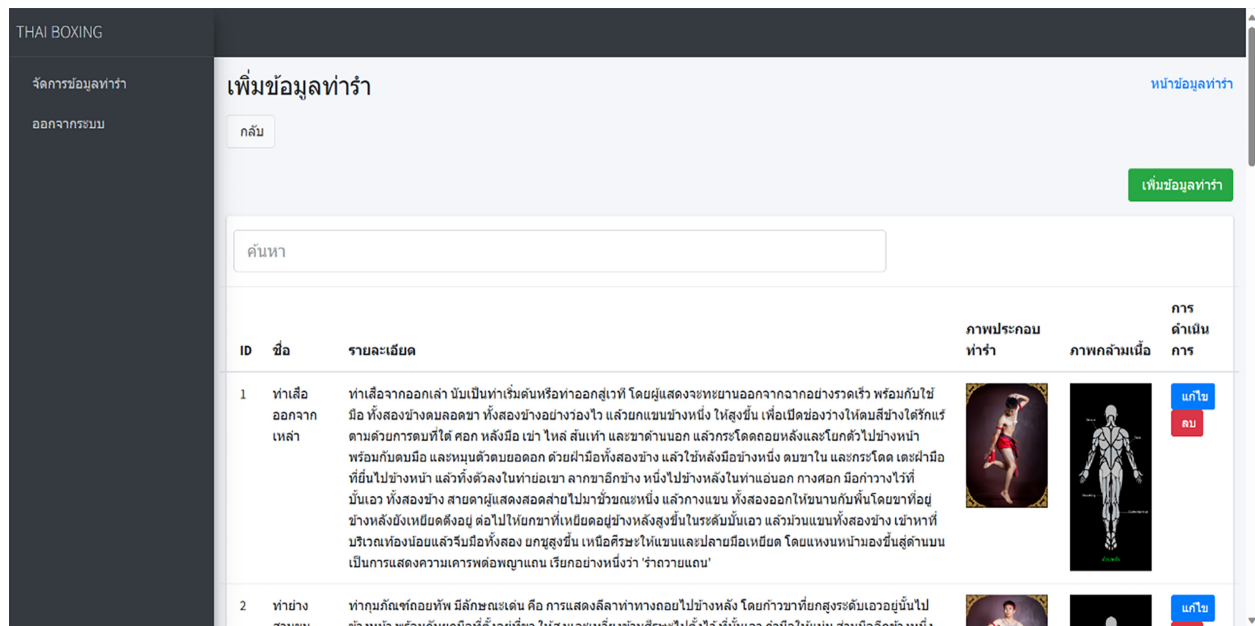


(ค)



(ง)

ภาพ 7 ตัวอย่างการทำงานของแอปพลิเคชัน (ก) หน้าหลัก (ข) รายการเมนู (ค) ตัวอย่างท่ารำมวยโบราณ และ (ง) ตัวอย่างการแสดงกล้ามเนื้อที่ได้จากการเล่นท่ารำมวยโบราณ



ภาพ 8 ภาพตัวอย่างการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน

ตาราง 1

ผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ท่ารำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร

หัวข้อประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	SD	ผลการประเมิน
ด้านการออกแบบหน้าจอ			
1. ความเหมาะสมของการจัดวางตัวปุ่มเมนูภายในแอปพลิเคชัน	4.00	.71	มาก
2. ความเหมาะสมของแบบอักษรและขนาดตัวอักษรที่ได้ อ่านง่าย	4.00	1.00	มาก
3. ความเหมาะสมของสีตัวอักษรและสีของพื้นที่น่าเสนอ	4.20	.84	มาก
4. ความเหมาะสมของสีเส้นของปุ่มเมนูภายในแอปพลิเคชัน	4.00	.00	มาก
5. ความเหมาะสมในการใช้สัญลักษณ์มีความเหมาะสม	4.20	.84	มาก
6. ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอ	4.80	.45	มากที่สุด
7. ตัวหนังสือมีความเหมาะสม	4.20	.84	มาก
8. เมนูการใช้งานที่เข้าใจง่าย	4.60	.55	มากที่สุด
9. สัดส่วนของแอปพลิเคชัน	4.40	.55	มาก
10. หน้าจอมีความสวยงาม	4.60	.55	มากที่สุด
11. แอปพลิเคชันมีความน่าสนใจ	4.40	.55	มาก
สรุปภาพรวมด้านการออกแบบหน้าจอ	4.32	.61	มาก

ตาราง 1 (ต่อ)

หัวข้อประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	SD	ผลการประเมิน
ด้านเนื้อหาและการนำเสนอ			
1. ความชัดเจนในการนำเสนอเนื้อหา	4.20	.45	มาก
2. ความถูกต้องของเนื้อหา	4.60	.55	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมของภาษาที่ใช้	4.20	.84	มาก
4. เนื้อหาบน แอปพลิเคชัน มีประโยชน์	4.60	.55	มากที่สุด
5. เนื้อหามีความเข้าใจง่าย	4.40	.89	มาก
6. เนื้อหามีความน่าสนใจ	4.40	.55	มาก
7. เนื้อหามีความถูกต้องและเหมาะสม	4.60	.55	มากที่สุด
สรุปภาพรวมด้านเนื้อหาและการนำเสนอ	4.43	.62	มาก
ด้านการใช้งานโมบายแอปพลิเคชัน			
1. ความรวดเร็วในการติดตั้งแอปพลิเคชัน	4.60	.55	มากที่สุด
2. ความเร็วในการตอบสนองของแอปพลิเคชัน	4.40	.55	มาก
3. ความเหมาะสมของการจัดลำดับเมนู	4.80	.45	มากที่สุด
4. ประโยชน์ที่ได้ในการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.40	.55	มาก
5. ฟังก์ชันต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง	4.25	.55	มาก
6. แอปพลิเคชันสามารถใช้เป็นสื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้ได้	4.60	.55	มากที่สุด
7. แอปพลิเคชันสามารถทำงานได้ถูกต้อง	4.40	.55	มาก
8. แอปพลิเคชันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง	4.40	.55	มาก
สรุปภาพรวมด้านการใช้งานโมบายแอปพลิเคชัน	4.50	.54	มาก
ด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน			
1. การใช้งานเข้าใจง่าย	4.40	.55	มาก
2. การทำงานตรงตามวัตถุประสงค์	4.80	.45	มากที่สุด
3. เข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้สะดวก	4.60	.55	มากที่สุด
4. ความชัดเจนและความถูกต้องของข้อมูล	4.60	.89	มากที่สุด
5. มีความสะดวกในการค้นหาข้อมูล	4.40	.55	มาก
6. เมนูการใช้งานของเว็บไซต์หลังบ้านที่เข้าใจง่าย	4.60	.55	มากที่สุด
7. ฟังก์ชันในการจัดการข้อมูลทำงานได้อย่างถูกต้อง	4.20	.84	มาก
8. สิทธิ์ในการเข้าถึงมีความถูกต้อง	4.60	.55	มากที่สุด
สรุปภาพรวมด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน	4.53	.61	มากที่สุด
สรุปภาพรวมทุกด้าน	4.43	.60	มาก

ตาราง 2

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำร่ำมวโยโบราณจังหวัดสกลนคร

หัวข้อประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	SD	ผลการประเมิน
ด้านการออกแบบแอปพลิเคชัน			
1. ความเหมาะสมของการจัดวางตัวปุ่มเมนูภายในแอปพลิเคชัน	4.30	.75	มาก
2. ความเหมาะสมของแบบอักษรและขนาดตัวอักษรที่ได้อ่านง่าย.	4.25	.78	มาก
3. ความเหมาะสมของสีตัวอักษรและสีของพื้นที่นำเสนอ	4.25	.75	มาก
4. ความเหมาะสมของสีเส้นของปุ่มเมนูภายในแอปพลิเคชัน	4.27	.73	มาก
5. ความเหมาะสมในการใช้สัญลักษณ์หรือรูปแบบในการสื่อที่เหมาะสม	4.27	.76	มาก
6. ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอ	4.27	.72	มาก
7. ตัวหนังสือมีความเหมาะสม	4.23	.80	มาก
8. หน้าจอมีความสวยงาม	4.27	.78	มาก
9. ความเหมาะสมของการจัดลำดับเมนู	4.24	.78	มาก
สรุปภาพรวมรายด้านการออกแบบแอปพลิเคชัน	4.26	.76	มาก
ด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน			
1. มีความสะดวกในการค้นหาข้อมูล	4.34	.80	มาก
2. เมนูการใช้งานที่เข้าใจง่าย	4.34	.79	มาก
3. สัดส่วนของแอปพลิเคชัน	4.34	.75	มาก
4. สามารถใช้งานได้ง่าย	4.38	.69	มาก
5. แอปพลิเคชันมีความน่าสนใจ	4.21	.87	มาก
สรุปภาพรวมรายด้านการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.32	.78	มาก
ด้านการนำเสนอเนื้อหา			
1. ความชัดเจนในการนำเสนอเนื้อหา	4.42	.67	มาก
2. ความเหมาะสมของภาษาที่ใช้	4.40	.69	มาก
3. เนื้อหาบน แอปพลิเคชัน มีประโยชน์	4.41	.63	มาก
4. เนื้อหาที่มีความเข้าใจง่าย	4.30	.67	มาก
5. เนื้อหาที่มีความน่าสนใจ	4.28	.75	มาก
6. เนื้อหาที่มีความถูกต้องและเหมาะสม	4.34	.65	มาก
สรุปภาพรวมรายด้านการนำเสนอเนื้อหา	4.36	.68	มาก

ตาราง 2 (ต่อ)

หัวข้อประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	SD	ผลการประเมิน
ด้านประสิทธิภาพและการนำไปใช้ประโยชน์			
1. ความรวดเร็วในการติดตั้งแอปพลิเคชัน	4.23	.72	มาก
2. ความเร็วในการตอบสนองของแอปพลิเคชัน	4.29	.78	มาก
3. ประโยชน์ที่ได้ในการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.29	.81	มาก
4. ฟังก์ชันต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง	4.36	.73	มาก
5. แอปพลิเคชันสามารถใช้เป็นสื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้ได้	4.39	.74	มาก
6. แอปพลิเคชันสามารถทำงานได้ถูกต้อง	4.36	.74	มาก
7. แอปพลิเคชันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง	4.31	.76	มาก
สรุปภาพรวมรายด้านประสิทธิภาพและการนำไปใช้ประโยชน์	4.32	.75	มาก
สรุปภาพรวมทุกด้าน	4.37	.74	มาก

การอภิปรายผล

ในการพัฒนาแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำร่ำมวยโบราณจังหวัดสกลนคร ลำดับแรกในการวิจัยได้ศึกษาเนื้อหาทำร่ำมวยโบราณจากหนังสือที่ถูกรวบรวมไว้ โดยมี อาจารย์จำลอง นวลมณี เป็นผู้คิดค้นทำร่ำและประยุกต์ทำร่ำมวยโบราณ (Banlue, 2020) จึงสรุปทำร่ำมวยโบราณได้ 23 ทำร่ำ แบ่งเป็นทำร่ำแบบเดี่ยว 14 ทำร่ำ และทำร่ำแบบกลุ่ม 9 ทำร่ำ จากนั้นได้นำทำร่ำทั้ง 23 ทำร่ำให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาที่สามารถทำร่ำมวยโบราณได้ และกลุ่มนักเรียน (Uchatam, personal communication, 2023) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ได้นำทำร่ำมวยโบราณไปแสดงในงานเทศกาลต่าง ๆ ของจังหวัดสกลนคร ทำการระบุงล้ามเนื้อที่ได้จากทำร่ำทั้ง 23 ทำร่ำ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำเสนอให้ผู้สนใจทราบถึงทำร่ำแต่ละทำร่ำสามารถเสริมกล้ามเนื้อส่วนไหนบ้างของร่างกายเพื่อกระตุ้นให้ผู้สนใจรักสุขภาพหันมาทำร่ำต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ในการออกกำลังกายได้

จากนั้นได้นำข้อมูลทำร่ำทั้ง 23 ทำร่ำ มาแนะนำเสนอในรูปแบบของแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ซึ่งแอปพลิเคชันนี้ได้พัฒนาตามขั้นตอนวงจรการพัฒนา (SDLC) การพัฒนาครั้งนี้สามารถทำงานได้ 2 ส่วน คือ (1) ส่วนแอปพลิเคชัน ซึ่งผู้วิจัยใช้โปรแกรม Android Studio ในการพัฒนาใช้งานได้ฟรี จัดการซอร์สโค้ดด้วยโปรแกรม

Visual Studio Code และใช้ภาษา Dart ในการพัฒนา พร้อมทั้งออกแบบจะใช้แพลตฟอร์มของ Canva ผลการพัฒนาพบว่า แอปพลิเคชันจะมีเครื่องมือหรือเมนูต่าง ๆ ให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้สะดวก อีกทั้งทำร่ำแต่ละทำร่ำมีการแบ่งหมวดให้ใช้งานได้ชัดเจน พร้อมทั้งทำร่ำสามารถเรียกดูข้อมูลของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของแอนิเมชันของกล้ามเนื้อทั้งกล้ามเนื้อส่วนหน้าและส่วนหลัง พร้อมระบุชื่อกล้ามเนื้อส่วนนั้น ๆ ได้ และ (2) ส่วนเว็บแอปพลิเคชัน เป็นส่วนของผู้ดูแลระบบสามารถเข้ามาจัดการข้อมูลทำร่ำมวยโบราณและการกำหนดสิทธิ์ในการเข้ามาจัดการข้อมูล ซึ่งพัฒนาด้วยภาษา PHP โดยใช้การจัดการฐานข้อมูล MySQL ใช้การส่งข้อมูลแบบ JSON ซึ่งเว็บแอปพลิเคชันนี้ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มข้อมูล แก้ไขข้อมูล และลบข้อมูลทำร่ำมวยโบราณได้ จากนั้นได้ Deployment แอปพลิเคชันให้พร้อมใช้งานและการติดตั้ง และนำไปประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ทำการประเมินประสิทธิภาพ 4 ด้าน คือ การออกแบบหน้าจอ เนื้อหาและการนำเสนอ การใช้งานโมบายแอปพลิเคชัน และการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน ผลการประเมินพบว่า แอปพลิเคชันนี้มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากสามารถนำไปใช้งานได้จริง เพราะเป็นแอปพลิเคชันที่มีความน่าสนใจ อีกทั้งยังไม่มีคำแนะนำข้อมูลทำร่ำมวยโบราณในรูปแบบแอปพลิเคชันที่สามารถเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลาเมื่อมีการติดตั้งแอปพลิเคชันมาใช้งานในโทรศัพท์มือถือ ทั้งนี้ได้เสนอแนะให้ออกแบบให้น่าสนใจมากขึ้น ให้สามารถเป็น

แอปพลิเคชันที่ดึงดูดความสนใจกับผู้ใช้งานทุกเพศทุกวัย เมื่อนำไปประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน จำนวน 100 คน โดยทำการประเมินความพึงพอใจ 4 ด้าน คือ การออกแบบแอปพลิเคชัน การใช้งานแอปพลิเคชัน การนำเสนอเนื้อหา และประสิทธิภาพและการนำไปใช้ประโยชน์ ผลการประเมินพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันอยู่ในระดับมาก จะเห็นได้ว่าแอปพลิเคชันถ่ายทอดความรู้ทำร่ำมวโยโบราณนี้ สามารถส่งผลให้นักท่องเที่ยวหรือผู้ใช้งานรู้สึกว่าการใช้แอปพลิเคชันใช้งานง่ายและสะดวกมากขึ้น สามารถเรียนรู้ได้ทันทีทุกเวลาที่ต้องการใช้งานแอปพลิเคชัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพและคุณภาพสามารถใช้งานได้จริงมีประโยชน์ในการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับทำร่ำมวโยโบราณจังหวัดสกลนครที่ใช้ได้สะดวกมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าแอปพลิเคชันนี้จะ เป็นสื่อในการเผยแพร่ศิลปวัฒนธรรมของชาวจังหวัดสกลนคร และผู้สนใจนำไปประยุกต์ใช้ในการออกกกำลังกายเพื่อดูแลสุขภาพได้

จากการศึกษาวิจัยแอปพลิเคชันการถ่ายทอดความรู้ทำร่ำมวโยโบราณจังหวัดสกลนครนี้ พบข้อจำกัดในการใช้งานคือ สามารถใช้ได้เฉพาะอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เท่านั้น อีกทั้งจากผลประเมินควรการออกแบบแอปพลิเคชันให้มีความน่าสนใจ ใช้ภาษา

ให้สามารถอ่านได้ง่าย และให้มีภาพเคลื่อนไหวหรือวิดีโอประกอบการอธิบายเพื่อให้เกิดบรรยากาศระหว่างเรียนรู้ ข้อมูลของผู้ใช้แอปพลิเคชัน จะทำให้แอปพลิเคชันมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรพัฒนาให้รองรับทั้งระบบปฏิบัติการ Android และ IOS ทั้งนี้ควรพัฒนาแอปพลิเคชันให้มีการทำแบบทดสอบก่อนเรียนรู้ และหลังเรียนรู้ รวมไปถึงการประเมินประสิทธิภาพแบบ E1/E2

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยทรัพยากรสารสนเทศมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ได้ดำเนินการการขึ้นทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญาจนได้รับการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ ประเภทวรรณกรรม ลักษณะงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567



References

- Adnas, D. A., & Aprilianto, C. (2022). Design and development mobile application of Buddhism Eparitta Using Flutter Framework and SDLC Method. *The 2nd Conference on Management, Business, Innovation, Education, and Social Science (CoMBInES) Taichung, Taiwan 3-6 March, 2022* (pp. 424-431). Taichung, Taiwan: University International Batam
- Alvarez-Moya, E. M., Mirallas, J., Fontanals, C., Quintana, M., Cusidó, J., Rimbau, J., & Garolera, M. (2021). Development of a mobile application for people with obesity. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 53(1), 79-83. doi: 10.1016/j.jneb.2020.07.004.
- Aonzo, S., Georgiu, G. C., Verderame, L., & Merlo, A. (2020). Obfuscapk: An open-source black-box obfuscation tool for Android apps. *SoftwareX*, 11, 100403. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100403>.
- Banlue, K. (2020). *Ancient boxing dance*. Sakon Nakhon: Encyclopedia of Performing Arts Sakon Nakhon, Sakon Nakhon Museum, Academic and Research Institutes of Language, Arts and Culture, Sakon Nakhon Rajabhat University. (in Thai)

- Boonchom, V., Khamdam, K., & Kreutong, R. (2020). The development of android application for disseminating Thai Cultural Heritage of the Lower Southern Provinces of Thailand. *Thaksin University Journal*, 23(3), 31-40. (in Thai)
- Kasikorn Research Center. (2020). *The health conscious from COVID creates opportunities for SME businesses*. Bangkok: K-SME Analysis, Kasikorn Bank Public Company Limited. (in Thai)
- Kesorn, K. (2014). Information system analysis and design: In the modern era. Phitsanulok: Focus Printing. (in Thai)
- Khanthong, N., Tiamkaew, E., & Khruahong, S. (2020). The development of augmented reality technology applications for learning about element and chemical compounds. *Journal of Applied Informatics and Technology*, 2(2), 77-87. (in Thai)
- Kumkrua, M., & Chokchaisiri, J. (2019). The development of the android application for working support in Muang Kanchanaburi Subdistrict Municipality Administration. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 21(2), 189-197. (in Thai)
- Lima, T. M., Silva, M. P., Silva Luz, L. D., Estevão Soares, T. C. A., Dantas, E. S., Teixeira, G. F., Souza Costa, R. H., & Santo Andrade, S. H. M. (2022). Development of a mobile application for vancomycin dosing calculation: A useful tool for the rational use of antimicrobials. *Exploratory Research in Clinical and Social Pharmacy*, 5(2022), 100115. <https://doi.org/10.1016/j.rcsop.2022.100115>.
- Manalu, D. O., Kusumawati, Y. A., & Tho, C. (2023). Developing Nusantara mobile application to support local tourism in Indonesia. *Procedia Computer Science*, 227(2023), 641-650. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.568>.
- Plookpanya. (2021). *Smartphone educational articles True Plookpanya*. Retrieved from <https://www.trueplookpanya.com/education/content/88033>. (in Thai)
- Sarrab, M., Al-Shihi, H., Al-Khanjari, Z., & Bourdoucen, H. (2018). Development of mobile learning application based on consideration of human factors in Oman. *Technology in Society*, 55(2018), 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.07.004>.
- Trakulmyakee, N., Pratan, T., Hnuchek, K., & Seamhan, P. (2023). “Mata Lumnam” application development for supporting logistical tourism in Songkhla Lagoon. *Journal of Management Sciences, Surattthani Rajabhat University*, 10(1), 57-83. (in Thai)
- Uchatam, K. (2023). *Analysis and locating of muscles obtained from ancient boxing dances* [Interview]. Sakon Nakhon: Representative of Naga Swimming Group, Sakon Nakhon. (in Thai)
- Wianrob, R., Kaedsomboon, A., Sakorncharone, A., Eiamchan, E., Kanon, B., Piesangka, N., & Tinapron, S. (2022). The development application of matching companion by location-based services via mobile device. *Eau Heritage Journal Science and Technology*, 16(1), 162-174. (in Thai)



การพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบัน ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง กรณีศึกษาสนามบินภาคเหนือของประเทศไทย

Thunderstorm Nowcasting Using Machine Learning Techniques: A Case Study of the Airports in Northern Thailand

ชญาณิษฐ์ เมืองสง¹ ขจิตพรณ กฤตพลวิมาน^{1*} และรัชกฤช ธนพัฒน์ดล²

Chayanit Muangsong¹, Khajitpan Kritpolviman^{1*} and Ratchakrit Tanapattanadol²

¹แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

¹Information and Communication Technology, School of Science and Technology,

Sukhothai Thammathirat Open University

²สำนักทะเบียนและวัดผล มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

²Office of Registration Records and Evaluation, Sukhothai Thammathirat Open University

*Corresponding author: Khajitpan.mak@stou.ac.th

Received: December 7, 2023

Revised: February 13, 2024

Accepted: February 19, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างแบบจำลองในการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบัน และ (2) ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบัน ที่มีระยะเวลาพยากรณ์ 1 และ 2 ชั่วโมงข้างหน้า สำหรับสนามบินภาคเหนือของประเทศไทยด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง โดยชุดข้อมูลนำเข้า คือ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 รวมทั้งสิ้น 364,382 ชุดข้อมูล และทำการแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 5 กลุ่มข้อมูล คือ กลุ่มข้อมูลรวมสนามบินภาคเหนือ กลุ่มข้อมูลสนามบินภาคเหนือตอนบน กลุ่มข้อมูลสนามบินภาคเหนือตอนล่าง กลุ่มข้อมูลสนามบินที่มีภูเขาล้อมรอบ 1-2 ด้าน และกลุ่มข้อมูลสนามบินที่มีภูเขาล้อมรอบ 3-4 ด้าน โดยพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบันด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง และสร้างแบบจำลองการจำแนกด้วยอัลกอริทึมมาตรฐาน 3 อัลกอริทึม ได้แก่ Naive Bayes Decision Tree และ Neural Networks และอัลกอริทึมมาตรฐานร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม ซึ่งได้แก่ Bagging AdaBoost และ Random Forest และทำการปรับความสมดุลของข้อมูลด้วยเทคนิคการสุ่มตัวอย่างเกิน SMOTE และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธี 10-Fold Cross Validation ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับกลุ่มข้อมูลรวมสนามบินภาคเหนือ ระยะเวลาการพยากรณ์ 1 ชั่วโมงข้างหน้า คือ Random Forest โดยมีค่า F-measure เท่ากับร้อยละ 76.45 และค่าพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.888 และสำหรับระยะเวลาการพยากรณ์ 2 ชั่วโมงข้างหน้า คือ Neural Networks ร่วมกับ Bagging โดยมีค่า F-measure เท่ากับร้อยละ 30.62 และค่า AUC เท่ากับ 0.746

คำสำคัญ: พายุฝนฟ้าคะนอง พยากรณ์อากาศระยะปัจจุบัน การเรียนรู้ของเครื่อง แบบจำลองการจำแนก อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม

Abstract

The objectives of this research were to (1) create thunderstorm nowcasting models and (2) evaluate the efficiency of the nowcasting models for thunderstorm forecasting at northern Thailand's airports with forecasting times in one hour and two hours using machine learning techniques. The input datasets were obtained from the Meteorological Terminal Air Report (METAR) of nine airports located in northern Thailand. The hourly METAR reports generated by the Thai Meteorological Department during January 2015 and December 2022, covering a total of 364,382 datasets, were analyzed. All input data were divided into 5 groups: the group of all airports, airports in the upper northern, airports in the lower northern, airports surrounded by mountains, 1-2 sides, and 3-4 sides. By using machine learning algorithms, three classification standard algorithms were applied, including Naïve Bayes, Decision Tree, and Neural Networks. Three algorithmic methods with ensemble learning algorithms, including Bagging, AdaBoost, and Random Forest, were also used to create classification models. The Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) was used for balancing datasets, and the 10-fold cross-validation method was employed to evaluate predictive models. According to the results of the data group that included all airports for one-hour forecasting time, the Random Forest was the most effective model, with the F-measure value of 76.45% and the Area Under the Curve (AUC) of 0.888. For a two-hour forecasting time, the combination of neural networks and bagging was the most effective model, with an F-measure of 30.62% and an AUC of 0.746.

Keywords: thunderstorm, nowcasting, machine learning, classification model, ensemble learning algorithms



บทนำ

การพยากรณ์อากาศระยะปัจจุบัน หรือ Nowcasting เป็นการพยากรณ์สภาวะอากาศที่เกิดขึ้นในปัจจุบันสำหรับช่วงเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง ซึ่งข้อมูลการพยากรณ์อากาศระยะปัจจุบันนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรายงานข่าวอากาศการบิน (Meteorological Terminal Air Report--METAR) เนื่องจากนำมาใช้สำหรับการวางแผนการบินของสายการบินภายในประเทศและการจัดการจราจรทางอากาศของหน่วยงานประจำท่าอากาศยาน (Thai Meteorological Department, 2023) โดยเฉพาะการเกิดปรากฏการณ์พายุฝนฟ้าคะนอง (thunderstorm) ที่มีสภาวะอากาศที่เลวร้ายที่สุด มีลมกระโชกและกระแสอากาศพัดขึ้นลงรุนแรง ส่งผลให้ในระหว่างการขึ้นลงของเครื่องบินนักบินไม่สามารถควบคุมหรือรักษาระดับบินไว้ได้เป็นเหตุให้เครื่องบิน

ประสบอุบัติเหตุได้ ดังนั้นการแจ้งเตือนเหตุการณ์ล่วงหน้าของการเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบัน จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตัดสินใจของนักบินหรือหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจราจรทางอากาศโดยรอบสนามบิน สำหรับการพยากรณ์อากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาในระยะปัจจุบันเพื่อออกข่าวอากาศการบินนั้นดำเนินการโดยผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก นั่นคือ นักอุตุนิยมวิทยาประจำสนามบินวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศที่ได้จากการตรวจวัดสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา โดยระบบตรวจอากาศอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่บริเวณสนามบิน แล้วพิจารณาร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เช่น แบบจำลองพยากรณ์เชิงตัวเลข เรดาร์ตรวจอากาศ และดาวเทียมตรวจอากาศ เป็นต้น จากนั้นรายงานข่าวอากาศการบินที่ได้จากการตรวจวัดในชั่วโมงนั้น ๆ และออกคำเตือนพยากรณ์แนวโน้มสภาพอากาศแปรปรวนหรือการเกิด

พายุฝนฟ้าคะนองที่จะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมงข้างหน้า (trend forecast) ต่อท้ายข่าวอากาศการบินดังกล่าว โดยทำการประเมินผลความถูกต้องของการพยากรณ์จากข่าวอากาศการบินในชั่วโมงถัดไปว่ามีการแจ้งเตือนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนองทันหรือไม่ ซึ่งความถูกต้องของการพยากรณ์ในแต่ละสถานีตรวจอากาศการบินขึ้นอยู่กับความรู้ความสามารถและประสบการณ์ในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน โดยการปฏิบัติงานของนักอุตุนิยมวิทยาประจำสนามบินของภาคเหนือมีความยากลำบากในการพยากรณ์อากาศประกอบข่าวอากาศการบินเนื่องจากภาคเหนือของประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ เทือกเขา ที่ราบระหว่างหุบเขา และที่ราบลุ่ม รวมถึงมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับแล้ง สภาพภูมิอากาศทั่วไปอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากพายุจรต่าง ๆ ที่พัดผ่านเข้ามาในพื้นที่ (Environment and Pollution Control Office 2, 2021) ด้วยลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศดังกล่าวทำให้ลักษณะอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและเป็นเรื่องยากสำหรับการพยากรณ์อากาศระยะปัจจุบันได้อย่างถูกต้อง

ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวจึงควรมีการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องช่วยในการพยากรณ์ ในปัจจุบันมีการวิจัยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการพยากรณ์อากาศตามช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ที่สนใจ และพบว่าการพยากรณ์อากาศระยะสั้นลงทำให้ความแม่นยำเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์ฝนระยะปัจจุบันด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องโดยอิงข้อมูลน้ำฝนตรวจวัดในกรุงเทพมหานครที่ทำการศึกษาระยะเวลาพยากรณ์ 30-180 นาทีข้างหน้า พบว่า ระยะเวลาพยากรณ์ 30 นาที มีความแม่นยำสูงสุดและเมื่อระยะเวลาพยากรณ์มากขึ้นทำให้ความแม่นยำลดลง โดยระยะเวลาพยากรณ์ 90 นาทีเป็นระยะเวลาพยากรณ์นานที่สุดที่สามารถยอมรับค่าความแม่นยำได้ (Srithagon, 2021) รวมถึงงานวิจัยการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกสองแบบจำลองต่อกันสำหรับพยากรณ์ปริมาณฝนล่วงหน้า 1 ถึง 6 ชั่วโมงข้างหน้า พบว่า ระยะเวลาพยากรณ์ 1 ชั่วโมงมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด และเมื่อระยะเวลาพยากรณ์นานขึ้นทำให้ค่าความคลาด

เคลื่อนสูงขึ้น (Manokij, 2019) อีกทั้งยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อสร้างระบบเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับการแจ้งเตือนฝนตกหนักในระยะเวลาพยากรณ์ระยะสั้นมาก โดยทำการศึกษาระยะเวลาพยากรณ์ 3 ชั่วโมงข้างหน้า ซึ่งพบว่า แบบจำลองที่นำเสนอสามารถคาดการณ์ฝนตกหนักในระยะเวลาพยากรณ์ 3 ชั่วโมงได้ดี (Moon et al., 2019) เป็นต้น

งานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาที่ระยะเวลาพยากรณ์ 1 และ 2 ชั่วโมงข้างหน้า โดยพิจารณาระยะเวลาตามข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization--ICAO) ที่กำหนดให้สถานีตรวจอากาศการบินรายงานข่าวอากาศการบินทุกชั่วโมงและออกข่าวค่าเตือนพยากรณ์แนวโน้มสภาพอากาศในระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมง (Aeronautical Meteorology Division, 2015) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาระยะเวลาพยากรณ์ 1 และ 2 ชั่วโมงข้างหน้า เพื่อให้ครอบคลุมระยะเวลาการออกข่าวค่าเตือนพยากรณ์แนวโน้มการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และเพื่อให้การพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองมีความแม่นยำยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสนามบินในพื้นที่ภาคเหนือจำนวน 9 สนามบินจากทั้งหมด 11 สนามบิน (ยกเว้นสนามบินตากและสนามบินเพชรบูรณ์ที่ใช้สำหรับทางราชการเท่านั้น) โดยทั้ง 9 สนามบินนี้มีการรายงานข่าวอากาศการบินรายชั่วโมงโดยกรมอุตุนิยมวิทยา และเนื่องจากลักษณะพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยมีความหลากหลาย ผู้วิจัยจึงได้ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 กลุ่มข้อมูล คือ (1) กลุ่มข้อมูลรวมสนามบินภาคเหนือ (2) กลุ่มข้อมูลสนามบินภาคเหนือตอนบน (3) กลุ่มข้อมูลสนามบินภาคเหนือตอนล่าง (4) กลุ่มข้อมูลสนามบินที่มีภูเขาล้อมรอบ 1-2 ด้าน และ (5) กลุ่มข้อมูลสนามบินที่มีภูเขาล้อมรอบ 3-4 ด้าน จากนั้นใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องในการสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการแบ่งคลาสเพื่อจำแนกชนิด Binary ที่มีเพียงสองสถานะเท่านั้น เพื่อป้องกันปรากฏการณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง นั่นคือ ไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (NO TSRA) และเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (TSRA) จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธี 10-Fold Cross Validation ทำการพิจารณาค่าความแม่นยำ (accuracy) ค่าความเที่ยงตรง (precision)

ค่าความระลึก (recall) ค่าความถ่วงดุล (f-measure) และค่าพื้นที่ใต้กราฟ (Area Under the Curve--AUC) โดยคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่มข้อมูลด้วยค่า F-measure สูงสุดและพิจารณาค่า AUC ของแบบจำลอง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองใน 1 และ 2 ชั่วโมงข้างหน้า สำหรับการพยากรณ์อากาศระยะปัจจุบัน บริเวณสนามบินภาคเหนือของประเทศไทย

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองใน 1 และ 2 ชั่วโมงข้างหน้า สำหรับการพยากรณ์อากาศระยะปัจจุบัน บริเวณสนามบินภาคเหนือของประเทศไทย

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการศึกษาแนวคิดทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย มีรายละเอียด ดังนี้

1. การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning)

เป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) โดยอัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้ของเครื่อง จะทำการเรียนรู้โดยอัตโนมัติจากการเรียนรู้ในอดีตและทำการปรับปรุงการทำงานได้เองโดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมกำกับไว้หรือสั่งการเครื่อง การเรียนรู้ของเครื่องแบ่งออกเป็น Supervised Unsupervised และ Reinforcement Learning โดยที่อัลกอริทึมของ Supervised Learning จะเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน แต่ Unsupervised Learning จะเป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน โดยทั้ง 2 แบบ สามารถให้ค่าความแม่นยำได้เป็นอย่างดี (Gupta et al., 2022) ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองแบบ Supervised learning ประเภทแบบจำลองการจำแนก (classification model) จากอัลกอริทึมมาตรฐาน (standard classification) และอัลกอริทึมมาตรฐานร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม (ensemble learning algorithms) ซึ่ง Tanwanon et al. (2017) ได้ให้ความหมายของอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่มว่า เป็นวิธีการอาศัยแบบจำลองการจำแนกข้อมูล

มากกว่าหนึ่งตัว แต่ละแบบจำลองการจำแนกข้อมูลจะมีกระบวนการทำงานของตนเอง และทุกแบบจำลองการจำแนกจะสร้างจากกลุ่มข้อมูลเดียวกัน เมื่อได้ผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลอง ก็จะนำผลลัพธ์ที่ได้เหล่านั้นผ่านวิธีการรวบรวม (combination integration หรือ vote) และตัดสินใจผลลัพธ์สุดท้าย (final decision) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์การจำแนกข้อมูลเดียวกัน

ในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการสร้างแบบจำลอง โดยทบทวนวรรณกรรมและอ้างอิงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1.1 การปรับข้อมูลไม่สมดุล (imbalanced data)

ในกรณีที่มีข้อมูล 2 กลุ่มหรือมากกว่า ประกอบด้วยข้อมูลกลุ่มส่วนมาก (majority) และข้อมูลกลุ่มส่วนน้อย (minority) ถ้านำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองจะส่งผลให้แบบจำลองทำงานผิดพลาดนำไปสู่ปัญหาการแบ่งข้อมูลผิดกลุ่ม (Jantarakongkul et al., 2014) ซึ่งงานวิจัยโดย Dey and Pratap (2023) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการปรับข้อมูลไม่สมดุลโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างเกิน (oversampling) 3 วิธี ได้แก่ SMOTE Borderline-SMOTE และ ADASYN และใช้อัลกอริทึมการจำแนก ได้แก่ SVM KNN GaussianNB Decision Tree และ Random Forest ผลการวิจัยดังกล่าวพบว่า การใช้เทคนิค SMOTE ร่วมกับ Random Forest มีค่า Accuracy สูงสุด ขณะที่ Borderline-SMOTE และ ADASYN มีค่า Accuracy ที่ดีเมื่อใช้กับอัลกอริทึม SVM Decision tree และ Random Forest และงานวิจัยโดย Phaeobang and Sinsomboonthong (2019) ได้ศึกษาการปรับความไม่สมดุลของข้อมูลด้วย 4 วิธี คือ วิธีการสุ่มตัวอย่างเกิน วิธีการสุ่มตัวอย่างเกินโดยเทคนิค SMOTE วิธีการสุ่มตัวอย่างลด และวิธีการสุ่มตัวอย่างผสมผสาน พบว่า เทคนิค SMOTE เป็นวิธีปรับความไม่สมดุลที่ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองสูงสุด นอกจากนี้งานวิจัยโดย Sridee (2021) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องเพื่อตรวจจับงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลักษณะชุดข้อมูลที่นำเข้ามีจำนวนหลายแอตทริบิวต์และมีความไม่สมดุลสูง โดยใช้อัลกอริทึม SVM และ XGBoost ร่วมกับ 3 เทคนิคในการจัดการข้อมูลที่ไม่สมดุล ได้แก่ SMOTE Different Cost Learner และ SMOTE ร่วมกับ

Different Cost พบว่า การใช้เทคนิค SMOTE ร่วมกับ อัลกอริทึม XGBoost มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 การคัดเลือกคุณลักษณะ (feature selection)

ในวิธีดำเนินการวิจัยควรมีการคัดเลือกคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงใช้หน่วยความจำและเวลาประมวลผลลดลง (Chen et al., 2019) งานวิจัยโดย Khunsuk and Thongkam (2020) ได้ศึกษากระบวนการคัดเลือกคุณลักษณะสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกความคิดเห็นของลูกค้า โดยใช้การคัดเลือกคุณลักษณะของข้อความจำนวน 3 เทคนิค คือ Chi-Square Information Gain และ Gain Ratio แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยอัลกอริทึม Naive Bayes SVM KNN และ C4.5 พบว่า การคัดเลือกคุณลักษณะแบบ Information Gain ร่วมกับเทคนิค Naive Bayes ให้ผลที่ดีที่สุด

1.3 อัลกอริทึมสำหรับการสร้างแบบจำลอง

ที่ผ่านมาในงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ค้นหาอัลกอริทึมที่สามารถทำนายผลได้แม่นยำที่สุด อย่างไรก็ตามความเหมาะสมของอัลกอริทึมขึ้นอยู่กับลักษณะของชุดข้อมูลที่จะทำการศึกษาของแต่ละงานวิจัยและแนวทางการนำไปปรับใช้ เช่น งานวิจัยโดย Tanwanon et al. (2017) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่มเพื่อพยากรณ์แนวโน้มของราคาหลักทรัพย์ในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย โดยใช้อัลกอริทึม Random Forest SVM KNN Naive Bayes และอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่มด้วยเทคนิค Boosting ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่มสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์ได้ถึง 5%-14% และงานวิจัยโดย Nasritha et al. (2018) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างเพื่อการจำแนกข้อมูลที่ไม่สมดุล โดยใช้อัลกอริทึม CART Decision Tree Random Forest SVM และ Multilayer Perceptron ร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม ได้แก่ AdaBoost และ Bagging เพื่อสร้างแบบจำลองการจำแนก จากการวิจัยพบว่า เทคนิคการสุ่มตัวอย่างเกินสามารถปรับปรุงข้อมูลที่ไม่สมดุลได้ดีที่สุด และแบบจำลอง Random Forest

แบบจำลอง Random Forest ร่วมกับ AdaBoost และแบบจำลอง Random Forest ร่วมกับ Bagging มีค่าประสิทธิภาพการจำแนกที่ติดกับข้อมูลทั่วไคราะห์ในงานวิจัย

2. การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การทดสอบประสิทธิภาพเป็นขั้นตอนที่บ่งชี้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลที่ดีหรือไม่ ซึ่งมีเทคนิควิธีที่หลากหลาย เช่น งานวิจัยโดย Dey and Pratap (2023) ได้สร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้อัลกอริทึมที่หลากหลายร่วมกับการปรับข้อมูลไม่สมดุลด้วยเทคนิคต่าง ๆ โดยวัดประสิทธิภาพด้วยค่า Accuracy Precision Recall F-measure และ กราฟ Receiver Operating Characteristic--ROC นอกจากนี้ งานวิจัยของ Manokij (2019) ได้สร้างแบบจำลองการทำนายปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกสองแบบจำลองต่อกัน เพื่อทำนายปริมาณฝนล่วงหน้า 1 ถึง 6 ชั่วโมงข้างหน้า โดยข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยมีความไม่สมดุลระหว่างคลาสที่ฝนตกและฝนไม่ตก และเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยค่า F-measure เพื่ออธิบายความสามารถในการทำนายคลาสฝนตก รวมถึงงานวิจัยโดย Moon et al. (2019) ที่สร้างแบบจำลองสำหรับการแจ้งเตือนฝนตกหนักในการพยากรณ์ระยะสั้นมาก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า F-measure เนื่องจากเป็นชุดข้อมูลไม่สมดุลและค่าอัตราส่วนของจำนวนเหตุการณ์ที่ทำนายได้ถูกต้องว่าฝนตก และงานวิจัยของ Senawong et al. (2022) ทำการจำแนกข้อมูลขนาดใหญ่โดยใช้การจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีนและวิธีการเรียนรู้เชิงลึก แล้ววัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า Precision และค่า AUC

ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ จาก Confusion Matrix การเกิดพยากรณ์ผิดพลาดที่สามารถนำไปใช้กับการจำแนกคลาสชนิด Binary ของงานวิจัยนี้ได้ ดังตาราง 1 ที่แสดงค่า True Positive--TP False Positive--FP False Negative--FN และ True Negative--TN

ตาราง 1

Confusion Matrix

	แท้จริง “เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง”	แท้จริง “ไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง”
ทำนายว่า “เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง”	True Positive--TP	False Positive--FP
ทำนายว่า “ไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง”	False Negative--FN	True Negative--TN

จากตาราง 1 TP คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายว่าเกิดพายุฝนฟ้าคะนองแล้วเกิดขึ้นจริง
 FP คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายว่าเกิดพายุฝนฟ้าคะนองแต่แท้จริงไม่เกิด
 FN คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายว่าไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนองแต่แท้จริงเกิด
 TN คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายว่าไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนองแล้วไม่เกิดขึ้นจริง

และสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1-4 Promla and Sanrach (2020)

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

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

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

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

ค่า AUC คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟ ROC ซึ่งเป็นกราฟที่พล็อตระหว่างค่า Specificity (แกน x) และค่า Sensitivity (แกน y) เพื่อนำเสนอประสิทธิภาพของการจำแนกคลาสชนิด Binary โดยแบ่งผลลัพธ์ของการพยากรณ์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เกิดเหตุการณ์และกลุ่มที่ไม่เกิดเหตุการณ์ (Lamprakhon, 2017) โดย AUC จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 เมื่อค่า AUC เข้าใกล้ 1 หมายความว่าแบบจำลองในภาพรวมสามารถจำแนกข้อมูลได้ดีมาก ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5-7 (Senawong et al., 2022) ทั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าสมการที่ 3 และสมการที่ 6 ค่าตัวแปรที่ใช้คำนวณเป็นค่าเดียวกันแต่ทั้งสองสมการนี้ใช้แตกต่างกัน คือ สมการที่ 3 ใช้แสดงค่าความระลึกลำดับสำหรับหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง ส่วนสมการที่ 6 นำเสนอ

ค่า True Positive Rate สำหรับพล็อตกราฟ ROC

$$AUC = \frac{Sensitivity + Specificity}{2} \quad (5)$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad (7)$$

และเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพจากค่า AUC เป็น ดังนี้

“0.5 ≤ AUC < 0.7 คือ แบบจำลองมีประสิทธิภาพต่ำ”

“0.7 ≤ AUC < 0.8 คือ เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบบจำลองส่วนใหญ่”

“0.8 ≤ AUC < 0.9 คือ แบบจำลองทำงานได้ดี”

“AUC > 0.9 คือ แบบจำลองทำงานได้ดีมาก”

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบันที่มีระยะเวลาพยากรณ์ 1 และ 2 ชั่วโมงข้างหน้า โดยมีการปรับสมดุลข้อมูลด้วยเทคนิค SMOTE เพื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลกลุ่มส่วนน้อยให้มีจำนวนข้อมูลใกล้เคียงกับกลุ่มส่วนมาก โดยสุ่มตัวอย่างข้อมูลขึ้นมาหนึ่งตัวและหาค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลที่เลือกกับข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด (Chawla et al., 2002) และตามผลการวิจัยที่เสนอโดย Phaeobang and

Sinsomboonthong (2019) ซึ่งใช้เทคนิค SMOTE เพื่อให้แบบจำลองมีค่า Accuracy สูงสุด และผู้วิจัยดำเนินการคัดเลือกคุณลักษณะโดยใช้เทคนิค Information Gain และ Chi-Square สำหรับหาค่าน้ำหนักในการคัดเลือกคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องและกำจัดคุณลักษณะที่ไม่เกี่ยวข้องออก หลังจากนั้นทำการสร้างแบบจำลองการจำแนกข้อมูลด้วยอัลกอริทึมมาตรฐาน ได้แก่ Naive Bayes Decision Tree และ Neural Networks และจากงานวิจัยโดย Tanwanon et al. (2017) พบว่า ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่มแล้วมีค่าประสิทธิภาพการจำแนกที่ดีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงสร้างแบบจำลองอัลกอริทึมมาตรฐานร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม ได้แก่ Bagging AdaBoost และ Random Forest เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบันให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

กรอบแนวคิดการวิจัย

จากกรอบแนวคิดวิจัยดังแสดงในภาพ 1 มีการนำเข้าสู่ชุดข้อมูลข่าวอากาศการบิน จากนั้นชุดข้อมูลทั้งหมดจะถูกเตรียมข้อมูลก่อนการสร้างแบบจำลอง โดยแบ่งชุดข้อมูลข่าวอากาศการบินทั้งหมดออกเป็น 5 กลุ่มข้อมูลตามขอบเขตและลักษณะพื้นที่ของสนามบินภาคเหนือของประเทศไทย และแบ่งแต่ละกลุ่มข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ (1) ชุดข้อมูลฝึกฝน (training data set) และ (2) ชุดข้อมูลทดสอบ (testing data set) เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง โดยใช้อัลกอริทึมมาตรฐานสำหรับสร้างแบบจำลองเดียวกัน ได้แก่ Naive Bayes Decision Tree และ Neural Networks และอัลกอริทึมมาตรฐานร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม ได้แก่ Bagging AdaBoost และ Random Forest จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพโดยเลือกแบบจำลองที่มีค่า F-measure สูงสุดของแต่ละกลุ่มข้อมูลและพิจารณาค่า AUC ของแบบจำลองดังกล่าว

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูลก่อนสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 ม.ค. 2558 ถึง 31 ธ.ค. 2565 รวมระยะเวลา 8 ปี ซึ่งเป็นข้อมูลราย

ชั่วโมงของข่าวอากาศการบินของสนามบินภาคเหนือ 9 สนามบินซึ่งรายงานโดยกรมอุตุนิยมวิทยา มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 364,382 ชุดข้อมูลแล้วทำการแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มข้อมูล เนื่องจากปัจจัยทางด้านลักษณะภูมิประเทศที่มีภูเขาล้อมรอบส่งผลทำให้สารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ได้แก่ ทิศทางลม ความเร็วลม การเกิดลมกระโชก สภาพอากาศปัจจุบัน ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศ แล้ววิเคราะห์ตามขอบเขตและลักษณะพื้นที่ของสนามบินภาคเหนือของประเทศไทย ตามเกณฑ์การแบ่งพื้นที่ของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังนี้ (Northern Met., 2023)

กลุ่มข้อมูลที่ 1 รวมสนามบินภาคเหนือ ได้แก่ ท่าอากาศยานแม่ฮ่องสอน ท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่ ท่าอากาศยานแม่ฟ้าหลวงเชียงราย ท่าอากาศยานลำปาง ท่าอากาศยานแพร่ ท่าอากาศยานน่านนคร ท่าอากาศยานนานาชาติแม่สอด ท่าอากาศยานสุโขทัย และท่าอากาศยานพิษณุโลก

กลุ่มข้อมูลที่ 2 สนามบินภาคเหนือตอนบน ได้แก่ ท่าอากาศยานแม่ฮ่องสอน ท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่ ท่าอากาศยานแม่ฟ้าหลวงเชียงราย ท่าอากาศยานลำปาง ท่าอากาศยานแพร่ และท่าอากาศยานน่านนคร

กลุ่มข้อมูลที่ 3 สนามบินภาคเหนือตอนล่าง ได้แก่ ท่าอากาศยานนานาชาติแม่สอด ท่าอากาศยานสุโขทัย และท่าอากาศยานพิษณุโลก

กลุ่มข้อมูลที่ 4 สนามบินที่มีภูเขาล้อมรอบ 1-2 ด้าน ได้แก่ ท่าอากาศยานสุโขทัย และท่าอากาศยานพิษณุโลก

กลุ่มข้อมูลที่ 5 สนามบินที่มีภูเขาล้อมรอบ 3-4 ด้าน ได้แก่ ท่าอากาศยานแม่ฮ่องสอน ท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่ ท่าอากาศยานแม่ฟ้าหลวงเชียงราย ท่าอากาศยานลำปาง ท่าอากาศยานแพร่ ท่าอากาศยานน่านนคร และท่าอากาศยานนานาชาติแม่สอด

ข่าว 1 และ ข่าว 2 เป็นตัวอย่างข่าวอากาศการบินในรูปแบบข้อความรหัส ชุดข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วยข้อมูลดิบที่เป็นเนื้อข่าว 13 ส่วน ดังแสดงในตาราง 2 ดังนี้

ข่าว 1: METAR VTCC 011900Z 35010G25KT 1200 R36/1200 +TSRA FEW025CB BKN035 25/22 Q1013 BECMG 3000 TSRA=

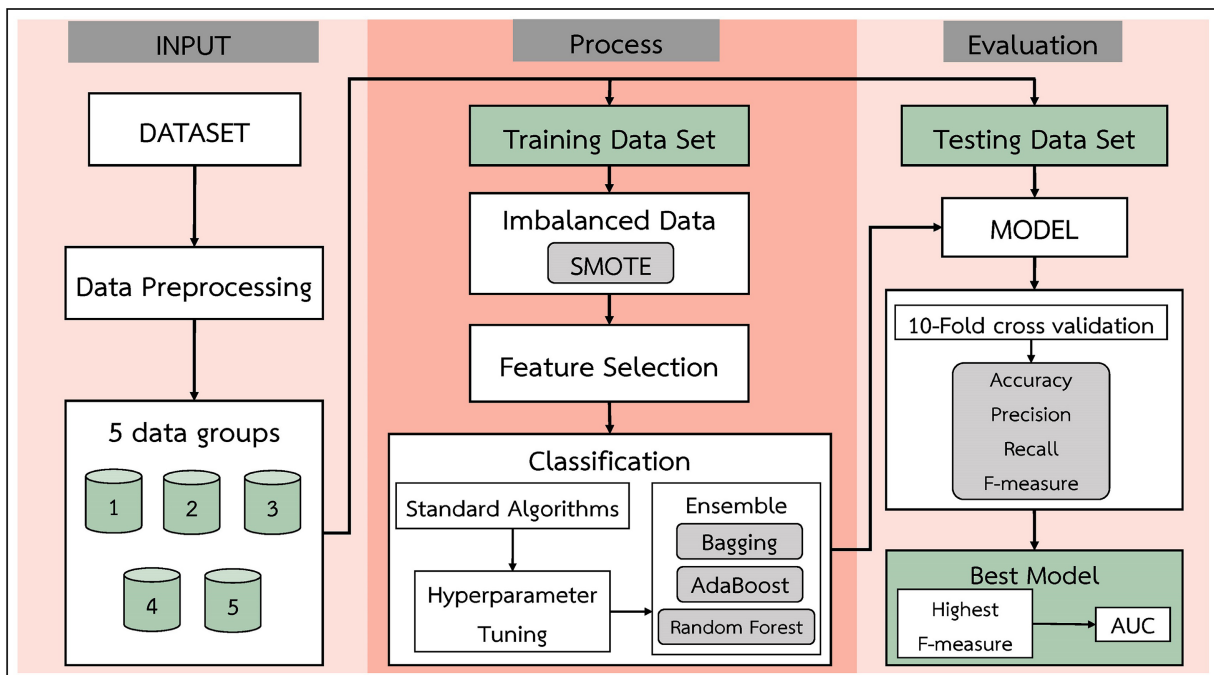
ข่าว 2: METAR VTCC 012000Z 07009KT
5000 TSRA FEW025CB BKN035 24/22 Q1013 RERA
TEMPO 2500 +TSRA=

จากตาราง 2 เนื้อหาข่าวอากาศการบินจะประกอบไปด้วย 13 ส่วน คือ (1) ประเภทของรายงาน (2) รหัสท่าอากาศยาน (3) เวลาตรวจอากาศการบิน (4) การตรวจอากาศการบินด้วยระบบอัตโนมัติ (5) ลมผิวพื้น (6) ทิศนวิสัย (7) พิสัยการมองเห็นบนทางวิ่ง (8) สภาพอากาศปัจจุบัน (9) เมฆ (10) อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (11) ความกดอากาศ (12) ข่าวสารเพิ่มเติม และ (13) การพยากรณ์แนวโน้มสภาวะอากาศบริเวณสนามบิน ซึ่งส่วนที่ (1)-(12) ได้จากการตรวจวัดค่าสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาจริงด้วยคนและเครื่องมือตรวจอากาศการบิน และส่วนที่ (13) เป็นส่วนต่อท้ายข่าวที่เป็นการพยากรณ์แนวโน้มสภาพอากาศบริเวณสนามบินที่จะเกิดขึ้นภายใน 2 ชั่วโมงข้างหน้า หรือที่เรียกว่าTrend Forecasts โดยข่าวแต่ละชั่วโมงจะถูกรายงานนาที่ที่ 0 และสามารถส่งข่าวล่าช้าได้ไม่เกินนาที่ที่ 3

เมื่อทำการรวบรวมข่าวอากาศการบินทั้งหมดแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะถูกปรับให้สมบูรณ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยทำความสะอาดข้อมูลเพื่อให้อยู่

ในรูปแบบที่ถูกต้องและสมบูรณ์ จากการวิเคราะห์พบว่าข้อมูลบางส่วนที่สูญหาย (missing value) เกิดจาก (1) ความผิดพลาดในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล จึงแทนที่ข้อมูลที่สูญหายด้วยค่าที่ถูกต้อง และ (2) ความบกพร่องของอุปกรณ์ตรวจวัดที่บันทึกค่าการตรวจวัดไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ จึงได้ตัดชุดข้อมูลนั้นทิ้งไป จากนั้นทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบช่วงข้อมูลเพื่อให้มีการกระจายอย่างเป็นรูปแบบและลดเวลาในการประมวลผลของแบบจำลอง โดยรายละเอียดคุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังตาราง 3

จากนั้นทั้ง 5 กลุ่มข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเพื่อนำเข้าสู่แบบจำลอง คือ (1) ชุดข้อมูลฝึกฝน ใช้ข้อมูลในปีพ.ศ. 2558-2563 รวม 6 ปี นำเข้าเพื่อใช้สอนและปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และ (2) ชุดข้อมูลทดสอบ ใช้ข้อมูลในปีพ.ศ.2564-2565 รวม 2 ปี นำเข้าเพื่อทดสอบว่าสามารถทำงานได้ดีกับชุดข้อมูลที่ไม่เคยพบมาก่อนหรือไม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการแบ่งเป็น 2 คลาสเพื่อการจำแนกการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง นั่นคือ ไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (NO TSRA) และเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (TSRA) โดยจำนวนชุดข้อมูลที่นำเข้าในการสร้างแบบจำลองแสดงดังตาราง 4



ภาพ 1 กรอบแนวคิดวิจัย

ตาราง 2

ตัวอย่างการแปลความข่าวอากาศการบิน

ส่วนที่	เนื้อหาข่าว	การแปลความข่าว
1	METAR	ประเภทข่าว METAR
2	VTCC	รหัสท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่
3	011900Z	วันที่ 1 เวลา 19.00 UTC หรือเวลา 02.00 น.
4	-	หากส่งผ่านระบบอัตโนมัติจะแสดง AUTO
5	35010G25KT	ทิศทางลม 350 องศา ความเร็วลม 10 นอต และมีลมกระโชกความเร็ว 25 นอต
6	1200	ทัศนวิสัย 1200 เมตร
7	R36/1200	พิกัดการมองเห็นสูงสุดบนทางวิ่งหมายเลข 36 เท่ากับ 1,200 เมตร
8	+TSRA	เกิดพายุฝนฟ้าคะนองขนาดเล็ก
9	FEW025CB BKN035	มีเมฆ Cumulonimbus ฐาน 2,500 ฟุต จำนวน 1-2 ส่วนจากทั้งหมด 8 ส่วน และมีเมฆฐาน 3,500 ฟุต จำนวน 5-7 ส่วน จากทั้งหมด 8 ส่วน
10	25/22	อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 25 °C และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง เท่ากับ 22 °C
11	Q1013	ความกดอากาศหักแก้มสูงระดับน้ำทะเลปานกลาง เท่ากับ 1,013 มิลลิบาร์
12	RERA (ข่าวที่ 2)	ความรุนแรงของฝนที่ตกได้ลดลงจากข่าวก่อนหน้า
13	BECMG 3000 TSRA	คาดว่าใน 2 ชั่วโมงข้างหน้าจะเกิดพายุฝนฟ้าคะนองปานกลาง ทัศนวิสัยเท่ากับ 3,000 เมตร

ตาราง 3

รายละเอียดคุณลักษณะ (attribute) ของข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

คุณลักษณะ	คำอธิบาย	ประเภทข้อมูล	ค่าข้อมูล
W_direct	ทิศทางลม	Polynomial	CLAM, VRB, N, NE, E, SE, S, SW, W, NW
W_speed	ความเร็วลม	Polynomial	CLAM, LIGHT BREEZE, MODERATE BREEZE, STRONG BREEZE
GUST	การเกิดลมกระโชก	Binomial	YES, NO
WW	สภาพอากาศปัจจุบัน	Polynomial	NO, Light rain, Moderate Rain, Heavy Rain, TSRA, VC Rain, Obscurations
M_Cloud	เมฆพายุฝนฟ้าคะนอง	Polynomial	NO, CB, TCU
QNH	ความกดอากาศ	Polynomial	Low, MSL, High
Humidity	ความชื้นสัมพัทธ์	Binomial	Dry, High Moisture
Visibility	ทัศนวิสัย	Polynomial	A, B, C

ตาราง 4

จำนวนข้อมูลที่นำเข้าในการสร้างแบบจำลอง

กลุ่มข้อมูล	จำนวนชุดข้อมูล	Training Data Set				Testing Data Set			
		พยากรณ์ 1 ชั่วโมง		พยากรณ์ 2 ชั่วโมง		พยากรณ์ 1 ชั่วโมง		พยากรณ์ 2 ชั่วโมง	
		NO TSRA	TSRA	NO TSRA	TSRA	NO TSRA	TSRA	NO TSRA	TSRA
รวมสนามบินภาคเหนือ	364,382	258,773	2,023	258,782	2,014	102,547	1,039	102,556	1,030
ภาคเหนือตอนบน	260,676	185,667	1,531	185,659	1,539	72,653	825	72,650	828
ภาคเหนือตอนล่าง	103,706	73,106	492	73,123	475	29,894	214	29,906	202
ภูเขาล้อมรอบ 1-2 ด้าน	76,297	55,348	437	55,363	422	20,334	178	20,346	166
ภูเขาล้อมรอบ 3-4 ด้าน	288,085	203,425	1,586	203,419	1,592	82,213	861	82,210	864

2. การสร้างแบบจำลอง

2.1 การปรับชุดข้อมูลไม่สมดุล

ในงานวิจัยนี้มีชุดข้อมูลไม่สมดุล คือ คลาสไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (NO TSRA) มีจำนวนมากกว่าคลาสเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (TSRA) และผู้วิจัยได้เลือกทำกระบวนการเพื่อจัดการปรับความไม่สมดุลของข้อมูลก่อนการคัดเลือกคุณลักษณะ เนื่องจากข้อมูลที่ไม่สมดุลกันทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนในการเรียนรู้ ซึ่งคุณลักษณะที่มีจำนวนน้อยอาจถูกมองข้ามและไม่ถูกพิจารณาว่าเป็นสิ่งสำคัญส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลองได้ โดยปรับความสมดุลของข้อมูลด้วยเทคนิคการสุ่มตัวอย่างเกิน หรือเทคนิค SMOTE ในงานวิจัยนี้ใช้โอเปอเรเตอร์ Optimize Parameter (Grid) ช่วยในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับ K (number of nearest neighbors) ของแต่ละอัลกอริทึม

2.2 การคัดเลือกคุณลักษณะ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่สนใจและกำจัดคุณลักษณะที่ไม่เกี่ยวข้องออกก่อนนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลอง เพื่อหาค่าน้ำหนักความเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่สนใจโดยใช้วิธี Information Gain และ Chi-Square ข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างแบบจำลองมี 8 คุณลักษณะ ได้แก่ ทิศทางลม ความเร็วลม การเกิดลมกระโชก ทิศวนวิสัย สภาพอากาศปัจจุบัน เมฆพายุฝนฟ้าคะนอง ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศ

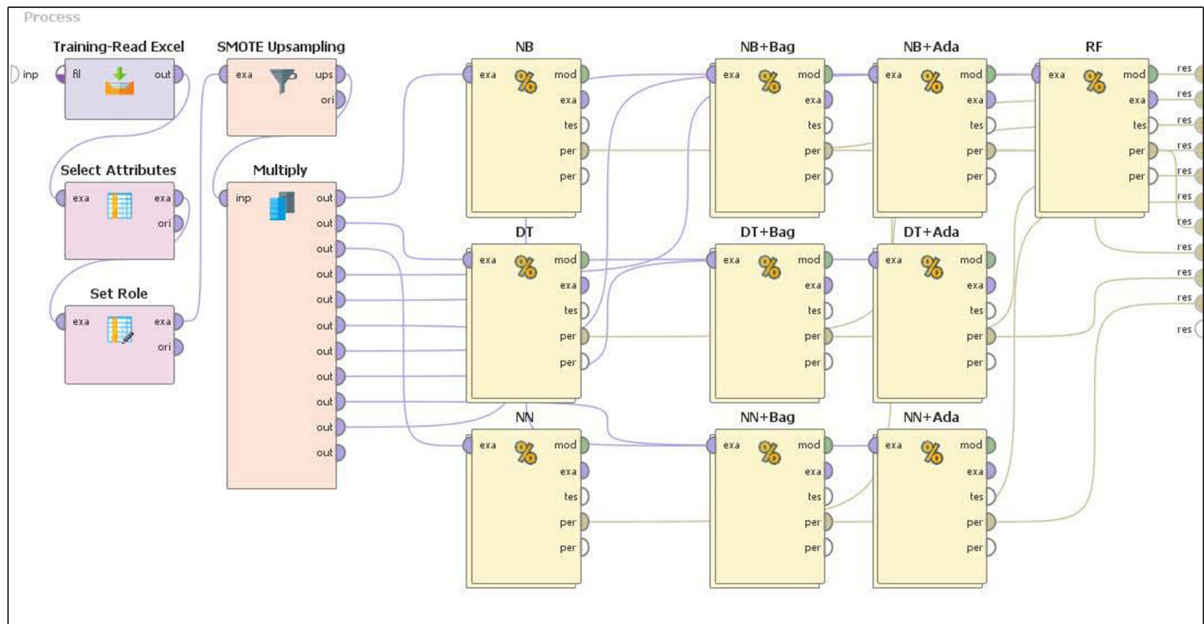
2.3 การปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในงานวิจัย

ขั้นตอนการปรับค่าพารามิเตอร์มีผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองในการเรียนรู้ของเครื่อง โดยจากงานวิจัยของ Thummikarat (2020) เกี่ยวกับการวินิจฉัยโรคพาร์กินสัน

โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ได้ใช้วิธีการค้นหาแบบกริด (Grid Search) เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดและให้ได้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่เหมาะสมโดยไม่เกิดการ Over Fitting หรือ Under Fitting ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้โอเปอเรเตอร์ Optimize Parameter (Grid) มาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของอัลกอริทึม ได้แก่ Decision Tree Neural Networks และ Random Forest ส่วน Naive Bayes ไม่มีการปรับค่าพารามิเตอร์

2.4 การสร้างแบบจำลองอัลกอริทึมมาตรฐานและอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม

จากภาพ 2 แบ่งการสร้างแบบจำลองเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การสร้างแบบจำลองโดยอัลกอริทึมมาตรฐาน ได้แก่ Naive Bayes Decision Tree และ Neural Networks และส่วนที่ 2 การสร้างแบบจำลองโดยอัลกอริทึมมาตรฐานร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม ได้แก่ Bagging AdaBoost และ Random Forest และในขั้นตอนนี้จะใช้ชุดข้อมูลฝึกฝนในการเรียนรู้ของแบบจำลอง และปรับค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมตามขั้นตอนก่อนหน้า ดังนั้นทั้ง 5 กลุ่ม ข้อมูลจึงถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมโดยแบบจำลองที่ถูกสร้างได้แก่ (1) Naive Bayes--NB (2) Decision Tree--DT (3) Neural Networks--NN (4) Naive Bayes+Bagging--NB+Bag (5) Decision Tree+Bagging--DT+Bag (6) Neural Networks+Bagging--NN+Bag (7) Naive Bayes+AdaBoost--NB+Ada (8) Decision Tree+AdaBoost--DT+Ada (9) Neural Networks+AdaBoost--NN+Ada และ (10) Random Forest--RF



ภาพ 2 การสร้างแบบจำลองด้วย RapidMiner Studio

3. การทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองด้วยวิธี 10-Fold Cross Validation โดยนำเข้าสู่ชุดข้อมูลทดสอบ ซึ่งเป็นข้อมูลในปี พ.ศ.2564-2565 รวม 2 ปี เพื่อทดสอบแต่ละแบบจำลองว่าสามารถทำงานได้ดีกับชุดข้อมูลที่ไม่เคยพบมาก่อนหรือไม่ และทำการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองเหล่านี้ด้วยค่า Accuracy Precision Recall และค่า F-measure

4. การคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด

ในงานวิจัยนี้มีการคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละกลุ่มข้อมูล โดยพิจารณาจากค่า F-measure สูงสุด ซึ่งจะสามารถวัดผลจากคลาส Positive ของแบบจำลองที่หามาได้จากการคำนวณค่า Precision และ Recall ทำให้บ่งชี้การทำนายคลาสเกิดพยาธิฝุ่นฟ้าคะนอง (TSRA Class) ได้ จากนั้นพิจารณาค่า AUC ของแบบจำลองแต่ละกลุ่มข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. Microsoft Excel เพื่อจัดเก็บข้อมูล เตรียมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแผนภูมิต่าง ๆ

2. RapidMiner Studio เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์เชิงทำนาย ซึ่งมีโอเพอร์เรเตอร์ที่หลากหลายช่วยให้สามารถประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองตามความต้องการของผู้ใช้ และมีการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบแผนภูมิทำให้ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ง่ายยิ่งขึ้น

ผลการวิจัย

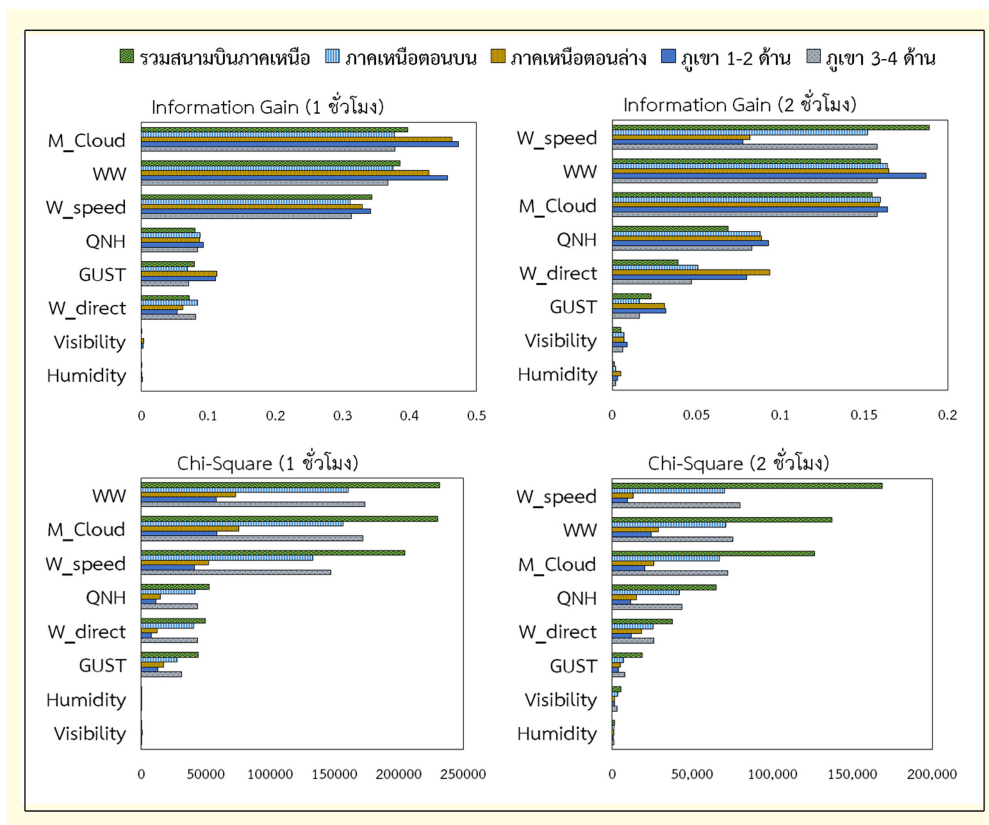
1. ผลการสร้างแบบจำลอง

1.1 ผลการปรับชุดข้อมูลไม่สมดุล
ผลการหาค่า K ที่เหมาะสมสำหรับ K-Nearest Neighbors โดยการปรับชุดข้อมูลไม่สมดุลด้วยเทคนิค SMOTE ด้วยโอเพอร์เรเตอร์ Optimize Parameter (Grid) พบว่า ได้ค่า K ของแต่ละอัลกอริทึมเท่ากับ 1 ในทุกแบบจำลอง

1.2 ผลการคัดเลือกคุณลักษณะ
จากภาพ 3 แผนภูมิแสดงค่าน้ำหนักการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี Information Gain และ Chi-Square

พบว่า สำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 1 และ 2 ชั่วโมงข้างหน้า นั้น ลำดับค่าน้ำหนักของคุณลักษณะมีความใกล้เคียงกันในทุก ๆ แบบจำลองทั้ง 2 ระยะเวลาพยากรณ์ อย่างไรก็ตามพบว่า คุณลักษณะความชื้นสัมพัทธ์ (humidity) และทัศนวิสัย (visibility) มีค่าน้ำหนักความเกี่ยวข้องกับตัวแปรน้อยที่สุดแตกต่างจากคุณลักษณะอื่น ๆ อย่างชัดเจน จึงได้ตัดทั้งสองคุณลักษณะดังกล่าวออก ทำให้เหลือเพียง 6 คุณลักษณะที่เป็นข้อมูลสำคัญนำเข้าสู่แบบจำลองการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบัน ได้แก่ ทิศทางลม (W_direct) ความเร็วลม (W_speed) การเกิดลมกระโชก (GUST) สภาพอากาศปัจจุบัน (WW) เมฆพายุฝนฟ้าคะนอง (M_Cloud) และความกดอากาศ (QNH)

1.3 ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในงานวิจัย
ในงานวิจัยนี้ใช้โอเพอเรเตอร์ Optimize Parameter (Grid) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาแบบกริดสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในตาราง 5 ในการสร้างแบบจำลองขั้นตอนต่อไปและท้ายที่สุดพบว่า สำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 1 ชั่วโมงข้างหน้า ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ไม่ทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นเกิด Over Fitting หรือ Under Fitting เนื่องจากเมื่อนำเข้าข้อมูลทดสอบแล้วแบบจำลองยังสามารถทำนายการเกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้ดี แต่สำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมงข้างหน้า ถึงแม้จะปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วก็ตามแต่แบบจำลองที่ทำการศึกษายังทำนายการเกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้ไม่ดี



ภาพ 3 แผนภูมิแสดงค่าน้ำหนักการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี Information Gain และ Chi-Square

ตาราง 5

ผลการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในงานวิจัย

อัลกอริทึม	พารามิเตอร์	รวมสนามบิน		ภาคเหนือ		ภาคเหนือ		ภูเขาล้อมรอบ		ภูเขาล้อมรอบ	
		ภาคเหนือ		ตอนบน		ตอนล่าง		1-2 ด้าน		3-4 ด้าน	
		1 ชม.	2 ชม.	1 ชม.	2 ชม.	1 ชม.	2 ชม.	1 ชม.	2 ชม.	1 ชม.	2 ชม.
Decision Tree	Criterion	gini_index	gini_index	gini_index	gini_index	gain_ratio	inform_gain	gini_index	inform_gain	gain_ratio	gini_index
	Maximum Depth	9	9	8	8	8	8	8	8	9	9
	minimal leaf size	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2
	minimal size for split	9	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Neural Networks	Training Cycle	282	138	45	166	80	291	294	255	262	152
	Learning Rate	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Momentum	0.7	0.9	0.5	0.8	0.6	0.6	0.8	0.9	0.7	0.7
Random Forest	Number of Trees	19	81	22	51	14	12	13	71	13	81
	Random Forest	gain_ratio	gain_ratio	gain_ratio	gain_ratio	gain_ratio	gain_ratio	inform_gain	gain_ratio	gain_ratio	gini_index
	Maximum Depth	7	7	12	12	10	10	12	12	8	8

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง สำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 1 ชั่วโมง ข้างหน้า แสดงดังตาราง 6 เมื่อพิจารณาค่า Accuracy ของทุกชุดข้อมูล พบว่า มีค่า Accuracy มากกว่า 98% ในทุกอัลกอริทึม โดยเกิดจากการทำนายคลาสไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้ถูกต้องซึ่งเป็นคลาสที่มีมากกว่านั่นเอง แต่หากพิจารณาจากค่า F-measure ที่สามารถบ่งชี้เฉพาะการทำนายของคลาสการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง พบว่า ค่า F-measure สูงสุด สำหรับ (1) กลุ่มข้อมูลรวมสนามบินภาคเหนือ คือ Random Forest เท่ากับ 76.45% (2) กลุ่มข้อมูลภาคเหนือตอนบน คือ Neural Networks เท่ากับ 77.64% และ Neural Networks ร่วมกับ AdaBoost เท่ากับ 77.64% (3) กลุ่มข้อมูลภาคเหนือตอนล่าง คือ

Neural Networks เท่ากับ 70.69% Neural Networks ร่วมกับ Bagging เท่ากับ 70.69% และ Neural Networks ร่วมกับ AdaBoost เท่ากับ 70.69% (4) กลุ่มข้อมูลสนามบินที่มีภูเขาล้อมรอบ 1-2 ด้าน คือ Neural Networks ร่วมกับ Bagging เท่ากับ 69.12% และ (5) กลุ่มข้อมูลสนามบินที่มีภูเขาล้อมรอบ 3-4 ด้าน คือ Random Forest เท่ากับ 77.53%

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง สำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมง ข้างหน้า แสดงดังตาราง 7 เมื่อพิจารณาค่า Accuracy ของทุกชุดข้อมูล พบว่า มีค่า Accuracy มากกว่า 98% ในทุกอัลกอริทึม โดยเกิดจากการทำนายคลาสไม่เกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้ถูกต้องซึ่งเป็นคลาสที่มีมากกว่านั่นเอง และเมื่อพิจารณาจากค่า F-measure ซึ่งสามารถบ่งชี้เฉพาะ

ถึงการทำนายของคลาสการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง พบว่าแบบจำลองที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีค่า F-measure ของแต่ละชุดข้อมูลต่ำไม่ถึง 50% นั่นคือ ยังไม่สามารถทำนายการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง สำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมงข้างหน้าได้อย่างถูกต้อง

3. ผลการคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด

การคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดจะพิจารณาผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองจากตาราง 6 และ 7 เพื่อทำการเปรียบเทียบค่า F-measure สูงสุดของแต่ละกลุ่มข้อมูล โดยบางกลุ่มข้อมูลที่อัลกอริทึมมีค่า F-measure เท่ากันนั้น ผู้วิจัยจะพิจารณาค่า AUC ที่มาก

กว่าเพื่อเลือกเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับกลุ่มข้อมูลนั้น โดยสรุปผลการคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่มข้อมูลที่ถูกนำมาวิเคราะห์ตามลักษณะพื้นที่สนามบินแสดงดังตาราง 8 ซึ่งสำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 1 ชั่วโมง พบว่ามีค่า F-measure ระหว่าง 69.12-77.64% และค่า AUC ระหว่าง 0.8-0.9 ซึ่งจัดว่าเป็นแบบจำลองที่ทำงานได้ดี (Senawong et al., 2022) แต่สำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมง ในทุก ๆ อัลกอริทึมยังมีประสิทธิภาพการทำนายการเกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้ไม่ดีเท่าที่ควร โดยพิจารณาจากค่า F-measure ที่มีค่าระหว่าง 21.39-30.62% และเมื่อพิจารณาค่า AUC พบว่า เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพต่ำใกล้เคียงกับแบบจำลองมาตรฐานทั่วไปเท่านั้น

ตาราง 6

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 1 ชั่วโมง

กลุ่มข้อมูล	Performance	แบบจำลอง									
		อัลกอริทึมมาตรฐาน					อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม				
		NB	DT	NN	NB+Bag	DT+Bag	NN+Bag	NB+Ada	DT+Ada	NN+Ada	RF
รวมสนามบินภาคเหนือ	Accuracy	98.88	99.49	99.61	98.88	99.49	99.61	98.88	99.49	99.61	99.61
	Precision	45.99	96.90	97.31	45.99	96.90	97.32	45.99	96.90	97.31	97.32
	Recall	64.10	51.11	62.75	64.10	51.11	62.85	64.10	51.11	62.75	62.95
	F-measure	53.56	66.92	76.30	53.56	66.92	76.37	53.56	66.92	76.30	76.45
	AUC	0.884	0.856	0.888	0.884	0.856	0.851	0.859	0.758	0.886	0.888
ภาคเหนือตอนบน	Accuracy	98.77	99.50	99.57	98.78	99.50	99.58	98.77	99.50	99.57	99.58
	Precision	46.50	96.15	93.66	46.94	96.13	96.15	46.50	96.15	93.66	95.40
	Recall	66.06	57.45	66.30	66.06	57.21	57.58	66.06	57.45	66.30	65.33
	F-measure	54.58	71.93	77.64	54.88	71.73	72.02	54.58	71.93	77.64	77.55
	AUC	0.891	0.869	0.862	0.891	0.873	0.880	0.867	0.790	0.831	0.896
ภาคเหนือตอนล่าง	Accuracy	99.07	99.67	99.68	99.07	99.67	99.68	99.07	99.67	99.68	99.67
	Precision	39.42	100.00	100.00	39.42	100.00	100.00	39.42	100.00	100.00	98.32
	Recall	57.48	53.74	54.67	57.48	53.74	54.67	57.48	53.74	54.67	54.67
	F-measure	46.77	69.91	70.69	46.77	69.91	70.69	46.77	69.91	70.69	70.27
	AUC	0.863	0.788	0.833	0.863	0.788	0.852	0.829	0.769	0.859	0.840
ภูเขา 1-2 ด้าน	Accuracy	98.87	99.59	99.59	98.87	99.50	99.59	98.87	99.59	99.59	99.58
	1-2 ด้าน	39.20	100.00	98.95	39.20	100.00	100.00	39.20	100.00	98.95	97.92
	Recall	55.06	52.25	52.81	55.06	42.13	52.81	55.06	52.25	52.81	52.81
	F-measure	45.79	68.63	68.86	45.79	59.29	69.12	45.79	68.63	68.86	68.61
	AUC	0.864	0.786	0.814	0.864	0.736	0.867	0.832	0.761	0.764	0.797

ตาราง 6 (ต่อ)

กลุ่มข้อมูล	Performance	แบบจำลอง									
		อัลกอริทึมมาตรฐาน					อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม				
		NB	DT	NN	NB+Bag	DT+Bag	NN+Bag	NB+Ada	DT+Ada	NN+Ada	RF
ภูเขา 3-4 ด้าน	Accuracy	98.89	99.49	99.60	98.89	99.49	99.61	98.89	99.49	99.60	99.61
	Precision	47.53	96.40	93.71	47.58	96.40	96.20	47.53	96.40	93.71	96.21
	Recall	65.97	52.85	65.74	66.09	52.85	64.69	65.97	52.85	65.74	64.92
	F-measure	55.25	68.27	77.27	55.32	68.27	77.36	55.25	68.27	77.27	77.53
	AUC	0.890	0.864	0.867	0.889	0.864	0.898	0.851	0.767	0.893	0.895

ตาราง 7

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมง

กลุ่มข้อมูล	Performance	แบบจำลอง									
		อัลกอริทึมมาตรฐาน					อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม				
		NB	DT	NN	NB+Bag	DT+Bag	NN+Bag	NB+Ada	DT+Ada	NN+Ada	RF
รวมสนามบินภาคเหนือ	Accuracy	98.25	99.14	99.15	98.25	99.15	99.09	98.25	99.14	99.15	99.14
	Precision	21.15	91.33	91.95	21.19	93.49	62.39	21.15	91.33	91.95	91.81
	Recall	27.96	15.34	15.53	28.06	15.34	20.29	27.96	15.34	15.53	15.24
	F-measure	24.08	26.27	26.58	24.14	26.36	30.62	24.08	26.27	26.58	26.14
	AUC	0.762	0.688	0.746	0.762	0.687	0.746	0.711	0.600	0.578	0.746
ภาคเหนือตอนบน	Accuracy	98.09	99.04	99.04	98.09	99.04	99.05	98.09	99.04	99.04	99.04
	Precision	23.34	95.00	91.89	23.32	93.01	95.04	23.34	95.00	91.89	93.01
	Recall	30.56	16.06	16.43	30.56	16.06	16.18	30.56	16.06	16.43	16.06
	F-measure	26.46	27.48	27.87	26.45	27.39	27.66	26.46	27.48	27.87	27.39
	AUC	0.775	0.705	0.761	0.775	0.705	0.762	0.725	0.582	0.727	0.758
ภาคเหนือตอนล่าง	Accuracy	98.62	99.40	99.40	98.61	99.40	99.40	98.62	99.40	99.40	99.40
	Precision	13.95	88.89	92.00	13.80	100.00	88.46	13.95	88.89	92.00	88.46
	Recall	20.30	11.88	11.39	20.30	10.89	11.39	20.30	11.88	11.39	11.39
	F-measure	16.53	20.96	20.26	16.43	19.64	20.18	16.53	20.96	20.26	20.18
	AUC	0.788	0.589	0.703	0.704	0.598	0.701	0.656	0.562	0.703	0.678
ภูเขา 1-2 ด้าน	Accuracy	98.36	99.28	99.27	98.36	99.28	99.25	98.36	99.28	99.27	99.26
	1-2 ด้าน	14.52	100.00	86.96	14.52	95.24	76.00	14.52	100.00	86.96	80.00
	Recall	21.08	10.84	12.05	21.08	12.05	11.45	21.08	10.84	12.05	12.05
	F-measure	17.20	19.57	21.16	17.20	21.39	19.90	17.20	19.57	21.16	20.94
	AUC	0.721	0.635	0.704	0.717	0.624	0.710	0.703	0.554	0.560	0.700

ตาราง 7 (ต่อ)

กลุ่มข้อมูล	Performance	แบบจำลอง									
		อัลกอริทึมมาตรฐาน					อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบกลุ่ม				
		NB	DT	NN	NB+Bag	DT+Bag	NN+Bag	NB+Ada	DT+Ada	NN+Ada	RF
ภูเขา 3-4 ด้าน	Accuracy	98.21	99.11	99.11	98.21	99.11	99.11	98.21	99.11	99.11	99.11
	Precision	22.43	93.24	90.73	22.45	93.24	93.84	22.43	93.24	90.73	90.73
	Recall	29.51	15.97	15.86	29.51	15.97	15.86	29.51	15.97	15.86	15.86
	F-measure	25.49	27.27	27.00	25.50	27.27	27.13	25.49	27.27	27.00	27.00
	AUC	0.773	0.701	0.760	0.773	0.701	0.764	0.714	0.580	0.671	0.759

ตาราง 8

สรุปผลการคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดของแต่ละพื้นที่สนามบิน

พื้นที่สนามบิน	แบบจำลองที่ดีที่สุด	การทดสอบประสิทธิภาพ		
		Accuracy	F-measure	AUC
ระยะเวลาพยากรณ์ 1 ชั่วโมงข้างหน้า				
รวมสนามบินภาคเหนือ	Random Forest	99.61	76.45	0.888
ภาคเหนือตอนบน	Neural Networks	99.57	77.64	0.862
ภาคเหนือตอนล่าง	Neural Networks+AdaBoost	99.68	70.69	0.859
ภูเขาล้อมรอบ 1-2 ด้าน	Neural Networks+Bagging	99.59	69.12	0.867
ภูเขาล้อมรอบ 3-4 ด้าน	Random Forest	99.61	77.53	0.895
ระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมงข้างหน้า				
รวมสนามบินภาคเหนือ	Neural Networks+Bagging	99.09	30.62	0.746
ภาคเหนือตอนบน	Neural Networks	99.04	27.87	0.761
ภาคเหนือตอนล่าง	Decision Tree	99.40	20.96	0.589
ภูเขาล้อมรอบ 1-2 ด้าน	Decision Tree + Bagging	99.28	21.39	0.624
ภูเขาล้อมรอบ 3-4 ด้าน	Decision Tree	99.11	27.27	0.701

การอภิปรายผล

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อสร้างและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบัน ซึ่งที่ผ่านมาการพยากรณ์อากาศบริเวณสนามบินพิจารณาออกคำพยากรณ์โดยนักอุตุนิยมวิทยาที่ปฏิบัติงานประจำสนามบินซึ่งใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดสภาพอากาศ พิจารณาร่วมกับข้อมูลแบบจำลองพยากรณ์เชิงตัวเลขแบบภาพรวมของพื้นที่ประเทศไทย และวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมตรวจอากาศร่วมกับเรดาร์ตรวจอากาศ

ที่ติดตั้งบางพื้นที่นอกเขตสนามบิน โดยงานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลข่าวอากาศการบินของสนามบินในพื้นที่ภาคเหนือจากเครื่องมือตรวจอากาศระบบอัตโนมัติที่ติดตั้งบริเวณสนามบินแต่ละแห่งโดยตรงโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น จากผลการวิจัยพบว่า สำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 1 ชั่วโมงข้างหน้าสำหรับพื้นที่รวมสนามบินภาคเหนือทั้งหมดคุณลักษณะที่มีความสำคัญมากที่สุด 3 ลำดับแรกของการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบันในพื้นที่

สนามบินภาคเหนือของประเทศไทย คือ เมฆฝนฟ้าคะนอง สภาพอากาศปัจจุบัน และความเร็วลม โดยแบบจำลอง Random Forest มีประสิทธิภาพการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้ดีที่สุด เนื่องจาก แบบจำลอง Random Forest มีหลักการของการใช้ต้นไม้หลายต้นในการทำนาย และสรุปผลการทำนายด้วยการ Vote ผลลัพธ์ที่ถูกเลือกมากที่สุด ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ช่วยลดความผิดพลาดของคุณลักษณะของการเกิด Over Fitting ของแบบจำลอง และสำหรับระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมงข้างหน้าพบว่า คุณลักษณะที่มีความสำคัญมากที่สุดไม่แน่นอนโดยเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละกลุ่มข้อมูล ซึ่งทุกแบบจำลองมีประสิทธิภาพต่ำในการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Srithagon et al. (2021) ที่พบว่า แบบจำลองมีความแม่นยำต่ำลงเมื่อระยะเวลาพยากรณ์นานขึ้น สาเหตุเกิดจากชุดข้อมูลนำเข้าไม่สามารถสร้างรูปแบบการเรียนรู้ที่ถูกต้องให้แก่แบบจำลองได้ อาจเนื่องด้วยลักษณะภูมิอากาศประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนและสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาเปลี่ยนแปลงรวดเร็วแบบไม่มีรูปแบบแน่นอน ส่งผลให้การคาดการณ์สภาพอากาศล่วงหน้าในระยะเวลาพยากรณ์ 2 ชั่วโมงมีความแม่นยำน้อยลง และในงานวิจัยนี้แบ่งชุดข้อมูลทั้งหมดเป็น 5 กลุ่มข้อมูลตามขอบเขตและลักษณะพื้นที่ของสนามบิน พบว่า แบบจำลองที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่มข้อมูลให้ค่าความแม่นยำที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยการเลือกแบบจำลองใดไปใช้ประโยชน์นั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน เช่น การเลือกใช้อัลกอริทึม Random Forest ซึ่งมีประสิทธิภาพการจำแนกที่ดีเพียงพอสำหรับทุกกลุ่มพื้นที่สนามบิน ซึ่ง

ค่า AUC ก็ใกล้เคียงกันกับแบบจำลองที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มข้อมูลในระดับที่ยอมรับได้ และมีความเร็วในการประมวลผลสูงกว่าการใช้อัลกอริทึม Neural Networks แต่หากต้องการประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองระยะปัจจุบันของแต่ละพื้นที่ ควรเลือกใช้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของแต่ละกลุ่มข้อมูลของทั้ง 5 พื้นที่สนามบิน

ข้อเสนอแนะ

แบบจำลองที่ผู้วิจัยนำเสนอในบทความวิจัยนี้สามารถพัฒนาต่อยอดงานวิจัยในอนาคตได้ดังนี้ (1) ศึกษาระยะเวลาการพยากรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การพยากรณ์ระยะสั้นมากสำหรับช่วงเวลาไม่เกิน 12 ชั่วโมง และการพยากรณ์ระยะสั้นสำหรับช่วงเวลา 1-3 วันเพื่อการแจ้งเตือนภัยที่ทันเวลา (2) เพิ่มพื้นที่การศึกษาในภูมิภาคอื่น ๆ ของประเทศไทย (3) พยากรณ์ระดับความรุนแรงของฝนที่ระดับต่าง ๆ ซึ่งการพัฒนางานวิจัยดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการสนับสนุนหน่วยงานทางด้านการควบคุมการจราจรทางอากาศ และการวางแผนการบินของสายการบินในพื้นที่ขณะเกิดฝนตกหนักและพายุฝนฟ้าคะนอง นอกจากนี้ควรมีการทดสอบแบบจำลองหลายครั้งและวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพแบบจำลอง สำหรับทดสอบความสามารถในการใช้งานทั่วไป (generalization) ของแบบจำลอง



References

- Aeronautical Meteorology Division. (2015). *Meteorological messages for aviation and dissemination*. Retrieved from <http://www2.aeromet.tmd.go.th/KnowledgeNews1.php>
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16(2002), 321-357. <https://doi.org/10.1613/jair.953>
- Chen, H., Li, T., Fan, X., & Luo, C. (2019). Feature selection for imbalanced data based on neighborhood rough sets. *Information Sciences*, 483(2019), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.041>

- Dey, I., & Pratap, V. (2023). A Comparative Study of SMOTE, Borderline-SMOTE, and ADASYN Oversampling Techniques using Different Classifiers. *Proceeding of 2023 3rd International Conference on Smart Data Intelligence* (pp. 294-302). Trichy, India: ICSMDI.
- Environment and Pollution Control Office 2. (2021). *Analysis of area potential to support water pollution risks in 17 provinces of the northern region*. Retrieved from <https://shorturl.asia/yEVaS>
- Gupta, V., Mishra, V. K., Singhal, P., & Kumar, A. (2022). An overview of supervised machine learning algorithm. *Proceeding of International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends* (pp. 87-92). Moradabad, India: IEEE.
- Jantarakongkul, B., Rasmeequan, S., Rimcharoen, S., Kulkasem, P., Chinnasarn, K., Rodtook, A., Vorraboot, P., & Onpans, J. (2014). *Optimal methods for classification of highly imbalanced datasets* (Research report). Bangkok: National Research Council of Thailand (NRCT). (in Thai)
- Khunsuk, T., & Thongkam, J. (2020). Feature selection method for improving customer reviews classification. *RMUTI Journal Science and Technology*, 13(1), 129-143. (in Thai)
- Lamprakhon, B. (2017). *A proposed method to compare areas under the roc curves for a single dataset: A case study of credit scoring model* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)
- Manokij, F. (2019). *Thailand's precipitation forecasting using deep learning approach model* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)
- Moon, S. H., Kim, Y. H., Lee, Y. H., & Moon, B. R. (2019). Application of machine learning to an early warning system for very short-term heavy rainfall. *Journal of Hydrology*, 568(2019), 1042-1054. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.060>
- Nasritha, K., Kerdprasop, K., & Kerdprasop, N. (2018). Comparison of sampling techniques for imbalanced data classification. *Journal of Applied Informatics and Technology*, 1(2018), 20-37. <https://doi.org/10.14456/jait.2018.2> (in Thai)
- Northern Met Center. (2023). *Today forecast*. Retrieved from <http://www.cmmet.tmd.go.th/forecast/todayforecast.jpg> (in Thai)
- Phaeobang, A., & Sinsomboonthong, S. (2019). Adjusting the imbalanced data with 5 classification methods. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(4), 418-435. <https://doi.org/10.14456/tjst.2020.46> (in Thai)
- Promla, P., & Sanrach, C. (2020). The comparison of efficiency on the analysis of satisfaction on teaching performance using sentiment analysis by ensemble technique. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 20(4), 140-149. (in Thai)
- Senawong, N., Wichitchan, S., & Kumphon, O. (2022). Large-scale data classification based on K-means clustering and deep learning. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 32(4), 957-965. (in Thai)

- Sridee, A. (2021). *Applying machine learning techniques to detect failure in hard disk drive test process* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)
- Srithagon, S. (2021). *Rainfall nowcasting using learning machines based on rain gauge data in Bangkok Metropolis* (Master's thesis). Kasetsart University. Bangkok. (in Thai)
- Tanwanon, P., Yingsayree, C., Pongphet, W., & Kangkajit, T. (2017). Predict stock price trends in stock exchange of Thailand using ensemble model. *Journal of information Science and Technology*, 7(1), 12-21. <https://doi.org/10.14456/jist.2017.2> (in Thai)
- Thai Meteorological Department. (2023). *Meteorological knowledge*. Retrieved from <https://www.tmd.go.th/info/การพยากรณ์อากาศ-1>
- Thummikarat, H. (2020). *Parkinson's disease diagnosis using machine learning* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)



การพัฒนาระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพโดยใช้ การแสดงผลไหลของการวิเคราะห์ทางไฟฟ้า Development of Camera Fault Analysis System Using Visualization of Electrical Analysis Flow

ภัทราวดี พรหมเกตุ¹ และชัยยงค์ เสริมผล^{1*}

Patarawadee Pomket¹ and Chaiyong Soemphol^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering,
Mahasarakham University

*Corresponding author: chaiyong.sp@gmail.com

Received: December 7, 2023

Revised: February 28, 2024

Accepted: March 4, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการวิเคราะห์อาการเสียทางไฟฟ้าและทางเครื่องกลของตัวกล้องถ่ายภาพ โดยใช้วิธีการจัดทำแบบผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ และสร้างเว็บไซต์เพื่อจัดการระบบฐานข้อมูล เพื่อแก้ปัญหาการขาดขั้นตอนการวิเคราะห์หรือตรวจสอบอาการเสียของกล้องอย่างเป็นระบบ ส่งผลให้เกิดปัญหาความล่าช้าในการวิเคราะห์อาการเสียของกล้องถ่ายภาพ โดยการออกแบบผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพเป็นอาการเสีย 2 ประเภท ได้แก่ อาการเสียทางไฟฟ้า และอาการเสียทางเครื่องกล และมีการเก็บข้อมูลของจำนวนตัวกล้องถ่ายภาพที่เกิดอาการเสียทั้งหมด นำมาเปรียบเทียบกับจำนวนตัวกล้องและเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์กล้องถ่ายภาพ หลังจากการใช้ผังงานระบบที่พัฒนาขึ้น จากผลการศึกษาพบว่า หลังจากใช้ระบบที่นำเสนอ จำนวนกล้องถ่ายภาพที่สามารถวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางไฟฟ้า เพิ่มขึ้น 25.15 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ลดลงได้ 36 นาที ต่อการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ 1 ตัว และจำนวนกล้องถ่ายภาพที่สามารถวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางกล เพิ่มขึ้น 26.52 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ลดลงได้ 20 นาที ต่อการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ 1 ตัว ซึ่งผลของจำนวนที่ได้มีการตรวจสอบข้อมูลอีกครั้งจากการบันทึกข้อมูลของจำนวนตัวกล้องที่ส่งต่อไปยังแผนกอื่น และจะเห็นได้ว่าการใช้ผังงานในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพที่นำเสนอ สามารถเพิ่มจำนวนของตัวกล้องถ่ายภาพที่ทำวิเคราะห์อาการเสียได้มากขึ้น และยังสามารถลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์อาการของตัวกล้องถ่ายภาพได้อีกด้วย

ความสำคัญ: ระบบการทำงาน ผังงาน ระบบการวิเคราะห์

Abstract

This research aims to develop and increase the efficiency of a system for analyzing electrical and mechanical failures of cameras by using the method of creating a flow chart of the system for analyzing camera malfunctions and creating a website to manage the database system. The proposed method is used to solve the problem of the lack of a systematic process for analyzing or inspecting camera failures, resulting in a delay in analyzing camera failures. The flowchart design of the system for analyzing camera failures divides them into two types: electrical failures and mechanical failures. The data collection method for the total number of cameras with defects is compared with the number of cameras and the time required to analyze the cameras after using the developed system flowchart. The results of the study found that after using the proposed system, the number of cameras that can analyze electrical camera failures increased by 25.15 percent, and the time required for analysis was reduced by 36 minutes per failure analysis of a camera body. The number of cameras that can analyze mechanical camera failures increased by 26.52 percent, and the analysis time was reduced by 20 minutes per camera failure diagnosis. The results of the numbers were checked again using the numbers that were forwarded to other departments as well. It can be seen that using the flowchart for analyzing camera failures presented can increase the number of camera failures analyzed. It can also reduce the time it takes to analyze the camera's condition.

Keyword: working systems, flowcharts, analysis systems



บทนำ

ในปัจจุบันกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล เป็นที่นิยมใช้มากกว่ากล้องถ่ายภาพที่เป็นแบบฟิล์ม เนื่องจากมีความสะดวกสบายในการใช้งาน ทำให้ไม่ต้องล้างฟิล์มหรืออัดรูป เพียงแค่ใช้ตัวกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัลบันทึกภาพ กลไกการทำงานจะบันทึกภาพลงไปบนเมมโมรี่การ์ด โดยกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์กล้องถ่ายภาพและตัวกล้องถ่ายภาพจะประกอบขึ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวกล้องถ่ายภาพและมีขั้นตอนในการประกอบตัวกล้องที่หลายขั้นตอน ซึ่งในปัจจุบันการประกอบตัวกล้องถ่ายภาพยังเป็นการใช้แรงงานคน ทำให้อาจจะเกิดความผิดพลาดจากการประกอบชิ้นส่วนของตัวกล้องถ่ายภาพ ทำให้กล้องถ่ายภาพที่ผลิตมีอาการเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากการประกอบผิดพลาดไม่ประกอบตามคู่มือและเกิดความผิดของตัวเครื่องจักรในการประกอบ ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งกล้องถ่ายภาพเหล่านี้จะถูกนำไปตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของอาการเสียเพื่อแก้ไขอีกครั้ง

ในกระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพก็ยังคงใช้แรงงานคนในตำแหน่งช่าง ซึ่งสาเหตุและปัญหาที่ทำให้เกิดอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพมีหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็นการประกอบผิดพลาดไม่ประกอบตามคู่มือ เกิดความผิดจากตัวเครื่องจักรในการประกอบและอาจจะเกิดจากตัวชิ้นส่วนที่ใช้ประกอบนั้นเสียหายมาก่อนที่จะนำมาประกอบเป็นตัวกล้องถ่ายภาพ ดังนั้นระบบการทำงานหรือขั้นตอนการทำงานของช่างเทคนิคที่ทำการวิเคราะห์ตัวกล้องถ่ายภาพจึงสำคัญมาก เพื่อที่จะไม่ให้งานเกิดความล่าช้าในการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามช่างเทคนิคที่ทำการวิเคราะห์ ยังคงขาดคู่มือขั้นตอนในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ ซึ่งปัจจุบันระบบการทำงานจะเป็นระบบแบบวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพตามประสบการณ์ของช่างเทคนิคแต่ละคน นอกจากนี้หากมีพนักงานใหม่หรือมีการรับนักศึกษาฝึกประสบการณ์เข้ามาฝึกประสบการณ์ในแผนกดังกล่าว จะต้องให้ช่างเทคนิค

เป็นผู้สอน ซึ่งในปัจจุบันช่างเทคนิคที่เป็นพนักงานประจำมีจำนวนไม่มากนัก และในการสอนงานพนักงานใหม่หรือนักศึกษาฝึกประสบการณ์ในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ จะเป็นการสอนงานแบบตามประสบการณ์ของช่างเทคนิคประจำแต่ละคน ซึ่งวิธีการสอนงานแบบนี้ไม่มีคู่มือขั้นตอนในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ จะทำให้ระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพล่าช้า ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตงานที่จะส่งออกไปจำหน่ายเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานและการเรียนรู้งานของพนักงานใหม่และนักศึกษาฝึกประสบการณ์ที่ทำให้เกิดการเรียนรู้งานได้ล่าช้า ดังนั้นการสร้างระบบหรือกลไกในการวิเคราะห์อาการเสียของกล้อง ก็จะช่วยทำให้การเรียนรู้ของพนักงานใหม่หรือนักศึกษาฝึกประสบการณ์จึงมีความสำคัญ ซึ่งจะส่งให้สามารถเพิ่มจำนวนการวิเคราะห์อาการเสียของกล้องหรือลดระยะเวลาในการวิเคราะห์อาการเสียของกล้องถ่ายภาพได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีหลายกลุ่มวิจัยได้นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการเพิ่มอัตราการผลิตหรือลดเวลาการผลิตของชิ้นงานต่าง ๆ ด้วยวิธีการที่หลากหลายดังเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตโดยประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน มีวิธีเก็บข้อมูลขั้นตอนการผลิตและนำมาเขียน Value Stream Mapping--VSM (Denkena, et al., 2014) เพื่อปรับปรุงระบบการผลิตไปสู่ระบบการผลิตแบบทันเวลา ผลจากการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตคลัสต์พบว่า ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 67.44 เวลามาในการส่งมอบชิ้นส่วนให้ลูกค้าลดลงได้ร้อยละ 16.82 (Homsri & Kongthana, 2012) หรือมีการนำเสนอการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงาน การจัดการฐานข้อมูลของการอะไหล่คงคลัง โดยใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการมาประยุกต์ ใช้วิธีการออกแบบฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์แอ็กเซสในการพัฒนาแก้ไขปัญหา เพื่อให้พนักงานสามารถค้นหาข้อมูลอะไหล่เครื่องจักรได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง และลดเวลาในการซ่อมเครื่องจักร จะได้ว่าระบบฐานข้อมูลที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา สามารถลดเวลาในการปฏิบัติงานลงได้ 31.99 นาที เป็น 1.44 นาที หรือเท่ากับ 95.69 เปอร์เซ็นต์ (Mahamon & Kengpo, 2018) นอกจากนี้

ได้มีการนำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการลดเวลาในการผลิตโดยใช้แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิต เช่น การวิเคราะห์การวิเคราะห์กระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิต แผนภาพการไหล โดยผลที่ได้พบว่า สามารถทำให้ลดระยะทางการขนย้ายลง 8 เมตร จากเดิม 14 เมตร หรือลดเป็นเวลาในการขนย้าย 10 วินาที (Kittidecha & Chaiklang, 2022) หรือการใช้ระบบผังงานเกี่ยวกับหลักการแก้ไขสัญญา เพื่อสร้างเครื่องมือระบบผังงานในการตัดสินใจสัญญา หลักการแก้ไข การใช้เครื่องมือ System Flowchart ในการตัดสินใจเกี่ยวกับหลักการแก้ไขสัญญา โดยภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับสูงโดยมีคะแนนเฉลี่ย 4.67 (Wiyasing, 2024) นอกจากนี้มีงานวิจัยที่นำเสนอการใช้ผังงานร่วมกับวิธีการ VSM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของบริษัท ผลที่ได้พบว่า วิธีการทำให้เกิดการลดจำนวนการดำเนินงาน ลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด (Pydimarry & Rao, 2023) จากผลของการวิจัยที่ได้ศึกษามาพบว่า การพัฒนาระบบการทำงานโดยการใช้ผังงานเป็นการแสดงแผนภาพประเภทหนึ่งที่แสดงถึงกระบวนการ ผังงานยังสามารถกำหนดเป็นการแสดงไดอะแกรมของอัลกอริทึมซึ่งเป็นแนวทางที่ละขั้นตอนในการแก้ปัญหา ผังงานแสดงขั้นตอนต่าง ๆ ในรูปแบบกล่องประเภทต่าง ๆ และลำดับโดยการเชื่อมต่อกันต่าง ๆ ด้วยลูกศร การแสดงแผนภาพนี้แสดงให้เห็นแบบจำลองการแก้ปัญหาและแผนภาพแสดงลำดับการเคลื่อนไหวหรือการกระทำของคนหรือสิ่งที่เกี่ยวข้องในระบบต่าง ๆ การแสดงการแสดงผลภาพรวมและช่วยจัดลำดับขั้นตอนการทำงานในระบบได้อย่างเป็นระเบียบและถูกต้องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน (Winner, 2020)

ดังนั้นจากที่กล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงจัดทำแบบผังงานมาประยุกต์ใช้กับระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพของบริษัทแห่งหนึ่ง เพื่อเป็นการพัฒนาระบบการทำงานของการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพได้ง่ายมากขึ้น ทำงานได้เร็วขึ้น ระบบการทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถเรียนรู้งานได้ไวขึ้นมองเห็นภาพรวมของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพและพร้อมสร้างเว็บไซต์ เพื่อเก็บข้อมูลที่จำเป็นในการทำงาน และเพื่อง่ายต่อการค้นหาข้อมูลต่าง ๆ ในการนำไปใช้งาน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์และการซ่อมอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ
2. เพื่อสร้างผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ
3. เพื่อพัฒนาระบบการทำงานของช่างเทคนิคในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
4. เพื่อเพิ่มจำนวนในการวิเคราะห์และการซ่อมอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพและลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์และการซ่อมอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กล้องถ่ายภาพและหลักการทำงาน

กล้องถ่ายภาพ หรือ กล้องถ่ายรูป เป็นเหมือนกล่องทึบแสง ที่ทำหน้าที่รับแสงในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการสร้างภาพ กลไกและชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกล้องทำงานสัมพันธ์กันในการที่จะควบคุมปริมาณแสงไปยังหน่วยรับภาพ หลักการทำงานพื้นฐานของกล้องถ่ายภาพคือการที่แสงสะท้อนจากวัตถุ เพื่อช่วยรวมแสงให้เข้าไปในตัวกล้องให้มากขึ้น ทางด้านตรงกันข้ามของเลนส์เป็นตำแหน่งที่ตั้งวัสดุไวแสงหรือฟิล์ม สามารถปรับตัวเลนส์เพื่อให้เกิดภาพที่ชัดเจนบนฟิล์มได้ มีการติดตั้งไดอะแฟรมปรับให้เกิดช่องรับแสงขนาดต่าง ๆ รวมทั้งมีส่วนที่เรียกว่าชัตเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดม่าน เพื่อให้ปริมาณแสงตกกระทบกับฟิล์มตามความเหมาะสม และยังมีช่องเล็งภาพเพื่อช่วยในการจัดองค์ประกอบของภาพถ่ายให้เกิดความสวยงาม กล้องถ่ายภาพในปัจจุบัน มีการประดิษฐ์รูปแบบให้มีลักษณะภายนอกและกลไกภายใน ให้มีส่วนอำนวยความสะดวกแก่ผู้ถ่ายภาพมากยิ่งขึ้น มีกล้องถ่ายภาพทั้งระบบปรับธรรมดา ระบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบอัตโนมัติ (Sanook, 2022)

ผังงาน

ผังงาน (flowchart) เป็นผังงานที่แสดงให้เห็นถึงแนวคิดในการทำงานที่รอบคอบ มีการวางแผนไว้อย่าง

ชัดเจนและเป็นลำดับขั้นตอน เพราะผังงานเป็นเครื่องมือการจัดเรียงข้อมูลและเครื่องมือการสื่อสารที่ดี ที่นิยมใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบ หรือการออกแบบวิธีการตัดสินใจ และขั้นตอนการทำงานของระบบการทำงาน อีกทั้งยังช่วยให้มองเห็นภาพรวมของระบบการทำงานให้สามารถทำงานได้ง่ายขึ้น การเขียนผังงานนั้นจะใช้สัญลักษณ์ แทนคำอธิบายและกระบวนการทำงานของระบบการทำงานในแต่ละส่วน ตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงสิ้นสุดของการทำงาน เพื่อให้พนักงานได้เข้าใจระบบ และการทำงานที่ชัดเจนมากที่สุด (Winner, 2020)

การเขียนผังงาน มีโครงสร้างและวิธีการเขียนที่มีมาตรฐานอยู่แล้ว เนื่องจากมีการกำหนดสัญลักษณ์ ตามมาตรฐานสากลที่ใช้กันทั่วโลก (Genius, 2023)

ระบบฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูล (database system) คือ ระบบที่รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกันเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีระบบมีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่าง ๆ ที่ชัดเจน ในระบบฐานข้อมูลจะประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลหลายแฟ้มที่มีข้อมูล เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันเข้าไว้ด้วยกันอย่างเป็นระบบ และเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานและดูแลรักษาป้องกันข้อมูลเหล่านี้ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีซอฟต์แวร์ที่เปรียบเสมือนสื่อกลางระหว่าง ผู้ใช้และโปรแกรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฐานข้อมูล เรียกว่า ระบบจัดการฐานข้อมูล

โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล

โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล คือ โปรแกรมสำหรับการสร้าง จัดการ และรวบรวมข้อมูลจากไฟล์ต่าง ๆ โดยมีเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการสร้างระบบสารสนเทศ เพื่อให้ข้อมูลถูกจัดเก็บในรูปแฟ้มข้อมูล และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ทันต่อสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุด จึงทำให้มีการนำฐานข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในส่วนงานต่าง ๆ เพิ่มขึ้น (Geek, 2018)

เว็บไซต์

เว็บไซต์คือ สื่อที่นำเสนอข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบันสามารถรองรับการนำเสนอได้ทุก Platform

สามารถเข้าถึงหน้าเว็บไซต์ได้โดยใช้เบราว์เซอร์ โดยเว็บไซต์จะถูกจัดเก็บไว้ในพื้นที่ที่เก็บข้อมูลซึ่งเรียกว่า เวิลด์ไวด์เว็บ (World Wide Web) หรือ www ที่เชื่อมต่อกันทางอินเทอร์เน็ตของเว็บไซต์ คือ การรวบรวมหน้าเว็บเพจหลาย ๆ หน้าเข้ามาเชื่อมโยงกันผ่านทางไฮเพอร์ลิงก์ จนกลายเป็นเว็บเดียวกัน (Mingketar, 2022)

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อที่จะศึกษาการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ และการสร้างเว็บไซต์จัดการระบบฐานข้อมูล และทำการประเมินผลประสิทธิภาพระบบการทำงานของ ช่างเทคนิค วิศวกรไฟฟ้า และวิศวกรเครื่องกล ในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจระบบการทำงานของตัวกล้องถ่ายภาพ การวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ และศึกษาโปรแกรมที่จะใช้ในการสร้างเว็บไซต์โดยข้อมูลดังกล่าวจะนำมาเพื่อวิเคราะห์ ออกแบบผังงานระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ และออกแบบเว็บไซต์โดยใช้โปรแกรม Power Apps ซึ่งเว็บไซต์จะเป็นสื่อกลางในการจัดเก็บข้อมูลที่ใช้ในการทำงานและจัดเก็บแบบผังงานระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพและลดเวลาในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ

การออกแบบผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ

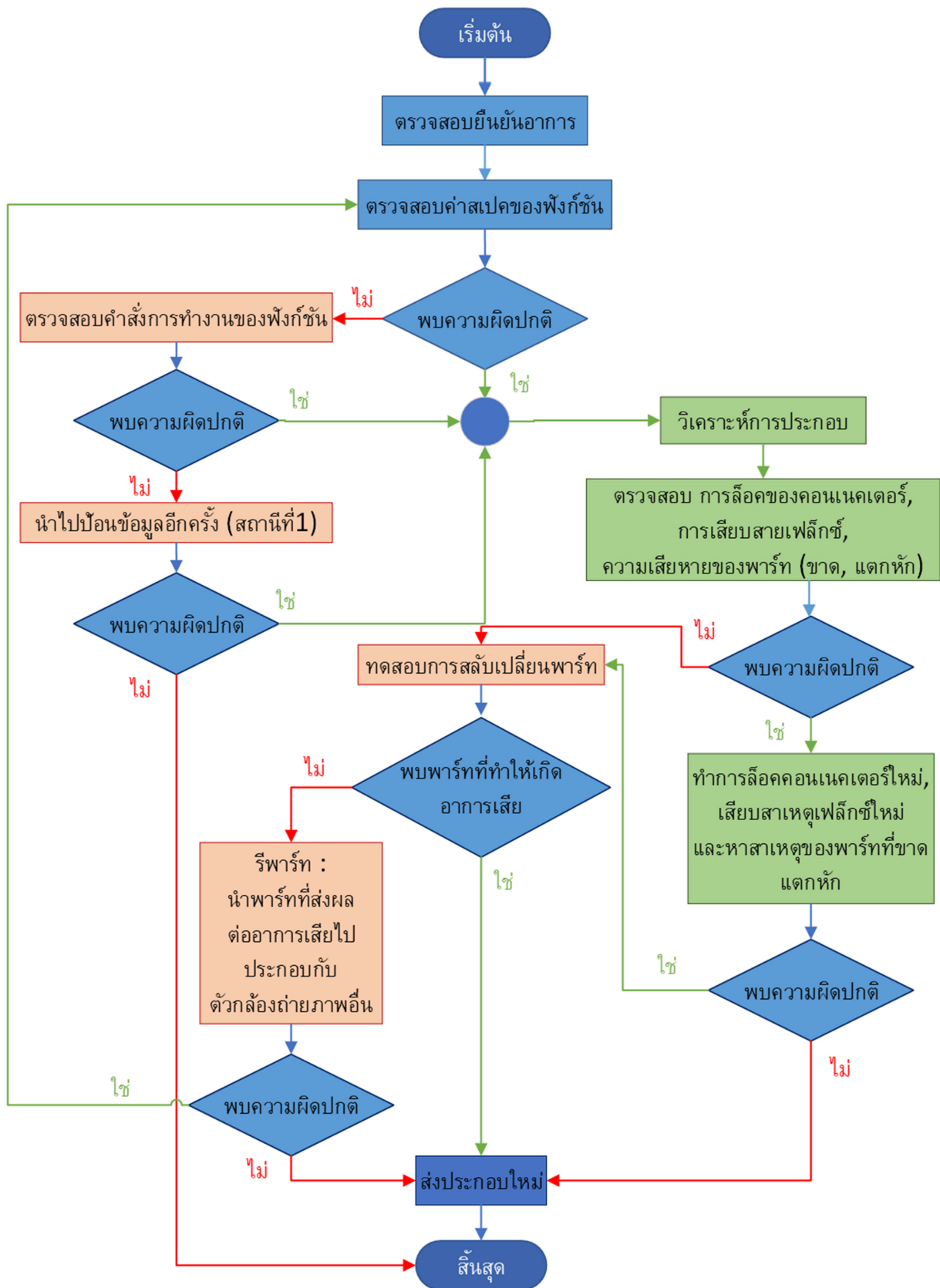
การออกแบบผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องจะเป็นรุ่นปัจจุบัน (current model) และเป็นอาการเสียประเภท อาการเสียทางไฟฟ้า (defect electrical) และอาการเสียทางเครื่องกล (defect mechanical) ซึ่งกระบวนการผลิตของตัวกล้องถ่ายภาพ จะเริ่มตั้งแต่การประกอบชิ้นส่วน ต่าง ๆ จนเป็นตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนจะนำส่งขายให้ผู้บริโภคก็จะมีกระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันต่าง ๆ ของตัวกล้องถ่ายภาพแต่ละรุ่นที่เป็นรุ่นปัจจุบัน ซึ่งฟังก์ชันจะแบ่งออกเป็นสถานี (station) ต่าง ๆ เพื่อเช็คว่าตัวกล้อง

ถ่ายภาพพร้อมทำงาน และครบทุกฟังก์ชันตามที่ออกแบบไว้ ถ้าตัวกล้องถ่ายภาพเกิดอาการเสียที่สถานี (station) ก็จะส่งตัวกล้องถ่ายภาพมาให้ช่างเทคนิค เพื่อทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ ดังนั้นผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพจึงสำคัญมากในระบบการทำงานของช่างเทคนิค วิศวกรไฟฟ้า และวิศวกรเครื่องกล ซึ่งการออกแบบผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพที่มีอาการเสียทางไฟฟ้า อาการเสียทางไฟฟ้าเกี่ยวกับหน้าจอไม่ติด และอาการเสียทางเครื่องกล ดังแสดงในภาพ 1 ภาพ 2 และ ภาพ 3 ตามลำดับ

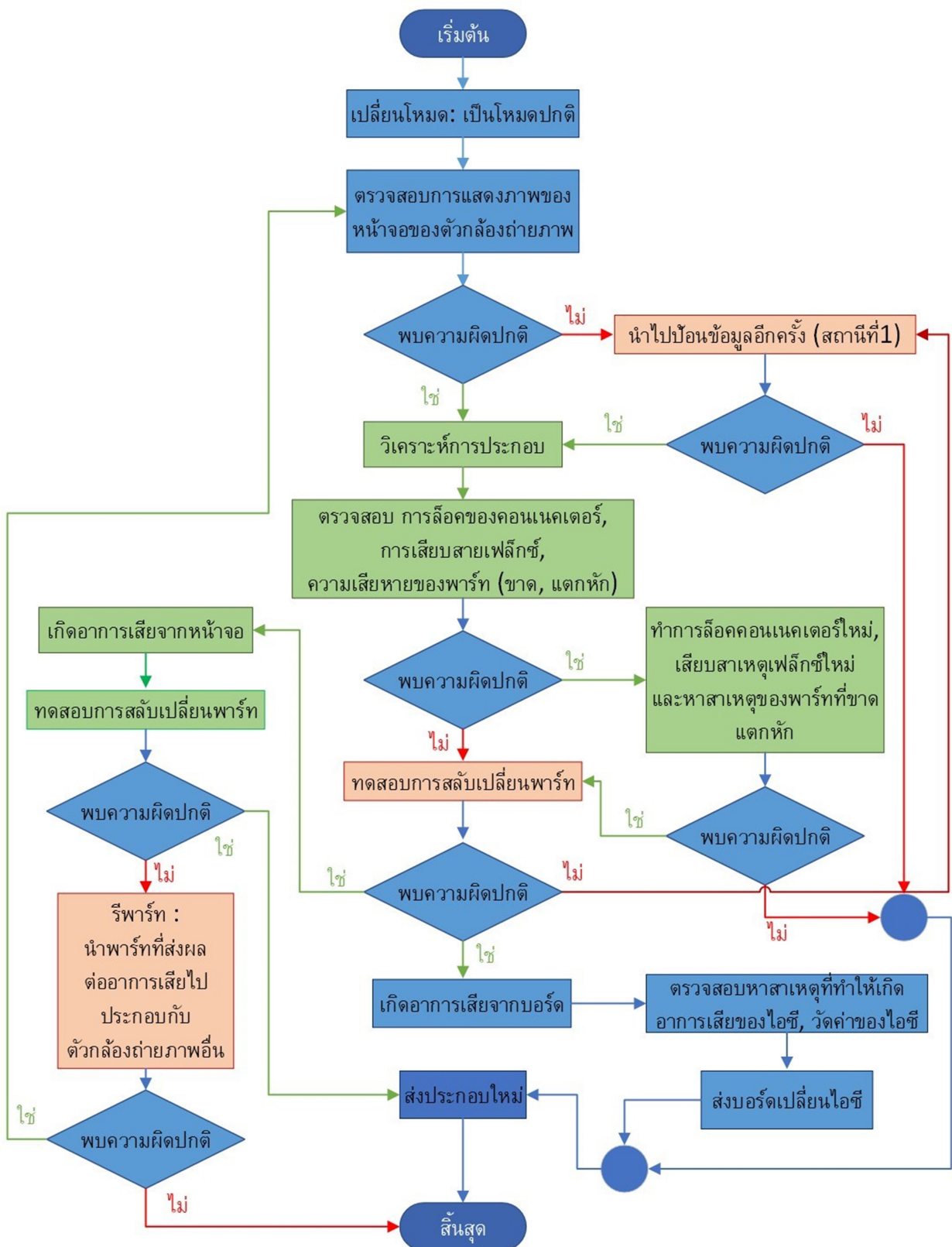
การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลการเก็บจำนวนอาการเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดของตัวกล้องถ่ายภาพทางไฟฟ้าและทางเครื่องกล จากการเก็บผลจำนวนอาการเสียได้ทั้งหมด ดังนี้ อาการเสียทางไฟฟ้าได้ 34,123 ตัว และอาการเสียทางเครื่องกลได้ 22,072 ตัว

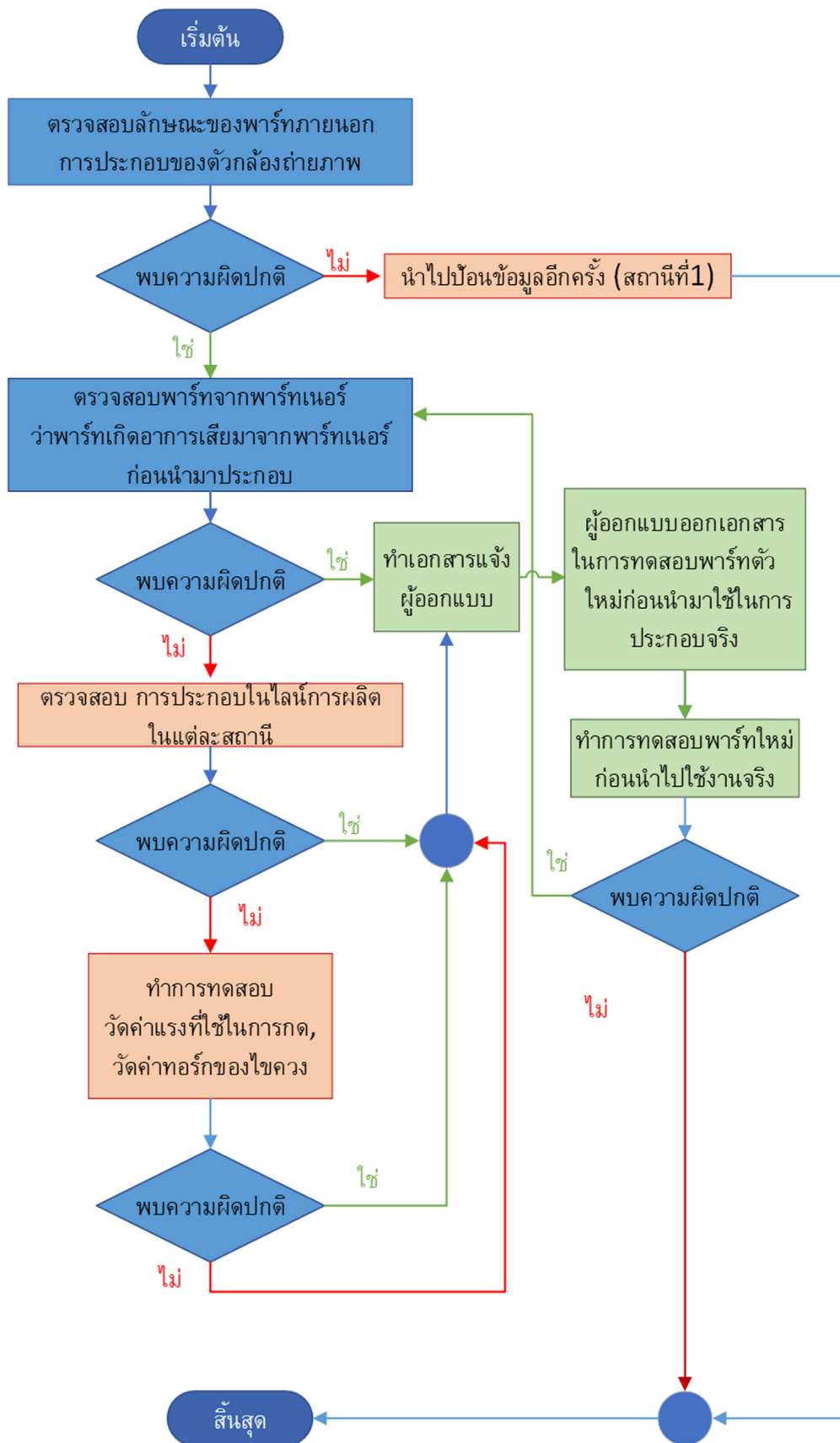
2. ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพของช่างเทคนิคจำนวน 20 คน ที่ปฏิบัติหน้าที่ในการวิเคราะห์อาการเสียของกล้อง โดยจะเก็บข้อมูลของจำนวนตัวกล้องถ่ายภาพที่ช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพได้ ก่อนและหลังที่จะมีการใช้งานของผังงานระบบการวิเคราะห์การเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ โดยจำนวนกล้องถ่ายภาพที่เก็บผลได้จะมีการตรวจสอบอีกครั้งจากการบันทึกข้อมูลของจำนวนตัวกล้องที่ส่งต่อไปยังแผนกอื่น จากนั้นจะนำไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 เพื่อนำมาพิจารณาระบบการทำงานของช่างเทคนิค สามารถวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ เพิ่มจำนวนขึ้นเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีเกณฑ์กำหนด ดังตาราง 1 และจะนำมาพิจารณาระบบการทำงานของช่างเทคนิค ว่าสามารถใช้เวลาในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพลดลงเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของเกณฑ์ที่กำหนดโดยมีเกณฑ์กำหนด ดังตาราง 2



ภาพ 1 แบบผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียทางไฟฟ้า



ภาพ 2 ผังงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียทางไฟฟ้าเกี่ยวกับหน้าจอไม่ติด



ภาพ 3 แบบผังงานระบบการเคราะห์อาการเสียทางเครื่องกล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)

สูตร
$$\bar{X} = \frac{(\sum X)}{N} \quad (1)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของระดับความพึงพอใจที่กำหนด

N คือ จำนวนพนักงานผู้ตอบแบบสอบถาม

2. การหาค่าเฉลี่ย (%)

สูตร
$$\% = \frac{X}{N} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ X คือ จำนวนข้อมูลที่ได้

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดระดับคะแนนสำหรับเกณฑ์การให้คะแนน

3. การหาร้อยละ

สูตร
$$\text{ร้อยละ} = \frac{\%}{100} \times N \quad (3)$$

เมื่อ % = เปอร์เซนต์

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ตาราง 1

ระดับคะแนนสำหรับเกณฑ์การประเมินจำนวนที่เพิ่มขึ้นของการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ

ช่วงคะแนน (%)	ระดับคะแนน
80-100	จำนวนเพิ่มขึ้นมากที่สุด
60-79	จำนวนเพิ่มขึ้นมาก
40-59	จำนวนเพิ่มขึ้นปานกลาง
20-39	จำนวนเพิ่มขึ้นน้อย
1-19	จำนวนเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

ตาราง 2

ระดับคะแนนสำหรับเกณฑ์การประเมินเวลาในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ

ช่วงคะแนน (นาที)	ระดับคะแนน
80-100	เวลาลดลงมากที่สุด
60-79	เวลาลดลงมาก
40-59	เวลาลดลงปานกลาง
20-39	เวลาลดลงน้อย
1-19	เวลาลดลงน้อยที่สุด

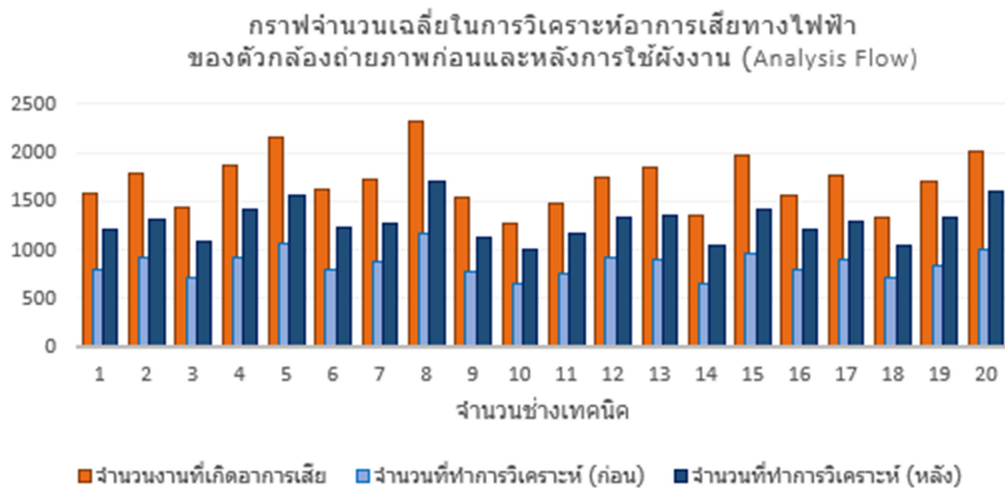
ผลการวิจัย

1. ผลการเก็บจำนวนของอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางไฟฟ้า เป็นผลการเก็บจำนวนอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทั้งหมด เปรียบเทียบกับจำนวนของตัวกล้องถ่ายภาพที่ช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้ฝั้งงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพที่สร้างขึ้น จากการเก็บผลจะเห็นได้ว่าช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ ซึ่งก่อนใช้ฝั้งงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพได้ 17,142 ตัว คิดเป็น 50.24 เปอร์เซนต์ และหลังจากที่มีการใช้ฝั้งงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 25,726 ตัว คิดเป็น 75.39 เปอร์เซนต์ จากจำนวนของอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทั้งหมด 34,123 ตัว ดังนั้นผลการเก็บจำนวนของอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 25.15 เปอร์เซนต์ ดังที่แสดงในภาพ 5 และ ภาพ 6

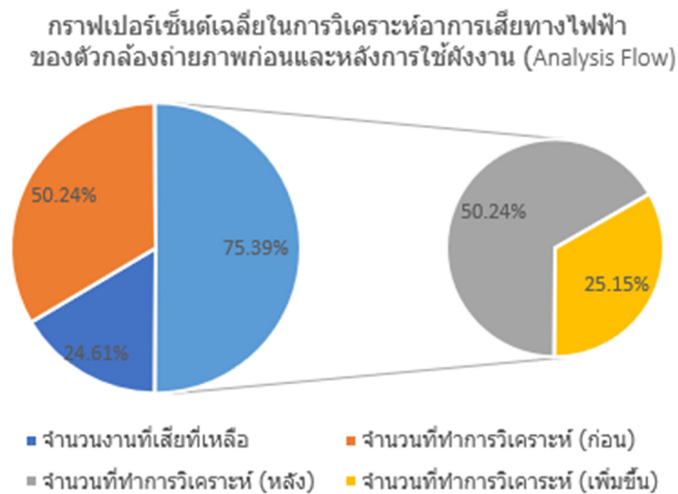
2. ผลการเก็บจำนวนของอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางเครื่องกล เป็นผลการเก็บจำนวนอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทั้งหมด เปรียบเทียบกับจำนวนของตัวกล้องถ่ายภาพที่ช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้ฝั้งงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ จากการเก็บผลจะเห็นได้ว่าช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ ซึ่งก่อนใช้ฝั้งงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพได้ 11,293 ตัว คิดเป็น 51.16 เปอร์เซนต์ และหลังจากที่มีการใช้ฝั้งงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 17,146 ตัว คิดเป็น 77.68 เปอร์เซนต์ จากจำนวนของอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทั้งหมด 22,072 ตัว ดังนั้นผลการเก็บจำนวนของอาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางเครื่องกลเพิ่มขึ้น 26.52 เปอร์เซนต์ ดังที่แสดงในภาพ 7 และ ภาพ 8 ซึ่งจำนวนกล้องถ่ายภาพที่ถูกวิเคราะห์ได้ ตรงกับการบันทึกจำนวนกล้องถ่ายภาพที่ถูกส่งต่อไปยังแผนกอื่นต่อไป

3. ผลการเก็บเวลาที่ช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางไฟฟ้า เปรียบเทียบกับจำนวนของตัวกล้องถ่ายภาพที่ช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้ฝั้งงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ จากการเก็บผลจากช่างเทคนิค จำนวน 20 คน จะเห็นได้ว่า ก่อนการใช้ฝั้งงานช่างทำการวิเคราะห์อาการเสียทางไฟฟ้าของตัวกล้องถ่ายภาพได้ 5,281 ตัว โดยที่ใช้เวลาเฉลี่ยโดยประมาณในการวิเคราะห์ต่อตัวอยู่ที่ 114 นาที และหลังการใช้ฝั้งงานช่างทำการวิเคราะห์อาการเสียทางไฟฟ้าของตัวกล้องถ่ายภาพได้ 7,806 ตัว โดยที่ใช้เวลาเฉลี่ยโดยประมาณในการวิเคราะห์ต่อตัวอยู่ที่ 78 นาที จะเห็นได้ว่าหลังจากการใช้ฝั้งงานช่างเทคนิคสามารถใช้เวลาในการวิเคราะห์อาการเสียทางไฟฟ้าของตัวกล้องถ่ายภาพลดลงได้ 36 นาที ดังที่แสดงในภาพ 9

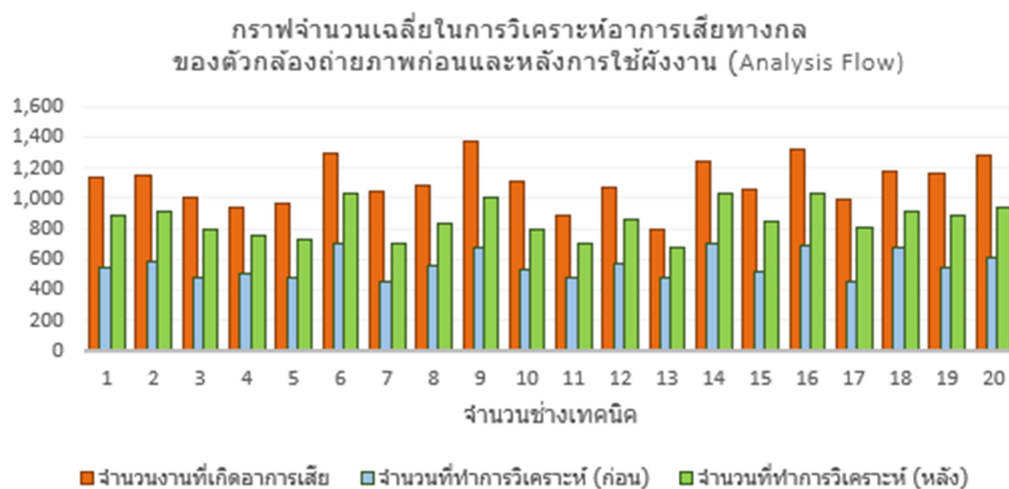
4. ผลการเก็บเวลาที่ช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางเครื่องกล เปรียบเทียบกับจำนวนของตัวกล้องถ่ายภาพ ที่ช่างเทคนิคทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้ฝั้งงานของระบบการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ จากการเก็บผลจากช่างเทคนิค จำนวน 20 คน จะเห็นได้ว่าก่อนการใช้ฝั้งงานช่างทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพได้ 3,375 ตัว โดยที่ใช้เวลาเฉลี่ยโดยประมาณในการวิเคราะห์ต่อตัวอยู่ที่ 64 นาที และหลังการใช้ฝั้งงานช่างทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพได้ 5,185 ตัว โดยที่ใช้เวลาเฉลี่ยโดยประมาณในการวิเคราะห์ต่อตัวอยู่ที่ 44 นาที จะเห็นได้ว่าหลังจากการใช้ฝั้งงานช่างเทคนิคสามารถใช้เวลาในการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพลดลงได้ 20 นาที ดังที่แสดงในภาพ 10



ภาพ 5 จำนวนเฉลี่ยในการวิเคราะห์อาการเสียทางไฟฟ้าของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้พลังงาน

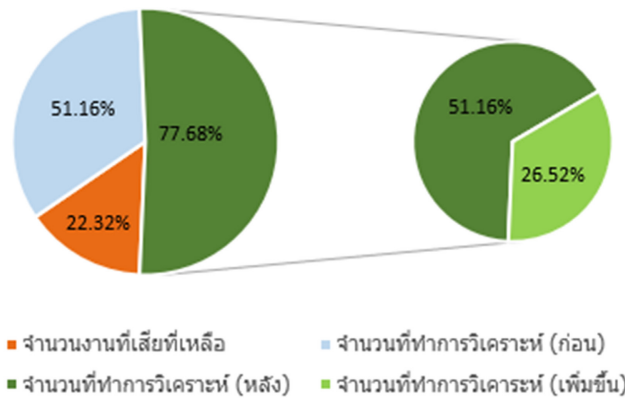


ภาพ 6 เปอร์เซนต์เฉลี่ยในการวิเคราะห์อาการเสียทางไฟฟ้าของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้พลังงาน

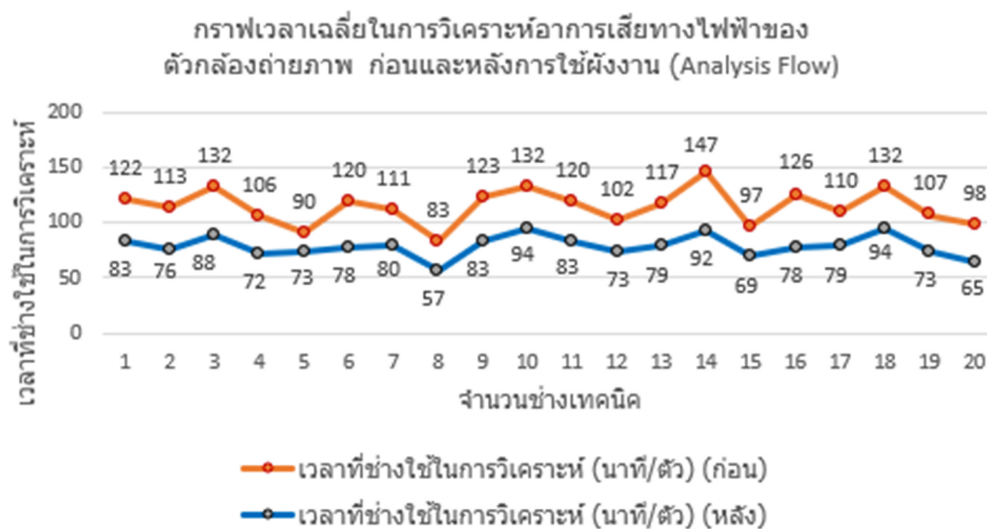


ภาพ 7 จำนวนเฉลี่ยในการวิเคราะห์อาการเสียทางเครื่องกลของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้พลังงาน

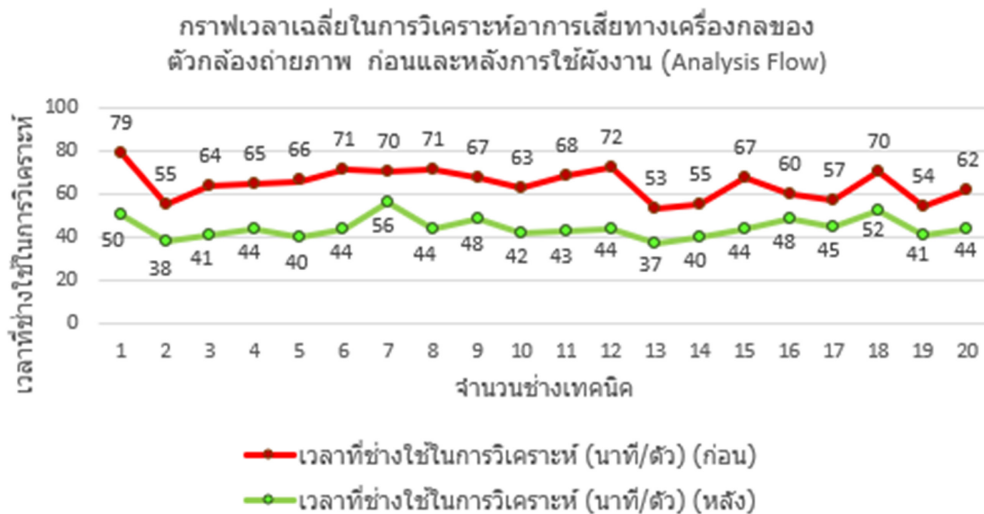
กราฟเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการวิเคราะห์การเสียทางกล
ของตัวกล้องถ่ายภาพก่อนและหลังการใช้ฝัງงาน (Analysis Flow)



ภาพ 8 เปอร์เซนต์เฉลี่ยในการวิเคราะห์การเสียทางเครื่องกลของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้ฝัງงาน



ภาพ 9 เวลาเฉลี่ยในการวิเคราะห์การเสียทางไฟฟ้าของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้ฝัງงาน



ภาพ 10 เวลาเฉลี่ยในการวิเคราะห์การเสียทางเครื่องกลของตัวกล้องถ่ายภาพ ก่อนและหลังการใช้ฝัງงาน

อภิปรายผล

1. จากการศึกษาการวิจัยพบว่า ช่างเทคนิคสามารถทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จำนวน 8,584 ตัว คิดเป็น 25.15 เปอร์เซ็นต์ นำมาประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดจะได้ว่า ช่วงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น อยู่ในระดับที่เพิ่มขึ้นน้อย และช่างเทคนิคสามารถทำการวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพทางเครื่องกล เพิ่มขึ้น จำนวน 5,853 ตัว คิดเป็น 26.52 เปอร์เซ็นต์ นำมาประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดจะได้ว่า ช่วงจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น อยู่ในระดับที่เพิ่มขึ้นน้อย

2. จากการศึกษาการวิจัยพบว่า เวลาที่ช่างเทคนิคใช้ในการวิเคราะห์อาการเสียตัวกล้องถ่ายภาพทางไฟฟ้า ลดลงได้เฉลี่ยที่ 36 นาที นำมาประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดจะได้ว่า ช่วงเวลาเฉลี่ยที่ลดลง จะอยู่ในระดับที่เวลาลดลงน้อย และเวลาที่ช่างเทคนิคใช้ในการวิเคราะห์อาการเสียตัวกล้องถ่ายภาพทางเครื่องกล ลดลงได้เฉลี่ยที่ 20 นาที นำมาประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดจะได้ว่า ช่วงเวลาเฉลี่ยที่ลดลง จะอยู่ในระดับที่เวลาลดลงน้อย

3. จากการศึกษาการวิจัยพบว่า ผลงานวิเคราะห์อาการเสียของตัวกล้องถ่ายภาพ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของช่างเทคนิคได้ เนื่องจากผลงาน เป็นคู่มือที่ใช้ในการวิเคราะห์อาการเสียสามารถทำให้ขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้นและง่ายต่อการตรวจสอบข้อผิดพลาดได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

4. จากการศึกษาการวิจัยพบว่า การใช้ระบบ ผลงานเพื่อพัฒนาระบบการทำงานของช่างเทคนิค จะเห็นได้เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาระบบการทำงานเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

หากสามารถนำเทคโนโลยีอื่น ๆ มาพัฒนาร่วมกับการใช้ผลงานของระบบการวิเคราะห์ของตัวกล้องถ่ายภาพและเว็บไซต์ เช่น การใช้ร่วมระบบการผลิตแบบลีน หรือวิธี Value Stream Mapping--VSM เป็นต้น ก็จะเป็นอีกแนวทางที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำงาน ofช่างเทคนิคได้มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์และบุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่านที่สนับสนุนทุนวิจัย ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณ อาจารย์บุคลากรทุกท่าน ที่ร่วมเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัย รวมถึงผู้เชี่ยวชาญที่อนุเคราะห์ การประเมินประสิทธิภาพตามเป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้



References

- Chaiwat, K., & Aphichat, C. (2022). The productivity improvement of bottled water manufacturing using work study technique. *Journal of Manufacturing and Management Technology*, 1(1), 1-8. (in Thai)
- Denkena, B., Dengler, B., Doreth, K., Krull, C., & Horton, G., (2014). Interpretation and optimization of material flow via system behavior reconstruction. *Production Engineering Research Development*, 8, 659-668. <https://doi.org/10.1007/s11740-014-0545-z>
- Genius, C. (2023). *Flowchart, operational planning format*. Retrieved from <https://codegeniusacademy.com/flowchart/>
- Geek, G. (2018). *Database system*. Retrieved from <https://www.glurgeek.com/education/>
- Mingketar, (2022). *Site structure*. Retrieved from <https://mingketar.co.th/website-structure/>

- Pathompong, H., & Chakrapan, K. (2012). Lean production efficiency increasing: A case study of water pump manufacturing factory. *Hasem Bundit Engineering Journal*, 2(2), 40-62 (in Thai)
- Pydimarry, S. S., & Rao, V. B. S. (2023). Enhancing productivity using flow process charts and value stream mapping. *Advances in Engineering Research Proceedings of the Second International Conference on Emerging Trends in Engineering (ICETE 2023)*, 2023, 1138-1149. doi: 10.2991/978-94-6463-252-1_114.
- Sanook. (2022). *Principles of operation of cameras*. Retrieved from <https://guru.sanook.com/2574/>
- Surachet, M., & Athakorn, K. (2018). Development of a database system for managing spare parts in engineering and maintenance department: A case study in coil center industry. *The Journal of KMUTNB*, 28(3), 547-555. doi:10.14416/j.kmutnb.2018.06.001 (in Thai)
- Winner, T. (2020). *What is a flow chart?-Flowchart writing*. Retrieved from <https://thaiwinner.com/flow-chart/>
- Wiyasing, T. (2024). Achievement study of using the system flowchart according to the principles of contract amendment. *Journal of Bansomdej Engineering and Industrial Technology*, 4(2), 27-39. (in Thai)



การปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสำนักงานภาครัฐโดยใช้ แบบจำลองพลังงาน: กรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง

Energy Improvement of Building Frames in Government Office Buildings Using Energy Modeling: Case Study of Bang Mae Nang Municipality Office

ทินกร เชื้อวงศ์¹ ศุภรัชชัย วรรัตน์^{1*} และประยูทธ์ ฤทธิเดช¹

Tinnakorn Chuaewong¹, Suparatchai Vorarat^{1*} and Prayuth Rittidatch¹

¹วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

¹College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University

*Corresponding author: vorarat@dpu.ac.th

Received: December 22, 2023

Revised: February 29, 2024

Accepted: March 7, 2024

บทคัดย่อ

การวางแผนการจัดการพลังงานเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากสำหรับอาคารสำนักงาน โดยสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานส่วนใหญ่เกิดจากการปรับอากาศ ดังนั้นกรอบอาคารมีส่วนสำคัญอย่างมากในการลดภาระระบบปรับอากาศ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทำการประเมินมาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสำนักงาน โดยใช้อาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง จังหวัดนนทบุรี เป็นอาคารกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคทางด้านการจำลองพลังงานโปรแกรม OpenStudio และEnergyPlus ทำการจำลองการปรับปรุงกรอบอาคาร 20 มาตรการ และวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาพบว่ามาตรการเปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm (M18) มีศักยภาพการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยมีค่าดัชนีการใช้พลังงาน 158.66 kWh/(m²Year) ตามด้วยมาตรการเปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm (M19) และมาตรการเปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm (M20) โดยมีค่าดัชนีการใช้พลังงาน 159.00 kWh/(m²Year) และ 159.35 kWh/(m²Year) ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า มาตรการที่เป็นไปได้ในการลงทุน และเมื่อสิ้นสุดโครงการมีค่า (NPV) สูงที่สุด คือมาตรการติดฉนวนที่ผนังอาคาร หนา 65 mm และติดฟิล์ม B4100 (M9) เท่ากับ 282,957.79 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 19.59 ปี และมาตรการเปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm (M18) ยังสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุดเท่ากับ 7,855.95 kgCO₂e/year และหากพิจารณาผลด้านพลังงานและผลตอบแทนการลงทุน พบว่ามาตรการติดฉนวนที่ผนังอาคาร หนา 65 mm และติดฟิล์ม B4100 (M9) ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทุกมาตรการ โดยผลการศึกษาและวิธีวิจัยในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารสำหรับอาคารสำนักงานอื่น ๆ ได้

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การจำลองพลังงานภายในอาคาร การปรับปรุงการใช้พลังงาน

Abstract

Energy management planning is significant for office buildings. Air conditioning accounts for most of the energy consumption in office buildings. Therefore, the building frame plays a critical role in reducing the load on the air conditioning system. This research aims to evaluate the energy improvement measures of the building frame in office buildings. They're using the Bang Mae Nang Municipality Office Building in Nonthaburi Province as a case study site. This study utilized energy simulation techniques in the Open Studio and Energy Plus programs. Simulated 20 building framework renovation measures and analyzed the investment returns and economic feasibility. The study found that efforts to change 6 mm thick clear glass to 6 mm thick Low-E glass with B4100 film and add Stay Cool 150 mm thick (M18) have the highest energy-saving potential. With an energy use index of 158.66 kWh/(m²Year), followed by measures to change 6 mm thick clear glass to 6 mm thick glazing glass with B4100 film and add Stay Cool 150 mm thick (M19) and steps to change 6 mm thick clear glass. It is a 6 mm thick Solar Tag glass with B4100 film and 150 mm thick Stay Cool added (M20) with an energy use index of 159.00 kWh/(m²Year) and 159.35 kWh/(m²Year) respectively. Economic analysis found that possible measures for investment at the end of the project had the highest NPV: the measure to install insulation on the building walls, 65 mm thick, and install B4100 (M9) film, equal to 282,957.79 baht with a payback period of 19.59 years, and the measure to change 6 mm thick clear glass to glass. Low-E, 6 mm thick, applied with B4100 film and added to Stay Cool, 150 mm thick (M18), can still reduce the amount of carbon dioxide up to 7,855.95 kgCO₂e/year if energy and investment returns are considered. Researchers found that installing insulation 65 mm thick on building walls and adding B4100 (M9) film were the most effective measures among all options. Applying the results and methods of this research can improve the energy efficiency of building frames for other office buildings.

Keywords: energy management, carbon dioxide emissions, building energy simulation, energy renovation



บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน และเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจ เทคโนโลยี และคุณภาพชีวิต พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ของประเทศไทยผลิตมาจากแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติต่าง ๆ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า จากกระบวนการเผาไหม้ได้สร้างมลพิษขึ้น โดยอยู่ในรูปของก๊าซ ฝุ่นควัน น้ำเสีย และกากของเสียต่าง ๆ ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก และภาวะโลกร้อน (Pisetthanakitkul & Rassameethes, 2021) ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและกำลังจะหมดในเวลาอีกไม่นาน รวมทั้งผลของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ในปริมาณมากไปปกคลุมชั้นบรรยากาศโลกทำให้การกักเก็บอุณหภูมิภายในโลกสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาวะอากาศของโลกเป็นอย่างมาก (Chomdee, 2015) การประชุม UN Climate Change Conference of the Parties--COP26 แสดงให้เห็นถึงจุดยืนที่มุ่งมั่นของประเทศสมาชิกโดยมีการทบทวนเป้าหมายและประกาศเจตจำนงในการบรรลุความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในครึ่งศตวรรษนี้ รวมถึงการบรรลุการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Greenhouse Gas Emissions) (Techasitthinan, 2021) รัฐบาลของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกตื่นตัวและให้ความสำคัญกับปัญหานี้ โดยมีนโยบายลดการใช้พลังงาน และส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มสูงขึ้น

ประเทศไทยได้เสนอเป้าหมายของประเทศในการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายหลังปี ค.ศ. 2020 (Intended Nationally Determined Contribution--INDC) โดยลดก๊าซเรือนกระจกลง 20% ในปี พ.ศ. 2573 แสดงเจตจำนงในการมีส่วนร่วมดำเนินการความตกลงปารีส (Paris Agreement) ในการจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยจัดทำข้อเสนอการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดก๊าซเรือนกระจกและการทำงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายหลังปี พ.ศ. 2563 ที่มีความสอดคล้องตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงและการพัฒนาที่ยั่งยืน และต่อยอดการดำเนินงานในกรอบมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับชาติ (Nationally Appropriate Mitigation Actions--NAMA) การบรรลุเป้าหมายของ Paris Agreement ในการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 1.5 °C ภายในปี ค.ศ. 2100 นั้น IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C (2018) กำหนดแนวทางเพื่อบรรลุเป้าหมาย 2 °C โดยทั่วโลกต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 40-70% ภายในปี ค.ศ. 2050 โดยหากมุ่งมั่นที่จะบรรลุเป้าหมาย 1.5 °C ทั่วโลกต้องลดปริมาณการปล่อยลงถึง 70-95% อันนำไปสู่ Global Net-Zero Emission (Mensin et al., 2022)

ในปี พ.ศ. 2535 ประเทศไทยได้มีการออกกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกำกับดูแลและส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย พระราชบัญญัติกำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 และกฎกระทรวงเกี่ยวกับอาคารควบคุม และได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Rittidatch, Phdungsilp & Vorarat, 2021) สำหรับอาคารสำนักงาน ได้ถูกกำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศไว้ โดยกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 ประกอบด้วย (1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารประเภทสำนักงานมีค่าไม่เกิน 50 W/m² และ (2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศมีค่าไม่เกิน 10 W/m² นอกจากนั้นแล้วยังมีการบังคับใช้เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร (Building Energy Code--BEC) สำหรับอาคารใหม่อีกด้วย (Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency, 2023)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการวางแผนพลังงานและการจัดการพลังงานในอาคารประเภทสำนักงานทั้งในด้านการจัดการพลังงานความร้อนของกรอบอาคาร (Roong-in Kunkar & Krukaset, 2019; Sreshthaputra, 2007; Sudprasert, 2019) การลดการใช้พลังงาน รวมถึงการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน โดยใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและแบบจำลองพลังงานเข้ามาช่วยในการตัดสินใจ เนื่องจากการจำลองการใช้พลังงานในอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้เวลาสั้นกว่า มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า และวิเคราะห์ทางเลือกในการออกแบบได้หลากหลายกว่าการทำแบบจำลองย่อส่วน (scale model) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีงานวิจัยที่ใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานอยู่หลายโปรแกรม เช่น BECv.1.0.6, ISA's OTTV52, eQUEST 3.65, DOE-2.1E, Visual DOE 4.1, Autodesk Revit เป็นต้น (Chaowanakamol, 2019; Silaket et al., 2021; Roong-in Kunkar & Krukaset, 2019; Sudprasert, 2019; Sreshthaputra, 2007; Yanwaisakul & Sreshthaputra, 2013; Mahawan, Buakla, Konthong & Ketkhao, 2022) และ การใช้แบบจำลองพลังงาน EnergyPlus ในการประเมินประสิทธิภาพพลังงาน (Pattaraphumeemit, 2019)

ด้วยเหตุนี้ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่อาคารประเภทสำนักงานของภาครัฐ โดยการเลือกใช้วัสดุผนังและวัสดุหลังคาของอาคารที่มีความหลากหลายและสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเลือกใช้วัสดุรวมถึงการวิเคราะห์การลงทุนในการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานของอาคารได้เลือกใช้แบบจำลองพลังงาน OpenStudio และ EnergyPlus ทำการจำลองการใช้พลังงาน ซึ่งการใช้แบบจำลองพลังงานในอาคารเข้ามาช่วยในการตัดสินใจนั้นพบว่า เป็นวิธีการวิจัยที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง อีกทั้งในปัจจุบัน OpenStudio และ EnergyPlus ถือว่าเป็นแบบจำลองพลังงานในอาคารที่นิยมใช้ในการประเมินอาคารและมีค่าความถูกต้องที่ยอมรับได้สูง (Yimprayoon, Mungkung, Takkanon & Intrachooto, 2020)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อจำลองการใช้พลังงานของอาคาร และเปรียบเทียบการใช้พลังงาน กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง จังหวัดนนทบุรี
2. เพื่อประเมินมาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารและวิเคราะห์การลงทุนกรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง จังหวัดนนทบุรี

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจำลองพลังงานในอาคาร OpenStudio และ EnergyPlus จะคำนวณการใช้พลังงานโดย EnergyPlus ในลักษณะของ Physical Model โดยใช้สมการทางด้านการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างอาคารกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวอาคาร ซึ่ง EnergyPlus นั้นเป็น Simulation Engine ที่ใช้การคำนวณบนพื้นฐานของสมดุลความร้อน สำหรับ OpenStudio นั้นเป็นโปรแกรมประเภท API--Application Programming Interface ที่ใช้ในการจัดการข้อมูลของแต่ละตัวแปร ข้อมูลทางด้านสภาวะอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และรังสีดวงอาทิตย์ได้ใช้ชุดข้อมูลของจังหวัดกรุงเทพฯ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้จากการเข้าสำรวจ การทำ Energy Audit และตรวจวัดจากอุปกรณ์ที่ใช้งานสำหรับแบบจำลองพลังงาน Energy Plus ใช้การคำนวณหลักการสมดุลความร้อน ซึ่งรวมถึงสมดุลความร้อนที่พื้นผิว สมดุลความร้อนในอากาศ และการจำลองระบบอาคาร โดยการคำนวณสมดุลความร้อนแสดงไว้ในสมการที่ (1-4) (Kampelis et al., 2020)

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (1)$$

เมื่อ $q''_{\alpha sol}$ คือ รังสีแสงอาทิตย์ที่ดูดซับโดยตรงและกระจาย (ความยาวคลื่นสั้น) และฟลักซ์ความร้อน

q''_{LWR} คือ การแลกเปลี่ยนฟลักการแผ่รังสีความยาวคลื่นสุทธิ (ความร้อน) กับอากาศและสภาพแวดล้อม
 q''_{conv} คือ การแลกเปลี่ยนฟลักความร้อนเวียนกับอากาศภายนอก

q''_{ko} คือ ค่าการนำความร้อน (q/A) สู่ผนัง

โดยที่ $q''_{\alpha sol}$ ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต่าง ๆ เช่น ตำแหน่ง มุมมองพื้นผิวและความเอียง วัสดุผิวและสภาพอากาศ และ q''_{LWR} ถูกกำหนดโดยการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างพื้นผิวกับพื้นดิน

$$q''_{LWR} = \varepsilon \sigma F_{gnd} (T_{gnd}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon \sigma F_{sky} (T_{sky}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon \sigma F_{air} (T_{air}^4 - T_{surf}^4) \quad (2)$$

เมื่อ ε คือ การปล่อยคลื่นยาวของพื้นผิว

σ คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann

F_{gnd} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิพื้นผิวพื้นดิน

F_{sky} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิของท้องฟ้า

F_{air} คือ ปัจจัยของพื้นผิวผนังต่ออุณหภูมิอากาศ

T_{surf} คือ อุณหภูมิพื้นผิวภายนอก

T_{gnd} คือ อุณหภูมิพื้นผิวดิน

T_{sky} คือ อุณหภูมิท้องฟ้า

T_{air} คือ อุณหภูมิของอากาศ

$$q''_{conv} = h_{c,ext} A (T_{surf} - T_{air}) \quad (3)$$

เมื่อ q''_{conv} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนภายนอก

$h_{c,ext}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอก

A คือ พื้นผิว

T_{surf} คือ อุณหภูมิพื้นผิว

T_{air} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (4)$$

เมื่อ $q''_{ko}(t)$ คือ ฟลักซ์ความร้อนนำไฟฟ้าสำหรับชั้นตอนเวลาปัจจุบัน

T คือ อุณหภูมิ

T_o คือ อุณหภูมิขององค์ประกอบภายในของอาคาร

T_i คือ อุณหภูมิขององค์ประกอบภายนอกของอาคาร

i คือ องค์ประกอบภายในของอาคาร

o คือ องค์ประกอบภายนอกของอาคาร

X, Y คือ ปัจจัยตอบสนอง

การจำลองการใช้พลังงานได้ใช้ตัวแปรด้านสมบัติของวัสดุและตัวแปรอื่น ๆ ของอาคารกรณีศึกษาข้อมูลมาทำการจำลองหาค่าพลังงานที่อาคารใช้ต่อปี ทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้จากการตรวจวัดจริงเพื่อวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของแบบจำลองพลังงาน มาตรการปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังและหลังคาทั้งหมด 20 มาตรการ เปรียบเทียบหามาตรการที่ดีที่สุดด้านการลดภาระความร้อนเข้าสู่อาคาร ลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ HVAC--Heating Ventilation and Air-conditioning Systems และนำมามาตรการไปวิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาความเป็นไปได้ของมาตรการโดยใช้ผลตอบแทนการลงทุนมาช่วยในการวิเคราะห์โอกาสและความเป็นไปได้ของโครงการที่ดีที่สุดในระยะเวลา 40 ปี (Rittidatch, Phdungsilp & Vorarat, 2021)

ในการศึกษาความเป็นไปได้เพื่อลงทุนโครงการนั้น นอกจากการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลตอบแทนจากการลงทุน ซึ่งในการประเมินผลตอบแทนจากการลงทุนของโครงการ จะใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value--NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return--IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period--PBP) แสดงไว้ในสมการที่ (5-7) (Rittidatch, Vorarat & Phdungsilp, 2023)

โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่จะได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการมีการคำนวณอัตราส่วนลดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยประมาณการจากอัตราดอกเบี้ยของธนาคาร ดังสมการที่ (5)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(Bt-Ct)}{(1+r)^t} \quad (5)$$

เมื่อ

Bt คือ ผลตอบแทนในปี t (บาท)

Ct คือ ต้นทุนในปี t (บาท)

r คือ อัตราส่วนลด (เปอร์เซ็นต์)

n คือ จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ (ปี)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return--IRR) เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนในโครงการ การคำนวณค่า IRR นั้นจะแตกต่างกับ NPV ที่ค่าของตัวแปร r โดย IRR ค่า r จะถูกแทนด้วยอัตราคิดลดหรือต้นทุนของเงิน ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (6)

$$IRR = \frac{CF1}{(1+r)^1} + \frac{CF2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CFn}{(1+r)^n} \quad (6)$$

เมื่อ

CF คือ ค่ากระแสเงินสดสุทธิสำหรับแต่ละปี

R คือ อัตราคิดลด หรือ ต้นทุนของเงินทุน

N คือ จำนวนปีทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณค่า IRR การคำนวณนั้นคิดในแต่ละปีที่ถูกนำมาพิจารณา

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period--PBP) เป็นการพิจารณาโครงการลงทุนจากมูลค่าเงินทุนที่เสียไปกับระยะเวลาที่จะได้รับประโยชน์จากการลงทุนคืน โดยไม่คำนึงถึงเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง สามารถ

แสดงการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังสมการที่ (7)

$$PBP = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุนงวดก่อน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \quad (7)$$

การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมและนำไปวิเคราะห์หาแนวทางหรือมาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.5986 kgCO₂e/year ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยในปีพ.ศ. 2566 (Greenhouse Gas Management Organization, 2023) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (8)

$$CO_2 \text{ Emissions} = ER * 0.5986 \text{ (kgCO}_2\text{e/year)} \quad (8)$$

โดยที่ ER คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า (kWh)

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้แบบจำลองพลังงานในอาคาร OpenStudio และ EnergyPlus ทำการศึกษาการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคาร โดยการรวบรวมข้อมูลทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา เช่น พื้นที่ใช้สอยอาคาร ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร เวลาเปิดใช้อาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร เป็นต้น โดยแต่ละตัวแปรถูกป้อนเข้ามาที่ OpenStudio แล้วถูกส่งไปคำนวณการใช้พลังงานโดย EnergyPlus ในลักษณะของ Physical Model โดยใช้สมการทางด้านถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างอาคารกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวอาคาร ดังภาพ 1 โดยแผนผังวิธีดำเนินงานวิจัยจะประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา เป็นอาคารสูง 4 ชั้น ดังภาพ 2 (ก) มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 1,920.00 m² ผนังอาคารทำด้วยวัสดุ Masonry Wall และ Glass Wall ส่วนของหลังคาใช้วัสดุ Metal Sheet หนา 4 mm และแบบแปลนของพื้นที่ภายในอาคาร ดังภาพ 2 (ข) โดยอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีอยู่ที่ 317,757.11 kWh (อ้างอิงจากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าปี พ.ศ. 2565) ลักษณะการใช้สอยพื้นที่เป็นอาคารประเภทสำนักงาน และข้อมูลต่าง ๆ ของอาคารกรณีศึกษาได้แสดงไว้ดังตาราง 1

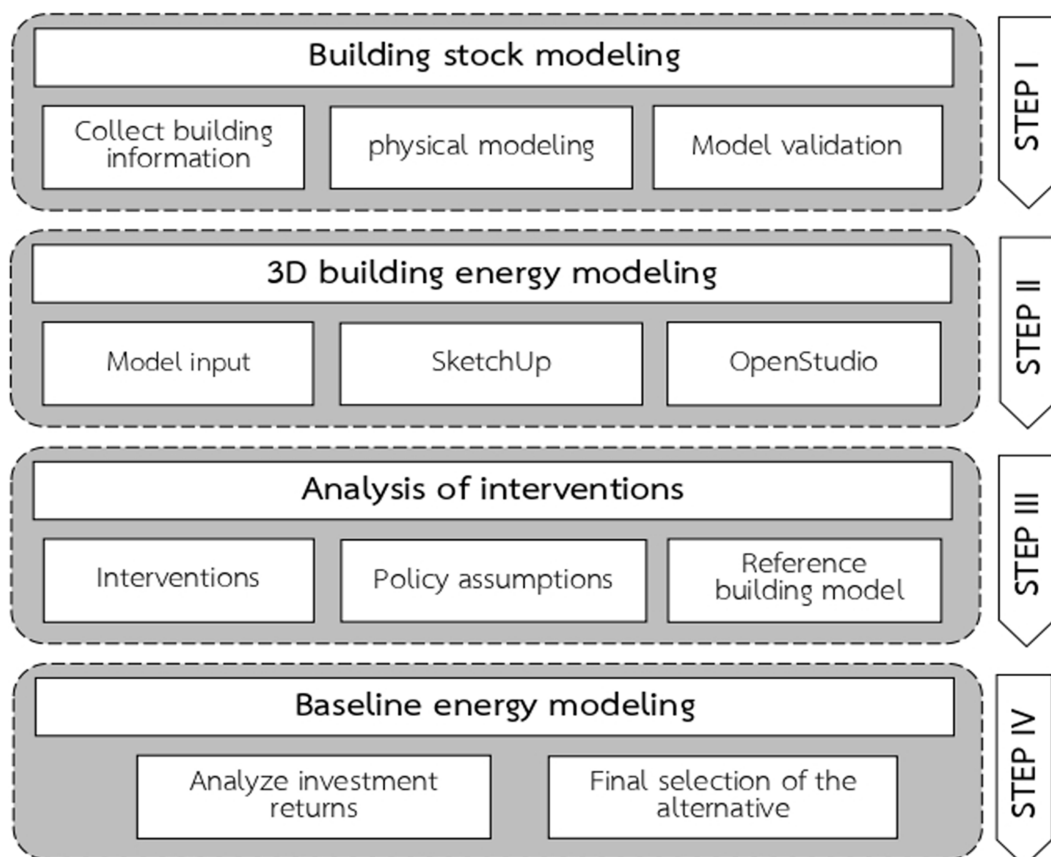
สมบัติทางความร้อนของกรอบอาคาร

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอมาตรการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังและหลังคาที่สามารถนำรูปแบบมาตรการมาประยุกต์ใช้ได้จริง โดยใช้เทคนิคการปรับสมบัติของวัสดุและนวัตกรรมของกรอบอาคารมาใช้ในการปรับปรุงผนังและหลังคาของอาคารที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน โดยทำการรวบรวมสมบัติตัวแปรทางความร้อนของกรอบอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานดังแสดงไว้ในตาราง 2 เมื่อได้สร้างอาคารขึ้นในรูปแบบ 3 มิติโดยใช้โปรแกรม SketchUp ดังภาพ 3 (ก) แล้วส่งข้อมูลทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของตัวแปรต่าง ๆ ผ่าน OpenStudio เพื่อนำไปให้ EnergyPlus ทำการคำนวณ ดังภาพ 3 (ข) การสร้างแบบจำลองได้ใช้ข้อมูลค่าอ้างอิงสมบัติที่เกี่ยวข้องของตัวแปรทางความร้อนของอาคาร ตามรายการวัสดุแต่ละประเภทที่นำมาใช้ในการปรับปรุง โดยตาราง 2 ได้แสดงค่า Thermal Conductivity Density Specific Heat Solar Heat Gain Coefficient--SHGC และ Transmittance ของวัสดุต่าง ๆ ที่นำมาใช้แทนค่าในแบบจำลอง โดยอัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างภายนอกเทียบกับพื้นที่ผนังของอาคาร (WWR) ได้แสดงไว้ในตาราง 1 พบว่าค่า WWR มากที่สุดจะอยู่ที่

ทิศเหนือ (N) เท่ากับ 1.006 โดยที่ทิศใต้ (S) มีอัตราส่วนพื้นที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.194 ทิศตะวันออกและตะวันตกมีอัตราส่วนพื้นที่เท่ากันมีค่าเท่ากับ 0.276 เนื่องจากอาคารมีรูปแบบเท่ากัน และเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกิน 5%

มาตรการปรับปรุงพลังงานกรอบอาคารกรณีศึกษา

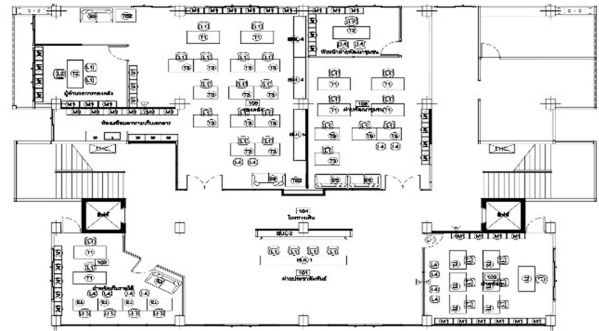
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการนำเสนอรูปแบบมาตรการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานจำนวน 20 มาตรการ โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปร สมบัติด้านความร้อนของกรอบอาคารกรณีศึกษา และความเป็นไปได้ในการจำลองการใช้พลังงานและการปฏิบัติจริงแสดงไว้ในตาราง 3 จากนั้นจึงนำมามาตรการที่เลือกไปทำการจำลองการใช้พลังงานโดยใช้ตัวแปรของแต่ละมาตรการ รวมถึงแสดงจำนวนพื้นที่ของผนัง พื้นที่หลังคา ราคาดัชนีและค่าแรง ซึ่งราคาดัชนีนั้นทำการสืบราคาจากสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า และจากบริษัทที่ผลิตและจัดจำหน่ายแสดงไว้ในตาราง 4



ภาพ 1 แผนผังงานวิจัยกรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง

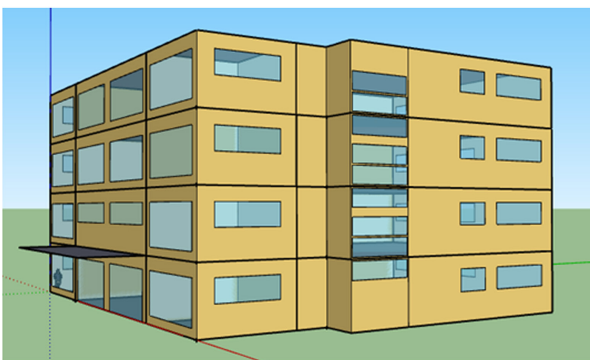


ก) ภาพอาคารกรณีศึกษา

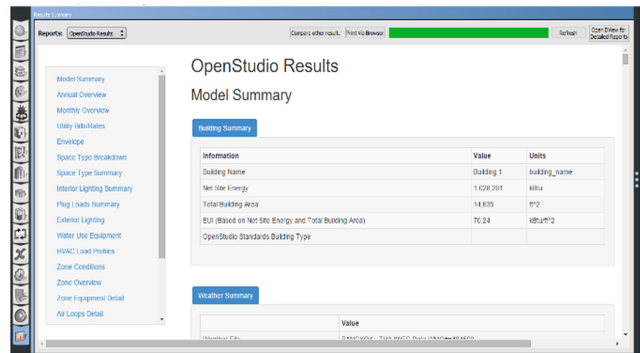


ข) แบบแปลนพื้นที่ภายในอาคาร

ภาพ 2 ภาพและแบบแปลนอาคารตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง



ก) แบบจำลองอาคาร



ข) การจำลองพลังงานผ่าน OpenStudio และ EnergyPlus

ภาพ 3 แบบจำลองอาคารและการจำลองพลังงานผ่าน OpenStudio และ EnergyPlus

ตาราง 1

ข้อมูลอาคารตัวอย่างกรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง

ข้อมูลอาคาร	อาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม้นาง			
ปีที่เปิดใช้อาคาร	พ.ศ. 2558			
พื้นที่ใช้สอย (m ²)	1,920			
พื้นที่ปรับอากาศ (m ²)	1,104			
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (m ²)	816			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/Year)	317,757.11			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ kWh/(m ² Year)	165.50			
เวลาเปิดใช้อาคาร (hr/day)	9			
Window-to-Wall Ratio (WWR)	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
	(N)	(S)	(E)	(W)
	1.006	0.194	0.276	0.276

ตาราง 2

ข้อมูลอ้างอิงสมบัติที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรทางความร้อนอาคารกรณีศึกษา

รายการวัสดุ	ค่า Thermal Conductivity (W/m ² K)	ค่า Density (kg/m ³)	ค่า Specific Heat (kJ/kg°C)	ค่า SHGC	ค่า Transmittance
1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 75 mm	1.10	1,700	0.79	-	-
2. กระจกใส หนา 6 mm	-	-	-	0.72	0.846
3. ฉนวนกันความร้อน หนา 65 mm	0.035	24	0.96	-	-
4. ผนังไม้ (Wooden wall) หนา 75 mm	0.13	500	1.61	-	-
5. กระจก Low-E หนา 6 mm	-	-	-	0.55	0.696
6. กระจก Double Glazing หนา 6 mm	-	-	-	1.11	0.078
7. กระจก Solar Tag หนา 6 mm	-	-	-	0.41	0.324
8. ฟิล์ม B4100	-	-	-	0.29	0.128
9. ฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 75 mm	0.036	12	0.96	-	-
10. ฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 150 mm	0.042	12	0.96	-	-

ตาราง 3

มาตรการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

มาตรการ (Measures)	
M1	ติดตั้งผนังอาคาร หนา 65 mm
M2	เปลี่ยนผนังก่ออิฐฉาบปูนทั้งหมดให้เป็นผนังไม้ (Wooden wall) หนา 75 mm
M3	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm
M4	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm
M5	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm
M6	ติดฟิล์ม B4100 ที่กระจกทั้งอาคาร
M7	ติดตั้งฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 75 mm
M8	ติดตั้งฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 150 mm
M9	ติดตั้งผนังอาคาร หนา 65 mm และติดฟิล์ม B4100
M10	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm และติดฟิล์ม B4100
M11	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm และติดฟิล์ม B4100
M12	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm และติดฟิล์ม B4100
M13	ติดตั้งผนังอาคาร หนา 65 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 75 mm
M14	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 75 mm
M15	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 75 mm

ตาราง 3 (ต่อ)

มาตรการ (Measures)	
M16	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 75 mm
M17	ติดฉนวนที่ผนังอาคารหนา 65 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm
M18	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm
M19	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Double Glazing หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm
M20	เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Solar Tag หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm

ตาราง 4

ราคาวัสดุบวกค่าแรงสำหรับมาตรการปรับปรุงกรอบอาคาร

รายการวัสดุ	จำนวนพื้นที่ (m ²)	ราคาค่าวัสดุและค่าแรง (Baht/m ²)
1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 75 mm	1,058.92	530.00
2. กระจกใส หนา 6 mm	400.28	251.87
3. ฉนวนกันความร้อน หนา 65 mm	1,058.92	352.08
4. ผนังไม้ (Wooden wall) หนา 75 mm	1,058.92	2,219.10
5. กระจก Low-E หนา 6 mm	400.28	3,358.34
6. กระจก Double Glazing หนา 6 mm	400.28	3,498.27
7. กระจก Solar Tag หนา 6 mm	400.28	2,168.93
8. ฟิล์ม B4100	400.28	861.11
9. ฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 75 mm	480.00	210.41
10. ฉนวนหลังคา Stay Cool หนา 150 mm	480.00	268.74

ผลการวิจัย

เมื่อได้แบบจำลองต้นแบบของอาคารกรณีศึกษา แล้วทำการเพิ่มความสามารถในการป้องกันความร้อน ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศลงได้ ผลจากการจำลองพลังงานโดยใช้ OpenStudio และEnergyPlus ทำการจำลองการปรับปรุงกรอบอาคาร 20 มาตรการ พบว่าค่าการใช้พลังงาน (energy use) ของอาคารกรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม่นาง จังหวัดนนทบุรี ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 165.50 kWh/(m²Year) และมีค่า

ความคลาดเคลื่อน 0.77% เมื่อเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารกรณีศึกษา จากการจำลองการใช้พลังงานทั้ง 20 มาตรการ ได้ผลการศึกษาซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่า Energy Use ก่อนและหลังการปรับปรุงดังแสดงไว้ในตาราง 5

ผลจากการจำลอง (ดังตาราง 5) พบว่ามาตรการที่ช่วยลดการใช้พลังงานมากที่สุด คือ มาตรการ M18 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 158.66 kWh/(m²Year) รองลงมาคือ มาตรการ M19 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 159.00 kWh/(m²Year) และ

M20 มีค่า Energy Use อยู่ที่ 159.35 kWh/(m²Year) ตามลำดับ ในส่วนมาตรการที่ลดการใช้พลังงานได้น้อยที่สุดคือมาตรการ M1 (164.98 kWh/(m²Year)) และ M7 (164.98 kWh/(m²Year)) รองลงมาคือ M8 (164.77 kWh/(m²Year)) และ M6 (163.81 kWh/(m²Year)) ตามลำดับ

การวิเคราะห์การลงทุนเพื่อหาความเป็นไปได้ในการลงทุนแต่ละมาตรการโดยใช้ผลตอบแทนการลงทุนมาช่วยวิเคราะห์โอกาสและความเป็นไปได้ของโครงการที่ดีที่สุด ในระยะเวลา 40 ปี (ตารางกำหนดอายุใช้งานและอัตราค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวร) โดยคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 7 บาท (คิดจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าที่จ่ายจริง) และใช้อัตราคิดลดที่ 5% จากข้อมูลการลงทุนปรับเปลี่ยนวัสดุผนังและหลังคา และความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารพบว่า มีเพียง 6 มาตรการเท่านั้น (ดังตาราง 6) ที่คืนทุนภายในระยะเวลา 40 ปี

จากข้อมูลในตาราง 6 พบว่า ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการลงทุนมาตรการทั้ง 6 มาตรการ ผลตอบแทนการลงทุนของมาตรการที่ M9 M13 M20 M6 M8 และ M7 เมื่อสิ้นสุดโครงการมีค่า (NPV) เท่ากับ 282,957.79 บาท 230,361.96 บาท 75,740.03 บาท 45,480.31 บาท 39,663.52 บาท และ 19,584.05 บาท ตามลำดับ ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน (PBP) ที่ 19.59 ปี 22.70 ปี 34.27 ปี 29.08 ปี 21.89 ปี และ 25.99 ปี ตามลำดับ

ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารนั้นปัญหาทางการเงินและการพิจารณาการลงทุนเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นการปรับปรุงกรอบอาคารเท่านั้น ในการปรับปรุงอาจพิจารณาปรับปรุงได้เพียงบางมาตรการเท่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดกระทบกับกรอบอาคารเดิม เช่น การเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนัง การเปลี่ยนกระจก การติดฟิล์ม เป็นต้น หากทำการเปลี่ยนผนังอาคารใหม่ทั้งหมดอาจต้องใช้งบประมาณจำนวนมากและต้องทำการยื่นแบบเพื่อขออนุญาตปรับปรุง ซึ่งเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก

การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมและนำไปวิเคราะห์หาแนวทางหรือมาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลจากการจำลองพบว่าการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือมาตรการ M18 มีค่า 7,855.95 kgCO₂e/year รองลงมาคือมาตรการ M19 มีค่า 7,465.25 kgCO₂e/year และ M20 มีค่า 7,064.77 kgCO₂e/year ตามลำดับ ในส่วนมาตรการที่ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดคือมาตรการ M1 มีค่า 592.31 kgCO₂e/year รองลงมาคือมาตรการ M7 มีค่า 600.93 kgCO₂e/year และ M8 มีค่า 840.53 kgCO₂e/year ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตาราง 7

ตาราง 5

แสดงการเปรียบเทียบค่า Energy Use ก่อนและหลังการปรับปรุง

มาตรการ	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/Year	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/(m ² Year)	การประหยัดพลังงาน (%)
M1	316,767.62	164.98	0.31
M2	313,934.16	163.51	1.20
M3	312,418.30	162.72	1.68
M4	313,072.64	163.06	1.47
M5	313,368.50	163.21	1.38
M6	314,508.80	163.81	1.02
M7	316,753.22	164.98	0.32
M8	316,352.95	164.77	0.44

ตาราง 5 (ต่อ)

มาตรการ	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/Year	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/(m ² Year)	การประหยัดพลังงาน (%)
M9	309,427.76	161.16	2.62
M10	308,084.99	160.46	3.04
M11	308,508.35	160.68	2.91
M12	308,761.92	160.81	2.83
M13	309,024.80	160.95	2.75
M14	306,871.64	159.83	3.43
M15	307,756.68	160.29	3.15
M16	307,219.45	160.01	3.32
M17	311,110.97	162.04	2.09
M18	304,633.23	158.66	4.13
M19	305,285.93	159.00	3.92
M20	305,954.96	159.35	3.71

ตาราง 6

ค่าตอบแทนการลงทุน 20 มาตรการ

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ค่า NPV (บาท)	ค่า IRR (%)	ค่า PBP (ปี)
M1	372,824.55	- 253,973.34	- 6.07	เกิน 40 ปี
M2	2,349,849.37	- 1,890,661.07	- 8.00	เกิน 40 ปี
M3	1,344,275.05	- 703,011.34	- 4.26	เกิน 40 ปี
M4	1,400,286.51	- 837,617.94	- 5.06	เกิน 40 ปี
M5	868,177.64	- 341,045.87	- 3.03	เกิน 40 ปี
M6	344,865.91	45,480.31	0.90	29.08
M7	100,996.80	19,584.05	1.30	25.99
M8	128,995.20	39,663.52	2.03	21.89
M9	717,510.46	282,957.79	2.58	19.59
M10	1,688,960.97	- 527,207.77	- 2.35	เกิน 40 ปี
M11	1,744,972.43	- 634,070.53	- 2.78	เกิน 40 ปี
M12	1,212,863.55	- 132,418.86	- 0.78	เกิน 40 ปี
M13	818,507.26	230,361.96	1.87	22.70
M14	1,789,957.77	- 482,464.73	- 2.00	เกิน 40 ปี
M15	1,845,969.23	- 644,781.53	- 2.66	เกิน 40 ปี
M16	1,313,860.35	- 48,144.03	- 0.26	เกิน 40 ปี

ตาราง 6 (ต่อ)

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ค่า NPV (บาท)	ค่า IRR (%)	ค่า PBP (ปี)
M17	846,505.66	- 48,213.83	- 0.40	เกิน 40 ปี
M18	1,817,956.17	- 241,599.63	- 0.95	เกิน 40 ปี
M19	1,873,967.63	- 376,009.24	- 1.46	เกิน 40 ปี
M20	1,341,858.75	75,740.03	0.39	34.27

ตาราง 7

การใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอาคาร

มาตรการ	การใช้พลังงานหลังปรับปรุง (energy use) kWh/(Year)	ปริมาณการปล่อย CO ₂ (kgCO ₂ e/year)	การประหยัดพลังงาน (energy use) kWh/(Year)	การลดปริมาณการปล่อย CO ₂ (kgCO ₂ e/year)
M1	316,767.62	189,617.10	989.49	592.31
M2	313,934.16	187,920.99	3,822.95	2,288.42
M3	312,418.30	187,013.59	5,338.81	3,195.81
M4	313,072.64	187,405.28	4,684.47	2,804.12
M5	313,368.50	187,582.38	4,388.61	2,627.02
M6	314,508.80	188,264.97	3,248.31	1,944.44
M7	316,753.22	189,608.48	1,003.89	600.93
M8	316,352.95	189,368.88	1,404.16	840.53
M9	309,427.76	185,223.46	8,329.35	4,985.95
M10	308,084.99	184,419.68	9,672.12	5,789.73
M11	308,508.35	184,673.10	9,248.76	5,536.31
M12	308,761.92	184,824.89	8,995.19	5,384.52
M13	309,024.80	184,982.25	8,732.31	5,227.16
M14	306,871.64	183,693.36	10,885.47	6,516.04
M15	307,756.68	184,223.15	10,000.43	5,986.26
M16	307,219.45	183,901.56	10,537.66	6,307.84
M17	311,110.97	186,231.03	6,646.14	3,978.38
M18	304,633.23	182,353.45	13,123.88	7,855.95
M19	305,285.93	182,744.16	12,471.18	7,465.25
M20	305,954.96	183,144.64	11,802.15	7,064.77

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลการปรับปรุงสมรรถนะพลังงานโดยมุ่งเน้นที่กรอบอาคารเป็นหลัก เนื่องจากสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารส่งผลให้ลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้ ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานของอาคารลดลง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองพลังงาน OpenStudio และ EnergyPlus ทำการจำลองและคำนวณหาศักยภาพในการประหยัดพลังงานที่เกิดจากมาตรการการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นจำนวน 20 มาตรการ นอกจากนี้แล้วยังทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของแต่ละมาตรการ ผลการศึกษาพบว่า มาตรการที่ช่วยลดการใช้พลังงานมากที่สุด คือ มาตรการ M18 (เปลี่ยนกระจกใส หนา 6 mm เป็นกระจก Low-E หนา 6 mm ติดฟิล์ม B4100 และเพิ่ม Stay Cool หนา 150 mm) มีค่า Energy Use อยู่ที่ 158.66 kWh/(m²Year) สำหรับมาตรการที่เหลือมีศักยภาพในการช่วยลดการใช้พลังงานโดยมีค่า Energy Use อยู่ระหว่าง 159.00-164.98 kWh/(m²Year) ในส่วนของการวิเคราะห์การลงทุนนั้นพบว่า มีเพียง 6 มาตรการเท่านั้นที่มีผลตอบแทนและความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคาร คือ มาตรการ M9 M13 M20 M6 M8 และ M7 เมื่อสิ้นสุดโครงการมีมูลค่าเท่ากับ 282,957.79 บาท 230,361.96 บาท 75,740.03 บาท 45,480.31 บาท 39,663.52 บาท และ 19,584.05 บาท ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์การลงทุนนั้น พบว่า เหมาะสมต่อการลงทุนและผลการศึกษา ยังพบว่า สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Rittidatch,

Phdungsilp & Vorarat, 2021) และการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ มาตรการ M18 มีค่า 7,855.95 kgCO₂e/year สำหรับมาตรการที่เหลือมีศักยภาพในการช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 592.31-7,465.25 kgCO₂e/year หากพิจารณาผลการจำลองพลังงานในด้านการประหยัดพลังงาน การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนพบว่า มาตรการติดตั้งฉนวนที่ผนังอาคารหนา 65 mm และติดฟิล์ม B4100 (M9) คือ มาตรการที่ดีที่สุดจากมาตรการทั้งหมด 20 มาตรการ และผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารของอาคารสำนักงานในหน่วยงานภาครัฐอื่น ๆ ได้

ข้อเสนอแนะ

การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์อาคารต้นแบบควรที่จะศึกษาและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในอาคารของภาครัฐของหน่วยงานอื่น ๆ เพิ่มเติมซึ่งจะมีการรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของอาคาร ลักษณะอาคาร ความลาดเอียง และข้อมูลพื้นที่ของแต่ละชั้นโดยละเอียด ควรมีการศึกษาและสร้างแบบจำลองต้นแบบของอาคารอื่น ๆ เช่น อาคารที่พักอาศัยประเภทต่าง ๆ อาคารสาธารณะ โดยแบ่งตามขนาด พื้นที่ จำนวนชั้น และจำนวนห้อง ให้มีความครอบคลุมมากขึ้น เพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพและใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด และเพื่อให้เกิดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ควรมุ่งเน้นการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าควบคู่ไปด้วย



References

- Chaowanakamol, Y. (2019). *Retrofitting office Building for energy efficiency: A case study of administration building GPO* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)
- Chomdee, S. (2015). *Investment analysis of photovoltaic rooftop systems for residences in Northern Thailand* (Master's thesis). Chiang Mai University. Chiang Mai (in Thai)
- Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency. (2023). *Guidelines for inspecting building design and construction for energy conservation* (2nd ed.). Phitsanulok: P Digital Printing. (in Thai)

- Greenhouse Gas Management Organization (Public organization). (2023). *Emission factor*. Retrieved from <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th> (in Thai)
- Kampelis, N., Papayiannis, G. I., Kolokotsa, D., Galanis, G. N., Isidori, D., & Cristalli, C., & Yannacopoulos, N. (2020). An integrated energy simulation model for buildings. *Energies*, 13(5), 1170. <https://doi.org/10.3390/en13051170>
- Mahawan, N., Buakla, A., Konthong, R., & Ketkhao, N. (2022). Application of building information modeling for reducing energy consumption by building envelope improvement case study: Residential buildings. *The 27th National Convention on Civil Engineering* (pp. BIM05-1–BIM05-10). Chiang Rai: NCCE. (in Thai)
- Mensin, Y., Ketjoy, N., Chamsa-ard, W., Suriwong, T., Mensin, P., Kaewpanha, M., Yaowarattana, P., & Thanarak, P. (2022). Smart grid technology: The energy transition to carbon neutrality. *Journal of Learning Innovation and Technology (JLIT)*, 2(2), 10-26. (in Thai)
- Pattaraphumeemit, Y. (2019). *Post occupancy evaluation on energy efficiency of green building under LEED 2009* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)
- Pisetthanakitkul, W., & Rassameethes, B. (2021). Factors affecting intention to use residential solar photovoltaic technology in Bangkok. *Journal of Multidisciplinary in Humanities and Social Sciences*, 4(3), 955-969. (in Thai)
- Rittidatch, P., Phdungsilp, A., & Vorarat, S. (2021). Evaluation of energy renovation measures of the building envelope in educational building using building energy modeling: A case study in Dhurakij Pundit University. *Pathumwan Academic Journal*, 11(31), 128-142. (in Thai)
- Rittidatch, P., Vorarat, S., & Phdungsilp, A. (2023). Modeling of an electrical energy generation system from solar cells towards carbon neutrality in Dhurakij Pundit University. *Valaya Alongkorn Research and Development Journal under Royal Patronage*, 18(3), 43-56. (in Thai)
- Roong-in Kunkar, J., & Krukaset, P. (2019). Using computer-aided design and simulation software to support energy management in school buildings. *Journal of Environmental Design*, 6(2), 145-163. (in Thai)
- Silaket, S., Ngamrungraj, D., Kuesakul, k., Kalayathong, K., Hirunlabh, J., Sathitbunanan, S., Chantawong, P. (2021). Investigation of break-even point for variable refrigerant flow air conditioning system in office building. *Journal of Energy and Environment Technology*, 8(2), 79-90. (in Thai)
- Sreshthaputra, A. (2007) Development of minimum requirements of thermal property of building envelopes for townhouses. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies Faculty of Architecture and Planning Thammasat University*, 5(1), 31-52. (in Thai)
- Sudprasert, S. (2019). Evaluation of energy savings by retrofitting of the building envelope of air-conditioned row house. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 16(1), 83-92. (in Thai)

- Techasitthinan, T. (2021). *An additional carbon credit benefit-cost analysis for solar rooftop investment in commercial sector* (Master's thesis). Naresuan University. Phitsanulok. (in Thai)
- Yanwaisakul, P., & Sreshthaputra, A. (2013). Guidelines for increasing energy efficiency of large government office buildings by improving building envelope materials. *Built Environment Research Associates Associates Conference* (pp. 62-69). Bangkok: Environment Research Associates Associates (in Thai)
- Yimprayoon, C., Mungkung, R., Takkanon, P., & Intrachoto, S. (2020). Energy-saving and environmentally-friendly residential drawings certification and labelling rating systems using energy simulation and life cycle assessment. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 19(1), 179-200. (in Thai)



การศึกษาการวางยารักษาไข้พิษไข้กาฬตามพระคัมภีร์ตักกะศิลา

The Use of Medicine for Exanthematous Fever in Taxila Scriptures

มัชฌิมา ตุตตะพะ¹ และสุภาละลักษณ ฟักคำ²

Matchima Tutapa¹ and Supalak Fakkham²

¹นักศึกษาลัทธิสุตรวินยาสตมมมหาบัณฑิต สาขาการแพทย์แผนไทยประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

¹Master of Science program students Applied Thai traditional medicine, Graduate School,

Suan Sunandha Rajabhat University

²มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

²Suan Sunandha Rajabhat University

Received: December 1, 2023

Revised: March 13, 2024

Accepted: March 20, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ยา และเพื่ออธิบายผลของการใช้ยารักษาไข้พิษไข้กาฬตามทฤษฎีทางการแพทย์แผนไทย เป็นการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์เนื้อหาจากเอกสาร และการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มศึกษาผู้เชี่ยวชาญ 3 กลุ่ม รวม 7 คน ได้แก่แพทย์แผนไทย หมอพื้นบ้าน และบุคลากรทางการแพทย์แผนปัจจุบัน ผลการวิจัยพบว่า ตำรับยาที่ใช้รักษาไข้พิษไข้กาฬตามตำราหลักทางการแพทย์แผนไทย มีจำนวน 7 ขนาน ได้แก่ กลุ่มยากระทุ้งพิษไข้ มี 1 ขนาน คือ ยากระทุ้งแก้หัวดวง หรือยาห้าราก กลุ่มยาแปรไข้ มี 5 ขนาน คือ ยาแปรไข้ ยาประสะกระทุ้งผิวยานอก 2 ขนาน ยาฟันแปรผิวยานอก และยาทั้งกินทั้งพ่น กลุ่มยาครอบไข้ มี 1 ขนาน คือ ยาครอบไข้ตักกะศิลา ในส่วนผู้เชี่ยวชาญ 7 คน มีประสบการณ์ในการใช้ยารักษาผู้ป่วยอาการไข้พิษไข้กาฬ จำนวน 25 ขนาน ได้แก่กลุ่มยากระทุ้งพิษไข้ มีจำนวน 5 ขนาน คือ ฟ้ายะลาโยโร ยาห้าราก ยาเขียวหอม ยาฝนตัดไข้ และยาทั้งพิษ กลุ่มยาแปรไข้ มี 11 ขนาน คือ ยาจันทลีลา ยาประสะจันทร์แดง ยาประสะเปราะใหญ่ ยาพา ยาถ่าย ยาฟัน ยาผิวย ยาอัมฤควาที ยาประสะมะแว้ง มะนาวน้ำผึ้งเกลือ และน้ำขิง กลุ่มยาครอบไข้ มีจำนวน 9 ขนาน เป็นกลุ่มยารสสุขุมเย็น และสุขุมร้อน คือ ยาจันทฤทัย ยากล่อมนางนอน ยาปรับธาตุ ยาหอมนวโกฐ ยาหอมทิพโอสถ ยาหอมอินทจักร์ ยาธาตubrจวบ ยาหอมเทพจิตร และยาตรีผลา ซึ่งระยะเวลาในการรักษานั้นขึ้นอยู่กับระยะการดำเนินโรค หากอยู่ในช่วงแรกที่แสดงอาการไม่เกิน 3-7 วัน อาจจะใช้เวลารักษา 7-14 วัน แต่หากอาการลุกลามหรือดำเนินไปนานกว่า 7-14 วัน อาจจะต้องใช้เวลารักษาไม่น้อยกว่า 30 วัน และจากหลักการ”กระทุ้งพิษให้สิ้น” ทำให้เกิดความชัดเจนของรูปแบบการรักษาไข้พิษไข้กาฬ 4 ระดับ คือ (1) กระทุ้งพิษสิ้นในช่วงปิตตะสมุฏฐาน (2) กระทุ้งพิษสิ้นในช่วงวาตะสมุฏฐาน หรือเสมหะสมุฏฐาน (3) กระทุ้งพิษสิ้นในช่วงปฐวีสมุฏฐาน และ (4) กระทุ้งพิษไม่สิ้นในช่วงปฐวีสมุฏฐาน การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อความเข้าใจ การถ่ายทอดความรู้ และการประยุกต์ใช้ในการวางแผนรักษาผู้ป่วยที่มีอาการไข้พิษไข้กาฬต่อไป

คำสำคัญ: ไข้พิษไข้กาฬ กระทุ้งพิษ พระคัมภีร์ตักกะศิลา ยาห้าราก

Abstract

The purpose of this research is to study the medicines used to treat exanthematous fever and to explain the results of using medicine according to the theory of traditional Thai medicine. This is a qualitative research study. By studying documents and conducting in-depth interviews with 7 experts: Thai medicine, folk healers, and modern medical personnel. The results of the research found that there are seven medicines used to treat exanthematous fever that appear in the main textbooks of Thai traditional medicine, consisting of the Kratungpid group: Yaharak, the Preakai group: Yapreakai, and the fourth of external skin medicine, the Krobkai group: Yakrobkaitaksila. As for the 7 experts, they have used 25 medicines to treat patients: Andrographis paniculata, Yaharak, Yakhieaw Hom, Yafon, Yatangpid, Chanthalila, Prasachandaene, Prasaphrua Yai, apply medicine, laxative medicine, spray medicine, Amrukawatee, Prasamawaeng, Lemon mixed with honey and salt, ginger juice, Chantaharuthai, Kromnangnon, element-adjusting medicine, Yahom Nawakoth, Yahom Thiposot, Yahom Inthachak, Yatatbanchob, Yahomthepchit, and Triphala. The duration of treatment depends on the progression of the disease. If symptoms are initially showing for no more than 3–7 days, it may take 7–14 days for treatment. But if symptoms continue for longer than 7–14 days, it may take no less than 30 days. And from the principle “Kratungpid Hai Sin” causes the clarity of the treatment pattern at 4 levels: 1. Kratungpid Sin during the Pitta Samutthana; 2. Kratungpid Sin during the Vata Samuddhana or Semha Samuddhana 3. Kratungpid Sin during the Pattavee Samuddhana; and 4. cannot Kratungpid Sin during the Pattavee Samuddhana. This study will be useful for understanding, knowledge transfer, and further application in treating patients.

Keywords: Exanthematous fever, Kratungpid, Taksila Scripture, Yaharak



บทนำ

ประเทศไทยใช้ระบบการแพทย์แผนไทยในการดูแลสุขภาพคนไทยมาแต่โบราณกาล ซึ่งมีหลักฐานทางประวัติศาสตร์มาตั้งแต่ก่อนตั้งกรุงสุโขทัยยาวนานมาจวบจนปัจจุบัน โดยองค์ความรู้การแพทย์แผนไทยนั้นได้รับอิทธิพลจากความเชื่อทางพุทธศาสนาในเรื่องของธาตุสี่และขันธห้า มีความสอดคล้องกับวิถีชีวิตและไม่ขัดต่อขนบธรรมเนียมประเพณีที่ดีงามของคนไทย ซึ่งมีพัฒนาการในการจัดการศึกษา และถ่ายทอดศาสตร์ด้านการแพทย์แผนไทยมาเป็นลำดับ ปัจจุบันมีการก่อตั้งสถาบันการศึกษาต่าง ๆ จัดการเรียนการสอนครอบคลุมเนื้อหาใน 4 สาขา ได้แก่ ผดุงครรภ์ไทย เภสัชกรรมไทย นวดไทย และเวชกรรมไทย ซึ่งสาขาเวชกรรมไทยนั้นเป็นสาขาที่มีความสำคัญที่แสดง

ถึงศักยภาพความเป็นแพทย์แผนไทยที่สามารถให้การดูแลบำบัดรักษาผู้ป่วยด้วยหลักและกรรมวิธีทางการแพทย์แผนไทย ตามองค์ความรู้ที่ได้รับการถ่ายทอดตามพระคัมภีร์แพทย์แผนไทยที่เกี่ยวข้อง (Thai Traditional Medicine Council, 2013)

ในสถานการณ์ปัจจุบันที่โรคระบาดหรือโรคติดต่ออุบัติใหม่มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะโรคโควิด 19 ได้สร้างผลกระทบรุนแรงทั้งทางระบบสุขภาพ เศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคงของประเทศ สำหรับประเทศไทยนั้น ได้มีการถูกหิวยกหรือรักษาไข้พิษไข้กาฬนั้นมีการใช้องค์ความรู้ภูมิปัญญาตามที่ปรากฏในตำราทางการแพทย์แผนไทยมาเป็นลำดับสืบทอดมาจนปัจจุบันได้แก่ยาห้าาราก เนื่องจากยาห้าาราก เป็นยาตำรับที่มีเครื่องยาน้อย สามารถหาและ

ปลูกได้ทั่วไปในทุกภาคของประเทศไทย จึงนิยมใช้มาถึงปัจจุบัน สมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยาได้รับการอนุรักษ์ไว้ในแปลงปลูกส่วนตัวของหมอสมุนไพรและชาวบ้าน และความรู้ด้านนี้ได้ถูกนำไปถ่ายทอดแก่ชาวบ้านและบุคคลผู้สนใจทั่วไป (Bunyen, 2018) ซึ่งยาหารากมีชื่อเรียกหลายชื่อได้แก่ยาแก้วห้าดวง ยาเบญจโลกวิเชียร และยาเพชรร่วง (Division of Medical Practice, 1999) และกระทรวงสาธารณสุขได้บรรจุอยู่ในบัญชียาจากสมุนไพรในบัญชียาหลักแห่งชาติ ซึ่งอยู่ในกลุ่มยาแก้ไข้ (National Drug System Development Committee, 2016) โดยได้มีการพัฒนารูปแบบของยาที่สามารถต่อยอดการใช้ให้เหมาะสมกับสภาพการให้บริการทางด้านสุขภาพในปัจจุบัน คือ การเตรียมยาในรูปแบบยาผง และยาแคปซูล ซึ่งยาหารากมีฤทธิ์ด้านการอักเสบและลดไข้ และมีฤทธิ์ด้านแบคทีเรียและไวรัส และไม่พบความเป็นพิษต่อเซลล์และอวัยวะของสัตว์ทดลอง (Burusliam, 2020) แพทย์แผนไทยนิยมใช้ยาหารากในกรณีที่มีไข้สูง หรือมีไข้ร่วมกับการออกผื่น เนื่องจากยาหารากมีรสประธานเป็นรสเย็น มีค่าร้อยละการสลายในตำรับ ในรสผาด ขม จืด เป็น 30 40 30 ตามลำดับ และรสเผ็ดร้อน 0.00 (Nutamakul, 2019) ซึ่งในระบบการแพทย์พื้นบ้านก็ยังมีหมอพื้นบ้านที่นิยมใช้ตำรับยาหาราก “ยาหาราก หรือเบญจโลกวิเชียร” ในรูปแบบของยาต้ม ใช้กับโรคไข้ที่มีอาการออกผื่น ไข้หวัดใหญ่ หรือไข้ที่มีอาการปวดข้อ โดยจะเพิ่มการแต่งรสแต่งกลิ่น และสรรพคุณในการบำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ โดยใช้เกสรทั้ง 5 ใส่เพิ่มลงไปด้วย (Puangkeaw, 2021) ส่วนตำรับยาอื่น ๆ ซึ่งเป็นยากิน และยาทั้งพันทั้งก้นนั้นยังไม่มีงานวิจัยใดได้เคยศึกษาไว้ การรักษาด้วยศาสตร์การแพทย์พื้นบ้านนั้นนับว่ามีความสำคัญและเป็นที่พึ่งของระบบสุขภาพของชุมชนมาช้านาน แต่มักจะไม่ปรากฏองค์ความรู้ในตำราเรียนต่าง ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเรื่องนี้เพื่อเป็นการอธิบายและทำความเข้าใจหลักการและวิธีการวางยารักษาอาการไข้พิษไข้กาฬ ให้เกิดความเข้าใจที่ชัดเจนขึ้นตามหลักทฤษฎีการแพทย์แผนไทยหรือตามหลักสมุฏฐานตรรกะโดยผสานองค์ความรู้จากประสบการณ์ของกล่าวถึงการใช้องค์ความรู้ด้านการแพทย์แผนไทยในการรักษาอาการของโรคติดเชื้อบ่อยครั้งขึ้น ซึ่งหากจะอ้างอิงถึงองค์ความรู้แพทย์แผนไทยดั้งเดิมก็นับว่าโรคติดเชื้อหรือโรคอุบัติใหม่นี้มีความสอดคล้องกับอาการโรคตามพระคัมภีร์ตักกาศิลา ที่ได้กล่าวถึงลักษณะ

อาการไข้พิษไข้กาฬที่คล้ายคลึงกับอาการโรคโควิด 19 ได้แก่ ไข้หวัดน้อย ไข้หวัดใหญ่ มีอาการสะท้อนร้อนสะท้อนหนาว มีน้ำมูก ไอ จาม ปวดศีรษะ อาเจียน ปากเปรี้ยว ปากขม กินข้าวไม่ได้ปากแห้ง ฟันแห้ง ไข้กำเดาน้อย ไข้กำเดาใหญ่ มีอาการแสดงปวดศีรษะมาก ตาแดง ตัวร้อนเป็นเปลว ไอ ปากแห้ง คอแห้ง บางทีผดเป็นเม็ดเท่าขี้กิ้งกัก ไข้กระโดง แกลบ มีอาการเม็ดผดผื่น คันมาก และไข้ประดงมด มีอาการแสดงปวดศีรษะ ตัวร้อน เชื่อมมัวผดเหมือนขี้กักทั่วตัว คันแสบร้อน (Department of Thai traditional and Alternative Medicine, 2020) ซึ่งหลักการสำคัญในการรักษานั้นได้กล่าวถึงการกำหนดให้แพทย์ต้องให้ยากระทุ้งพิษไข้ให้สิ้น หากกระทุ้งไม่สิ้นจะเข้าไปกินดับปอด จะเห็นได้ว่า การวางยาเพื่อรักษาไข้พิษไข้กาฬนั้นต้องกระทำด้วยความละเอียดรอบคอบเนื่องจากอาการไข้ส่วนใหญ่ตามพระคัมภีร์ตักกาศิลาล้วนเป็นไข้ที่มีอาการรุนแรงสูงเสี่ยงที่ผู้ป่วย จะเสียชีวิตได้หากแพทย์รักษาไม่ทันการณ์ หรือการกระทุ้งพิษไม่สิ้น หลักการให้ยาผู้เชี่ยวชาญทั้งแพทย์แผนไทย บุคลากรทางการแพทย์แผนปัจจุบัน และหมอพื้นบ้าน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำความรู้ไปถ่ายทอดให้กับผู้ศึกษาแพทย์แผนไทย และสามารถใช้เป็นแนวทางการประกอบการวางแผนบำบัดรักษาผู้ป่วยที่มีอาการโรคไข้พิษไข้กาฬตามพระคัมภีร์ตักกาศิลา ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาวิเคราะห์ และอธิบายผลของการใช้ยารักษาอาการไข้พิษไข้กาฬตามทฤษฎีทางการแพทย์แผนไทย

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสมุฏฐานการเกิดโรค

คัมภีร์ธาตุพระนารายณ์ ฉบับโบราณ (ตำราพระโอสถพระนารายณ์) กล่าวถึงสาเหตุการเจ็บป่วยเกิดจากราตุสี่เกิดความเสียสมดุล เหตุธาตุทั้ง 4 เป็นที่ตั้งแห่งกายและอายุ ถ้าธาตุทั้ง 4 มีได้บริบูรณ์แล้วเมื่อใด สมุฏฐานก็จะแปรไปให้กำเนิดแกโรคเมื่อนั้น อันจะแปรปรวนพิการกำเริบ ตามฤดูเดือนวันเวลาอายุที่อยู่ที่เกิดก่อนจึงจะรู้

กำเนิดไข้ แล้วให้รู้สรรพคุณยา และรสยาทั้ง 9 ประการ ก่อน จึงจะประกอบยา วางยา

คัมภีร์สรรพคุณ (แลมหาพิภค) ได้กล่าวถึงที่ตั้งแรกเกิดของโรค “อธิบายว่า กายแห่งบุคคลทั้งหลายนี้ เป็นที่ตั้งแห่งกองสมุฏฐาน สมุฏฐานเป็นที่ตั้งแห่งกองธาตุ ธาตุเป็นที่ตั้งแห่งกองโรค โรคเป็นที่ตั้งแห่งอาหารดังนี้ ถ้าจะแก้ให้แก้ในกองสมุฏฐานเป็นอาทิ ด้วยอรรถว่าสมุฏฐานนี้เป็นรากแก้วแห่งโรคทั้งหลาย”

พระคัมภีร์สมุฏฐานวินิจฉัย ได้กล่าวถึงอาการในช่วงสันนิบาตว่าเกิดจากสมุฏฐานทั้ง 3 คือ ปิตตะสมุฏฐาน วาตะสมุฏฐาน และเสมหะสมุฏฐาน ระคนกันเข้าเป็นพร้อมกัน คือให้ โทษพร้อมกัน จึงเรียกว่าเป็นสันนิบาต กำหนดปิตตะ มีกำลัง 7 องศา (7 วัน) วาตะมีกำลัง 10 องศา (10 วัน) และเสมหะ มีกำลัง 12 องศา (12 วัน)

ตำราแพทย์แผนโบราณทั่วไป สาขาเวชกรรมไทย เล่ม 1 กองการประกอบโรคศิลปะ ได้กล่าวถึงสมุฏฐานตามลักษณะอาการของโรค กล่าวคือ สมุฏฐานต่าง ๆ ยังมีการจำแนกลักษณะอาการของโรค ซึ่งบังเกิด ณ ที่ทั่วไป ตามอวัยวะร่างกายที่ได้เป็นส่วน ๆ ในอาการ 32 มี เกศา โลมา เป็นต้นนั้น เมื่อโรคบังเกิดขึ้นแก่ร่างกายส่วนหนึ่งส่วนใดท่านเรียกว่า ส่วนนั้นพิการ ดังนี้เรียกว่าบอกสมุฏฐาน คือ ชีที่ เกิดของโรค ฝ่ายธาตุน้ำ ธาตุลม ธาตุไฟ ซึ่งมีหน้าที่ต้องทำ ธุระให้แก่ร่างกาย ที่ท่านได้จำแนกไว้เป็นส่วน ๆ นั้น เมื่อส่วนใดวิปริตผิดไปจากปกติมีโรคภัยบังเกิดขึ้น ท่านก็เรียกว่าส่วนนั้น ๆ พิการ บอกสมุฏฐานด้วยเหมือนกัน แต่การตรวจสมุฏฐานเพื่อให้รู้ว่าไข้ที่ป่วยรายนี้ มีอะไรเป็นสมุฏฐานที่เกิดโรคนั้น ๆ ท่านวางหลักไว้เป็นแบบสำหรับสอบสวนกันหลายทาง ธาตุทั้ง 4 ก็บอกสมุฏฐานได้อย่างหนึ่ง ตามหลักธาตุสมุฏฐาน ฤดู ดิน ฟ้า อากาศ บอกสมุฏฐานได้อย่างหนึ่งตามหลักฤดูสมุฏฐาน อายุของผู้ป่วยบอกสมุฏฐาน เวลาที่ผู้ป่วยและมีอาการปรวนแปรไปต่าง ๆ บอกสมุฏฐานได้อย่างหนึ่งตามหลักกาลสมุฏฐาน ประเทศที่ผู้ป่วยเกิดและป่วยบอกสมุฏฐานได้อย่างหนึ่งตามหลักประเทศสมุฏฐาน การที่แพทย์จะวางยาก็ต้องวางให้ถูกต้องตามสมุฏฐานนั้น ๆ แต่การที่แพทย์ตรวจเห็นคนเจ็บมีอาการเช่นนั้น ๆ แล้วก็เข้าใจว่าเป็นโรคนั้น ๆ เช่น เป็นหวัด เป็นกระษัย เป็นไข้

และวางยาอย่างนั้นไปตามชื่อของโรค เช่นนี้ก็ยังไม่ตรงตามลักษณะสมุฏฐาน เพราะชื่อโรคนั้น ๆ เป็นชื่อที่แพทย์สมมติเรียกกันขึ้น และเรียกกันตามที่เคยพบเห็นต่อ ๆ มา แต่โรคบางอย่างที่นาน ๆ พบ หรือโรค 2 อย่างที่มีอาการคล้ายคลึงกัน แพทย์หลายคนเรียกชื่อไม่ตรงกันก็มี เหตุฉะนั้นในการที่รักษาผู้ป่วยจะอาศัยชื่อเอาตามโรคที่สมมุติเรียกกัน จะนับว่าเป็นหลักฐานแน่นอนย่อมไม่ได้ ถ้าจะรักษาให้ถูกต้องแม่นยำแล้ว ต้องตรวจตราพิจารณาตามสมุฏฐานมาเป็นนัยแหละและแม่นยำกว่า ลักษณะอาการของโรคบอกสมุฏฐาน บรรดาโรคที่มีประจำตัวมนุษย์อยู่บ่อย ๆ นั้น โดยมากย่อมมีอยู่ใน 3 พวก คือ โรคเกิดเพื่อดี เพื่อเสมหะ และเพื่อลม

รস্যากับสมุฏฐานโรค

รস্যาทาการแพทย์แผนไทยนั้นแบ่งเป็น 2 นัย ได้แก่ รস্যาบอกล่าสรรพคุณ คือ “รสาชาติ” ที่สัมผัสด้วยลิ้นและความรู้สึกต่อยา และรস্যที่เป็นความหมายใน “ทางของยา” หมายถึงรสประธาน 3 รส ได้แก่ ร้อน เย็น สุขุม ซึ่งรস্যที่ส่งผลต่อรสประธาน มีดังนี้

รสขม รสฝาด รสมัน รสหวาน รสจืด ทำให้รสประธานเป็นรสเย็น รสเผ็ดร้อน รสเปรี้ยว รสเค็ม รสเมา เปื้อน ทำให้รสประธานเป็น รสร้อน รสหอมเย็น ทำให้รสประธานเป็น ฟ้าทะลายโจร รสที่สัมผัสที่ลิ้น คือ รสขม รสประธานของยาเป็นรสเย็น

จารึกตำรายาวัตราชโอรสอารามราชวรวิหาร กล่าวถึงรস্যที่เหมาะสมในการรักษาไข้พิษไข้กาฬว่า “ชอบแต่ยาเย็น จืด ฝาด เผื่อน ขม” ตำราเวชศึกษา แพทย์ศาสตร์ สังเขป เล่ม 1 พระยาพิศณุประสาทเวช ได้กล่าวถึงรস্যในหมวดที่ 3 ว่าด้วยรู้จักยาสำหรับแก้โรค ให้เอารস্য 3 อย่างนี้ตั้งเป็นประธาน คือ ยารสเย็น จำพวกหนึ่ง ยารสร้อน จำพวกหนึ่ง ยารสสุขุมจำพวกหนึ่ง จะกล่าวไว้พอเป็นสังเขป ดังนี้ คือ (1) ยารสเย็น ได้แก่ยาที่เข้าไปไม่ (ที่ไม่ร้อน) เกสรดอกไม้ สัตตเขา เนาวเขี้ยว และของที่เผาเป็นถ่านแล้วปรุงเป็นยา สำหรับแก้ในทางเตโช เป็นต้น (2) ยารสร้อน ได้แก่ยาที่เข้าเบญจกุล ตรีกุฏ หัสศุน ขิง ข่า ปรุง

เป็นยา สำหรับแก้ทางวาโย (3) ยารสสุขุม ได้แก้ยาที่เข้า โกฎ เทียน กฤษณา กะลำพัก ชะลูด อบเชย ขอนดอก แก่น จันทร์เทศ เป็นต้น ประปรุงเป็นยา อีกทางหนึ่งท่านจำแนกตาม รส เป็น 9 รส คือ (1) รสฝาด สำหรับสมาน (2) รสหวาน สำหรับซึมซาบไปตามเนื้อ (3) รสเมาเบื่อ แก้พิษ (4) รส ขม แก้ทางโลหิต (5) รสเผ็ดร้อน แก้ลม (6) รสมัน ชอบ แก่เส้นเอ็น (7) รสหอมเย็น ทำให้ชื่นใจ (8) รสเค็ม ซาบไป ตามผิวหนัง (9) รสเปรี้ยวกัดเสมหะ ตามตำราเป็น 9 รส ฉะนั้น แต่ควรเติมรสจัดอีกรสหนึ่งสำหรับแก้ทางเสมหะด้วย ยังอีกทางหนึ่ง ท่านจัดตามธาตุทั้ง 4 คือ ว่าธาตุอย่างนั้น พิจารณาใช้ยารสนั้น ๆ แก่ถูกโรค ดังนี้ คือ (1) โรคที่เกิดเพื่อ ปลูก พิจารณา ชอบยารสฝาด รสขม รสหวาน รสเย็น (2) โรค ที่เกิดเพื่อเอาไป พิจารณา ชอบยารสขม รสเปรี้ยว รสเมาเบื่อ (3) โรคที่เกิดเพื่อเตโช พิจารณา ชอบยารสจัด รสเย็น (4) โรค ที่เกิดเพื่อ วาโย พิจารณา ชอบยารสสุขุม รสเผ็ดร้อน

หลักการตั้งตำรับยาไทย

ตัวยาดตรง คือ ยาที่มีสรรพคุณบำบัดโรคและใช้โดย เฉพาะเรื่องอาจจะมีรสขมมาก รสเปรี้ยวมากมีรสเค็มมาก ๆ ไม่อาจจะรับประทานได้มาก เพราะรสไม่อร่อย และโรค แทรกก็มี แพทย์จึงได้หาตัวยาช่วยอีกแรงหนึ่งจะได้รักษา โรคและใช้หายเร็วขึ้น ตัวยาช่วย คือ เมื่อมีโรคแทรก โรค ตาม หรือโรครสสุขุม และยารสเย็น. ยารสประธาน เป็น ความหมายของรสที่จะบอกหน้าที่ หรือทางยาของตำรับ นั้น ๆ หรือยาเดี่ยว เช่น.หลายโรครวมกัน แพทย์ก็ใช้ตัวยาช่วยในการรักษาไอก็มีตัวยากัดเสมหะช่วยด้วย

ยาประกอบ เพื่อป้องกันโรคตามและช่วยบำรุงแก่ ส่วนที่หมอเห็นควร หรืออาจจะใช้เป็นยาคุมฤทธิ์ยาอื่น เช่น ลูกผักชีล้อม ใส่เพื่อแก้อาการไข้ในท้องในยาต่าง ๆ

ตัวยาชุกลิ่น ขุรส และแต่งสีของยา หากบางครั้ง การปรุงยารักษาโรคอาจจะมิกลิ่นไม่น่ารับประทาน ก็ต้อง อาศัยตัวยาชุกลิ่นให้น่ารับประทานหรือบางครั้งยาที่มีรสขม มากเกินไป ก็ควรใช้ยาขุรสให้รับประทานได้ง่าย เช่น ควร เติมรสหวานเข้าไปบ้างก็ควรเติม ไข่แต่นั่น สีของยาถ้า มีสีสดก็น่ารับประทาน หรือสีแดงอ่อน ๆ ก็น่ารับประทาน

ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์และคลินิก

ยาห้ารากมีฤทธิ์แก้ไข้ แก้ปวด แก้ไข้มาลาเรีย ด้านการอักเสบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ยืนยันถึงประสิทธิภาพและความปลอดภัยไม่เป็นอันตราย ต่อตับในระยะยาว (Burusliam, 2020) นิยมใช้กับโรคไข้ ที่มีอาการออกผื่น ไข้หวัดใหญ่ หรือไข้ที่มีอาการปวดข้อ (Puangkeaw, 2021)

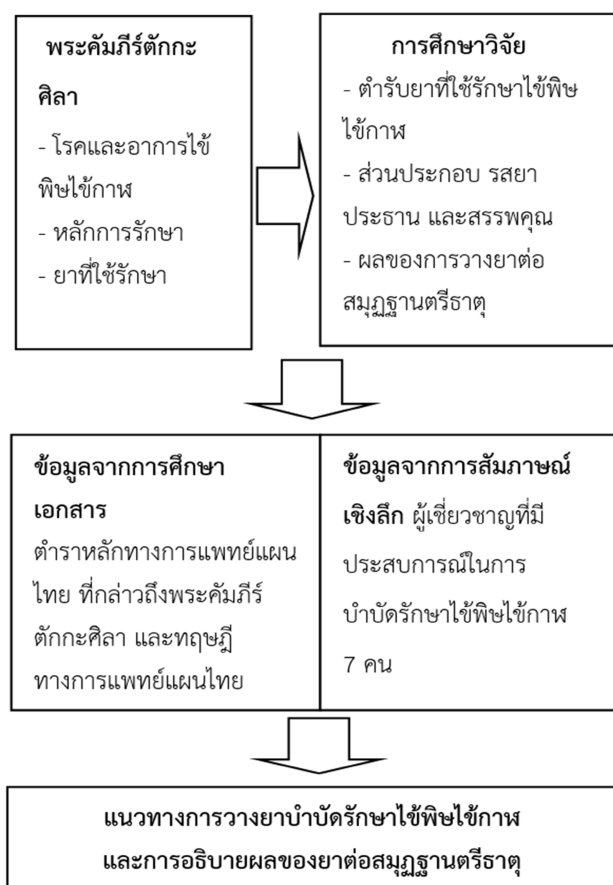
วิธีดำเนินการวิจัย

เป็นกระบวนการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) ใช้วิธีเชิงผสมผสานกระบวนการวิเคราะห์เนื้อหา ประกอบด้วย การศึกษาจากเอกสาร (documentary research) กับวิธีแบบสามเส้า (triangulation) คือ การ สัมภาษณ์เจาะลึก (in-depth interview) กลุ่มศึกษา 3 กลุ่ม โดยได้เอกสารรับรองจริยธรรมการวิจัย จากมหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ COA. 20-040/2023 -

ประชากรและกลุ่มศึกษา

กำหนดกลุ่มศึกษาแบบมีเกณฑ์ (criterion sampling) จำนวน 7 คน โดยกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มศึกษา เข้าสู่การวิจัย (inclusion criteria) แยกกลุ่มศึกษาเป็น 3 กลุ่ม คือ .กลุ่มที่ 1 แพทย์แผนไทยผู้เชี่ยวชาญด้านเวชกรรม ไทย มีใบประกอบวิชาชีพเวชกรรมไทย มีประสบการณ์ใน การรักษาอาการไข้พิษไข้กาฬ หรือปฏิบัติงานด้านเวชกรรม ไทย ไม่ต่ำกว่า 10 ปี และมีประสบการณ์ในการถ่ายทอด ความรู้ให้กับผู้เรียนในสถาบันการศึกษา จำนวน 3 คน กลุ่ม ที่ 2 หมอพื้นบ้านที่มีใบรับรองหมอพื้นบ้านตามระเบียบ กระทรวงสาธารณสุขด้วยการรับรองหมอพื้นบ้าน พ.ศ. 2562 มีประสบการณ์ในการรักษาอาการไข้พิษไข้กาฬ และ เป็นที่ยอมรับของชุมชน เป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 10 ปี ในพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 1 คน และจังหวัดสิงห์บุรี จำนวน 1 คน กลุ่มที่ 3 แพทย์แผนปัจจุบัน และเภสัชกร แผนปัจจุบัน ที่ได้ศึกษา/อบรม หรือมีการศึกษาวิจัยด้าน การแพทย์แผนไทย/สมุนไพร จำนวน 2 คน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ผลการศึกษาข้อมูลตำรับยา

ตำรับยาที่ใช้บำบัดรักษาไข้พิษไข้กาฬตามพระคัมภีร์ตักกะศิลา จากการรวบรวมข้อมูลในตำราหลักทางการแพทย์แผนไทย 5 เล่ม คือ (1) ตำราเวชศาสตร์ฉบับหลวงรัชกาลที่ 5 (เล่ม 1) (2) ตำราแพทย์ศาสตร์สงเคราะห์ เล่ม 2 พระยาพิศณุประสาทเวช ร.ศ.126 (3) ตำราคัมภีร์แพทย์ไทยแผนโบราณ เล่ม 1 ขุนโสภิตบรรณลักษณ์ (4) ตำราแพทย์ศาสตร์สงเคราะห์ ภูมิปัญญาทางการแพทย์และมรดกทางวัฒนธรรมของชาติ กระทรวงศึกษาธิการ (5) ตำราแพทย์แผนโบราณทั่วไป สาขาเวชกรรมไทย เล่ม 1 กองการประกอบโรคศิลปะ พบว่า มีข้อมูลยาที่ใช้รักษาไข้พิษไข้กาฬ รวมทั้งหมด 7 ขนาน เป็นยารสประธานเย็น จำนวน 5 ขนาน รสเย็นสุขุม จำนวน 1 ขนาน และยารสสุขุมเย็น จำนวน 1 ขนาน ดังนี้ ขนานที่ 1 ยากระทุ้งแก้วห้า

ดวง หรือยาห้าราก เป็นยาเย็น มีรสประธานเย็น ประกอบด้วยสมุนไพรร 5 ชนิด คือ รากหญ้านาง รากชิงชี รากมะเดื่อชุมพร รากท้าวยายม่อม และรากคนทา ปรากฏในตำราเล่มที่ 1-5 ขนานที่ 2 ยาประสะกระทุ้งผิวภายนอก มีรสประธานเย็น เป็นยาพ่น ประกอบด้วยสมุนไพรร 3 ชนิด คือ ใบหญ้านาง ใบมะขาม ดินประสิว และน้ำข้าวข้าวเป็นกระสายยา ปรากฏในตำราเล่มที่ 1-4 (พระคัมภีร์ตักกะศิลา) ในส่วนตำราเล่มที่ 4 (คัมภีร์ฉันทศาสตร์) ปรากฏมีสมุนไพรร 4 ชนิด คือ หญ้านาง ใบมะขาม เถาวัลย์เปรียง ดินประสิว (ไม่มีกระสายยา) ส่วนตำราเล่มที่ 5 ปรากฏมีสมุนไพรร 4 ชนิด คือ ใบย่านาง ใบมะขาม เถาวัลย์เปรียง ดินประสิว และน้ำข้าวข้าวเป็นกระสายยา ขนานที่ 3 ยาทั้งกินทั้งพ่น มีรสประธานเย็น ประกอบด้วยสมุนไพรร 3 ชนิดคือ รากมูลกาแดง และเถาหญ้านาง ดินประสิว และน้ำข้าวข้าวเป็นกระสายยา ปรากฏในตำราเล่มที่ 1-4 (พระคัมภีร์ตักกะศิลา) ในส่วนตำราเล่มที่ 4 (คัมภีร์ฉันทศาสตร์) ปรากฏมีสมุนไพรร

จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ รากผักข้าว รากขี้กาแดง และดินประสิว (ไม่มีกระสายยา) ส่วนตำราเล่มที่ 5 ปรากฏมีสมุนไพร จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ แก้วขี้กาแดง แก้วยานาง รากผักข้าว ดินประสิว และน้ำขาวข้าวเป็นกระสายยา ขนานที่ 4 ยาทั้ง กินทั้งฟัน มีรสประฐานเย็น ประกอบด้วยสมุนไพร 4 ชนิด คือ ใบทองหลางใบมน เปลือกทองหลางใบมน ข้าวสาร และดินประสิว (ไม่มีกระสายยา) ปรากฏในตำราเล่มที่ 1 2 4 และ 5 ส่วนตำราเล่มที่ 3 ปรากฏมีสมุนไพร 4 ชนิด คือ ใบทองหลางใบมน เปลือกทองหลางใบมน ข้าวสาร ดินประสิว และน้ำขาวข้าวเป็นกระสายยา ขนานที่ 5 ยาแปรรูป เป็นยากิน มีรสประฐานเย็นสุขุม ประกอบด้วยสมุนไพร 11 ชนิด คือ ใบมะยม ใบคนที่สอ ใบมะนาว ใบหมากผู้ ใบหมากเมีย หล้าแพรก ขมิ้นอ้อย ใบมะกรูด ใบมะเฟือง ใบมะตูม หล้าปากควาย และน้ำขาวข้าวเป็นกระสายยา ปรากฏในตำราเล่มที่ 4 (คัมภีร์ฉันทศาสตร์) และเล่มที่ 5 ขนานที่ 6 ยาฟันแปรรูปภายนอก มีรสประฐานเย็น เป็นยา ฟัน ประกอบด้วยสมุนไพร 4 ชนิด คือ รังหมาว่าที่คางแรม ปี หล้าแพรก หล้าปากควาย ใบมะเฟือง และน้ำขาวข้าว เป็นกระสายยา ปรากฏในตำราเล่มที่ 4 (คัมภีร์ฉันทศาสตร์) และเล่มที่ 5 ขนานที่ 7 ยาครอบไข้ตักกะศิลา เป็นยา กิน มีรสประฐานสุขุมเย็น ประกอบด้วยสมุนไพร 14 ชนิด คือ จันทน์แดง ใบสวาด จันทน์ขาว หัวคัลลา รากสะแก ราก ผักข้าว แก้วยานาง กฤษณา ขอนดอก พิมเสน และน้ำขาวข้าว เป็นกระสายยา ปรากฏในตำราเล่มที่ 4 (คัมภีร์ฉันทศาสตร์) และเล่มที่ 5 (ตาราง 1)

ตำรับยาจากองค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ 7 คน มีการใช้ยารักษาผู้ป่วยอาการไข้พิษไข้กาฬ จำนวน 25 ขนาน จัดเป็นกลุ่มยากระทุ้งพิษไข้ ซึ่งเป็นยารสเย็น จำนวน 5 ขนาน กลุ่มยาแปรรูป ซึ่งเป็นยารสเย็นสุขุม สุขุมเย็น และ สุขุมร้อน จำนวน 11 ขนาน กลุ่มยาครอบไข้ (และลมปลาย ไข้) ซึ่งเป็นยารสสุขุมเย็น และสุขุมร้อน จำนวน 9 ขนาน ดังนั้น กลุ่มยากระทุ้งพิษไข้ จำนวน 5 ขนาน: ฟ้าทะลายโจร ยาห้าราก ยาเขียวหอม ยาฝนตัดไข้ และยาทั้งพิษ กลุ่มยา แปรรูป จำนวน 11 ขนาน: ยาจันทลีลา ยาประสะจันทร์แดง ยาประสะเปราะใหญ่ ยาทา ยาถ่าย ยาฟันพร้อม คาถา 2 ขนาน ยาอัมฤคยาที่ ยาประสะมะแว้ง น้ำผึ้งผสม มะนาวเกลือ และน้ำขิง กลุ่มยาครอบไข้ (และลมปลาย

ไข้) จำนวน 9 ขนาน: ยาจันทฤทัย ยากล่อมนางนอน ยา ปรับธาตุ ยาหอมนวโกฐ ยาหอมทิพโอสถ ยาหอมอินทจักร์ ยาธาตุบรรจบ ยาหอมเทพจิตร และตรีผลา ส่วนประกอบ ของยาเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยยา สามัญประจำบ้านแผนโบราณ พ.ศ.2556 ยกเว้นตำรับยา ของหมอพื้นบ้าน กล่าวคือ ยาฝนแก้ไข้ทั้งปวง ประกอบด้วย หวดข่าน้อย (มะหุดน้อย) หวดข่าใหญ่ (มะหุดใหญ่) พญามือฤทธิ์ (ติ่งตัน) พญามือเหล็ก โพงผี้แดง (นมสวรรค์ ดอกแดง) โพงผี้ขาว (นมสวรรค์ดอกขาว) ข่อยदान (ข่อย หิน หรือพุดผา) แขนพันชั้น (หนาวเดือนห้า) ชิงไคตัน (เทพ ทาโร) ยาทั้งพิษ ประกอบด้วย รากมะนาว ย่านางแดง ไม้ ฮางฮ้อน (ยางร้อน/พญาไฟ) ยาทา ประกอบด้วยเปลือก ไม้ประดู่ รากสมัดใหญ่ เปลือกเค็ง เปลือกกระโดน เปลือก ตากวง (กำแพงเก๋ากั้น) เปลือกพะยอม ยาถ่าย ประกอบด้วย ตาไก่ (กำแพงเจ็ดชั้น) ตากวง (กำแพงเก๋ากั้น) ยาปรับ ธาตุ ประกอบด้วย ข่า กระเทียม ใบส้มเสี้ยว แก่นขี้เหล็ก ใบ มะกา ดอกบัวหลวง พิกุล บุณนาค สารภี มะลิ ผางเสน ข้าว เย็นเหนือ ข้าวเย็นใต้ ดอกคำฝอย แสมทะเล แสมสาร ใบ ข้าวหลาม ยาตา สารส้ม กำมะถันเหลือง ยาฟัน ประกอบด้วย ข่า สุรา 40 ดีกรี ซึ่งในจำนวนยา 25 ตำรับนี้ แพทย์แผน ไทยมีความถี่ในการใช้ยาร้อยละ 80-90 จำนวน 4 ขนาน ได้แก่ ฟ้าทะลายโจร ยาห้าราก ยาเขียวหอม และยาจันทลีลา ส่วนแพทย์แผนปัจจุบันและเภสัชกรแผนปัจจุบันใช้ยา 3 ขนาน ได้แก่ ฟ้าทะลายโจร จันทลีลา และเขียวหอม ใน ความถี่เท่ากัน) ยาที่ใช้บ่อยความถี่ร้อยละ 30-50 จำนวน 14 ขนาน ได้แก่ ยาประสะจันทร์แดง ประสะเปราะใหญ่ จันทฤทัย ยาธาตุบรรจบ ยานวโกฐ ยาทิพโอสถ ยาหอม เทพจิตร ยากล่อมนางนอน ยาหอมอินทจักร์ ยาอัมฤคยาที่ ยาประสะมะแว้ง ยาตรีผลา มะนาวน้ำผึ้งเกลือ และน้ำ ขิง ส่วนหมอพื้นบ้านมีความถี่ในการใช้ยาร้อยละ 80-100 จำนวน 6 ขนาน ได้แก่ ยาฝนแก้ไข้ทั้งปวง ยาฟัน/ยาเป่า ลม ยาปรับธาตุ ยาทั้งพิษ ยาทา ยาฟัน และร้อยละ 50 จำนวน 1 ขนาน ได้แก่ ยาถ่าย (ตาราง 2)

ส่วนที่ 2 ผลการศึกษาและตรีธาตุสมุนไพร

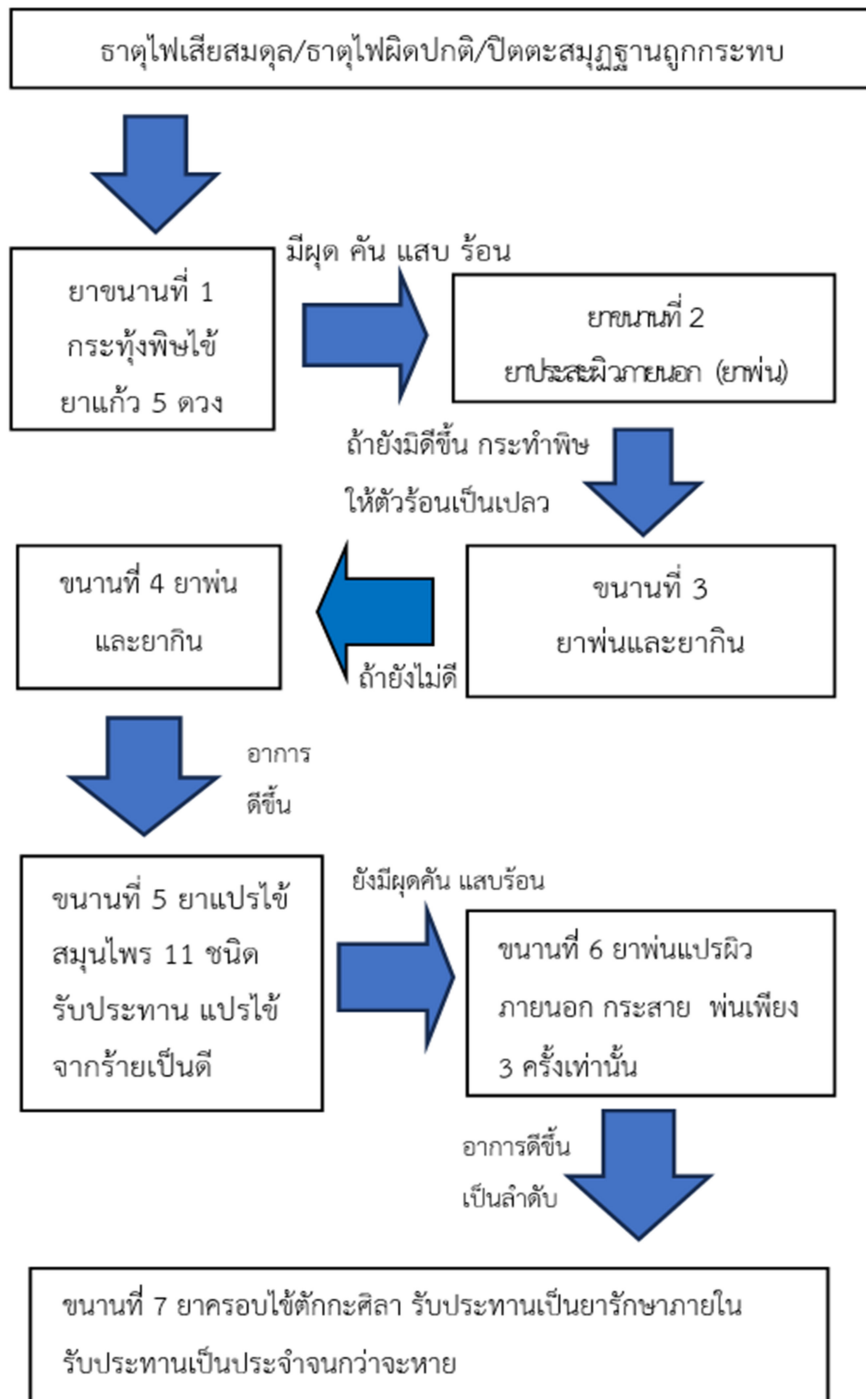
ตำราหลักทางการแพทย์แผนไทยได้มีกล่าวถึง ยา 7 ขนาน และกระบวนการรักษา 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอน ที่ 1 กระทุ้งพิษไข้ ขั้นตอนที่ 2 แปรรูป และขั้นตอนที่ 3

ครอบไข้ ซึ่งสมุนไพรที่เป็นส่วนประกอบในยาทั้ง 7 ขนาน นั้น เป็นองค์ความรู้ที่มีการจัดระบบให้มีการใช้ที่สอดคล้อง กับกระบวนการรักษา กล่าวคือ ในขั้นตอนการกระตุ้นพิษ ใช้นั้น จะต้องใช้ยากระตุ้นทั้ง 7 ขนานที่ 1 คือ แก้วห้าดวง หรือ หอยาหาราก มีรสปร่าเป็นรสเย็น สามารถแก้ในทาง เตโชธาตุ แก้ไข้พิษ ไข้กาฬ ดับพิษร้อน ทำให้ร่างกายเกิด ความรู้สึกเย็น ลดความร้อนในร่างกาย เป็นการแก้ความ ผิดปกติของเตโชธาตุที่กระทบต่อปิตตะสมุฏฐาน ขั้นตอน แปรไข้ ใช้ยาพ่น/ยาทั้งกินทั้งพ่นขนานที่ 2 3 4 และ 6 เป็นยารสปร่าเย็น เพื่อเป็นการแปรผิวยานอก ลด ความร้อน เกิดความรู้สึกเย็นที่ผิวยานอก ลดอาการแสบร้อน คัน การแทรกดินประสิวช่วยกระจายวาตะให้ขับพิษได้ ดี และใช้ยาแปรไข้ขนานที่ 5 มีรสปร่าเป็นยารสเย็น สุขุม ช่วยแปรไข้จากร้ายเป็นดี คือสามารถแก้ความ ผิดปกติของเตโชธาตุที่กระทบต่อวาตะสมุฏฐาน และเสมหะ สมุฏฐาน ขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนครอบไข้ ใช้ยาขนานที่ 7 ยาครอบไข้ดักเกศลา มีรสปร่าเป็นรสสุขุมเย็น ช่วย รักษาและบำรุงภายใน ซึ่งหมายถึงการรักษาความผิดปกติ ของเตโชธาตุ วาโยธาตุและอาโปธาตุที่กระทบต่อปฐวีธาตุ ภายใน เช่น ตับ ปอด หัวใจ ลำไส้ (ภาพ 2) สำหรับการรักษาโรคไข้พิษไข้กาฬของผู้เชี่ยวชาญที่เป็นแพทย์แผนไทย ด้านเวชกรรมไทย มีการพิจารณาการวางยาตามการดำเนิน โรค หรือตามสมุฏฐานตรีธาตุ โดยเริ่มมองจากสาเหตุของ โรคที่เกิดจากพิษ กริสะ หรือเชื้อโรค เข้าไปกระตุ้นระบบ ปิตตะหรือเตโชธาตุให้มีความผิดปกติ หรือเรียกว่าเป็นช่วง ของชาติเตโช หรือ สมุฏฐานปิตตะ หรือ กำเดาโลหิต หรือ ไข้เพื่อโลหิต หรือ ไข้เพื่อปิตตะ หรือ ไข้เข้าสู่ธาตุไฟ หรือ ไข้เอกโทษส่งผลให้ไฟขึ้นคึกคักกำเริบเพื่อทำลายพิษ จากนั้น กระทบต่อไฟสันดับคึกคัก และบริษัทยัคคีเกิดมวลกำเดาในรูป ธาตุไฟ ทำให้มีอาการไข้ ตัวร้อน ปากคอแห้ง นอนไม่หลับ มีตุ่มผื่น แสบร้อน ซึ่งในช่วงนี้ต้องมีการใช้ยากระตุ้นพิษไข้ หรือรุกรูพิษไข้อย่าง โดยใช้ยารสเย็น เพื่อลดกำเดาของมวลก แห่งเตโชในระบบปิตตะ/กระตุ้นพิษในโลหิต ช่วยดับพิษ ในโลหิต/ลดพิษโลหิตกำเดาที่เกิดจากปิตตะสมุฏฐาน/แก้ พิษ หรือขับพิษในระบบโลหิต แก้ไขสมุฏฐานปิตตะ ต่อ มาอาจส่งผลกระทบต่อวาโยธาตุ และอาโปธาตุ โดยอาจ กระทบต่อวาโย หรืออาโปก่อนก็ได้ตามสมุฏฐานโรค ของผู้ป่วย หากกระทบวาโย หรือที่เรียกว่าช่วง จรณวาโย หรือ ไข้ทวนโทษ (วาโยแทรก) หรือสมุฏฐานวาตะ หรือลม

โลหิต หรือ ไข้เพื่อวาตะ หรือไข้เข้าสู่ธาตุลม อาจกระทบให้ ลมอัมคัมคานสาวิธา ออจคฺมาวาตา ออจคฺมาวาตา กุณิสยาวาตา โกฐาสยาวาตา มีการกำเริบ เกิดมวลกำเดาในรูปธาตุลม ส่ง ผลให้เกิดอาการ ปวดเมื่อย อ่อนเพลีย ใจสั่น ไอ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดศีรษะ ตุ่ม ผื่น คัน แสบร้อน ในช่วง นี้ต้องมีการใช้ยาแปรไข้ รสเย็นสุขุม เพื่อล่อมวาตะไม่ให้ กระทบธาตุไฟ หากกระทบต่ออาโป หรือที่เรียกว่าช่วง จรณอาโป หรือไข้ทวนโทษ (อาโปแทรก) หรือสมุฏฐานเสมหะ หรือลม โลหิต หรือไข้เพื่อเสมหะ หรือไข้เข้าสู่ธาตุน้ำ อาจกระทบ ให้สิ่งขนาบ เสมหัง เชโฟ โลหิตัง วสา บุพโพ เสโทกำเริบ เกิดมวลกำเดาในรูปธาตุน้ำ ทำให้มีอาการ น้ำมูก เสมล เลือด น้ำเหลือง น้ำหนอง เหงือกอักเสบ ในช่วงนี้ต้องม ีการใช้ยาแปรไข้ รสเย็นสุขุม และยาตามอาการแทรก เพื่อ ล่อมเสมหะไม่ให้กระทบธาตุไฟ ต่อมาหากกระทบถึงปฐวี เรียกว่าช่วงจรณปฐวี หรือไข้สันนิบาต หรือสมุฏฐานปฐวี หรือไข้เพื่อปฐวี หรือไข้เข้าสู่ธาตุดิน เกิดมวลกำเดาในรูป ธาตุดิน อาจกระทบต่อ อันตัง ยกนัง หยง ปับผาสัง ปิทกั งักกัง เกิดกาฬหรือฝีภายใน ให้มีอาการหอบเหนื่อยหายใจ ลำบาก ไข้ตัวเหลืองตาเหลือง อาเจียน และถ่ายเป็นโลหิต คลั่งเพื่อเจรจาไม่รู้สีกตัว ออจจาธาตุพิการ ถ่ายเสมลโลหิต เน่าเหม็น บิดปวดมวน กาฬลงดับกาฬกีนปอดกาฬกีนไส้ เม็ดผื่น รอยไหม้เกรียม ตุ่มก่อนผุดตามร่างกาย กินอวัยวะ ภายใน อาการลุกลามเรื้อรัง เกิดผิ 5 ประการ ซึ่งในช่วงนี้ ต้องมีการใช้ยาครอบไข้ รสสุขุมเย็น เพื่อลดไข้ที่เข้าสู่ธาตุ ดิน และบำรุงธาตุดิน แต่เมื่อหายจากอาการไข้แล้วผู้ป่วย อาจยังมีอาการติดค้างในช่วงปลายไข้ เช่นอ่อนเพลีย ท้อง อืดเฟ้อ หนักเนื้อหนักตัว จะต้องใช้ยาแก้ลมปลายไข้เพิ่มเติม ในขั้นตอนการครอบไข้ด้วย ได้แก่ยาหอมต่าง ๆ ที่มีรสสุขุม เย็น หรือสุขุมร้อน ที่จะช่วยปรับสมดุลลมที่ยังติดค้างอยู่ ส่วนแพทย์แผนปัจจุบันและผู้เชี่ยวชาญที่เป็นเภสัชกรแผน ปัจจุบันที่มีการศึกษาด้านสมุนไพรหรือการแพทย์แผนไทย ยึดหลักการใช้ยาตามฤทธิ์ของสารที่มีอยู่ในสมุนไพร ที่ช่วย ให้ผู้ป่วยให้หายเป็นปกติได้ ได้แก่ ฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ฤทธิ์ด้านการ อักเสบ และฤทธิ์ที่ช่วยกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย เช่น ฤทธิ์ของสาร Andrographolide ในฟ้าทะลายโจรที่มี ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อไวรัส และด้านการอักเสบ สารสำคัญในบอ ระเพ็ดช่วยกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย ซึ่งผู้ป่วย มีความจำเป็นต้องรับประทานยาให้ต่อเนื่อง ส่วนหมอพื้นบ้าน 2 ท่าน จากจังหวัดร้อยเอ็ด และจังหวัดสิงห์บุรี เชื่อว่า

ใช้พิษใช้กาฬ เกิดจากเลือดลม และสิ่งแวดลอม มีการใช้ยา 1- 3 ขนาน รักษาผู้ป่วยให้ดีขึ้นจนหาย ได้รับความเชื่อมั่นศรัทธาจากคนในชุมชนและผู้ป่วยมาไม่ต่ำกว่า 10 ปี ทั้งนี้หมอพื้นบ้านทั้งสองคนไม่เคยรู้จักองค์ความรู้ตามพระคัมภีร์ตักกะศิลา ระยะเวลาในการรักษาขึ้นอยู่กับระยะ

การดำเนินโรค หากอยู่ในช่วงแรกที่แสดงอาการไม่เกิน 3-7 วัน อาจจะใช้เวลารักษา 7-14 วัน แต่หากอาการลุกลามหรือดำเนินไปนานกว่า 7-14 วัน อาจจะต้องใช้เวลารักษาไม่น้อยกว่า 30 วัน (ภาพ 2)



ภาพ 2 แสดงกลไกและกระบวนการรักษาใช้พิษใช้กาฬ.ตามตำราหลักทางการแพทย์แผนไทย

ตาราง 1

แจกแจงตัวรับยา และรสประธานของยารักษาไข้พิษไข้กาฬที่ปรากฏในตำราหลักทางการแพทย์แผนไทย

ชื่อตำรา	ชื่อตำรับยา รูปแบบยา ส่วนประกอบ วิธีใช้					
	ยาแก้หัวดวง (ยากิน)	ยาประสละพิษภายนอก (ยาพ่น)	ยาพ่นภายนอก (ยาพ่นและยากิน)	ยาพ่นและยากิน (ยาพ่นและยากิน)	ยาแปรใช้ (ยากิน)	ยาพ่นแปรพิษภายนอก (ยาพ่น) ยาคอปปี้ใช้ตักกะสีลา (ยากิน)
1.เวชศาสตร์ฉบับหลวง ร.5 เล่ม 1 พ.ศ.2413	รากคนทา 1 รากท้าว ยาม่อม 1 รากชิงชี 1 รากมะเดื่อ 1 รากหญ้านาง 1 ยาพ่นนี้เอา เสมอภาคต้มให้กิน	ใบหญ้านาง 1 ใบมะขาม 1 เอาเสมอภาคเอาดินประสิวใส่ แต่พอสมควรละลาย น้ำชาข้าวพ่น	รากมูลกแดงทั้งใบทั้ง ราก 1 เอาหญ้านาง ทั้งใบทั้งราก เอาเสมอภาค แทรกดินประสิวละลายด้วยน้ำชาข้าวพ่นทั้งกินทั้งพ่น	ใบทองเหลืองใบมน เปลือกทองเหลืองใบมน 1 (ข้าวสาร) เอา เสมอภาคแทรกดินประสิวล้างทั้งพ่น	-	-
2.แพทย์ศาสตร์ สงเคราะห์เล่ม2 พระยาพิศณุฯ ร.ศ.126	รากคนทา 1 รากท้าว ยาม่อม 1 รากชิงชี 1 รากมะเดื่อ 1 รากหญ้านาง 1 ยาพ่นนี้เอา เสมอภาคต้มให้กิน	ใบหญ้านาง 1 ใบมะขาม 1 เอาเสมอภาคเอาดินประสิวลใส่ แต่พอสมควรละลาย น้ำชาข้าวพ่น	เอาชิกาแดงทั้งใบทั้ง ราก 1 เอาหญ้านางทั้ง ใบทั้งราก 1 เอาเสมอภาคแทรกดินประสิวละลายด้วยน้ำชาข้าวพ่นทั้งกินทั้งพ่น	ใบทองเหลืองใบมน 1 เปลือกทองเหลืองใบมน 1 ข้าวสารด้วย เอา เสมอภาคแทรกดินประสิวล้างทั้งพ่น	-	-
3.คัมภีร์แพทย์ไทย แผนโบราณ เล่ม 1 ชุนโสธิตบรรณลักษณ์	รากคนทา รากเท้า ยาม่อม รากชิงชี รากมะเดื่อชุมพร รากหญ้า นาง เอาเสมอภาค ต้ม ให้กิน	ใบหญ้านาง ใบมะขาม เอาเสมอภาค เอาดินประสิวลพอควร บด ละลายน้ำชาข้าวพ่น	รากแลใบชิกาแดง หญ้านางทั้งรากแลใบ เอาเสมอภาคแทรกดินประสิวล บดละลายน้ำ ชาข้าวพ่น	ใบทองเหลืองใบมน เปลือกทองเหลืองใบมน ข้าวสาร เอาเสมอภาค แทรกดินประสิวล บด ละลายน้ำชาข้าวพ่น	-	-
4.ตำราแพทย์ศาสตร์ สงเคราะห์ ภูมิปัญญาทางการแพทย์และมรดกทางวรรณกรรมของชาติ กระทรวงศึกษาธิการ(พระคัมภีร์ ตักศิลา)	รากคนทา 1 รากท้าว ยาม่อม 1 รากชิงชี 1 รากมะเดื่อ 1 รากหญ้านาง 1 ยาพ่นนี้เอา เสมอภาคต้มให้กิน	ใบหญ้านาง 1 ใบมะขาม 1 เอาเสมอภาค เอาดินประสิวลใส่ แต่พอสมควรละลาย น้ำชาข้าวพ่น	เอาชิกาแดงทั้งใบทั้ง ราก 1 เอาหญ้านางทั้ง ใบทั้งราก 1 เอาเสมอภาคแทรกดินประสิวละลายด้วยน้ำชาข้าวพ่นทั้งกินทั้งพ่น	ใบทองเหลืองใบมน 1 เปลือกทองเหลืองใบมน 1 ข้าวสารด้วย เอา เสมอภาค แทรกดินประสิวล้างทั้งพ่น	-	-

ตาราง 1 (ต่อ)

ชื่อตำรับยา รูปแบบยา ส่วนประกอบ วิธีใช้						
ชื่อตำรา	ยาแก้หวัดหวง (ยากิน)	ยาประสมผิวภายนอก (ยาพ่น)	ยาพ่นภายนอก (ยาพ่นและยากิน)	ยาประใช้ (ยากิน)	ยาพ่นแปรรวภายนอก (ยาพ่น)	ยาครอบใช้ทั้งศีรษะ (ยากิน)
(คัมภีร์ฉันทศาสตร์)	รากเท้ายายม่อม มะเดื่อ ทุ้มพร อีกรากคนทา ซึ่งชี่ น้ำนอง ให้ต่อตำรา ปู่ เจ้าเขาเซียว หย่านางแล นานา ยาสิริสรพยให้เอา เสมอกัน ต้มให้กิน	หย่านางใบมะขาม วัลย์ เบี่ยงเอามา ดินประสิ่ว แทรกยา พ่นผุดทันใจ ลงไป	รากปักเข้า ชักแฉ่งใส่ แทรกดินประสิ่ว พ่นผุด ลงไป	-	ใบมะขาม มะเดื่อทั้งคู่ มะยมให้หา มะเฟือง มะกรูด มะนาวแลนา คน ที่ส้อมมา หย่าพริกปากควาย มะตูมเอาใบ ขมิ้น อ้อยไซร์ คิริยาทั้งหลาย เสมอภาคหมุด บดป่น ละลาย น้ำชาขาวกิน หาย แปรร้ายเป็นดี	รังหมาว่า ที่ร้างแรม ปี หย่าพริกปากควาย ใบมะเฟืองมีสี คิริยา ทั้งนี้ เท่ากันบรรจุ บด ปั่นแห้งละลาย ชาขาว เป็นกระสาย ขวนขวย ใส่ลงพ่นแปรแก้ย่ำ หายดังจันทน์ เป็นดีโดย หาย แปรร้ายเป็นดี จง ให้พ่นสามครา จะถอยคลาย
5.ตำราแพทย์แผนโบราณทั่วไป สาขาเวชกรรมไทย เล่ม 1 กองประกอบโรคติดต่อ	1. รากชิงชี่ 2. ราก ย่านาง 3. รากคนทา 4. รากท้ายายม่อม 5. รากมะเดื่อชุมพร ยา ทั้งนี้เอาลิ้งละเสมภาค ทั้งนี้รับประทานครั้งละ 2-3 ช้อนโต๊ะ ท่างกัน ประมาณ 3 ชม.ต่อครั้ง	1. ใบย่านาง 2. ใบ มะขาม 3. เถาว์ลิ้งเปรียง ยาทั้งนี้ เอาหนักลิ้งละ เสมอภาค บดแทรกดิน ประสิ่ว ละลายน้ำชา ขาวพ่น	1. เก้าชีกาแดง เอาทั้งใบ และราก 2. เถาย่านาง เอาทั้งใบและราก 3. รากปักเข้า ยาทั้งนี้ เอา หนักลิ้งละเสมภาค บด แทรกดินประสิ่ว ทั้งกิน	1. ใบทองหลางใบมน 2. คนทีสอ 3. ใบมะนาว 4. ใบพริกขี้หนู 5. หย่าพริก 6. ขมิ้นน้อย 7. ใบ มะกรูด 8. ใบมะเฟือง 9. ใบมะตูม 10. ใบพริกขี้หนู 11. หย่าพริกขี้หนู	1. รังหมาว่าที่ค้างแรมปี 2. หย่าพริก 3. หย่า ปากควาย 4. ใบมะเฟือง ยาทั้งนี้ หนักลิ้งละเสม ภาค บดป่นเม็ด เอาน้ำ ชาขาวเป็นกระสาย พ่น เพียง 3 ครั้งเท่านั้น	1. จันทน์แดง 2. ใบสวาด 3. จันทน์ 4. รากคิงจ้อ 5. ใบผักหวานบ้าน 6. ใบ มะนาว 7. กระล้าพัก 8. จันทน์ขาว 9. หัวคัลล้า 10. รากสะแก 11. ราก พักเข้า 12. เถาย่านาง 13. กฤษณา 14. ขอนดอก ยา ทั้งนี้ หนักลิ้งละเสมภาค บดแทรกพิมเสนพอควร ใช้น้ำชาขาวเป็นกระสาย รับประทานเป็นยารักษา ภายใน รับประทานเป็น ประจำจนกว่าจะหาย
รสประธาน	เย็น	เย็น	เย็น	เย็นสุขุม	เย็น	สุขุมเย็น
กลุ่มยา	กระทุ้งพิษไข้	แปรไข้	แปรไข้	แปรไข้	แปรไข้	ครอบไข้

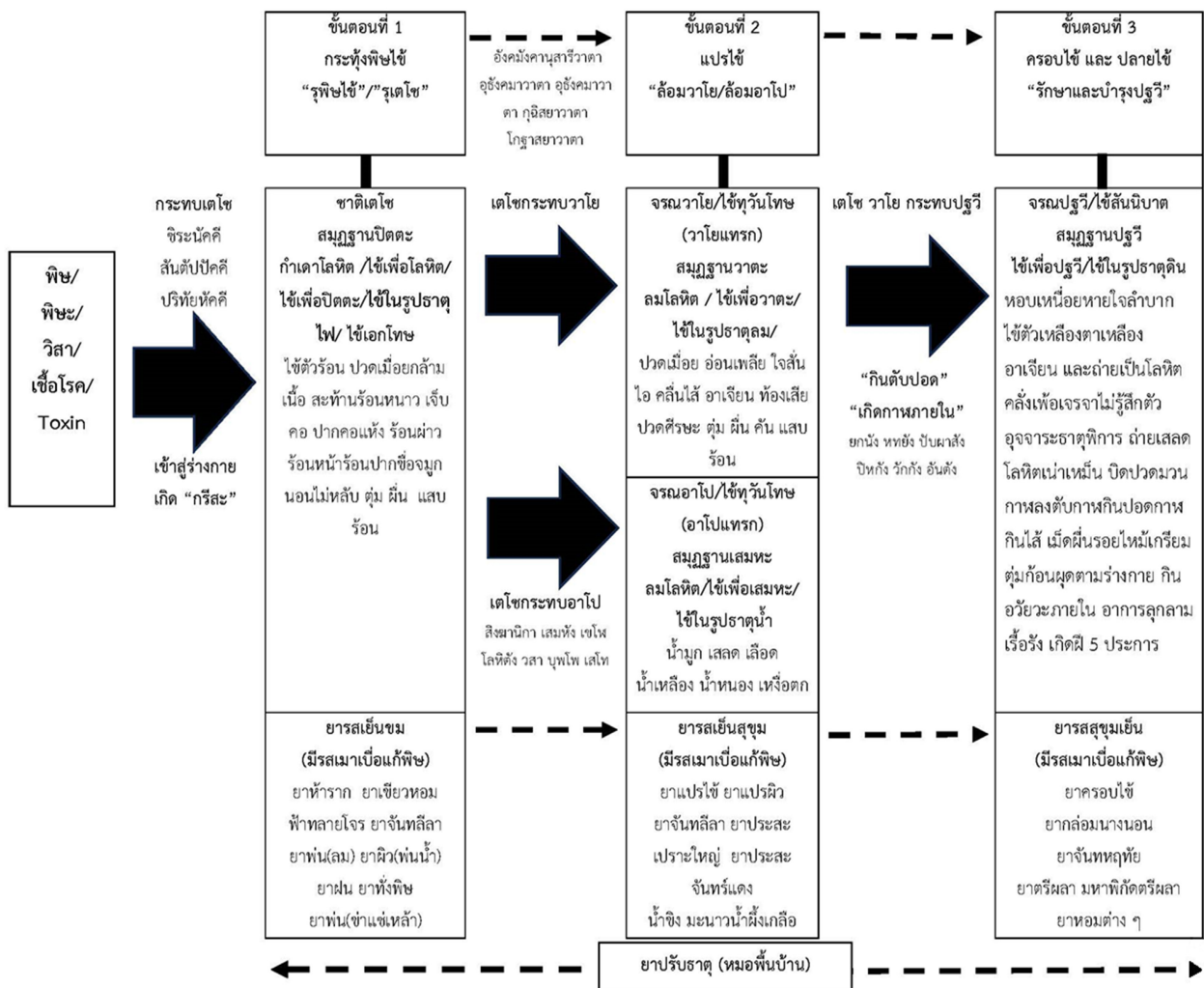
ตาราง 2

ตารางแสดงการวิเคราะห์สรุปลยา และการจัดกลุ่มยา ตามองค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	ชื่อยา	รสประฐาน	รูปแบบยา	กลุ่มยา	ข้อบ่งใช้ยา	ความถี่ในการใช้ยา
1	ฟ้าทะลายโจร	เย็น	ยาบดเป็นผงบรรจุแคปซูล	กระทุ้งพิษไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการไข้ร่วมกับเจ็บคอ หรือไข้ร่วมกับยาห้รากลในกรณีไข้พิษ	ร้อยละ 90
2	ห้าราก	เย็น	ยาบดเป็นผงบรรจุแคปซูล	กระทุ้งพิษไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการไข้สูง หรือไข้ร่วมกับผื่น	ร้อยละ 80
3	เทียนหอม	เย็นสุขุม	ยาบดเป็นผง ชงละลายน้ำดื่ม หรือผสมน้ำขมิ้นผิว	กระทุ้งพิษไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการไข้สูง หรือไข้ร่วมกับผื่น อาจใช้หลังจากใช้ยาห้รากล หรือใช้แทนยาห้รากล	ร้อยละ 80
4	จันทลีลา	เย็นสุขุม	ยาบดเป็นผงบรรจุแคปซูล	แปรไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการไข้สูง หรือไข้ร่วมกับออกผื่น หลังจากใช้ยาห้รากล หรือใช้สำหรับอาการไข้ทั่วไป	ร้อยละ 80
5	ประสะระจันทร์แดง	เย็นสุขุม	ยาผงบรรจุแคปซูล	แปรไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการค้ำเนินโรคไปจนถึงสมุฏฐานเสมหะ	ร้อยละ 50
6	ประสะเปราะใหญ่	สุขุมร้อน	ยาผงบรรจุแคปซูล	แปรไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการค้ำเนินโรคไปจนถึงสมุฏฐานวาตะ	ร้อยละ 50
7	จันทฤทัย	สุขุมเย็น	ยาบดเป็นผง ละลายน้ำดอง	ครอบไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการค้ำเนินโรคไปจนถึงสมุฏฐานปฐวี หรือไข้เพื่อสันนิบาต	ร้อยละ 50
8	กล่อมนางนอน	สุขุม	ยาบดเป็นผง ชงกับน้ำกระสายยา หรือบรรจุแคปซูล	ครอบไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการค้ำเนินโรคไปจนถึงสมุฏฐานปฐวี เพื่อล่อมตับไว้ไม่ให้ทรุดลงได้	ร้อยละ 30
9	ยาหอมนวโกฐ	สุขุมร้อน	ยาผงชงน้ำร้อน หรือกระสายยา	ครอบไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการเกี่ยวกับลมปลายไข้ เช่น สะอึก อาเจียน	ร้อยละ 50
10	ยาหอมทิพโอสถ	สุขุมร้อน	ยาบดเป็นผงชงน้ำร้อน หรือ น้ำกระสายยา	ครอบไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการเกี่ยวกับลมปลายไข้ เช่น วิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย จิตขุ่นมัว	ร้อยละ 50
11	ยาหอมอินทจักร์	สุขุมร้อน	ยาบดเป็นผงชงน้ำร้อน หรือ น้ำกระสายยา	ครอบไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการเกี่ยวกับลมปลายไข้ เช่น ลมสันนิบาต ลมบาทจิต	ร้อยละ 30
12	ยาหอมเทพจิตร	สุขุมเย็น	ยาบดเป็นผงชงน้ำร้อน หรือ น้ำกระสายยา	ครอบไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการเกี่ยวกับลมปลายไข้ เช่น จิตขุ่นมัว ฟุ้งซ่าน กลุ่มอกคับใจ	ร้อยละ 50
13	ยาธาตุบรรจบ	สุขุมร้อน	ยาบดเป็นผงบรรจุแคปซูล	ครอบไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการเกี่ยวกับลมปลายไข้ เช่น ท้องอืดเพื่อ เรอจากเสียด สะอึก	ร้อยละ 50
14	น้ำฝั้นมะนาวเกลือ	ร้อนสุขุม	ยาผสม (ไม่ผ่านความร้อน)	แปรไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการไข้ต่ำ ร่วมกับอาการเจ็บคอ ไอ มีเสมหะ	ร้อยละ 30
15	น้ำจิง	ร้อนสุขุม	ยาต้มกิน	แปรไข้	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการไข้ที่มีอาการทางวาตะ เช่น ท้องอืด คลื่นไส้	ร้อยละ 30

ตาราง 2 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อยา	รสประธาน	รูปแบบยา	กลุ่มยา	ข้อบ่งใช้ยา	ความถี่ในการใช้ยา
16	อัมฤควาที	สุขุมเย็น	ยาผงละลายน้ำกิน หรือ น้ำกระสายยา	แก้ปวด	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการไอที่คอแห้ง มีเสมหะเหนียว ไอเป็นชุด	ร้อยละ 30
17	ประสะมะแว้ง	ร้อนสุขุม	ยาผงละลายน้ำกิน หรือ ใช้กวาดคอ	แก้ไอ	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการระคายคอ ไอที่มีอาการคล้ายหลอดลมอักเสบ ไอเหนียว หอบหายใจไม่สะดวก	ร้อยละ 30
18	ตรีผลา/มหาพิภักดิ์	เย็นสุขุม	ยาต้มกิน	แก้ไอ	ใช้หลังจากใช้ยากระทุ้งพิษ และแก้ไข้แล้ว เพื่อเป็นการปรับธาตุให้บริสุทธิ์ เหมาะกับผู้ป่วยที่ใช้ในคืนวันฤดูร้อน หรือ ผู้ที่มีอาการทางปิตตะกำเริบเรื้อรัง	ร้อยละ 30
19	ยาฝนแก้ไข้ทั้งปวง	เย็น	ยาฝนน้ำกิน	แก้ไอ	ใช้กับผู้ป่วยทุกรายที่เป็นไข้พิษ หรือ ไข้อกผื่น เช่น ไข้หัด	ร้อยละ 100
20	ยาพ่น/ยาเป่าลม(หมอพื้นบ้าน จ.ร้อยเอ็ด)	-	ยาพ่นพร้อมคาถากำกับ	แก้ไอ	ใช้กับผู้ป่วยทุกรายที่เป็นไข้พิษ หรือ ไข้อกผื่น	ร้อยละ 100
21	ยาทั้งพิษ	เย็น	ยาฝนกับน้ำกิน และ ทา	แก้ไอ	ใช้กับผู้ป่วยทุกรายที่เป็นไข้อกผื่น	ร้อยละ 90
22	ยาทา	เย็นสุขุม	ยาต้มเอาหน้าทา ซิลิโคน	แก้ไอ	ใช้กับผู้ป่วยทุกรายที่เป็นไข้อกผื่น	ร้อยละ 80
23	ยาถ่าย	เย็นสุขุม	ยาต้มกิน กินเวลาเดียว กับ ยาแก้ไอ	แก้ไอ	ใช้กับผู้ป่วยที่มีอาการไอ ไข้อกผื่น ร่วมกับท้องผูก	ร้อยละ 50
24	ยาพ่น (หมอพื้นบ้าน จ.สิงห์บุรี)	เย็นสุขุม	ยาพ่นพร้อมคาถากำกับ	แก้ไอ	ใช้กับผู้ป่วยทุกรายที่เป็นไข้พิษ และ ไข้อกผื่น	ร้อยละ 100
25	ยาปรับธาตุ	สุขุม	ยาต้มกิน	แก้ไอ	ใช้กับผู้ป่วยทุกรายที่เป็นไข้พิษ และ ไข้อกผื่น	ร้อยละ 100



ภาพ 3 กระบวนการรักษาใช้พิษใช้กาฬตามกลไกตรีธาตุสมภูฐาน ตามองค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ

การอภิปรายผล

1. ตามหลักการ “กระทั่งพิษให้สิ้น ถ้ากระทั่งไม่สิ้นจะลงไปกินดับปอด” แสดงให้เห็นว่า การกระทั่งพิษใช้นั้นสามารถทำให้สิ้นได้ในขั้นตอนแรก คือ ขั้นตอนการใช้อย่างกระทั่งพิษแก้หัวดวง ซึ่งมีฤทธิ์แก้ไข้ แก้ปวด แก้ไข้ มาลาเรีย ด้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ยืนยันถึงประสิทธิภาพและความปลอดภัยไม่เป็นอันตรายต่อตับในระยะยาว (Burusliam, 2020) นิยมใช้กับโรคไข้ที่มีอาการออกผื่น ไข้หวัดใหญ่ หรือไข้ที่มีอาการปวดข้อ (Puangkeaw, 2021) แต่หากยังกระทั่งพิษไม่สิ้นโรคอาจดำเนินไป ทำให้ต้องมีการรักษาตามกระบวนการจนครบ 3 ขั้น ดังนั้นการรักษาจึงมีได้ 4 รูปแบบ หรือ 4 ระดับ คือ (1) วางยากระทั่งพิษสิ้น ในช่วงปิตตะสมภูฐาน ผู้ป่วยหายเป็นปกติ (2) วางยากระทั่งพิษ

ไม่สิ้นในช่วงปิตตะสมภูฐาน ทำให้พิษเข้าสู่วาทะสมภูฐาน และเสมหะสมภูฐาน ต้องวางยาแปรใช้ เพื่อกระทั่งพิษในรูปธาตุลม และรูปธาตุน้ำ หากกระทั่งสิ้น ผู้ป่วยหายเป็นปกติ (3) วางยากระทั่งพิษไม่สิ้นในช่วงวาทะสมภูฐาน หรือเสมหะสมภูฐาน ทำให้พิษเข้าสู่ปฐวีสมภูฐาน ต้องวางยาครอบใช้ เพื่อกระทั่งพิษใช้ออกจากรูปธาตุดิน หากกระทั่งสิ้น ผู้ป่วยหายเป็นปกติ และ (4) วางยากระทั่งพิษไม่สิ้นในช่วงปฐวีสมภูฐาน ทำให้อาการลุกลาม เรื้อรัง รุนแรง หรือเกิดเป็นผิ 5 ประการ ทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตได้ ดังนั้นกระบวนการรักษา 3 ขั้นตอนนี้มีความสำคัญที่แพทย์จะต้องพิจารณาวางยาให้สอดคล้องกับสมภูฐานการดำเนินโรคของผู้ป่วย ซึ่งแพทย์แผนไทยอาจจะต้องมีการปรุงยาเฉพาะรายให้แก่ผู้ป่วยตามโครงสร้างยาไทยเพื่อเป็นยาที่แก้ไขอาการที่ซับซ้อนมากขึ้นตามสมภูฐานการดำเนินโรค

2. การวางยารักษาผู้ป่วยของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่านนั้นแตกต่างกันไปตามทักษะความรู้และบริบทของงานปฏิบัติงาน โดยแพทย์แผนไทยที่ปฏิบัติงานอยู่ในระบบจะใช้ยาที่เป็นยาสามัญประจำบ้านที่ได้รับการศึกษาวิจัยมีผลการยืนยันที่สามารถใช้ได้ผลดีและค่อนข้างปลอดภัย และมีรูปแบบของยาที่ทันสมัย เช่น ยาที่บดเป็นผงบรรจุแคปซูลหรือบดเป็นผงชงกับน้ำ โดยการพิจารณาตามกระบวนการ 3 ขั้นตอนสอดคล้องตามตรียาสมุนไพร เริ่มจากปิดตะสมุนไพรจนถึงปฐวีสมุนไพร หมอพื้นบ้านมีขั้นตอนการรักษาที่ไม่ซับซ้อนยาที่ใช้บ่อยในผู้ป่วยแต่ละคน 1-3 ชนิด และเป็นยาที่ปรุงด้วยวิธีฝน ตำ หรือบด ซึ่งส่วนประกอบของสมุนไพรมักสืบทอดจากธรรมชาติ หรือจากแหล่งปลูกในชุมชน ทำให้ได้ยาสดใหม่ อีกทั้งการกำหนดข้อห้ามหรือ “ชะล่า” ให้ผู้ป่วยถือปฏิบัติอย่างเคร่งครัด และการใช้พิธีกรรมร่วมด้วยนับเป็นกุศโลบายในการดูแลสุขภาพแบบองค์รวมที่สอดคล้องกับวิถีชีวิตชุมชน ส่วนแพทย์แผนปัจจุบันและผู้เชี่ยวชาญที่เป็นเภสัชกรแผนปัจจุบัน ยึดหลักการใช้ยาตามฤทธิ์ของสารที่มีอยู่ในสมุนไพร ที่ช่วยให้ผู้ป่วยอาการไข้พิษไข้กาฬที่อาการไม่รุนแรง หายเป็นปกติได้ ได้แก่ ฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ฤทธิ์ต้านการอักเสบ และฤทธิ์ที่ช่วยกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกายผู้ป่วยมีความจำเป็นต้องรับประทานยาให้ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับการกระทุ้งพิษให้สิ้น

3. ในทางการแพทย์แผนไทย มักจะไม่ใช้ยาที่เป็นสมุนไพรเดี่ยวในอาการที่รุนแรง เช่น ผู้เชี่ยวชาญจะใช้ฟ้าทะลายโจรร่วมกับยาหารากในกรณีไข้พิษ หากผู้ป่วยมีอาการรุนแรงหรือมีการดำเนินโรคที่ซับซ้อน การรักษาด้วยสมุนไพรเดี่ยวจะมีข้อจำกัด อาจจะทำให้เกิดอาการข้างเคียงหรือเป็นพิษจากตัวยาในสมุนไพรเองหรือว่าตัวยาอื่นในสมุนไพรก็ได้ (Peuakkhong, 2020)

4. ผลการวิจัย สามารถนำไปเป็นแนวทางการถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้เรียนเพื่อความเข้าใจกระบวนการรักษาและกลไกการเกิดโรค และบุคลากรทางการแพทย์

แผนไทยสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ประกอบการวางแผนรักษาที่สอดคล้องกับสมรรถนะของผู้ป่วยมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับข้อห้ามในการรักษาไข้พิษไข้กาฬตามพระคัมภีร์ตักกาศิลาวามีผลต่อผู้ป่วยอย่างไร

2. ควรมีการศึกษาเพื่อรวบรวม จัดกลุ่ม หรือคัดเลือกตำรายารักษาไข้พิษไข้กาฬต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสมในการใช้ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อเป็นทางเลือกในการพัฒนาใช้ประโยชน์ได้อย่างแพร่หลายต่อไป

3. ควรมีการศึกษาชำระ เอกสารตำราหลักทางการแพทย์แผนไทย เพื่อปรับปรุงพัฒนาข้อมูลเนื้อหาพระคัมภีร์ตักกาศิลาวามีความถูกต้องด้านการพิมพ์ และการอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติม เช่นสมุนไพรแต่ละชนิดใช้ส่วนใด ยาแต่ละชนิดเป็นรูปแบบยาใด เพื่อประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่านที่กรุณาให้ข้อมูลด้านองค์ความรู้จากประสบการณ์ที่มีคุณค่าต่อผลการวิจัย ซึ่งได้แก่อาจารย์กิตติ กิตติจารุวงศ์ อาจารย์ชัยพร กลิ่นจันทร์ นายแพทย์จักรวาล เผือกคง นายแพทย์พิเชฐ บัญญัติ ผศ.ดร.ภก.วุฒิชัย วิสุทธีพรต พ่อทองสา เจริญตา และแม่ทองคำ บุญเพชร ขอขอบพระคุณอาจารย์ธนวรรธน์ เนื่องศรีที่ได้ช่วยแนะนำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลอ้างอิงด้านการใช้ร่ายกับการรักษาโรค และขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ความร่วมมือ อำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นอย่างดี



References

Banlaksana, S., & Kittichachorn, A. (1969). *Compendium of traditional Thai Medicine*. Bangkok: Office of the Prime Minister's Secretariat Press. (in Thai)

- Bunyen, M., Chantachon, S., & Chaloemsaen, P. (2018). Patterns of local wisdom used for conserving herbs with properties of scarlet fever and meningococcal disease treatment according to taxila pharmacopeia. *Journal of MCU Social Science Review*, 7(1), 212-222. (in Thai)
- Chumpol, P. (1998). *History of Thai traditional medicine: A study from pharmaceutical documents*. Nakhon Pathom: Research and Development Institute, Silpakorn University. (in Thai)
- Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Office of Intellectual Property Promotion, Ministry of Culture. (1999). *Textbook of medicine in the 5th reign*. Bangkok: Amarin Printing and Publishing Public Company Limited. (in Thai)
- Department of the Art of Healing, the Ministry of Public Health. (1998). *Manual of general Thai traditional medicine, medical sciences*. Bangkok: Department of the Art of Healing, the Ministry of Public Health. (in Thai)
- Institute of the Thai Language, Department of Curriculum and Instruction Development, Ministry of Education. (1999). *Folk medicine: Medical wisdom and literary heritage of the nation. The teacher s' council of Thailand*. Bangkok: Ministry of Education. (in Thai)
- Ministry of Education, Medical Services, Medical Knowledge and Cultural Heritage of the Nation. (1999). *Medical services, medical knowledge and cultural heritage of the nation*. Bangkok: Kurusapa Printing Ladphrao Press. (in Thai)
- Nuttamakul, T. (2020). Taste of herbal medicine affecting on principal tastes (Ya Rot Prathan) classification: A discriminant analysis. *Journal of Thai Traditional and Alternative Medicine*, 18(1), 145. (in Thai)
- Oykhram, J. (2017). *A study of traditional medicine in snakebite treatment: A case study of Doctor Loh Chanatjit Tapnaphon, Nakhon Chai Si District, Nakhon Pathom Province. International (4th) and National Academic Conference: Research and Innovation in Health*. Bangkok: Network of Academic Institutes of Public Health and Medical Technology (IPST) (in Thai)
- Pengthongameuang, K. (2019). *Survey on the use of herbal medicine in the community of Ban Koe Ao, Khueang Nai District, Ubon Ratchathani Province*. Bangkok: Thai Press. (in Thai)
- Peuakkhong, J. (2020). *Traditional Thai medicine: The case of Kariyat medicine against COVID-19*. Retrieved from <https://www.blockdit.com/pages/5f4af0c8ab2f7e1c4e2d2f19>. (in Thai)
- Phetrakasik, P. (2014). The theory of traditional Thai medicine and the theory of contemporary medicine. *Journal of Thai Traditional and Alternative Medicine*, 12(2), 167. (in Thai)
- Phitsanuprasatwet, P. (1907). *Comprehensive medical science* (2nd ed.). Bangkok: Pruthimas Press. (in Thai)
- Phitsanuprasatwet, P. (1907). *Medical texts*. Bangkok: Thai Press. (in Thai)
- Phitsanuprasatwet, P. (1907). *Medical texts* (2nd ed.). Bangkok: Supakarn Jamroen Press. (in Thai)
- Phitsanuprasatwet, P. (1907). *Comprehensive medical science* (3rd ed.). Bangkok: Samakkhi Press. (in Thai)
- Phromchat, S., (2020). *Study of the Knowledge on Treating Fever by Local Doctors in Kantaralak District*. Sisaket: Local Doctors of Kantaralak District. (in Thai)

- Phromphitak, W. (2020). *Study of Herbal Medicine for Fever in Traditional Thai Medical Texts (Preserving Edition) Volume 1: Analysis of Thai Pharmacology and Scientific Evidence*. Bangkok: Traditional Thai Medical. (in Thai)
- Rehabilitating and Promoting Traditional Thai Medicine: Biomedical College (Chivagkomarapaj), Foundation. (2015). *Textbook of traditional Thai medicine*. Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Rehabilitating and Promoting Traditional Thai Medicine: Biomedical College (Chivagkomarapaj), Foundation. (2012). *Textbook of traditional Thai medicine: Development* (4th ed.). Bangkok: Usakorn Press.
- Sapcharoen, P. (1992). *Translation of Dhamma Issara document 'Phra Ajarn Kenlawong's complete medicinal textbook'*. Thai Traditional Medicine Institute, Department of Medical Services, Ministry of Public Health, Provincial Public Health Office of Prachinburi. Bangkok: Community Printing House, Thai Agricultural Cooperative. (in Thai)
- School of Traditional Medicine (Wat Phra Chetuphon). (2022). *Comprehensive Medical Science, 1, 2, 3 by Phraya Phitsanuprasatwet*. Bangkok: Wat Phra Chetuphon (in Thai)
- Sriamontree, K. (2015). *A study on the use of taste as an indicator of the medicinal properties of Thai herbal medicine*. Bangkok: Thai Herbal Medicine (in Thai)
- Sukkit, N. (1953). *Ayurveda Education*. Bangkok: Prom Jak Printing House. (in Thai)
- Suphap, S. (2020). *Local Doctor's Knowledge on the Treatment of Snakebite in Nong Koon District, Sisaket Province*. Sisaket: Local Doctors of Nong Koon District. (in Thai) (in Thai)
- Thai Traditional Medicine and Alternative Medicine Unit. (2020). *Thai Traditional Medicine and Alternative Medicine Unit, Health Service Network, Nong Koon District, Sisaket Province*. Retrieved from <http://203.157.165.111/ttm/wp-content/uploads/2020/07/12-nonkoon.pdf> (in Thai)
- The Fine Arts Department. (2002). *Inscription of Medicinal Texts at Wat Ratchaorasaram Ratchaworawiharn*. Bangkok: Artit Product Group Company Limited. (in Thai)
- The War Veterans Organization of Thailand Under Royal Patronage. (2012). *The Book of Phra Naresuan's*. Bangkok: His Majesty the King Printing House. (in Thai)
- Traditional Thai Medicine Institute, Office of Health Data Standards, Health Information Standards Development Center, and Northern Region Training and Development Center. (1997). *Herbal Medicine for Health Information Work* (2nd ed.). Bangkok: Armed Forces Research Institute of Medical Sciences Printing House. (in Thai)



การประยุกต์ใช้ผังแสดงความสัมพันธ์ตามหลักการวิศวกรรมอุตสาหการ ในการจัดผังสนามเด็กเล่น

Application of Relationship Diagram in Industrial Engineering Principle to Children Playground Design

พรศิริ จงกล¹ ธนาкар ศรีมะเริง¹ ภาคิน อัตตวิริยะสุวร¹ มนูญยา ถาวรสวัสดิ์¹ และรชนีกร พลปัดพี^{1*}
Pornsiri Jongkol¹ Tanakan Seemaroeng¹ Phakin Attawiriyasuworn¹ Mananchaya Thawonsawat¹
and Rachaneekorn Polpattapee^{1*}

¹สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

¹Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

*Corresponding author: Rachaneekorn.p@g.sut.ac.th

Received: January 21, 2024

Revised: February 12, 2024

Accepted: February 19, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาลักษณะการจัดวางเครื่องเล่นในพื้นที่สนามเด็กเล่นในปัจจุบัน (2) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเครื่องเล่น และ (3) เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงการจัดวางเครื่องเล่นในพื้นที่สนามเด็กเล่น งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลจากโรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งที่เป็นกรณีศึกษา ข้อมูลเบื้องต้นของสนามเด็กเล่น ได้แก่ ขนาดพื้นที่ของสนามเด็กเล่นในปัจจุบัน จำนวนเครื่องเล่นแต่ละชนิด ระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นแต่ละชนิด รวมถึง บันทึกภาพของสนามเด็กเล่น จากนั้นใช้ผังแสดงความสัมพันธ์ตามหลักของวิศวกรรมอุตสาหการในการวิเคราะห์ตำแหน่งการจัดวางพื้นที่ของเครื่องเล่นและองค์ประกอบอื่น ๆ จากนั้นคำนวณพื้นที่สำหรับเครื่องเล่นแต่ละชนิดตามหลักความปลอดภัยในสนามเด็กเล่น แล้วเสนอแนวทางการปรับปรุงการจัดวางเครื่องเล่น ผลการศึกษาพบว่า สนามเด็กเล่นมีพื้นที่รูปตัวแอล 234.09 ตารางเมตร มีเครื่องเล่นดังนี้ ชิงช้า 5 ชุด กระดานลื่น 4 ชุด กระดานหก 2 ชุด ชุดปีนป่ายรูปรถไฟ 3 ชุด ชุดปีนป่ายรูปโค้ง 1 ชุด และพื้นที่โล่ง ผลการใช้ผังแสดงความสัมพันธ์พบว่า เครื่องเล่นที่ส่วนประกอบเคลื่อนไหวได้เช่น ชิงช้าและกระดานหกจะมีความสัมพันธ์ในระดับ X กับเครื่องเล่นอื่น ๆ มากที่สุด หมายความว่าชิงช้าและกระดานหกไม่ควรอยู่ใกล้กับเครื่องเล่นอื่น แนวทางในการปรับปรุง คือ จัดวางชิงช้าและกระดานหกให้ห่างจากเครื่องเล่นอื่น 1.8 เมตร นอกจากนี้ไม่ควรมีต้นไม้ในบริเวณสนามเด็กเล่นเพื่อป้องกันการสะดุดรากไม้หรือกระแทกกับต้นไม้

คำสำคัญ: ผังแสดงความสัมพันธ์ การจัดวางผัง การออกแบบสนามเด็กเล่น

Abstract

The objectives of this research were: (1) to study the present playground layout; (2) to analyze the relationship among playground equipment; and 3) to propose ways to improve the location of playground equipment. This research collected data from a case study, which was a primary school. Collected data were the current area of the playground, the number of playground equipment types, the distance between playground equipment, and a photograph of the playground. Then, the relationship diagram used in industrial engineering was applied to analyze the locations of playground equipment and other components. Then, the area of each piece of playground equipment was computed using the principle of safety in the playground. Then, ways to improve playground layout were proposed. The results showed that the area of the L-shaped playground was 234.09 m². Playground equipment included 5 sets of swings, 4 sets of slides, 2 sets of seesaws, 3 sets of train-shape bars, 1 set of curves climbing frames, and ground. After using the relationship diagram, it was found that most relationships between playground equipment with moveable components such as swings and seesaws and other equipment were X-level. This means that swings and seesaws should not be placed close to other playground equipment. To improve playground layout, the distance between the swing or seesaw and another playground equipment should be at least 1.8 m. Furthermore, a tree-free environment within the playground area is suggested to prevent getting stumbled upon by a tree root or slammed into a tree.

Keywords: relationship diagram, layout, children playground design



บทนำ

สนามเด็กเล่นมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมพัฒนาเด็กทั้งร่างกาย สติปัญญา อารมณ์ และสังคม การเล่นช่วยให้เด็กมีความสุขแข็งแรง พัฒนาทักษะแก้ปัญหา แต่อาจมีความเสี่ยงจากอุปกรณ์ที่ไม่มีคุณภาพ จากการศึกษาการบาดเจ็บจากเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่นโดยภาควิชากุมารเวชศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี ได้เผยแพร่ผลการศึกษการบาดเจ็บจากเครื่องเล่นในสนามพบว่า การบาดเจ็บจากเครื่องเล่นในสนามเท่ากับร้อยละ 1.47 ของการบาดเจ็บทั้งหมดในเด็กที่อายุน้อยกว่า 15 ปี ที่ได้รับการตรวจที่ห้องฉุกเฉิน การศึกษาดังกล่าวได้คาดการณ์ว่ามีเด็กบาดเจ็บเนื่องจากเครื่องเล่นสนามเด็กเล่นปีละ 34,075 คน เด็กส่วนใหญ่ได้รับบาดเจ็บบริเวณแขนขา ใบหน้า และศีรษะ ประเภทของการบาดเจ็บรุนแรงที่พบบ่อยคือกระดูกหัก แขนหรือข้อมือและการบาดเจ็บที่ศีรษะ สาเหตุสำคัญของการบาดเจ็บ ได้แก่การพลัดตก การชนกระแทกกับเครื่องเล่นที่เคลื่อนไหว การวิ่งชนเครื่องเล่น และการติด

ค้างหรือถูกหนีบโดยเครื่องเล่น (Bunma et al., 2017, Junthepa & Nathapindhu, 2012) ส่วนการศึกษาการเกิดอุบัติเหตุในสนามเด็กเล่นของเด็กประถมอายุ 7-12 ปี โดย Chongjaroenjai et al. (2023) พบว่า อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมากที่สุดเกิดจากการพลัดตกจากชิงช้ามีจำนวนร้อยละ 68.38 และสาเหตุอื่น ๆ ได้แก่ ขนาดที่นั่งที่ไม่เหมาะสม การเล่นที่ผิดวิธี และการหยอกล้อหรือแกล้งกันระหว่างเล่น อุบัติเหตุในสนามเด็กเล่นไม่เพียงพทำให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากในแต่ละปีของประเทศเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบที่ร้ายแรงต่อเด็กในระยะยาว จึงต้องป้องกันอุบัติเหตุให้มีประสิทธิภาพ เพื่อลดการบาดเจ็บและเสียชีวิต (Shupmahasan & Sirisuwan, 2020) อุบัติเหตุส่วนใหญ่เกิดจากความประมาทเนื่องจากการเล่นที่ผิดวิธี นอกจากนี้เครื่องเล่นและการจัดวางสภาพแวดล้อมของสนามเด็กเล่นก็เป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งของอุบัติเหตุ (Phetliap et al., 2020)

การสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเล่นของเด็กเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นการส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาทักษะของเด็ก นอกจากนี้การสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยสำหรับการเล่นของเด็กนับเป็นการลดความเสี่ยงและป้องกันอุบัติเหตุในอนาคต (Saenbudda, 2017) การป้องกันอุบัติเหตุอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องเน้นการจัดการกระทำที่ไม่ปลอดภัยและสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย วิธีการจัดการกระทำที่ไม่ปลอดภัย ได้แก่ การอบรมการเล่นเครื่องเล่นอย่างถูกวิธี การบำรุงรักษาเครื่องเล่นให้อยู่ในสภาพใช้การได้อย่างปลอดภัย ส่วนวิธีการจัดการสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยนั้นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในพื้นที่สนามเด็กเล่น รวมถึงการจัดพื้นที่ให้เป็นไปตามหลักการออกแบบสนามเด็กเล่นดังปรากฏในคู่มือสนามเด็กเล่นปลอดภัย (Sub-Committee on Protection of Playground and Its Equipment and Devices, 2008) แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยด้านสนามเด็กเล่นปลอดภัยในประเทศไทย ดังเช่น ในการศึกษาของ Chongjaroenjaj et al. (2023) ยังขาดการวิเคราะห์การจัดวางเครื่องเล่นต่างชนิดในพื้นที่เดียวกัน ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุของเด็กได้ งานวิจัยนี้ได้นำหลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ซึ่งเป็นหลักการทางวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การจัดวางเครื่องเล่นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อเด็ก โดยใช้กรณีศึกษาเป็นโรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งในภาคเหนือตอนล่างที่มีเด็กนักเรียนประมาณ 125 คน เพื่อใช้ในการแสดงวิธีการวิเคราะห์การจัดวางเครื่องเล่นและจัดทำโดยข้อเสนอแนะเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่เด็กมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาลักษณะการจัดวางเครื่องเล่นในพื้นที่สนามเด็กเล่นในปัจจุบันของโรงเรียนกรณีศึกษา
- 2) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเครื่องเล่นประเภทต่าง ๆ ของโรงเรียนกรณีศึกษา
- 3) เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงการจัดวางเครื่องเล่นในพื้นที่สนามเด็กเล่น

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ใช้หลักการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

ของหน่วยงานย่อยและหลักความปลอดภัยในสนามเด็กเล่น โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อย

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อย (relationship diagram) เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการที่ใช้ในการจัดผังโรงงาน โดยใช้หลักการวิเคราะห์ว่าหน่วยงานย่อยใดควรอยู่ใกล้กันและหน่วยงานย่อยใดควรอยู่ห่างกัน (Tompkins et al., 2010) เทคนิคนี้มี 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย (1) การรวบรวมข้อมูลจากผังปัจจุบันและกำหนดหน่วยงานย่อยที่ต้องปรากฏในผัง (2) การวิเคราะห์สภาพปัญหาของการจัดวางผังของตำแหน่งหน่วยงานย่อยในปัจจุบัน (3) การจำแนกระดับความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อย (4) การให้เหตุผลสำหรับระดับความสัมพันธ์ต่าง ๆ และ (5) การสร้างผังแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อย ในการจำแนกระดับความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อย Muther (1973) ได้กำหนดระดับความสัมพันธ์ของหน่วยงานไว้ 6 ระดับ ดังนี้ A (Absolutely Necessary) = มีความจำเป็นยิ่งยวดที่ต้องอยู่ใกล้กัน E (Especially Important) = มีความสำคัญมากที่ต้องอยู่ใกล้กัน I (Important) = มีความสำคัญที่ต้องอยู่ใกล้กัน O (Ordinary) = มีความสัมพันธ์ต่อกันธรรมดา U (Unimportant) = ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน X (Undesirable Closeness) = ห้ามอยู่ใกล้กัน

การสร้างผังแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อยมีขั้นตอนการสร้าง 3 ขั้นตอน ดังนี้ (1) กำหนดหน่วยงานย่อยต่าง ๆ ที่จำเป็นในการจัดวางลงในช่องของตารางในส่วนที่แสดงชื่อกิจกรรมบนผังแสดงความสัมพันธ์ (2) กำหนดระดับความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงานย่อยลงในช่องสี่เหลี่ยมที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อยนั้น (3) ใส่รหัสหมายเลขที่ช่องสี่เหลี่ยมส่วนล่าง เพื่อแสดงเหตุผลสนับสนุนการให้ระดับความสำคัญของแต่ละหน่วยงานย่อย

หลักความปลอดภัยในสนามเด็กเล่น

คู่มือความปลอดภัยในสนามเด็กเล่นสาธารณะของประเทศสหรัฐอเมริกา (Hospitality Insurance Program Public Playground Safety, 2013) ได้กำหนดไว้ว่า ในบริเวณใช้งานของเครื่องเล่นจะต้องสร้างพื้นที่การใช้งานให้

ยื่นขยายออกไปออกไปจากทุกทิศทางของเครื่องเล่นอย่างน้อย 1.8 เมตร และ เครื่องเล่นบางประเภทมีความต้องการพื้นที่จำเพาะ เช่น ในการจัดตำแหน่งของกระดานลื่น ควรมีพื้นที่การใช้งานที่ปลายเครื่องเล่น โดยให้อยู่ห่างจากปลายกระดานลื่น 1.8-2.4 เมตร และไม่ทับซ้อนกับพื้นที่การใช้งานของอุปกรณ์อื่น ในการจัดตำแหน่งของชิงช้า ควรมีพื้นที่การใช้งานทั้งด้านหน้าและด้านหลัง วงแกว่งของชิงช้าควรขยายออกไปทั้งด้านหน้าและด้านหลัง โดยมีระยะเท่ากับสองเท่าของระยะในแนวตั้งจากจุดหมุนของชิงช้าถึงด้านบนของพื้นผิวป้องกันที่อยู่ด้านล่าง นอกจากนี้รายการตรวจสอบความปลอดภัยของสนามเด็กเล่นสาธารณะมี ดังนี้

1. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าพื้นผิวรอบเครื่องเล่นมีเศษไม้ ดินคลุม หวาย หรืออย่างน้อย 25 ถึง 30 เซนติเมตร มีเส้นที่ทำจากยางหรือวัสดุคล้ายๆกันที่ผ่านการทดสอบความปลอดภัยแล้ว

2. ตรวจสอบว่าได้ขยายพื้นผิวป้องกันออกไปอย่างน้อย 1.8 เมตรในทุกทิศทางจากเครื่องเล่น ในกรณีของชิงช้าต้องแน่ใจว่าพื้นผิวขยายออกไปด้านหลังและด้านหน้าเป็นสองเท่าของความสูงเชิงซ้อนของชิงช้า

3. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า การจัดวางเครื่องเล่นที่สูงเกิน 76 เซนติเมตรที่อยู่ใกล้กัน จะต้องมียุ้งว่างห่างกันอย่างน้อย 2.7 เมตร

4. ตรวจสอบอุปกรณ์ที่เป็นอันตราย เช่น ตะขอตัว “S” ที่ปลายเปิดอยู่หรือสลักเกลียวที่ปลายยื่นออกมา

5. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า ไม่มีช่องว่างที่อาจติดเด็กได้ เช่น ช่องเปิดในราวกันหรือระหว่างชั้นบันได ต้องมีขนาดน้อยกว่า 9 เซนติเมตรหรือมากกว่า 23 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ศีรษะของเด็กติดในช่องว่าง

6. ตรวจสอบจุดหรือขอบที่มีคมในอุปกรณ์

7. ระวังอันตรายจากการสะดุดล้ม เช่น ฐานคอนกรีตเปลือย โต๊ะไม้ และหิน

8. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าพื้นผิวที่ยกสูง เช่น แท่นเครื่องเล่นจะต้องมีราวกันกั้นตก และทางลาดจะต้องมีราวจับเพื่อป้องกันการล้ม

9. ตรวจสอบสนามเด็กเล่นอย่างสม่ำเสมอว่า อุปกรณ์ เครื่องเล่นและพื้นผิวอยู่ในสภาพดี

10. หากเป็นไปได้ ผู้ใหญ่ควรคอยดูแลเด็กในขณะที่เล่น

ข้อกำหนดความปลอดภัยในสนามเด็กเล่น

คู่มือความปลอดภัยสนามเด็กเล่นสาธารณะ (Public Playground Safety Handbook, 2015) กำหนดไว้ว่าระยะห่างพื้นที่เพื่อพลัดตกจากเครื่องเล่น 1.5 เมตร สำหรับเครื่องเล่นที่มีความสูงไม่เกิน 1.5 เมตร และ 1.8 เมตร สำหรับเครื่องเล่นที่มีความสูงมากกว่า 1.8 เมตร สำหรับเครื่องเล่นที่มีช่องว่างที่อาจติดเด็กได้ เช่น ช่องเปิดในราวกันหรือระหว่างชั้นบันได ต้องมีขนาดน้อยกว่า 9 เซนติเมตรหรือมากกว่า 23 เซนติเมตร เพื่อป้องกันศีรษะเด็กเข้าไปติด ดังภาพ 1

เครื่องเล่นบางประเภท ต้องมีระยะปลอดภัยเฉพาะเจาะจง มีดังนี้

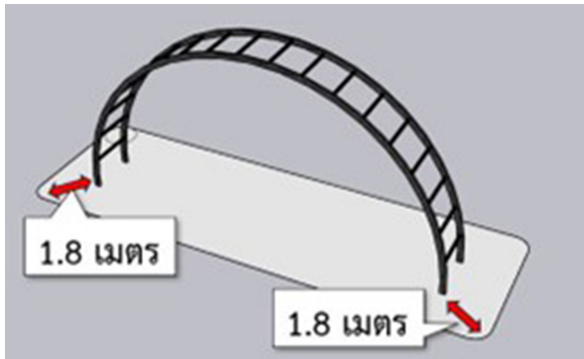
1. เครื่องเล่นปีนป่าย ห้อยโหน ควรมีระยะพื้นที่ปลอดภัยโดยรอบเครื่องเล่นประมาณ 1.8 เมตร ดังภาพ 2

2. เครื่องเล่นชิงช้าควรมีระยะพื้นที่ปลอดภัยโดยรอบเครื่องเล่นประมาณ 1.8 เมตร และ มีพื้นที่ปลอดภัยด้านหน้าด้านหลังเป็น 2 เท่าของความสูงชิงช้า ดังภาพ 3

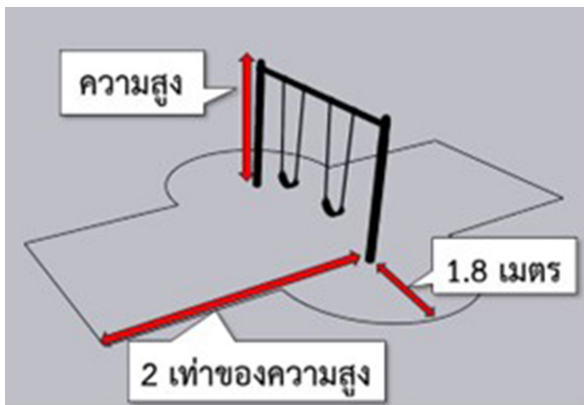
3. เครื่องเล่นกระดานลื่นควรมีระยะพื้นที่ปลอดภัยโดยรอบเครื่องเล่นประมาณ 1.8 เมตร และมีระยะปลอดภัยด้านหน้าทางออกกระดานลื่น 1.8-2.4 เมตร โดยไม่ทับกับพื้นที่ปลอดภัยอื่น ๆ ดังภาพ 4



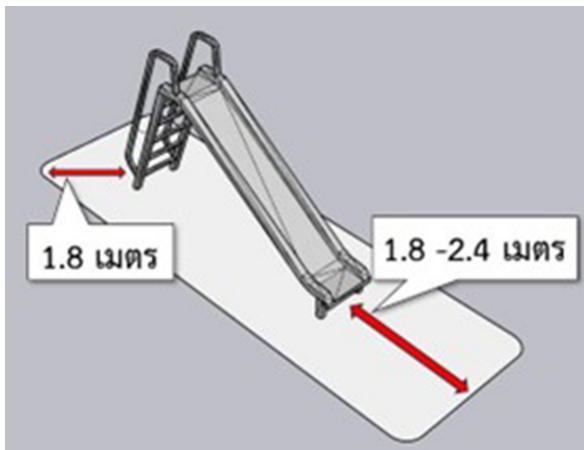
ภาพ 1 ลักษณะของช่องว่างที่ปลอดภัย



ภาพ 2 ขนาดพื้นที่ปลอดภัยสำหรับเครื่องเล่นป็นปาย



ภาพ 3 ขนาดพื้นที่ปลอดภัยสำหรับเครื่องเล่นชิงช้า



ภาพ 4 ขนาดพื้นที่ปลอดภัยสำหรับเครื่องเล่นกระดานลื่น

การทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า หลักการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อยเป็นหลักการที่ใช้ในการจัดวางผังในภาคอุตสาหกรรมการผลิต

และอุตสาหกรรมบริการ เช่น งานวิจัยของ Naqvi et al. (2016) ได้ศึกษาแนวทางในการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมในประเทศปากีสถาน โดยวิเคราะห์การไหลของงานแล้วจึงใช้ผังแสดงความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อยที่ละคู่ จากนั้นจึงกำหนดตำแหน่งของหน่วยงานย่อย ผลการศึกษพบว่า การปรับปรุงผังโรงงานโดยการลดระยะทางส่งผลให้ระยะเวลาไหลลดลงและมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนงานวิจัยของ Weng et al. (2019) ได้ศึกษาการจัดผังในห้องฉุกเฉินของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในประเทศไต้หวันเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาความยุ่งยากในการรวบรวมทีมงานแผนกห้องฉุกเฉินเพื่อรักษาผู้ป่วย โดยวิเคราะห์การไหลของงานพยาบาลและความสัมพันธ์หน่วยงานย่อยในแผนก ผลการวิเคราะห์และปรับปรุงผังทำให้ระยะทางในการเดินทางไปยังหน่วยงานย่อยต่าง ๆ ทั้งหมดเหลือเพียง 2.2 กิโลเมตรและลดระยะเวลาในการเดินลง 140 นาทีต่อพยาบาลหนึ่งคน จากผลของงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อยทำให้ได้ตำแหน่งของหน่วยงานย่อยที่เหมาะสม จึงทำให้ประสิทธิภาพของงานสูงขึ้นแต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของคณะวิจัยยังไม่พบงานวิจัยที่นำหลักการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อยไปใช้ในสนามเด็กเล่น

ในการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวกับพื้นที่เล่นของเด็กพบว่า งานวิจัยของ Junthepa and Nathapindhu (2012) ได้ศึกษาสนามเด็กเล่นในพื้นที่อำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย จำนวน 22 แห่ง สนามเด็กเล่นมีพื้นผิวรองรับการตกไม่ปลอดภัย ได้แก่ พื้นหินลูกรัง คอนกรีต ทราฟที่มีความหนาไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด มีการจัดวางเครื่องเล่นอยู่ใกล้ชิดกัน นอกจากนี้ติดสนามเด็กเล่นมีต้นไม้ใหญ่ เช่น ต้นไทร เฟื่องฟ้า มีกิ่งแห้ง ผล ที่อาจตกลงมาเป็นอันตรายต่อเด็กที่กำลังเล่นอยู่ในสนามเด็กเล่น ส่วน Saenbudda (2017) ได้ศึกษาพื้นที่เล่นและพฤติกรรมการเล่นของเด็กปฐมวัยในโรงเรียนแห่งหนึ่งเพื่อเป็นแนวทางการออกแบบพื้นที่ในการเล่นกลางแจ้ง ผลพบว่าพื้นสนามเด็กเล่นมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย มีพื้นดินแข็ง ชั้นทรายที่บางมีหญ้าและวัชพืชทั่วสนามเด็กเล่น สนามเด็กเล่นมีขอบที่จากการอิฐบล็อกไม่ฉาบปูน มีต้นไม้บริเวณสนามเด็กเล่นปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อ ความปลอดภัยขณะเล่นเครื่องเล่นทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการบาดเจ็บได้ง่าย

กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ คือ การใช้หลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของหน่วยงานย่อย และคู่มือความปลอดภัยในสนามเด็กเล่นสาธารณะ ในการวิเคราะห์การจัดวางเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่นในปัจจุบัน และใช้ในการปรับปรุงการจัดวางเครื่องเล่นให้เกิดความปลอดภัยแก่เด็ก ปัจจุบันเหล่านี้ส่งผลต่อความปลอดภัยขณะเล่นเครื่องเล่น ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการบาดเจ็บสูงขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ติดต่อโรงเรียนกรณีศึกษาเพื่อทำการขออนุญาตเก็บข้อมูลสนามเด็กเล่น
2. เก็บข้อมูลเบื้องต้นของสนามเด็กเล่น ได้แก่ ขนาดพื้นที่ของสนามเด็กเล่นในปัจจุบัน จำนวนเครื่องเล่นแต่ละชนิด ระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นแต่ละชนิด รวมถึงบันทึกภาพของสนามเด็กเล่น
3. นำผลการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นมาวิเคราะห์สภาพปัญหาของการจัดวางผังของการจัดเครื่องเล่นในปัจจุบัน
4. จัดทำข้อเสนอแนะในการจัดเครื่องเล่น โดยใช้ผังแสดงความสัมพันธ์และคู่มือความปลอดภัยในสนามเด็กเล่นสาธารณะ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2565 โดยใช้ข้อมูลจากโรงเรียนกรณีศึกษาที่เปิดสอนระดับอนุบาล 1 ถึง ระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 6 มีนักเรียนทั้งหมด 126 คน แบ่งเป็นนักเรียนชั้นอนุบาล 37 คน และชั้นประถมศึกษา 89 คน และขออนุญาตเข้าพื้นที่โรงเรียนในช่วงสถานการณ์โรคระบาด COVID19

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยมี ดังนี้

1. ผังแสดงความสัมพันธ์
2. ข้อเสนอแนะในการจัดเครื่องเล่นในคู่มือความปลอดภัยในสนามเด็กเล่นสาธารณะ

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่

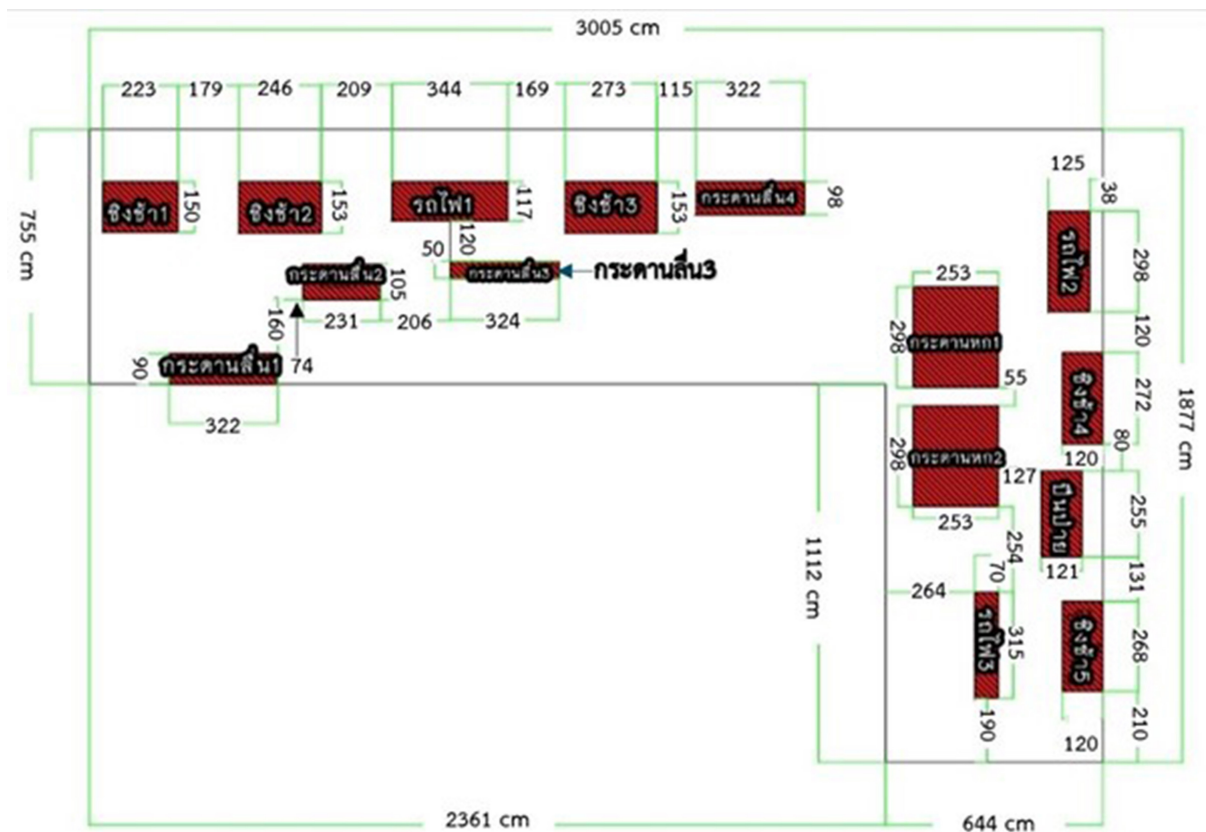
ความถี่ ค่ามากที่สุด ค่าน้อยที่สุด ใช้ค่าความถี่ในการนับจำนวนของเครื่องเล่นแต่ละประเภท ค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดในการหาระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นที่มากที่สุดและน้อยที่สุด

ผลการศึกษา

ผลการสำรวจการจัดผังสนามเด็กเล่นในปัจจุบัน

การจัดผังสนามเด็กเล่นในปัจจุบันของโรงเรียนกรณีศึกษาเป็นดังภาพ 5 พื้นที่สนามเด็กเล่นเป็นรูปตัว L ส่วนยาวที่สุดของสนามเด็กเล่นยาว 3,005 เซนติเมตร และส่วนกว้างเท่ากับ 1,877 เซนติเมตร เครื่องเล่นมี 4 ชนิด คือ ซิงช้า 5 ชุด กระดานลื่น 4 ชุด กระดานหก 2 ชุด เครื่องเล่นปีนป่าย 4 ชุด (แบ่งเป็นเครื่องเล่นปีนป่ายรูปโค้ง 1 ชุด และเครื่องเล่นปีนป่ายรูปรถไฟ 3 ชุด) ระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นที่น้อยที่สุดในภาพ 5 เท่ากับ 55 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างกระดานหก 2 ชุด ส่วนระยะห่างที่มากที่สุดเท่ากับ 254 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นปีนป่ายรูปรถไฟกับกระดานหก

จากการตรวจสอบความปลอดภัยของสนามเด็กเล่นโดยใช้เกณฑ์ในคู่มือความปลอดภัยสนามเด็กเล่นสาธารณะ (Hospitality Insurance Program Public Playground Safety, 2013) ดังตาราง 1 พบว่า ไม่ผ่านการประเมินการจัดวางเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่นจำนวน 6 ข้อได้แก่ข้อ 1 ตรวจสอบให้แน่ใจว่าพื้นผิวรอบ ๆ เครื่องเล่นมีเศษไม้ ดินโคลม ทราย หรืออย่างน้อย 25 ถึง 30 เซนติเมตร มีสิ่งที่ทำจากยางหรือวัสดุคล้ายยางที่ผ่านการทดสอบความปลอดภัยแล้ว ข้อ 2 ตรวจสอบว่าได้ขยายพื้นผิวป้องกันออกไปอย่างน้อย 1.8 เมตรในทุกทิศทางจากเครื่องเล่นสำหรับซิงช้าต้องแน่ใจว่าพื้นผิวขยายออกไปด้านหลังและด้านหน้าเป็นสองเท่าของความสูงเชิงซ้อนของซิงช้า ข้อ 3 ตรวจสอบให้แน่ใจว่า การจัดวางเครื่องเล่นที่สูงเกิน 76 เซนติเมตรอยู่ใกล้กัน จะต้องมีช่องว่างห่างกันอย่างน้อย 2.7 เมตร ข้อ 5 ตรวจสอบให้แน่ใจว่า ไม่มีช่องว่างที่อาจดักเด็กได้ เช่น ช่องเปิดในราวกันหรือระหว่างชั้นบันได ต้องมีขนาดน้อยกว่า 9 เซนติเมตรหรือมากกว่า 23 เซนติเมตรเพื่อป้องกันไม่ให้ศีรษะของเด็กติดในช่องว่าง ข้อ 7 ระวางอันตรายจากการสะดุดล้ม เช่น ฐานคอนกรีตเปลือย ต่อไม้ และหิน ข้อ 9 ตรวจสอบสนามเด็กเล่นอย่างสม่ำเสมอว่า อุปกรณ์ เครื่องเล่นและพื้นผิวอยู่ในสภาพดี

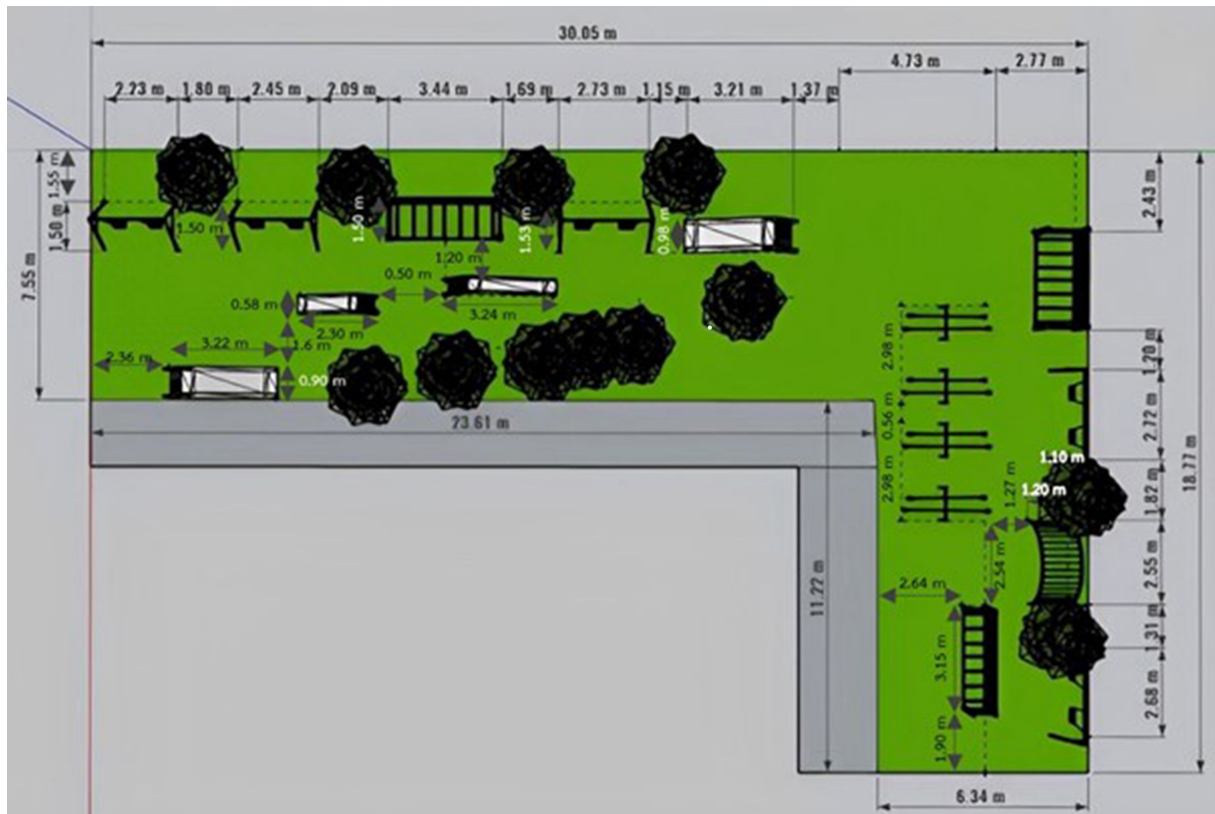


ภาพ 5 รูปร่างและระยะของเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่น (หน่วย: เซนติเมตร)

ตาราง 1

แบบประเมินการจัดวางเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่น โดยคู่มือความปลอดภัยสนามเด็กเล่นสาธารณะ

แบบประเมินการจัดวางเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่น	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าพื้นผิวรอบ ๆ เครื่องเล่นมีเศษไม้ ดินโคลม ทราย หรืออย่างน้อย 25 ถึง 30 เซนติเมตร มีเสื่อที่ทำจากยางหรือวัสดุคล้ายๆกันที่ผ่านการทดสอบความปลอดภัยแล้ว		✓
2. ตรวจสอบว่าได้ขยายพื้นผิวป้องกันออกไปอย่างน้อย 1.8 เมตรในทุกทิศทางจากเครื่องเล่น สำหรับชิงช้าต้องแน่ใจว่าพื้นผิวขยายออกไปด้านหลังและด้านหน้าเป็นสองเท่าของความสูงเชือกแขวนชิงช้า		✓
3. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า การจัดวางเครื่องเล่นที่สูงเกิน 76 เซนติเมตรอยู่ใกล้กัน จะต้องมียางห่างกันอย่างน้อย 2.7 เมตร		✓
4. ตรวจสอบอุปกรณ์ที่เป็นอันตราย เช่น ตะขอตัว “S” ที่ปลายเปิดอยู่หรือสลักเกลียวที่ปลายยื่นออกมา	✓	
5. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า ไม่มีช่องว่างที่อาจดักเด็กได้ เช่น ช่องเปิดในราวกันหรือระหว่างชั้นบันได ต้องมีขนาดน้อยกว่า 9 เซนติเมตรหรือมากกว่า 23 เซนติเมตรเพื่อป้องกันไม่ให้ศีรษะของเด็กติดในช่องว่าง		✓
6. ตรวจสอบจุดหรือขอบมีคมในอุปกรณ์	✓	
7. ระวังอันตรายจากการสะดุดล้ม เช่น ฐานคอนกรีตเปลือย โต๊ะไม้ และหิน		✓
8. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าพื้นผิวที่ยกสูง เช่น แท่นเครื่องเล่นจะต้องมีราวกันกั้นตก และทางลาดจะต้องมีราวจับเพื่อป้องกันการล้ม	✓	
9. ตรวจสอบสนามเด็กเล่นอย่างสม่ำเสมอว่า อุปกรณ์ เครื่องเล่นและพื้นผิวอยู่ในสภาพดี		✓
10. หากเป็นไปได้ ผู้ใหญ่ควรคอยดูแลเด็กในขณะที่เล่น	✓	



ภาพ 6 รูปร่างและระยะของเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่น (หน่วย: เมตร)

ผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาของการจัดวางผัง
ของการจัดเครื่องเล่นในปัจจุบัน พบว่า จากการตรวจสอบ
การจัดวางเครื่องเล่นโดยใช้เกณฑ์ในคู่มือความปลอดภัย
สนามเด็กเล่นสาธารณะ (Public Playground Safety
Handbook, 2015) มีประเด็นปัญหาที่สำคัญดังตัวอย่าง
ต่อไปนี้

1. ระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นมีสิ่งกีดขวางเช่น
รากไม้ ต้นไม้ ภายในระยะ 1.8 เมตร มีความเสี่ยงต่อการ
สะดุดล้ม หรือ ไม่ปลอดภัยเมื่อเด็กเกิดการพลัดตกลงมา
จากเครื่องเล่น ดังภาพ 7
2. เครื่องเล่นชิงช้ามีพื้นที่ปลอดภัยด้านหน้าด้าน
หลังน้อยกว่า 2 เท่าของความสูงชิงช้า มีความเสี่ยงต่อการ
ตกจากเครื่องเล่นแล้วกระแทกกับรั้วเหล็ก หรือกระถาง
ต้นไม้ ดังภาพ 8

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่สนามเด็กเล่น

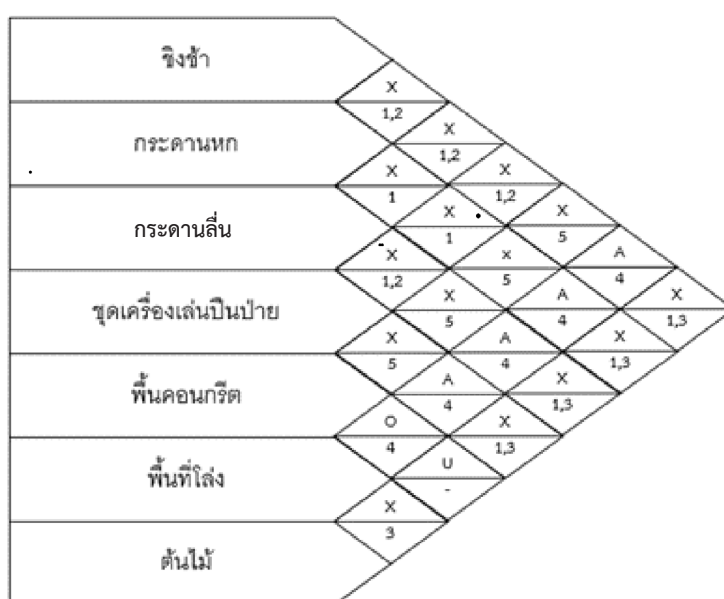
ในการจัดวางเครื่องเล่นใหม่ได้นำผังแสดงความสัมพันธ์ (relationship diagram) มาประยุกต์เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการวางเครื่องเล่น โดยให้เครื่องเล่นและองค์ประกอบอื่นแทนหน่วยงานย่อย ระดับความสัมพันธ์เป็นดังนี้ A (Absolutely Necessary) = มีความจำเป็นยิ่งยวดที่ต้องอยู่ใกล้กัน E (Especially Important) = มีความสำคัญมากที่ต้องอยู่ใกล้กัน I (Important) = มีความสำคัญที่จะต้องอยู่ใกล้กัน O (Ordinary) = มีความสัมพันธ์ต่อกันธรรมดา U (Unimportant) = ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน X (Undesirable Closeness) = ห้ามอยู่ใกล้กัน ซึ่งคณะผู้วิจัยได้กำหนดระดับความสัมพันธ์โดยพิจารณาจากข้อกำหนดในคู่มือความปลอดภัยสนามเด็กเล่นสาธารณะเป็นหลัก



ภาพ 7 สิ่งกีดขวางภายในระยะปลอดภัยของเครื่องเล่น



ภาพ 8 ซิงค์ที่มีระยะปลอดภัยด้านหน้าด้านหลังน้อยกว่า 2 เท่าของความสูงซิงค์



ภาพ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องเล่นและองค์ประกอบอื่นในสนามเด็กเล่น

ในการระบุความสัมพันธ์ในภาพ 9 ได้มีการให้เหตุผลแทนด้วยตัวเลข ซึ่งมีความหมายดังนี้ (1) ตรวจสอบว่าพื้นผิวป้องกันขยายออกไปอย่างน้อย 1.8 เมตรในทุกทิศทางจากเครื่องเล่น สำหรับชิงช้าต้องแน่ใจพื้นผิวขยายออกไปด้านหลังและด้านหน้าเป็นสองเท่าของความสูงคาบแขวน (2) ตรวจสอบให้แน่ใจว่า การจัดวางเครื่องเล่นที่สูงเกิน 76 เซนติเมตรอยู่ใกล้กัน จะต้องมียาระหว่างระหว่างเครื่องเล่นอย่างน้อย 2.7 เมตร (3) ระวางอันตรายจากการสะดุดล้ม เช่น ฐานคอนกรีตเปื่อย โต๊ะไม้ รากไม้ และหิน (4) พื้นที่มีความปลอดภัย ไม่มีเครื่องเล่นใกล้เคียง (5) ตรวจสอบ

ให้แน่ใจว่าพื้นผิวรอบ ๆ เครื่องเล่นมีเศษไม้ ดินคลุม ทราย หรืออย่างน้อย 25 ถึง 30 เซนติเมตร มีสื่อที่ทำจากยาง หรือวัสดุคล้ายยางที่ผ่านการทดสอบความปลอดภัยแล้ว

ตาราง 2 แสดงเหตุผลของการจัดความสัมพันธ์ชนิดของเครื่องเล่นหรือพื้นที่รายคู่ ตามที่ปรากฏในภาพ 9 จะเห็นได้ว่าเครื่องเล่นที่ส่วนประกอบเคลื่อนไหวได้เช่นชิงช้าและกระดานหกจะมีความสัมพันธ์ในระดับ X กับเครื่องเล่นอื่น ๆ มากที่สุด

ตาราง 2

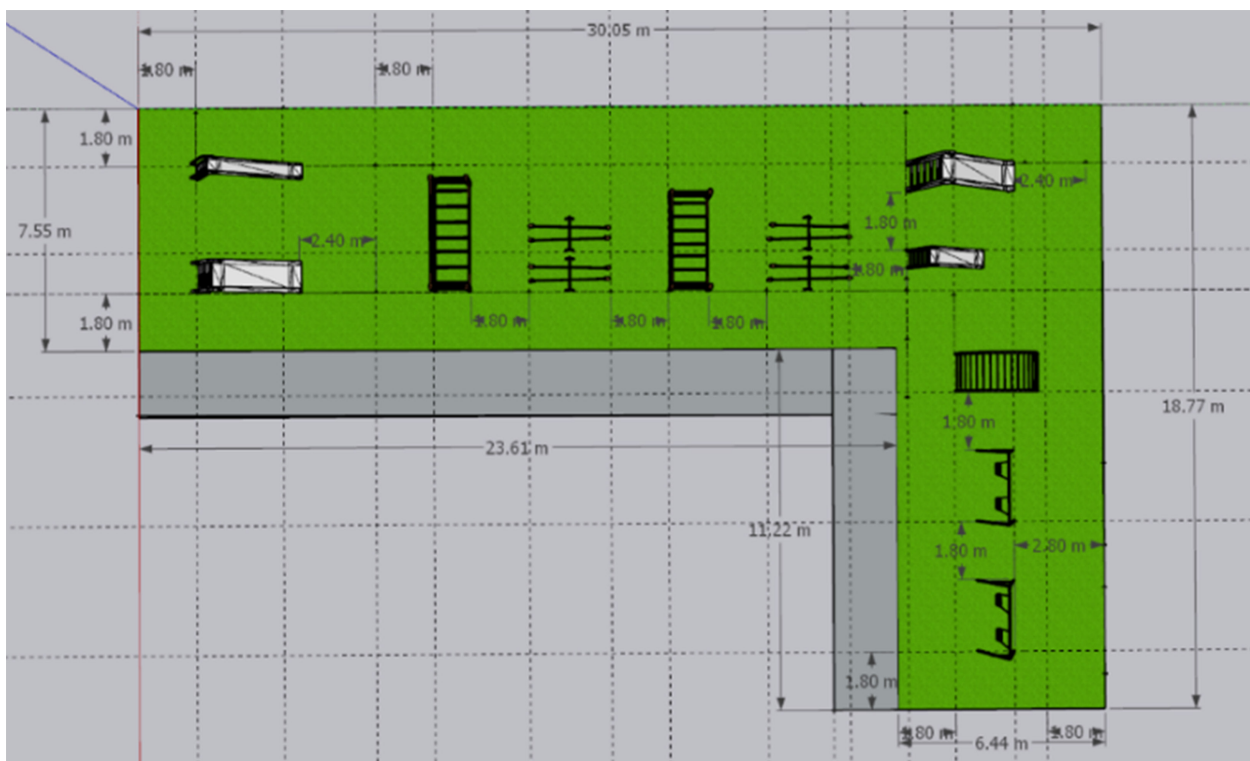
เหตุผลของการจัดความสัมพันธ์ชนิดของเครื่องเล่นหรือพื้นที่รายคู่

เครื่องเล่น	เครื่องเล่น	ระดับความสัมพันธ์	เหตุผล
ชิงช้า	กระดานหก	X	การแกว่งของชิงช้าอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการกระแทกกับเครื่องเล่นอื่น จึงควรจัดบริเวณชิงช้าโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1 และ 2
	กระดานลื่น	X	การแกว่งของชิงช้าอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการกระแทกกับเครื่องเล่นอื่น จึงควรจัดบริเวณชิงช้าโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1 และ 2
	ชุดปีนป่าย	X	การแกว่งของชิงช้าอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการกระแทกกับเครื่องเล่นอื่น จึงควรจัดบริเวณชิงช้าโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1 และ 2
	พื้นคอนกรีต	X	เด็กอาจพลัดตกจากชิงช้าในระหว่างเล่น จึงไม่ควรจัดชิงช้าติดกับพื้นคอนกรีตโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 5
	พื้นที่โล่ง	A	การจัดตั้งชิงช้าต้องมีพื้นที่ว่างโดยรอบ ตามเหตุผลข้อ 4
	ต้นไม้	X	การแกว่งของชิงช้าอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการกระแทกกับต้นไม้ จึงควรจัดบริเวณชิงช้าโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1 และ 3
กระดานหก	กระดานลื่น	X	การเคลื่อนที่ของคานกระดานหกทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการกระแทกกับเครื่องเล่นอื่น จึงควรจัดบริเวณกระดานหกโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1
	ชุดปีนป่าย	X	การเคลื่อนที่ของคานกระดานหกทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการกระแทกกับเครื่องเล่นอื่น จึงควรจัดบริเวณกระดานหกโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1
	พื้นคอนกรีต	X	เด็กอาจพลัดตกในระหว่างเล่นกระดานหกจึงไม่ควรจัดกระดานหกติดกับพื้นคอนกรีตโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 5
	พื้นที่โล่ง	A	การจัดตั้งกระดานหกต้องมีพื้นที่ว่างโดยรอบ ตามเหตุผลข้อ 4
	ต้นไม้	X	การเคลื่อนที่ของคานกระดานหกทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการกระแทกกับต้นไม้ จึงควรจัดบริเวณกระดานหกโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1 และ 3
กระดานลื่น	ชุดปีนป่าย	X	เด็กอาจลื่นไถลหลุดจากกระดานไปด้านหน้าเสี่ยงต่อการกระแทกกับเครื่องเล่นอื่น จึงควรจัดบริเวณกระดานลื่นโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1 และ 2
	พื้นคอนกรีต	X	เด็กอาจลื่นไถลหลุดจากกระดานไปด้านหน้า จึงไม่ควรจัดกระดานลื่นติดกับพื้นคอนกรีตโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 5
	พื้นที่โล่ง	A	การจัดตั้งกระดานลื่นต้องมีพื้นที่ว่างโดยรอบ ตามเหตุผลข้อ 4
	ต้นไม้	X	การลื่นไถลของเด็กอาจทำให้เกิดการกระแทกกับต้นไม้หรือเด็กสะดุดรากไม้ จึงควรจัดบริเวณกระดานลื่นโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1 และ 3

ตาราง 2 (ต่อ)

เครื่องเล่น	เครื่องเล่น	ระดับ ความสัมพันธ์	เหตุผล
ชุดปีนป่าย	พื้นคอนกรีต	X	เด็กอาจพลัดตกในระหว่างเล่นชุดปีนป่าย จึงไม่ควรจัดชุดปีนป่ายติดกับพื้นคอนกรีตโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 5
	พื้นที่โล่ง	A	การจัดตั้งชุดปีนป่ายต้องมีพื้นที่ว่างโดยรอบ ตามเหตุผลข้อ 4
	ต้นไม้	X	การพลัดตกของเด็กอาจทำให้เกิดการกระแทกกับต้นไม้หรือรากไม้ จึงควรจัดบริเวณกระดานลื่นโดยใช้หลักความปลอดภัยตามเหตุผลข้อ 1 และ 3
พื้นคอนกรีต	พื้นที่โล่ง	O	พื้นที่โล่งและพื้นคอนกรีตอาจอยู่ใกล้กันได้
	ต้นไม้	U	ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน
พื้นที่โล่ง	ต้นไม้	X	ไม่ควรมีต้นไม้ในพื้นที่โล่ง เพื่อป้องกันการสะดุดตามเหตุผลข้อ 3

หมายเหตุ: พื้นที่โล่งหมายถึงพื้นที่ปลอดภัยในสนามเด็กเล่น ไม่มีการติดตั้งเครื่องเล่น



ภาพ 10 รูปร่างและระยะของเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่นหลังการปรับปรุง (เป็นเพียงการออกแบบผังสนามเด็กเล่น เพื่อเสนอแนะให้กับทางโรงเรียน)

เมื่อพิจารณาวิธีการจัดเครื่องเล่นให้เป็นไปตามข้อกำหนดพบว่า ปัจจัยสำคัญ คือ สนามเด็กเล่นจะต้องมีพื้นที่มากเพียงพอเพื่อรองรับทั้งขนาดของเครื่องเล่น พื้นผิวป้องกันที่ขยายออกไปอย่างน้อย 1.8 เมตร ในทุกทิศทางจากเครื่องเล่น รวมถึงระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นอย่างน้อย 2.7 เมตร ในกรณีการจัดวางเครื่องเล่นที่สูงเกิน 76 เซนติเมตร อยู่ใกล้กัน ดังนั้นในการจัดวางเครื่องเล่นของโรงเรียนกรณีศึกษาจึงไม่สามารถจัดเครื่องเล่นทั้ง 15 รายการได้เนื่องจากมีพื้นที่จำกัด จึงต้องลดจำนวนเครื่องเล่นลง ภาพ 10 แสดงลักษณะการจัดวางเครื่องเล่นหลังปรับปรุงโดยใช้ผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องเล่นในการใช้วิเคราะห์และตัดสินใจในการวางเครื่องเล่น โดยมีการนำต้นไม้ออกจากสนามเด็กเล่นเพื่อป้องกันการสะดุดล้มจากรากไม้และเพิ่มพื้นที่ว่างให้กับสนามเด็กเล่น ลดจำนวนชิงช้าลงเหลือ 2 ชุด และลดจำนวนเครื่องเล่นป็นปายรูปรถไฟเหลือ 2 ชุด เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอต่อพื้นที่ปลอดภัยในสนามเด็กเล่น

สรุปผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

- 1) ผลการศึกษาลักษณะการจัดวางเครื่องเล่นในพื้นที่สนามเด็กเล่นพบว่าเครื่องเล่น 4 ประเภท (ชิงช้า กระดานหก เครื่องเล่นป็นปาย และ กระดานลื่น) จำนวน 15 รายการในพื้นที่รูปตัว L ส่วนยาวที่สุดของสนามเด็กเล่นยาว 3,005 เซนติเมตร และส่วนกว้างเท่ากับ 1,877 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นที่น้อยที่สุดเท่ากับ 55 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างกระดานหก 2 ชุด ส่วนระยะห่างที่มากที่สุดเท่ากับ 254 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างเครื่องเล่นป็นปายรูปรถไฟกับกระดานหก
- 2) ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเครื่องเล่นประเภทต่าง ๆ พบว่า เครื่องเล่นที่ส่วนประกอบเคลื่อนไหวได้เช่น ชิงช้าและกระดานหกจะมีความสัมพันธ์ในระดับ X (ห้ามอยู่ใกล้กัน) กับเครื่องเล่นอื่น ๆ มากที่สุด
- 3) แนวทางการปรับปรุงการจัดวางเครื่องเล่นในพื้นที่สนามเด็กเล่นมีดังนี้ คือ ลดจำนวนเครื่องเล่นในพื้นที่เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับพื้นผิวป้องกันที่ขยายออกไปจากเครื่องเล่นและระยะห่างระหว่างเครื่องเล่น

อภิปรายผล

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า สนามเด็กเล่นของโรงเรียนกรณีศึกษาไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดตามเกณฑ์ในคู่มือความปลอดภัยสนามเด็กเล่นสาธารณะบางประเด็นดังนี้

ประเด็นแรก คือ เรื่องพื้นผิวรอบเครื่องเล่นเป็นพื้นดินแข็ง ไม่มีทรายคลุมหรือยางหรือวัสดุคล้ายยางเพื่อซับแรงกระแทกหากเด็กตกจากเครื่องเล่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Junthepa and Nathapindhu (2012) ที่พบว่าสนามเด็กเล่นจำนวน 22 แห่งในพื้นที่อำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย มีพื้นผิวที่ไม่ปลอดภัยเช่น พื้นหินลูกรัง คอนกรีต และ งานวิจัยของ Saenbudda (2017) พบว่าพื้นสนามเด็กเล่นมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย มีพื้นดินแข็ง ดังนั้นจึงควรเสนอแนะให้โรงเรียนได้ใช้ทรายคลุมให้มีความหนาอย่างน้อย 25 ถึง 30 เซนติเมตรหรือปูพื้นด้วยยางกันกระแทก ในการปรับปรุงพื้นผิวสนามเด็กเล่นนั้น เมื่อพิจารณาค่าทรายหยาบคลุมพื้นพบว่ามีราคาประมาณ 575-600 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่พื้นยางสนามเด็กเล่นปลอดภัยชนิดเทลงพื้นที่ไม่มีรอยต่อ ความหนา 10 มิลลิเมตรราคาประมาณ 1,350 บาทต่อตารางเมตร และความหนา 20 มิลลิเมตร ราคาประมาณ 1,990 บาทต่อตารางเมตร ส่วนพื้นยางกันกระแทกแบบแผ่นราคาประมาณ 650-1,000 บาทต่อตารางเมตร นอกจากนี้มีค่าแรงในการใช้ทรายคลุมพื้นหรือปูเสื่ออย่างเพิ่มขึ้น การใช้ทรายคลุมจะใช้งบประมาณน้อยกว่าการใช้เสื่อที่ทำจากยางหรือวัสดุคล้ายยางที่ผ่านการทดสอบความปลอดภัยแล้ว ซึ่งทางโรงเรียนสามารถเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับงบประมาณที่มีอยู่ได้

ประเด็นที่สองเรื่องการจัดวางเครื่องเล่น พบว่าโรงเรียนกรณีศึกษาได้จัดวางเครื่องเล่นใกล้กัน ทำให้พื้นผิวป้องกันน้อยกว่า 1.8 เมตร อีกทั้งชิงช้าและชุดเครื่องเล่นป็นปายที่สูงเกิน 76 เซนติเมตรมีช่องว่างห่างกันน้อยกว่า 2.7 เมตร ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Junthepa and Nathapindhu (2012) ซึ่งพบว่า มีการจัดวางเครื่องเล่นใกล้กันในสนามเด็กเล่น ดังนั้นจึงควรเสนอแนะให้โรงเรียนได้จัดวางเครื่องเล่นให้มีพื้นผิวป้องกันที่สอดคล้องกับเกณฑ์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดที่พลัดตกจากเครื่องเล่นไปกระแทกกับเครื่องเล่นอื่น

ประเด็นที่สาม คือ อันตรายจากการสะดุดล้ม โดยพบว่ามีฐานคอนกรีตเปลือยอยู่บริเวณชิงช้าและกระดานลื่น นอกจากนี้ในสนามเด็กเล่นมีต้นโอ๊กอินเดียซึ่งอาจ

ทำให้เด็กสะดุดรากไม้หรือเด็กที่พลัดตกจากเครื่องเล่นไปกระแทกกับต้นไม้ได้ ซึ่งงานวิจัยของ Junthepa and Nathapindhu (2012) พบต้นไม้ในสนามเด็กเล่น ส่วนงานวิจัยของ Saenbudda (2017) พบว่า มีต้นไม้ในสนามเด็กเล่นเช่นกัน และเด็กเลือกเล่นเครื่องเล่นที่อยู่ในพื้นที่ที่มีร่มเงาเป็นส่วนใหญ่ ส่วนประเด็นของเครื่องเล่นและพื้นผิวอยู่ในสภาพดีนั้น งานวิจัยนี้พบว่า กระดานลื่นวางตั้งอยู่บนพื้นดิน ไม่มีการยึดกับพื้น เสี่ยงต่อการล้มทับเด็กได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Saenbudda (2017) ที่พบว่า ส่วนยึดกับพื้นและฐานรากชำรุดและทรุดโทรม นอกจากนี้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวได้ชำรุด เช่น ม้าหมุนชำรุด สีที่ทาเครื่องเล่นหลุดร่อน นอกจากนี้ในประเด็นของช่องว่างอาจทำให้เด็กติดค้าง งานวิจัยนี้พบว่าที่อยู่บริเวณบันไดขึ้นกระดานลื่นเป็นราวคู่ที่ขนานกันและห่างกัน 14 เซนติเมตร ซึ่งขนาดช่องว่างดังกล่าวอาจทำให้ขาของเด็กติดค้างได้หากเด็กก้าวพลาด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Junthepa and Nathapindhu (2012) พบว่า มีช่องว่างที่อาจทำให้เท้าติดและมีช่องว่างที่อาจทำให้ศีรษะติดค้าง อีกทั้งมีบันไดที่ระยะก้าวของขั้นบันไดมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินการวิจัยการประยุกต์ใช้ผังแสดง

ความสัมพันธ์ตามหลักการวิศวกรรมอุตสาหการในการจัดผังสนามเด็กเล่นควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เช่น จำนวนเด็กในโรงเรียน เพศ และอายุ เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดสรรเครื่องเล่นให้เหมาะสมกับช่วงอายุของเด็ก และเพียงพอต่อจำนวนเด็กภายในโรงเรียน รวมถึงพื้นที่ว่างของโรงเรียนที่จะใช้ในการทำสนามเด็กเล่น เนื่องจากการจัดเครื่องเล่นให้เป็นไปตามคู่มือความปลอดภัยสนามเด็กเล่นสาธารณะต้องใช้พื้นที่มาก

นอกจากนี้การจัดการอบรมให้คำแนะนำกับเด็กได้มีความเข้าใจถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากการเล่นผิดวิธี รวมถึงวิธีการเล่นที่ถูกต้องสำหรับเครื่องเล่นแต่ละชนิดเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและควรดำเนินการเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุของเด็ก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (รหัสโครงการ NRIIS 179362)



References

- Bunma, M., Lawanvadeekul, S., Hunyala, J., Yimlamai, W., & Samuttalak, K. (2017). Environment and safety of outdoor playground equipment for pre-school child. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 11(2), 146-162. (in Thai)
- Chongjaroenjaj, P., Attawiriyasuworn, P., & Jongkol, P. (2023). Study of accidents from playing swing of primary students in Nakhon Ratchasima Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 17(2), 201-214 (in Thai)
- Junthepa, P., & Nathapindhu, G. (2012). Environment and safety of playgrounds at child care centers supervised by local administrative organizations and primary schools, Thabo District, Nongkhai Province. *KKU Journal for Public Health Research*, 5, 1-12. (in Thai)
- Muther, R. (1973). *Systematic layout planning*. Boston, MA: Cahnners Books.

- Naqvi, S. A. A., Fahad, M., Atir M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016) Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 3(1), 1207296. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>
- Phetliap, W., Keankarn, P., & Lertpinyochaithaworn, N. (2020). Working environment and personal protective equipment use among workers in automotive repair shops, Muang District, Nakhon Ratchasima Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 14(3), 127–138. (in Thai)
- Sanbudda, W. (2017). The study of playground context and play behavior of early childhood: Case study Ram Wittaya Prachanusorn School, Sikhio, Nakhonratchasima. *National Conference “Home Bhumi No. 3: Wisdom to the Future” Faculty of Architecture Khon Kaen University 15-16 June 2017* (pp. 277-290). Khon Kaen: Khon Kaen University (in Thai)
- Shupmahasan, S., & Sirisuwan, P. (2020). Factors Contributing to Accidents in the Performance of the Operation Team Technicians Installing the Company’s Cable: A Case Study. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 14(2), 278–289. (in Thai)
- Sub-Committee on Protection of Playground and Its Equipment and Devices. (2008). Handbook of safe child playground. Bangkok: Consumer Protection Board. (in Thai)
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A., & Trevino, J. (2010). *Facilities planning* (4th ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Veesommai, U. (1990). *Children’s play spaces*. Bangkok. SarnMaunchon Publishing. (in Thai)
- U.S. Consumer Product Safety Commission. (2015). Public playground safety handbook. Bethesda, MD: U.S. Consumer Product Safety Commission
- Weng, S. J., Tsai, M. C., Tsai, Y. T., Gotcher, D. F., Chen, C. H., Liu, S. C., Xu, Y. Y., & Kim, S. H. (2019). Improving the efficiency of an emergency department based on activity-relationship diagram and radio frequency identification technology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4478. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224478>
- Western Financial Group. (2013). *Hospitality insurance program public playground safety*. High River, NB: Western Financial Group



การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก และลอยน้ำสำหรับระบบให้น้ำพืชไร่: กรณีศึกษาไร่กระท่อม

ต.ระแหง อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี

Comparative Performance Study of Ground-Based and Floating Solar Photovoltaic Based on Electrical Generation System for Farm Crop Irrigation System: Case Study on Kratom Farm, Rahaeng Subdistrict, Lat Lum Kaeo District, Pathum Thani

กันยารัตน์ เอกเอี่ยม^{1*} องอาจ ทับบุรี¹ และประภาวรรณ แพงศรี¹

Kanyarat Ek-iam^{1*} Ong-art Tubburee¹ and Prapawan Pangsr¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

¹Faculty of Industrial Technology, Walaya Alongkorn Rajabhat University

Under The Royal Patronage Pathum Thani province

*Corresponding author: kanyarat@vru.ac.th

Received: January 25, 2024

Revised: April 21, 2024

Accepted: April 30, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก และลอยน้ำสำหรับระบบให้น้ำพืชไร่ โดยใช้พืชกระท่อมที่มีการปลูกกันเป็นจำนวนมากในไร่ของเกษตรกรตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานีเป็นกรณีศึกษา วิธีการที่นำเสนอเริ่มจากการกำหนดขนาดมอเตอร์เครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับการสูบน้ำส่งไปให้ต้นกระท่อมจำนวน 80 ต้น จากนั้นจึงคำนวณหาขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตไฟฟ้าให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำ จนได้มาซึ่งการติดตั้งใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 340 วัตต์สูงสุด จำนวน 4 แผง ที่ติดตั้งบนสันร่องจำนวน 2 แผง และลอยในร่องน้ำอีกจำนวน 2 แผง ร่วมกันจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ขนาด 910 วัตต์ ผลการทดสอบใช้งานจริงแสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งลอยในร่องน้ำมีค่าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องคิดเป็นร้อยละ 5.17 และจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนสันร่องเพียงอย่างเดียวจะมีมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักลบต้นทุนแล้ว และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบันสูงกว่าการติดตั้งลอยในร่องน้ำเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 4,709.13 บาท และ 0.33 เท่า ตามลำดับ อีกทั้งยังมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่า 1 ปี 7 เดือน

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ มอเตอร์เครื่องสูบน้ำ กระท่อม

Abstract

This research aims to study and compare the performance of solar photovoltaics based on electrical generation systems installed on grounding and floating types for agricultural irrigation systems. The kratom farm was used as a case study, which was extensively grown in the farmers' farms in Rahaeng subdistrict, Lat Lum Kaeo district, Pathum Thani province. The proposed method begins with determining the appropriate size of the water pump motor for irrigating water to a quantity of 80 kratoms. Subsequently, the solar panel size for generating electricity to power the water pump motor was calculated, resulting in the installation of four solar panels with a maximum capacity of 340 watts each. Two panels were installed on the ridge, and two were floating in the furrow, jointly supplying electricity to the 910-watt centrifugal water pump motor. The experimental results showed that the average electrical output from the floating solar panels in the furrow was higher than that from the panels installed on the ground by 5.17%. Furthermore, through an economic engineering analysis comparison, it was found that installing only the solar panels on the ridge already had a net present value and the benefit-cost ratio higher than for the floating solar panels in the furrow, amounting to 4,709.13 baht and 0.33 times, respectively. Moreover, the payback period was shorter, at 1 year and 7 months.

Keywords: solar photovoltaic, water pump motor, kratom



บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรมมาโดยตลอด เนื่องด้วยสภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมต่อการทำเกษตร โดยเริ่มต้นจากการปลูกพืชผักบริโภคในครัวเรือน จนกระทั่งการเพาะปลูกที่มีปริมาณมากขึ้นจึงเริ่มเกิดการแลกเปลี่ยนกับเพื่อนบ้านและพัฒนาจนกลายเป็นการค้าขายทั้งในประเทศและการส่งออก (Thongmeethip, 2021) ปัจจุบันความต้องการพืชผลทางการเกษตรมีปริมาณและคุณภาพสูงขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับสภาพอากาศที่แปรปรวน โดยเป็นผลมาจากภาวะเรือนกระจก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชจนเกิดปัญหาขาดแคลนพืชและธัญพืช (Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2022) จนเกษตรกรต้องปรับวิธีการปลูกและดูแลพืชจากการใช้แรงงานคนและฤดูกาลตามธรรมชาติมาใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อช่วยปลูกและดูแลพืชแทน (Punpitak, Dongsongkram, OnLoa, Yuttaart & Pimpasi, 2021) โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการให้น้ำพืช เนื่องจาก

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการปลูกและดูแลพืชจนกระทั่งได้ผลผลิต อีกทั้งการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อพืชและเกษตรกร พืชเศรษฐกิจของประเทศไทย 5 อันดับแรก ได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Matichon News Agency, 2023) แต่หลังจากการประกาศให้กระท่อม (Kratom) ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil. ถูกยกเลิกออกจากบัญชียาเสพติดให้โทษประเภทที่ 5 เมื่อวันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2565 ได้มีการกำหนดนโยบายที่ต้องการให้กระท่อมเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ และผลักดันให้เกิดการสร้างมูลค่าเพิ่มจากการใช้กระท่อมในทางการแพทย์ (The Standard Team, 2021) จากการศึกษาตลาดของใบกระท่อมพบว่ามีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 30,000 ล้านบาทต่อปี โดยมีตลาดใหญ่อยู่ที่สหรัฐอเมริกา ซึ่งนำไปใช้เพื่อช่วยรักษาโรคซึมเศร้า บำบัดยาเสพติด เพิ่มสมรรถภาพทางเพศ ตลอดจนนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อวางจำหน่ายในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย (Longe, 2016.)

การปลูกกระท่อมในประเทศไทยส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคใต้และบางจังหวัดของภาคกลาง เช่น ปทุมธานี (Damrongrak, Wethaosod & Pa-e-tae, 2022) เนื่องจากลักษณะของจังหวัดปทุมธานี มีแหล่งน้ำธรรมชาติผิวดินจำนวนมากไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีระยะทางถึง 30 กิโลเมตร และลำคลองธรรมชาติรวมถึงคลองชลประทานอีกจำนวน 84 คลอง (Project Management Office, Royal Irrigation Department, 2019) อีกทั้งดินที่เป็นดินเหนียวจัดจึงเหมาะสมต่อการปลูกกระท่อม ส่งผลให้เกษตรกรในจังหวัดปทุมธานีหันมาปลูกกระท่อมในพื้นที่นาไร่กันเป็นจำนวนมาก โดยการปรับพื้นที่ให้เป็นร่องคูลาด (graded furrow) และปลูกต้นกระท่อมบนสันร่องพร้อมทั้งปล่อยน้ำไปตามร่องคูร่วมกับการให้น้ำแบบเฉพาะจุด (localize irrigation) บริเวณโคนต้น โดยพบการใช้งานทั้งการให้น้ำแบบหยด (drip irrigation) และการให้น้ำแบบฝนเทียม (sprinkler irrigation) ที่ใช้มอเตอร์ซึ่งใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าเป็นต้นกำลังสูบน้ำส่งไปตามท่อพีวีซี ลักษณะดังกล่าวส่งผลให้เกษตรกรต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดจนค่าลงทุนติดตั้งและเดินสายไฟฟ้าเข้าไปภายในไร่เพิ่มขึ้น แต่ด้วยภูมิศาสตร์ของประเทศไทยที่ตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรเล็กน้อยจึงมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์สูงกว่าเขตอื่น ๆ ของโลก จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีพบว่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยมีค่าประมาณ 18.2 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน หรือเท่ากับ 5.05 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน (Division of Solar Energy Development, 2011) ดังนั้นแสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมมากสำหรับประเทศไทย ด้วยการนำมาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์หรือที่เรียกว่า โซลาร์เซลล์ (solar cell) ใช้ในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่สายส่งไฟฟ้าเข้าไม่ถึง แม้กระทั่งในบางพื้นที่ซึ่งสายส่งไฟฟ้าเข้าถึงก็มีการใช้เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (Pongpeera, Pumchumpol, Po-Ngam, Namkhat & Teeboonma, 2022) ประกอบกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการผลิตที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ต่อร่วมมีประสิทธิภาพสูงขึ้นในขณะที่ราคาถูกลง ส่งผลให้การลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมอย่างมาก (Ardpru & Majaroen, 2013) อย่างไรก็ตามการสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือที่นิยมเรียกว่า โซลาร์ฟาร์ม ต้องใช้พื้นที่โล่งขนาดใหญ่กว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแบบอื่น ๆ ซึ่งหากวิเคราะห์

ทางเศรษฐศาสตร์แล้วอาจพบว่าเป็นการใช้พื้นที่โดยไม่เกิดประโยชน์สูงสุดได้ จนทำให้หลาย ๆ ประเทศเปลี่ยนมาใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำแทน (floating solar photovoltaic) นอกจากจะเป็นช่วยลดการใช้พื้นที่โดยเปล่าประโยชน์แล้ว ยังมีส่วนช่วยลดการระเหยของน้ำด้วย (Mitsanon, Lonphan & Wamae, 2021)

จากผลการสำรวจและศึกษาวิธีการปลูกและดูแลกระท่อมของเกษตรกรในตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ประกอบกับการศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยและเทคโนโลยีเกี่ยวกับการให้น้ำพืช ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาและออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งรูปแบบที่ติดตั้งบนสันร่องและลอยในร่องน้ำ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าจ่ายให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำที่มีความเหมาะสมกับการให้กระท่อมจำนวน 80 ต้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษารูปแบบการให้น้ำต้นกระท่อมของเกษตรกรในตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี
2. ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งบนสันร่องและลอยในร่องน้ำของไร่กระท่อม
3. เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องและลอยในร่องน้ำของไร่กระท่อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษารูปแบบและวิธีการให้น้ำที่เหมาะสมกับพืชกระท่อม

กระท่อมเป็นพืชที่จะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีอินทรียสารสูงหรือดินเหนียวซึ่งมีความชื้นในดินสูงกว่าร้อยละ 80 (Ajik & Kimjus, 2010) จึงนิยมปลูกในพื้นที่ริมน้ำ หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ จากการสำรวจไร่กระท่อมของเกษตรกรในตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี พบว่า จะใช้การปรับพื้นที่เป็นร่องคูลาดและปลูกกระท่อมบนสันร่อง พร้อมทั้งปล่อยน้ำให้ท่วมขังอยู่ภายในร่องคูเพื่อให้น้ำไหลซึมไปเลี้ยงต้นกระท่อมร่วมกับการให้น้ำต้นกระท่อมในช่วงเช้าและเย็นเป็นประจำทุกวัน ซึ่งปรากฏการใช้งานทั้ง

วิธีการให้น้ำแบบหยดและแบบฝนเทียม โดยใช้เครื่องสูบน้ำที่มีมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งรับไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าเป็นต้นกำลังสูบน้ำส่งไปยังกระถอมแต่ละต้น จากการศึกษาความเหมาะสมของวิธีการให้น้ำแบบหยดและแบบฝนเทียม พบว่าการให้น้ำแบบหยด จะใช้การปล่อยน้ำที่มีความดันคงที่ไปตามท่อ จากนั้นจะแยกเข้าท่อที่มีขนาดเล็กลงซึ่งต่ออยู่กับหัวน้ำหยด (drip emitters) ที่ติดตั้งอยู่บริเวณโคนต้นพืชแต่ละต้นจึงช่วยประหยัดน้ำได้มาก โดยมีประสิทธิภาพการให้น้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 75–95 ซึ่งจะต้องใช้น้ำขนาดใหญ่เพื่อเก็บและจ่ายน้ำ และต้องใช้อุปกรณ์กรองตะกอนที่อาจติดมากับน้ำก่อนส่งไปตามท่อต่าง ๆ ที่มักทำให้เกิดการอุดตันของหัวน้ำหยด (Kajorndechak, Panphinij, Waenphet & Kaiyawon, 2009) สำหรับวิธีการให้น้ำแบบฝนเทียมหรือแบบสปริงเกลอร์ จะใช้การส่งน้ำไปตามท่อส่งน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugal pump) ซึ่งได้รับความนิยมใช้กันอย่างมากในปัจจุบัน แล้วฉีดออกเป็นฝอยคล้ายเม็ดฝนด้วยหัวฉีดแบบสปริงเกลอร์ เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับการทำเกษตรแปลงใหญ่ในปัจจุบัน แต่การฉีดน้ำเป็นฝอยจะทำให้น้ำระเหยและกระจายไปตามลมได้ง่าย หรืออาจกระจายไปไกลเกินกว่าเขตรากของพืช ปัญหาดังกล่าวแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนหัวฉีดแบบสปริงเกลอร์มาใช้หัวฉีดแบบมินิสปริงเกลอร์ (mini sprinkler) ติดตั้งเพื่อฉีดน้ำเป็นฝอยลงบริเวณเขตรากพืช ทำให้ประสิทธิภาพการให้น้ำเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่างร้อยละ 91–93 (Department of Agricultural Extension, 2021) จากผลการศึกษาดังกล่าว ประกอบกับผลการสำรวจพื้นที่ซึ่งได้ขอความอนุเคราะห์จากเกษตรกรรายหนึ่งซึ่งมีไร่กระถอมที่ใช้การให้น้ำต้นกระถอมที่ปลูกบนสันร่องด้วยหัวฉีดแบบมินิสปริงเกลอร์ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า 220 โวลต์ เป็นต้นกำลังสูบน้ำเข้าท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว ไปยังหัวฉีดน้ำบริเวณต้นกระถอมจำนวน 80 ต้น ดังภาพ 1 (ก) เพื่อศึกษาออกแบบ และติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนสันร่องและลอยในร่องน้ำ สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งทดแทนระบบเดิม

2. การกำหนดขนาดมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ

การได้มาซึ่งขนาดมอเตอร์เครื่องสูบน้ำต้องประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน คือ ปริมาณน้ำที่ต้องการ อัตราการสูบน้ำ และความดันตกคร่อมรวมของระบบ (Total Dynamic Head--TDH) การหาปริมาณน้ำที่ต้องการ (V) สำหรับไร่กระถอมจากอัตราการจ่ายน้ำของหัวฉีดน้ำ

แบบมินิสปริงเกลอร์ยี่ห้อ Chaiyo รุ่น 331-AV เท่ากับ 120 ลิตร/ชั่วโมง จำนวน 80 หัว คิดเป็นปริมาณน้ำ 9.6 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง สำหรับหาอัตราการสูบน้ำของปั๊ม (Q) ในหน่วยลูกบาศก์เมตร/วินาที ดังนี้

$$Q = \frac{V}{3,600} \quad (1)$$

ความดันตกคร่อมรวมของระบบหาได้จากผลรวมของความดันตกคร่อมสถิต ความดันตกคร่อมที่เกิดจากไหลในท่อ และความดันตกคร่อมที่เกิดจากอุปกรณ์ต่อเชื่อม (Pongpeera, Pumchumpol, Po-Ngam, Namkhat & Teeboonma, 2022) แต่กรณีพื้นที่ซึ่งมีการใช้ท่อเมนยาวไม่เกิน 100 เมตร จะกำหนดให้ความดันตกคร่อมรวมของระบบเท่ากับ 25 เมตร และหากท่อเมนยาวเกิน 100 เมตร จะต้องเพิ่มค่าความดันตกคร่อมรวมของระบบอีก 4 เมตรในทุก ๆ ของระยะท่อเมนยาว 100 เมตรที่เกินกว่า 100 เมตรแรก (L_{over}) เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$TDH = 25 + \left[4 \left(\frac{L_{over}}{100} \right) \right] \quad (2)$$

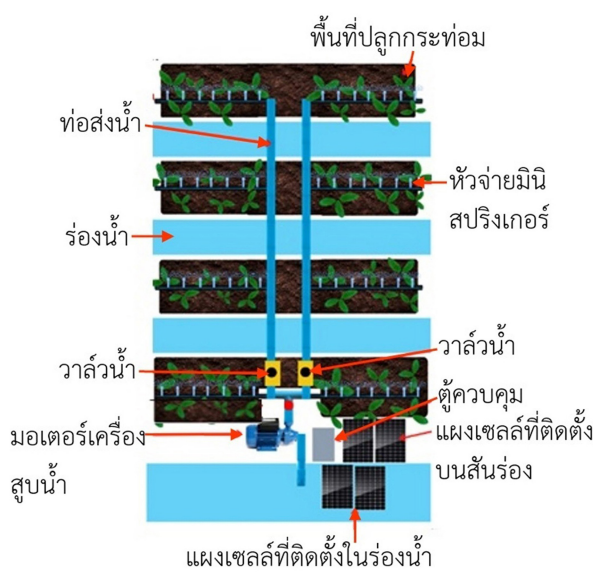
เมื่อพิจารณาท่อเมนสำหรับส่งน้ำไปยังหัวฉีดน้ำทั้ง 80 จุด บริเวณโคนต้นกระถอม ตามภาพ 1 (ข) ซึ่งยาวเท่ากับ 144 เมตร จะได้ความดันตกคร่อมรวมของระบบเท่ากับ 26.76 เมตร ซึ่งสามารถหาขนาดมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ (P_p) ที่มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) ได้ ดังนี้

$$P_p = \frac{\rho \times g \times Q \times TDH}{\eta_p} \quad (3)$$

การหาขนาดของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำด้วยสมการ (3) โดยการแทนค่าอัตราการสูบน้ำของปั๊ม (Q) ที่ได้จากสมการ (1) เท่ากับ 0.002667 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และความดันตกคร่อมรวมของระบบที่ได้จากสมการ (2) นอกจากนี้ยังต้องคำนึงความหนาแน่นของน้ำ (ρ) เท่ากับ 1,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) 9.81 เมตร/วินาที² และประสิทธิภาพของมอเตอร์ด้วย (η_p) ซึ่งควรออกแบบให้มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 จนได้มาซึ่งขนาดมอเตอร์เครื่องสูบน้ำที่จะต้องไม่ต่ำกว่า 875.16 วัตต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งที่มีจำหน่ายให้ใช้งาน ขนาด 910 วัตต์ แรงดัน 40–96 โวลต์



(ก)



(ข)

ภาพ 1 การออกแบบระบบที่นำเสนอเพื่อเป็นต้นกำลังสูบน้ำไปยังต้นกระท่อม (ก) หัวฉีดน้ำแบบมินิสปริงเกอร์ที่ติดตั้งบริเวณโคนต้น (ข) แผนผังของระบบให้น้ำในไร่กระท่อม

3. การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบให้น้ำพืชพบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าจะประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวควบคุมการอัดประจุไฟฟ้า (control charger) และ แบตเตอรี่ (battery) เพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้งานช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ทั้งนี้หากต้องการใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้กับอุปกรณ์หรือมอเตอร์เครื่องสูบน้ำไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องเพิ่มอินเวอร์เตอร์ (inverter) เข้าไปในระบบด้วย อย่างไรก็ตาม จากวิธีการให้น้ำต้นกระท่อมของเกษตรกร ซึ่งให้น้ำในช่วงเช้าจนถึงสายและช่วงบ่ายจนถึงเย็น แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำกระท่อมในช่วงที่มีแสงอาทิตย์อยู่สามารถทำได้ สอดคล้องรายงานของนิตยสาร Home and Garden ที่ระบุว่า ต้นกระท่อมจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับน้ำและแสงอาทิตย์อย่างเพียงพอตลอดทั้งวัน (Home and Garden, 2022) ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจ่ายให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำสำหรับกระท่อมจึงไม่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่และตัวควบคุมการอัดประจุไฟฟ้า ประกอบกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังสูบน้ำ จึงสามารถใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยไม่ต้องผ่านอินเวอร์เตอร์ ทำให้อุปกรณ์และราคาลงทุนลดลงได้ร้อยละ 39.64 (Mitsanon, Lonphan & Wamae, 2021)

โดยผู้วิจัยดำเนินการออกแบบและคำนวณเพื่อกำหนดขนาดอุปกรณ์ต่าง ๆ จากสมการตามรายละเอียดในเอกสารการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, n.d.) ดังนี้

3.1 การประเมินความต้องการพลังงานไฟฟ้า

การประเมินความต้องการพลังงานไฟฟ้า (edemand) สามารถหาได้จากผลคูณระหว่างกำลังไฟฟ้าของโหลด (P_{load}) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ กับระยะเวลาที่เปิดใช้งาน (t_h) ซึ่งมีหน่วยเป็นชั่วโมง (h) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{demand} = P_{load} \times t_h \quad (4)$$

จากสมการ (4) โหลดในการวิจัยครั้งนี้ คือ มอเตอร์เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ขนาด 910 วัตต์ และระยะเวลาเปิดใช้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำโดยเฉลี่ยของแต่ละฤดูกาลที่สอบถามจากเกษตรกรซึ่งจะเปิดใช้งานวันละ 2 ครั้งในช่วงเช้าและเย็น โดยใช้ระยะเวลาการให้น้ำในแต่ละฤดูกาลดังตาราง 1 พบว่า การให้น้ำจะใช้เวลามากที่สุด 3.50 ชั่วโมง/วัน ในฤดูร้อน ดังนั้นความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายวันสูงสุดจึงมีค่า 3,185 วัตต์ชั่วโมง

3.2 การประเมินความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์รายวัน

การคำนวณหาขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าจะต้องต้องทราบค่าความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์รายวัน (E_{total}) โดยพิจารณาจากความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายวันของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ (E_{demand}) ต่อสมรรถนะการแปลงผันกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{conv}) ดังนี้

$$E_{total} = \frac{E_{demand}}{\eta_{conv}} \quad (5)$$

จากสมการ (5) กำหนดให้สมรรถนะการแปลงผันกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับร้อยละ 65 (Technology Broadcasting and News Division, 2023) เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น ฝุ่นละอองและคราบสกปรกบนแผง ตลอดจนความต้านทานของสายไฟฟ้าที่จะทำให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าต่ำกว่าปกติที่ผู้ผลิตกำหนด ดังนั้นความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์รายวันจึงมีค่า 4,900 วัตต์ชั่วโมง

3.3 การหาขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($SIZE_{solar\ cell}$) คำนวณได้จากความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์รายวันหารจำนวนชั่วโมงที่มีแสงอาทิตย์สูงสุดในแต่ละวัน (Peak Sun Hour--PSH) ที่เหมาะสมกับตำแหน่งที่ติดตั้ง ดังนี้

$$SIZE_{solar\ cell} = \frac{E_{total}}{PSH} \quad (6)$$

จากสมการ (6) กำหนดให้จำนวนชั่วโมงที่มีแสงอาทิตย์สูงสุดในแต่ละวัน เท่ากับ 5 ชั่วโมง (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, n.d.) ทำให้ได้ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 980 วัตต์ โดยจะต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผงมาต่อรวมกันเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งสามารถหาจำนวนแผงที่ต้องใช้ (Num_{PV_Panel}) ได้จากอัตราส่วนของขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($SIZE_{solar\ cell}$) ที่ได้ต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (W_p) มีหน่วยเป็นวัตต์ เขียนเป็นสมการ คือ

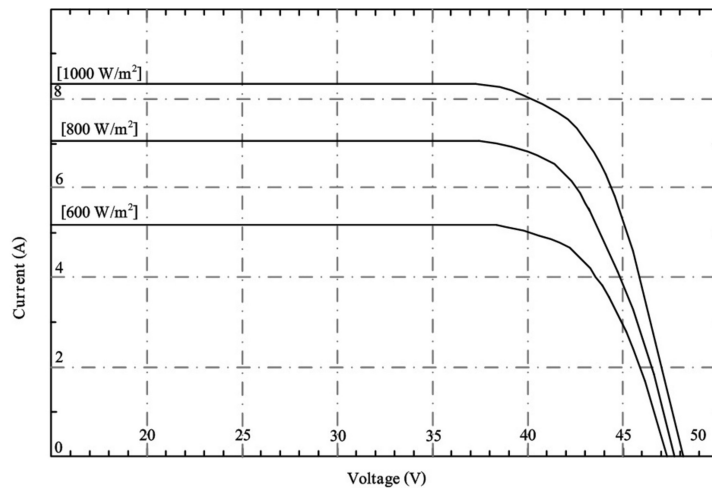
$$Num_{PV_Panel} = \frac{SIZE_{solar\ cell}}{W_p} \quad (7)$$

จากสมการ (7) เมื่อผู้วิจัยเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ขนาด 340 วัตต์สูงสุด 38.2 โวลต์ ที่มีคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) ที่ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ดังภาพ 2 จะได้จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อย่างน้อย 3 แผง อย่างไรก็ตามเพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าไม่ต่ำกว่าที่มอเตอร์เครื่องสูบน้ำต้องการ จึงต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวมาต่ออนุกรมกัน 2 แผง และมีจำนวน 2 ชุดต่อขนานกันดังภาพ 3(ก) ดังนั้นจึงใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 4 แผงมาต่อรวมกันโดยการติดตั้งให้เอียงจากพื้นดิน 15 องศาหันไปทางทิศใต้ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำ

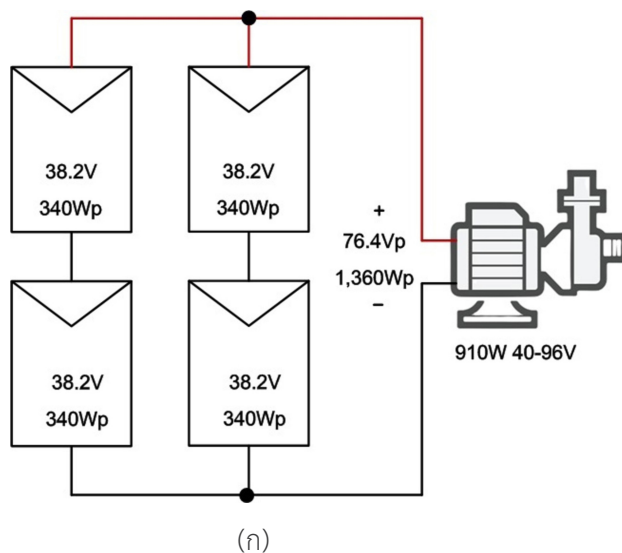
ตาราง 1

ระยะเวลาการให้น้ำต้นกระท่อมโดยเฉลี่ยต่อวันเป็นรายฤดูกาล

ฤดูกาล	ระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการให้น้ำต่อวัน (ชั่วโมง/วัน)		
	ช่วงเช้า	ช่วงเย็น	รวมเวลาทั้งวัน
ฤดูร้อน	1.50	2.00	3.50
ฤดูฝน	0.50	1.00	1.50
ฤดูหนาว	1.00	1.50	2.50



ภาพ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้



ภาพ 3 การต่อวงจรและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) ไดอะแกรมการต่อวงจรไฟฟ้า (ข) ภาพถ่ายการติดตั้งแผงบนสันร่องและลอยในร่องน้ำ

จากลักษณะของไร่กระท่อมที่เป็นแบบร่องคูโดยการปลูกต้นกระท่อมไว้บนสันร่อง และปล่อยน้ำขังไว้ในร่องน้ำ ทำให้พื้นที่บนสันร่องมีค่อนข้างจำกัด ขณะที่บริเวณร่องน้ำเป็นพื้นที่โล่งแจ้ง ดังนั้นเพื่อการศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องและลอยในร่องน้ำ จึงออกแบบให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แผงที่ต่ออนุกรมกันติดตั้งบนสันร่องจำนวน 1 ชุด และอีก 1 ชุดออกแบบให้ติดตั้งบนทุ่นลอยน้ำในร่องน้ำ ดังภาพ 3 (ข)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การยืนยันความน่าเชื่อถือและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องและลอยในร่องน้ำสำหรับมอเตอร์เครื่องสูบน้ำที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น จากการติดตั้งและทดสอบใช้งานจริงในพื้นที่ไร่กระท่อมขนาด 2 งาน ของเกษตรกรรายหนึ่งในตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี โดยการบันทึกผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบที่ติดตั้งบนสันร่องและลอยในร่องน้ำ รวมถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าและความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ด้วยหลักการทาง

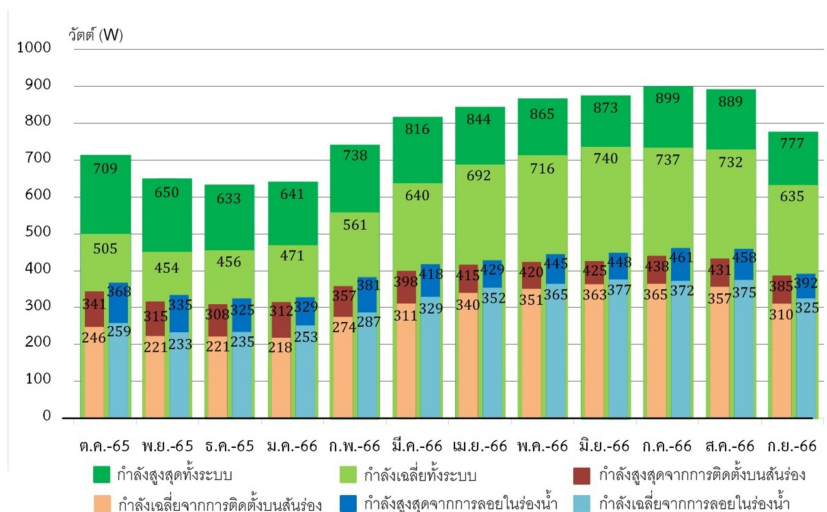
1. ผลการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบที่ติดตั้งบนสันร่องและลอยในร่องน้ำที่ถูกออกแบบให้ต่อเนื่องเป็นวงจรดังภาพ 3(ก) สำหรับมอเตอร์เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งขนาด 910 วัตต์ แรงดัน 40–96 โวลต์ ให้สูบน้ำส่งไปตามท่อพีวีซีให้ตันกระตอมจำนวน 80 ตัน ผ่านหัวฉีดน้ำแบบมินิสปริงเกอร์ โดยการทดสอบใช้งานระบบให้น้ำที่นำเสนอและบันทึกข้อมูลการผลิตไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำ ตลอดระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2565 จนถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2566 แสดงดังภาพ 4 และภาพ 5

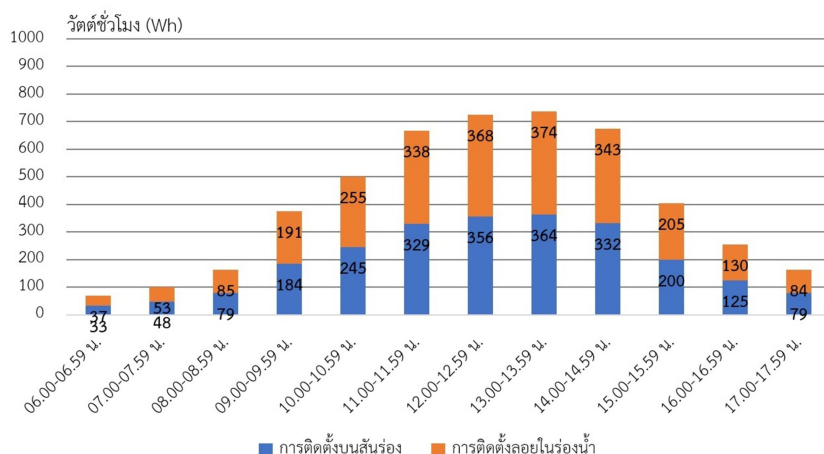
จากภาพ 4 พบว่า ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน ซึ่งประกอบด้วยการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่อง การผลิตไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลอยในร่องน้ำ และการผลิตไฟฟ้ารวมทั้งหมด พบว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมากขึ้นในเดือนเมษายน–สิงหาคม โดยมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนกรกฎาคม สาเหตุเนื่องจากเป็นช่วงโซลสติชส์ฤดูร้อน (summer solstice) ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาในโลกโคจรเข้าสู่ตำแหน่งที่หันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้ประเทศไทยได้รับแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลานานขึ้น ประกอบกับเป็นฤดูฝน ซึ่งนอกเหนือจากช่วงที่เกิดฝนฟ้าคะนองแล้ว ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใสปราศจากฝุ่นควัน และปรากฏการณ์ฟ้าหลัวอย่างเช่นฤดูร้อน ส่งผลให้มีรังสีแสงอาทิตย์ส่องมายังแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น อีกทั้งยังเป็นฤดูกาลที่มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่ำกว่าช่วงฤดูร้อน ซึ่งส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น ในทางกลับกันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าน้อยลงในเดือนพฤศจิกายน–มกราคม เนื่องจากเป็นฤดูหนาวซึ่งเป็นช่วงที่วงโคจรของดวงอาทิตย์จะทำให้มุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ไม่ตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามที่ได้ออกแบบไว้ อีกทั้งยังเป็นช่วงโซลสติชส์ฤดูหนาว (winter solstice) ซึ่งเป็นช่วงที่ระยะเวลาในช่วงกลางวันจะสั้นกว่ากลางคืน สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Saba Arif ที่ศึกษาความเป็นไปได้และวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ของอาคารที่ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อเข้ากับระบบส่งจ่ายไฟฟ้าในปากีสถานและประเทศไทย (Saba et al., 2021)

นอกจากนี้ยังพบว่า ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องและลอยในร่องน้ำมีความแตกต่างกัน โดยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลอยในร่องน้ำมีค่าเท่ากับ 313.50 วัตต์ ขณะที่กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องมีค่า 298.08 วัตต์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลอยในร่องน้ำจะสูงกว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการติดตั้งบนสันร่องอยู่ร้อยละ 5.17 สอดคล้องกับผลงานของ Wetchakan ที่ได้วิเคราะห์สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำขนาด 50 กิโลวัตต์ (Wetchakan, 2017)

หากพิจารณาพลังงานไฟฟ้าในทุก ๆ 1 ชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 17.59 น. ที่ได้รับรายวันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบและติดตั้งใช้งานเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 1 ปี ดังภาพ 5 พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงเช้าจะมีค่าน้อยและจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 738 วัตต์ชั่วโมง ในเวลา 13.00–13.59 น. หลังจากนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการที่ผู้วิจัยไม่ได้ขยับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้หันตามวงโคจรของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวันทำให้มุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ตั้งฉากกันในช่วงเวลาอื่น ๆ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Supahitanukul et al. (2021) ที่ศึกษาเปรียบเทียบค่ารังสีแสงอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในปี พ.ศ.2563 นอกจากนี้ยังพบว่า พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลอยในร่องน้ำมีค่าเท่ากับ 2,463 วัตต์ชั่วโมง ขณะที่พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องมีค่า 2,374 วัตต์ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลอยในร่องน้ำคิดเป็นร้อยละ 3.75 ซึ่งยังคงเป็นไปในแนวทางเดียวกับผลงานวิจัยของ Wetchakan



ภาพ 4 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นระยะเวลา 1 ปี



ภาพ 5 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายวันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยเป็นระยะเวลา 1 ปี

2. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ โดยใช้การวิเคราะห์ตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจากตัวชี้วัดความคุ้มค่า 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value--NPV) การวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost ratio--B/C Ratio) และระยะเวลาคืนทุน (payback period) ของระบบที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีต้นทุนของวัสดุ-อุปกรณ์ต่าง ๆ 27,310 บาท นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์เพื่อขยายผลในกรณีที่ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนสันร่องเพียงอย่างเดียว และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลอยในร่องน้ำเพียงอย่างเดียว

ด้วยการประมาณการต้นทุนที่เกิดขึ้นจากระบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นใช้งานจริง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23,380 บาท และ 30,530 บาท ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์ของระบบทั้ง 3 รูปแบบการติดตั้งที่แสดงในตาราง 2 จะอยู่บนฐานของผลประโยชน์ที่ได้รับจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีระยะเวลาการใช้งานนานที่สุด 3.50 ชั่วโมง ตามตาราง 1 ซึ่งคิดเป็นความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดต่อเดือนเท่ากับ 95.91, 91.14 และ 96.57 กิโลวัตต์ชั่วโมง เรียงตามรูปแบบการติดตั้งในตาราง 2 ตามลำดับ โดยมีอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตรรวมกับค่าเอฟทีเฉลี่ยตลอดปี 2566 เท่ากับ 3.1599 บาท/หน่วย รวมกับความสามารถในการผลิตไฟฟ้าสูงสุดตามข้อมูลในภาพ

4 และอัตราการลดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์/ปี เท่ากับร้อยละ 0.8 (Ardpru & Majaroen, 2013) โดยมีอายุของโครงการเท่ากับอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 25 ปี พร้อมทั้งกำหนดอัตราคิดลด/ปี เท่ากับร้อยละ 6.0 (Phonchokchai, 2023)

จากตาราง 2 พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นสำหรับจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำเพื่อทดแทนระบบเดิม มีมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักกลับต้นทุนแล้ว (NPV) เท่ากับ 15,808.34 บาทตลอด 25 ปี อัตราส่วนของผลตอบแทนที่สูงกว่าต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน (B/C Ratio) 1.58 เท่า และคืนทุนภายในระยะเวลา 7 ปี 6 เดือน จึงเป็นระบบที่มีความเหมาะสมและน่าลงทุน (Pongvijarn & Klongboonjit, 2022) ทั้งนี้หากเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ใช้รูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องเพียงอย่างเดียว กับรูปแบบที่ติดตั้งลอยในร่องน้ำเพียงอย่างเดียว พบว่า รูปแบบที่ติดตั้งลอยในร่องน้ำเพียงอย่างเดียวจะให้ผลตอบแทนรายปีสูงกว่า อย่างไรก็ตามหากวิเคราะห์ตลอดอายุโครงการ ปรากฏว่าการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องเพียงอย่างเดียวมีมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักกลับต้นทุนแล้ว (NPV) สูงกว่า 4,709.13 บาท และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน (B/C Ratio) ซึ่งสูงกว่ารูปแบบที่ติดตั้งลอยในร่องน้ำเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 0.33 เท่า อีกทั้งยังมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่า 1 ปี 7 เดือน

สรุป

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและลอยน้ำสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม ด้วยการออกแบบและติดตั้งใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 340

วัตต์สูงสุด 38.2 โวลต์ บนสันร่องจำนวน 2 แผง และลอยในร่องน้ำอีกจำนวน 2 แผง รวมทั้งหมด 4 แผง มาต่อรวมกันทำให้มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 1,360 วัตต์ 76.4 โวลต์ จ่ายให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งขนาด 910 วัตต์ สูบน้ำส่งไปตามท่อพีวีซีจนถึงหัวฉีดน้ำแบบมินิสปริงเกอร์ที่ติดตั้งอยู่บริเวณโคนกระท่อมจำนวน 80 ต้น ของเกษตรกรรายหนึ่งในตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ผลการทดสอบใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 1 ปี แสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบและติดตั้งใช้งานมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ โดยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลอยในร่องน้ำจะสูงกว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนสันร่องคิดเป็นร้อยละ 5.17 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าและความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า ระบบที่นำเสนอมีความเหมาะสมต่อลงทุนเพื่อทดแทนระบบเดิม ด้วยระยะเวลาคืนทุนภายใน 7 ปี 6 เดือน ประกอบกับมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักกลับต้นทุนแล้ว (NPV) ตลอดโครงการ 15,808.04 บาท และมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน (B/C Ratio) 1.58 เท่า นอกจากนี้จากการขยายผลเพื่อเปรียบเทียบกรณีที่ใช้รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่บนสันร่องเพียงอย่างเดียวกับการติดตั้งลอยในร่องน้ำเพียงอย่างเดียว พบว่า การติดตั้งลอยในร่องน้ำเพียงอย่างเดียวจะให้ผลตอบแทนรายปีสูงกว่า แต่หากวิเคราะห์ตลอดอายุโครงการ พบว่า การติดตั้งบนสันร่องเพียงอย่างเดียวจะมีมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักกลับต้นทุนแล้ว (NPV) สูงกว่า 4,709.13 บาท และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน (B/C Ratio) สูงกว่าการติดตั้งลอยในร่องน้ำเพียงอย่างเดียว 0.33 เท่า

ตาราง 2

ผลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบ

ปีที่	ตัวปรับลด (ร้อยละ 6)	ติดตั้งบนหลังห้องและลอยในร่องน้ำ		ติดตั้งบนหลังห้องอย่างเดียว		ติดตั้งลอยในร่องน้ำอย่างเดียว	
		ผลประโยชน์ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)
1	0.94	3,636.94	3,431.08	3,455.92	3,260.30	3,661.629	3,454.37
2	0.89	3,607.85	3,210.97	3,428.27	3,051.15	3,632.52	3,232.93
3	0.84	3,578.75	3,004.79	3,400.62	2,855.23	3,603.23	3,025.34
4	0.79	3,549.66	2,811.66	3,372.98	2,671.71	3,573.93	2,830.89
5	0.75	3,520.56	2,630.77	3,345.33	2,499.83	3,544.64	2,648.76
6	0.70	3,491.47	2,461.35	3,317.68	2,338.84	3,515.35	2,478.18
7	0.67	3,462.37	2,302.67	3,290.04	2,188.06	3,486.05	2,318.42
8	0.63	3,433.27	2,154.08	3,262.39	2,046.86	3,456.76	2,168.81
9	0.59	3,404.18	2,014.93	3,234.74	1,914.64	3,427.46	2,028.71
10	0.56	3,375.08	1,884.63	3,207.09	1,790.82	3,398.17	1,897.52
11	0.53	3,345.99	1,762.62	3,179.45	1,674.89	3,368.87	1,774.68
12	0.50	3,316.89	1,648.39	3,151.80	1,566.35	3,339.58	1,659.67
13	0.47	3,287.80	1,706.08	3,124.15	1,464.72	3,310.28	1,551.99
14	0.44	3,258.70	1,541.45	3,096.50	1,369.59	3,280.99	1,451.18
15	0.42	3,229.61	1,347.60	3,068.86	1,280.53	3,251.69	1,356.82
16	0.39	3,200.51	1,259.87	3,041.21	1,197.16	3,222.40	1,268.49
17	0.37	3,171.41	1,177.75	3,013.56	1,119.13	3,193.11	1,185.81
18	0.35	3,142.32	1,100.89	2,985.91	1,046.10	3,163.81	1,108.42
19	0.33	3,113.22	1,028.96	2,958.27	977.75	3,134.52	1,036.00
20	0.31	3,084.13	961.65	2,930.62	913.78	3,105.22	968.22
21	0.29	3,055.03	898.65	2,902.97	853.92	3,075.93	904.80
22	0.28	3,025.94	839.71	2,875.32	797.92	3,046.63	845.46
23	0.26	2,996.84	784.56	2,847.68	745.51	3,017.34	789.93
24	0.25	2,967.75	732.97	2,820.03	696.49	2,988.04	737.98
25	0.23	2,938.65	684.70	2,792.38	650.62	2,958.75	689.38
NPV (บาท)		15,808.04		17,591.90		12,882.77	
B/C Ratio (เท่า)		1.58		1.75		1.42	
Payback (ปี)		7.51		6.77		8.34	

ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับจ่ายให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำในการวิจัยครั้งนี้เป็นกรณีศึกษาสำหรับกระตอมซึ่งสามารถให้น้ำขณะที่มีแสงอาทิตย์จัดได้ ทั้งนี้การนำระบบนี้ไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่น ๆ ควรพิจารณาจากความเหมาะสมของการให้น้ำพืชชนิดนั้น ๆ ก่อน

2. การพัฒนาให้ระบบควบคุมการให้น้ำที่เป็นแบบอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่ายไอโอที (IoT) จะช่วยให้การควบคุมและติดตามผลการให้น้ำพืชมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนสนับสนุนเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณเกษตรกรผู้ปลูกกระตอมในพื้นที่ตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ที่อนุเคราะห์ให้ผู้วิจัยลงพื้นที่ศึกษาข้อมูลการปลูก การดูแล และการติดตั้งและทดลองระบบที่นำเสนอในการวิจัยนี้



References

- Ajik, M., & Kimjus, K. (2010). Vegetative propagation of sepat (*Mitragyna speciosa*). *Sepilok Bulletin*, 12(1), 1–11. <https://forest.sabah.gov.my/images/pdf/publication/sepilok-bulletin/Sepilok Bulletin .12.pdf>
- Ardpru, J., & Majaroen, N., (2013). *Design of 1 MW solar photovoltaic power plant* (Master's thesis). Srinakharinwirot University. Bangkok. (in Thai)
- Buraheng, N., Damrongrak, I., Wethaosod, S., & Pa-e-tae, A. (2022). *Prototype development Kratom cultivation under smart greenhouse that suitable for community enterprises*. Yala: Yala Rajabhat University. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. (2021). *Smart irrigation for crop production*. Bangkok: Technology Transfer and Development Bureau. (in Thai)
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (n.d.). *Generating electricity from solar energy*. Bangkok: Ministry of Energy. (in Thai)
- Division of Solar Energy Development. (2011). *Handbook for development and investment in renewable energy production, Vol2, solar energy*. Bangkok: Ministry of Energy. (in Thai)
- Home and Garden. (2022). *Publication document on delving into the story of "Kratom"*. Retrieved from <https://www.baanlaesuan.com/256350/plant-scoop/kratom>. (in Thai)
- Longe, T. (2016). *Handbook of Growing Kratom Plants*. California: Create Space Independent Publishing Platform
- Kajorndechusak, S., Panphiniij, S., Waenphet, W., & Kaiyawon, Y. (2009). Drip irrigation technology transferring. *RMUTP Research Journal*, 3(1), 97–105. (in Thai)
- Matichon News Agency. (2023). *Analytics 5 economic crops, seminar 'Income Guarantee' to revive the economy*. Retrieved from https://www.matichon.co.th/politics/news_3178382. (in Thai)

- Mitsanon, S., Lonphan, K., & Wamae, W. (2021). Feasibility study of electricity production system using floating solar a case study of Wang Din Sor Village, Phitsanulok Province. *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 11(2), 81–91. (in Thai)
- Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2022). *Agricultural economic outlook*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Phonchokchai, S. (2023). *Open the rate of return on investment in 2023*. Retrieved from https://www.area.co.th/thai/area_announce/area_press.php?strquey=press_announcement6816.htm. (in Thai)
- Pongpeera, K., Pumchumpol, S., Po-Ngam, C., Namkhat, A., & Teeboonma, U. (2022). Simple sizing and testing of solar water pump system. *Proceeding of Research and Innovation for Sustainable Development Goals in the Next Normal (R&I for SDGs in the Next Normal)* (pp. 324–334). Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University. (in Thai)
- Pongvijarn, C., & Klongboonjit, S. (2022). The feasibility study of installing hybrid solar PV systems for residential building: A case study of an apartment with 26 rooms. *Ladkrabang Engineering Journal*, 39(3), 167–180. (in Thai)
- Project Management Office, Royal Irrigation Department. (2019). *Report on the master plan for river basin development at the Pathum Thani province level*. Bangkok: Project Management Office, Royal Irrigation Department. (in Thai)
- Punpitak, S., Dongsongkram, K., OnLoa, S., Yuttaart, K., & Pimpasi, A. (2021). Development of automatic irrigation controller system using wireless sensor to increase sugarcane production. *Journal of Applied Information Technology*, 7(2), 17–30. (in Thai)
- Saba, A., Juntakan, T., Hafiz, M.A., Yanjun, D.A.I., & Abrar, A. (2021). Feasibility study and economic analysis of grid connected solar powered net zero energy building (NZEB) of shopping mall for two different climates of Pakistan and Thailand. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26(6), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101049>
- Supahitanukul, C., Sripraphasorn, T., Wichaitanapat, Y., Ajjimakul, S., Boonpanya, A., Wongsamran, K., Kedari, J., & Hiranlap, J. (2021). Comparison between monitoring and simulated outputs of solar panels. *Proceeding of the 8th National Conference Nakhonratchasima College* (pp. 824–836). Nakhonratchasima: Nakhonratchasima College. (in Thai)
- Technology Broadcasting and News Division. (2023). *Solar electricity generation: Transmission and dissemination of solar energy use*. Bangkok: Ministry of Energy. (in Thai)
- The Standard Team. (2021). *Published documents of promoting kratom as an economic crop*. Retrieved from <https://thestandard.co/aims-to-push-kratom-as-a-cash-crop/>. (in Thai)

- Thongmeethip, K. (2021). Agricultural development in Thailand in terms of community development in terms of community development and quality of life and quality of lift. *Journal of Development Studies Thammasat university*, 4(1), 132–162. (in Thai)
- Wetchakan, K. (2017). *Performance analysis of 50 kWp floating PV system* (Master's thesis). Rajamangala University of Technology Thanyaburi. Pathum Thani. (in Thai)



การคัดเลือกผู้รับเหมาโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ สำหรับงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง

Supplier Selection Using Analytic Hierarchy Process for Installation Fire Protection System in High-Rise Building

เชษฐ์ ตั้งทรงจิตรากุล¹ ศุภลักษณ์ ใจเรือง¹ อุนชา หิรัญวัฒน์² และลักขณา ฤกษ์เกษม^{3*}

Chet Tangsongjitakul¹, Supalux Jairueng¹, Anucha Hirunwat² and Lakkana Ruekkasaem^{3*}

¹สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

¹Department of Technology Management, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University.

²ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

²Department of Materials Handling and Logistics Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

³สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

³Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,

Thammasat University, Rangsit Campus.

*Corresponding author: lakkana@mathstat.sci.tu.ac.th

Received: January 25, 2024

Revised: May 21, 2024

Accepted: May 27, 2024

บทคัดย่อ

วิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) นั้นได้ถูกใช้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพช่วยในการตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์ โดยสามารถที่จะใช้ช่วยในการกำหนดระดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจ และการประเมินทางเลือกต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์นำเอาวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์มาใช้ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจเลือกผู้รับเหมางานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง และนำเสนอการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาการตัดสินใจในการเลือกผู้รับเหมางานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง โดยพิจารณาจากปัจจัยหลัก 5 ประการ ได้แก่ มาตรฐานการปฏิบัติงาน สิ่งแวดล้อมและสังคม ความน่าเชื่อถือของบริษัท คุณภาพของสินค้า และด้านการเงิน ด้วยการใช้แบบสอบถามกับผู้ที่มีส่วนในการจัดซื้อ ซึ่งปัจจัยด้านมาตรฐานการปฏิบัติงานเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการคัดเลือกผู้รับเหมา มีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 33.00 การคัดเลือกผู้รับเหมาด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมมีค่าน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ร้อยละ 12.00 การวิเคราะห์ด้านความน่าเชื่อถือของบริษัทมีค่าน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ร้อยละ 16.00 ด้านคุณภาพของสินค้าน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ร้อยละ 31.00 ส่วนด้านการเงินมีค่าน้ำหนักความสำคัญอยู่ที่ร้อยละ 8.00 จากนั้นจึงนำมาทำการคัดเลือกผู้รับเหมางานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูงที่เหมาะสมที่สุด ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน ด้านคุณภาพสินค้า มีความสำคัญสูงเป็น 2 ลำดับแรกสำหรับการพิจารณาคัดเลือกผู้รับเหมา โดยผู้รับเหมารายที่ 1 ได้รับการคัดเลือกให้เป็นผู้รับเหมาที่เหมาะสมที่สุด คะแนนรวมเท่ากับ 4.40 เนื่องจากมีค่าน้ำหนักความสำคัญด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน และด้านคุณภาพของสินค้ามากที่สุด

คำสำคัญ: วิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ การคัดเลือกผู้รับเหมางานติดตั้งระบบดับเพลิง การตัดสินใจ

Abstract

The Analytic Hierarchy Process–AHP is an efficient technique for making decisions with multiple objectives. This technique helps determine the significance of aspects in decision-making and allows for a systematic and efficient evaluation of different possibilities. This research utilizes the Analytic Hierarchy Process–AHP to manipulate decision-making issues related to the selection of contractors for the installation of fire suppression systems in high-rise buildings. The study examines five key factors: work standards, environment and society, company credibility, product quality, and financial issues. The assessment of these factors was conducted through the administration of a questionnaire to those who are engaged in the procurement process. According to the investigation, work standards were shown to be the most crucial element, contributing to 33.00% of the overall significance in the selection of contractors. The weight of environmental and social issues was 12.00%, but the study of company credibility contributed 16.00%. The weight assigned to product quality was 31.00%, while the weight assigned to financial issues was 8.00%. Following the investigation, the first supplier was chosen as the most suitable candidate for installing fire suppression systems in high-rise buildings. The total score was 4.40. This decision was based on its superior performance in appropriating work standards and its consistent commitment to product quality factors.

Keywords: analytic hierarchy process, fire protection supplier selection, decision making



บทนำ

สังคมเมืองในยุคปัจจุบันของประเทศไทยได้มีการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าทั้งทางด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยี ทั้งนี้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่จะพัฒนาองค์กรของแต่ละผู้ประกอบการ รวมถึงทางภาครัฐก็ได้มีนโยบายสำหรับการลงทุนทางด้านโครงสร้างพื้นฐานอย่างทั่วถึง ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการคมนาคมขนส่งและอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ทำให้มีการกระจายความเจริญก้าวหน้าไปสู่พื้นที่ปริมณฑลและต่างจังหวัดมากขึ้น ส่งผลทำให้มีการก่อสร้างอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษจำนวนมาก โดยเฉพาะคอนโดมิเนียม หอพัก โรงแรม อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า เพื่อรองรับการขยายตัวของเมืองรวมถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ใช้แรงงานที่จะต้องเข้ามาทำงานในพื้นที่ดังกล่าว

อาคารคอนโดมิเนียมหรือที่นิยมเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อาคารชุด” นั้น มีนิยามตามพระราชบัญญัติอาคารชุด พ.ศ. 2522 หมายความว่า อาคารที่บุคคลสามารถแยกการ

ถือกรรมสิทธิ์ออกได้เป็นส่วน ๆ โดยแต่ละส่วนจะประกอบไปด้วยกรรมสิทธิ์ในทรัพย์สินส่วนบุคคลและกรรมสิทธิ์ร่วมในทรัพย์สินส่วนกลาง ซึ่งมีกฎหมายและข้อบัญญัติในการกำกับและควบคุม ตั้งแต่ในขั้นตอนของการออกแบบ การก่อสร้าง การขออนุญาตใช้อาคารและการตรวจสอบอาคารประจำปี นอกจากนั้น ความปลอดภัยในด้านต่าง ๆ ตามมาตรฐานที่กำหนด

กรณีศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้เป็นบริษัทที่ให้บริการจัดการอสังหาริมทรัพย์แบบครบวงจร มีหน้าที่ในการควบคุมดูแล วางแผน ดำเนินการส่วนกลางให้กับหอพัก คอนโด หมู่บ้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นระบบรักษาความปลอดภัย กล้องวงจรปิด การจัดหาพนักงานรักษาความปลอดภัย การบำรุงรักษาระบบอาคาร เช่น ระบบน้ำ ระบบป้องกันอัคคีภัย ระบบไฟฟ้า ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบลิฟต์ การจัดการจราจร การเข้า-ออกของลูกบ้าน สถานที่จอดรถ การจัดการขยะสิ่งปฏิกูล รวมถึงการให้บริการความสะดวกให้กับลูกบ้าน โดยในปัจจุบันทางบริษัทได้มีการดำเนินการ

วางแผน ควบคุมดูแลส่วนกลางให้กับอาคารชุดมากกว่า 400 โครงการ เพื่อให้ได้ผลงานที่มีประสิทธิภาพตอบสนอง ความพึงพอใจของลูกค้าอย่างสูงสุดและบริษัทก้าวไปสู่การ เป็นผู้นำในด้านการบริหารจัดการอสังหาริมทรัพย์อีกด้วย จากการเก็บข้อมูลพบว่าปัญหาในการดูแลอาคารต่าง ๆ ที่ เกิดขึ้นนั้น ระบบที่มีความสำคัญในการดูแลอาคารสูงมาก ที่สุดคือ ระบบซ่อมบำรุงในระบบต่าง ๆ โดยเฉพาะระบบ แสงเหตุหนีไฟและระบบดับเพลิงในอาคาร ความปลอดภัย ในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้เป็นระบบ ที่มีความสำคัญอย่างมาก จะต้องมีการแจ้งเตือนในหลากหลายสัญญาณ ได้แก่ สัญญาณแสงและสัญญาณเสียง รวมถึงระบบที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณผ่านโทรศัพท์มือถือ เพราะว่าเป็นระบบที่มีความจำเป็นอย่างสูงและเข้าถึงผู้พักอาศัยในอาคารได้ง่ายและรวดเร็ว ในการออกแบบอาคาร ขนาดใหญ่ผู้ออกแบบจะออกแบบให้คำนึงถึงมาตรฐาน หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องข้อกำหนดและความปลอดภัย ต่าง ๆ ดังนั้นผู้รับเหมาที่ดูแลระบบนี้ต้องเป็นผู้รับเหมาที่มี ประสิทธิภาพ และมีทักษะความชำนาญในระดับสูงเพราะ มีผลต่อทรัพย์สินและความปลอดภัยของผู้พักอาศัย ซึ่งจะมี การว่าจ้างผู้รับเหมาภายนอกเข้ามาบริหารจัดการ โดย ผู้รับเหมาปรับปรุงอาคารนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นหลากหลายขนาด และหลายรูปแบบ ประกอบด้วย บริษัทขนาดใหญ่ ขนาดกลาง ขนาดเล็ก ไปจนถึงบุคคลทั่วไปที่รับจ้าง ทำงาน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุของปัญหา เช่น การทำงาน ไม่ทำงานต่อจนจบ วัสดุที่ใช้ไม่ตรงตามรายละเอียดของข้อ ตกลง และแบบในการปรับปรุง สัญญาณคลุมเครือไม่ชัดเจน สัดส่วนการเบิกเงิน จำนวนที่มั่งงาย การไม่มีมาตรฐานใน การปฏิบัติงาน และช่วงระยะเวลาในการรับประกันผลงาน เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นของผู้บริหารอาคารที่จะต้อง มีระบบการคัดเลือกผู้รับเหมาที่ดีและเหมาะสม เพื่อให้ งานซ่อมบำรุงสามารถทำงานให้แล้วเสร็จตรงตามเวลา และมีคุณภาพที่ดีตามข้อตกลง

จากการเก็บข้อมูลพบว่า หลักเกณฑ์เดิมที่ใช้ในการ ประเมินหาผู้รับเหมาที่เหมาะสมนั้นจะให้น้ำหนักคะแนน เท่ากันในทุก ๆ เกณฑ์ ซึ่งก็จะมีข้อดีคือ มีความง่ายใน การประเมิน ขั้นตอนและระยะเวลาในการคัดเลือกผู้รับ เหมาจะลดลง เพราะไม่ต้องมาทำการพิจารณาถึงน้ำหนัก คะแนนของแต่ละเกณฑ์ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียที่พบคือทำให้

ปัจจัยบางปัจจัยที่มีความสำคัญมากอาจได้คะแนนน้อย ในทางเดียวกันปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยอาจได้คะแนนมาก ทำให้เกิดความไม่ยุติธรรมในการประเมินหาผู้รับเหมาที่มี ความเหมาะสม และมีโอกาสที่จะตัดสินใจเลือกผู้รับเหมา ที่มีปัจจัยความเสี่ยงสูงกว่าเข้ามาร่วมงาน ซึ่งอาจจะส่งผล เสียต่อการปฏิบัติงานหรือชื่อเสียงและความน่าเชื่อถือของ บริษัท ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการปรับปรุงหลักเกณฑ์การประเมิน หาผู้รับเหมาที่เหมาะสม โดยให้น้ำหนักคะแนนของแต่ละ เกณฑ์ตามระดับความสำคัญ ตัวอย่างเช่น เกณฑ์ด้านมาตรฐาน การปฏิบัติงาน เกณฑ์ด้านคุณภาพ เกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อม และสังคม ซึ่งการคำนึงถึงหลักการต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วย ให้หลักเกณฑ์การประเมินหาผู้รับเหมาที่เหมาะสมมีความ น่าเชื่อถือและได้รับการยอมรับจากทุกฝ่าย จากปัญหาดัง ที่กล่าวถึงข้างต้น จะเห็นได้ว่าการจัดซื้อและการคัดเลือก ผู้ส่งมอบมีความสำคัญต่อความน่าเชื่อถือ ภาพลักษณ์ของ บริษัทและความพึงพอใจของผู้ใช้อาคารเป็นอย่างมาก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการคัดเลือกผู้รับเหมาให้มีความเหมาะสมที่สุด โดยในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับ ชั้น (AHP) มาประยุกต์ใช้สำหรับหาระดับความสำคัญของ ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกผู้รับเหมางานติดตั้งระบบดับ เพลิงในอาคารสูง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกผู้รับเหมา สำหรับงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง
2. เพื่อศึกษาลำดับความสำคัญและคัดเลือกผู้รับเหมา สำหรับงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การศึกษาขั้นตอนการจัดซื้อและการคัดเลือกซัพพลายเออร์ เทคนิคในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ วิธีการกระบวนการ วิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) เกณฑ์และปัจจัยที่ใช้ในการ ประเมินผู้รับเหมา

การจัดซื้อ

การจัดซื้อ เป็นส่วนที่เชื่อมต่อการปฏิบัติงานระหว่างผู้จัดส่งวัตถุดิบและการดำเนินงานของระบบการผลิตในองค์กร การจัดซื้อจึงถือเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดการปฏิบัติงานที่สอดคล้องประสานกันต่อเป้าหมายของกลยุทธ์การดำเนินการโดยรวมขององค์กร นอกจากนี้การจัดซื้อยังเป็นช่องทางที่องค์กรจะได้รับรู้ข้อมูลสำคัญต่าง ๆ เช่น แหล่งวัตถุดิบหรือผู้จัดส่งวัตถุดิบรายใหม่ ๆ เทคโนโลยีใหม่ ๆ ในอุตสาหกรรม แนวโน้มของตลาด และอุตสาหกรรมที่ดำเนินการอยู่ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญต่อกลยุทธ์การดำเนินงานขององค์กร ข้อมูลข่าวสารด้านแหล่งวัตถุดิบใหม่ ๆ ที่ได้มาจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้องค์กรสามารถค้นหาผู้จัดส่งได้หลากหลาย และมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาความสัมพันธ์ในการดำเนินงานต่อกัน ในลักษณะพันธมิตรเชิงกลยุทธ์ต่อไปในอนาคต (Waters, 2003) ประเภทของการจัดซื้อ โดยหลักการแล้วจำแนกออกได้ 6 ประเภท (Leenders et.al., 2006) ได้แก่ ส่วนประกอบ (component part) วัตถุดิบ (raw material) สินค้าที่ใช้ในการดำเนินงาน (operating supplies) อุปกรณ์สนับสนุน (support equipment) อุปกรณ์ดำเนินการ (process equipment) และ การให้บริการ (service)

การคัดเลือกซัพพลายเออร์

การจัดหา (sourcing) คือ การคัดเลือกซัพพลายเออร์เพื่อซื้อสินค้าและบริการได้อย่างมีคุณภาพ ราคาสมเหตุสมผล สามารถจัดส่งสินค้าและบริการได้ตรงตามเวลาที่กำหนดไว้ หากบริษัทซื้อสินค้าและบริการจากซัพพลายเออร์ที่มีศักยภาพไม่เหมาะสม ผลที่จะเกิดขึ้นตามต่อมาก็คือ ความเสี่ยงในการจัดส่งสินค้าที่ด้อยคุณภาพ ลำช้า ส่งผลให้ลูกค้าไม่พอใจและขาดความเชื่อมั่น Dickson (1996) ได้นำเสนอปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ทั้งหมด 23 ปัจจัย ซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้นำมาใช้อย่างแพร่หลาย

เทคนิคในการคัดเลือกซัพพลายเออร์

การตัดสินใจโดยการใช้วิธีแบบหลายหลักเกณฑ์ คือ การหาวิธีในการค้นหาทางเลือกของการตัดสินใจทางเลือกที่ดีที่สุดจะได้รับการคุณค่าถ่วงน้ำหนักกับหลักเกณฑ์

ที่เลือกใช้ โดยทางเลือกที่มีค่าผลรวมคุณมากที่สุดถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด วิธีที่สะดวกที่สุด คือ วิธีการจัดลำดับแต่มีข้อระมัดระวัง คือหลักเกณฑ์บางอย่างมีลำดับความสำคัญแตกต่างกัน (Wongsakul, 2019)

1. การประเมินแบบน้ำหนักเท่ากัน (equal weight) หมายถึง การประเมินโดยให้น้ำหนักหรือความสำคัญเท่ากันกับเกณฑ์การประเมินแต่ละข้อ ไม่ว่าเกณฑ์การประเมินแต่ละข้อจะมีความสำคัญมากหรือน้อยก็ตาม

2. การประเมินแบบน้ำหนักไม่เท่ากัน (unequal weight) หมายถึง การประเมินโดยให้น้ำหนักหรือความสำคัญไม่เท่ากันกับเกณฑ์การประเมินแต่ละข้อ ขึ้นอยู่กับความสำคัญของเกณฑ์การประเมินแต่ละข้อ

วิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process--AHP)

วิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เป็นหนึ่งวิธีในการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (multiple criteria decision making) ซึ่งก็คือ การตัดสินใจเลือกทางเลือกหรือจัดลำดับความสำคัญของทางเลือกเมื่อต้องเลือกในการพิจารณาหลายเกณฑ์โดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพและมีความสะดวกในการจัดลำดับความสำคัญ อีกทั้งยังช่วยทำให้เกิดการตัดสินใจที่ดีที่สุดในสถานการณ์ที่ต้องมีการเลือก ซึ่งสามารถใช้ได้กับการตัดสินใจที่มีความยุ่งยากซับซ้อนโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นไม่เพียงแต่จะเป็นการช่วยให้ผู้ที่ทำการตัดสินใจได้ตัดสินใจในสิ่งที่ดีที่สุดแล้วยังแสดงถึงเหตุผลอย่างชัดเจนว่าทำไมจึงตัดสินใจในสิ่งที่เลือกนั้น (Niwrat, 2008)

ขั้นตอนที่ 1 ข้อจำกัดของกระบวนการวิเคราะห์ตามระดับชั้น ในการเก็บข้อมูลค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และใช้เวลาค่อนข้างมากในการเก็บข้อมูลเนื่องจากต้องอธิบายการให้ระดับความสำคัญอย่างละเอียดและชัดเจนให้เข้าใจตรงกันสำหรับกลุ่มผู้ให้ข้อมูล อีกทั้งใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ผลค่อนข้างมาก หากมีปัจจัยมากก็จะก่อให้เกิดความยุ่งยาก ซับซ้อนมากขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 ประโยชน์ของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP)

2.1 เป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการเข้าใจและยืดหยุ่นความซับซ้อน

2.2 แยกโครงสร้างที่ซับซ้อนออกมาเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ

2.3 สามารถตรวจสอบการวินิจฉัยหาความสำคัญ มีเหตุผลสอดคล้องกันหรือไม่

2.4 ช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถทำให้กรอบของปัญหาสมบูรณ์ขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพของการวินิจฉัยโดยการทบทวนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้

2.5 พิจารณาถึงลำดับความสำคัญเปรียบเทียบของปัจจัยต่าง ๆ ในระบบและช่วยให้ผู้ตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดตรงตามเป้าหมาย

2.6 ไม่เน้นเรื่องการลงประชามติ แต่จะเน้นเรื่องการสังเคราะห์ข้อมูลที่มาจากการวินิจฉัยของทุก ๆ คนในกลุ่ม

2.7 สามารถวัดคุณสมบัติที่เป็นนามธรรมและมีผลอยู่ในรูปของลำดับความสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 การดำเนินการในส่วนของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นนั้น สามารถสรุปการดำเนินการตามกระบวนการในภาพที่ 1

3.1 การสลายปัญหาที่ซับซ้อน (decomposition) ให้มาอยู่ในรูปลักษณะของตัวแผนภูมิโครงสร้างที่เป็นลำดับชั้น (hierarchy structure) ซึ่งในแต่ละระดับชั้นจะประกอบไปด้วยเกณฑ์ในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้น ๆ ซึ่งระดับชั้นบนสุดจะถูกเรียกว่า เป้าหมายโดยรวม ซึ่งมีเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น ระดับชั้นที่ 2 อาจมีหลายปัจจัยขึ้นอยู่กับว่าแผนภูมินั้นมีทั้งหมดกี่ระดับชั้น ที่สำคัญที่สุดปัจจัยต่าง ๆ ในระดับชั้นเดียวกันต้องมีความสำคัญทัดเทียมกัน ถ้ามีความสำคัญแตกต่างกันมากควรแยกเอาปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยกว่าลงไปอยู่ระดับชั้นที่อยู่ถัดลงไป ตัวอย่างแผนภูมิชั้นโครงสร้าง AHP แสดงดังภาพ 2 (Viriypab, 2014)

3.2 การหาลำดับความสำคัญ (prioritization) โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทีละคู่ (pairwise comparisons) จากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจในแต่ละระดับชั้นโครงสร้างโดยใช้วิธี Principle of Hierarchic Composition การวินิจฉัยจะแสดงออกมาในรูปของมาตราส่วนของระดับความพึงพอใจที่เป็นตัวเลข 1 ถึง 9 ในตารางเมทริกซ์เนื่องจากตารางเมทริกซ์คือเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดในการเปรียบเทียบในลักษณะเป็นคู่ ๆ หรือจับคู่ ดังตาราง 1

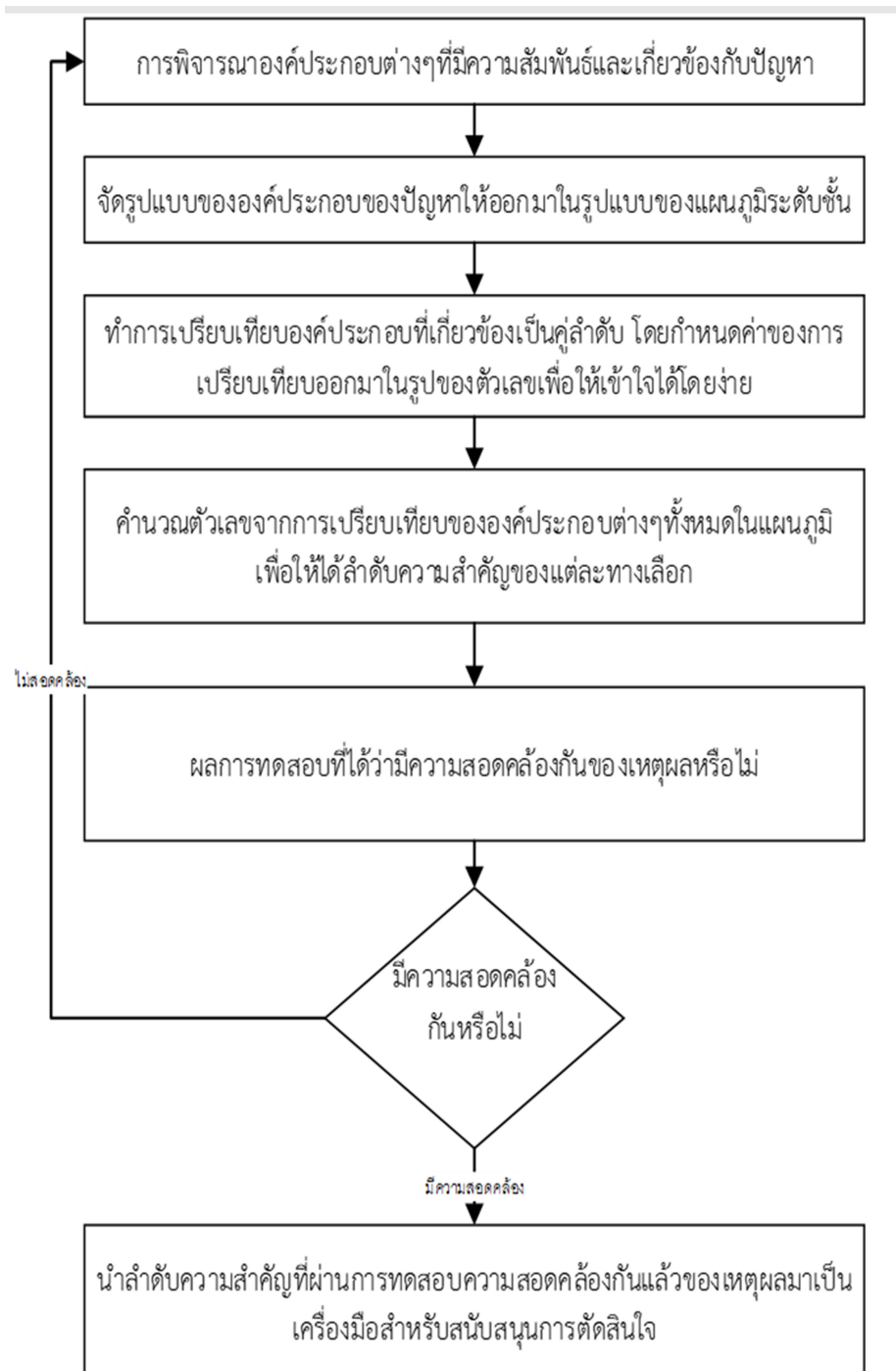
3.3 การสังเคราะห์ (synthesis) โดยการพิจารณาจากลำดับความสำคัญทั้งหมดจากการเปรียบเทียบว่าทางเลือกใดควรได้รับเลือกจาก เมทริกซ์การให้น้ำหนัก (Sangpaen, 2013) ดังแสดงในภาพ 3

จากตาราง 2 ภายใต้เป้าหมายการตัดสินใจ หลักเกณฑ์ A1 ที่อยู่ในแถวซ้ายมือบนสุดจะถูกเปรียบเทียบกับหลักเกณฑ์ A2 ถึง A1 ที่อยู่ในแถวบน A1 ของการเปรียบเทียบก็ดำเนินการเช่นเดียวกันในแถวบนที่ 2 การวิเคราะห์ Geometric Mean Method หรือ ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต (v) โดยค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจะเกิดจากการนำเอาตัวเลขที่ต้องการหาค่าเฉลี่ยมาคูณกัน แล้วนำเอาผลคูณนั้นมาถอดรากตามจำนวนตัวเลขนั้น ด้วยสมการที่ (1)

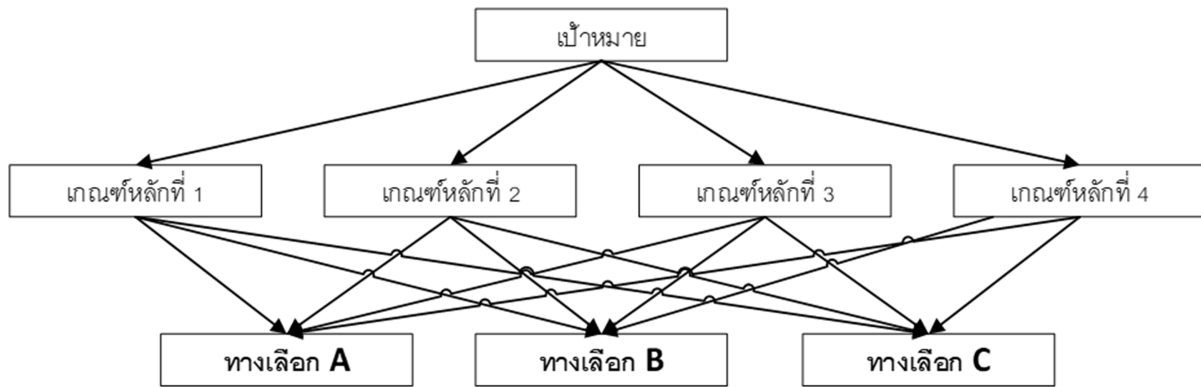
$$v = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n} \quad (1)$$

การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักคะแนนของรูปแบบแต่ละทางเลือก (W) คือ การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักคะแนนของแต่ละรูปแบบทางเลือกนั้น เกิดจากการสังเคราะห์ข้อมูลแต่ละรูปแบบทางเลือก ด้วยสมการที่ (2)

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1.0 \quad (2)$$



ภาพ 1 แผนภูมิขั้นตอนกระบวนการ AHP



ภาพ 2 โครงสร้างลำดับชั้น AHP

$$\begin{array}{c} \text{เกณฑ์การตัดสินใจ} \quad [C_1 \quad C_2 \quad \dots \quad C_n] [Factor] \\ A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix} \end{array}$$

ภาพ 3 รูปแบบเมทริกซ์การให้น้ำหนัก

โดยที่ C_n = เกณฑ์การตัดสินใจ

A_n = ปัจจัยหรือองค์ประกอบต่าง ๆ ในลำดับชั้นที่จะทำการเปรียบเทียบทีละคู่ C_i กับ A_i

ดังนั้นการคำนวณหาลำดับความสำคัญกระทำในรูปแบบของตารางเมทริกซ์ขนาด $n \times m$ จะได้นิยามเมทริกซ์

$A = [a_{ij}]$ โดยที่ i และ $j = 1, 2, 3, \dots, n$

ตาราง 1

ระดับความสำคัญและค่าแสดงเป็นตัวเลขของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

ระดับความสำคัญ	ค่าแสดงเป็นตัวเลข
เท่ากัน (equally preferred)	1
เท่ากันถึงปานกลาง (equally to moderately preferred)	2
ปานกลาง (moderately preferred)	3
ปานกลางถึงค่อนข้างมาก (moderately to strongly preferred)	4
ค่อนข้างมาก (strongly preferred)	5
ค่อนข้างมากถึงมากกว่า (strongly to very strongly preferred)	6
มากกว่า (very strongly preferred)	7
มากกว่าถึงมากที่สุด (very strongly to extremely preferred)	8
มากที่สุด (extremely preferred)	9

ตาราง 2

เมทริกซ์ที่ใช้เปรียบเทียบหลักเกณฑ์เป็นคู่ (pairwise comparison)

เป้าหมายการตัดสินใจ	หลักเกณฑ์			
	A_1	A_2	$\rightarrow$	A_n
A_1	1	3	-	-
A_2	1/3	1	-	-
$\downarrow$	-	-	-	-
A_n	-	-	-	1

การวิเคราะห์ความสอดคล้อง วิธีในการคำนวณหาความสอดคล้องกันของเหตุผลในการให้คะแนน โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ทีละคู่ของหลักเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกกำหนด โดยการนำเอาผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละหลักเกณฑ์ที่อยู่ในแถวตั้ง แต่ละแถวมาคูณด้วยผลรวมของค่าเฉลี่ยในแถวอนแต่ละแถวแล้วนำเอาผลคูณที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์ก็จะมีค่าเท่ากับจำนวนหลักเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกนำมาทำการเปรียบเทียบ ซึ่งผลรวมนี้จะถูกเรียกว่า Eigen Values สูงสุด (λ_{max}) ด้วยสมการที่ (3)

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n [\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j] \quad (3)$$

ถ้าตารางเมทริกซ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันของเหตุผลสมบูรณ์ 100 % $\lambda_{max} =$ จำนวนหลักเกณฑ์ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ (n)

ถ้าตารางเมทริกซ์ไม่ได้มีความสอดคล้องกัน $\lambda_{max} >$ จำนวนหลักเกณฑ์ที่ได้จะถูกนำมาทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index--CI) ด้วยสมการที่ (4)

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (4)$$

เมื่อ $n =$ จำนวนของหลักเกณฑ์

อัตราส่วนความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio--CR) ด้วยสมการที่ (5)

$$CR = \frac{CI \text{ จากจำนวน}}{RI \text{ จากการสุ่มตัวอย่าง}} \quad (5)$$

ค่า CR ที่ได้จะมีเกณฑ์ในการวินิจฉัยว่ามีความสอดคล้องของเหตุผล โดยดูจากจำนวนปัจจัย ดังนี้

จำนวนปัจจัย 3 ปัจจัย ค่า CR ไม่ควรเกิน 5%

จำนวนปัจจัย 4 ปัจจัย ค่า CR ไม่ควรเกิน 9%

จำนวนปัจจัยเกินกว่า 5 ปัจจัย ค่า CR ไม่ควรเกิน 10%

ถ้าค่า CR ที่ได้มีค่าเกินกว่ามาตรฐานดังกล่าว ก็จะแสดงว่าความสอดคล้องกันของเหตุผลไม่มีความสอดคล้องกัน ผู้ที่ทำการวินิจฉัยจะต้องทำการทบทวนการวินิจฉัยที่ได้ทำไปแล้วใหม่ ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาของความไม่สอดคล้องกัน คือ การเรียงลำดับปัจจัยตามค่าน้ำหนักที่ได้จากผลการวินิจฉัยในครั้งแรก ต่อจากนั้นก็ทำการสร้างตารางเมทริกซ์เพื่อทำการวินิจฉัยหาลำดับความสำคัญใหม่ โดยการดูว่าอันดับมีการเปลี่ยนไปจากเดิมหรือไม่ ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนไปในทางที่เป็นเหตุผลและตรงกับสถานการณ์ของปัญหาก็ย่อมจะหมายถึง ความสอดคล้องกันของเหตุผล ก็จะมีค่าสูงขึ้น

ค่า Random Index--RI จะได้มาจากการทดลองโดยการสุ่มตัวอย่างจากตารางเมทริกซ์จำนวน 64,000 ตัวอย่างโดย Saaty (1980) ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3

ค่า RI ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง

ขนาดของตารางเมทริกซ์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่า RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Note. From *The Analytic Hierarchy Process* by T. L. Saaty, 1980 Copyright McGraw-Hill, New York

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้วิธีของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นสำหรับการคัดเลือกผู้ส่งมอบนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างงานวิจัยของ Sonong et al. (2022) ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์สำหรับคัดเลือกผู้ให้บริการขนส่งสินค้าแช่แข็ง โดยเกณฑ์ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ให้บริการขนส่งสินค้าแช่แข็งประกอบด้วย ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านการบริการ ปัจจัยด้านคุณภาพ ปัจจัยด้านการส่งมอบ ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ และปัจจัยด้านความปลอดภัย ผลการประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น พบว่าบริษัทกรณีศึกษาสามารถเลือกผู้ส่งมอบที่เหมาะสมได้จากการพิจารณาค่าน้ำหนักของความสำเร็จ งานวิจัยของ Vadee and Suraraksa (2022) ได้ประเมินปัจจัยในการเลือกผู้ให้บริการขนส่งโดยคำนึงถึงความยั่งยืน ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ผลการพิจารณาจากมุมมองโดยคำนึงถึงความยั่งยืนแสดงให้เห็นว่าปัจจัยจากด้านเศรษฐกิจมีค่าน้ำหนักโดยรวมสูงสุด (83.76%) รองลงมา คือ ด้านสังคม (12.23%) และด้านสิ่งแวดล้อม (4.00%) ดังนั้นผู้ให้บริการขนส่งควรให้ความสำคัญต่อการกำหนดกลยุทธ์และวางแผนการดำเนินงานโดยคำนึงถึงปัจจัยด้านความยั่งยืนเพื่อยกระดับการบริการให้มีมาตรฐาน และงานวิจัยของ Borisutiyane and Phruksaphanrat (2016) ได้ศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับโซ่อุปทาน โดยใช้บริษัทกรณีศึกษาจำนวน 10 บริษัท แบ่งเป็นบริษัทในภาคการผลิต 5 บริษัท และบริษัทภาคบริการและการขายจำนวน 5 บริษัท ผลการศึกษาพบว่าการจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับโซ่อุปทาน ทั้งในภาคการผลิตและภาคบริการ คือ หลักเกณฑ์อุปสรรคด้านบุคคล โดยการขาด

การอบรมและให้ความรู้ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นแนวทางสำหรับการป้องกันและแก้ไขปัญหายุ่งยากที่อาจเกิดขึ้นต่อไปได้ งานวิจัยของ Jewpanya et al. (2020) ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อเลือกสถานประกอบการปฏิบัติสหกิจศึกษาของนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก โดยพิจารณาปัจจัยที่ใช้สำหรับการเลือกสถานประกอบการทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ ภูมิภาค สายงาน ประเภทธุรกิจ และสวัสดิการ ผลลัพธ์ของผลการวิเคราะห์ AHP คือ รายชื่อสถานประกอบการที่สอดคล้องกับความต้องการของนักศึกษา การศึกษาใช้ข้อมูลของการออกปฏิบัติงานสหกิจศึกษาของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก จำนวน 36 คน และมีสถานประกอบการที่ใช้ในการพิจารณาทั้งสิ้น 30 บริษัท แยกออกเป็น 3 ประเภทธุรกิจ ได้แก่ ประเภทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และผลิตภัณฑ์วิศวกรรม จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาหลังจากที่นักศึกษาแต่ละคนทราบรายชื่อบริษัทตามการวิเคราะห์ AHP พบว่า ร้อยละ 5.56 มีความพึงพอใจระดับปานกลาง ร้อยละ 41.67 มีความพึงพอใจระดับมาก และ ร้อยละ 52.78 มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด และงานวิจัยของ Niemsakul and Niemsakul (2019) ได้วิเคราะห์เกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบ และเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มผู้ส่งมอบตามประเภทของวัตถุดิบผลการวิจัยพบว่า ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบตามลำดับคือ คุณภาพ (0.317) ความตรงต่อเวลาในการส่งมอบ (0.241) ราคาวัตถุดิบ (0.213) การให้เครดิตในการจ่ายเงิน (0.152) และสถานที่ตั้งของผู้ส่งมอบ (0.077) และผลการคัดเลือกผู้ส่งมอบที่มีค่าคะแนนความสำคัญสูงสุดแบ่งเป็น 3 กลุ่ม

คือ กลุ่มผู้ส่งมอบวัตถุดิบประเภทโลหะ ได้แก่ บริษัท S (0.291) กลุ่มผู้ส่งมอบวัตถุดิบประเภทสี ได้แก่ บริษัท A (0.412) และกลุ่มผู้ส่งมอบวัตถุดิบประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้า และเบ็ดเตล็ด ได้แก่ บริษัท R (0.520)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นจะเห็นได้ว่าได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่หลากหลาย เนื่องจากวิธีการของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นมีแนวคิดมาจากการเลียนแบบการคิดของมนุษย์ เพื่อลดความเอนเอียง วิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นนี้มีโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยในการวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เช่น โปรแกรม Expert Choice (www.expertchoice.com) และ โปรแกรม Super decision (www.superdecisions.com) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์วิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ซึ่งทำให้บริษัทสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เกณฑ์การประเมินได้เองในอนาคต ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาลำดับความสำคัญของปัจจัยในการเลือกผู้รับเหมาสำหรับงานบริหารงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง

กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยของคัดเลือกผู้รับเหมาสำหรับงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูงโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ จะประกอบไปด้วย (1) ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (2) ทฤษฎี เครื่องมือและการวิเคราะห์ผล และ (3) ผลลัพธ์โดยกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงตามภาพ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลได้มาจากการสอบถามผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่เกี่ยวข้องในการบริหารงานอาคารของบริษัท กรณีศึกษา เพื่อให้ได้มาซึ่งปัญหาที่พบจริงของบริษัท รวมถึงการเข้าถึงประเภทของผู้รับเหมาแต่ละบริษัท สำหรับการพิจารณาประเมินเลือกผู้รับเหมาได้อย่างเหมาะสมกับ

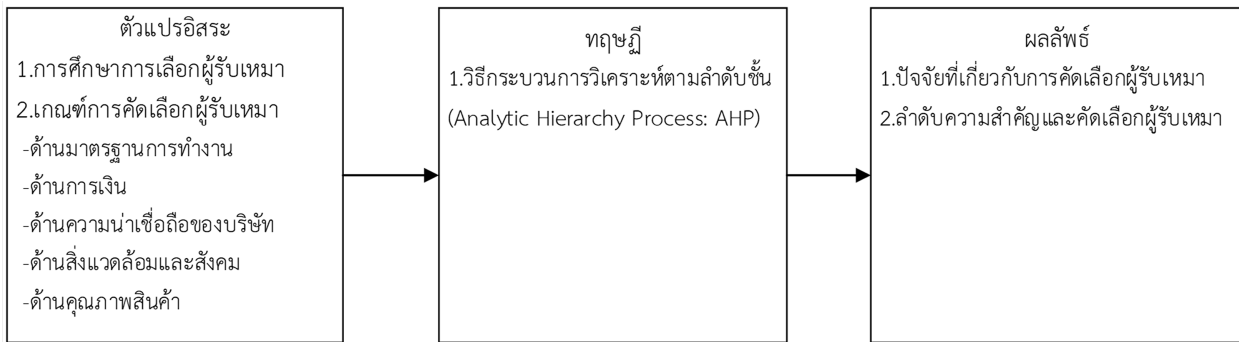
ความชำนาญงานของผู้รับเหมาแต่ละบริษัท

2. ศึกษาทฤษฎีการประเมินผู้รับเหมา และเกณฑ์การประเมินผู้รับเหมาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3. ทำการนำเสนอเสนอเกณฑ์ที่ได้ศึกษาและสรุปออกมา นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย ที่ปรึกษาของบริษัทที่มีคุณวุฒิการศึกษาระดับปริญญาเอก และผู้บริหารของบริษัทที่มีคุณวุฒิการศึกษา ระดับปริญญาเอก จำนวน 3 ท่าน และวุฒิวิศวกรสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 1 ท่าน และสามัญวิศวกรสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จำนวน 1 ท่าน ในการประเมินเกณฑ์การประเมินผู้รับเหมาและข้อเสนอแนะ

4. สรุปเกณฑ์การประเมินผู้รับเหมา และสามารถจำแนกได้ 5 ด้าน ได้แก่ ด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน ด้านการเงิน ด้านความน่าเชื่อถือของบริษัท ด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม และด้านคุณภาพสินค้า นอกจากนั้นภายใต้ปัจจัยใหญ่แต่ละด้านประกอบด้วยปัจจัยย่อย ดังแสดงข้อมูลในตาราง 4 ถึง 8

5. หลังจากได้ศึกษาปัจจัยในการประเมินผู้รับเหมา ในขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนการประเมินผู้รับเหมา ด้วยวิธีการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ โดยมีโครงสร้างของลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ดังแสดงในภาพ 5 โดยผู้ตอบแบบประเมินผู้รับเหมาด้วยวิธีการของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ได้ให้ผู้มีประสบการณ์และผู้มีอำนาจในการเลือกผู้รับเหมาของบริษัท กรณีศึกษา จำนวน 10 ราย ประกอบด้วยผู้จัดการอาคาร วิศวกรอาคาร และพนักงานแผนกจัดซื้อ อายุงาน 5 ปี ขึ้นไป



ภาพ 4 กรอบแนวคิดการวิจัยของคัดเลือกผู้รับเหมาสำหรับงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง

ตาราง 4

ปัจจัยในการประเมินผู้รับเหมาด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน

ด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน (A)	คำอธิบาย	อ้างอิง
การจัดการความเสี่ยง (A1)	การลดลำดับความความเสียหายความสูญเสียหรือการบริหารเหตุการณ์ความไม่แน่นอนในอนาคต	(Sri-udomchai & Thawesaengskulthai, 2012)
ความพร้อมของบุคลากร (A2)	บุคลากรมีความสามารถและมีปริมาณบุคลากรเหมาะสมกับปริมาณงาน	(Mooleng, 2018)
ความตรงต่อเวลาและระยะเวลาการส่งมอบ (A3)	ความสามารถในการทำงานได้เสร็จสิ้นตามระยะเวลาที่ตกลงกันในสัญญา	(Sawangwongsin, 2012)
ความรับผิดชอบและการรักษาสัญญา (A4)	สามารถทำงานที่ได้รับมอบหมาย ไม่มีประวัติการทิ้งงาน ไม่ถูกระบุไว้ในบัญชีรายชื่อผู้ทำงานของกรมบัญชีกลาง	(Maksomboon, 2018)

ตาราง 5

ปัจจัยในการประเมินผู้รับเหมา ด้านการเงิน

ด้านการเงิน (B)	คำอธิบาย	อ้างอิง
การมีเครดิตเงื่อนไขการชำระเงิน (B1)	มีการชำระเงินที่หลากหลายมีเครดิตผ่อนจ่ายหรือจ่ายเป็นงวด ๆ	(Damrongkul, 2020)
ทุนการจดทะเบียน (B2)	ทุนจดทะเบียนบริษัทถูกต้องตามกฎหมาย มีมูลค่าเทียบเท่ากับมูลค่างาน	อ้างอิงจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ
งบการเงินย้อนหลัง (B3)	ตรวจสอบงบการเงินย้อนหลังได้เพื่อเช็คสภาพความคล่องทางการเงินของบริษัท	(Sawangwongsin, 2012)
งบประมาณการพัฒนาบริษัท (B4)	มีการวางแผนการพัฒนาบริษัทในด้านต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ	อ้างอิงจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

ตาราง 6

ปัจจัยในการประเมินผู้รับเหมา ด้านความน่าเชื่อถือของบริษัท

ด้านความน่าเชื่อถือของบริษัท (C)	คำอธิบาย	อ้างอิง
ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO (C1)	มีอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบที่มีมาตรฐาน อุปกรณ์ที่นำมาตรวจสอบจะต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน	(Chonviriyakun & Suraraksa, 2023)
ชื่อเสียงบริษัท ความเชี่ยวชาญ เทคนิคการก่อสร้างและ ผลงานในอดีต (C2)	มีชื่อเสียงในทางที่ดี ไม่มีประวัติทำงาน มีเทคนิค มีความเชี่ยวชาญในงาน	(Suriyacharoen, 2019)
ระยะเวลาที่เปิดบริษัท (C3)	ระยะเวลาที่เปิดดำเนินการกิจการหากเปิดมานานก็มีความน่าเชื่อถือมาก	อ้างอิงจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ
ทำเลที่ตั้งของบริษัท (C4)	สามารถเดินทางมาทำงานได้สะดวก ต้นทุนในด้านโลจิสติกส์เหมาะสม	(Sirirak et al. 2021)

ตาราง 7

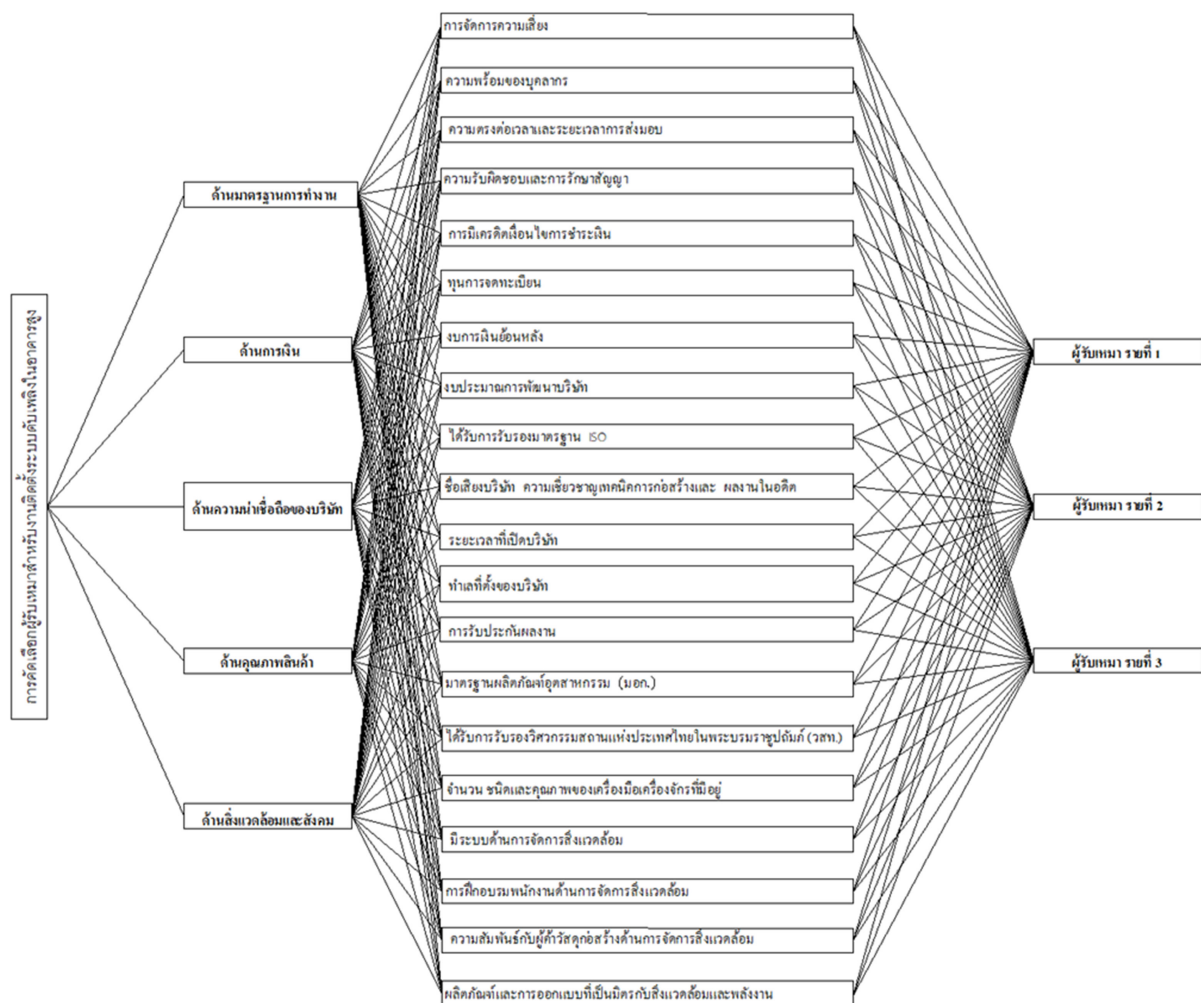
ปัจจัยในการประเมินผู้รับเหมา ด้านคุณภาพสินค้า

ด้านคุณภาพสินค้า (D))	คำอธิบาย	อ้างอิง
การรับประกันผลงาน (D1)	การรับรอง การรับประกันผลงานหลังส่งมอบ	(Hemaboot, 2017)
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) (D2)	ใช้สินค้าที่มีคุณภาพและมีการรับรองจากมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)	(Chonviriyakun, 2022)
ได้รับการรับรองวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) (D3)	มีการรับรองมาตรฐานจากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)	(Muamkhuntod, 2012)
จำนวน ชนิดและคุณภาพของ เครื่องมือเครื่องจักรที่มีอยู่ (D4)	มีการใช้เครื่องมือ เทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์และเหมาะสม กับงาน	(Hemaboot, 2017)

ตาราง 8

ปัจจัยในการประเมินผู้รับเหมา ด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม

ด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม (E)	คำอธิบาย	อ้างอิง
มีระบบด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (E1)	มีนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม บริษัทมีการทำประโยชน์ต่อ สิ่งแวดล้อม	(Hemaboot, 2017)
การฝึกอบรมพนักงานด้านการ จัดการสิ่งแวดล้อม (E2)	พนักงานมีความรู้ และมีแนวทางปฏิบัติไปในทิศทางเดียวกัน และตระหนักถึงกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	(Sirirak, 2021)
ความสัมพันธ์กับผู้ค้าวัสดุก่อสร้าง ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (E3)	มีความสัมพันธ์อันดีกับบริษัทผู้ร่วมดำเนินการ ทำให้การ ปฏิบัติงาน การเจรจาธุรกิจดำเนินไปได้อย่างราบรื่น	(Muamkhuntod, 2012)
ผลิตภัณฑ์และการออกแบบที่เป็น มิตรกับสิ่งแวดล้อมและพลังงาน (E4)	มีการเลือกใช้วัสดุและเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	(Hemaboot, 2017)



ภาพ 5 โครงสร้างของลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ของการคัดเลือกผู้รับเหมา

จากทุกปัจจัยที่มีการเปรียบเทียบค่าของค่า CR ไม่ควรเกิน 10 % หรือมีค่าเท่ากับ 0.1 ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณการตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลแบบกลุ่มด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean method) ที่มีอัตราส่วนความสอดคล้องของกลุ่มมีค่า CR น้อยกว่า 0.10 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลค่าน้ำหนักความสำคัญจากการสัมภาษณ์ที่ได้มีความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ดังตัวอย่างการคำนวณ CR และ Eigen Values โดยประยุกต์ใช้สมการที่ 1 และ 2 ดังแสดงในตาราง 9-10

หาผลรวมแนวตั้ง และนำผลรวมแนวตั้งแต่ละหลัก เพื่อ Normalize matrix ดังตาราง 10 หลังจากนั้นประยุกต์ใช้สมการที่ 3 หาค่า Eigen Values (λ_{max}) มีค่าเท่ากับ 5.06 คำนวณค่า Consistency Index--CI จากสมการที่ 4 ได้ค่า $CI = 0.016$ คำนวณค่า CR จากสมการที่ 5 โดยใช้ค่า RI จากตาราง 3 มีค่าเท่ากับ 1.12 ดังนั้นค่า

CR มีค่าเท่ากับ 0.01 ค่าการคำนวณของ CR ที่ได้มีค่าเท่ากับค่ามาตรฐานดังกล่าว แสดงว่ามีความสอดคล้องกันของเหตุผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ หลังจากนั้น คำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก ได้ค่าน้ำหนักปัจจัยหลักดังตาราง 11 และปัจจัยย่อยได้ดังตาราง 12

6. ประเมินผู้รับเหมาสำหรับงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูงในโครงการ ตึกสูง 25 ชั้น จำนวน 3 ราย ในงานวิจัยนี้ได้ให้ผู้มีประสบการณ์และผู้มีอำนาจในการเลือกผู้รับเหมาของบริษัท กรณีศึกษา จำนวน 10 ราย ประกอบด้วยผู้จัดการอาคาร วิศวกรประจำอาคาร และพนักงานแผนกจัดซื้อ อายุการทำงาน 5 ปี ขึ้นไป

7. คัดเลือกผู้รับเหมาที่ได้คะแนนการประเมินที่มากที่สุด คือ 4.40 เป็นผู้รับเหมาที่ 1 ได้รับการคัดเลือกลำดับแรกสำหรับผู้รับเหมาสำหรับงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง

ตาราง 9

ตารางเมตริกแสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์ใช้ในการตัดสินใจรายคู่โดยใช้ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต (geometric mean method)

ปัจจัยหลัก	A	B	C	D	E
A	1.00	3.16	2.58	2.91	1.06
B	0.32	1.00	0.38	0.56	0.33
C	0.39	2.66	1.00	1.30	0.45
D	0.34	1.78	0.77	1.00	0.35
E	0.94	3.00	2.22	2.88	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	2.99	11.60	6.95	8.65	3.19

ตาราง 10

ตารางเมตริกแสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์ใช้ในการตัดสินใจรายคู่เพื่อคำนวณหา Eigen Values

ปัจจัยหลัก	A	B	C	D	E	ผลรวมแนวนอน
A	0.33	0.27	0.37	0.34	0.33	1.65
B	0.11	0.09	0.05	0.06	0.10	0.42
C	0.13	0.23	0.14	0.15	0.14	0.79
D	0.11	0.15	0.11	0.12	0.11	0.60
E	0.32	0.26	0.32	0.33	0.31	1.54
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	1	1	

ตาราง 11

การคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก

ปัจจัยหลัก	A	B	C	D	E	ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก
A	0.33	0.27	0.37	0.34	0.33	0.33
B	0.11	0.09	0.05	0.06	0.10	0.08
C	0.13	0.23	0.14	0.15	0.14	0.16
D	0.11	0.15	0.11	0.12	0.11	0.12
E	0.32	0.26	0.32	0.33	0.31	0.31
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	1	1	

ตาราง 12

ผลการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยหลักและปัจจัยย่อย

ปัจจัยในการประเมินผู้รับเหมา	ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก	ค่าน้ำหนักของปัจจัยย่อย
ด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน (A)	0.33	
การจัดการความเสี่ยง (A1)		0.10
ความพร้อมของบุคลากร (A2)		0.35
ความตรงต่อเวลาและระยะเวลาการส่งมอบ (A3)		0.32
ความรับผิดชอบและการรักษาสัญญา (A4)		0.23
ด้านการเงิน (B)	0.08	
การมีเครดิตเงื่อนไขการชำระเงิน (B1)		0.09
ทุนการจดทะเบียน (B2)		0.52
งบการเงินย้อนหลัง (B3)		0.21
งบประมาณการพัฒนาบริษัท (B4)		0.18
ด้านความน่าเชื่อถือของบริษัท (C)	0.16	
ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO (C1)		0.41
ชื่อเสียงบริษัท ความเชี่ยวชาญเทคนิคการก่อสร้างและผลงานในอดีต (C2)		0.32
ระยะเวลาที่เปิดบริษัท (C3)		0.17
ทำเลที่ตั้งของบริษัท (C4)		0.10
ด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม (D)	0.12	
มีระบบด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (D1)		0.10
การฝึกอบรมพนักงานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (D2)		0.20
ความสัมพันธ์กับผู้ค้าวัสดุก่อสร้างด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (D3)		0.21
ผลิตภัณฑ์และการออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและพลังงาน (D4)		0.50
ด้านคุณภาพสินค้า (E)	0.31	
การรับประกันผลงาน (E1)		0.12
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) (E2)		0.43
ได้รับการรับรองวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) (E3)		0.32
จำนวน ชนิดและคุณภาพของเครื่องจักร อุปกรณ์เครื่องมือที่มีอยู่ (E4)		0.12

ตาราง 13

สรุปคะแนนในภาพรวมคุณสมบัติของแต่ละทางเลือก

ผู้รับเหมา	ปัจจัยหลักในการประเมินผู้รับเหมา					คะแนนการประเมินรวม
	A	B	C	D	E	
1	$= (0.33 \times 3.70) + (0.08 \times 3.70) + (0.16 \times 4.60) + (0.12 \times 3.40) + (0.31 \times 5.00)$					4.40
2	$= (0.33 \times 3.70) + (0.08 \times 3.00) + (0.16 \times 4.00) + (0.12 \times 3.00) + (0.31 \times 4.60)$					4.08
3	$= (0.33 \times 3.70) + (0.08 \times 3.40) + (0.16 \times 4.00) + (0.12 \times 3.40) + (0.31 \times 4.60)$					4.11

ผลการวิจัย

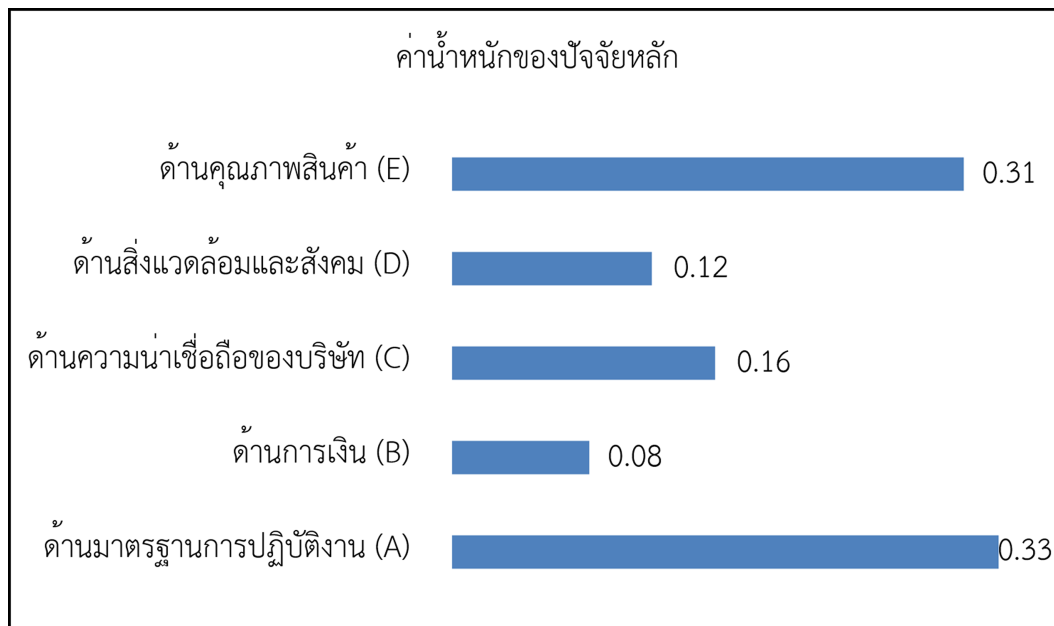
ผลการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยหลักในการประเมินผู้รับเหมาทั้ง 5 ด้าน และค่าน้ำหนักของปัจจัยย่อยในแต่ละด้าน ดังแสดงในตาราง 12 จะแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกผู้รับเหมาที่มีระดับคะแนนมากที่สุดก็คือ ด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน (0.33) รองลงมาคือ ด้านคุณภาพสินค้า (0.31) และด้านความน่าเชื่อถือของบริษัท (0.16) ด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม (0.12) ด้านการเงิน (0.08) ตามลำดับ และถ้าหากพิจารณาปัจจัยย่อยในปัจจัยหลักแต่ละด้าน พบว่า ด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน ปัจจัยเรื่องความพร้อมของบุคลากรมีคะแนนมากที่สุด ด้านการเงิน ทุนจดทะเบียนของผู้รับเหมาที่มีความสำคัญมากที่สุด ด้านความน่าเชื่อถือของบริษัท การได้รับรองมาตรฐาน ISO มีคะแนนมากที่สุด ด้านสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์และการออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและพลังงาน มีคะแนนสูงสุด และด้านคุณภาพสินค้า การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) มีความสำคัญมากที่สุด

จากการคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้อง (CR) ของปัจจัยหลักในโปรแกรม Expert Choice พบว่า ค่าอัตราส่วนความสอดคล้องของปัจจัยหลักมีค่า 0.01 หรือเพียง 1 % เท่านั้น ซึ่งหากจำนวนปัจจัยตั้งแต่ 5 ปัจจัยขึ้นไป ค่า CR จะไม่ควรเกิน 10% แสดงว่าผู้ประเมินมีความคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกัน การประเมินและคัดเลือกซัพพลายเออร์เพื่อแก้ไขปัญหาแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision-Making Problems-- MCDM) ที่ต้องพิจารณาทั้งเกณฑ์เชิงคุณภาพกับเกณฑ์เชิงปริมาณ พบว่า การนำกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process--AHP) มาประเมินและคัดเลือกงานติดตั้งระบบดับเพลิงในอาคารสูง เพราะอุปกรณ์ดับเพลิงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้พักอาศัย หลังจาก

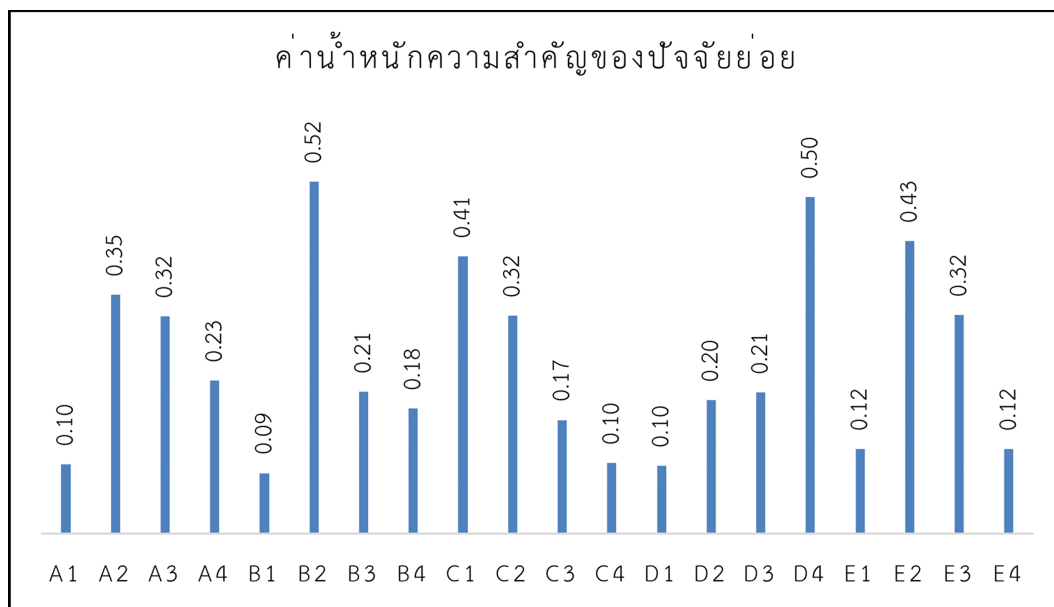
การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและระบุเกณฑ์การประเมินและคัดเลือกจัดทำแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญในกรณีศึกษาและสร้างแผนภูมิลำดับชั้นหลังจากประมวลผลการคำนวณจากค่าการวินิจฉัยที่ได้จากแบบสอบถาม ผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดซื้อจำนวน 10 คน จาก 5 อาคารสูง พิจารณาจากปัจจัยหลัก 5 ประการ ได้แก่ มาตรฐานการปฏิบัติงาน สิ่งแวดล้อมและสังคม ความน่าเชื่อถือของบริษัท คุณภาพของสินค้า และด้านการเงิน พบว่า ผลการเปรียบเทียบผู้รับเหมาทั้งหมด 3 รายคือ ผู้รับเหมารายที่ 1, 2 และ 3 ผลการคำนวณพบว่า ผู้รับเหมารายที่ 1 ได้คะแนนรวมสูงสุด ดังตาราง 13 ข้อได้เปรียบของผู้รับเหมารายที่ 1 เป็นผู้นำเข้าสินค้าบางประเภทจากต่างประเทศเอง และมีผลงานในอาคารสูงที่มากพอสมควร มีมาตรฐานการปฏิบัติงานและระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีและมีประสิทธิภาพ

การอภิปรายผล

จากภาพ 6 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดเลือกผู้รับเหมาที่มีระดับคะแนนมากที่สุด ก็คือ ด้านมาตรฐานการปฏิบัติงาน (0.33) รองลงมาคือ ด้านคุณภาพสินค้า (0.31) ซึ่งมีคะแนนใกล้เคียงกัน และหากพิจารณาภาพ 7 ก็จะพบว่าคะแนน 5 อันดับแรกของปัจจัยย่อยนั้นจะอยู่ภายใต้ปัจจัยหลักด้านมาตรฐานการปฏิบัติงานและด้านคุณภาพสินค้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suwanarat (2020) ที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการคัดเลือกผู้ขายในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยด้านคุณภาพของสินค้ามีความสำคัญเป็นอันดับแรก และงานวิจัยของ Niemsakul and Niemsakul (2019) ได้วิเคราะห์เกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบ และเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มผู้ส่งมอบตามประเภทของวัตถุประสงค์ผลการวิจัยพบว่าค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การประเมินผู้ส่งมอบมีค่ามากที่สุด คือ ด้านคุณภาพ



ภาพ 6 กราฟน้ำหนักของปัจจัยหลักสำหรับการประเมินผู้รับเหมา



ภาพ 7 กราฟน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยย่อยสำหรับการประเมินผู้รับเหมา

ข้อเสนอแนะ

การคัดเลือกผู้รับเหมา โดยใช้วิธีวิเคราะห์การวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีข้อเสนอแนะ ประกอบด้วย การประยุกต์ใช้วิธีอื่นๆในการคัดเลือกผู้รับเหมา ยกตัวอย่าง เช่น กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytical Hierarchy Process--FAHP) (Aungkulanon et.al., 2023) หรือ เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for Order Preference by Similarity to

Ideal Solution--TOPSIS) (Chakraborty, 2022) นำมาประยุกต์ใช้ อาจได้วิธีการในการหาค่าน้ำหนักปัจจัยที่อาจแตกต่างออกไป และการนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางวิศวกรรมในด้านอื่น ๆ เช่น การประเมินผู้รับเหมาซ่อมบำรุงลิฟท์ หรือ ผู้จำหน่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารสูง จะทำให้ได้ผู้รับเหมาที่มีคุณภาพ มีประสิทธิภาพ มาตรฐานการทำงานที่ดี และมีความรับผิดชอบ



References

- Aungkulanon, P., Atthirawong, W., & Luangpaiboon, P. (2023). Fuzzy analytical hierarchy process for strategic decision making in electric vehicle adoption. *Sustainability*, 15(8),7003.
<https://doi.org/10.3390/su15087003>
- Borisutiyanee, M., & Phruksaphanrat, B. (2016). The use of analytic hierarchy process for ranking the barriers of supply chain information technology adoption. *SWU Journal*, 11(2), 26-38. (in Thai).
- Buathong, P. (2020). *Machine selection method for intermittent manufacturing system design* (Master's thesis). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai).
- Chakraborty, S., (2022). TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, 2, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021>
- Chonviriyakun, P. (2022). *Developing sustainable supplier selection criteria: A case study of an automotive parts manufacture design* (Master's thesis). Burapha University. Chonburi (in Thai).
- Chonviriyakun, P., & Suraraksa, J. (2023). Developing sustainable supplier selection criteria: A case study of an automotive parts manufacturer. *RMUTT Global Business and Economics Review*, 18(1), 103-123. (in Thai).
- Damrongkul, S. (2020). *Multi-criteria decision making for selecting of wood chip shipping agents using Analytical Hierarchy Process (AHP) method* (Master's thesis). Dhurakij Pundit University. Bangkok. (in Thai).
- Dickson, G. W., (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 5-20. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>
- Hemaboot, S. (2017). *Supplier selection criteria of hard-disk drive manufacturers by using the principle of Triple Bottom Line (TBL)* (Master's thesis). Thammasat University. Pathum Thani. (in Thai).
- Jewpanya, P., Archanakrit, S., & Boonkrit, A. (2020). The application of the Analysis Hierarch Process to select the industry in the Cooperative Learning program, Faculty of Engineering, Rajamangala university of Technology Lanna Tak. *SWU Engineering Journal*, 15(1), 62-72. (in Thai).
- Leenders, M. R., Johnson, P. F., Flynn, A. E., & Fearon, H. E., (2006). *Purchasing and supply management: with 50 supply chain cases*. New York: McGraw-Hill.
- Maksomboon, P. (2018). *Supplier selection by using Analytic Hierarchy Process (AHP) case study: Raksanee Thai Massage and Spa* (Master's thesis). Sripatum University. Bangkok. (in Thai).
- Mooleng, T. (2018). *Location decision-making of agricultural distribution center in Yala Province with fuzzy topsis method* (Master's thesis). Sripatum University. Bangkok. (in Thai).
- Muamkhuntod, T. (2012). *Criteria for specifying infrastructure contractors in Sungnoen Municipality, Nakhon-Ratchasima* (Master's thesis). Suranaree University of Technology. Nakhon-Ratchasima (in Thai)

- Niemsakul, S., & Niemsakul, J. (2019). Supplier evaluation and selection by Analytical Hierarchy Process (AHP): A case study of metal production company. *Sripatum Chonburi Journal*, 15(3), 104-113. (in Thai).
- Niwrat, S. (2008). *Problem solving method selection in card inspection process using fuzzy AHP and fuzzy topsis techniques* (Master's thesis). Chiang Mai University. Chiang Mai (in Thai).
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Sangpaen, N. (2013). *Selection of water diversion method by using value engineering and AHP* (Master's thesis). Chiang Mai University. Chiang Mai (in Thai).
- Sawangwongsin, N. (2012). *Application of AHP method for supplier evaluation: A case study of bathroom product retailer* (Master's thesis). Dhurakij Pundit University. Bangkok. (in Thai).
- Sirirak, W., Jantakard, H., Luesak, P., Jinta-amornchai, K., Pinchaimoon, A., Sanguanpang, S., & Seeta, C. (2021). The selection and evaluation of supplier: A review and perspective. *RMUTL Engineering Journal*, 6(1), 38-56. (in Thai)
- Sonong, S., Prasitwisad, W., Katkaew, A., & Kaewpanya, A. (2022). Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in the selection of frozen freight forwarders: A case study of Mali Ice Cream Store. *Journal of Administration and Social Science Review*, 5(4), 1-14. (in Thai)
- Sri-udomchai, C., & Thawesaengskulthai, N. (2012). Application of Analytical Hierarchy Process in decision support for innovation award. *The Conference of Industrial Engineering Network, 2012* (pp. 2010-2016). Bangkok: Industrial Engineering Network (in Thai)
- Suriyacharoen, C. (2019). *Selection of logistics service provider for business supermarket in Chiang Mai Province* (Master's thesis). Chiang Mai University. Chiang Mai. (in Thai)
- Suwanarat, K. (2020). *Application of AHP method for supplier evaluation of a company in food industry* (Master's thesis). Huachiew Chalermprakiet University. Bangkok. (in Thai)
- Vadee, T., & Juthathip, S. (2022). Evaluation of factors for transportation service providers selection considering sustainability. *Journal of Logistics and Supply Chain College*, 8(2), 95-111. (in Thai)
- Viriyapab, N. (2014). *Application of AHP for the selection of the water supply system of Rajamangala University of Technology Lanna (Doisaket)* (Master's thesis). Chiang Mai University. Chiang Mai. (in Thai)
- Waters, D. (2003). *Logistics: An introduction to supply chain management*. New York: Palgrave Macmillan.
- Wongsakul, T. (2019). Determining weights of criteria for decision Making. *Journal of Industrial Technology Buriram Rajabhat University*, 1(2), 63-71. (in Thai)



การเพิ่มความมั่นคงในการบริหารจัดการกุญแจลับ สำหรับการกู้คืนกุญแจ แบบหลายเอเจนต์ที่อาศัยศูนย์กลางในการกู้คืนกุญแจ Enhancing Security in Secret Key Management for Multi-Agent Key Recovery Utilizing a Centralized Key Recovery Center

กนกวรรณ กันยะมี¹ และจำรูญ จันทร์กุญชร^{1*}

Kanokwan Kanyamee¹ and Jumroon Chankulchorn^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

¹Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

*Corresponding author: jumroon@uru.ac.th

Received: January 30, 2024

Revised: April 22, 2024

Accepted: April 30, 2024

บทคัดย่อ

ระบบการกู้คืนกุญแจลับ เป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญในยุคการสื่อสารดิจิทัล ที่มีการนำวิทยาการเข้ารหัสลับมาใช้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูล และรักษาความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้งาน การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการกุญแจลับ (Secret Key--Ks) รูปแบบใหม่ที่มีความมั่นคงปลอดภัย สำหรับการกู้คืนกุญแจแบบหลายเอเจนต์ (M-KRA) ที่อาศัยศูนย์กลางการกู้คืนกุญแจ (Key Recovery Center--KRC) ทำงานร่วมกับเอเจนต์ (Key Recovery Agent--KRA) โดยเรียกรูปแบบนี้ว่า E-SHAM-KRS เป้าหมายการวิจัยคือ การนำเสนอกระบวนการจัดการกุญแจลับ Ks ให้เป็นความลับระหว่างผู้รับกับผู้ส่ง หรือ หน่วยงานที่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลโดยชอบด้วยกฎหมายเท่านั้น ทำให้การกู้คืนกุญแจ Ks มีความมั่นคงปลอดภัยและมีความน่าเชื่อถือ ตลอดจนผู้ใช้งานมีความเป็นส่วนตัว และรองรับการกู้คืนกุญแจได้ แม้ในกรณีที่ KRA ในกลุ่มการกู้คืนล้ม โดยทำงานบนโครงสร้างพื้นฐานกุญแจสาธารณะ จากการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการจัดการกุญแจลับ Ks ของ E-SHAM-KRS โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับระบบเดิม พบว่า (1) มีความสามารถในการรักษาความลับของกุญแจ Ks ทำให้กุญแจมีความปลอดภัยสูง ไม่มีโอกาสเกิดการรั่วไหลของกุญแจ Ks ไปยังบุคคลที่สาม (2) พิลต์ในการกู้คืนกุญแจ มีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มีความมั่นคงและมีความเป็นส่วนตัวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ (3) ใช้เวลาในการสร้างพิลต์ในการกู้คืนกุญแจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพื่อรองรับการจัดการกุญแจ Ks ให้มีความมั่นคงปลอดภัยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ E-SHAM-KRS ได้แก้ไขจุดอ่อนด้านการรั่วไหลของรหัสกุญแจลับได้ ส่งผลให้กระบวนการกู้คืนกุญแจมีความน่าเชื่อถือ และทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในด้านความมั่นคงปลอดภัย

คำสำคัญ: ความมั่นคงปลอดภัย กุญแจลับ กู้คืนกุญแจ เอเจนต์ ศูนย์กลางการกู้คืนกุญแจ

Abstract

Key Recovery System is an important technology in the era of digital communication. Cryptography is used to increase data security and maintain user privacy. This research is a developmental research. The objective is to develop a new secure Secret Key--Ks management model for Multi-Agent Key Recovery--M-KRA that uses Key Recovery Center--KRC that works with Key recovery Agent--KRA. This method is called E-SHAM-KRS. The goal of this research is to present a model for the Ks management process to ensure confidentiality between the recipient and the sender or the agency that has legal access to the information. As a result, Ks recovery is secure, reliable, and provides users with privacy and supports key recovery even when KRA in the recovery group fails. It works on a public key infrastructure. The evaluation of the efficiency of the Ks management process of E-SHAM-KRS, which was compared with the previous system, shows that (1) E-SHAM-KRS can maintain the secret of Ks, resulting in the Ks having highly safe and there is no chance of the Ks being leaked to third parties. (2) Key Recover Filed--KRF has slightly increased in size but is significantly more secure and private. And (3) E-SHAM--KRS requires a slightly increased amount of time to generate KRF to support a more secure and stable Ks management function. Moreover, E-SHAM-KRS has successfully addressed vulnerabilities related to the leakage of Ks, resulting in a more reliable key recovery process.

Keywords: security, secret key, key recovery, agent, key recovery center



บทนำ

ยุคปัจจุบันการสื่อสารบนระบบเครือข่าย ถือเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการดำเนินชีวิต สังเกตได้จากแนวโน้มอัตราการเติบโตของผู้ใช้งานเครือข่ายที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดความแข็งแกร่งทางด้านความมั่นคงปลอดภัย (security) และความเป็นส่วนตัว (privacy) จึงมีการนำเทคโนโลยีวิทยาการเข้ารหัสลับ (cryptography technology) (Smart, 2016) มาใช้เพื่อรักษาความลับของข้อมูล โดยผู้ส่งจะทำการเข้ารหัสข้อมูล ด้วยกุญแจลับ (Secret Key หรือ Session Key--Ks) ซึ่งจะเป็นกระบวนการแปลงข้อความต้นฉบับ (plaintext) ให้เป็นข้อความอีกรูปแบบหนึ่งที่ไม่สามารถอ่านเข้าใจได้ (ciphertext) แล้วส่งข้อความดังกล่าวไปยังคู่สื่อสารคือผู้รับ ทางฝั่งผู้รับจะทำการถอดรหัสข้อมูล (data decryption) ที่ได้รับจากผู้ส่งข้างต้นด้วย Ks เช่นเดียวกัน ให้กลับเป็นข้อความต้นฉบับ โดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า การเข้ารหัสแบบสมมาตร (symmetric encryption) (Hughes, 2022) การใช้เทคโนโลยีดังกล่าวมีเพียงผู้รับและผู้ส่งเท่านั้น ที่จะสามารถอ่านข้อความตั้ง

ต้นได้เข้าใจ การเข้ารหัสลับแบบสมมาตรมีข้อดี คือ การดูแลจัดการกุญแจทำได้ง่าย สะดวก ไม่ซับซ้อน มีระยะเวลาตอบสนองที่รวดเร็ว

เมื่อเกิดกรณีที่ Ks ไม่สามารถใช้งานได้หรือสูญหาย ทำให้ผู้รับไม่สามารถถอดรหัสข้อความต้นฉบับได้ จึงจำเป็นต้องมีกลไกการกู้คืน Ks ที่เหมาะสม หรือในกรณีที่หน่วยงานของรัฐต้องการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องสงสัยว่าเป็นภัยอันตรายต่อสังคมหรือบุคคลอื่น (โดยชอบด้วยกฎหมาย) จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการกู้คืนกุญแจเช่นเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลกุญแจและส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลการพิสูจน์ตัวจริง ข้อมูลของผู้ที่เกี่ยวข้องในการสื่อสาร จะถูกเก็บไว้ในฟิลด์ในการกู้คืนกุญแจ (Ket Recovery Field--KRF) (Kim et al., 2021)

ในกระบวนการกู้คืนกุญแจ Ks มีสองรูปแบบ ดังนี้ (1) การกู้คืนกุญแจแบบเอเจนต์เดี่ยว (Single Key Recovery Agent--S-KRA) (Lee et al., 1997) จะใช้เพียงหนึ่งเอเจนต์ในการกู้คืนกุญแจ มีโอกาสการรั่วไหลของ

กุญแจสูง (2) การกู้คืนกุญแจแบบหลายเอเจนต์ (Multiple Key Recovery Agent--M-KRA) (Lim et al., 2003) ใช้จำนวนเอเจนต์ ตั้งแต่ 2 เอเจนต์ขึ้นไป สำหรับการทำงานกู้คืนกุญแจ K_s ร่วมกัน ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบัน ดังนั้นทำให้รูปแบบ M-KRA มีความมั่นคงปลอดภัยสูงกว่า S-KRA กล่าวคือ สามารถลดความเสี่ยงในหลาย ๆ กรณี อาทิเช่น การโจมตีเอเจนต์ที่ให้บริการ การปลอมแปลงเอเจนต์ การมีสิทธิ์ผูกขาดในกุญแจลับ ตลอดจนเมื่อเกิดการล่มของเอเจนต์ส่งผลให้ระบบไม่สามารถให้บริการได้ เป็นต้น (Lim et al., 2003; Kanyamee et al., 2010; Kanyamee et al., 2014)

การกู้คืนกุญแจ K_s จะอาศัยบุคคลที่สาม (third party) (Denning et al., 1997) ภายใต้โครงสร้างพื้นฐานกุญแจสาธารณะ (Public Key Infrastructure--PKI) (Slaegell et al., 2006) ซึ่งมีวิธีการออกแบบการกู้คืน (โดยใช้บุคคลที่สาม) ได้ 2 วิธี คือ (1) อาศัยเอเจนต์ในการกู้คืนกุญแจ (Key Recovery Agent--KRA) วิธีนี้จะไม่มีส่วนกลางในการบริหารจัดการกุญแจ K_s เมื่อต้องการกู้คืนกุญแจ ผู้สื่อสาร (ผู้ส่ง-ผู้รับ) จะต้องติดต่อกับเอเจนต์โดยตรง และ (2) อาศัย KRC ทำงานร่วมกับเอเจนต์ในการกู้คืนกุญแจ (Key Recovery Agent--KRA) วิธีการนี้มี KRC ทำหน้าที่ในการจัดการกุญแจ K_s และต่อประสานกับ KRA เมื่อมีการร้องขอการกู้คืนกุญแจ KRC จะติดต่อให้ KRA ที่เกี่ยวข้องกู้คืนส่วนประกอบของกุญแจ และทำการรวบรวมเพื่อส่งให้กับผู้สื่อสารต่อไป วิธีการนี้จะช่วยลดภาระงานของผู้สื่อสารบนระบบเครือข่าย และให้ความเชื่อมั่นในด้านความมั่นคงปลอดภัยสูง

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอการกู้คืนกุญแจหลายรูปแบบ ทั้งแบบ S-KRA (Lee et al., 1997) และ M-KRA (Lim et al., 2003; Kanyamee et al., 2010; Kanyamee et al., 2014) ที่ทำงานบนสภาพแวดล้อมและสถานการณ์แตกต่างกัน อาทิ การกู้คืนกุญแจบนแอปพลิเคชันสมาร์ตการ์ด (Huadpaknam et al., 2014) การสร้างข้อมูลสำหรับการกู้คืนกุญแจโดยใช้ทฤษฎีบทเศษเหลือของจีน (Kuacharoen et al., 2014) วิธีการห่อหุ้มฟิลด์สำหรับระบบการกู้คืนกุญแจ (Kim et al., 2021) วิธีการกู้คืนกุญแจส่วนตัวที่มีความปลอดภัย (Chang et al., 2023) เป็นต้น แต่ยังไม่มียานวิจัยที่นำเสนอวิธีการบริหารจัดการกุญแจลับสำหรับการกู้คืนกุญแจที่มีความมั่นคงปลอดภัยและน่าเชื่อถือ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะได้ทำการวิจัยเพื่อนำ

เสนอในประเด็นดังกล่าวข้างต้น โดยทำการวิจัยต่อยอดการกู้คืนกุญแจ SHAM-KRS (Kanyamee et al., 2010) ซึ่งเป็นการกู้คืนกุญแจแบบ M-KRA ที่กำหนดให้ KRC ทำหน้าที่ในการรวบรวม และกู้คืนกุญแจ K_s โดยวิธีการดังกล่าวส่งผลให้กุญแจ K_s ถูกส่งโดยบุคคลที่สาม (third party) อีกทั้งยังมีโอกาสเกิดการสมรู้ร่วมคิดกันระหว่างเอเจนต์ในกลุ่มการกู้คืนได้อีกด้วย เพื่อเป็นการปรับปรุงจุดอ่อนดังกล่าว ผู้วิจัยจะได้นำเสนอการพัฒนาแบบการบริหารจัดการกุญแจลับ K_s ในรูปแบบใหม่ เพื่อให้กุญแจ K_s มีความมั่นคงปลอดภัยสูงสุดอย่างเป็นรูปธรรม สามารถแก้ไขจุดอ่อนด้านการรั่วไหลของรหัสกุญแจลับได้โดยยังคงใช้รูปแบบการกู้คืนกุญแจแบบ M-KRA ที่อาศัย KRC ทำงานร่วมกับ KRA เรียกชื่อย่อว่า E-SHAM-KRS

E-SHAM-KRS พัฒนาต่อยอดด้านการจัดการกุญแจ K_s ให้เป็นความลับ ระหว่างผู้รับกับผู้ส่ง หรือ หน่วยงานที่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลโดยชอบด้วยกฎหมายเท่านั้น ทำให้กระบวนการกู้คืนกุญแจ K_s มีความมั่นคงปลอดภัยและมีความน่าเชื่อถือสูง ตลอดจนผู้ใช้งานมีความเป็นส่วนตัว และยังสามารถกู้คืนกุญแจได้ แม้ในกรณีที่มี KRA ในกลุ่มการกู้คืนล่ม

วัตถุประสงค์การวิจัย

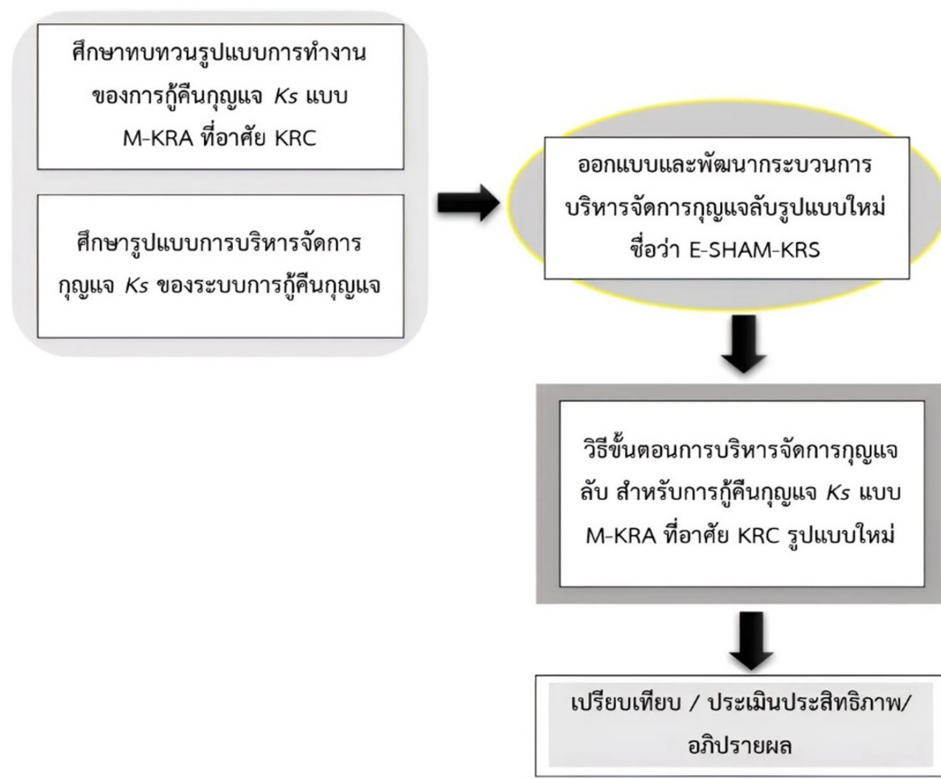
เพื่อวิจัยและพัฒนากระบวนการบริหารจัดการกุญแจ K_s รูปแบบใหม่ สำหรับการกู้คืนกุญแจแบบหลายเอเจนต์ที่ทำงานโดยอาศัยศูนย์กลางการกู้คืนกุญแจ เรียกชื่อว่า E-SHAM-KRS

สมมุติฐานการวิจัย

การพัฒนาแบบการบริหารจัดการกุญแจลับ K_s ในรูปแบบ E-SHAM-KRS จะสามารถแก้ไขจุดอ่อนด้านการรั่วไหลของกุญแจลับ K_s ไปยังบุคคลที่สามได้

กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัยเรื่อง การเพิ่มความมั่นคงในการบริหารจัดการกุญแจ K_s สำหรับการกู้คืนกุญแจแบบหลายเอเจนต์ ที่อาศัยศูนย์กลางในการกู้คืนกุญแจ สามารถแสดงได้ดังภาพ 1



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1 ศึกษาทบทวนรูปแบบการบริหารจัดการกุญแจ และกระบวนการกู้คืนกุญแจแบบหลายเอเจนต์ ที่อาศัยศูนย์กลางการกู้คืนกุญแจ

1.2 ศึกษาประเด็นที่ต้องปรับปรุงพัฒนา เพื่อให้กระบวนการกู้คืนกุญแจลับมีความมั่นคงปลอดภัยมากขึ้น โดยเน้นการบริหารจัดการกุญแจลับ เพื่อให้กุญแจลับไม่ถูกเปิดเผยไปยังบุคคลที่สาม

2. ออกแบบและพัฒนา

2.1 ออกแบบและพัฒนากระบวนการบริหารจัดการกุญแจ Ks รูปแบบใหม่ สำหรับการกู้คืนกุญแจแบบ

หลายเอเจนต์ ที่ทำงานโดยอาศัยศูนย์กลางการกู้คืนกุญแจ (KRC) ร่วมกับเอเจนต์การกู้คืนกุญแจ (KRA) เรียกชื่อว่า E-SHAM-KRS

2.2 ออกแบบฟิลด์ในการกู้คืนกุญแจ Ks (Key Recovery Field--KRF) เพื่อให้กุญแจ Ks มีความมั่นคงปลอดภัยสูงขึ้น

3. ประเมินและสรุปผล

3.1 ประเมินกระบวนการทำงานในการบริหารจัดการกุญแจลับ ในด้านต่อไปนี้

3.1.1 เปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงานการกู้คืนกุญแจ Ks

3.1.2 ขนาดของฟิลต์ในการกู้คืนกุญแจ

3.1.3 เวลาในการสร้างฟิลต์ในการกู้คืนกุญแจ
(ทดสอบและประเมินผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป
โปรเซสเซอร์ Intel (R) Core (TM) i5-13420H, 2.10 GHz)

3.2 สรุปผลการประเมิน

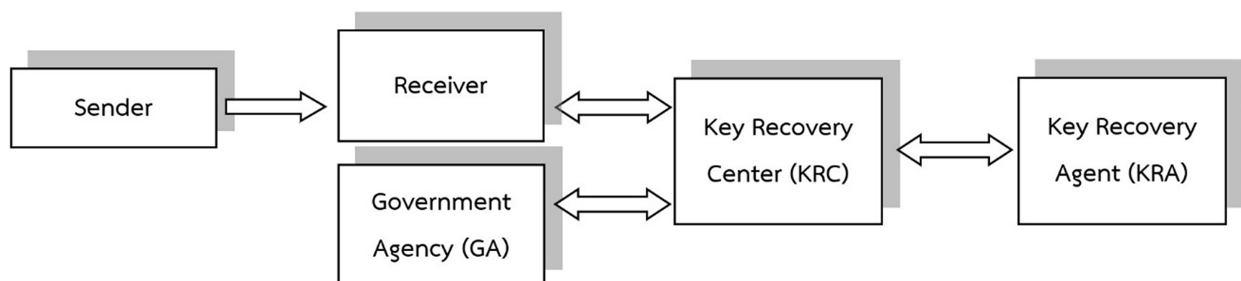
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการบริหารจัดการกุญแจลับรูปแบบใหม่ สำหรับการกู้คืนกุญแจแบบหลายเอเจนต์ (M-KRA) ที่อาศัยศูนย์กลางในการกู้คืน (KRC) เรียกชื่อย่อว่า E-SHAM-KRS โดยมีจุดเด่นในเรื่องการรักษาความลับ (secret) และความมั่นคงปลอดภัย (security) ของกุญแจ K_s ส่งผลให้ผู้ใช้งานมีความเป็นส่วนตัวสูง (privacy) มีการทำงานโดยใช้ศูนย์กลางการกู้คืนกุญแจ (Key Recovery Center--KRC) ร่วมกับเอเจนต์ในการกู้คืนกุญแจ (Key Recovery Agent--KRA) โดยแต่ละส่วนทำหน้าที่กู้คืนส่วนประกอบของกุญแจอิสระจากกัน การออกแบบยังคงคำนึงถึงเรื่องความพร้อมใช้งาน คือ สามารถทำงานได้แม้ในกรณีที่ไม่มีบางเอเจนต์ในกลุ่มการกู้คืนล้ม (โดยเมื่อมีเอเจนต์ในกลุ่มการ

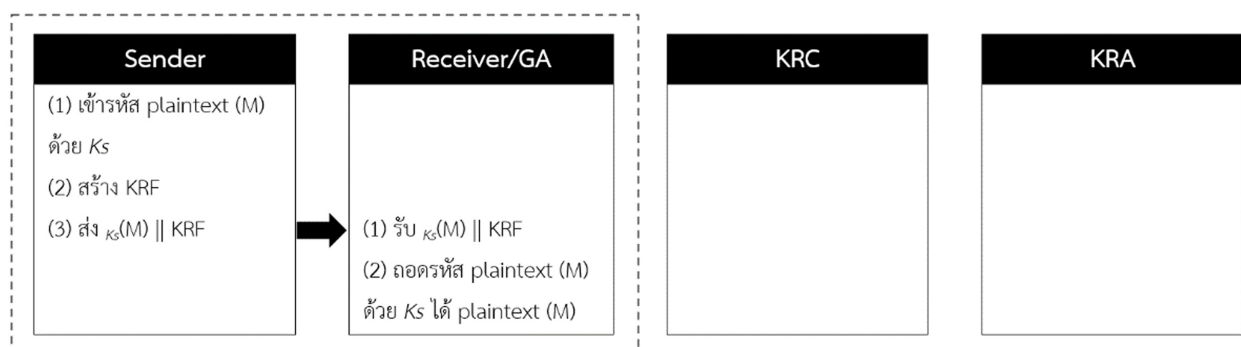
กู้คืนล้ม เอเจนต์อื่นที่อยู่ในกลุ่มการกู้คืนเดียวกันสามารถทำงานแทนกันได้) ทำให้ช่วยลดโอกาสการเกิดความล้มเหลวในการกู้คืนกุญแจ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบกระบวนการบริหารจัดการกุญแจลับ ในส่วนของการสร้าง การจัดเก็บ และการใช้งานสำหรับการกู้คืนกุญแจ K_s เพื่อให้ทำงานได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ

1. องค์ประกอบของระบบการกู้คืนกุญแจ

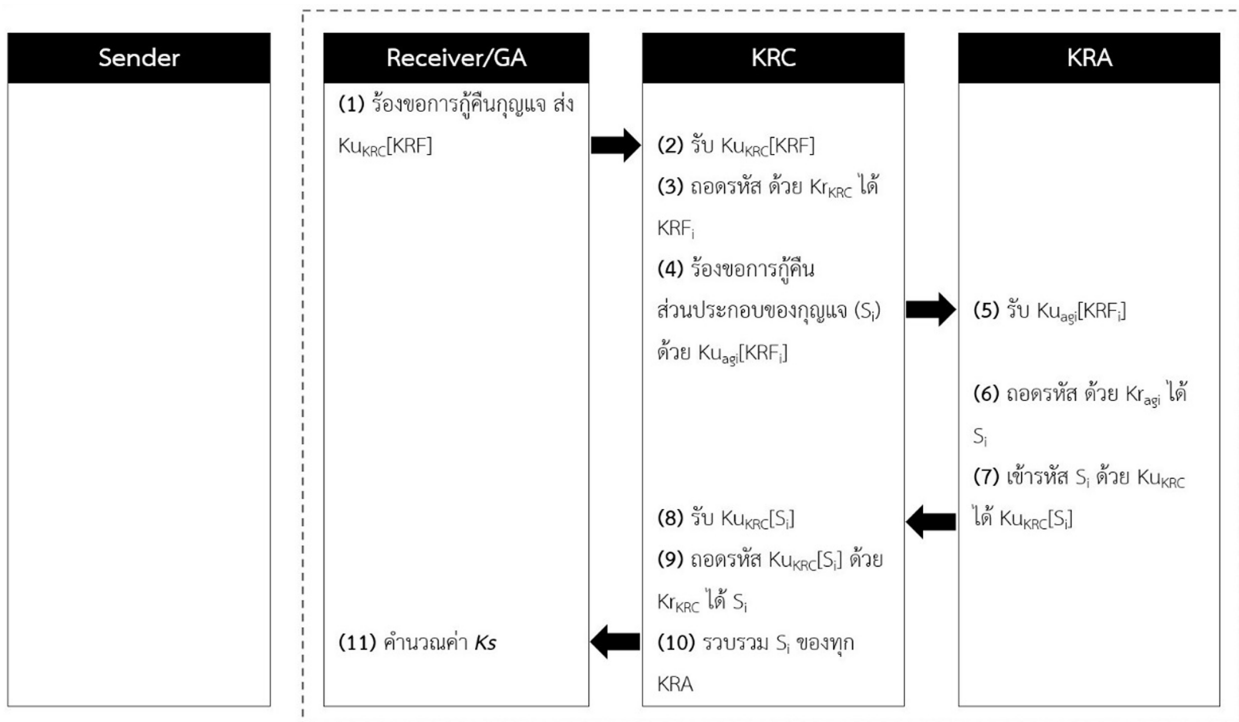
องค์ประกอบของการกู้คืนกุญแจแบบหลายเอเจนต์ที่อาศัยศูนย์กลางในการกู้คืน สามารถแสดงได้ดังภาพ 2 จากภาพ 2 ประกอบด้วยผู้ที่มีส่วนร่วม คือ (1) ผู้ส่ง (sender) (2) ผู้รับ (receiver) หรือ หน่วยงานรัฐ (Government Agency--GA) หรือ บุคคลที่สาม (third party) (3) ศูนย์กลางในการกู้คืนกุญแจ (KRC) และ (4) หน่วยงานหรือเอเจนต์ในการกู้คืนกุญแจ (KRA) ในการสื่อสารปกติจะเกิดขึ้นระหว่างผู้ส่งและผู้รับ ดังแสดงในภาพ 3 หากผู้รับไม่สามารถถอดรหัสได้ หรือหน่วยงานของรัฐต้องการถอดรหัสข้อมูล จึงต้องใช้บริการกู้คืนกุญแจ ซึ่งจะ เป็นหน้าที่ของ KRC และ KRA ดังแสดงในภาพ 4



ภาพ 2 องค์ประกอบของการกู้คืนกุญแจแบบหลายเอเจนต์ ที่อาศัยศูนย์กลางในการกู้คืน



ภาพ 3 ผู้มีส่วนร่วมในการสื่อสารในการกู้คืนกุญแจ



ภาพ 4 หน้าที่การทำงานในกระบวนการกู้คืนกุญแจ

จากภาพ 3 และภาพ 4 อธิบายกระบวนการกู้คืนกุญแจ ตามหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้องได้ ดังนี้

(1) ผู้ส่ง (sender) ทำหน้าที่สร้างฟิลด์ที่ใช้ในการกู้คืนกุญแจ (KRF) และแนบฟิลด์ KRF เข้ากับข้อความต้นฉบับ ส่งไปยังผู้รับทุกครั้งที่มีการส่งข้อความต้นฉบับ

(2) ผู้รับ (receiver) หรือหน่วยงานของรัฐ (government agency) หรือ บุคคลที่สาม (third party) ทำหน้าที่ ร้องขอการกู้คืนส่วนประกอบของกุญแจไปยัง KRC เมื่อกุญแจลับสูญหาย หรือไม่สามารถใช้ถอดรหัสข้อความต้นฉบับได้ และทำหน้าที่คำนวณข้อมูลกุญแจกลับเมื่อได้รับข้อมูลส่วนประกอบของกุญแจจาก KRC ครบถ้วน

(3) ศูนย์กลางในการกู้คืนกุญแจ (KRC) ทำหน้าที่ รวบรวมส่วนประกอบของกุญแจกลับจาก KRA เพื่อส่งให้กับผู้รับ หรือหน่วยงานของรัฐ หรือบุคคลที่สาม

(4) เอเจนต์ในการกู้คืนกุญแจ (KRA) ทำหน้าที่ กู้คืนส่วนประกอบของกุญแจกลับ เมื่อได้รับการร้องขอจาก KRC

2. กระบวนการบริหารจัดการกุญแจกลับ

การทำงานในช่วงเริ่มต้น ผู้ส่ง ร้องขอกุญแจกลับ (Ks) จากหน่วยงานให้บริการกุญแจ เช่น KDC (D'Arco, 2001) เป็นต้น เพื่อใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลต้นฉบับ (M) ที่ต้องการส่งไปให้ผู้รับ และจะทำการแชร์กุญแจ Ks กันระหว่างผู้รับกับผู้ส่ง

กระบวนการบริหารจัดการกุญแจ Ks แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ (1) การสร้างส่วนประกอบของกุญแจและฟิลด์ KRF กระทำโดยผู้ส่ง และ (2) การกู้คืนส่วนประกอบของกุญแจ Ks กระทำโดย KRC และ KRA และการคำนวณกุญแจ Ks กระทำโดยผู้รับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1) การสร้างส่วนประกอบของกุญแจ และฟิลด์ KRF แสดงในภาพ 5

❶ แบ่ง $K_s = n$ ชิ้น และคำนวณ S_R	$S_1, S_2, \dots S_n$ and S_R
❷ สุ่มค่า R	$R_1, R_2, \dots R_n$
❸ คำนวณ SGN	$SGN = R_1 \oplus R_2 \oplus \dots \oplus R_n$
❹ คำนวณ TT_i	$TT_i = S_i \oplus SGN$
❺ ประกอบ KRF	$Ku_{KRC}[KRF_i \text{'s} \parallel TT_1, TT_2, \dots TT_n \parallel Ku_R(S_R) \parallel Ku_G(S_R) \parallel h(SGN) \parallel \text{Other Information}]$

ภาพ 5 การสร้างส่วนประกอบของกุญแจ K_s และฟิลต์ KRF

ในขั้นตอนนี้ส่วนประกอบของกุญแจ K_s จะถูกห่อหุ้มอยู่ในฟิลต์ KRF และจะถูกแนบไปกับข้อมูลต้นฉบับ (M) ที่ผ่านการเข้ารหัสลับด้วยกุญแจลับ (K_s (M))) เรียบร้อยแล้วเพื่อส่งให้กับผู้รับ หากผู้รับต้องการร้องขอการกู้คืนกุญแจหรือหน่วยงานของรัฐต้องการตรวจสอบข้อมูล จะส่งคำร้องขอการกู้คืนกุญแจพร้อมกับฟิลต์ KRF ไปยัง KRC จากนั้น KRC จะส่งคำร้องขอส่วนประกอบของกุญแจไปยัง KRA เพื่อให้ทำการกู้คืน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1.1) แบ่งกุญแจลับ K_s ออกเป็น n ชิ้น เมื่อ n คือ จำนวน KRA ทั้งหมดที่ใช้ในการกู้คืนกุญแจ โดยได้ใช้แนวคิดพื้นฐานเรื่องการแชร์ความลับ (secret sharing) (Shamir, 1979)

กระบวนการแบ่งกุญแจลับ K_s สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

2.1.1.1) สุ่มค่า S_i สำหรับ n เอเจนต์ เช่น $S_1, S_2, \dots, S_n$ สำหรับ $Agent_1, Agent_2, \dots, Agent_n$ ตามลำดับ

2.1.1.2) คำนวณค่า S_R สำหรับผู้รับ $Ku_R(S_R)$ และหน่วยงานรัฐ $Ku_G(S_R)$ ด้วยการ XOR ค่า S_i และกุญแจ K_s ดังสมการที่ (1)

$$S_R = S_1 \oplus S_2 \oplus \dots \oplus S_n \oplus K_s \quad (1)$$

2.1.2) สุ่มค่า R สำหรับทุก ๆ เอเจนต์ (R_i 's) เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความลับของกลุ่มการกู้คืนกุญแจ (SGN) สำหรับการยืนยันตัวตนของ KRA

2.1.3) คำนวณหาค่าความลับ SGN ด้วยการ XOR ตัวแปร R_i ทั้งหมด ดังสมการที่ (2)

$$SGN = R_1 \oplus R_2 \oplus \dots \oplus R_n \quad (2)$$

2.1.4) คำนวณหาค่าตัวแปรพิเศษ (TT) สำหรับทุก ๆ เอเจนต์ (TT_i 's) เพื่อใช้ในการกู้คืน S_i ในกรณีที่ มีบาง KRA ในกลุ่มการกู้คืนล้ม โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$TT_i = S_i \oplus SGN \quad (3)$$

2.1.5) การประกอบฟิลต์ KRF

ฟิลต์ KRF ประกอบด้วยส่วนประกอบของกุญแจที่ถูกบรรจุอยู่ในฟิลต์ KRF ย่อย ๆ (KRF_i 's) ของเอเจนต์ในกลุ่มการกู้คืนกุญแจ (KRA_i) ซึ่งประกอบไปด้วย S_i, S_R, SGN, TT_i และ Other Information แต่ละส่วนประกอบมีความสำคัญ ดังนี้

S_i และ S_R คือ ส่วนประกอบของกุญแจ K_s

SGN เป็นค่าสำหรับการยืนยันตัวตนของ KRA ที่อยู่ในกลุ่มการกู้คืน

TT_i เป็นค่าสำหรับการกู้คืน S_i ในกรณี KRA ที่อยู่ในกลุ่มการกู้คืนล้ม

Other Information เก็บค่าอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับการพิสูจน์ตัวตนหรือการตรวจสอบเพื่อเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบ เช่น ใบรับรองกุญแจสาธารณะของเอเจนต์ และของผู้ที่มีสิทธิ์ในการร้องขอการกู้คืนกุญแจ เป็นต้น

โครงสร้างฟิลด์ KRF แสดงดังรูปแบบ (4) ประกอบด้วยฟิลด์ KRF_i จำนวน n ชั้น ดังรูปแบบที่ (5) นี้

$$KRF_i = \{Ku_{agi} [S_i \parallel SGN] \} \quad (4)$$

$$KRF = Ku_{KRC} [KRF_i 's \parallel TT_1.TT_2.TT_n \parallel Ku_R(S_R) \parallel Ku_G(S_R) \parallel h(SGN) \parallel Other Information] \quad (5)$$

ฟิลด์ KRF ประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้ (1) S_i และ S_R คือ ส่วนประกอบของกุญแจ K_s (2) SGN คือ ตัวแปรสำหรับการระบุตัวตนของ KRA ในกลุ่มการกู้คืน (3) TT_i คือ ตัวแปรสำหรับการกู้คืนส่วนประกอบของกุญแจ K_s ในกรณี KRA ที่อยู่ในกลุ่มการกู้คืนล้ม และ (4) Other Information คือ ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการระบุตัวตนของผู้ที่มีส่วนร่วมในระบบ

ฟิลด์ KRF จะถูกเข้ารหัสด้วยกุญแจสาธารณะของ KRC (Ku_{KRC}) และ KRF_i จะถูกเข้ารหัสด้วยกุญแจสาธารณะของ KRA (Ku_{agi}) ดังนั้น KRC และ KRA_i เท่านั้นที่สามารถถอดรหัส KRF และ KRF_i ได้ตามลำดับ

โดย KRC จะถอดรหัส KRF และส่ง KRF_i ไปยังเอเจนต์ในกลุ่มการกู้คืน เพื่อร้องขอส่วนประกอบของกุญแจ จากนั้นจะทำการรวบรวมส่วนประกอบของกุญแจเพื่อส่งให้กับผู้รับหรือหน่วยงานรัฐ ในการคำนวณหากุญแจกลับ K_s ต่อไป

2.2) การกู้คืนส่วนประกอบของกุญแจ K_s และการคำนวณกุญแจ K_s

เมื่อผู้รับได้รับ K_s (M) และฟิลด์ KRF จะทำการถอดรหัสข้อมูลด้วยกุญแจ K_s ที่มีการแชร์กันในตอนต้นของการสื่อสาร

หากกุญแจ K_s ของผู้รับสูญหายหรือไม่สามารถใช้ในการถอดรหัสข้อมูลได้ ผู้รับจะทำการร้องขอการกู้คืนกุญแจ K_s ไปยัง KRC หรือหากหน่วยงานรัฐต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ต้องสงสัย จะมีการร้องขอการกู้คืนกุญแจไปยัง KRC เช่นเดียวกัน ภาพรวมของการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ร้องขอการกู้คืนกุญแจ K_s กับ KRC สามารถแสดงได้ดังภาพ 6

ขั้นตอนการกู้คืนกุญแจ K_s สามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ ได้ 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.2.1 การกู้คืนส่วนประกอบของกุญแจ K_s (S_i 's)

ในขั้นตอนนี้เป็นหน้าที่ของ KRC และ KRA กล่าวคือ เมื่อ KRC ได้รับการร้องขอการกู้คืนกุญแจจากผู้ร้องขอ ซึ่งก็คือผู้รับหรือหน่วยงานของรัฐ KRC จะส่ง KRF_i ไปยัง KRA_i เพื่อให้กู้คืนส่วนประกอบของกุญแจ K_s (S_i 's) โดยสามารถแบ่งกระบวนการนี้ ออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.2.1.1 ส่วนการร้องขอการกู้คืนกุญแจ (Requester)

ในกรณีที่กุญแจ K_s สูญหายหรือเสียหาย ไม่สามารถถอดรหัสได้ มีกระบวนการ ดังนี้

(1) ผู้ร้องขอการกู้คืนกุญแจ ส่ง KRF ให้กับ KRC

(2) KRC ถอดรหัส KRF ด้วยกุญแจส่วนตัว (Kr_{KRC}) และส่งฟิลด์ KRF_i ให้กับ $Agent_i$ เมื่อ $i = 1$ ถึง n

2.2.1.2 ส่วนการกู้คืนส่วนประกอบของกุญแจ

โดย KRA มีกระบวนการ ดังนี้

(1) $Agent_i$ ถอดรหัสฟิลด์ KRF_i ด้วยกุญแจส่วนตัว (Kr_{agi}) จะได้ S_i และ SGN

(2) $Agent_i$ เข้ารหัส S_i และ SGN ด้วย Ku_{KRC}

(3) $Agent_i$ ส่ง $Ku_{KRC}[S_i \parallel SGN]$ ให้กับ KRC เพื่อให้ KRC รวบรวม

(4) KRC ถอดรหัส $Ku_{KRC}[S_i \parallel SGN]$ ด้วย Kr_{KRC} จะได้ S_i และ SGN

(5) KRC ตรวจสอบความถูกต้องของ Agent_i โดยการเปรียบเทียบ SGN ผ่านค่าแฮช h (SGN) หากถูกต้อง จะทำการรวบรวม S_i ของทุกเอเจนต์ในกลุ่มการกู้คืน และส่งต่อไปให้ผู้ร้องขอการกู้คืน ๑ (ผู้รับหรือหน่วยงานรัฐ) ที่ทำการร้องขอส่วนประกอบของกุญแจ เพื่อนำไปคำนวณหากุญแจ K_s ต่อไป

2.2.2 การกู้คืนกุญแจ K_s

ส่วนนี้เป็นหน้าที่ของผู้ร้องขอการกู้คืน ๑ ในการคำนวณเพื่อกู้คืนกุญแจ K_s ซึ่งวิธีดังกล่าว เป็นการช่วยลดภาระของ KRC และ KRA และทำให้กุญแจ K_s มีความมั่นคง เป็นความลับ ผู้ใช้มีความเป็นส่วนตัวสูง กล่าวคือกุญแจ K_s จะรู้เฉพาะผู้รับและผู้ส่ง หรือคู่สนทนาเท่านั้น แต่ยังคงให้การสนับสนุนการตรวจสอบข้อมูลโดยขอด้วยกฎหมาย

การคำนวณการกู้คืนกุญแจ K_s มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- (1) ผู้ร้องขอถอดรหัส $[S_i || Ku_R(S_R)]$ หรือ $[Ku_G(S_R) || SGN]$ ด้วยกุญแจส่วนตัว จะได้ S_i และ SGN
- (2) ผู้ร้องขอตรวจสอบความถูกต้องของ Agent_i

โดยการเปรียบเทียบ SGN ผ่านค่าแฮช h (SGN) และรวบรวม S_i

(3) ถอดรหัส (S_R) ด้วยกุญแจส่วนตัว ได้ S_R

(4) คำนวณกุญแจ K_s ได้ดังสมการที่ (6) และนำกุญแจ K_s ไปใช้ในการถอดรหัสต่อไป

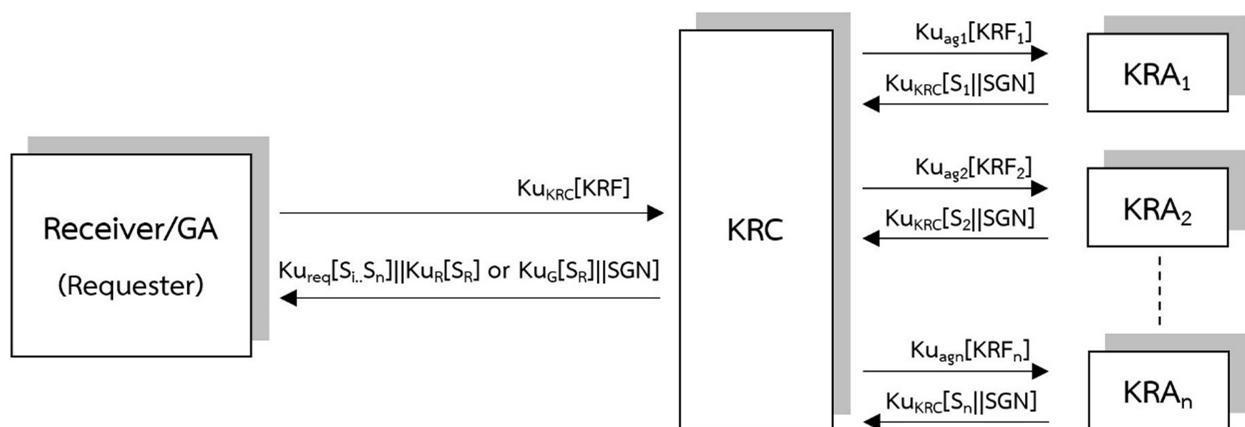
$$K_s = S_1 \oplus S_2 \oplus \dots \oplus S_n \oplus S_R \quad (6)$$

2.2.3 กรณีที่เอเจนต์ในกลุ่มการกู้คืนล้ม

ส่งผลให้ KRC รวบรวม S_i ได้ไม่ครบ ดังนั้น KRC จะทำการคำนวณค่า S_i จากตัวแปร TT_i ของ Agent_i (ที่ล้ม) โดยที่ S_i สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (7)

$$S_i = TT_i \oplus SGN \quad (7)$$

เมื่อ KRC รวบรวม S_i ครบทุกเอเจนต์ จะส่งไปให้ผู้รับหรือหน่วยงานรัฐ ที่ทำการร้องขอส่วนประกอบของกุญแจ เพื่อนำไปคำนวณหากุญแจ K_s ต่อไป



ภาพ 6 การกู้คืนส่วนประกอบของกุญแจลับ K_s

ผลการประเมินประสิทธิภาพ

การวิจัยได้ทดลองทำการประเมินประสิทธิภาพกระบวนการกู้คืนกัญญาแ K_s ระหว่างวิธีการของรูปแบบเดิม คือ SHAM-KRS และรูปแบบใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้น คือ E-SHAM-KRS ในประเด็นที่สำคัญ 3 ส่วน ประกอบด้วย (1) ฟังก์ชันการทำงานในการบริหารจัดการกัญญาแและการกู้คืนกัญญาแ K_s (2) ขนาดของฟิลต์ในการกู้คืนกัญญาแ และ (3) เวลาในการสร้างฟิลต์ในการกู้คืนกัญญาแ โดยจะได้แสดงรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. ฟังก์ชันความสามารถในการกู้คืนกัญญาแ K_s

ในขั้นตอนนี้จะได้ทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงานในการบริหารจัดการกัญญาแ และการกู้คืนกัญญาแ K_s ตามส่วนงานที่สำคัญ 6 ประเด็น ดังแสดงในตาราง 1

จากตาราง 1 ความสามารถในการบริหารจัดการกัญญาแ และการกู้คืนกัญญาแ K_s ในประเด็นที่ 1-5 ทั้ง 2 รูปแบบมีความสามารถเหมือนกัน ส่วนประเด็นที่ 6 คือ การประเมินโอกาสของการเกิดการรั่วไหลของกัญญาแ K_s ไปยัง KRC และ KRA หรือการสมรู้ร่วมคิดกันระหว่างบุคคลที่สามนั้น พบว่า E-SHAM-KRS มีรูปแบบวิธีการบริหารจัดการกัญญาแลับที่ดีกว่า คือ ในกระบวนการคำนวณกัญญาแลับ K_s จะเป็นหน้าที่ของ ผู้รับ หรือบุคคลที่สามที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยชอบด้วยกฎหมาย ทำให้สามารถจัดการปัญหาการรั่วไหลของรหัสกัญญาแ K_s ได้ ในขณะที่ SHAM-KRS ยังมีจุดอ่อนในประเด็นนี้ เนื่องจากผู้ที่กู้คืนกัญญาแลับ K_s จะกระทำโดย KRC

ดังนั้นจึงทำให้ E-SHAM-KRS มีความสามารถในการรักษาความลับของกัญญาแ K_s กระบวนการกู้คืนกัญญาแมีความน่าเชื่อถือ และทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในด้านความมั่นคงปลอดภัย ข้อมูลจึงเป็นความลับ และผู้ใช้งานมีความเป็นส่วนตัว

2. ขนาดของฟิลต์ในการกู้คืนกัญญาแ

การประเมินขนาดของฟิลต์ในการกู้คืนกัญญาแ (KRF) ได้กำหนดให้ใช้เอเจนต์ จำนวน 2 4 6 8 และ 10 เอเจนต์ ผลการประเมิน เปรียบเทียบระหว่าง SHAM-KRS และ E-SHAM-KRS แสดงดังตาราง 2

จากตาราง 2 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อใช้จำนวน KRA ในการกู้คืนกัญญาแเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดของ KRF เพิ่มขึ้นตามลำดับ หากพิจารณาการเปรียบเทียบของทั้ง 2 รูปแบบจะสังเกตเห็นว่า KRF ของ E-SHAM-KRS มีขนาดมากกว่า SHAM-KRS เล็กน้อย อย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการในการบริหารจัดการกัญญาแของ E-SHAM-KRS ที่ให้ความสำคัญในการจัดการกัญญาแ K_s ให้เป็นความลับสูงสุด โดยการเพิ่มค่าตัวแปร S_R เพื่อใช้ในการกู้คืนกัญญาแ K_s จึงส่งผลให้ขนาดของ KRF เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

3. เวลาในการสร้างฟิลต์ในการกู้คืนกัญญาแ

การประเมินเวลาที่ใช้ในการสร้าง KRF ได้กำหนดให้ใช้เอเจนต์ จำนวน 2 4 6 8 และ 10 เอเจนต์ ผลการประเมิน เปรียบเทียบระหว่าง SHAM-KRS และ E-SHAM-KRS ดังแสดงในภาพ 7

จากภาพ 7 แสดงผลการวัดประเมินเวลาที่ใช้ในการสร้าง KRF (หน่วยเป็นวินาที) พบว่า E-SHAM-KRS ใช้เวลาในการสร้าง มากกว่า SHAM-KRS เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มตัวแปร S_R ในการกู้คืนกัญญาแ เพื่อให้การบริหารจัดการกัญญาแมีความมั่นคงปลอดภัยมากขึ้น

ตาราง 1

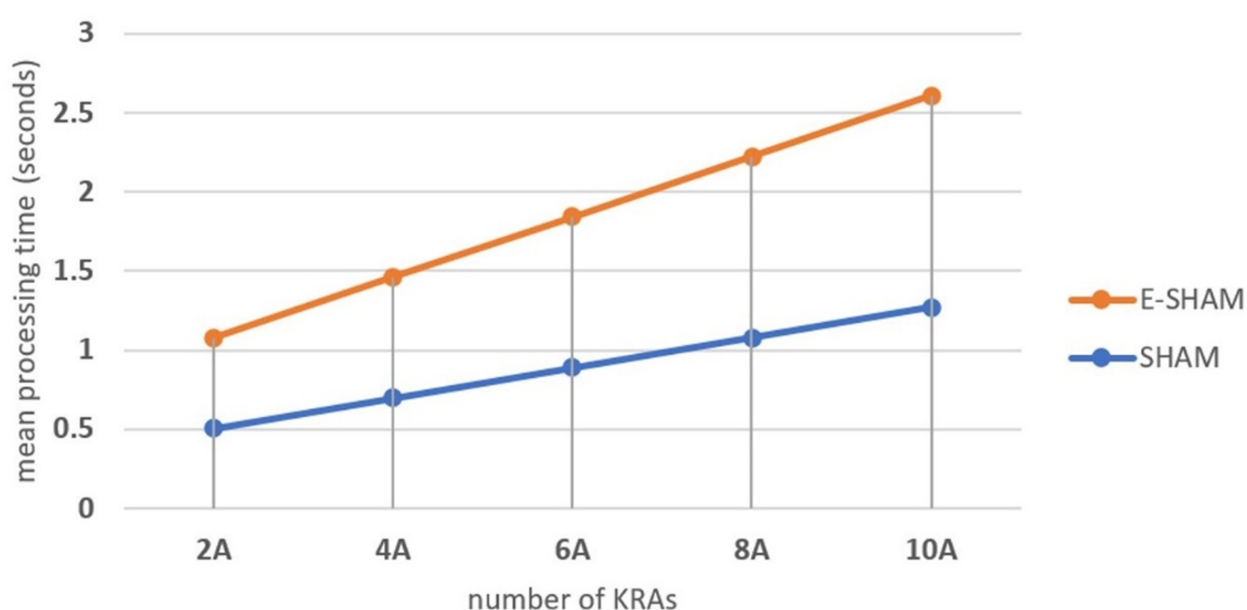
แสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงานในการบริหารจัดการกุญแจและการกู้คืนกุญแจ Ks

ความสามารถ	SHAM-KRS (รูปแบบเดิม)	E-SHAM-KRS (รูปแบบใหม่)
1) กุญแจเป็นความลับ Ks	✓	✓
2) กู้คืนกุญแจได้ เมื่อมีเอเจนต์ในกลุ่มการกู้คืนลุ่ม	✓	✓
3) มีฟังก์ชันการพิสูจน์ตัวตนของเอเจนต์	✓	✓
4) กู้คืนกุญแจโดยอาศัย KRC และ KRA ทำงานร่วมกัน	✓	✓
5) ทำงานบนพื้นฐาน PKI	✓	✓
6) ไม่มีโอกาสเกิดการรั่วไหลของกุญแจ Ks ไปยัง KRC และ KRA (บุคคลที่สาม)	-	✓

ตาราง 2

การเปรียบเทียบขนาดของไฟล์ในการกู้คืนกุญแจ (key recovery filed) (บิต)

จำนวน KRA	ขนาดของไฟล์ในการกู้คืนกุญแจ (บิต)	
	SHAM-KRS	E-SHAM-KRS
	(รูปแบบเดิม)	(รูปแบบใหม่)
2	2050	2306
4	2820	3076
6	3590	3846
8	4360	4616
10	5130	5386



ภาพ 7 การวัดประเมินเวลาที่ใช้ในการสร้าง KRF

การอภิปรายผล

จากการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการกู้คืนกุญแจ K_s ระหว่างวิธีการของรูปแบบเดิม คือ SHAM-KRS และรูปแบบใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้น คือ E-SHAM-KRS ใน 3 ประเด็นที่สำคัญ พบว่า (1) การบริหารจัดการการกุญแจ E-SHAM-KRS สามารถแก้ไขจุดอ่อนด้านการรั่วไหลของรหัสกุญแจ K_s ได้ กล่าวคือ มีวิธีการบริหารจัดการการกุญแจ K_s ให้รู้เฉพาะผู้รับ-ผู้ส่ง และสนับสนุนการกู้คืนกุญแจในกรณีบุคคลที่สามต้องการเข้าถึงข้อมูลโดยชอบด้วยกฎหมาย ทำให้

กระบวนการกู้คืนกุญแจมีความน่าเชื่อถือ และทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในด้านความมั่นคงปลอดภัย (2) ขนาดของ KRF ที่ห่อหุ้มความลับของกุญแจลับ K_s : E-SHAM-KRS มีขนาดใหญ่กว่า SHAM-KRS เพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากมีการเพิ่มค่าตัวแปรด้านความปลอดภัย และ (3) เวลาที่ใช้ในกระบวนการสร้าง KRF: SHAM-KRS ใช้เวลามากกว่า SHAM-KRS เพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากต้องใช้เวลาในกระบวนการสร้างตัวแปรสำหรับจัดการการกุญแจ K_s ให้เป็นความลับ



References

- Chang, W., & Tsay, R. (2023). A secure and reliable private key recovery method. *Proceedings of International Conference on Consumer Electronics* (pp. 535-536). Taiwan: Pingtung.
- D'Arco, P. (2001). On the distribution of a key distribution center. *Proceedings of Theoretical Computer Science* (pp. 357-369). Italy: Torino.
- Denning, D., & Branstad, D. (1997). A taxonomy for key recovery encryption systems. *Communications of the ACM*, 39(3), 34-40. <https://doi.org/10.1145/227234.227239>
- Huadpaknam, P., Pirak, C., & Mathar, R. (2014). A novel security key recovery framework for smart grid applications. *Proceedings of Asia-Pacific Conference on Communication* (pp. 387-390). Pattaya: IEEE (in Thai)
- Hughes, L.E. (2022). Basic cryptography: Symmetric Key Encryption. In L. E. Hughes (Ed.) *Pro Active Directory certificate sServices* (pp. 3-17). Berkeley, CA: Apress.
- Kanyamee, K., & Sathitwiriawong, C. (2010). A simple high-availability multiple-agent key recovery system. *Proceedings of International Conference for Internet Technology and Secured Transactions* (pp.734-739). London: IEEE
- Kanyamee, K., & Sathitwiriawong, C. (2010). High-availability decentralized multi-agent key recovery system. *Proceedings of International Conference on Computer and Information Science* (pp. 290-294). Shanghai: IEEE
- Kanyamee, K., & Sathitwiriawong, C. (2014). High-availability decentralized cryptographic multi-agent key recovery. *International Arab Journal of Information Technology (IAJIT)*, 11(1), 52-55. <https://www.iajit.org/portal/PDF/vol.11,no.1/4749.pdf>
- Kim, T., Kim, W., Seo, D., & Lee, I. Y. (2021). A secure encapsulation schemes based on Key Recovery System. In Y. Park, D. Jadav and T. Austin (Eds.), *Proceedings of Silicon Valley Cybersecurity Conference* (pp. 25-37). Cham: Springer International Publishing.

- Kim, T., Kim, W., Seo, D., & Lee, I. Y. (2021). Secure encapsulation schemes using key recovery system in IoMT environments. *Sensors Journal*, 21(10), 1-23. <https://doi.org/10.3390/s21103474>
- Kuacharoen, P. (2014). Generating data recovery keys using Chinese Remainder Theorem. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 20(10), 2157-2161. <https://doi.org/10.1166/asl.2014.5650>
- Lee, Y. C., & Lai, C. S. (1997). On the key recovery of the key escrow system. *Proceedings of 13th Annual Computer Security Applications Conference* (pp. 216–20). San Diego: IEEE.
- Lim, S., Hani, H., Kim, M., & Kim, T. (2001). In design of key recovery system using multiple agent technology for electronic commerce. *Proceedings of the Industrial Electronics* (pp. 1351-1356). Korea South: IEEE.
- Lim, S., Kang, S., & Sohn, J. (2003). Modeling of multiple agent based cryptographic key recovery protocol. *Proceedings of 19th Annual Computer Security Applications Conference* (pp. 19–28). USA: IEEE
- Shamir, A. (1979). How to share a secret. *Info & Claims Communications of the ACM*, 22(11), 612-623. <http://dx.doi.org/10.1145/359168.359176>
- Slagell, A., Bonilla, R., & Yurcik, W. (2006). A survey of PKI components and scalability issues. *Proceedings of the 25th IEEE International Performance Computing and Communications Conference, IPCCC 2006, April 10-12, 2006* (p. 10). Arizona: IEEE
- Smart, N. (2016). *Cryptography made simple (Information Security and Cryptography)*. Berlin: Springer.



การพัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด
Developing an Innovative Genital Model for Practicing Cleaning Skill

ดนัย คุสุรักษ์¹ บรรณทวารณ หิรัญเคราะห์^{1*} สุพัตรา ไตรอุดมศรี¹ และศิรเมศร์ โภโค²

Danai Dussaruk¹, Buntawan Hirunkhro^{1*}, Supattra Triudomsri¹ and Siramet Poko²

¹วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนี จักรีรัช คณะพยาบาลศาสตร์ สถาบันพระบรมราชชนก

¹Boromarajonani College of Nursing, Chakriraj, Faculty of Nursing, Praboromarajchanok Institute

²คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยคริสเตียน

²College of Nursing, Christian University

*Corresponding author: Buntawan@ckr.ac.th

Received: February 29, 2024

Revised: May 1, 2024

Accepted: May 8, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด (2) ศึกษาประสิทธิภาพหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด (3) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลต่อการใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาพยาบาลหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาการพยาบาลขั้นพื้นฐานปีการศึกษา 2566 จำนวน 114 คน เครื่องมือที่ใช้คือ แบบประเมินประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด และแบบประเมินความพึงพอใจ ผ่านการตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ได้ค่าดัชนีความตรงเท่ากับ 0.90 และ 0.88 และหาความเชื่อมั่นของแบบประเมินโดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นด้วยสูตร Cronbach's alpha coefficient ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.92 และ 0.85 ผลการวิจัยพบว่า (1) ได้นวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่ทำจากซิลิโคน ที่สามารถใช้อธิบายโครงสร้างและลักษณะทางกายวิภาคของอวัยวะเพศชายและหญิง (2) ประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยรวมค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย=4.50 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=.78) และ (3) ระดับความพึงพอใจโดยรวมค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย= 4.38 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน=.56) สรุปคือ นวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเหมาะสมสำหรับนักศึกษาพยาบาลในการฝึกทักษะการทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง จึงเป็นสื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพตอบสนองต่อการเรียนการสอน คัมค่าคุ้มทุน ประหยัด ใช้ได้จริง ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

คำสำคัญ: หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด การทำความสะอาดอวัยวะเพศ การพัฒนาหุ่นฝึกทักษะทางการพยาบาล

Abstract

This study employed a research-and-development (R&D) approach. The purposes of this research were 1) to develop an innovative genital model for practice cleaning, 2) to evaluate the effectiveness of this model in facilitating the development of cleaning skills, and 3) to assess the level of satisfaction among second-year nursing students regarding the use of the genital model for practicing cleaning procedures. The sample group was 114 second-year nursing students who were studying basic nursing subjects in the academic year 2023. collecting data by using the efficiency evaluation form for genital models for cleaning training and the satisfaction assessment form that passed the content validity check from 3 experts. The consistency index values were obtained as 0.90 and 0.88, and the reliability of the assessment form using the formula Cronbach's alpha coefficient had reliability values of 0.92 and 0.85. The research demonstrated that the innovative silicone genital model for cleaning training is effective for several reasons. Firstly, it allows for the visualization and description of male and female anatomy. Secondly, the model's overall efficiency for practicing cleaning skills was high (mean=4.50 standard deviation=.78). Thirdly, user satisfaction was very high (mean=4.38 standard deviation=.56). These findings suggest that the training manikin is well-suited for teaching nursing students proper cleaning techniques for genital organs. Additionally, the model offers the benefits of versatility (usable with various media), cost-effectiveness, and ease of use. Finally, its use can potentially reduce reliance on imported genital silicone models.

Keyword: genital model for practice cleaning, cleaning the genitals, development of nursing skill training models



บทนำ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ส่งผลกระทบอย่างมากต่อการดำเนินงานในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งส่งผลกระทบต่อระบบการศึกษาตั้งแต่การปิด-เปิดภาคการศึกษา รูปแบบการจัดการเรียนการสอนซึ่งจากเดิมมีการเรียนการสอนภายในชั้นเรียน ปรับมาใช้ในการสอนผ่านระบบออนไลน์ ทั้งผู้สอนและผู้เรียนต้องปรับตัวกับระบบการศึกษารูปแบบใหม่ที่ใช้สื่อเทคโนโลยีและนวัตกรรมการเรียนการสอนมากขึ้น มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง (self directed learning) การเรียนการสอนมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ผู้สอนและผู้เรียนไม่ต้องยึดติดกับสถานที่เรียน สามารถจัดการเวลาในการเรียนการสอน ซึ่งรูปแบบการเรียนรู้ด้วยตนเองช่วยส่งเสริมความมีวินัย ความรับผิดชอบ ความกระตือรือร้นและความสนใจ โดยมีผู้สอนช่วย

เสริมทักษะการค้นคว้า การวิเคราะห์ และการสร้างความเข้าใจ ช่วยให้ผู้เรียนเชื่อมั่นว่าตนเอง มีการเปิดใจรับโอกาสที่จะเรียน เกิดความรับผิดชอบต่อการเรียน นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ มีความรักที่จะเรียน ช่วยใ้หมองอนาคตในแง่ดี มีความสามารถในการใช้ทักษะเพื่อศึกษาหาความรู้และทักษะการแก้ปัญหา และเกิดความคิดริเริ่มและมีอิสระในการเรียน (Matchima, Vonglao, Sutthison & Tepchim, 2020)

วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี จักรีรัช เป็นสถาบันการศึกษาพยาบาลสังกัดสถาบันพระบรมราชชนก กระทรวงสาธารณสุข มีพันธกิจหลักในการผลิตพยาบาลวิชาชีพ ซึ่งวิชาชีพพยาบาลเป็นวิชาชีพที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับชีวิตของมนุษย์ มีการบูรณาการศาสตร์ทางการพยาบาล (professional meaning) ศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง และ

การเรียนรู้เกี่ยวกับผู้ใช้บริการ (client meaning) ในเชิงสังคมวิทยา มานุษยวิทยา มีกระบวนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างผู้เรียน ผู้สอน และผู้ใช้บริการ บนพื้นฐานของความเอื้ออาทร ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้จากสภาพจริง (Praboromrajchanok Institute, 2012) รูปแบบการจัดการศึกษาทางการพยาบาลประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การเรียนการสอนภาคทฤษฎี และการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ โดยการเรียนรู้ภาคทฤษฎีเป็นการสร้างความรู้ด้านวิชาการในสิ่งที่นักศึกษาพยาบาลทุกคนต้องมีความรู้ ความเข้าใจ เพื่อเชื่อมโยงไปสู่การฝึกภาคปฏิบัติได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ ที่สำคัญหลังจากการเรียนรู้ภาคทฤษฎีต้องมีการฝึกภาคทดลองก่อนการขึ้นฝึกภาคปฏิบัติจริง เพื่อลดความผิดพลาดในการปฏิบัติการพยาบาลบนหอผู้ป่วย ที่จะส่งผลกระทบต่อตัวผู้ป่วย และนักศึกษา ในส่วนของนักศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น คือ มีความกดดันในตนเองจากการเตรียมความรู้ไม่เพียงพอ ไม่สามารถนำความรู้จากทฤษฎีมาปรับใช้ในภาคปฏิบัติได้ ถ้าความเครียดของนักศึกษาไม่ได้รับการแก้ไขอาจส่งผลให้เกิดความเครียดในระดับรุนแรง เกิดอาการทั้งด้านร่างกายและจิตใจ และส่งผลต่อความสามารถในการเรียนรู้ การตัดสินใจ การแก้ปัญหาขณะฝึกประสบการณ์ของนักศึกษาพยาบาลได้ (Sunthonmalai, 2019) ดังนั้นเพื่อลดความผิดพลาด และปัญหาดังกล่าว ผู้สอน อุปกรณ์และสื่อประกอบการเรียนการสอนขณะฝึกภาคทดลองจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะการปฏิบัติการพยาบาลมีหลายปัจจัย ได้แก่ ความชำนาญในการปฏิบัติการพยาบาลของอาจารย์ ความพร้อมในห้องปฏิบัติการพยาบาล การจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ (Intharakamhaeng Na Ratchasima & Rueangrit, 2016)

การจัดการเรียนการสอนภาคทดลองในห้องปฏิบัติการทางการพยาบาล นักศึกษาสามารถฝึกทำหัตถการต่าง ๆ กับหุ่นฝึกทักษะเช่น การฉีดยา การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ การทำแผล การใส่สายให้อาหารผ่านทางจมูก การช่วยฟื้นคืนชีพ เนื่องจากหุ่นฝึกทักษะเป็นหุ่นจำลองทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพที่เป็นสื่อสามมิติประเภทหนึ่งซึ่งนิยมใช้ในการเรียนการสอนเกี่ยวกับสุขภาพเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้เข้าใจได้ง่าย ผู้สอนสามารถนำมาใช้ประกอบในกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบได้อย่างหลากหลาย และ

ผู้สอนสามารถสอนได้ตรงตามจุดมุ่งหมายการเรียนการสอน (Suprasert, Liamsiricharoen & Kunchanak, 2015) นอกจากนี้เอดการ์ เดล Dale (1969) กล่าวว่า “มนุษย์จะเรียนรู้ได้ดีขึ้น หากการเรียนรู้เกิดจากประสบการณ์รูปธรรม และการเรียนรู้จะน้อยลงหากการเรียนรู้เกิดจากประสบการณ์นามธรรม” ในบางครั้งประสบการณ์ตรงไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้หรือเป็นอันตรายเกินกว่าที่จะเรียนรู้ จึงต้องจำลองหรือเลียนแบบให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงที่สุด เช่น สถานการณ์จำลองต่าง ๆ หุ่นจำลอง เป็นต้น แต่จากผลการประเมินการจัดการเรียนการสอนในปีการศึกษาที่ผ่านมาโดยงานวัดและประเมินผล พบว่า นักศึกษาได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดอุปกรณ์การเรียนการสอนให้เหมาะสม และเพียงพอมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะหุ่นฝึกทักษะการปฏิบัติการพยาบาล เพื่อลดอัตราส่วนของการใช้งานหุ่นฝึกทักษะต่อจำนวนนักศึกษา แต่การจัดซื้อหุ่นฝึกทักษะทางการพยาบาลจากต่างประเทศมีขั้นตอนยุ่งยาก อีกทั้งมีราคาค่อนข้างสูง หากวิทยาลัยพยาบาลมีการผลิตหุ่นฝึกทักษะขึ้นใช้เอง ด้วยวัตถุดิบที่มีภายในประเทศ ช่วยประหยัดงบประมาณในการสั่งซื้อของวิทยาลัยลงได้

ทักษะการทำความสะอาดอวัยวะเพศเป็นทักษะหนึ่งที่ต้องใช้ความชำนาญจากการฝึกซ้ำ เนื่องจากอวัยวะเพศเป็นอวัยวะที่อยู่ในที่ลับและอัปซัน ดังนั้น อวัยวะเพศจึงอาจเกิดความสกปรกและติดเชื้อต่าง ๆ ได้ง่าย การรักษาอวัยวะเพศและระบบสืบพันธุ์ให้อยู่ในสภาพปกติ ปราศจากโรค (Kanchanawasi, 2014) การทำความสะอาดอวัยวะเพศจึงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากบริเวณอวัยวะเพศภายนอกมีความบอบบางและไวต่อการสัมผัส พยาบาลต้องหมั่นสอบถาม ตรวจดู สังเกต กระตุ้น และหรือทำความสะอาดบริเวณอวัยวะเพศภายนอกให้ผู้ป่วยอย่างเหมาะสมในแต่ละราย ขณะเดียวกันพยาบาลต้องไวต่อคำบอกเล่าหรือคำบ่นของผู้ป่วยเกี่ยวกับการมีอาการผิดปกติต่าง ๆ เช่น คัน ปวดแสบปวดร้อน บริเวณอวัยวะเพศ น้ำคั่งหลังที่เปื้อน ผ้าปูที่นอนหรืออาการแสดงอื่น ๆ เพื่อให้การพยาบาลและตอบสนองความต้องการของผู้ป่วยได้อย่างครอบคลุม (Senadisai & Prapaipanich, 2021) การทำความสะอาดอวัยวะเพศด้วยวิธีที่ใช้น้ำหรือน้ำยาฆ่าเชื้อ เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการดูแลด้านความสะอาด ความสุขสบาย กำจัดกลิ่นและสารคัดหลั่ง ลดจำนวนแบคทีเรีย ช่วยป้องกันการติด

เชื้อ ส่งเสริมการหายของแผลบริเวณอวัยวะเพศกำจัดและลดการสะสมของเชื้อโรคอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญดังกล่าว จึงจัดทำโครงการวิจัยเรื่องพัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด โดยการประดิษฐ์นวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดเพื่อให้นักศึกษาสามารถใช้ฝึกทักษะการทำความสะอาดอวัยวะเพศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลต่อการใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัยผู้วิจัยได้ใช้กระบวนการวิจัยและพัฒนาในการผลิตนวัตกรรม (Wongkhan, 2018) โดยประกอบ 6 ขั้นตอนได้แก่ (1) ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี (2) สร้างต้นแบบ (3) ตรวจสอบประสิทธิภาพในกลุ่มเล็ก (4) ปรับปรุงต้นฉบับ (5) ทดลองใช้ในกลุ่มใหญ่ (6) ได้ต้นแบบนวัตกรรมที่มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีการวิจัยและพัฒนา (Research and Development--R & D) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด ผู้วิจัยแบ่งการดำเนินการวิจัยเป็น 6 ระยะ คือ

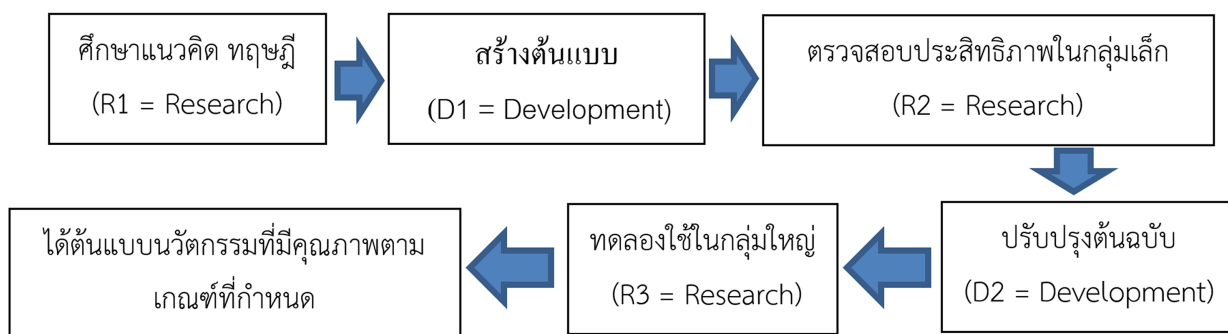
ระยะที่ 1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี (R1) การศึกษาปัญหาและความต้องการโดยจัดสนทนากลุ่ม (focus group discussion) กับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 3 จำนวน 5 คน และอาจารย์พยาบาลจำนวน 3 คน ที่ได้มาจากการคัดเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) จากนักศึกษาพยาบาลที่ผ่านการฝึกภาคปฏิบัติในวิชาปฏิบัติการพยาบาลขั้นพื้นฐาน อาจารย์พยาบาล และ

อาจารย์ที่มีประสบการณ์สอนวิชาชีววิทยากายวิภาคศาสตร์ ที่เคยใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่มีอยู่เดิม เพื่อร่วมกันอภิปรายถึงข้อบกพร่อง และปัญหา หลังจากนั้นทีมผู้วิจัยร่วมกันทบทวนวรรณกรรม ที่เกี่ยวข้องกับกายวิภาคศาสตร์และสรีระวิทยาของอวัยวะเพศ และหลักการพยาบาลในเรื่องการทำความสะอาดอวัยวะเพศ เพื่อผลิตหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด แล้วนำมาสรุปปัญหาจากการใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่มีอยู่เดิม รวมทั้งความรู้ที่ได้เพื่อนำผลที่ได้ไปพัฒนาหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดต่อไป

ระยะที่ 2 สร้างต้นแบบ (D1) ดำเนินการพัฒนาหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดอวัยวะเพศตามผลการสรุปจากระยะที่ 1 โดยปรึกษาผู้เชี่ยวชาญถึงกระบวนการสร้างหุ่นจากซิลิโคน จากนั้นผลิตหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยทำการทดลองผสมซิลิโคนจนได้สูตรการผสมซิลิโคนที่เหมาะสมแก่การผลิต ตลอดจนได้สูตรและขั้นตอน รวมทั้งเทคนิคการผลิต จากนั้นเตรียมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดให้พร้อมก่อนนำไปทดลองใช้และประเมินผลกับกลุ่มตัวอย่างในระยะต่อไป

ระยะที่ 3 ตรวจสอบประสิทธิภาพในกลุ่มเล็ก (R2) นำหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดชนิดซิลิโคนไปทดลองใช้ กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 3 จำนวน 10 คน พยาบาลวิชาชีพ หอผู้ป่วยอายุกรรมจำนวน 1 คน และอาจารย์พยาบาลจำนวน 2 คน ที่ได้มาจากการคัดเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) จากนักศึกษาพยาบาลที่ผ่านการฝึกภาคปฏิบัติในวิชาปฏิบัติการพยาบาลขั้นพื้นฐาน พยาบาล และอาจารย์พยาบาลที่มีประสบการณ์ในการทำความสะอาดอวัยวะเพศ เพื่อประเมินข้อบกพร่อง ปัญหาจากการใช้งาน จากนั้นสรุปประเด็นต่างๆจากการทดลองใช้ เพื่อนำผลที่ได้ไปพัฒนาหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด ในระยะที่ 4

ระยะที่ 4 ปรับปรุงต้นฉบับ (D2) เป็นขั้นตอนการนำสรุปปัญหาจากการใช้หุ่นครั้งที่ 1 มาปรับปรุงพัฒนาหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยทำการทดลองผสมซิลิโคนจนได้สูตรการผสมซิลิโคนที่เหมาะสมแก่การผลิต รวมทั้งขั้นตอนและเทคนิคการผลิตที่ค่อนข้างจะคงที่ก่อนนำไปใช้กับกลุ่มทดลองในระยะที่ 5 ต่อไป



ภาพ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ระยะที่ 5 ทดลองใช้ในกลุ่มใหญ่ (R3) เป็นขั้นตอนการนำหุ่นที่ผลิตไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างได้มาจากนักศึกษาพยาบาลหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 2 ทุกคนที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาการพยาบาลขั้นพื้นฐานปีการศึกษา 2566 จำนวน 114 คนทดลองฝึกทักษะการทำความสะอาดอวัยวะที่ผลิตขึ้น หลังจากนั้นให้นักศึกษาประเมินประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด และประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด

ระยะที่ 6 ได้ต้นแบบนวัตกรรมที่มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

1. นักศึกษาพยาบาลมีนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด
2. ได้สูตร ขั้นตอน และเทคนิคการผลิตหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด
3. ผลการประเมินประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด
4. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาต่อหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดในด้านความเป็นนวัตกรรม ด้านกระบวนการพัฒนา และด้านคุณค่าและประโยชน์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ใช้แบบประเมินประสิทธิภาพ และความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลต่อการใช้อวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด ซึ่งแบบประเมินประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1

แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป จำนวน 2 ข้อ ส่วนที่ 2 แบบประเมินประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดจำนวนทั้งสิ้น 10 ข้อ ในประเด็นความเหมือนจริงและการใช้งาน และส่วนที่ 3 แบบประเมินระดับความพึงพอใจต่อนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดจำนวนทั้งสิ้น 14 ข้อ โดยครอบคลุมใน 3 ประเด็นหลัก คือ ด้านความเป็นนวัตกรรม ด้านกระบวนการพัฒนา และด้านคุณค่าและประโยชน์ แบบประเมินส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (rating scale) 5 ระดับ ซึ่งให้กลุ่มตัวอย่างประเมินประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด และความพึงพอใจต่อนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด ว่าอยู่ในระดับมากน้อยเพียงใด โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ (มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด)

การพิจารณาผลการประเมินเกี่ยวกับประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดพิจารณาจากมาตราส่วนประมาณค่า ดังนี้

คะแนน 4.51-5.00 หมายถึง ประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด

คะแนน 3.51-4.50 หมายถึง ประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก

คะแนน 2.51-3.50 หมายถึง ประสิทธิภาพอยู่ในระดับปานกลาง

คะแนน 1.51-2.50 หมายถึง ประสิทธิภาพอยู่ในระดับน้อย

คะแนน 0.51-1.50 หมายถึง ประสิทธิภาพอยู่ในระดับน้อยที่สุด

คะแนน 0.51-1.50 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

พอใจต่อการใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด

5. ผู้วิจัยรวบรวมแบบสอบถามและตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม

6. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูป สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพและความพึงพอใจนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics)

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำเสนอผลการดำเนินการวิจัย โดยมีรายละเอียดแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด

ตอนที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพ และความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลต่อการใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด ประกอบด้วย

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด
3. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลต่อการใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด

ตอนที่ 1 การพัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทบทวนเอกสารต่าง ๆ งานวิจัยลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของอวัยวะเพศชายและหญิง และข้อมูลจากการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของอาจารย์ผู้สอนที่มีประสบการณ์การสอนวิชากายวิภาคศาสตร์ วิชาปฏิบัติการพยาบาลขั้นพื้นฐาน

นักศึกษาพยาบาลหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 3 ที่ผ่านประสบการณ์การฝึกภาคปฏิบัติวิชาชีพปฏิบัติการพยาบาลขั้นพื้นฐาน ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นและเสนอแนะ โดยแบ่งตามระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี (R1) ผลจากการจัดสนทนากลุ่ม (focus group discussion) กับนักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัญหาและความต้องการจากการใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่มีอยู่เดิม ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นและเสนอแนะในส่วนข้อดีของหุ่นอวัยวะเพศเดิมคือ มีขนาดที่เหมาะสม จำลองลักษณะของกายวิภาคภายนอกได้เหมือนจริงทั้งเพศชายและหญิง มีรูเปิดท่อนทางเดินปัสสาวะ ช่องคลอดครบสมบูรณ์ แต่ปัญหาที่พบคือ หุ่นอวัยวะเพศที่มีอยู่เดิมส่วนใหญ่มีเนื้อวัสดุแข็ง มีความยืดหยุ่นน้อย เมื่อทำการหัดการบางอย่าง เช่น การทำความสะอาดอวัยวะเพศเพื่อเตรียมใส่สายสวนปัสสาวะ โดยเฉพาะอวัยวะเพศชายจะไม่สามารถจัดทำของอวัยวะเพศได้ถูกต้องตามหลักการทำความสะอาด หากจัดทำของอวัยวะเพศให้ถูกต้องตามหลักการจะส่งผลให้หุ่นอวัยวะเพศเกิดการฉีกขาดได้ง่าย (ดังภาพ 2) นอกจากนี้ทั้งนักศึกษา ยังเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาให้หุ่นอวัยวะเพศควรมีพื้นผิวที่อ่อนนุ่ม สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกกรณีที่นักศึกษาต้องการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเนื่องจากหุ่นอวัยวะเพศเดิมเมื่อใช้งานต้องนำมาประกอบกับตัวหุ่นร่างกายที่มีขนาดใหญ่ หากถอดออกมาเฉพาะชิ้นก็มีลักษณะที่ไม่สะดวกใช้เนื่องจากมีสายต่อต่าง ๆ จัดวางตำแหน่งและรูปทรงในการใช้งานได้ยาก และได้ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนาจากอาจารย์ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างซึ่งไปในแนวทางเดียวกับข้อคิดเห็นของนักศึกษาเกี่ยวกับเพิ่มความอ่อนนุ่ม ความยืดหยุ่นของอวัยวะเพศ ให้ใกล้เคียงของจริงมากกว่าเดิม

ระยะที่ 2 สร้างต้นแบบ (D1) คณะผู้วิจัยได้นำข้อคิดเห็นและเสนอแนะจากระยะแรกไปปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญถึงกระบวนการสร้างหุ่นจากซิลิโคน จากนั้นร่วมกันผลิตหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด โดยเน้นให้ลักษณะภายนอกของหุ่นอวัยวะเพศมีสี รูปร่างลักษณะที่อ่อนนุ่มใกล้เคียงของจริง มีความยืดหยุ่นได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยได้ยังคงคุณลักษณะที่ดีของหุ่นอวัยวะเพศเดิม คือ สามารถมองเห็นรูเปิดของท่อปัสสาวะและช่องคลอดที่จำลองได้ใกล้เคียงของจริงอยู่แล้ว จากนั้นนำไปทดลองใช้และประเมินผลกับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

ระยะที่ 3 ตรวจสอบประสิทธิภาพในกลุ่มเล็ก (R2) หลังจากนำหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่พัฒนาจากระยะที่ 2 ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อประเมินข้อบกพร่อง ปัญหาจากการใช้งาน ซึ่งพบว่าลักษณะภายนอกของหุ่นอวัยวะเพศมีสี รูปร่าง ความอ่อนนุ่มใกล้เคียงของจริง มีความยืดหยุ่นมากขึ้น แต่ควรปรับปรุงแผ่นรองรอบ ๆ อวัยวะเพศให้บางและอ่อนนุ่มมากขึ้น เพื่อให้ลักษณะภาพรวมคล้ายผิวหนังมากขึ้น และควรเพิ่มลักษณะของหนังหุ้มปลายของอวัยวะเพศชายที่สามารถดึงขึ้นลงได้ ทำให้มีความเหมือนจริง ซึ่งผู้วิจัยรวบรวมปัญหาจากการทดลองใช้รวมทั้งข้อเสนอแนะ และจะนำผลที่ได้ไปพัฒนาหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดในขั้นตอนถัดไป

ระยะที่ 4 ปรับปรุงต้นฉบับ (D2) คณะผู้วิจัยสรุปปัญหาและข้อเสนอแนะจากการใช้หุ่นอวัยวะเพศจากระยะที่ 3 โดยปรับส่วนผสมของซิลิโคนต่อตัวทำแข็งเพื่อทำแผ่นรองรอบ ๆ อวัยวะเพศบางลง มีลักษณะอ่อนนุ่มขึ้น ยืดหยุ่นได้ดี จากนั้นพัฒนาส่วนของหนังหุ้มปลายโดยแยกจากอวัยวะเพศชาย แล้วเมื่อใช้งานให้ใช้สวมหนังหุ้มปลายเข้ากับตัวอวัยวะเพศชาย สามารถดึงขึ้นลงได้ ทำให้มีองค์ประกอบเช่นเดียวกับอวัยวะเพศชายจริง และชิ้นส่วนของหนังหุ้มปลายสามารถถอดเปลี่ยนชิ้นใหม่ได้หากเกิดการชำรุด (ดังภาพ 3 และ 4) จากนั้นเตรียมนำไปใช้กับกลุ่มทดลองในระยะถัดไป

ระยะที่ 5 ทดลองใช้ในกลุ่มใหญ่ (R3) นำหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่พัฒนาขึ้นใหม่จำนวน 2 ชุด (เพศหญิง 2 ชิ้น, เพศชาย 2 ชิ้น) ไปให้กับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตปี 2 จำนวน 114 คน ซึ่งนักศึกษาแต่ละคนจะได้ฝึกทักษะการทำความสะอาดอวัยวะเพศครบทั้ง 2 เพศ หลังจากให้นักศึกษาฝึกทักษะจนครบทุกคน หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่พัฒนาขึ้นยังคงสภาพเดิมไม่เสื่อมสภาพเนื่องจากซิลิโคนที่ใช้ผลิตมีความความอ่อนนุ่มและทนทาน ไม่เสื่อมสภาพง่าย

ระยะที่ 6 ได้ต้นแบบนวัตกรรมที่มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.1 นักศึกษาหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต และหลักสูตรที่เกี่ยวกับการพยาบาลของวิทยาลัยพยาบาลบรม

ราชชนนี จักรีรัช มีนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่ทำจากซิลิโคนสามารถนำมาใช้เป็นสื่อเสริมในการจัดการเรียนการสอน (ดังภาพ 5)

6.2 ได้สูตร ขั้นตอน และเทคนิคการผลิตหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด มีดังต่อไปนี้

6.2.1 ศึกษากายวิภาคของอวัยวะเพศชายและหญิง

6.2.2 ปั้นแบบด้วยดินน้ำมัน

6.2.3 หล่อแบบด้วยซิลิโคนเหลวโดยใช้อัตราส่วนซิลิโคน: ตัวทำแข็ง (1000 กรัม: 30 มิลลิลิตร)

6.2.4 ใช้ไฟเบอร์กลาสและน้ำยาเรซินทำชุดประกอบแบบโดยใช้อัตราส่วนน้ำยาเรซิน: ตัวทำแข็ง (1000 กรัม: 30 มิลลิลิตร)

6.2.5 ใช้ปูนปลาสเตอร์เทในแบบซิลิโคนแล้วปล่อยให้แห้ง 1 วัน โดยใช้ส่วนผสมปูน:น้ำ (1 ต่อ 2)

6.2.6 ถอดชิ้นงานปูนปลาสเตอร์จากแม่พิมพ์ซิลิโคนและตกแต่งให้เรียบร้อยและสวยงาม (ดังภาพ 6)

6.2.7 เมื่อชิ้นงานปูนปลาสเตอร์ตกแต่งได้ตามความต้องการจึงใช้ซิลิโคนเหลวทำการถอดแบบอีกครั้ง

6.2.8 เมื่อซิลิโคนแห้งจึงใช้ไฟเบอร์กลาสและน้ำยาเรซิน สูตรผสมเดิมทำตัวประกอบแบบอีกครั้ง

6.2.9 เมื่อถอดแบบจากปูนปลาสเตอร์แล้วนำแบบไปทำความสะอาดและตรวจสอบความเรียบร้อยของแบบชิ้นงาน

6.2.10 ผสมสีในซิลิโคนเหลวเพื่อให้ได้ใกล้เคียงกับผิวหนังมนุษย์

6.2.11 เตรียมแบบและผสมซิลิโคนตามอัตราส่วนเดิม เทลงแบบ (ดังภาพ 7)

6.2.12 รอซิลิโคนแห้งประมาณ 1 วันและทำการถอดชิ้นงานออกจากแบบและรอให้ชิ้นงานสัมผัสอากาศประมาณ 1 วัน จากนั้นนำชิ้นงานล้างด้วยสบู่หรือน้ำยาล้างจานเพื่อใช้งานต่อไป



ภาพ 2 หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่มีอยู่เดิม



ภาพ 3 อวัยวะเพศและแผ่นรอง ที่ลักษณะของแผ่นรองยังมีความหนา และสีไม่สมจริง



ภาพ 4 ปรับแผ่นรองรอบ ๆ อวัยวะเพศบางลง และพัฒนาหนังหุ้มปลายอวัยวะเพศชาย



ภาพ 5 นักศึกษากำลังทดลองใช้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด



ภาพ 6 ถอดชิ้นงานปูนปลาสเตอร์จากแม่พิมพ์ซิลิโคน



ภาพ 7 เตรียมแบบและผสมซิลิโคนตามอัตราส่วนเดิม เทลงแบบ

**ตอนที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพ และความพึงพอใจ
ของนักศึกษาต่อหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด**

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 70.83 มีเกรดเฉลี่ยสะสมอยู่ระหว่าง 2.09-3.64

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยนักศึกษา (ตาราง 1) พบว่า ประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยรวมอยู่ในระดับมาก (mean=4.50 SD=.78) ข้อรายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับได้แก่ หุ่นมีความแข็งแรงทนทาน ไม่ฉีกขาดง่าย (mean=4.59 SD=.50) ขนาดและน้ำหนักเหมาะสม เคลื่อนย้ายได้สะดวก (mean=4.57 SD=.59) ลักษณะทางกายวิภาค (anatomy) เสมือนจริง (mean=4.53 SD=.78) ส่วนข้อรายการที่มีค่าเฉลี่ยน้อยสุด 3 ลำดับได้แก่ ประยุกต์ใช้กับการสอนเพื่อทำหัตถการอื่นที่เกี่ยวข้องกับอวัยวะเพศได้ (mean= 4.45 SD=.88) มีประโยชน์ในการเตรียมความพร้อมด้านความรู้เกี่ยวกับการทำความสะอาด

สะอาดอวัยวะเพศก่อนการขึ้นฝึกปฏิบัติงานกับผู้ป่วยจริง (mean=4.44 SD=.81) และผิวหนังของหุ่นมีความใกล้เคียงกับของจริง (mean=4.02 SD=.67)

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลต่อการใช้นุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยนักศึกษาและคณาจารย์ผู้สอน (ตาราง 2) พบว่า ความพึงพอใจต่อการใช้นุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยรวมอยู่ในระดับมาก (mean= 4.38 SD=.56) ข้อรายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับได้แก่ ลักษณะและสีมีความสวยงาม เหมือนจริง (mean= 4.44 SD=.74) พัฒนาขึ้นจากการประเมินหรือวิเคราะห์ความต้องการ (mean=4.42 SD=.69) และช่วยแก้ปัญหาหรือพัฒนาคุณภาพผู้เรียน (mean=4.40 SD=.81) ส่วนข้อรายการที่มีค่าเฉลี่ยน้อยสุด 3 ลำดับได้แก่ มีความแปลกใหม่/พัฒนาแตกต่างไปจากของเดิม (mean=3.64 SD=.78) ราคาไม่แพง ต้นทุนการผลิตต่ำ คำนึงค่าต่อการใช้งาน (mean= 3.50 SD=.89) และส่งเสริมให้เกิดกระบวนการแสวงหาความรู้ (mean=3.47 SD=.8)

ตาราง 1

ระดับความคิดเห็นของนักศึกษาต่อหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด (n=114)

รายการประเมินประสิทธิภาพ	ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจ		
	MEAN	SD	ระดับคุณภาพ
1. หุ่นมีความแข็งแรงทนทาน ไม่ฉีกขาดง่าย	4.59	.50	มากที่สุด
2. มีลักษณะทางกายวิภาค (anatomy) เสมือนจริง	4.53	.78	มากที่สุด
3. มีประโยชน์ในการเตรียมความพร้อมด้านความรู้เกี่ยวกับการทำความสะอาดอวัยวะเพศก่อนการขึ้นฝึกปฏิบัติงานกับผู้ป่วยจริง	4.44	.81	มาก
4. มีประโยชน์ในการเตรียมความพร้อมด้านทักษะเกี่ยวกับการทำความสะอาดอวัยวะเพศก่อนการขึ้นฝึกปฏิบัติงานกับผู้ป่วยจริง	4.51	.75	มากที่สุด
5. ผิวหนังของหุ่นมีความใกล้เคียงกับของจริง	4.02	.67	มาก
6. สามารถใช้สาธิตการทำความสะอาดอวัยวะเพศชายและหญิงได้	4.51	.45	มากที่สุด
7. ใช้สาธิตให้นักศึกษาเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามได้ง่าย	4.52	.77	มากที่สุด
8. ไม่ต้องการการดูแลรักษาที่ยุ่งยาก	4.50	.74	มาก
9. ขนาด และน้ำหนักเหมาะสม เคลื่อนย้ายได้สะดวก	4.57	.59	มากที่สุด
10. ประยุกต์ใช้กับการสอนเพื่อทำหัตถการอื่นที่เกี่ยวข้องกับอวัยวะเพศได้	4.45	.88	มาก
ระดับความคิดเห็นของนักศึกษาต่อหุ่นอวัยวะเพศโดยรวม	4.50	.78	มาก

ตาราง 2

ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการใช้นวัตกรรมเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด (n=114)

รายการประเมินความพึงพอใจ	ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจ		
	MEAN	SD	ระดับคุณภาพ
ด้านความเป็นนวัตกรรม			
1. มีความแปลกใหม่/พัฒนาแตกต่างไปจากของเดิม	3.64	.78	มาก
2. พัฒนาขึ้นจากการประเมินหรือวิเคราะห์ความต้องการ	4.42	.69	มาก
3. สามารถช่วยแก้ปัญหาได้จริง	4.08	.86	มาก
4. มีการพัฒนานวัตกรรมอย่างเป็นระบบ	3.95	.65	มาก
ด้านกระบวนการพัฒนา			
1. วัตถุประสงค์และเป้าหมายของการพัฒนานวัตกรรมชัดเจน	4.39	.75	มาก
2. ประยุกต์ใช้หลักการ แนวคิด ทฤษฎีในการพัฒนานวัตกรรม	4.37	.79	มาก
3. การออกแบบพัฒนานวัตกรรม	4.01	.77	มาก
4. มีกระบวนการพัฒนานวัตกรรมที่ชัดเจน	4.14	.85	มาก
5. ลักษณะและสีมีความสวยงาม เหมือนจริง	4.44	.74	มาก
ด้านคุณค่าและประโยชน์			
1. ช่วยแก้ปัญหาหรือพัฒนาคุณภาพผู้เรียน	4.40	.81	มาก
2. ราคาไม่แพง ต้นทุนการผลิตต่ำ คุ่มค่าต่อการใช้งาน	3.50	.89	ปานกลาง
3. ส่งเสริมให้เกิดกระบวนการแสวงหาความรู้	3.47	.88	ปานกลาง
4. มีความคงทน ปลอดภัย และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้	4.27	.62	มาก
5. มีความสะดวกในการใช้งาน	4.33	.83	มาก
ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาต่อนวัตกรรมโดยรวม	4.38	.56	มาก

อภิปรายผลการวิจัย

1. การพัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมและสัมภาษณ์ผู้ที่มีประสบการณ์การใช้นวัตกรรมจริงเกี่ยวกับข้อดีและข้อบกพร่องจากการใช้นวัตกรรมเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่มีอยู่เดิม ซึ่งพบว่า นวัตกรรมที่ผลิตมีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่นน้อย เมื่อทำหัตถการบางอย่างเช่น การทำความสะอาดอวัยวะเพศเพื่อเตรียมใส่สายสวนปัสสาวะ โดยเฉพาะอวัยวะเพศชายจะไม่สามารถจัดทำของอวัยวะเพศได้ถูกต้องตามหลักการ หากจัดทำของอวัยวะเพศให้ถูกต้องตามหลักการจะทำให้หุ่นอวัยวะเพศเกิดการฉีกขาดได้ง่าย ผู้วิจัยจึงได้ปรับขนาดและน้ำหนักให้เหมาะสมสามารถ

เคลื่อนย้ายได้สะดวก เพิ่มความยืดหยุ่นโดยใช้ซิลิโคนมาเป็นวัสดุสำหรับทำอวัยวะเพศ ส่งผลให้หุ่นอวัยวะเพศที่พัฒนาขึ้นใหม่สามารถอธิบายโครงสร้างและลักษณะทางกายวิภาคได้ อวัยวะเพศหญิงสามารถแยกแยะระหว่างแคมเล็ก แคมใหญ่ และรูเปิดท่อทางเดินปัสสาวะ (urethral orifice) ได้ชัดเจน ส่วนอวัยวะเพศชายมีส่วนของหนังหุ้มปลาย (prepuce) แยกให้เห็นจากองคชาติ ซึ่งสามารถดึงลงขณะทำความสะอาด และดึงขึ้นกลับที่เดิมหลังจากทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับหัตถการได้หลากหลาย ไม่ฝีกขาดง่าย

นอกจากนี้หุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่พัฒนาขึ้นใหม่ ซึ่งทำด้วยซิลิโคนซึ่งเป็น

วัตถุดิบชนิดที่หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด คุณลักษณะของซิลิโคนช่วยให้ความรู้สึกเมื่อสัมผัสใกล้เคียงของจริง จะทำให้นักศึกษามองหุ่นที่สร้างขึ้นมากกว่าเป็นเพียงของเล่น ทำให้นักศึกษาใช้หุ่นเพื่อประกอบการฝึกภาคทดลองด้วยความตั้งใจ และจริงจังมากขึ้น สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Handeland, Prinz, Ekra and Fossum (2020) ที่พบว่า นักศึกษามองหุ่นเป็นเหมือนตุ๊กตาหรือผู้ป่วย หากหุ่นมีลักษณะเหมือนผู้ป่วยจริงนักศึกษาจะให้การดูแลในฐานะพยาบาลที่ดูแลผู้ป่วย และการเป็นสมาชิกในทีม ความสมจริงนี้จึงช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนและได้รับทักษะการพยาบาลเชิงสัมพันธ์ การสื่อสาร และการทำงานร่วมกัน การใช้หุ่นสามารถช่วยในการพัฒนาเอกลักษณ์ทางวิชาชีพของนักเรียนได้ ด้านการใช้งบประมาณในกรณีที่ต้องการให้นักศึกษาสามารถเข้าถึงการฝึกภาคทดลองทั้งในห้องปฏิบัติการ และการนำไปฝึกทบทวนด้วยตนเอง เพื่อตอบรับการเรียนการสอนที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง (self directed learning) เนื่องจากสามารถเชื่อมโยงกับการพัฒนาสมรรถนะทางการเรียนรู้และการพัฒนาตนเองในระดับทักษะ (Zimmerman, 2002) ซึ่งเหมาะสมกับการเรียนการสอนในภาคทดลองเนื่องจากสามารถพัฒนาทักษะในการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องมีหุ่นหลายชิ้น การผลิตหุ่นใช้เองยังสามารถลดงบประมาณจากการสั่งซื้อหุ่นที่ผลิตจากโรงงานทั้งภายในและภายนอกประเทศได้อีกทางหนึ่ง

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดประสิทธิภาพของหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยรวมอยู่ในระดับมาก และข้อรายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับได้แก่ (1) หุ่นมีความแข็งแรงทนทาน ไม่ฉีกขาดง่าย (2) ขนาดและน้ำหนักเหมาะสม เคลื่อนย้ายได้สะดวก (3) ลักษณะทางกายวิภาค (anatomy) เสมือนจริง เนื่องจากทีมผู้วิจัยได้รับข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตหุ่นจากซิลิโคน จึงได้อัฒราส่วนผสมที่เหมาะสม ส่งผลให้เนื้อของหุ่นที่ผลิตจากซิลิโคนนี้มีความยืดหยุ่นสูง และทนทานไม่ฉีกขาดง่าย รวมทั้งมีการออกแบบให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนการสอนเกี่ยวกับการทำความสะอาดอวัยวะเพศ จึงตัดส่วนของร่างกายที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดอวัยวะเพศ ส่งผลให้มีน้ำหนักที่เหมาะสม ขนาดไม่ใหญ่

เกินไป สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก สามารถนำไปฝึกปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Nantsuphawatt, Viseskul, Sawasdisingha, Auephanwiriyakul and Yimyam (2022) ที่ศึกษาการพัฒนาหุ่นจำลองแขนให้สารละลายทางหลอดเลือดดำพบว่า หุ่นจำลองสามารถแสดงถึงโครงสร้างภายนอกของแขนได้ มีลักษณะรูปร่างสัดส่วน และสีที่เหมาะสม และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ส่วนข้อรายการที่มีค่าเฉลี่ยน้อยสุด 3 ลำดับได้แก่ (1) ประยุกต์ใช้กับการสอนเพื่อทำหัตถการอื่นที่เกี่ยวกับอวัยวะเพศได้ อาจเป็นเพราะการออกแบบหุ่นอวัยวะเพศ เน้นลักษณะให้ใกล้เคียงกับกายวิภาคของอวัยวะเพศภายนอกเท่านั้น โดยวัตถุประสงค์เพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด จึงไม่มีลักษณะทางกายวิภาคภายใน เช่น ท่อทางเดินปัสสาวะ ช่องคลอด กระเพาะปัสสาวะ จึงไม่ตอบสนองต่อการประยุกต์ใช้กับการสอนเพื่อทำหัตถการอื่น (2) มีประโยชน์ในการเตรียมความพร้อมด้านความรู้เกี่ยวกับการทำความสะอาดอวัยวะเพศก่อนการขึ้นฝึกปฏิบัติงานกับผู้ป่วยจริง เนื่องจากช่วงเวลาก่อนการทำวิจัย ในช่วงที่นักศึกษาเรียนภาคทฤษฎีครบทั้งวิชาแล้ว ซึ่งผ่านการรับฟังการบรรยาย และการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนภาคทฤษฎีมาเพียงพอ นวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศนี้จึงมุ่งเน้นการใช้ฝึกในภาคทดลอง จึงส่งผลไม่ชัดเจนต่อการพัฒนาด้านความรู้ของนักศึกษา และ (3) ผิวหนังของหุ่นมีความใกล้เคียงกับของจริง เนื่องจากซิลิโคนที่ใช้ทำหุ่นมีหลายระดับ ซึ่งนักศึกษาเคยสัมผัสกับหุ่นที่มีอยู่ในวิทยาลัย ซึ่งผลิตจากซิลิโคน มีความอ่อนนุ่ม และยืดหยุ่นดีใกล้เคียงกับผิวหนังจริงมนุษย์มาก แต่ราคาของซิลิโคนสูงมาก ผู้วิจัยจึงไม่นำมาผลิตนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศในครั้งนี้

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาพยาบาลต่อการใช้นวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยนักศึกษา พบว่า ความพึงพอใจต่อการใช้นวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดโดยรวมอยู่ในระดับมาก และข้อรายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับได้แก่ (1) ลักษณะและสีมีความสวยงาม เสมือนจริง อาจเป็นเพราะผู้วิจัยได้ศึกษาและเทียบเคียงลักษณะ องค์ประกอบต่าง ๆ และสีของผิวหนังอวัยวะเพศให้ใกล้เคียงกับผิวหนังของอวัยวะเพศปกติให้มากที่สุด (2) พัฒนาขึ้นจากการประเมินหรือวิเคราะห์ความต้องการ เป็นเพราะผู้วิจัย

ได้ให้นักศึกษาที่เคยใช้งานจริงได้แสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะต่าง ๆ โดยการจัดสนทนากลุ่ม (focus group discussion) ทำให้ได้แนวทางพัฒนาที่ตรงกับความต้องการอย่างแท้จริง (3) ช่วยแก้ปัญหาหรือพัฒนาคุณภาพผู้เรียนเนื่องมาจากวิจัยในครั้งนี้ใช้กระบวนการวิจัยแบบการวิจัยและพัฒนา (research and development) ซึ่งต้องผ่านขั้นตอนการศึกษาปัญหาจากสภาพจริง พัฒนานวัตกรรมและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นหลายครั้ง ทำให้พบปัญหาและสามารถแก้ปัญหาได้ตรงประเด็น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Nantsuphawatt, Viseskul, Sawasdisingha, Auephanwiriyaikul and Yimyam (2022) ที่พบว่า หุ่นจำลองแขนให้สารละลายทางหลอดเลือดดำมีคุณภาพในด้านต่าง ๆ ในระดับมาก ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการศึกษาและพัฒนาหุ่นจำลองแขนได้มีการใช้กระบวนการวิจัยและพัฒนา ซึ่งมีการวิเคราะห์จากสภาพปัญหา สิ่งที่ต้องการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานหรือพัฒนานวัตกรรมให้ดีขึ้น จากนั้นนำมาพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ มีการนำมาทดลองใช้ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นหลาย ๆ ครั้งจนได้นวัตกรรมที่มีคุณภาพ อีกทั้งยังช่วยให้นักศึกษามีความพร้อมก่อนการฝึกภาคปฏิบัติบนหอผู้ป่วย ซึ่งตรงกับผลการวิจัยของ Mahasneh, Shoqirat, Alsaraireh, Singh and Thorpe (2021) ที่พบว่า การเปลี่ยนจากการเรียนรู้ด้วยหุ่นจำลองไปเป็นการฝึกปฏิบัติกับผู้ป่วยจริงในคลินิกนั้น เกี่ยวข้องกับทั้งการเรียนรู้ที่มีประสิทธิผลผ่านการฝึกฝนจริง ไปจนถึงการรับมือกับความท้าทายทางคลินิก ช่วยพัฒนาการรับรู้ของนักศึกษาเกี่ยวกับความเห็นอกเห็นใจ การพยาบาลผู้ป่วยที่ได้รับยาต่อเนื่อง การพยาบาลคือการดูแลข้างเตียง และ การพยาบาลผู้ที่มีสถานะทางสังคมที่ไม่ดี ส่วนข้อรายการที่มีค่าเฉลี่ยน้อยสุด 3 ลำดับ ได้แก่ (1) มีความแปลกใหม่/พัฒนาแตกต่างไปจากของเดิม เนื่องจากผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาหุ่นอวัยวะเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดให้คงในส่วนที่ดีด้านรูปทรง และลักษณะทางกายวิภาคของหุ่นอวัยวะเดิมที่มีอยู่ ทำให้นักศึกษายังคงติดอยู่กับภาพลักษณะโดยรวมของหุ่นอวัยวะเดิม (2) ราคาไม่แพง ต้นทุนการผลิตต่ำ คำนึงต่อการใช้งาน อาจเป็นเพราะการผลิตหุ่นอวัยวะเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดด้วยซิลิโคนในการวิจัยครั้งนี้ ผลิตขึ้นเพียง 2 ชุด ทำให้ค่าเฉลี่ยงบประมาณจากการผลิตค่อนข้างสูง อันเนื่องมาจากการสร้างโครงสร้าง สร้างแม่

แบบ และชุดประกอบแม่แบบ แต่หากผลิตในจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ค่าใช้จ่ายก็จะลดลงตามปริมาณการผลิต (3) ส่งเสริมให้เกิดกระบวนการแสวงหาความรู้ เนื่องจากนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด เป็นหุ่นที่ใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น โดยคุณลักษณะจึงไม่มีผลต่อการส่งเสริมให้เกิดกระบวนการแสวงหาความรู้ แต่ถ้าอาจารย์ผู้สอนมีการกระตุ้นนักศึกษา ประกอบกับการใช้สื่อประกอบการเรียนการสอน ก็จะสามารถช่วยผลักดันสมรรถนะในด้านการแสวงหาความรู้ในตัวนักศึกษาให้มากยิ่งขึ้น

สรุปได้ว่าจากผลการศึกษา พัฒนานวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นสื่อสำหรับการฝึกปฏิบัติในการทำควาสะอาดอวัยวะให้นักศึกษาพยาบาล ตอบสนองทั้งการฝึกภาคทดลองในห้องปฏิบัติการ การฝึกทบทวนด้วยตนเอง ก่อนการฝึกภาคปฏิบัติบนหอผู้ป่วย และยังสามารถประยุกต์ใช้กับการฝึกทำหัตถการต่าง ๆ ที่ต้องมีขั้นตอนการทำควาสะอาดอวัยวะร่วมด้วยได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ผู้สอนควรนำนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดที่ผลิตขึ้น ไปใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนได้ทั้งภาคทฤษฎี ภาคทดลอง และฝึกทักษะก่อนการฝึกภาคปฏิบัติ โดยนักศึกษาสามารถนำไปฝึกทบทวนในการปฏิบัติด้วยตนเอง (self study) โดยไม่จำเป็นต้องมาฝึกปฏิบัติที่ห้องปฏิบัติการทุกครั้ง
2. สามารถนำนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาด ไปประยุกต์ใช้กับการฝึกทำหัตถการอื่น ๆ ได้เช่น การทำความสะอาดอวัยวะสืบพันธุ์ ก่อนการสวนปัสสาวะ ก่อนการทำคลอด เป็นต้น เนื่องจากลักษณะอวัยวะที่ผลิตขึ้นมีลักษณะและองค์ประกอบภายนอกครบถ้วนใกล้เคียงของจริงมากกว่าหุ่นอวัยวะเดิมของวิทยาลัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน
3. ผู้บริหารควรสนับสนุนการผลิตนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพื่อฝึกทักษะการทำความสะอาดให้เพียงพอ เพื่อเป็นการเตรียมนักศึกษาให้มีทักษะในการฝึกฝึกทักษะการทำความสะอาด ช่วยให้นักศึกษาเกิดทักษะ ความคล่องแคล่ว ก่อนขึ้นฝึกปฏิบัติในโรงพยาบาล

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการผลิตนวัตกรรมหุ่นอวัยวะเพศเพื่อฝึกทักษะ
การทำความสะอาดควรมีการปรับปรุงในเรื่อง

1. นำเทคโนโลยีด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มา
พัฒนาร่วมกับหุ่นอวัยวะเพศ เพื่อแสดงสัญญาณแจ้งเตือน
ด้วยแสงหรือเสียง หากผู้ใช้งานทำความสะอาดอวัยวะเพศ
ผิดขั้นตอน ไม่ทั่วถึง และมีความรุนแรงมากเกินไป

2. ศึกษาวิจัยพัฒนาวัสดุอื่น ๆ ภายในประเทศ ที่มี
คุณภาพ มีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นเสมือนจริง และราคา

ถูกลง ที่สามารถนำมาผลิตหุ่นฝึกทักษะได้อย่างเหมาะสม
มากยิ่งขึ้น

3. ศึกษาวิจัยพัฒนานวัตกรรมหุ่นจำลองสำหรับ
ฝึกหัตถการด้านต่าง ๆ ที่ตอบสนองการเรียนการสอนสาขา
วิชาทางการแพทย์บาลอื่น ๆ ตามความสนใจของผู้สอนและ
ผู้เรียนที่เสนอแนะ เพื่อให้ได้หุ่นฝึกทักษะ ตรงต่อความ
ต้องการ สอดคล้องกับการเรียนการสอนในวิทยาลัย



References

- Dale, E. (1969). *Audio-visual methods in teaching* (3rd ed.) New York: The Dryden Press Holt, Rineheart and Winston. Inc.
- Handeland, J. A., Prinz, A., Ekra, E. M. R., & Fossum, M. (2021). The role of manikins in nursing students' learning: A systematic review and thematic metasynthesis. *Nurse Education Today*, 98, 104661. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2020.104661>
- Intharakamhaeng Na Ratchasima, S., & Rueangrit, P. (2016). Factors affecting the nursing skills of Nursing students in Boromarajonani College of Nursing, Sawan Pracharak, Nakhon Sawan. *Journal of Nursing, Public Health and Education*, 17(3), 106-112. (in Thai)
- Kanchanawasi, T. (2014). *Sexual awareness: Knowledge about sex and guidelines for preventing sexual risky behavior*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Mahasneh, D., Shoqirat, N., Alsaraireh, A., Singh, C., & Thorpe, L. (2021). *From learning on models to practicing on patients: Nursing student s' first-time experience of clinical placement in Jordan* (Doctoral dissertation). Mutah University. Jordan. doi: 10.1177/23779608211004298
- Matchima, K., Vonglao, P., Sutthison, T., & Tepchim, S. (2020). Factors influencing self-directed learning behaviors of students in Faculty of Science Ubon Ratchathani Rajabhat University. *Social Sciences Research and Academic Journal*, 16(1), 15-30. (in Thai)
- Ministry of Education. (2020). *Ministry announcement of Education Department regarding the closure of educational institutions under and under the supervision of the Ministry of Education for special reasons*. Retrieved from <http://www.ptnpeo.moe.go.th/ptn2019/edupdate/4950/> (in Thai)
- Nantsuphawatt, A., Viseskul, N., Sawasdisingha, P., Auephanwiriyakul, S., & Yimyam, S. (2022). The development of an intravenous Injection arm model. *Nursing Journal CMU*, 49(3), 311-323. (in Thai)

- Senadisai, S., & Prapaipanich, W. (2021). *Basic nursing* (2nd ed.). Bangkok: Golden Spot. (in Thai)
- Srisatidnarakul, B. (2004). *The methodology in nursing research*. Bangkok: U & I Intermedia. (in Thai)
- Sunthonmalai, K. (2019). Predictive factors and ways to reduce stress in practical training in maternal-infant nursing. and midwifery, 1 of police nursing students Police Nursing College. *Police Nursing Journal*, 9(2), 128-138. (in Thai)
- Suprasert, A., Liamsiricharoen, M., & Kunchanak, S. (2015). Innovative agriculture. *Collection of Research Innovations on the Occasion of the 72th Anniversary of Kasetsart University* (pp. 129-130). Bangkok: Kasetsart University (in Thai)
- Wongkhan, K. (2018). Training course to provide knowledge about institutional research 2022. *Conference Presentation Planning Section and Personal Resources Section* (11 August 2022). Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. (in Thai)
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into Practice*, 41(2), 64-70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2



การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการทรงตัวของหุ่นยนต์จักรยานสองล้อ โดยใช้ระบบการควบคุมพีไอดี

Development and Stability Optimization of a Two-Wheeled Bicycle Robot Using PID Control System

เรวัฒน์ บุญจันทร์¹ ศิวพงษ์ กิ่งแก้ว¹ และอรรถสิทธิ์ วงศ์เจริญ^{1*}

Rewat Bunchan¹, Siwapong Kingkaew¹ and Athasit Wongcharoen^{1*}

¹เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล ศูนย์พลังงานยั่งยืนและวัสดุวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹Mechanical Engineering Technology, Center of Sustainable Energy and Engineering Materials,
College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

*Corresponding author: athasit.w@cit.kmutnb.ac.th

Received: February 29, 2024

Revised: May 2, 2024

Accepted: May 8, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำเสนอการพัฒนา และปรับแต่งหุ่นยนต์จักรยานสองล้อที่ทรงตัวได้เอง โดยใช้ระบบควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative--PID โดยมีเป้าหมายในการรักษาความสมดุลและความเสถียรของหุ่นยนต์ ในขณะที่แสดงความยืดหยุ่นต่อสิ่งรบกวน ส่วนสำคัญของงานนี้คือการใช้ตัวกรองคาลมาน (Kalman filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณเซนเซอร์ที่ได้รับ ซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและความแม่นยำของหุ่นยนต์ได้อย่างมาก งานนี้ได้ใช้ทฤษฎีของหุ่นยนต์และระบบควบคุม พร้อมการใช้งานจริงและการทดสอบ แนวทางการออกแบบตามแบบจำลองใช้สำหรับจำลองพฤติกรรมของหุ่นยนต์จักรยาน ระบบควบคุม PID จะปรับการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แบบพลวัต โดยมีเป้าหมายเพื่อรักษาสมดุลแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนที่แท้จริงในการอ่านเซนเซอร์ ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ตัวกรองคาลมานจึงถูกรวมเข้าไว้ด้วยกัน เทคนิคการกรองขั้นสูงนี้ประเมินสถานะของระบบอย่างเหมาะสมที่สุดเพื่อกรองสัญญาณรบกวนจากสัญญาณที่ได้รับ ดังนั้นจึงปรับแต่งข้อมูลที่ใช้สำหรับการตัดสินใจควบคุม พารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID และตัวกรองคาลมานได้รับการปรับแต่งอย่างมีประสิทธิภาพของระบบที่เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้คือความสำเร็จของหุ่นยนต์จักรยาน การรักษาสมดุลและการนำทางที่มีประสิทธิภาพในพื้นที่ผิวและสภาวะต่าง ๆ การศึกษานี้มีการหาคำตอบที่ครอบคลุมสำหรับความสมดุลในการออกแบบหุ่นยนต์จักรยานสองล้อและลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณควบคุม

คำสำคัญ: หุ่นยนต์จักรยานสองล้อ ระบบการควบคุมแบบพีไอดี หุ่นยนต์ทรงตัว ตัวกรองคาลมาน

Abstract

In this study, a two-wheeled, self-balancing bicycle robot that is controlled by a Proportional-Integral-Derivative--PID control system is designed and evaluated. The objective of the project is to create a functioning bicycle robot that is stable and balanced. The primary difficulty in developing such a system is keeping the robot balanced under various operational circumstances and ensuring robustness against disturbances. The study examines the theoretical underpinnings of robotics and control systems, as well as their actual application and assessment. We simulate the behavior of the bicycle robot using a model-based design technique, and we use the PID control system immediately to modify its velocity to maintain it balanced. In order to ensure optimal performance, the PID controller parameters are carefully calibrated. Through simulation studies and physical testing, the effectiveness of the control strategy is confirmed. The results show that the bicycle robot is able to balance itself while controlling across a variety of surfaces and environmental conditions. This concept could have a variety of uses, by proposing an innovative method to self-balance in the development of two-wheeled robots. The study greatly expands the field of autonomous robotics.

Keywords: two-wheeled bicycle robot, PID control system, Balancing robot, Kalman filter



บทนำ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์มีบทบาทมากในโลกปัจจุบันนี้ไม่เพียงแต่ใช้ในการอุตสาหกรรมเท่านั้น ยังใช้ในการขนส่ง รวมไปถึงหุ่นยนต์กู้ภัย (Kiyani & Khan, 2016) ยานพาหนะอัจฉริยะไร้คนขับ (Jeong & Takahashi, 2008) และอื่น ๆ หุ่นยนต์จักรยานทรงตัวเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ชนิดหนึ่ง (Thanh & Parnichkun, 2008) หุ่นยนต์จักรยานทรงตัวได้รับการคิดค้นเพื่อช่วยเหลือกิจกรรมของมนุษย์ในการขนส่งผู้โดยสารในระยะทางสั้น ๆ ภายในเมือง (Osama, Mohsin, Yasar & Khubab, 2014) ลดอุบัติเหตุในการขับขี่ได้ในทั้งเด็กและผู้ใหญ่ ดังนั้นหุ่นยนต์จักรยานทรงตัวนำมาใช้เพื่อความปลอดภัยและการทรงตัวที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการบาดเจ็บทางร่างกาย ถึงแม้ว่าหุ่นยนต์สี่ล้อ (Jovina, Kenneth & Hou, 2022) อาจไม่ต้องการ การทรงตัวแต่ก็มีข้อจำกัดหลายอย่างการขนย้ายและไม่สามารถเข้าไปในที่แคบได้ ในทางตรงกันข้ามหุ่นยนต์จักรยานสามารถเดินทางไปในที่แคบได้ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมามีนักวิทยาศาสตร์สนใจการวิจัยเกี่ยวกับหุ่นยนต์จักรยานสองล้อมากขึ้นเรื่อย ๆ ปัญหาในการควบคุมหุ่นยนต์จักรยานทรงตัว คือ การทรงตัว

ด้วยตัวเอง แบบจำลองที่ไม่แน่นอน และผลกระทบของสัญญาณรบกวน (Ngoc & Hong, 2020) ทางผู้วิจัยจึงทำการวิจัยเพื่อแก้ปัญหการทรงตัวของหุ่นยนต์จักรยานทรงตัว

การควบคุมการทรงตัวของหุ่นยนต์จักรยานทรงตัว (Lin, Tsai & Huang, 2011) ควบคุมในตำแหน่งที่ตั้งตรงในลักษณะหุ่นยนต์จักรยานเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง โดยใช้หลักการทรงตัวของการบินบังคับเลี้ยวเมื่อจักรยานเคลื่อนที่ลัดที่หมุนอยู่จะสร้างแรงไจโรสโคป (Bernie, 2001) ที่ช่วยให้จักรยานทรงตัวได้ ขณะที่จักรยานเอียง แรงไจโรสโคป (Park, & Cho, 2018) ทำให้ล้อหน้าหมุนไปในทิศทางของการล้ม ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการหมุนวนของไจโรสโคปิก (Gyroscopic precession) (Sun, Xu, Jiao & Wang, 2022) การเคลื่อนไหวในการเลี้ยวนี้สร้างแรงบิดเพื่อด้านแรงโน้มถ่วงที่ตั้งจักรยานลง ช่วยรักษาสมดุลและทำให้จักรยานตั้งตรง

ในปัจจุบันมีการแข่งขันเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าที่สูงรวมไปถึงหุ่นยนต์เคลื่อนที่ 2 ล้อ จึงได้เกิดเป็นงานหุ่นยนต์จักรยานทรงตัวขึ้นมาเพื่อลดปัญหามลพิษทางอากาศและเสี่ยงในสภาวะที่น้ำมันเริ่มที่จะขาดแคลนและมีราคา

สูงขึ้นอีกทั้งยังช่วยลดอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นได้ในการเข้าโค้งในประเทศไทยสำหรับภาคอุตสาหกรรมทุกภาคส่วนเริ่มที่จะนำหุ่นยนต์อัตโนมัติมาช่วยกิจกรรมของมนุษย์ (Toshinobu, Ryoko & Shin'ichi, 2009) ทางผู้วิจัยเห็นว่าในประเทศไทยยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับหุ่นยนต์จักรยานสองล้อไม่มากนัก จึงได้เกิดเป็นงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้นมาจากผู้วิจัยหวังว่างานชิ้นนี้จะเป็นรากฐานที่สำคัญในอนาคตสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ 2 ล้อทรงตัวได้โดยไร้คนขับในอนาคตที่กำลังจะถึงนี้ และยังสามารถนำไปต่อยอดในงานอื่น ๆ ได้อีกด้วย ในส่วนที่สองจะอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม แรง การเชื่อมโยงทางกล ตัวกรองคาลมาน และสมการทางคณิตศาสตร์ ส่วนที่สาม อธิบายการเลือกส่วนประกอบฮาร์ดแวร์และคุณลักษณะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนที่สี่ กล่าวถึงการทดสอบทางกล สัญญาณของของเซนเซอร์การทดสอบตำแหน่ง IMU การทดสอบการทดสอบการเอียง การทดสอบการทำงานเมื่อใส่ค่า PID และส่วนสุดท้ายเป็นการสรุปผลการทดลองของการทรงตัวหุ่นยนต์จักรยานสองล้อ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีการควบคุมการทรงตัว

หลักการควบคุมการทรงตัวในจักรยานทรงตัว (Damoon, Yang & Jingang, 2012) เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบระบบที่สามารถรักษาเสถียรภาพระหว่างการเคลื่อนไหวย การทรงตัวของผู้ปั่นนั้นหมายถึงการเปลี่ยนจุดศูนย์กลางมวลของระบบ ให้เอียงซ้ายหรือขวาตรงข้ามกับทิศทางที่กำลังจะล้ม ซึ่งส่วนนี้จะมีผลสำคัญที่สุดในสภาวะที่หยุดนิ่ง เพราะเป็นไปไม่ได้ที่ผู้ปั่นจะหยุดนิ่งให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ในแนวตรงตั้งได้ตลอดเวลา หนึ่งในปัจจัยหลักที่ทำให้จักรยานมีความสมดุลคือผลกระทบของไจโรสโคปิก ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อจักรยานเคลื่อนที่ ล้อหมุนสร้างแรงไจโรสโคปิก ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อเสถียรภาพของจักรยานและประสิทธิภาพโดยรวม

แรงไจโรสโคปิก

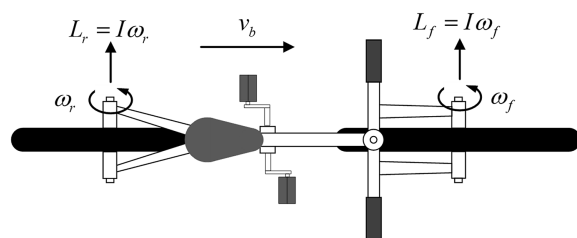
แรงไจโรสโคปิก (Sun, Xu, Jiao & Wang, 2022) สร้างขึ้นจากล้อที่หมุนของจักรยาน แรงนี้กระทำในแนวตั้งฉาก

กับระนาบการหมุนและช่วยรักษาสมดุลของจักรยาน เมื่อจักรยานอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ช้า ๆ แรงไจโรสโคปิกจะน้อยหรือมาก และจักรยานอาจเอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อความเร็วของจักรยานเพิ่มขึ้นแรงไจโรสโคปิกจะมีความสำคัญมากขึ้นส่งผลให้จักรยานมีความเสถียรภาพ ดังภาพ 1

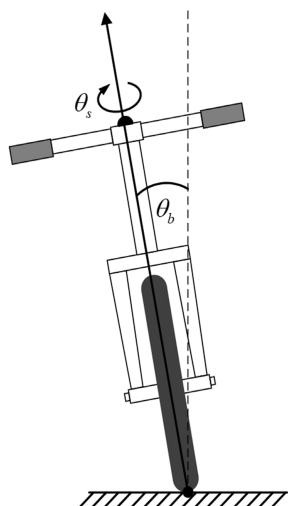
จากภาพ 1 ค่า v_b คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของจักรยาน, ค่า L_f, L_r คือ โมเมนต์ตัมเชิงมุมของล้อหน้าและล้อหลังของจักรยานตามลำดับ, ค่า I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย และ ค่า ω_f, ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อหน้าและล้อหลัง เมื่อล้อรถจักรยานหมุนจะเกิดโมเมนต์ตัมเชิงมุมขึ้นในตำแหน่ง และทิศทางแสดงดังภาพ โมเมนต์ตัมเชิงมุมนี้จะทำให้ล้อจักรยานมีพฤติกรรมแบบไจโรสโคป ซึ่งจะทำให้ล้อจักรยานมีการทรงตัวที่ดีขึ้นจากโมเมนต์ตัมเชิงมุมที่ออกมาจากแกนล้อ

แรงปฏิกิริยาจากพื้นถนน

แรงปฏิกิริยาจากพื้นถนน เป็นแรงปฏิกิริยาแนวตั้งขนาดเท่ากับน้ำหนักของจักรยาน โดยทั่วไปการเคลื่อนที่ของจักรยานไม่ใช่การวิ่งไปข้างหน้าเป็นเส้นตรง แต่จะเป็นอนุกรมของส่วนโค้งเล็ก ๆ ซึ่งแรงปฏิกิริยาจากพื้นถนนจะเป็นแรงผลักให้กลับสู่สมดุล สิ่งสำคัญสำหรับการควบคุมแรงปฏิกิริยา คือ ล้อหน้าของจักรยานที่หมุนด้วยความเร็ว ω_f หากจักรยานกำลังจะล้มไปทางซ้ายด้วยค่ามุม θ_b จะต้องหักเลี้ยวไปทางซ้ายด้วยค่ามุม θ_s เพื่อพลิกให้ตัวจักรยานกลับมาอยู่ในแนวตั้งตรงได้อีกครั้ง ดังภาพ 2 แรงปฏิกิริยาจากพื้นถนนนี้เป็นแรงที่มีบทบาทสำคัญในเกือบทุกสภาวะสังเกตว่าที่ความเร็วต่ำ ๆ หรือหยุดนิ่ง การหักแฮนด์จะช่วยทำให้จักรยานกลับมาทรงตัวได้ง่ายขึ้น



ภาพ 1 แรงไจโรสโคปิกของจักรยาน



ภาพ 2 แรงปฏิกิริยาจากพื้นถนน

การป้อนกลับของพวงมาลัยและการรักษาสมดุล

การป้อนกลับของพวงมาลัยและการรักษาสมดุลของจักรยานที่ทรงตัวได้เอง กลไกการป้อนกลับของพวงมาลัยมีหน้าที่ตรวจจับมุมเอียงของจักรยานและทำการปรับมุมบังคับเลี้ยวที่จำเป็น ผลตอบรับนี้ช่วยให้จักรยานรักษาสมดุลโดยสร้างแรงยึดคืนที่ทำให้จักรยานกลับสู่ตำแหน่งตั้งตรง กระบวนการนี้มีความสำคัญต่อการสร้างความเสถียรภาพ การควบคุมระหว่างการเลี้ยวและการหลบหลีก

สมดุลพลวัต

สมดุลพลวัตของจักรยานทรงตัว เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันระหว่างแรงต่าง ๆ เช่น แรงโน้มถ่วง ไจโรสโคปิก และแรงเหวี่ยง การทำความเข้าใจการทำงานร่วมกันระหว่างแรงเหล่านี้และผลกระทบที่มีต่อเสถียรภาพของจักรยานเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบระบบควบคุมการทรงตัวที่แข็งแกร่งและมีประสิทธิภาพ

2. การบังคับเลี้ยว (steering control)

จักรยานทรงตัวการควบคุมทิศทางเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาเสถียรภาพและความสมดุลระหว่างการ

เคลื่อนไหวเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย (Ozguner, Unyelioglu & Hatipoglu, 1995) จะใช้เซอร์โวมอเตอร์ ที่มีแรงบิดเพียงพอเพื่อจัดการกลไกการบังคับเลี้ยวทำให้การควบคุมที่มีเสถียรภาพและตอบสนองขณะออกแบบระบบควบคุมทิศทาง สิ่งสำคัญคือต้องพิจารณาปัจจัยหลักสามประการนอกเหนือจากมุมเอียงและมุมบังคับเลี้ยว

การเลือกเซอร์โวมอเตอร์

การเลือกเซอร์โวมอเตอร์ (Advance Electronic Training Center, 2017) ที่เหมาะสมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการควบคุมทิศทางที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำมอเตอร์ต้องมีแรงบิดเพียงพอที่จะจัดการกับแรงที่กระทำต่อกลไกการบังคับเลี้ยวระหว่างการบังคับเลี้ยวด้วยความเร็วสูงและการเลี้ยวหักศอก นอกจากนี้เซอร์โวมอเตอร์ควรมีเวลาตอบสนองที่รวดเร็วเพื่อให้การปรับตามเวลาจริงและรักษาสมดุลของจักรยาน

การเชื่อมโยงทางกล

การเชื่อมโยงทางกลระหว่างเซอร์โวมอเตอร์และกลไกการบังคับเลี้ยวมีบทบาทสำคัญในการถ่ายโอนการเคลื่อนที่แบบหมุนของมอเตอร์ไปยังล้อหน้า การเชื่อมโยงนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อลดฟรินเพื่อให้เกิดน้อยที่สุดและให้การส่งผ่านการเคลื่อนที่เป็นไปอย่างเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพ การเลือกใช้วัสดุและการออกแบบส่วนประกอบเชื่อมโยงควรคำนึงถึงการสึกหรอและการฉีกขาดตลอดจนความทนทานเมื่อเวลาผ่านไป

พลวัตของการควบคุมทิศทาง

พลวัตของการบังคับเลี้ยวของจักรยานทรงตัวนั้น เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันระหว่างล้อหน้า กลไกบังคับเลี้ยว และความสมดุลรวมของจักรยาน (Wael & Mohammed, 2009) ความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบทั้งหมดนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบระบบควบคุมทิศทางที่ทนทานและมีประสิทธิภาพ ปัจจัยต่าง ๆ เช่น มุมล้อ เส้นทาง และรูปทรงของจักรยาน ล้วนส่งผลต่อพลวัตของการบังคับเลี้ยว และต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบในระหว่างขั้นตอนการออกแบบ

3. ทฤษฎีระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (PID controller)

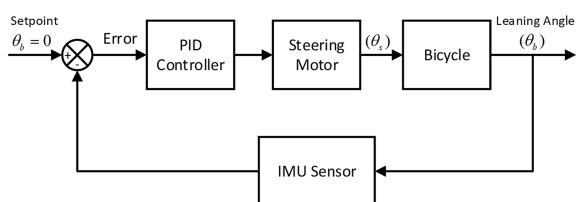
ตัวควบคุม PID (Kiam, Chong & Yun, 2005) เป็นรูปแบบที่ชดเชยความผิดพลาดของระบบ โดยมีตัวควบคุม P, I และ D ถือได้ว่าเป็นรูปแบบที่สามารถชดเชยค่าความผิดพลาด ตัวควบคุม PID มาตรฐาน เรียกอีกอย่างว่าตัวควบคุมสามเทอม ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนโดยทั่วไปจะเขียนอยู่ในรูปแบบขนาน ที่กำหนดโดยสมการที่ (1)

$$G(s) = K_p + K_I \frac{1}{s} + K_D s \quad (1)$$

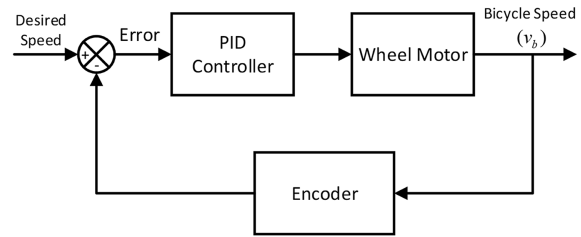
โดยที่ K_p คือค่าเกนตามสัดส่วน K_I คือ ค่าเกนแบบอินทิกรัล K_D คือ ค่าเกนแบบอนุพันธ์ โดยฟังก์ชันสามเทอม มีดังต่อไปนี้ (1) เทอมตามค่าสัดส่วนให้การดำเนินการควบคุมโดยรวมตามสัดส่วนกับสัญญาณข้อผิดพลาดผ่านแฟกเตอร์เกนทุกรอบ (2) เทอมอินทิกรัลเป็นการลดข้อผิดพลาดในสถานะคงตัวผ่านการชดเชยความถี่ต่ำสำหรับตัวอินทิเกรต (3) เทอมอนุพันธ์จะปรับปรุงการตอบสนองชั่วคราวผ่านการชดเชยความถี่สูงโดยตัวสร้างความแตกต่าง

การออกแบบบล็อกไดอะแกรมควบคุมการบังคับเลี้ยวของหุ่นยนต์จักรยานทรงตัว ทำการควบคุมการบังคับเลี้ยวแบบพีไอดี (PID control steering) (Mohamed, Mo'men, Hossam & Raafat, 2020) เพื่อให้มอเตอร์บังคับเลี้ยวตอบสนองกับการเอียงของจักรยานทำให้จักรยานทรงตัวอยู่ในแนวตั้งได้ตลอดเวลา โดยการควบคุมให้ค่า θ_b มีค่าใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด ดังภาพ 3

ทำการออกแบบบล็อกไดอะแกรมควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์จักรยานทรงตัว ทำการควบคุมความเร็วแบบพีไอดี เพื่อให้ความเร็วของหุ่นยนต์จักรยานมีความเสถียร ดังภาพ 4



ภาพ 3 บล็อกไดอะแกรมควบคุมการบังคับเลี้ยว



ภาพ 4 บล็อกไดอะแกรมควบคุมความเร็วจักรยาน

4. โปรแกรมอาร์ดูโน IDE

อาร์ดูโน IDE คือ ซอฟต์แวร์เครื่องมือสำหรับพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C หรือ C++ สำหรับควบคุมบอร์ด อาร์ดูโน และเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับใช้งานอาร์ดูโน IDE (Alisher & Zafar, 2022) คือซอฟต์แวร์ที่เป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนาโปรแกรมซึ่งมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น RUN, Compile, DEBUG ซึ่งมี GUI ที่ถูกออกแบบมาให้มีสถานะแวดล้อม เหมาะสมกับการพัฒนาโปรแกรม โดยหน้าที่หลักของ IDE คือ การเขียนไฟล์ เปิดไฟล์ บันทึกไฟล์ ทดสอบการทำงาน จัดเตรียมข้อมูลรวมถึงจัดการ Directory สำหรับภาษานั้น ๆ ที่รองรับ

5. ตัวทรงคาลมาน

ตัวทรงคาลมาน (Qiang, Ranyang, Kaifan & Wei, 2015) เป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบควบคุมของจักรยานทรงตัว เนื่องจากถูกนำไปใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ Inertial Measurement Unit—IMU (Norhafizan, Raja & Nazirah, 2013) เป็นอัลกอริทึมของการประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดที่รวมการวัดเซนเซอร์ที่มีสัญญาณรบกวนเข้ากับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินสถานะของระบบ ในส่วนนี้เราจะศึกษาเกี่ยวกับหลักการ การนำไปใช้ และประโยชน์ของตัวทรงคาลมานในรูปแบบของจักรยานทรงตัว

หลักการของตัวทรงคาลมาน

หลักการของตัวทรงคาลมาน เป็นอัลกอริทึมการประมาณค่าแบบเรียกซ้ำที่ใช้กระบวนการสองขั้นตอน การคาดคะเนและการแก้ไข เพื่อประเมินสถานะที่แท้จริงของระบบพลวัต โดยรวมการวัดค่าจากเซนเซอร์เข้ากับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ โดยคำนึงถึงความไม่

แน่นอนทั้งในการวัดและแบบจำลอง ตัวกรองคาลมานใช้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของสถานะที่คาดการณ์และสถานะที่วัดได้เพื่ออัปเดตการประมาณค่า โดยน้ำหนักที่กำหนดโดยความไม่แน่นอนของแต่ละแหล่งที่มา

การใช้งานจักษยานทรงตัว

การใช้งานจักษยานทรงตัวในจักษยานทรงตัว เซนเซอร์ IMU จะวัดทิศทางของจักษยาน ความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม การวัดเหล่านี้มักจะมีสัญญาณรบกวนและอาจมีข้อผิดพลาดได้ ตัวกรองคาลมานถูกนำไปใช้กับข้อมูล IMU เพื่อประเมินการวางแผนและสถานะการเคลื่อนที่ที่แท้จริงของจักษยาน ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมสมดุลและทิศทางของจักษยานได้แม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น

สมการทางคณิตศาสตร์

พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ตัวกรองคาลมานขึ้นอยู่กับชุดของสมการเชิงเส้นที่อธิบายสถานะของระบบ การวัด และความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้อง สมการเหล่านี้ประกอบด้วยสองส่วนหลัก

(1) การทำนายสถานะ ขั้นตอนนี้ทำนายสถานะในอนาคตของระบบตามสถานะปัจจุบันและแบบจำลองพลวัตของระบบ นอกจากนี้ยังอัปเดตเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมซึ่งแสดงถึงความไม่แน่นอน

สมการทำนายสถานะ:

$$\hat{x}(k) = F \cdot \hat{x}(k-1) + B \cdot u \quad (2)$$

การทำนายความแปรปรวนร่วมที่ผิดพลาด:

$$P(k) = F \cdot P(k-1) \cdot F^T + Q \quad (3)$$

ในสมการการคาดการณ์ (Fengxin, Zhen & Haijiao, 2014) ตัวกรองจะทำนายสถานะปัจจุบัน $\hat{x}(k)$ ตามค่าประมาณสถานะก่อนหน้า $\hat{x}(k-1)$ และพลวัตของระบบที่แสดงโดยเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ F การคาดคะเนยังคำนึงถึงอินพุตควบคุม u ที่ใช้กับระบบซึ่งแสดงโดยเมทริกซ์ควบคุม B ความแปรปรวนร่วมของ

ข้อผิดพลาด $P(k)$ ยังคาดการณ์ตามค่าประมาณความแปรปรวนร่วมที่ผิดพลาดก่อนหน้า $P(k-1)$ เมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ F และเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณรบกวนกระบวนการ Q

การอัปเดตการวัด: ขั้นตอนนี้รวมสถานะที่คาดการณ์ไว้กับการวัดเซนเซอร์ โดยใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของแหล่งที่มาทั้งสอง จากนั้นจะใช้ค่าประมาณสถานะที่อัปเดตเป็นอินพุตสำหรับขั้นตอนการคาดคะเนถัดไป สมการการแก้ไข นวัตกรรม:

$$y = z - H \cdot \hat{x}(k) \quad (4)$$

นวัตกรรมความแปรปรวนร่วม:

$$S = H \cdot P(k) \cdot H^T + R \quad (5)$$

คาลมานเกน:

$$K = P(k) \cdot H^T \cdot S^{-1} \quad (6)$$

อัปเดตสถานะ:

$$\hat{x}(k) = \hat{x}(k) + K \cdot \ddot{a} \quad (7)$$

ข้อผิดพลาดในการอัปเดตความแปรปรวนร่วม:

$$P(k) = (I - K \cdot H) \cdot P(k) \quad (8)$$

ในสมการการแก้ไข ตัวกรองจะอัปเดตค่าประมาณสถานะและความแปรปรวนร่วมของข้อผิดพลาดตามการวัดปัจจุบัน (Z) คือความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้และการวัดที่คาดการณ์ตามค่าประมาณสถานะปัจจุบัน ความแปรปรวนร่วมของ (S) คำนวณจากความแปรปรวนร่วมของการวัดที่คาดการณ์ไว้ ($H \cdot P(k) \cdot H^T$) ละเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณรบกวนในการวัด (R) คาลมานเกน (K) กำหนดการมีส่วนร่วมของการวัดเพื่ออัปเดตสถานะสุดท้ายการประมาณสถานะและความแปรปรวนร่วมของข้อผิดพลาดจะได้รับการอัปเดตตามความแตกต่างระหว่างการวัดจริง การได้รับของคาลมาน และเมทริกซ์การวัด (H)

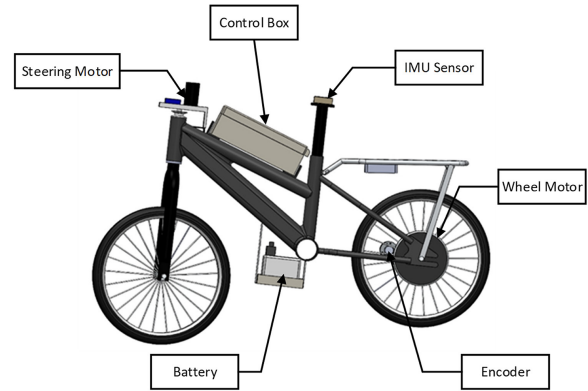
ในสมการข้างต้น Q แสดงถึงเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณรบกวนกระบวนการ ซึ่งอธิบายความไม่แน่นอนในพลวัตของระบบและผลกระทบของปัจจัยที่ไม่ได้จำลอง R แสดงถึงเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณรบกวนการวัด ซึ่งจับความไม่แน่นอนในการวัด

วิธีการดำเนินงาน

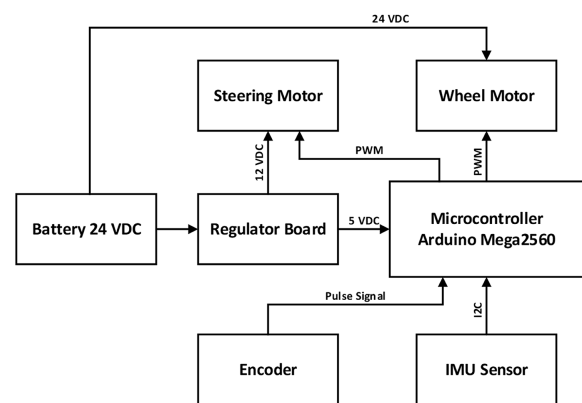
การดำเนินงานของวิจัยนี้จะเริ่มตั้งแต่การศึกษาค้นคว้าข้อมูลและรวบรวมทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูล กำหนดขอบเขตการทำงาน ออกแบบโครงสร้าง จัดวางการติดตั้งอุปกรณ์บนโครงของจักรยาน ทดสอบใช้งานอุปกรณ์ ซึ่งมีขั้นตอนการทำหุ่นยนต์จักรยานทรงตัวดังนี้

1. ออกแบบโครงสร้าง

หุ่นยนต์จักรยานถูกออกแบบให้มีลักษณะ โดยมีความสูงประมาณ 80 ซม. ความยาว 100 ซม. ดังภาพ 5



ภาพ 5 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์จักรยาน

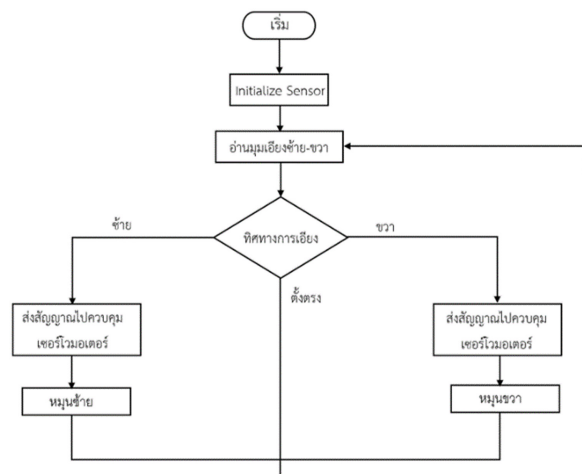


ภาพ 6 การออกแบบระบบไฟฟ้าของหุ่นยนต์จักรยานทรงตัว

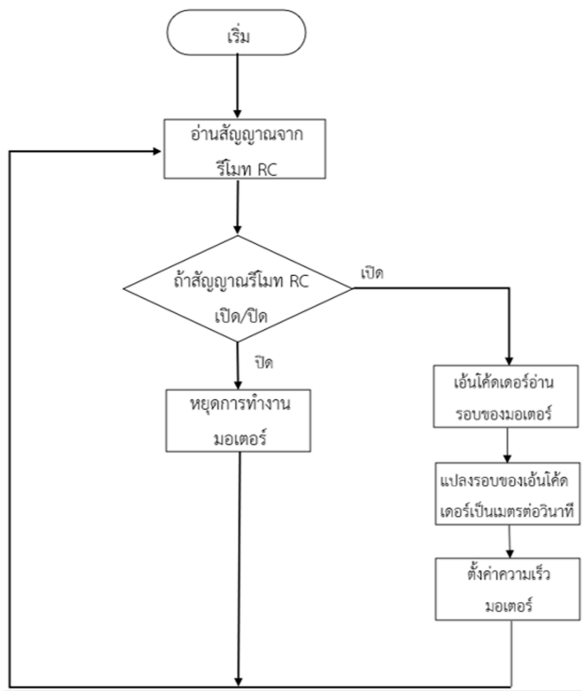
2. การต่ออุปกรณ์และทดลองเขียนโค้ดควบคุมอุปกรณ์เบื้องต้น

การออกแบบระบบไฟฟ้า จะประกอบไปด้วย การต่อวงจรเซนเซอร์ IMU การต่อใช้งานเซอร์โวมอเตอร์ 24 to 12VDC การต่อใช้งาน RC รีโมทคอนโทรล การต่อใช้งาน ตัวเข้ารหัสโรตารีแบบเพิ่มหน่วย การต่อใช้งานฮับมอเตอร์ ของหุ่นยนต์จักรยานทรงตัว เข้ากับบอร์ดควบคุมอาร์ดูโน Mega 2560 โดยการต่อจะแสดงดังภาพ 6

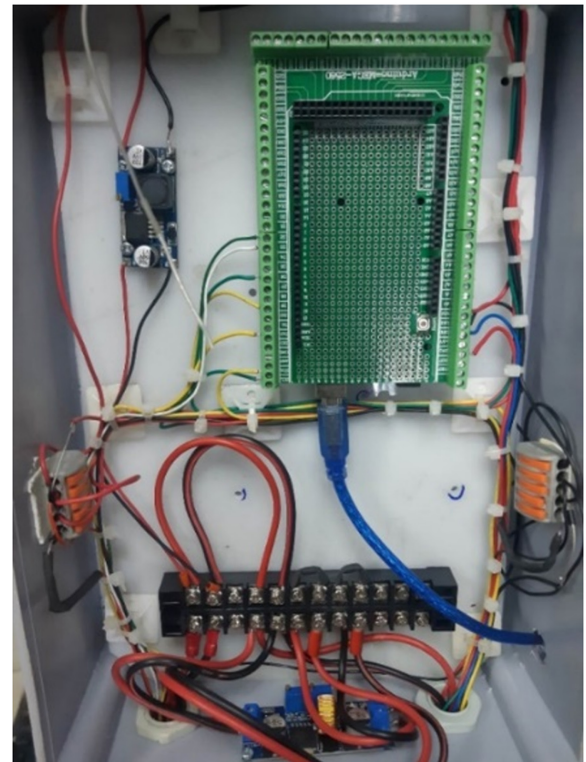
การทดลองเขียนโค้ดควบคุมอุปกรณ์เบื้องต้น โดยเขียนโปรแกรมควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ให้ไปในทิศทางองศาต่าง ๆ ทดลองเขียนโปรแกรมควบคุม เซนเซอร์ IMU สำหรับในการอ่านค่าความเร่งไจโรสโคป เพื่อให้การวางแผนวืดที่ถูกต้อง แสดงผังงานโปรแกรมควบคุมทิศทางจักรยาน และผังงานโปรแกรมควบคุมความเร็วขับเคลื่อนจักรยาน ดังภาพ 7 และ 8 ตามลำดับ



ภาพ 7 แสดงผังงานโปรแกรมควบคุมทิศทางจักรยาน



ภาพ 8 แสดงผังงานโปรแกรมควบคุมความเร็วขับเคลื่อนจักรยาน



ภาพ 9 เดินสายไฟตามวงจรที่ได้ออกแบบไว้

3. ขั้นตอนการประกอบโครงสร้าง

การวางแผนในการทำโครงสร้างนั้นผู้วิจัยจะทำการออกแบบโครงสร้างเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ โดยจัดวางอุปกรณ์ให้อยู่ในจุดกึ่งกลางของตัวหุ่นยนต์จักรยานโดยให้น้ำหนักฝั่งซ้ายและฝั่งขวามีความสมดุลกันมากที่สุด ทำการเจาะยึดกล่องควบคุมมอเตอร์ หลังจากเจาะยึดกล่อง ควบคุมมอเตอร์เรียบร้อยแล้วทำการติดตั้งกล่องเพื่อเตรียม ใส่วงจรด้านใน หลังจากติดตั้งกล่อง ใส่วงจรเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการวางอุปกรณ์และเจาะยึดใส่แผ่นอะคริลิก แล้วติดตั้งอุปกรณ์บนแผ่นอะคริลิก จากนั้นเดินสายไฟตามวงจรที่ได้ออกแบบไว้ ดังภาพ 9

หลังจากเดินสายไฟแล้วทำการประกอบติดตั้งมอเตอร์ชุดหน้าสำหรับบังคับเลี้ยว พร้อมทั้งทำการติดตั้งแบตเตอรี่และเบรกเกอร์ แล้วนำใส่กล่องให้เรียบร้อย ดังภาพ 10-11



ภาพ 10 การประกอบติดตั้งมอเตอร์ชุดหน้าสำหรับบังคับเลี้ยว



ภาพ 11 ติดตั้งแบตเตอรี่และเบรกเกอร์และนำใส่กล่องให้เรียบร้อย

ผลการดำเนินงาน

การทดลองเพื่อทดลองการทรงตัว โดยการปรับค่าการควบคุม PID ของ Steering Control ความเร็วรอบของมอเตอร์ และการปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างหุ่นยนต์จักรยาน โดยมีการทดลอง ดังนี้

1. ผลการประกอบชิ้นส่วนและอุปกรณ์ทั้งหมด

ทางผู้วิจัยได้ทำการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดของหุ่นยนต์จักรยานทรงตัวโดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

(1) ผลการประกอบติดตั้งแบตเตอรี่ไว้ตรงกลางของจักรยาน ผลของการประกอบหุ่นยนต์จักรยานทรงตัวนำแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักมากที่สุดไว้ตรงกลางของจักรยานและติดตั้งไว้ที่ต่ำใกล้กับจุดศูนย์ถ่วงมากที่สุด การวางแบตเตอรี่ไว้ใกล้กับจุดนี้จะทำให้การกระจายน้ำหนักโดยรวมของจักรยานมีประสิทธิภาพสูงสุด ส่งผลให้สมดุลและเสถียรภาพดีขึ้น นี่เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับจักรยานทรงตัว เนื่องจากจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเนื่องจากแบตเตอรี่และมอเตอร์

(2) ผลการประกอบชุดบังคับเลี้ยว ติดตั้งมอเตอร์บังคับเลี้ยวกับแฮนด์จักรยานที่ขับเคลื่อนด้วยสายพานโดยแกนบังคับเลี้ยวสามารถเคลื่อนที่ได้ 2 ทิศทางคือการเลี้ยวซ้ายและการเลี้ยวขวาดังภาพ 12

(3) ผลการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบไฟฟ้า จากการทดลองเปิดใช้งานผ่านทางเบรกเกอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ และสามารถปิดใช้งานด้วยเบรกเกอร์ได้

2. ทดสอบตัดสัญญาณรบกวนเซนเซอร์โดยใช้ตัวกรองคาถา

การกรองสัญญาณรบกวนโดยเฉพาะการใช้ตัวกรองคาถา คือเพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของการวัดจากเซนเซอร์โดยการลดผลกระทบของสัญญาณรบกวน ดังภาพ 13

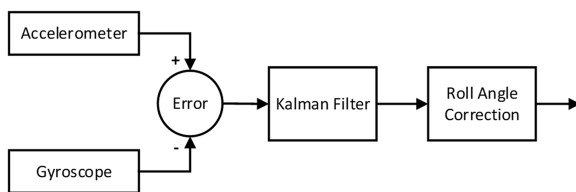
จากภาพ 14 สัญญาณรบกวนที่ไม่มีการกรองในการอ่านค่าของเซนเซอร์อาจส่งผลกระทบต่อความเสถียรในการทดสอบเซนเซอร์ในมาตรวัดความเร่งอยู่กับที่ ควรวัดความเร่งเป็นศูนย์ตามแกนทั้งหมด ลักษณะกราฟที่ได้จะไม่เสถียรทำให้กราฟที่ได้นั้นมีลักษณะเป็นยอดแหลมอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน

จากภาพ 15 สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์นั้นไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่ไม่มีความเสถียร จึงจำเป็นต้องใช้การกรองคาถาเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการวัด จุดประสงค์ของการใช้ตัวกรองคาถาคือเพื่อให้ได้สัญญาณที่แท้จริงของระบบตามการวัดเซนเซอร์ที่มีสัญญาณรบกวน เมื่อนำสัญญาณเซนเซอร์ที่ได้ผ่านการกรองสัญญาณมาแล้วจะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้จะมีลักษณะค่อนข้างเรียบมีความเป็นเส้นตรงดังภาพ 16

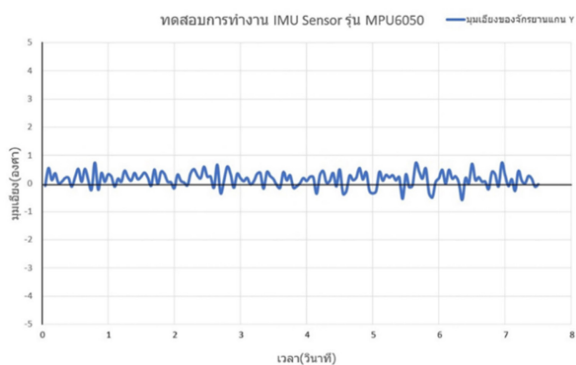
สัญญาณเซนเซอร์ที่ไม่มีการกรองสัญญาณ คือ การวัดข้อมูลดิบที่ได้รับโดยตรงจากเซนเซอร์ ในขณะที่สัญญาณเซนเซอร์ที่กรองแล้วช่วยเพิ่มความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือและความเสถียร โดยลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนและรูปแบบที่ไม่ต้องการ



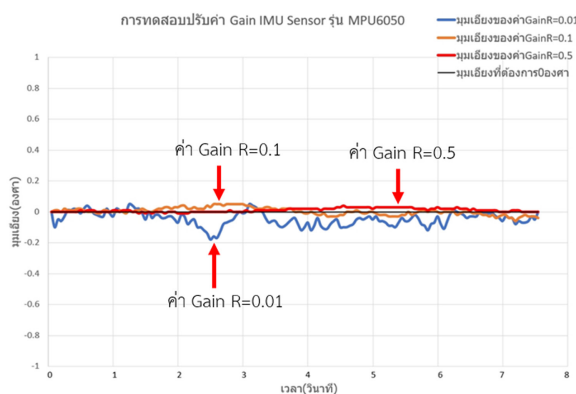
ภาพ 12 โครงสร้างก่อนปรับปรุงแก้ไข



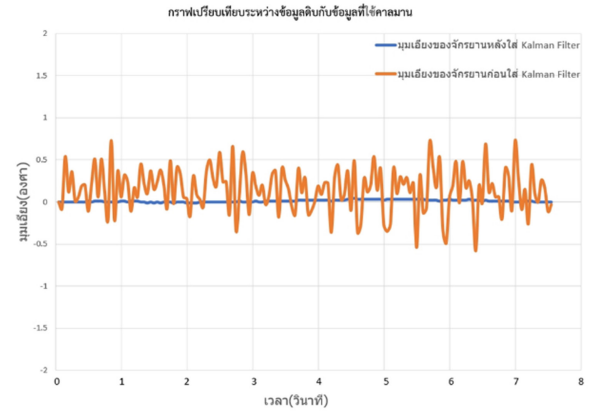
ภาพ 13 บล็อกไดอะแกรมกรองสัญญาณแบบคาลมาน



ภาพ 14 สัญญาณเซนเซอร์ที่ยังไม่ผ่านการกรอง



ภาพ 15 ผลการกรองสัญญาณแบบคาลมาน



ภาพ 16 ผลการเปรียบเทียบการกรองสัญญาณ

3 ทดสอบตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ IMU

การทดลองกับจุดติดตั้งเซนเซอร์ IMU เพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดเพื่อความแม่นยำในการวัดความเอียงหรือการวางแนวของจักรยานอย่างแม่นยำทั้งตำแหน่งและทิศทางของเซนเซอร์ อาจส่งผลต่อคุณภาพและความแม่นยำของการอ่านค่าจากเซนเซอร์ การทดสอบจุดติดตั้งต่าง ๆ สามารถประเมินได้ว่าตำแหน่งต่าง ๆ ส่งผลต่อความสามารถของเซนเซอร์ในการตรวจจับและวัดความเอียงหรือการวางแนวของจักรยาน การทดสอบนี้ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของเซนเซอร์และรับข้อมูลที่เชื่อถือได้และแม่นยำตามจุดที่ 1 จุดที่ 2 และจุดที่ 3 ดังภาพ 17

การทดสอบติดตั้งเซนเซอร์ IMU บนจักรยานไว้ที่ได้กล่องควบคุม ตำแหน่งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดการสั่นสะเทือนและวางตำแหน่งเซนเซอร์ให้ใกล้กับจุดศูนย์กลางมากที่สุด อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญคือต้องทราบว่าเซนเซอร์ IMU ต้องใช้การเอียงอย่างมากเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของการเอียง ดังนั้นการติดตั้งที่จุดนี้อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากอาจให้ความไวที่ต้องการในการตรวจจับความเอียงที่เล็กน้อยอย่างแม่นยำ

จากภาพ 18 ติดตั้งจุดที่ 1 จะสามารถลือตกราฟแสดงค่าของเซนเซอร์ IMU เมื่อติดตั้งเซนเซอร์ IMU ไว้ที่ได้กล่องควบคุม ปรากฏว่าค่าเซนเซอร์ IMU ที่แสดงจากกราฟมีผลตอบสนองช้า กล่าวคือจักรยานต้องเอียงมากจึงจะสามารถส่งข้อมูลได้ ดังภาพ 19

ทดสอบติดตั้งเซนเซอร์ IMU จุดที่สองวางไว้สูงกว่าตำแหน่งแรก โดยวางไว้บนกล่องควบคุม สำหรับการ

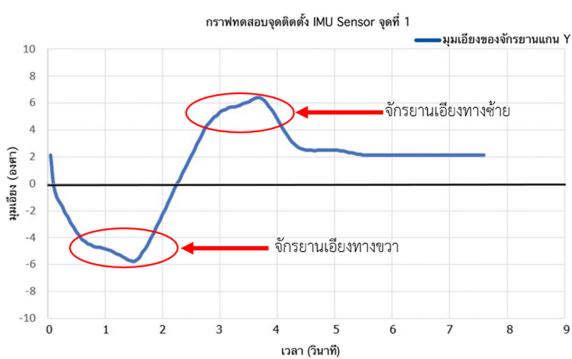
ทดสอบนี้ผลลัพธ์ระบุว่าเซนเซอร์ IMU ทำงานได้ดีขึ้นในตำแหน่งที่สองเมื่อเทียบกับตำแหน่งแรก อย่างไรก็ตาม การติดตั้งจุดนี้การสั่นสะเทือนที่เกิดจากกล่องคอนโทรลอาจทำให้ค่าความเอียงคลาดเคลื่อนไปบ้าง ดังภาพ 20



ภาพ 17 ตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์



ภาพ 18 ทดลองติดตั้ง IMU จุดแรก



ภาพ 19 กราฟแสดงค่าของเซนเซอร์ IMU เมื่อติดตั้งไว้ที่กล่องคอนโทรล



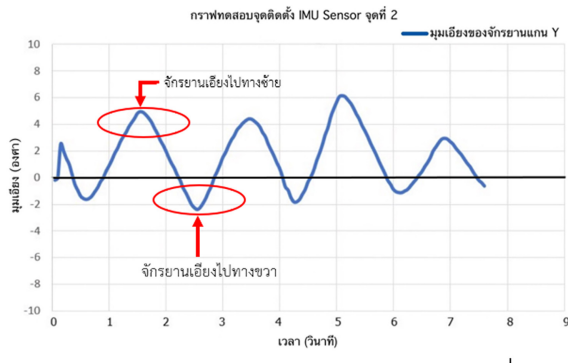
ภาพ 20 ทดลองติดตั้ง IMU จุดที่สอง

จากภาพ 20 จะสามารถพล็อตกราฟแสดงค่าของเซนเซอร์ IMU เมื่อติดตั้งเซนเซอร์ IMU ไว้บนกล่องควบคุมปรากฏว่าค่าเซนเซอร์ IMU ที่แสดงจากกราฟตอบสนองเร็วขึ้นมากกว่าติดตั้งไว้ตรงใต้กล่องควบคุม แต่มีการสั่นมากขึ้นเนื่องจากยึดไว้บนฝากล่องควบคุมที่ไม่มั่นคง ดังภาพ 21

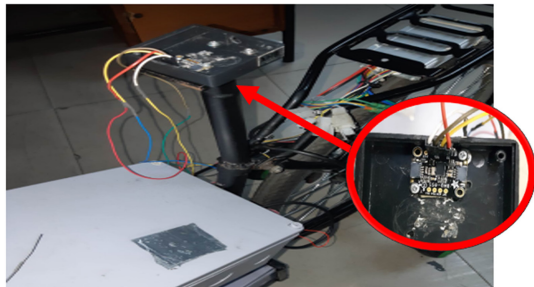
ทดสอบติดตั้งเซนเซอร์ IMU จุดที่สามโดยติดตั้งตรงที่นั่งเพื่อเพิ่มความสูงขึ้นจากตัวจักรยาน โดยวางเซนเซอร์ IMU ไว้จุดที่สูงที่สุด เมื่อติดตั้ง IMU ให้สูงบนที่นั่งของผู้ขับขี่ จักรยานจะตอบสนองเร็วต่อการเอียงมากขึ้น ความไวนี้เกิดจากระยะห่างที่เพิ่มขึ้นจากจุดศูนย์ถ่วงของจักรยาน ซึ่งจะขยายผลกระทบของการเคลื่อนไหวแบบเอียง ดังภาพ 22

จากภาพ 22 จะสามารถพล็อตกราฟแสดงค่าของเซนเซอร์ IMU เมื่อติดตั้งเซนเซอร์ IMU ไว้บนจุดสูงสุดของจักรยาน ผลปรากฏว่าค่าเซนเซอร์ IMU ที่แสดงจากกราฟมีผลตอบสนองที่เร็ว มีดีเลย์ที่น้อยลง ดังภาพ 23

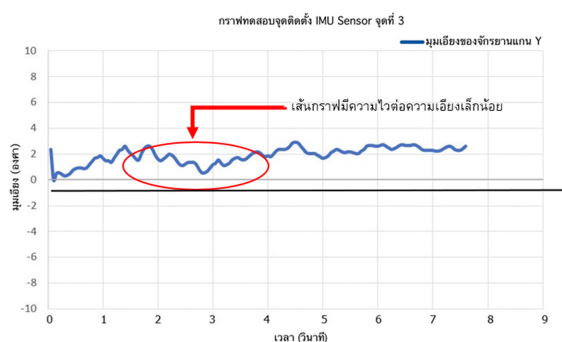
โดยสรุปแล้ว การติดตั้ง IMU บนที่นั่งของผู้ขับขี่จักรยานซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าจุดศูนย์ถ่วงของจักรยานจะเพิ่มความไวต่อการเอียง ความไวนี้ช่วยให้วัดมุมเอียงของจักรยานได้อย่างแม่นยำ ช่วยให้ควบคุมการทรงตัวและปรับทิศทางได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อรักษาเสถียรภาพ



ภาพ 21 กราฟแสดงค่าของเซนเซอร์ IMU เมื่อติดไว้บนกล่องควบคุม



ภาพ 22 ทดลองติดตั้ง IMU จุดที่สาม



ภาพ 23 กราฟแสดงค่าของเซนเซอร์ IMU เมื่อติดไว้จุดสูงสุดของจักรยาน

4. ทดสอบการเอียงของจักรยานและการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ด้านการทรงตัวและการควบคุมจักรยาน ความเอียงของจักรยานจะวัดตามแนวแกนซ้าย-ขวา โดยที่ความเอียงด้านขวาถือเป็นค่าลบและค่าความเอียงทางด้านซ้าย

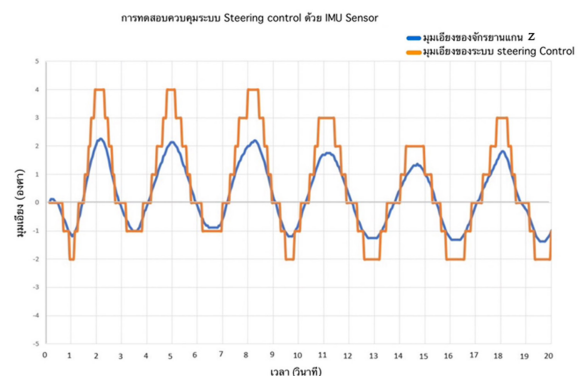
มีค่าเป็นบวก การบังคับเลี้ยวเมื่อจักรยานเอียงไปทางด้านขวา เซอร์โวมอเตอร์จะตอบสนองโดยการเลี้ยวพวงมาลัยด้านหน้าไปในทิศทางเดียวกับแรงดันตก ซึ่งก็คือไปทางขวา การดำเนินการนี้จะช่วยให้จักรยานมีความสมดุลและป้องกันไม่ให้ล้มลง

จากภาพ 24 เมื่อทำการพล็อตกราฟผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างมุมบังคับเลี้ยวและการวัดความเอียงของเซนเซอร์เมื่อจักรยานเอียงไปทางขวา (เอียงเป็นลบ) มุมบังคับเลี้ยวจะแสดงถึงการเลี้ยวไปทางขวาที่สอดคล้องกันในทำนองเดียวกันเมื่อจักรยานเอียงไปทางซ้าย (เอียงเป็นบวก) มุมบังคับเลี้ยวจะตอบสนองด้วยการเลี้ยวไปทางซ้าย

5 ทดสอบการทำงานเมื่อใส่ค่าการควบคุม PID ของทิศทางความเร็วขับเคลื่อน

โดยความเร็วที่ใช้ในการทดสอบการทรงตัวคือ 2 เมตรต่อวินาที การทดลองปรับจูนค่าการควบคุม PID การทดลองครั้งที่ 1 ดังตาราง 1

จากภาพ 25 ในการทดลองนี้ค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม PID สำหรับระบบบังคับเลี้ยวถูกตั้งค่าเป็น $K_p = 0.1$ $K_i = 0.001$ และ $K_d = 0.01$ ผลการทดลองระบุว่าจักรยานทรงตัวไม่สามารถรักษาสมดุลได้ สาเหตุหลักมาจากการตอบสนองช้าต่อการเอียง การตอบสนองที่ช้านี้อาจจะเนื่องมาจากค่าเกณฑ์ PID ที่เลือก ซึ่งอาจไม่ได้รับการปรับให้เหมาะสมจึงทำให้จักรยานล้ม

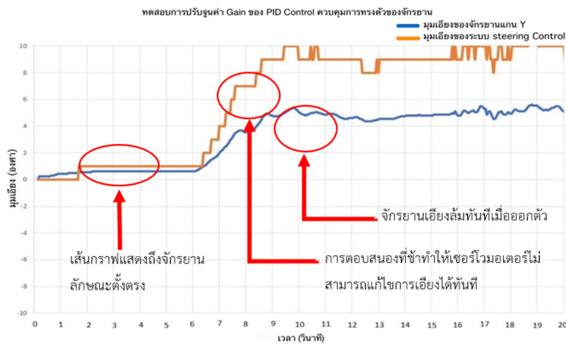


ภาพ 24 กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์การบังคับเลี้ยวที่สั่งงานโดยเซนเซอร์ IMU

ตาราง 1

PID Steering Control ครั้งที่ 1

Kp Steering	Ki Steering	Kd Steering
0.1	0.001	0.01



ภาพ 25 แสดงค่ากราฟการทำงานการตอบสนองการเอียงที่ช้าทำให้เอียงล้ม

จากตาราง 2 และภาพ 26 ผลลัพธ์ของการทดลองครั้งที่สองแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงในการตอบสนองของจักรยานต่อการเอียง โดยเพิ่มค่า Kp เป็น 0.8 และค่า Kd เป็น 0.1 อย่างไรก็ตามการประมวลผลยังช้าเกินไปและระบบบังคับเลี้ยวไม่สามารถตอบสนองได้เร็วพอที่จะป้องกันไม่ให้จักรยานล้ม เมื่อจักรยานเอียง คำสั่งการบังคับเลี้ยวจะล่าช้า ทำให้จักรยานไม่มีแรงต้านที่จำเป็นในการนำจักรยานกลับสู่ตำแหน่งตั้งตรง

จากตาราง 3 และภาพ 27 ผลลัพธ์ของการทดลองครั้งที่สามแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงโดยเพิ่มค่า Kp เป็น 1.5 เพิ่มเติมในการตอบสนองของจักรยานต่อการเอียงเมื่อเทียบกับการทดลองครั้งก่อน อย่างไรก็ตาม การประมวลผลยังไม่เร็วพอ และระบบบังคับเลี้ยวไม่สามารถตอบสนองได้เร็วพอที่จะป้องกันไม่ให้จักรยานล้ม เมื่อจักรยานเอียง คำสั่งการบังคับเลี้ยวจะล่าช้า ทำให้จักรยานไม่มีแรงต้านที่จำเป็นในการนำจักรยานกลับสู่ตำแหน่งตั้งตรง แรงที่เพิ่มขึ้นที่กระทำต่อจักรยานนั้นไม่เพียงพอที่จะพยุงจักรยานให้ตั้งตรงได้

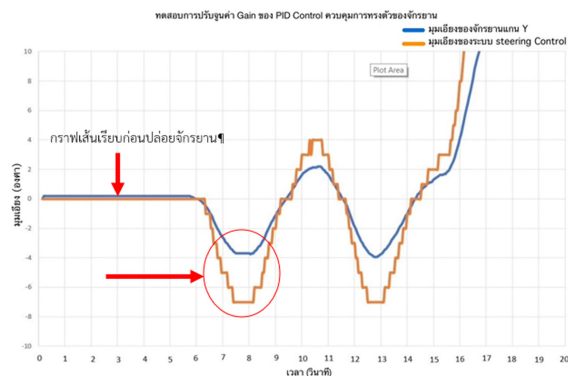
จากตาราง 4 และภาพ 28 ผลลัพธ์ของการทดลองครั้งที่สี่แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงโดยเพิ่มค่า Kp เป็น 2 ระบบมีการตอบสนองที่ดีขึ้น จักรยานสามารถทรงตัวได้แต่

ยังมีปัญหาเมื่อเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่มีหลุมหรือขรุขระจะทำให้เกิดการโอเวอร์ชูตต้องทดสอบเพิ่ม โดยการเพิ่ม Kd เพื่อลดการโอเวอร์ชูตเมื่อเกิดการสั่นสะเทือน

ตาราง 2

PID Steering Control ครั้งที่ 2

Kp Steering	Ki Steering	Kd Steering
0.8	0.001	0.1

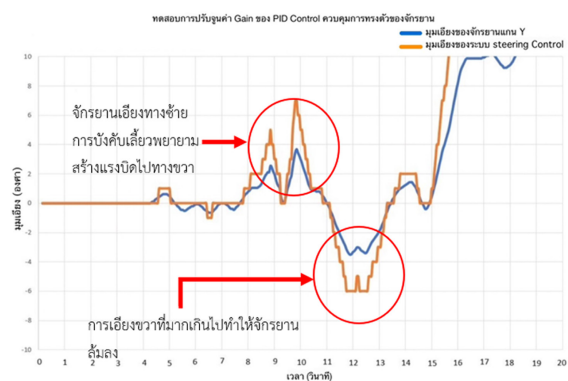


ภาพ 26 แสดงค่ากราฟปรับเกนพีไอดีครั้งที่ 2

ตาราง 3

PID Steering Control ครั้งที่ 3

Kp Steering	Ki Steering	Kd Steering
1.5	0.001	0.1

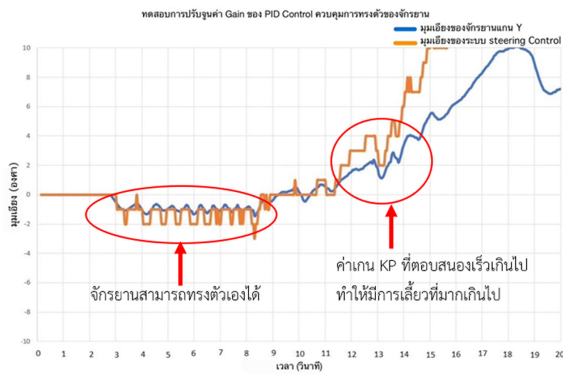


ภาพ 27 แสดงค่ากราฟปรับเกนพีไอดีครั้งที่ 3

ตาราง 4

PID Steering Control ครั้งที่ 4

Kp Steering	Ki Steering	Kd Steering
2	0.001	0.1



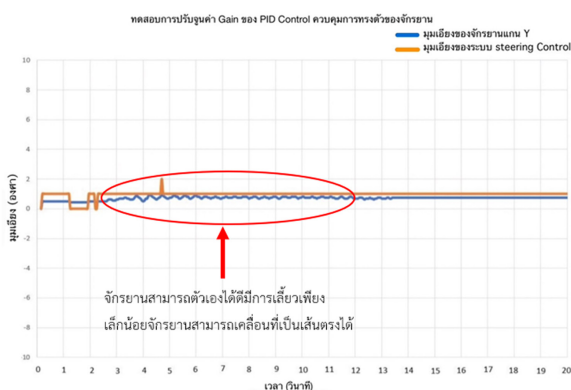
ภาพ 28 แสดงค่ากราฟปรับเกนพีไอดีครั้งที่ 4

จากตาราง 5 และภาพ 29 ผลลัพธ์ของการทดลองครั้งที่ห้า แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงโดยการเพิ่มอัตราขยาย Kd เป็น 0.81 ในระบบควบคุมการทรงตัวของจักรยานสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถการทรงตัวได้ดียิ่งขึ้นและลดการเลี้ยวที่มากเกินไปเมื่อพบกับหลุมหรือพื้นที่ขรุขระ

ตาราง 5

PID Steering Control ครั้งที่ 5

Kp Steering	Ki Steering	Kd Steering
2	0.001	0.81



ภาพ 29 แสดงค่ากราฟการทำงานการตอบสนองที่เริ่มไวขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองปรับแต่งค่าอัตราขยายการควบคุมพีไอดีตามสัญญาณการตอบสนองของมุมเอียงที่เกิดขึ้น เพื่อชดเชยมุมเอียงที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีหลักการ แสดงให้เห็นการปรับปรุงที่สำคัญในประสิทธิภาพการทรงตัวของจักรยานยนต์ด้วยค่า $K_p=2$ $K_i=0.001$ และ $K_d=0.81$ ที่ปรับแล้ว ค่า Kd ที่สูงขึ้นทำให้ระบบบังคับเลี้ยวของจักรยานสามารถสั่งให้จักรยานเลี้ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งให้การรองรับและความมั่นคงที่เพียงพอสำหรับตัวจักรยาน ส่งผลให้จักรยานเคลื่อนไหวได้นุ่มนวลและมั่นคงยิ่งขึ้นในระยะทางที่ไกลขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทรงตัวแล้ว การเคลื่อนไหวของจักรยานทรงตัวยังขาดทิศทาง ซึ่งบ่งชี้ว่าอาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มประสิทธิภาพเพิ่มเติมในระบบควบคุมทิศทางหรือกลยุทธ์การนำทางเพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวที่แม่นยำและควบคุมได้มากขึ้นในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างจักรยานทรงตัวเป็นความพยายามที่ซับซ้อนและท้าทาย ต้องใช้ความพยายามอย่างอดทน ซึ่งต้องอาศัยความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเครื่องกล ระบบควบคุม การรวมเซนเซอร์ การพัฒนาซอฟต์แวร์ และการทดสอบ การจัดการกับความท้าทายเหล่านี้และปรับแต่งการออกแบบผ่านการปรับปรุงซ้ำ ๆ เป็นกุญแจสำคัญในการสร้างจักรยานทรงตัวที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพ



References

- Advance Electronic Training Center. (2017). *Servo motor*. Retrieved from <http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th/> (in Thai)
- Alisher, S. I., & Zafar J., (2022). Study of arduino microcontroller board. *Science and Education Scientific Journal*, 3(3), 172-179. <https://bit.ly/3W6lKwp>
- Bernie, G. (2001). Gyroscopes. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 4(3), 49-52. doi: 10.1109/5289.953462.
- Damoon, S., Yang, Z., & Jingang, Y., (2012). Stability analysis of human rider's balance control of stationary bicycles. *2012 American Control Conference (ACC)* (pp. 2755-2760). Canada: IEEE. doi: 10.1109/ACC.2012.6315425.
- Fengxin, S., Zhen, Y., & Haijiao, Y. (2014). A design for two-wheeled self-balancing robot based on Kalman filter and LQR. *International Conference on Mechatronics and Control (ICMC)* (pp. 612-616). Jinzhou, China: IEEE. doi: 10.1109/ICMC.2014.7231628.
- Jeong, S., & Takahashi, T. (2008). Wheeled inverted pendulum type assistant robot: design concept and mobile control. *Intel Serv Robotics*, 1, 313–320. <https://doi.org/10.1007/s11370-008-0024-5>.
- Jovina, S. L. L., Kenneth, T. K. T., & Hou P. Y., (2022). Four wheeled mobile robots: A review. *IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAET)* (pp. 1-6). Malaysia: IEEE. doi: 10.1109/IICAET55139.2022.9936855.
- Kiam, H. A., Chong, G., & Yun, L. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *In IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(4), 559-576. doi: 10.1109/TCST.2005.847331.
- Kiyani, M. N., & Khan, M. U. M., (2016). A prototype of search and rescue robot. *The 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI)* (pp. 208-213). Rawalpindi: IEEE. doi: 10.1109/ICRAI.2016.7791255.
- Lin, S. C., Tsai, C. C., & Huang, H. C., (2011). Adaptive robust self-balancing and steering of a two-wheeled human transportation vehicle. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 62, 103–123. <https://doi.org/10.1007/s10846-010-9460-5>.
- Mohamed, E. A., Mo'men, A., Hossam, H. A., & Raafat, S., (2020). Steering control for autonomous vehicles using PID control with gradient descent tuning and behavioral cloning. *2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conf. (NILES)* (pp. 583-587). Giza, Egypt: IEEE. doi: 10.1109/NILES50944.2020.9257946.
- Ngoc, K. V., & Hong, Q. N., (2020). Balancing control of two-wheel bicycle problems. mathematical problems. *Engineering*, 2020, 6724382. <https://doi.org/10.1155/2020/6724382>.
- Norhafizan, A., Raja, A. R. G., & Nazirah, M. K., (2013). Reviews on various Inertial Measurement Unit (IMU) sensor applications. *International Journal of Signal Processing Systems*, 1(2), 256-262. doi:10.12720/ijsp.1.2.256-262

- Osama, J., Mohsin, J., Yasar, A., & Khubab, A. (2014). Modeling, control of a two-wheeled self-balancing robot. *International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE)* (pp. 191-199). Islamabad: IEEE. doi:10.1109/iCREATE.2014.6828364.
- Ozguner, U., Unyelioglu, K. A., & Hatipoglu, C., (1995). An analytical study of vehicle steering control. *Proceedings of International Conference on Control Applications* (pp. 125-130). NY, USA: IEEE. doi: 10.1109/CCA.1995.555653.
- Park, J., & Cho, B. (2018)., Development of a self-balancing robot with a control moment gyroscope. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 15(2), 172988141877086. doi:10.1177/1729881418770865
- Qiang, L., Ranyang, L., Kaifan, J., & Wei, D. (2015). Kalman Filter and Its Application. *8th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS)* (pp. 74-77). Tianjin, China: IEEE. doi: 10.1109/ICINIS.2015.35.
- Sun, J., Xu, T., Jiao, Z., & Wang, H., (2022). Mechanics of the gyroscopic precession and calculation of the galactic mass. *Journal of Modern Physics*, 13, 34-45. doi:10.4236/jmp.2022.131003.
- Thanh, B. T., & Parnichkun, M., (2008). Balancing control of bicyrobo by particle swarm optimization-based structure-specified mixed H_2/H_∞ control. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 5(4), 6235. <https://doi.org/10.5772/6235>.
- Toshinobu, T., Ryoko, I., & Shin'ichi, Y., (2009). Baggage Transportation and Navigation by a Wheeled Inverted Pendulum Mobile Robot. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56, 10, 3985-3994. doi: 10.1109/TIE.2009.2027252.
- Wael, Y., & Mohammed, A., (2009). Design and implementation of an experimental segway model. *AIP Conference Proceedings*, 1107, 350–354. <https://doi.org/10.1063/1.3106501>.





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/>

