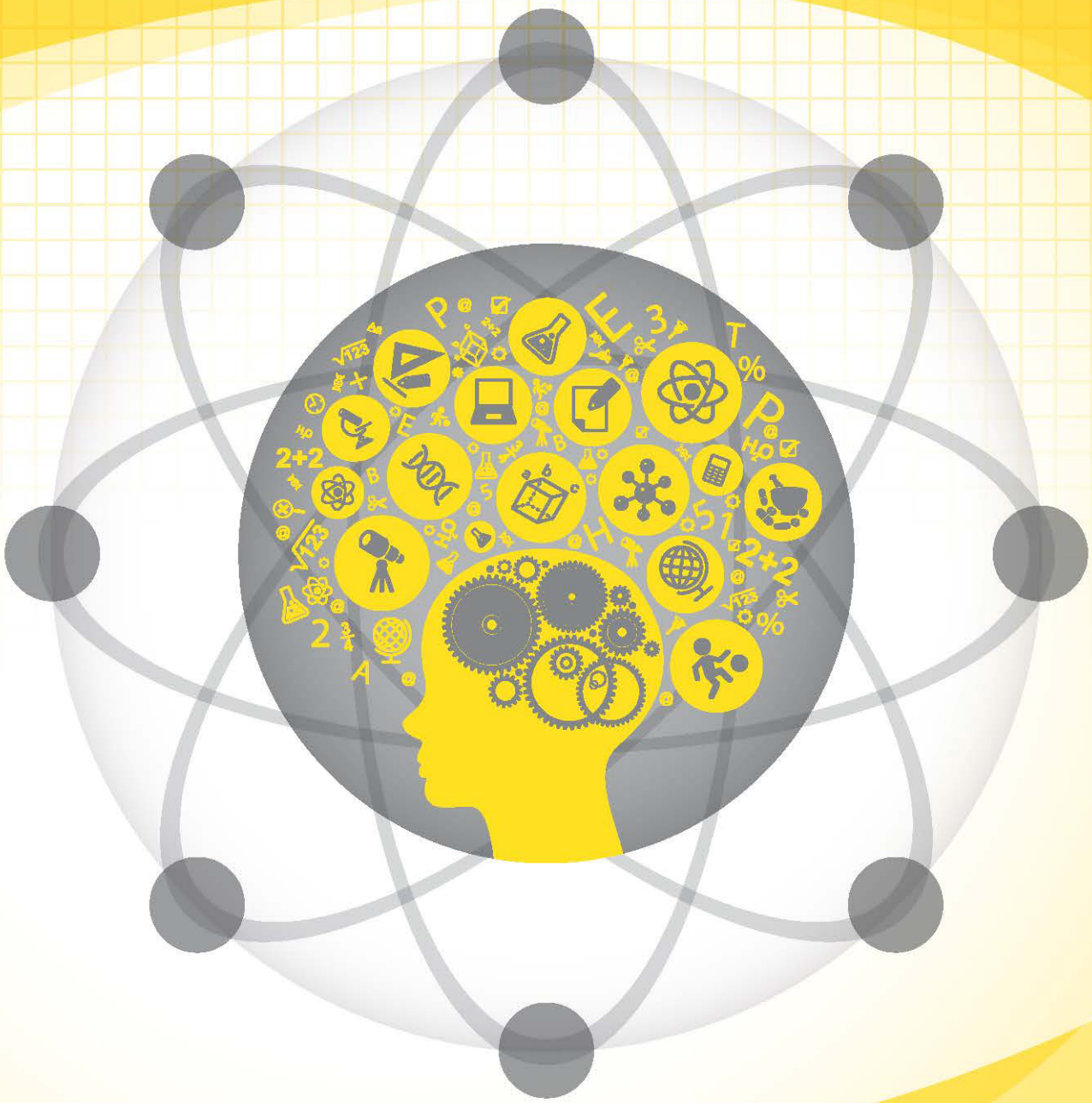
วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
EAU Heritage Journal

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology

ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน-ธันวาคม 2566 Vol. 17 No. 3 September-December 2023
ISSN 2651-1738 (Online)



นโยบายการจัดพิมพ์

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

บทความที่เสนอเพื่อตีพิมพ์

บทความที่เสนอเพื่อพิจารณาต้องเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัยทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ที่ยังไม่เคยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาในวารสารอื่น ๆ (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง) เรื่องที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ และผ่านกระบวนการพิจารณากลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาของบทความ เป็นการประเมินแบบ Double Blind Review ที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อและสังกัดของกันและกัน บทความที่ได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิและทำการปรับแก้เรียบร้อยแล้ว จึงจะได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ลงในวารสารฯ

การเตรียมต้นฉบับ

ต้นฉบับที่เสนอเพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ ต้องมีรูปแบบดังต่อไปนี้

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

การอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

ในกรณีที่ผู้เขียนต้องการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลในเนื้อเรื่อง ให้ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนามปี (APA) โดยระบุชื่อผู้แต่ง ปีพิมพ์ และเลขหน้าที่ข้อมูลปรากฏอยู่ (ชื่อ นามสกุล, ปีพิมพ์, เลขหน้า) ตัวอย่างเช่น

(ธวัชชัย สันติวงษ์, 2540, น. 142)

(Fuchs, 2004, p. 21)

ส่วนการเขียนรายการอ้างอิงท้ายเล่ม ให้ใช้ระบบการอ้างอิงแบบ APA Style (6th edition) ตัวอย่างการเขียนรายการอ้างอิง มีดังนี้

1. หนังสือ

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

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

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

2. ชื่อบทในหนังสือรายงานการประชุม

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

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

3. วารสาร

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

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

4. หนังสือพิมพ์

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

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

5. วิทยานิพนธ์

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

6. สารสนเทศจากอินเทอร์เน็ต

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

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

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

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

สถานที่ติดต่อ

ผู้สนใจเสนอบทความ สามารถติดต่อได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

200 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: 0-2577-1028 ต่อ 378

E-mail: eauheritage_sci@eau.ac.th

วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
EAU Heritage Journal
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology

ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน-ธันวาคม 2566 Vol. 17 No. 3 September-December 2023 ISSN 2651-1738 (Online)

ความเป็นมา

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

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

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 ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

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

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

ประเภทบทความที่รับ วารสารรับตีพิมพ์เผยแพร่บทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษใน 2 ประเภท ได้แก่

1. บทความวิจัย (Research Article)
2. บทความวิชาการ (Academic Article)

กำหนดการเผยแพร่ กำหนดออกเผยแพร่ราย 4 เดือน ปีละ 3 ฉบับ ดังนี้

ฉบับที่ 1: มกราคม-เมษายน (กำหนดออก เมษายน)

ฉบับที่ 2: พฤษภาคม-สิงหาคม (กำหนดออก สิงหาคม)

ฉบับที่ 3: กันยายน-ธันวาคม (กำหนดออก ธันวาคม)

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

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

โดยบทความจากบุคลากรภายใน จะได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด ส่วนบทความจากบุคลากรภายนอก จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด หรือจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

แหล่งผลิต กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

บทบาทและหน้าที่ของผู้เขียน

1. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ใดมาก่อน

2. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่จัดส่งมานั้น ไม่อยู่ระหว่างการรอตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ

3. ผู้เขียนต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ

4. ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่น หากมีการนำผลงานเหล่านั้นมาใช้ในผลงานตัวเอง รวมทั้งจัดทำรายการอ้างอิงให้ครบถ้วน

5. ผู้เขียนต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ใน Template ของวารสาร

6. ผู้เขียนที่มีรายชื่อปรากฏในบทความทุกคนต้องเป็นผู้เขียนที่มีส่วนร่วมในงานเขียนจริง ในกรณีที่เป็นบทความวิจัย ผู้เขียนทุกคนต้องมีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจริง ทั้งนี้ ผู้เขียนที่ส่งบทความต้องตรวจสอบผู้เขียนให้ครบถ้วน ทางกองบรรณาธิการไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงชื่อภายหลังการส่งบทความ

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่ตนรับผิดชอบ

2. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนและผู้ประเมินบทความแก่บุคคลใด ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

3. บรรณาธิการต้องตัดสินใจคัดเลือกบทความมาตีพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการประเมินบทความแล้ว โดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหากับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ

4. บรรณาธิการต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่อื่นมาแล้ว

5. บรรณาธิการต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ เพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ โดยต้องหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยนั้น ๆ ก่อน

6. บรรณาธิการต้องไม่มีประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน ผู้ประเมินบทความ และทีมบริหาร

7. บรรณาธิการต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่เชื่อถือได้เพื่อให้แน่ใจว่าบทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารไม่มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น

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

จรรยาบรรณการตีพิมพ์

บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ประเมินบทความต้องรักษาความลับและไม่เปิดเผยข้อมูลบางส่วนหรือทุกส่วนของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

2. หลังจากได้รับบทความจากกองบรรณาธิการวารสารฯ ผู้ประเมินบทความตระหนักว่าตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนเช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้เขียนเป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ

3. ผู้ประเมินบทความ ควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์และความเข้มข้นของผลงาน ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความ

4. ผู้ประเมินต้องระบุผลงานวิชาการที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมินแต่ผู้เขียนไม่ได้อ้างถึงเข้าไปในการประเมินบทความด้วย นอกจากนี้หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนหรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ประเมินต้องชี้แจงให้บรรณาธิการทราบด้วย

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์และสัตว์

บทความวิจัยที่ส่งเข้ามารับการตีพิมพ์ ถ้างานวิจัยเกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในมนุษย์ ผู้เขียนต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนจากสถาบันที่ผ่านการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานการวิจัยในคน สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ สำหรับการทดลองในสัตว์ต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ และอยู่ภายใต้หลักพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่าน ผู้นิพนธ์และนักวิชาการทุกท่าน กองบรรณาธิการขอแจ้งข่าวสารมายังทุกท่านว่า วารสารของเราอยู่ระหว่างดำเนินการปรับเปลี่ยนเลขมาตรฐานสากลฉบับออนไลน์ เพื่อให้ชื่อภาษาอังกฤษ (Key-title) ตรงกับชื่อภาษาอังกฤษของวารสาร

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้รับการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) ให้เป็นวารสารกลุ่มที่ 1 จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 โดยมีวัตถุประสงค์ในการตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการที่มีคุณภาพด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อันได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อมและสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ปัจจุบันวารสารมีการเผยแพร่ในรูปแบบออนไลน์ผ่านระบบ ThaiJO เพียงช่องทางเดียว

ในฉบับนี้ ทุกท่านจะได้พบกับบทความจำนวนทั้งสิ้น 18 บทความ อันประกอบไปด้วย บทความวิชาการจำนวน 3 บทความ และบทความวิจัยจำนวน 15 บทความ โดยล้วนเป็นบทความที่น่าสนใจด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ยกตัวอย่างเช่น บทความเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพในการออกแบบเครือข่ายไอพีด้วยวิธีมีมีติก ตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ การแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบอัตโนมัติ การปรับปรุงแบบจำลอง DRASTIC และประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำใต้ดินกรณีศึกษา จังหวัดลพบุรี เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟอัจฉริยะ เป็นต้น

วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 3 ของปีที่ 17 (เดือนกันยายน-ธันวาคม) ซึ่งมีกำหนดเผยแพร่ในช่วงส่งท้ายปี 2566 กองบรรณาธิการจึงขอถือโอกาสนี้ส่งความสุขแด่ทุกท่าน ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายในสากลโลก จงดลบันดาลให้ทุกท่านประสบแต่ความสุข ความเจริญ และสัมฤทธิ์ผลในสิ่งอันพึงปรารถนาทุกประการ แล้วพบกันใหม่ในฉบับแรกของปี 2567 ค่ะ

บรรณาธิการ

สารบัญ

Academic Articles

Research Articles

สารบัญ

ผลลัพธ์การตั้งครรภ์และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
Pregnancy Outcomes and Related Factors

สุนันทา ยังวนิชเศรษฐ[1] และขวัญใจ ตีอินทอง[1]
Sununta Youngwanichsetha[1] and Khuanjai Teeintong[1]
[1]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Nursing, Eastern Asia University
Received: March 10, 2023
Revised: April 24, 2023
Accepted: May 3, 2023

บทคัดย่อ

ผลลัพธ์การตั้งครรภ์เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากการปฏิสนธิ ตัวอ่อนจะพัฒนาเจริญเติบโตเป็นทารกในครรภ์และคลอดออกมาเมื่อถึงกำหนดวันคลอดที่เหมาะสม การตั้งครรภ์ที่มีผลลัพธ์ที่ดีเป็นความคาดหวังของหญิงตั้งครรภ์ ครอบครัวและบุคลากรสุขภาพ ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี หรือไม่ดีขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี เช่น การตั้งครรภ์ครบกำหนด ทารกเกิดมีชีพ มีสุขภาพดี หายใจได้ปกติ มีน้ำหนักแรกเกิดอยู่ในช่วง 2,500-3,990 กรัม โดยมีปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี ได้แก่ ปัจจัยส่งเสริมพัฒนาการของทารกในครรภ์คุณภาพและมาตรฐานการดูแลหญิงตั้งครรภ์ในห้องคลอดและทารกแรกเกิด ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี เช่น การแท้ง การคลอดก่อนกำหนด ทารกมีน้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 2,500 กรัม ทารกมีความพิการแต่กำเนิด หรือเสียชีวิตในครรภ์ ปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี ได้แก่ ปัจจัยเสี่ยงด้านพันธุกรรม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม จิตใจและภาวะแทรกซ้อนในระยะคลอด การส่งเสริมปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีและการลดปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ ที่ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีจะเป็นประโยชน์ในการดูแลสุขภาพหญิงตั้งครรภ์เพื่อให้สามารถให้กำเนิดทารกที่มีสุขภาพดี สมบูรณ์ แข็งแรงซึ่งเป็นสิ่งที่คาดหวังของทุกคน ทุกครอบครัว

คำสำคัญ: หญิงตั้งครรภ์ ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ ทารกแรกเกิด ปัจจัยเสี่ยง

Abstract

Pregnancy outcomes are developed conceptus after fertilizing until termination of pregnancy. Pregnancy with good pregnancy outcomes is desirable for pregnant women, their families, and health care providers. It may be good pregnancy outcomes or poor pregnancy outcomes, depending on related factors. Good pregnancy outcomes are term pregnancy, the lived birth of a healthy and vigorous newborn, and an appropriate birth weight of 2,500–3,990 grams. Factors related to good pregnancy outcomes are fetal growth-promoting factors, the quality and standard of intrapartum care, and newborn care. Poor pregnancy outcomes include abortion, preterm birth, low birth weight under 2,500 grams, congenital malformation, and death of the fetus. Risk factors affecting poor pregnancy outcomes are genetic risk factors, health conditions and diseases, environment, psychological factors, and intrapartum complications. Therefore, promoting factors influencing good pregnancy outcomes and avoiding factors affecting poor pregnancy outcomes would be beneficial to antenatal care for pregnant women in order to give birth to a healthy and vigorous newborn, which is the desired expectation of everybody and their families.

Keywords: pregnant women, pregnancy outcomes, newborns, risk factors

บทนำ

การตั้งครรภ์และการคลอดเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของการเจริญพันธุ์ ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ (pregnancy outcomes) เป็นสิ่งที่พัฒนามาจากตัวอ่อนหลังการปฏิสนธิภายในมดลูกของหญิงตั้งครรภ์เป็นเวลาประมาณ 38-40 สัปดาห์ กรณีทารกไม่สามารถอยู่ในครรภ์มารดาได้ครบกำหนดก็จะเกิดการแท้ง การคลอดก่อนกำหนด หรือทารกตายในครรภ์ได้ เมื่อถึงกำหนดคลอดหญิงตั้งครรภ์ก็จะคลอดทารกออกมาทางช่องคลอดหรือโดยการผ่าตัดทางหน้าท้อง (Hall, Benton, Copas & Stephenson, 2017) ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลลัพธ์ที่ดี เช่น ทารกเกิดครบกำหนด ทารกเกิดมีชีพ มีสุขภาพดี มีน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ปกติ หรือมีผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีเกิดขึ้น เช่น การแท้งบุตร การคลอดก่อนกำหนด น้ำหนักทารกแรกเกิดต่ำกว่าเกณฑ์ ทารกมีความพิการแต่กำเนิด หรือทารกเสียชีวิตในครรภ์ทำให้เกิดไร้ชีพ จากการศึกษาพบว่า หญิงตั้งครรภ์ร้อยละ 20 มีประสบการณ์ในการแท้งบุตร (Wesselink et al., 2022) ร้อยละ 11 คลอดก่อนกำหนด (Walani, 2020) และร้อยละ 6.1 คลอดทารกที่มีความพิการแต่กำเนิด (Chimah, 2022) ซึ่งเป็นภาวะสุขภาพของทารกที่เป็นผลสะท้อนมาจากภาวะสุขภาพของหญิงตั้งครรภ์ (Catalano & Shankar, 2016) กรณีหญิงตั้งครรภ์มีปัจจัยส่งเสริมพัฒนาการของทารกในครรภ์ก็จะส่งผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี ในรายที่มีปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ หรือภาวะแทรกซ้อนในระยะก่อนตั้งครรภ์ ระยะตั้งครรภ์ หรือระยะคลอดก็จะส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีขึ้นได้ ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้บุคลากรทางสุขภาพได้มองเห็นภาพรวมของผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีและไม่ดีรวมทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการให้บริการสุขภาพแก่หญิงตั้งครรภ์และศึกษาวิจัยต่อไป

ผลลัพธ์การตั้งครรภ์

ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่เกิดขึ้นในระยะตั้งครรภ์และระยะคลอด แบ่งได้เป็นผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี และผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี

1. ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี (good pregnancy outcomes) เป็นสิ่งที่หญิงตั้งครรภ์ ครอบครัว สูติแพทย์

พยาบาลผดุงครรภ์ต้องการให้เกิดขึ้น เช่น การตั้งครรภ์ครบกำหนด ทารกมีสุขภาพดี หายใจได้ปกติ มีน้ำหนักแรกเกิดอยู่ในช่วง 2,500-3,990 กรัม (Glick, Kadish & Rottenstreich, 2021) ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีเป็นผลต่อเนื่องมาจากปัจจัยส่งเสริมพัฒนาการของทารกในครรภ์และการเข้าถึงระบบบริการสุขภาพที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย

1.1 ปัจจัยส่งเสริมพัฒนาการของทารกในครรภ์ที่สำคัญ ได้แก่ ภาวะสุขภาพที่ดีของหญิงตั้งครรภ์ ภาวะโภชนาการ ออกซิเจน และฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการตั้งครรภ์และการคลอด

1.1.1 ภาวะสุขภาพที่ดีของหญิงตั้งครรภ์ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี ได้แก่ ช่วงอายุที่เหมาะสม ความดันโลหิตปกติ ระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดปกติ ช่วงอายุที่เหมาะสมในการตั้งครรภ์และมีบุตร คือ อายุ 20-35 ปี เนื่องจากอวัยวะต่าง ๆ มีพัฒนาการของโครงสร้างและการทำหน้าที่สมบูรณ์แล้วโดยเฉพาะกระดูกเชิงกราน มดลูก เนื้อเยื่อในอุ้งเชิงกรานและช่องทางคลอด ความดันโลหิตปกติอยู่ในช่วง 100/60-130/80 มิลลิเมตร/ปรอท แสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดมีประสิทธิภาพในการนำส่งเลือด ออกซิเจนและสารอาหารไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ และทารกในครรภ์ได้เพียงพอ (Ngene & Moodley, 2019) ระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดปกติ ทารกในครรภ์ต้องการกลูโคสและไขมันจากเลือดของมารดาไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่ในกรณีที่ระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดหญิงตั้งครรภ์สูงกว่าปกติจะไปสะสมเป็นคราบอุดตันอยู่ในหลอดเลือดแดงทำให้ขัดขวางการไหลเวียนเลือดไปยังทารกในครรภ์ได้

1.1.2 ภาวะโภชนาการที่ดีของหญิงตั้งครรภ์ประเมินได้จากดัชนีมวลกายปกติอยู่ในช่วง 18.5-22.9 กก./ม.^{2} และหญิงตั้งครรภ์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามเกณฑ์ของดัชนีมวลกาย คือ 7.0-18 กิโลกรัม (Siriarunrat, Tachasuksri & Deoisres, 2018) ซึ่งแสดงว่า ร่างกายได้รับสารอาหารที่เพียงพอพร้อมที่จะทำหน้าที่ตั้งครรภ์และมีบุตรได้ สารอาหารสำคัญที่จำเป็นในการพัฒนาการของทารกในครรภ์ เช่น โปรตีน ธาตุเหล็ก โฟเลต ไอโอดีน วิตามิน เป็นต้น หญิงตั้งครรภ์ต้องได้รับโปรตีนวันละ 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ธาตุเหล็กจากอาหารวันละ 200 มิลลิกรัม และจากยาเม็ดเสริมธาตุเหล็กวันละ 60 มิลลิกรัม ตลอดการตั้งครรภ์ ต้องการโฟเลตวันละ 600 ไมโครกรัม แคลเซียม วันละ 800 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส วันละ 700 มิลลิกรัม ไอโอดีนวันละ 200 ไมโครกรัม เป็นต้น (Tsakiridis, 2020)

1.1.3 ออกซิเจนมีความจำเป็นในการทำงานของเซลล์ทุกเซลล์ในร่างกายและการดำรงชีวิตของหญิงตั้งครรภ์และทารก ทารกในครรภ์จะได้ออกซิเจนจากเลือดของมารดาอย่างเพียงพอเมื่อความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงของหญิงตั้งครรภ์ไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 33 เนื่องจากเม็ดเลือดแดงเป็นตัวนำพาออกซิเจนและธาตุเหล็กไปสู่ทารกในครรภ์ผ่านทางหลอดเลือดแดงของมารดาเข้าสู่รกและผ่านทางหลอดเลือดดำสายสะดือทารก (umbilical vein) เข้าสู่หลอดเลือดแดงในตับทารก (ductus venosus) และหลอดเลือดดำใหญ่ (inferior vena cava) เข้าสู่หัวใจและปอดทารกต่อไป (Llurba Olive, Xiao, Natale & Fisher, 2018) นอกจากนี้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบการหายใจและหลอดเลือดของหญิงตั้งครรภ์และทารกต้องเป็นปกติด้วย

1.1.4 ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการตั้งครรภ์ เช่น เอสโตรเจน โปรเจสเตอโรน ฮอร์โมนฮิวแมน คอริโอนิกโกนาโดโทรฟิน อินซูลิน ไทรอยด์ มีความสำคัญในการช่วยประคับประคองให้การตั้งครรภ์ดำเนินต่อไปเป็นปกติจนถึงกำหนดคลอด ในช่วงแรกของการตั้งครรภ์ฮอร์โมนเอสโตรเจนและโปรเจสเตอโรนที่สร้างจากรังไข่จะทำหน้าที่ช่วยให้มีการเจริญเติบโตของมดลูก เยื่อบุโพรงมดลูกที่เหมาะสมต่อการฝังตัวของตัวอ่อน หลังจากนั้นฮอร์โมนฮิวแมน คอริโอนิกโกนาโดโทรฟิน (human Chorionic Gonadotropin) ซึ่งจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงอายุครรภ์ 7-12 สัปดาห์ ร่วมกับฮอร์โมนที่สร้างจากรก (human Placental Lactogen) จะทำหน้าที่ส่งเสริมการพัฒนาเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ต่อไปจนกระทั่งครบกำหนดคลอด (Solano & Arck, 2020) นอกจากนี้ภาวะสมดุลของอินซูลินและไทรอยด์ฮอร์โมนจะช่วยควบคุมการเผาผลาญสารอาหารและการใช้พลังงาน ในร่างกายมารดาและทารกซึ่งส่งผลต่อผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีด้วย (Springer, Jiskra, Limanova, Zima & Potlukova, 2017)

1.2 ระบบบริการสุขภาพที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยได้แก่ การบริการฝากครรภ์ ห้องคลอดคุณภาพและการดูแลมารดาหลังคลอด

1.2.1 การบริการฝากครรภ์

ปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุขมีนโยบายส่งเสริมให้หญิงตั้งครรภ์ไปฝากครรภ์โดยเร็วก่อนอายุครรภ์ 12 สัปดาห์ ได้ทุกโรงพยาบาลของรัฐโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย หลังจากนั้นให้ฝากครรภ์อย่างน้อย 5 ครั้งตามเกณฑ์ในช่วงอายุครรภ์ที่กำหนด คือ ครั้งที่ 2 อายุครรภ์ 13-19 สัปดาห์ ครั้งที่ 3 อายุครรภ์ 20-25 สัปดาห์ ครั้งที่ 4 อายุครรภ์ 26-31 สัปดาห์ ครั้งที่ 5 อายุครรภ์ 32-40 สัปดาห์ เพื่อตรวจประเมินภาวะสุขภาพและให้คำแนะนำในการดูแลสุขภาพและเตรียมตัวเพื่อการคลอดซึ่งทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีได้ (Chaimayo, Chareonsanti & Sriarporn, 2016)

1.2.2 คุณภาพและมาตรฐานการดูแลหญิงตั้งครรภ์ในห้องคลอด

คุณภาพและมาตรฐานการดูแลหญิงตั้งครรภ์ในห้องคลอดเป็นสิ่งที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีโดยเริ่มกระบวนการดูแลตั้งแต่การประเมินสภาพแรกรับที่ครอบคลุม รวดเร็ว การดูแลอย่างต่อเนื่องในระยะที่ 1-4 ของการคลอด การเฝ้าระวังป้องกันภาวะแทรกซ้อนที่จะเกิดขึ้น และการจัดการการดูแลมารดาและทารกที่มีประสิทธิภาพ เช่น การส่งเสริมความก้าวหน้าของการคลอด การช่วยเหลือการคลอดที่ปลอดภัย การป้องกันทารกในครรภ์และทารกแรกเกิดได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ การป้องกันการตกเลือดหลังคลอดในระยะ 2 ชั่วโมงแรก เป็นต้น (Mousa & Turingangan, 2019; Nilsson et al., 2020)

1.2.3 คุณภาพและมาตรฐานการดูแลทารกแรกเกิด

ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีต้องได้รับการดูแลที่มีคุณภาพและมาตรรฐานต่อเนื่องในทารกแรกเกิดด้วย เช่น การเฝ้าระวังภาวะพร่องออกซิเจน การหายใจลำบาก ภาวะอุณหภูมิกายต่ำ ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ ภาวะตัวเหลืองจากสารบิลิรูบินในเลือดสูง การได้รับนมมารดาอย่างเพียงพอ การให้วัคซีนต่าง ๆ เป็นต้น (Thatrimontrichai, 2019)

2. ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี (poor pregnancy outcomes) เป็นสิ่งที่ทุกคนไม่ต้องการให้เกิดขึ้นแต่ก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ถ้าหญิงตั้งครรภ์มีปัจจัยเสี่ยงทางสุขภาพด้านต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของทารกในครรภ์ และการที่ไม่สามารถเข้าถึงระบบบริการสุขภาพที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยได้เนื่องจากมีข้อจำกัดต่าง ๆ ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี เช่น การแท้ง การคลอดก่อนกำหนด ทารกมีน้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 2,500 กรัม ทารกมีความพิการแต่กำเนิด ทารกเสียชีวิตในครรภ์ เป็นต้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี อาจเป็นปัจจัยเสี่ยงที่เกิดขึ้นในระยะก่อนตั้งครรภ์ ระยะตั้งครรภ์ หรือในระยะคลอด โดยปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี ได้แก่ ปัจจัยเสี่ยงด้านพันธุกรรม ปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพ ปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยเสี่ยงด้านจิตใจ

2.1 ปัจจัยเสี่ยงด้านพันธุกรรม

ปัจจัยเสี่ยงด้านพันธุกรรมที่มีผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี ได้แก่ โรคที่มีความผิดปกติของโครโมโซม โรคธาลัสซีเมีย และหมู่เลือด Rh ลบ โรคที่เกิดจากความผิดปกติของโครโมโซม เช่น กลุ่มอาการดาวน์ (Down's syndrome) ความผิดปกติของโครโมโซมคู่ที่ 18 (Trisomy 18) เป็นต้น ทำให้ทารกมีความพิการแต่กำเนิด และมีพัฒนาการทางด้านสติปัญญาล่าช้า (Afifi, Gaber, Thomas, Taher & Tosson, 2021) สตรีตั้งครรภ์ที่เป็นโรคธาลัสซีเมียหรือพาหะทำให้ทารกเสี่ยงต่อการเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดรุนแรง พาหะโรคธาลัสซีเมีย หรือทารกเสียชีวิตในครรภ์ กรณีสตรีตั้งครรภ์มีหมู่เลือด Rh ลบ แต่งงานกับสามีหมู่เลือด Rh บวก ทำให้ทารกในครรภ์ต่อไปเสี่ยงต่อการเกิดภาวะเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolytic disease of newborn) ได้ ในกรณีที่สตรีตั้งครรภ์ไม่ได้ฉีดสารยับยั้งการสร้างแอนติบอดีต่อหมู่เลือด Rh เนื่องจากแอนติเจนของหมู่เลือด Rh ที่ผิวเม็ดเลือดแดงของทารกคนแรกกระตุ้นให้ร่างกายสตรีตั้งครรภ์สร้างแอนติบอดีต่อหมู่เลือด Rh บวก ในการตั้งครรภ์ครั้งต่อไป แอนติบอดีในร่างกายสตรีตั้งครรภ์จึงไปทำให้เม็ดเลือดแดงของทารกในครรภ์แตกได้ (Zheng et al., 2021)

2.2 ปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพ

สตรีตั้งครรภ์ที่มีปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีขึ้นได้ เช่น ภาวะน้ำหนักเกิน

หรืออ้วน โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคของต่อมไทรอยด์ โรคหัวใจ หอบหืด การติดเชื้อในระบบต่าง ๆ ปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อการไหลเวียนเลือด ออกซิเจนและสารอาหารผ่านรกไปสู่ทารกในครรภ์ ทำให้ทารกไม่สามารถพัฒนาเจริญเติบโตได้เต็มที่ซึ่งทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีได้ ดังนี้

2.2.1 ภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วน หญิงตั้งครรภ์ที่มีดัชนีมวลกายมากกว่า 25 กิโลกรัม/เมตร^2 จะมีภาวะน้ำหนักเกิน (overweight) หรือมีดัชนีมวลกายมากกว่า 30 กิโลกรัม/เมตร^2 จะมีภาวะอ้วน (obesity) ปัจจุบันหญิงตั้งครรภ์ที่มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมากขึ้นโดยพบได้ร้อยละ 24.9 ของหญิงตั้งครรภ์ที่ไปฝากครรภ์ โดยหญิงตั้งครรภ์ที่มีอายุน้อยกว่า 25 ปี และตั้งครรภ์ครั้งแรกมีแนวโน้มมีภาวะน้ำหนักเกินมากกว่าหญิงตั้งครรภ์ที่มีอายุ 25-35 ปี (Deemongkol, Limruangrong, Phahuwatanakorn & Boriboonhirunsarn, 2020) เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ให้พลังงานสูงจากน้ำตาล ฟรุกโตส ไขมันทรานส์และไขมันสัตว์ในปริมาณมากขึ้นร่วมกับการขาดการออกกำลังกายและการมีกิจกรรมทางกายที่ใช้พลังงานน้อยลงจึงทำให้มีระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดสูงสะสมเป็นเนื้อเยื่อไขมันในร่างกายทำให้มีน้ำหนักตัวเพิ่มมากขึ้น เกิดภาวะดื้ออินซูลิน มีคราบไขมันอุดตันหลอดเลือด เซลล์เยื่อบุหลอดเลือดอักเสบ หลอดเลือดแข็งและหดรัดตัว ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะแทรกซ้อนในระยะตั้งครรภ์ตามมาได้โดยเฉพาะโรคเบาหวาน และโรคความดันโลหิตสูงขณะตั้งครรภ์ ซึ่งส่งผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีตามมา เช่น การแท้งบุตร การคลอดก่อนกำหนด ทารกมีความพิการแต่กำเนิด หรือเสียชีวิตในครรภ์ได้ (Tejera et al., 2021) ทารกมีน้ำหนักมากกว่า 4,000 กรัม หรือน้อยกว่า 2,500 กรัม

2.2.2 ภาวะโลหิตจาง หญิงตั้งครรภ์ ร้อยละ 9.5-14.37 มีภาวะโลหิตจางในระยะตั้งครรภ์ โดยมีฮีโมโกลบินต่ำกว่า 11 กรัม/เดซิลิตร ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดธาตุเหล็กและโฟเลตซึ่งเป็นสารอาหารที่ช่วยเสริมสร้างเม็ดเลือดแดง หรือเกิดจากพาหะโรคธาลัสซีเมียซึ่งมีความผิดปกติในการสร้างฮีโมโกลบิน ทำให้ทารกในครรภ์ได้รับออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี เช่น การแท้งบุตร คลอดก่อนกำหนดทารกมีน้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 2,500 กรัม หรือทารกอาจเสียชีวิตได้ (Sinha, Adhikary, Phukan, Kedia & Sinha, 2021)

2.2.3 โรคเบาหวาน หญิงตั้งครรภ์อาจเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 1 (type 1 diabetes) หรือเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (type 2 diabetes) มาแล้วก่อนตั้งครรภ์ หรือเป็นโรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์ (gestational diabetes mellitus) (ADA, 2020) ซึ่งตรวจพบว่า มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติเป็นครั้งแรกในระยะตั้งครรภ์ โดยหญิงตั้งครรภ์ที่เป็นโรคเบาหวานร้อยละ 38 ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ปกติได้ (Youngwanichsetha & Phumdoung, 2016) กรณีที่ระดับน้ำตาลในเลือดหลังงดรับประทานอาหารสูงกว่า 100 มิลลิกรัม/เดซิลิตร และระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหาร 2 ชั่วโมงสูงกว่า 120 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ที่ทำให้ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ไม่ดีเกิดขึ้น เช่น ทารกมีขนาดใหญ่น้ำหนักมากกว่า 4,000 กรัม การคลอดยาก การคลอดติดไหล่ ทารกมีการบาดเจ็บระหว่างการคลอด คลอดก่อนกำหนด มีการหายใจลำบาก พิการแต่กำเนิด เสียชีวิตในครรภ์ เป็นต้น (Sharma et al., 2022)

2.2.4 โรคความดันโลหิตสูง

หญิงตั้งครรภ์อาจเป็นโรคความดันโลหิตสูงเรื้อรังมาก่อนตั้งครรภ์ (chronic hypertension) หรือมีความดันโลหิตสูงในระยะตั้งครรภ์ (gestational hypertension) ในกรณีที่ความดันโลหิตสูงเกิน 160/110 มิลลิเมตรปรอท อาจมีอาการแสดงที่รุนแรง (preeclampsia with severe features) เช่น ปวดศีรษะ ตาพร่ามัว เจ็บแน่นบริเวณลิ้นปี่ มีการทำงานของตับ และไตเสื่อมลง หรือเกิดภาวะชัก ได้ (eclampsia) ซึ่งพยาธิสภาพเหล่านี้ มีผลต่อการไหลเวียนเลือด ออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ ไปเลี้ยงทารกในครรภ์ลดลง ทำให้ทารกมีการเจริญเติบโตช้า น้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 2,500 กรัม หรือเสียชีวิตในครรภ์ได้ (Rana, Lemoine, Granger & Karumanchi, 2019)

2.2.5 โรคของต่อมไทรอยด์ หญิงตั้งครรภ์ที่ต่อมไทรอยด์สร้างฮอร์โมนน้อยกว่าปกติ (hypothyroidism) จะเสี่ยงต่อการแท้งบุตรได้ง่าย สำหรับหญิงตั้งครรภ์ที่ต่อมไทรอยด์สร้างฮอร์โมนมากกว่าปกติ (hyperthyroidism) จะเสี่ยงต่อการคลอดก่อนกำหนด และทารกแรกเกิดมีน้ำหนัก

น้อยกว่าปกติ (Nguyen, Sasso, Barton & Mestman, 2018)

2.2.6 โรคหัวใจ หญิงตั้งครรภ์ที่เป็นโรคหัวใจชนิดต่าง ๆ เช่น Atrial Septal Defect Ventricular Septal Defect Patent Ductus Arteriosus Tetralogy of Fallot Mitral stenosis จะมีพยาธิสภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจ ความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือดและปริมาตรเลือดที่ไหลเวียนผ่านรกไปเลี้ยงทารกในครรภ์ทำให้ทารกในครรภ์ได้รับเลือด ออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ น้อย อาจมีผลทำให้แท้งบุตร คลอดก่อนกำหนด ทารกมีน้ำหนักน้อยกว่า 2,500 กรัม หรือเสียชีวิตได้ (Meilvaine, Feinberg & Spiel, 2021)

2.2.7 โรคหอบหืด หญิงตั้งครรภ์ที่เป็นโรคหอบหืด (asthma) และมีอาการในระยะตั้งครรภ์ทำให้ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือดต่ำ ทารกในครรภ์ก็จะได้รับออกซิเจนน้อย ทำให้เสี่ยงต่อการแท้ง คลอดก่อนกำหนด ทารกมีน้ำหนักน้อย หรือเสียชีวิตได้ (Labor et al., 2018)

2.2.8 การติดเชื้อในระบบต่าง ๆ หญิงตั้งครรภ์อาจติดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ก่อนตั้งครรภ์หรือในระยะตั้งครรภ์ เช่น การติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ การติดเชื้อโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ การติดเชื้อตับอักเสบ บี ซึ่งการติดเชื้อเหล่านี้อาจมีผลกระทบต่อภูมิต้านทานโรคของหญิงตั้งครรภ์และอาจถ่ายทอดเชื้อโรคไปสู่ทารกได้ ทำให้เกิดการแท้งบุตร คลอดก่อนกำหนด ทารกน้ำหนักน้อยกว่า 2,500 กรัม หรือเสียชีวิตได้ (Grant et al., 2020)

2.3 ปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี เช่น มลพิษในอากาศ รังสี สารกัมมันตรังสี สารเคมี ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น สตรีตั้งครรภ์ที่สัมผัสกับมลพิษในอากาศ เช่น ฝุ่นละออง ฝุ่นขนาดเล็ก (particulate matter) ควันบุหรี่ คาร์บอนมอนอกไซด์ เชื้อไวรัสและแบคทีเรียทำให้ระคายเคืองเยื่อบุทางเดินหายใจ อาการโรคหอบหืดกำเริบ ติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ มีโอกาสเสี่ยงต่อการแท้งบุตร การคลอดก่อนกำหนดได้ (Klepac, Locatelli, Korosec, Kunzli & Kukec, 2018) นอกจากนี้การสัมผัสกับ สารกัมมันตรังสี สารเคมี ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช ทำให้ทารกในครรภ์เกิดความพิการแต่กำเนิดได้ เช่น ปากแหว่ง (cleft lip) เพดานโหว่ (cleft palate) แขน ขาสั้นผิดรูป (limb abnormalities) (Alois & Ruotolo, 2020)

2.4 ปัจจัยเสี่ยงด้านจิตใจ

ปัจจัยเสี่ยงด้านจิตใจที่ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีได้ เช่น ความเครียด ความวิตกกังวล โรคซึมเศร้า ซึ่งพบได้ในสตรีตั้งครรภ์วัยรุ่น สตรีตั้งครรภ์ที่มีอายุมากกว่า 35 ปี สตรีที่ตั้งครรภ์ไม่พึงประสงค์ ตั้งครรภ์นอกสมรส หรือมีปัญหาสัมพันธภาพกับสามี การติดเชื้อเอชไอวี ซึ่งเสี่ยงต่อการแท้งบุตร การคลอดก่อนกำหนด และทารกแรกเกิดมีน้ำหนักน้อยกว่า 2,500 กรัม (Arab, Spence, Czuzoj-Shulman & Abenhaim, 2017)

2.5 ภาวะแทรกซ้อนในระยะคลอด

ภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นในระยะคลอดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี ได้แก่ การคลอดล่าช้า การคลอดติดไหล่ และทารกขาดออกซิเจน

2.5.1 การคลอดล่าช้า (prolonged labor) หญิงตั้งครรภ์อาจมีความก้าวหน้าของการคลอดในระยะที่ 1 ล่าช้า ตั้งแต่ปากมดลูกเริ่มเปิดขยาย จนกระทั่งปากมดลูกเปิดหมดประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งในครรภ์แรกเฉลี่ย ไม่เกิน 8ชั่วโมง และครรภ์หลังเฉลี่ยไม่เกิน 12 ชั่วโมง แต่ความก้าวหน้าของการคลอดอาจล่าช้ากว่าปกติได้ในกรณีที่ทารกในครรภ์อยู่ในท่าผิดปกติ ขนาดของศีรษะทารกใหญ่กว่าช่องเชิงกราน การหดรัดตัวของมดลูกไม่มีประสิทธิภาพ และความก้าวหน้าของการคลอดในระยะที่สองล่าช้า ตั้งแต่ระยะปากมดลูกเปิดหมดจนกระทั่งทารกคลอด โดยครรภ์แรกไม่เกิน 2 ชั่วโมง และครรภ์หลังไม่เกิน 1 ชั่วโมง การคลอดล่าช้านี้อาจต้องช่วยคลอดด้วยเครื่องดึงสูญญากาศ การผ่าตัดเอาทารกออกทางหน้าท้อง ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดี ได้ เช่น ทารกมีภาวะขาดออกซิเจน มีการบาดเจ็บระหว่างการคลอด หรือเสียชีวิตได้ (Luo et al., 2020)

2.5.2 การคลอดติดไหล่ (shoulder dystocia) กรณีมีการคลอดติดไหล่นานเกิน 60 วินาที อาจมีผลทำให้ทารกขาดออกซิเจน มีการบาดเจ็บระหว่างการช่วยคลอด เช่น มีเลือดออกชั้นใต้หนังศีรษะและเยื่อหุ้มกะโหลกศีรษะ (cephalhematoma) กระดูกไหปลาร้าหัก (clavicular fracture) มีการบาดเจ็บของเส้นประสาทที่ไปเลี้ยงแขน

(Brachial plexus injuries) หรือทารกอาจเสียชีวิตได้ (Ayenew, 2021)

2.5.3 ทารกขาดออกซิเจน (birth asphyxia) ทารกแรกเกิดอาจไม่สามารถหายใจได้เองภายใน 1 นาที อาจหายใจเร็วกว่า 60 ครั้ง/นาที หรือหายใจช้ากว่า 40 ครั้ง/นาที เนื่องจากมีการกดการหายใจจากปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ ในระยะที่ 1 หรือในระยะที่ 2 ของการคลอด เช่น การคลอดล่าช้า การคลอดยาก การสำลักน้ำคร่ำที่มีขี้เทาปน สายสะดือพลัดต่ำ หรือพันคอแน่น ทำให้มีภาวะขาดออกซิเจนซึ่งจำเป็นต้องช่วยกู้ชีพด้วยการช่วยหายใจ การใส่ท่อช่วยหายใจ การกดหน้าอก หรือการใช้ยาเพื่อกระตุ้นการทำงานของหัวใจ ในกรณีทารกขาดออกซิเจนรุนแรงอาจเสียชีวิตได้ (Booranavanich & Cheawchanprapan, 2020)

สรุป

ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีเป็นสิ่งที่หญิงตั้งครรภ์ ครอบครัว ผู้ให้บริการสุขภาพ และทุกคนต้องการ ประสงค์ให้เกิดขึ้น ได้แก่ การตั้งครรภ์ครบกำหนด ทารกมีสุขภาพดี ผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดีจะเกิดขึ้นได้เป็นความรับผิดชอบและการปฏิบัติของทุกคนที่เกี่ยวข้องโดยมีปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี เช่น ปัจจัยส่งเสริมพัฒนาการของทารกในครรภ์ คุณภาพและมาตรฐานการดูแลหญิงตั้งครรภ์ในห้องคลอด และทารกแรกเกิด เป็นต้น กรณีที่หญิงตั้งครรภ์มีปัจจัยเสี่ยงด้านต่าง ๆ ได้แก่ พันธุกรรม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม จิตใจ และภาวะแทรกซ้อนในระยะคลอด จะทำให้เกิดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีได้ เช่น การแท้ง การคลอดก่อนกำหนด ทารกแรกเกิดมีน้ำหนักต่ำกว่า 2,500 กรัม ทารกพิการแต่กำเนิดหรือเสียชีวิตในครรภ์ ดังนั้นหญิงตั้งครรภ์ต้องมีพฤติกรรมในการดูแลสุขภาพที่ดี รับประทานอาหารที่มีประโยชน์เพียงพอ และมีการออกกำลังกายเป็นประจำ ไม่ให้มีภาวะน้ำหนักเกิน อ้วน หรือ เป็นโรคต่าง ๆ เช่น โรคโลหิตจาง โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหอบหืด โรคต่อมไทรอยด์เป็นพิษ การติดเชื้อต่าง ๆ เป็นต้น กรณีมีภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ก็ต้องมีการจัดการดูแล รักษาพยาบาลที่มีประสิทธิภาพ คำนึงถึงมาตรฐานแนวทางการปฏิบัติที่ปลอดภัยเพื่อให้มีผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ดี และลดผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่ดีให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

References

Afifi, H. H., Gaber, K. R., Thomas, M. M., Taher, M. B., & Tosson, A. M. S. (2022). Genetic Implications in High-Risk Pregnancy and Its Outcome: A 2-Year Study. *American Journal of Perinatology, 39*(15), 1659–1667. https://doi.org/10.1055/s-0041-1724002

Alois, C. I., & Ruotolo, R. A. (2020). An overview of cleft lip and palate. *JAAPA: official journal of the American Academy of Physician Assistants, 33(*12), 17–20. https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000721644.06681.06

American Diabetes Association (ADA). (2020). Standards of medical care in diabetes-2020 abridged for primary care providers. *Clinical Diabetes: A Publication of The American Diabetes Association, 38*(1), 10-38. https://doi.org/10.2337/cd20-as01

Arab, K., Spence, A. R., Czuzoj-Shulman, N., & Abenhaim, H. A. (2017). Pregnancy outcomes in HIV-positive women: A retrospective cohort study. *Archives of Gynecology and Obstetrics, 295*(3), 599–606. https://doi.org/10.1007/s00404-016-4271-y

Ayenew, A. A. (2021). Incidence, causes, and maternofetal outcomes of obstructed labor in Ethiopia: Systematic review and meta-analysis. *Reproductive Health, 18*, 61. https://doi.org/10.1186/s12978-021-01103-0

Barton, K., Redshaw, M., Quigley, M. A., & Carson, C. (2017). Unplanned pregnancy and subsequent psychological distress in partnered women: A cross-sectional study of the role of relationship quality and wider social support. *BMC Pregnancy and Childbirth, 17*(1), 44. https://doi.org/10.1186/s12884-017-1223-x

Booranavanich, K., & Cheawchanprapan, K. (2020). Risk factors affecting to perinatal asphyxia in Faculty of Medicine Vajira hospital. *Vajira Medical Journal: Journal of Urban Medicine, 64*(1), 11-22. (in Thai)

Catalano, P. M., & Shankar, K. (2017). Obesity and pregnancy: mechanisms of short term and long term adverse consequences for mother and child. *British Medical Journal (Clinical Research ed.), 356*, j1. https://doi.org/10.1136/bmj.j1

Chimah, O. U., Emeagui, K. N., Ajaegbu, O. C., Anazor, C. V., Ossai, C. A., Fagbemi, A. J., & Emeagui, O. D. (2022). Congenital malformations: Prevalence and characteristics of newborns admitted into Federal Medical Center, Asaba. *Health Science Reports, 5*(3), e599. https://doi.org/10.1002/hsr2.599

Chaimayo, N., Chareonsanti, J., & Sriarporn, P. (2016). Factors related to prenatal care among adolescent pregnants. *Journal of Nursing and Health Care, 34*(4), 106-114. (in Thai)

Cochrane, L., Brumpton, K., Winter, S., Bell, K., Burnham, H., Wadwell, K., & Kitchener, S. (2019). Prevalence and outcomes of overweight and obesity among pregnant women in rural Queensland. *The Australian Journal of Rural Health, 27*(2), 164–169. https://doi.org/10.1111/ajr.12495

Glick, I., Kadish, E., & Rottenstreich, M. (2021). Management of pregnancy in women of advanced maternal age: Improving outcomes for mother and baby. *International Journal of Women's Health, 13*, 751–759. https://doi.org/10.2147/IJWH.S283216

Grant, J. S., Chico, R. M., Lee, A. C., Low, N., Medina-Marino, A., Molina, R. L., Morroni, C., Ramogola-Masire, D., Stafylis, C., Tang, W., Vallely, A. J., Wynn, A., Yeganeh, N., & Klausner, J. D. (2020). Sexually transmitted infections in pregnancy: A narrative review of the global research gaps, challenges, and opportunities. *Sexually Transmitted Diseases, 47*(12), 779–789. https://doi.org/10.1097/OLQ.0000000000001258

Hall, J. A., Benton, L., Copas, A., & Stephenson, J. (2017). Pregnancy intention and pregnancy outcome: Systematic review and meta-analysis. *Maternal and Child Health Journal, 21*(3), 670–704. https://doi.org/10.1007/s10995-016-2237-0

Klepac, P., Locatelli, I., Korošec, S., Künzli, N., & Kukec, A. (2018). Ambient air pollution and pregnancy outcomes: A comprehensive review and identification of environmental public health challenges. *Environmental Research, 167*, 144–159. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.07.008

Kanungbutr, P., Olankitvanich, S., Noikerd, T., & Kaoloung, K. (2022). The development of maternity nursing care system to prevent and care postpartum hemorrhage in Pathumthani Province. *Journal of Health Science Research, 16*(1), 63-75. (in Thai)

Labor, S., Tir, A. M. D., Plavec, D., Juric, I., Roglic, M., Vukelie, J. P., & Labor, M. (2018). What is safe enough-asthma in pregnancy: A review of current literature and recommendation. *Asthma Research and Practice, 4*, 11. https://doi,org/10.1186/s40733-018-0046-5

Lean, S. C., Derricott, H., Jones, R. L., & Heazell, A. E. P. (2017). Advanced maternal age and adverse pregnancy outcomes: A systematic review and meta-analysis. *PloS One, 12*(10), e0186287. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186287

Llurba Olive, E., Xiao, E., Natale, D. R., & Fisher, S. A. (2018). Oxygen and lack of oxygen in fetal and placental development, feto-placental coupling, and congenital heart defects. *Birth Defects Research, 110*(20), 1517–1530. https://doi.org/10.1002/bdr2.1430

Luo, J. Fan, C., Luo, M., Fang, J, Zhou, S., & Zhang, F. (2020). Pregnancy complications among nulliparous and multiparous women with advanced maternal age: A community-based perspective cohort study in China. *BMC Pregnancy and Childbirth, 20*, 581. https://doi.org/10.1186/s12884-020-03284-1

Mcilvaine, S., Feinberg, L., & Spiel, M. (2021). Cardiovascular disease in pregnancy. *NeoReviews, 22*(11), e747–e759. https://doi.org/10.1542/neo.22-11-e747

Mousa, O., & Turingangan, O. (2019. Quality of care in the delivery room: Focusing on respectful maternal care practices. *Journal of Nursing Education and Practice, 9*(1), 1-6. https://doi.org/10.5430/jnep.v9n1p1

Ngene, N. C., & Moodley, J. (2019). Blood pressure measurement in pregnancy and in hypertensive disorders of pregnancy: devices, techniques and challenges. *Cardiovascular Journal of Africa, 30*(2), 120–129. https://doi.org/10.5830/CVJA-2018-067

Nguyen, C. T., Sasso, E. B., Barton, L., & Mestman, J. H. (2018). Grave ‘s hyperthyroidism in pregnancy: A clinical review. *Clinical Diabetes and Endocrinology, 4*, 4, https://doi.org/10.1186/s40842-018-0054-7.

Nilsson, C., Wijk, H., Höglund, L., Sjöblom, H., Hessman, E., & Berg, M. (2020). Effects of birthing room design on maternal and neonate outcomes: A systematic review. *HERD, 13*(3), 198–214. https://doi.org/10.1177/1937586720903689

Peebles, P. J., Duello, T. M., Eickhoff, J. C., & McAdams, R. M. (2020). Antenatal and intrapartum risk factors for neonatal hypoxic ischemic encephalopathy. *Journal of Perinatology: Official Journal of the California Perinatal Association, 40*(1), 63–69. https://doi.org/10.1038/s41372-019-0531-6

Rana, S., Lemoine, E., Granger, J. P., & Karumanchi, S. A. (2019). Preeclampsia: Pathophysiology, challenges, and perspectives. *Circulation Research, 124*(7), 1094–1112. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.118.313276

Sinha, A., Adhikary, M., Phukan, J. P., Kedia, S., & Sinha, T. (2021). A study on anemia and its risk factors among pregnant women attending antenatal clinic of a rural medical college of West Bengal. *Journal of Family Medicine and Primary Care, 10*(3), 1327–1331. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_1588_20

Siriarunrat, S., Tachasuksri, T., & Deoisres, W. (2018). Prevalence and factors affected to excessive gestational weight gain among pregnant woman in the Eastern part of Thailand. *Journal of Public Health Nursing, 32*(3), 19-36. (in Thai)

Springer, D., Jiskra, J., Limanova, Z., Zima, T., & Potlukova, E. (2017). Thyroid in pregnancy: From physiology to screening. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 54*(2), 102–116. https://doi.org/10.1080/10408363.2016.1269309

Sharma, A. K., Singh, S., Singh, H., Mahajan, D., Kolli, P., Mandadapu, G., Kumar, B., Kumar, D., Kumar, S., & Jena, M. K. (2022). Deep Insight of the Pathophysiology of Gestational Diabetes Mellitus. *Cells, 11*(17), 2672. https://doi.org/10.3390/cells11172672

Tejera, E., Sánchez, M. E., Henríquez-Trujillo, A. R., Pérez-Castillo, Y., & Coral-Almeida, M. (2021). A population-based study of preeclampsia and eclampsia in Ecuador: Ethnic, geographical and altitudes differences. *BMC Pregnancy and Childbirth, 21*(1), 116. https://doi.org/10.1186/s12884-021-03602-1

Thatrimontrichai, A. (2019). Evidence-based neonatal care. *Journal of Health Science and Medical Research, 37*(3), 163-169. (in Thai)

Tsakiridis, I., Kasapidou, E., Dagklis, T., Leonida, I., Leonida, C., Bakaloudi, D. R., & Chourdakis, M. (2020). Nutrition in pregnancy: A comparative review of major guidelines. *Obstetrical & Gynecological Survey, 75*(11), 692–702. https://doi.org/10.1097/OGX.0000000000000836

Uwizeye, D., Muhayiteto, R., Kantarama, E., Wiehler, S., & Murangwa, Y. (2020). Prevalence of teenage pregnancy and the associated contextual correlates in Rwanda. *Heliyon, 6*(10), e05037. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05037

Vally, F., Presneill, J., & Cade, T. (2017). Macrosomia rates in women with diet-controlled gestational diabetes: A retrospective study. *Journal of Pregnancy, 2017*, 4935397. https://doi.org/10.1155/2017/4935397

Walani S. R. (2020). Global burden of preterm birth. International journal of Gynaecology and Obstetrics: *The Official Organ of The International Federation of Gynaecology and Obstetrics, 150*(1), 31–33. https://doi.org/10.1002/ijgo.13195

Wesselink, A. K., Wise, L. A., Hatch, E. E., Mikkelsen, E. M., Savitz, D. A., Kirwa, K., & Rothman, K. J. (2022). A prospective cohort study of seasonal variation in spontaneous abortion. *Epidemiology (Cambridge, Mass.), 33*(3), 441–448. https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000001474

Youngwanichsetha, S., & Phumdoung, S. (2017). Lived experience of blood glucose self-monitoring among pregnant women with gestational diabetes mellitus: A phenomenological research. *Journal of Clinical Nursing, 26*(19-20), 2915–2921. https://doi.org/10.1111/jocn.13571

Zheng, W., Yang, C., Yang, S., Sun, S., Mu, M., Rao, M., Zu, R., Yan, J., Ren, B., Yang, R., & Guan, Y. (2021). Obstetric and neonatal outcomes of pregnancies resulting from preimplantation genetic testing: A systematic review and meta-analysis. *Human Reproduction Update, 27*(6), 989–1012. https://doi.org/10.1093/humupd/dmab027

Zhu, Y., & Zhang, C. (2016). Prevalence of Gestational Diabetes and Risk of Progression to Type 2 Diabetes: A Global Perspective. *Current diabetes reports, 16*(1), 7. https://doi.org/10.1007/s11892-015-0699-x

การดูแลผู้ป่วยเด็กเบาหวานชนิดที่ 1 โดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง: การศึกษาผู้ป่วยรายกรณี

Family-Centered Care for Children with Type 1 Diabetes: A Case Study

ภัทร์ภร ลิมป์ลาวัณย์[1] สุชาดา ธนะพงศ์พร[1] และสุรีทร ส่งกลิ่น[1]

Pattaporn Limlawan[1], Suchada Thanapongporn[1] and Sureetorn Songklin[1]

[1]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

[1]School of Nursing, Eastern Asia University

Received: August 30, 2023

Revised: October 5, 2023

Accepted: October 12, 2023

บทคัดย่อ

โรคเบาหวานชนิดที่ 1 เป็นปัญหาสาธารณสุขที่พบมากในเด็กและวัยรุ่น ผู้ป่วยเด็กที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 1 ต้องฉีดอินซูลินไปตลอดชีวิต หากควบคุมเบาหวานได้ไม่ดีก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เด็กเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยภาวะแทรกซ้อนฉุกเฉินบ่อยครั้งจากระดับน้ำตาลในเลือดต่ำหรือสูง เป้าหมายในการดูแลโรคเบาหวานชนิดที่ 1 จะช่วยป้องกันการเกิดภาวะแทรกซ้อนแบบเฉียบพลันและการเกิดภาวะแทรกซ้อนในระยะยาวในเด็กได้ โดยการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้ใกล้เคียงปกติมากที่สุด ดังนั้น ในการดูแลเด็กที่ป่วยด้วยโรคเบาหวานชนิดที่ 1 ครอบครัวจะต้องมีความรู้และความเข้าใจในหลายเรื่อง เช่น การบริหารยาอินซูลิน การรับประทานอาหาร การทำกิจวัตรประจำวัน เป็นต้น การให้ความรู้และสนับสนุนช่วยเหลือครอบครัวในการดูแลผู้ป่วยเด็กโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางจึงมีความสำคัญ เนื่องจากโรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่ต้องดูแลรักษาต่อเนื่อง การรักษามีจุดประสงค์และเป้าหมายเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะแทรกซ้อน ทำให้ผู้ป่วยเด็กมีสุขภาพดีและมีคุณภาพชีวิตที่ดี พยาบาลควรให้ความรู้และสร้างทักษะในการดูแลผู้ป่วยเด็กและครอบครัวจะนำไปสู่ผลการรักษาที่ดีป้องกันภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ได้ ทำให้ผู้ป่วยเด็กที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 1 สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันการเกิดภาวะแทรกซ้อน ลดอัตราการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการรักษา รวมไปถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดีของเด็กอีกด้วยการดูแลผู้ป่วยเด็กโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางจะนำไปสู่ผลลัพธ์ด้านสุขภาพที่ดีในการดูแลผู้ป่วยและครอบครัวที่ดีขึ้น

คำสำคัญ: โรคเบาหวานชนิดที่ 1 การดูแลผู้ป่วยเด็กโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง คุณภาพชีวิต

Abstract

Type 1 diabetes is a common public health problem in children and adolescents. Children with type 1 diabetes need insulin injections. If diabetes is poorly controlled, it will cause frequent hospitalizations in children for emergency complications. The goals blood sugar levels in child care will help prevent acute and chronic complications. By controlling the sugar level close to normal, so in caring for children with type 1 diabetes, the family must have knowledge and understanding in many matters such as insulin administration. Doing daily activities, etc. Educating and supporting families in caring for pediatric patients using family as the center is therefore important. Because diabetes is a chronic disease that requires continuous care. Treatment has a purpose and goal to prevent complications. Make children healthy and have a good quality of life. Nurses should educate and build skills in caring for pediatric patients and their families nurse will lead to good treatment results can prevent complications, making children with diabetes can control blood sugar levels prevent complications, reduce the rate of hospitalization and reduce the cost of treatment. Including having a good quality of life for children as well patient and family centered care leads to positive health outcomes in better patient and family care.

Keywords: type 1 diabetes, family-centered care, quality of life

บทนำ

โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่เป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญของสาธารณสุขทั่วโลกเนื่องจากพบได้บ่อยและหากผลการรักษาไม่ได้ตามเป้าหมายจะนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ในระยะยาวจากข้อมูลพบว่าผู้เป็นโรคเบาหวานทั่วโลกมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและพบอัตราการตายด้วยโรคเบาหวานเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยสถานการณ์โรคเบาหวานในภาคพื้นแปซิฟิก (Western Pacific) ปี พ.ศ. 2560 พบว่าประเทศไทยมีผู้ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน 4.8 ล้านคน ซึ่งมากเป็นอันดับ 4 รองจาก จีน อินเดีย และญี่ปุ่น (Rattarasarn, 2020) และคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2583 ประเทศไทยจะมีผู้ป่วยเบาหวานสูงถึง 5.3 ล้านคน และทั่วโลกจะมีจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคนี้มากถึง 629 ล้านคน ในปี 2588 (International Diabetes Federation, 2022)

โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus--DM) คือโรคที่เกิดจากความผิดปกติของตับอ่อนในการผลิตฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) ได้น้อยหรือผลิตไม่ได้เลย หรือผลิตได้ปกติแต่ประสิทธิภาพการทำงานของอินซูลินลดลง ทำให้ขาดฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) หรือเกิดการดื้อต่อฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin Resistance) ส่งผลให้กระบวนการดูดซึมน้ำตาลในเลือดให้เป็นพลังงานของเซลล์ในร่างกายมีความผิดปกติหรือทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพจนเกิดน้ำตาลสะสมในเลือดปริมาณมาก ผู้คนจำนวนมากกว่าครึ่งไม่ทราบว่าตนเองป่วยเป็นโรคเบาหวาน ซึ่งสถิติการพบผู้ป่วยโรคเบาหวานนี้ยังมีจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ จากประชากรที่เป็นโรคเบาหวานที่ได้รับการวินิจฉัยและดูแลรักษามีเพียงร้อยละ 35.6 บรรลุเป้าหมายในการรักษา (American Diabetes Association (ADA), 2022) ในประเทศไทยมีเพียง 1 ใน 3 คน ที่สามารถบรรลุเป้าหมายในการรักษา ทำให้อัตราการเสียชีวิตจากโรคเบาหวานในเมืองไทยมากถึง 200 รายต่อวัน (Diabetes Association of Thailand, 2020) ซึ่งภาวะแทรกซ้อนจากโรคเบาหวานทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากโดยร้อยละ 11 ของค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพทั้งหมดในประเทศไทยถูกนำไปใช้ในการดูแลรักษาโรคเบาหวานซึ่งใกล้เคียงกับประเทศอื่น ๆ ใน

ภูมิภาคและคาดการณ์ว่าตัวเลขนี้จะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 41 ภายในปี พ.ศ. 2573 โดยค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของโรคเบาหวานต่อผู้ป่วยหนึ่งรายในประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 32,438 บาท การควบคุมโรคเบาหวานสามารถช่วยลดอัตราการเกิดภาวะแทรกซ้อนและยังนำมาซึ่งผลลัพธ์ทางสุขภาพทดีขึ้นและลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากโรคเบาหวานได้ (World Health Organization, 2020) โรคเบาหวานแบ่งเป็น 4 ชนิด (American Diabetes Association, 2020) ได้แก่

1. เบาหวานชนิดที่ 1 (Type 1 diabetes mellitus or Insulin-Dependent Diabetes Mellitus--IDDM) เบาหวานชนิดนี้มักพบในเด็กและผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 20 ปี จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าโรคเบาหวานในเด็กและวัยรุ่น (juvenile diabetes mellitus) สาเหตุเกิดจากตับอ่อนไม่สามารถผลิตอินซูลินเนื่องจากเบตาเซลล์ (β cells) ของตับอ่อนถูกทำลายจากระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายจึงต้องได้รับอินซูลินทดแทนตลอดชีวิตเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติหรือใกล้เคียงปกติมากที่สุดหากไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้จะทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนทั้งในลักษณะเฉียบพลันและเรื้อรัง

2. เบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 diabetes mellitusor Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus--NIDDM) มักพบในผู้ที่มีอายุมากกว่า 30-40 ปีขึ้นไปแต่ในปัจจุบันมีแนวโน้มจะพบในเด็กและวัยรุ่นได้มากขึ้นเบาหวานชนิดนี้ตับอ่อนของผู้ป่วยยังสามารถผลิตอินซูลินได้แต่ไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย หรือผลิตได้เพียงพอแต่เกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน (Insulin Resistance) จึงทำให้มีน้ำตาลคั่งในเลือด

3. เบาหวานขณะตั้งครรภ์ (Gestational Diabetes Mellitus--GDM) โดยจะพบได้ในขณะตั้งครรภ์แต่หลังจากคลอดบุตรระดับน้ำตาลในเลือดของมารดาจะกลับสู่ภาวะปกติ มักจะเป็นเบาหวานซ้ำอีกเมื่อตั้งครรภ์ใหม่และจะมีความเสี่ยงต่อการเป็นเบาหวานเรื้อรังตามมาได้ในระยะยาว

4. เบาหวานที่พบร่วมกับโรคหรือภาวะผิดปกติทางกรรมพันธุ์ (specific types of diabetes due to other cause) เป็นโรคเบาหวานที่พบร่วมกับโรคติดเชื้อ เช่น คางทูม หัดเยอรมันโดยกำเนิด หรือเบาหวานที่พบร่วมกับโรคอื่น ๆ เช่น ตับอ่อนอักเสบเรื้อรัง มะเร็งตับอ่อน เนื้องอกต่อมหมวกไต เป็นต้น

จากจำนวนผู้ที่เป็นโรคเบาหวานทั้งหมดพบว่า โรคเบาหวานในเด็กและวัยรุ่นส่วนใหญ่เป็นเบาหวานชนิดที่ 1 โดยในปี พ.ศ. 2565 พบผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีอายุต่ำกว่า 20 ปี จำนวน 1.52 ล้านคน หรือประมาณร้อยละ 10 จากประชากรทั่วโลก (International Diabetes Federation, 2022) สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันพบว่า เบาหวานในเด็กและวัยรุ่นที่ได้รับการวินิจฉัยขณะอายุน้อยกว่า 15 ปี ประกอบด้วยเบาหวานชนิดที่ 1 ร้อยละ 74 และจากสถิติมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-5 ต่อปีและยังพบเบาหวานชนิดที่ 2 ในเด็กและวัยรุ่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 19 ซึ่งสัมพันธ์กับโรคอ้วนในเด็กที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Dejkhamron et al., 2021) อายุเฉลี่ยของผู้ที่ได้รับการวินิจฉัยเบาหวานครั้งแรก คือ 7 ปี 6 เดือน อายุของผู้ป่วยต่ำสุด คือ 2 ปี 7 เดือน และสูงสุดคือ 14 ปี 5 เดือน (Chantrathammachart & Boonrod, 2021) ในรายที่เป็นเบาหวานชนิดที่ 1 ผู้ป่วยมักจะมีอาการและอาการแสดงของโรคเบาหวานที่พบได้บ่อยนำมาก่อนโดยพบว่า ร้อยละ 85 มีอาการปัสสาวะบ่อย (polyuria) หรือปัสสาวะรดที่นอน (nocturnal enuresis) รองลงมาคือ หิวบ่อย (polyphagia) น้ำหนักลด (weight loss) และอาการอ่อนเพลีย (Chantrathammachart & Boonrod, 2021) อาการต่าง ๆ มักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผู้ป่วยกลุ่มนี้มักมีอายุน้อยและรูปร่างผอมบางรายอาจมาโรงพยาบาลด้วยอาการคลื่นไส้อาเจียน หายใจหอบลึก ชีพจรเบาเร็ว ความดันเลือดต่ำระดับการรู้สติลดลงหรือหมดสติจากภาวะเลือดเป็นกรดเนื่องจากมีระดับน้ำตาล (glucose) และระดับคีโตน (Ketone) ในเลือดสูง หรือที่เรียกว่าภาวะ Diabetic ketoacidosis--DKA และในประเทศไทยพบภาวะ DKA ในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นภาวะฉุกเฉินเฉียบพลันสูงถึงร้อยละ 67.8 มากกว่าผู้ป่วยเบาหวานทั่วโลกที่พบเพียงร้อยละ 30-40 เท่านั้น (Dejkhamron et al., 2022)

โรคเบาหวานชนิดที่ 1 ไม่สามารถป้องกันได้ต้องรักษาด้วยการใช้ยาฉีดอินซูลิน (Insulin) ทดแทนไปตลอดชีวิตเพื่อควบคุมปริมาณกลูโคสในเลือดแพทย์จะให้ยาฉีดอินซูลินโดยเลือกชนิดและขนาดของยาให้ตามความเหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละคนควบคู่ไปกับการควบคุมอาหารและการออกกำลังกายที่เหมาะสม (International Diabetes

Federation, 2020) การรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 1 ที่ไม่ได้ตามเป้าหมายส่งผลให้เกิดภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ตามมา ซึ่งเป้าหมายของการรักษาโรคเบาหวาน คือ การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติหรือใกล้เคียงระดับปกติ (Yu, Lee & Kim, 2022) ในปัจจุบันระดับน้ำตาลที่เป็นเป้าหมายจะมีค่าที่เหมาะในผู้ป่วยแต่ละรายโดยขึ้นกับอายุระยะเวลาที่เป็นเบาหวานการมีโรคแทรกซ้อนความเจ็บป่วยและโรคร่วมรวมถึงประวัติการเกิดน้ำตาลในเลือดต่ำ (Gonzalez et al., 2020) การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้ป่วยเบาหวานสามารถทำได้ด้วยตนเองโดยการตรวจเลือดที่ปลายนิ้วด้วยเครื่องตรวจวัดน้ำตาลในเลือดชนิดพกพาควรตรวจติดตามระดับน้ำตาลในเลือดจากปลายนิ้ว 4-6 ครั้งต่อวัน และไม่ควรน้อยกว่า 3 ครั้งต่อวัน (ElSayed et al., 2023) เพื่อประเมินผลการรักษาและป้องกันการเกิดภาวะแทรกซ้อน รวมไปถึงการวัดระดับ HbA1c (hemoglobin A1c) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินระดับน้ำตาลในเลือดโดยเฉลี่ยของผู้ป่วย การควบคุมน้ำตาลในเลือดได้ไม่ดีหรือมีระดับ HbA1c ที่สูงเกิน 7% จะสัมพันธ์กับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ (American Diabetes Association, 2022) และผู้ป่วยโรคเบาหวานควรตรวจวัดระดับ HbA1c ทุก ๆ 3-6 เดือน (Rhee, 2020)

หลักการรักษาโรคเบาหวานในเด็กและวัยรุ่นประกอบด้วย Diabetes Association of Thailand (2023)

1. การให้ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน
2. การให้อินซูลินที่เหมาะสมและถูกต้อง
3. การวางแผนโภชนาการที่เหมาะสมแก่วัยของผู้ป่วย
4. การออกกำลังกายที่ถูกต้อง
5. การติดตามควบคุมระดับน้ำตาลอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ
6. การดูแลด้านการปรับตัวสุขภาพจิตในเด็กแต่ละวัยและครอบครัว

การที่โรคเบาหวานชนิดที่ 1 เกิดขึ้นตั้งแต่ในวัยเด็กทำให้มีโอกาสเกิดน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานานส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเส้นเลือดเล็กและใหญ่ทั่วร่างกายเกิดภาวะแทรกซ้อนเรื้อรังตามมาได้แก่ เบาหวานขึ้นตา เบาหวานลงไต โรคหัวใจขาดเลือด แผลที่เท้าจากเบาหวาน เป็นต้น โรคเบาหวานชนิดที่ 1 เป็นภาวะโรคเรื้อรังที่ต้องได้รับการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวันของผู้ป่วยและครอบครัวและเนื่องจากศักยภาพของผู้ป่วยเด็กแต่ละคนไม่เท่ากันและยังไม่สามารถดูแลตนเองได้ทั้งหมดจึงต้องมีการพัฒนาความสามารถของเด็กร่วมกับพัฒนาความสามารถของผู้ดูแลไปพร้อม ๆ กัน (American Diabetes Association, 2022) การดูแลและรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 1 ให้ประสบความสำเร็จนั้นจำเป็นต้องอาศัยทีมงานที่สำคัญ ได้แก่ ผู้ป่วยและครอบครัว แพทย์พยาบาล นักสุขศึกษา นักโภชนากร นักสังคมสงเคราะห์ นักจิตวิทยา จิตแพทย์ ซึ่งต้องร่วมกันประเมินผู้ป่วยโดยให้ความรู้ความเข้าใจในด้านต่าง ๆ และร่วมวางแผนการรักษาร่วมกันโดยเน้นผู้ป่วยและครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (family-centered care) (Tantayoyai & Numsangkul, 2022)

การดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (family-centered care)

การดูแลโดยครอบครัวเป็นศูนย์กลางเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1940 โดย Rodgers ได้นำมาใช้เป็นกระบวนการต่อเนื่องในการปฏิบัติต่อผู้ป่วยในฐานะบุคคลที่มีสิทธิและความสำคัญ เคารพในสิทธิและความสามารถของผู้ป่วยในแนวทางการรักษาของตนเองโดยใช้ผู้ป่วยเป็นศูนย์กลาง (patient-centered care) (Kokorelias, Gignac, Naglie & Cameron, 2019) ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 แนวคิดของ Rodgers ถูกนำมาใช้ในโรงพยาบาลจากการดูแลผู้ป่วยเป็นศูนย์กลาง (patient-centered care) กลายเป็นการดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (family-centered care) แนวคิดนี้ได้รับการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถใช้ได้ในการรักษาสำหรับผู้ป่วยทุกเพศทุกวัยและในทุกสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะผู้ป่วยเด็กที่ยังไม่สามารถดูแลตนเองได้ทั้งหมดและการมีส่วนร่วมของครอบครัวในการตัดสินใจเกี่ยวกับการรักษาของผู้ป่วยเด็กในช่วง 20 ปีที่ผ่านมามีเพิ่มขึ้น ครอบครัวจึงมีบทบาทสำคัญในการดูแลรักษาเด็กทำให้ในปัจจุบันครอบครัวเป็นส่วนหนึ่งของทีมการรักษาสำหรับผู้ป่วย (Davidson et al., 2017)

การดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (family-centered care) มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาความรู้ด้านสุขภาพ เพิ่มทักษะในการจัดการการดูแล เพิ่มคุณภาพชีวิต และลดระยะเวลาการนอนโรงพยาบาล ช่วยลดความรุนแรงของความเครียดของสมาชิกในครอบครัวสามารถเพิ่มความพึงพอใจและความมั่นใจในงาน เพิ่มคุณภาพการดูแลผู้ป่วย ลดความเครียดและความเหนื่อยหน่ายของผู้ให้บริการด้านสุขภาพ ดังนั้นครอบครัวของผู้ป่วยจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกระบวนการดูแลสุขภาพ (Gusdal, Josefsson, Adolfsson & Martin, 2017) การพยาบาลที่ยึดครอบครัวเป็นศูนย์กลางเป็นปรัชญาที่มุ่งเน้นการมีส่วนร่วมระหว่างครอบครัวและบุคลากรด้านสุขภาพเพื่อส่งเสริมความมั่นคงของสุขภาพผู้ป่วยจึงทำให้ครอบครัวของผู้ป่วยเด็กเป็นหน่วยดูแลเด็กอย่างเป็นทางการในการวางแผนและประเมินการดูแลสุขภาพภายใต้ความร่วมมือที่เป็นประโยชน์ร่วมกันระหว่างผู้ให้บริการด้านสุขภาพ ผู้ป่วย และครอบครัว (Hsu et al., 2019) การดูแลตามแนวคิดการใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางเป็นแนวคิดที่ตระหนักถึงความสำคัญของบทบาทครอบครัวต่อสุขภาพของสมาชิกและเป็นกลยุทธ์หนึ่งในการดูแลสุขภาพอย่างต่อเนื่องพ่อแม่ควรเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการดูแลสุขภาพของเด็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรักษาที่ดี (McCarthy & Guerin, 2022) การใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางสามารถช่วยพัฒนาคุณภาพของการให้การดูแลไม่ว่าจะเป็นการช่วยลดระดับความวิตกกังวลทำให้คงความสมดุลทางอารมณ์และความคิดช่วยให้ผู้ดูแลสามารถมีส่วนร่วมในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มระดับความพึงพอใจต่อการดูแล (Shields, 2015) ซึ่งบทบาทของครอบครัวในการดูแลผู้ป่วย ได้แก่ การช่วยเหลือผู้ป่วยในการทำกิจกรรมต่าง ๆ การเรียนรู้เกี่ยวกับโรคและการดูแลผู้ป่วย การประเมินภาวะสุขภาพของผู้ป่วย การตัดสินใจจัดการแก้ไขปัญหาสุขภาพของผู้ป่วย การดูแลให้ผู้ป่วยปลอดภัย การจัดการให้ผู้ป่วยได้รับการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่องและการให้กำลังใจแก่ผู้ป่วย (Kokorelias, Gignac, Naglie & Cameron, 2019) นอกจากนี้ยังพบว่าปัญหาของครอบครัวในการให้การดูแลผู้ป่วย ได้แก่ การได้รับข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับโรค การรักษาและการดูแลผู้ป่วยยังไม่เพียงพอ ครอบครัวหรือผู้ดูแลขาดการมีส่วนร่วมในการรักษาพยาบาล มีภาวะตึงเครียดจากการให้การดูแลผู้ป่วย หรือผู้ดูแลประสบปัญหาหลาย ๆ ด้าน ทั้งด้านสุขภาพ เศรษฐกิจ และสังคม (Mackie, Mitchell & Marshall, 2019)

ภาพรวมแนวคิดหลักของการดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (Family-centered care) มุ่งเน้นครอบครัวเป็นองค์ประกอบหลัก จะต้องคำนึงถึงเอกลักษณ์และความหลากหลายของครอบครัวและเด็ก การดูแลโดยครอบครัวเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการรักษาและส่งเสริมความร่วมมือระหว่างครอบครัวกับทีมรักษาหรือทีมสหวิชาชีพ รวมไปถึงเครือข่ายที่สนับสนุนในการดูแลเด็กภายใต้การดูแลของผู้เชี่ยวชาญ การสนับสนุนครอบครัวในแผนการดูแลผู้ป่วยและการช่วยเหลือครอบครัวจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง (Petry, Ernst, Seinbrüchel-Boesch, Altherr & Naef, 2019) ผู้ป่วยเด็กและครอบครัวจะต้องร่วมมือกับผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพเพื่อกำหนดเป้าหมายและตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการความเจ็บป่วยของเด็กซึ่งเป็นแนวปฏิบัติที่ดีที่สุดในการดูแลสุขภาพเด็ก (Ridgley, Snyder & McWilliam, 2020) ซึ่งในการดูแลผู้ป่วยเด็กบนพื้นฐานของความเคารพ ความร่วมมือ และการสนับสนุนระหว่างผู้ให้บริการด้านสุขภาพหรือทีมสหสาขาวิชาชีพกับครอบครัว ทีมสหสาขาวิชาชีพจะต้องเรียนรู้เกี่ยวกับการสนับสนุนกิจวัตรต่าง ๆ ของครอบครัว การช่วยเหลือครอบครัวให้เข้าถึงทรัพยากรที่เหมาะสมเพื่อก่อให้เกิดการดูแลที่ดีต่อผู้ป่วยการปรับปรุงข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างครอบครัวกับผู้เชี่ยวชาญด้านการรักษาจะช่วยให้ผู้ป่วยและครอบครัวทราบถึงขั้นตอนการดูแล รวมไปถึงการปรับปรุงการสื่อสารระหว่างผู้ป่วยและครอบครัวจะทำให้บรรลุผลการรักษาที่ดีขึ้น (Davidson et al., 2017) ซึ่งบางครั้งอาจมีตัวแปรที่ขัดขวางหรือทำให้การนำแนวคิดนี้มาใช้แล้วไม่ประสบความสำเร็จได้แก่ ลักษณะครอบครัว/อาชีพของผู้ดูแล ทรัพยากรของครอบครัว ทัศนคติของผู้ดูแล การมีส่วนร่วมในคอบครัว วัฒนธรรม และสิทธิ์เสรีภาพ เป็นต้น (McCCatht & Guerin, 2022) รูปแบบการดูแลที่ใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางเน้นการทำงานร่วมกันระหว่างบุคลากรทางการแพทย์ ผู้ป่วย และครอบครัวในการพัฒนาแผนการดูแลรักษาการสื่อสารข้อมูลเฉพาะโรคให้กับผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวจะทำให้ได้รับข้อมูลอย่างเหมาะสมและทำให้การตัดสินใจเกี่ยวกับการรักษาได้ดีขึ้น (Tew & Ahmad Fauzi, 2020) อีกทั้งข้อมูลในการอธิบายแนวทางการดูแลที่ทีมสหสาขาวิชาชีพจะให้แก่ผู้ป่วยและครอบครัว

ควรนำเสนอด้วยภาษาที่เข้าใจได้ง่ายต่อผู้ป่วยและผู้ดูแล ซึ่งหมายถึงการลดศัพท์ทางการแพทย์ให้เหลือน้อยที่สุด จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น (Park, Giap, Lee, Jeong & Go, 2018) ซึ่งแนวคิดหลักของการดูแลผู้ป่วยโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (Smith, Swallow & Coyne, 2015) ประกอบไปด้วย

1. ผู้ปฏิบัติงานด้านการดูแลสุขภาพต้องมีความเคารพและรับฟังทางเลือกของผู้ป่วยและครอบครัว ความรู้ ค่านิยม ความเชื่อ และภูมิหลังทางวัฒนธรรมของผู้ป่วยและครอบครัวรวมอยู่ในการวางแผนการดูแลและการรักษา

2. ผู้ปฏิบัติงานด้านการดูแลสุขภาพมีการสื่อสารและแบ่งปันข้อมูลที่ครบถ้วนและเป็นกลางกับผู้ป่วยและครอบครัวด้วยวิธีที่เห็นร่วมกันและเป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยและครอบครัว เพื่อให้ผู้ป่วยและครอบครัวได้รับข้อมูลที่ทันเวลา ครบถ้วนและถูกต้อง ทำให้สามารถมีส่วนร่วมในการดูแลและตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ผู้ป่วยและครอบครัวได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีส่วนร่วมในการดูแลและตัดสินใจในการรักษา

4. ผู้ป่วย ครอบครัว ผู้ประกอบวิชาชีพด้านการดูแลสุขภาพ และผู้นำด้านการดูแลสุขภาพ ร่วมมือกันในการพัฒนานโยบายในการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกต่อการนำไปปฏิบัติและการประเมินผลจากการดูแล

นอกจากนี้ การสนับสนุนครอบครัวก็เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากสมาชิกในครอบครัวอาจได้รับผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของตนเองซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความต้องการอย่างต่อเนื่องของการดูแล บางครอบครัวอาจจะมีปัญหาทางจิตใจ มีภาวะเครียดและมีปัญหาในการรับมือกับปัญหาต่าง ๆ รูปแบบการดูแลที่เน้นครอบครัวเป็นศูนย์กลางจึงเน้นการสนับสนุนความเป็นอยู่ที่ดีของสมาชิกในครอบครัว การสนับสนุนครอบครัวมักจะรวมถึงการสนับสนุนทางอารมณ์ การให้ความรู้ การคำนึงถึงความต้องการและความชอบของผู้ดูแล รวมไปถึงค่านิยมความชอบส่วนบุคคลและความคิด สังคม ศาสนา ภูมิหลังทางวัฒนธรรมของผู้ดูแลสามารถมีอิทธิพลต่อการดูแลสมาชิกในครอบครัวได้ โดยลักษณะสำคัญห้าประการของการดูแลโดยครอบครัวเป็นศูนย์กลาง ได้แก่ ข้อมูลและการสื่อสาร การมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัว การช่วยเหลือสมาชิกในครอบครัว การสนับสนุนด้านองค์กร และทัศนคติของพยาบาล (Krajnc, 2020)

1. ข้อมูลและการสื่อสาร (communication) การแบ่งปันข้อมูลที่เหมาะสมและถูกต้องในการดูแลที่มีครอบครัวเป็นศูนย์กลางทำได้โดยการเน้นย้ำการสื่อสารและการให้ข้อมูลที่เหมาะสม (Davidson et al., 2017) การสื่อสารที่ขาดการเชื่อมต่อ คือ การรับรู้ถึงสุขภาพของผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวที่ไม่ดี ซึ่งจะทำให้ลดการมีส่วนร่วมในการดูแลผู้ป่วยของครอบครัวลงเป็นอย่างมาก การแบ่งปันข้อมูลควรดำเนินการในลักษณะที่ปรับปรุงความเข้าใจของผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัว การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพผู้ให้บริการด้านสุขภาพจะต้องมีข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับความเจ็บป่วยของผู้ป่วยโดยการให้ข้อมูลผ่านความเชี่ยวชาญพิเศษที่ผู้ให้บริการด้านสุขภาพเท่านั้นที่สามารถให้ได้ (Mackie, Michell & Marshall, 2019) การให้ข้อมูลกับผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวที่มีระดับความรู้ด้านสุขภาพจะช่วยให้ผู้ให้บริการด้านสุขภาพสามารถกำหนดความต้องการในการดูแลสุขภาพของผู้ป่วยและครอบครัวได้ (Foster et al., 2016)

2. การมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัว (involvement) ลักษณะเฉพาะประการหนึ่งของการดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางคือบทบาทเชิงรุกของสมาชิกในครอบครัวในกระบวนการดูแลสุขภาพการมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและครอบครัวควรได้รับการดูแลแบบองค์รวมโดยเน้นความสำคัญของผู้ที่มีส่วนร่วมในการดูแลซึ่งประกอบไปด้วยผู้ป่วย ผู้ดูแลหรือสมาชิกในครอบครัวและผู้ให้บริการด้านสุขภาพ ผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวสามารถมีส่วนร่วมในกระบวนการดูแลสุขภาพในระดับต่าง ๆ รวมไปถึงผู้ดูแลหรือครอบครัวสามารถมีส่วนร่วมในกิจกรรมหลักของการดูแล มีส่วนร่วมในการแบ่งปันข้อมูลและสามารถมีส่วนร่วมในการตัดสินใจร่วมกันกับทีมผู้ให้การดูแลรักษาผู้ป่วย (Park, Giap, Lee, Jeong & Go, 2018) การมีส่วนร่วมในการดูแลสุขภาพนำไปสู่ความพึงพอใจที่มากขึ้นของผู้ป่วย สมาชิกในครอบครัวและผู้ให้บริการด้านสุขภาพ (Hertel et al., 2019) การมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในกระบวนการดูแลสุขภาพและช่วยให้ผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวสามารถควบคุมการดูแลผู้ป่วยได้ (Kokorelias,

Gignac, Naglie & Cameron, 2019) ลักษณะสำคัญของการมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัวในกระบวนการดูแลสุขภาพมีผลในทางที่ดีที่ครอบครัวมีต่อผู้ป่วย บางครั้งผู้ให้บริการด้านการดูแลสุขภาพก็แสดงท่าทีไม่เหมาะสมต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัวในกระบวนการดูแลสุขภาพ อาจเนื่องมาจากความซับซ้อนของงานและประสบการณ์ในการดูแลครอบครัวเป็นศูนย์กลางยังมีน้อย (Mackie, Michell & Marshal, 2019)

3. การช่วยเหลือสมาชิกในครอบครัว (support) การสนับสนุนในด้านต่าง ๆ เป็นส่วนสำคัญของการดูแลที่มีครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (Park, Giap, Lee, Jeong & Go, 2018) อีกทั้งค่านิยมหรือความชอบส่วนบุคคล ความคิด สังคม ศาสนา ภูมิหลังทางวัฒนธรรม ของผู้ดูแลสามารถมีอิทธิพลต่อการดูแลถึงสมาชิกในครอบครัว ผู้ให้บริการด้านสุขภาพจึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับความเชื่อของครอบครัว เพื่อวางแผนในการดูแลผู้ป่วยให้สอดคล้องและเหมาะสมกับค่านิยม ความเชื่อ ศาสนา หรือภูมิหลังทางวัฒนธรรมของแต่ละครอบครัว (García-Grau, McWilliam, Martínez-Rico & Morales-Murillo, 2019) สมาชิกในครอบครัวและผู้ป่วยควรได้รับการสนับสนุนประเภทต่าง ๆ เช่น เครื่องมือที่ใช้ในการดูแลผู้ป่วย การสนับสนุนทางอารมณ์ และการสนับสนุนทางสังคม (Foster et al., 2016) ในการช่วยเหลือสมาชิกในครอบครัวจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้การสนับสนุนครอบครัวด้วย การสนับสนุนสมาชิกในครอบครัวจะเพิ่มความพึงพอใจให้กับผู้ป่วยและผู้ดูแลหรือสมาชิกในครอบครัวในกระบวนการดูแลสุขภาพ (Kokorelias, Gignac, Naglie & Cameron, 2019)

4. การสนับสนุนด้านองค์กร (organization) องค์กรในการดูแลที่มีครอบครัวเป็นศูนย์กลางควรมีนโยบายพิเศษเพื่อส่งเสริมการดูแลที่มีครอบครัวเป็นศูนย์กลาง หน่วยงานที่ให้บริการด้านการดูแลสุขภาพควรกำหนดนโยบายที่รวมความต้องการเจ้าหน้าที่ ผู้ป่วย และสมาชิกในครอบครัว โดยนโยบายขององค์กรที่เกี่ยวข้องควรครอบคลุมแง่มุมต่าง ๆ ของการดูแลที่มีครอบครัวเป็นศูนย์กลาง เช่น การติดต่อจากครอบครัว การสนับสนุนครอบครัว การสื่อสาร และการดำเนินงานในรูปแบบต่าง ๆ และการส่งเสริมให้ครอบครัวและผู้ป่วยมีส่วนร่วมในการดูแลสุขภาพ (Davidson et al., 2017) บางโรงพยาบาลใช้นักสังคมสงเคราะห์ในการช่วยเหลือค่าใช้จ่ายหรือการติดต่อกับผู้ดูแลหรือครอบครัวในการดูแลรักษาหรือการไปเยี่ยมบ้านดังนั้นบุคลากรในทีมดูแลผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 จึงจำเป็นต้องเป็นทีมสหสาขาวิชาชีพร่วมกันดูแล (Diabetes Association of Thailand, 2023) นอกจากนี้การจัดตั้งเครือข่ายชมรมเบาหวานในภูมิภาคต่าง ๆ เพื่อเชื่อมโยงและส่งเสริมการดูแลรักษาโรคเบาหวานด้วยตนเองให้แก่ผู้ป่วยเบาหวาน จะสามารถเพิ่มมาตรฐานการดูแลรักษาและประสิทธิผลในการจัดการโรคเบาหวานให้ดียิ่งขึ้น (Rattarasarn, 2020)

5. ทัศนคติของพยาบาล (attitude of nurses) ความสัมพันธ์ระหว่างความพร้อมหรือความสามารถของผู้ให้บริการด้านการดูแลสุขภาพในการมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวมีความสำคัญต่อคุณภาพของการดูแลสุขภาพ (Luttik et al., 2016) ซึ่งทัศนคติเชิงบวกของพยาบาลที่มีต่อบทบาทของครอบครัวและการสนับสนุนครอบครัวเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ให้ครอบครัวมีส่วนร่วมในการดูแลในขณะที่ทัศนคติเชิงลบของพยาบาลทำให้ลดการมีส่วนร่วมของครอบครัวลง (Gusdal, Josefsson, Adolfsson & Martin 2017) ทัศนคติของพยาบาลจึงมีความสำคัญอย่างมากในการดูแลสุขภาพ เพราะพยาบาลใช้เวลาส่วนใหญ่กับผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัว ดังนั้นพยาบาลจึงควรสนับสนุนการมีส่วนร่วมของครอบครัว และยอมรับว่าการมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัวเป็นสิ่งสำคัญ (Mackie, Mitchell & Marshall, 2019) นอกจากนี้ยังพบว่าพยาบาลที่มีประสบการณ์และความรู้มากกว่ามีความคิดเห็นเชิงบวกเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของครอบครัวมากกว่าพยาบาลที่มีประสบการณ์น้อย และควรสนับสนุนให้พยาบาลที่มีอายุมากกว่าและมีประสบการณ์มากกว่าแนะนำและให้คำปรึกษาแก่เพื่อนร่วมงานที่อายุน้อยกว่าและมีประสบการณ์น้อยกว่า เพื่อเสริมสร้างทัศนคติที่ดีในการสนับสนุนครอบครัว (Gusdal, Josefsson, Adolfsson & Martin, 2017) ทัศนคติของพยาบาลจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูแลสุขภาพ

ดังนั้น ลักษณะสำคัญห้าประการตามแนวคิดของ Krajnc (2020) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง ได้แก่ ความสำคัญของการสื่อสาร การมีส่วนร่วมของครอบครัวและสมาชิก

ในครอบครัว การสนับสนุนสมาชิกในครอบครัว องค์กรและการสนับสนุน และทัศนคติของพยาบาลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในครอบครัว

กรณีศึกษา

เด็กชายอายุ 4 ปีระดับการศึกษาอนุบาล 2 เชื้อชาติไทย ศาสนาอิสลาม การวินิจฉัยโรค Diabetic ketoacidosis with type 1 diabetes ผู้ป่วยอาศัยอยู่กับบิดาอายุ 25 ปี และย่าของผู้ป่วยอายุ 53 ปี ส่วนมารดาแยกกันอยู่กับผู้ป่วย

ประวัติการเจ็บป่วยในอดีต

1 เดือน ก่อนมาโรงพยาบาล ปัสสาวะรดที่นอนบ่อย น้ำหนักลด 6 กิโลกรัม มีอาการคลื่นไส้ เวียนศีรษะบ่อย ๆ แต่ยังไปโรงเรียนได้ตามปกติ

10 วัน ก่อนมาโรงพยาบาล มีอาการอ่อนเพลีย ทานอาหารได้น้อยลง คลื่นไส้อาเจียน วันละหลายครั้ง บิดาพาไปคลินิก ได้รับยาแก้คลื่นไส้อาเจียนมารับประทาน

2 วันก่อนมาโรงพยาบาล รับประทานอาหารได้น้อยลง คลื่นไส้อาเจียน 5 ครั้ง ไม่มีถ่ายเหลวอ่อนเพลีย

2 ชั่วโมงก่อนมา หายใจเหนื่อยหอบมากขึ้นจึงมาโรงพยาบาลแพทย์ตรวจพบ Blood Sugar=370 mg/dl จึงให้นอนพักรักษาอาการในโรงพยาบาล

พบประวัติตาและยายของผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน ก่อนมีอาการป่วยรับประทานอาหารครบ 3 มื้อ แต่ละมื้อจะรับประทานผลไม้ตามฤดูกาลบ้าง รับประทานอาหารตรงเวลา ชอบรับประทานก๋วยเตี๋ยว ขนมหวาน และนมถั่วเหลือง ไม่ชอบออกกำลังกายแต่วิ่งเล่นปกติตามวัย

ผลการตรวจร่างกาย/ ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ

รูปร่างเล็ก ผอม น้ำหนัก 18 กิโลกรัม ส่วนสูง 100 เซนติเมตร สามารถช่วยเหลือตนเองได้และสามารถทำตามคำสั่งได้ มีอาการเหนื่อยเล็กน้อย สัญญาณชีพแรกรับ T=36.8oC PR=88 ครั้ง/นาที RR=26 ครั้ง/นาที BP=112/62 mmHg. Oxygen sat=98% ผลการตรวจเลือดพบ WBC=31,000 cells/cu.mm sugar=315 mg% serum ketone=4.4 mmol/L Na+=130 mmol/L K+=3.25 mmol/L Cl+=101.9 mmol/L Co_2=4.0 mmol/L, blood gas : pH=7.17 PaCo2=13.2 mmHg PaO_2=54.2 mmHg HCO_3=9.1 mEq/L ALP=263 U/L ผลการตรวจปัสสาวะพบ ketone 3+ sugar=2+ protein=2+

การรักษาที่ได้รับขณะรับไว้ในโรงพยาบาล

ในช่วงแรกแพทย์ให้การรักษาโดยการเจาะน้ำตาลปลายนิ้ว (DTX) เพื่อประเมินระดับน้ำตาลในเลือดทุก 4 ชั่วโมง และปรับยาฉีดอินซูลิน (Insulin) โดยผู้ป่วยได้รับ Novarapid 5-5-5 unit sc ac และ Lantus 15 unit sc hs หลังปรับยา 2 วัน แพทย์ลดการเจาะ DTX เป็นก่อนอาหารและก่อนนอน ระดับน้ำตาลอยู่ในช่วง 82-144 mg% และควบคุมอาหารที่ผู้ป่วยรับประทานในแต่ละวัน โดยนักโภชนาการของโรงพยาบาลช่วยกำหนดแคลอรีในแต่ละวัน

กระบวนการดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (family-centered care)ในกรณีศึกษา

1. ข้อมูลและการสื่อสาร (communication) เริ่มด้วยการสร้างสัมพันธภาพกับผู้ป่วยและผู้ดูแลซึ่งผู้ดูแลผู้ป่วยรายนี้ คือ บิดาอายุ 25 ปี โดยการให้ข้อมูลโรคเบาหวานชนิดที่ 1 แก่ผู้ป่วยและบิดาเกี่ยวกับลักษณะของโรค การเกิดโรค อาการและอาการแสดง การรักษาที่ได้รับ และภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นหากได้รับการรักษาหรือการดูแลที่ไม่ถูกต้อง การให้ความรู้แก่ผู้ป่วยและครอบครัวจะช่วยเพิ่มทักษะในการดูแลผู้ป่วยเด็กได้ซึ่งวิธีการให้ความรู้และการรักษาจะต้องปรับตามผู้ที่เป็นโรคเบาหวานแต่ละรายโดยพิจารณาตามความเหมาะสมและความเป็นไปได้เฉพาะบุคคลดังนั้น การเชื่อมโยงข้อมูลและการสื่อสารที่ดีระหว่างผู้ป่วย ผู้ดูแล และทีมสหสาขาวิชาชีพจึงเป็นสิ่งสำคัญเพราะจะช่วยทำให้ข้อมูลที่ผู้ป่วยและผู้ดูแลได้รับถูกต้องและสอดคล้องไปในแนวทางเดียวกัน (Diabetes Association of Thailand, 2023) ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 1 ต้องได้รับการฉีดยาอินซูลินไปตลอดชีวิต ซึ่งโดยทั่วไปเด็กอายุต่ำกว่า 8 ปีสามารถฉีดยาเองได้โดยมีผู้ดูแลเป็นผู้เตรียมยาให้ อายุที่เหมาะสมที่เด็กควรได้รับการสอนให้ฉีดยาและ

เตรียมยาได้เอง คือ 9 ปี (Thanatornkeerati, 2020)

จากกรณีศึกษาพบว่า ผู้ป่วยอายุ 4 ปี รับรู้ว่าตนเองเป็นเบาหวานชนิดที่ 1 จะต้องได้รับการฉีดยาอินซูลินไปตลอดชีวิตและผู้ป่วยยังมีความกลัวในการที่จะต้องฉีดยาทุกวันเนื่องจากเมื่อถึงเวลาฉีดยาผู้ป่วยจะร้องไห้ งอแง ไม่ยอมให้ฉีดยาจะต้องมีผู้ช่วยจับหรือต้องมีบิดาช่วยจับผู้ป่วยในการฉีดยา ส่วนบิดารับรู้ว่าบุตรป่วยเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 1 แต่ตนเองก็ยังกลัวว่าจะดูแลบุตรได้ไม่ดีและยังกังวลว่าจะฉีดยาให้กับผู้ป่วยในแต่ละวันได้หรือไม่เพราะผู้ป่วยยังเด็กและยังฉีดยาเองไม่เป็น และเมื่อผู้ป่วยออกจากโรงพยาบาล ผู้ป่วยยังต้องไปโรงเรียนจึงต้องเรียนรู้ในการสอนบุตรให้ฉีดยาด้วยตนเองให้ได้ หากบุตรยังฉีดยาให้ตนเองไม่ได้ตนจะต้องไปฉีดให้ที่โรงเรียนทุกวัน ดังนั้น การดูแลที่มีครอบครัวเป็นศูนย์กลางพยาบาลจะต้องให้ข้อมูลและมีการให้ความรู้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องเหมาะสมกับผู้ป่วยและผู้ดูแลและต้องเป็นกระบวนการที่ทำต่อเนื่องสม่ำเสมอจึงจะมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลที่ดีและเมื่อเด็กสามารถกลับบ้านได้ควรทบทวนการเตรียมยาวิธีการฉีดยาและตำแหน่งที่ฉีดอีกครั้งพร้อมเอกสารคำแนะนำในการดูแลรักษาแก่ผู้ป่วยและผู้ดูแลเพราะสมาชิกในครอบครัวของพวกเขาเท่านั้นที่สามารถดูแลผู้ป่วยหลังออกจากโรงพยาบาลได้ (Mackie, Michell & Marshall, 2019)

2. การมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัว (involvement) การดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางคือบทบาทเชิงรุกของผู้ดูแลหรือสมาชิกในครอบครัวในกระบวนการดูแลสุขภาพ การมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ดีในกระบวนการดูแลสุขภาพ และช่วยให้ผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัวสามารถควบคุมการดูแลผู้ป่วยได้ (Kokorelias, Gignac, Naglie & Cameron, 2019) จากกรณีศึกษาพบว่า ผู้ป่วยอาศัยอยู่กับบิดาอายุ 25 ปี และย่าอายุ 53 ปี ส่วนมารดาแยกทางกับบิดา ดังนั้นผู้ดูแลส่วนใหญ่จึงเป็นบิดาและผู้ที่ตัดสินใจในเรื่องของการดูแลรักษาผู้ป่วยทั้งหมดจึงเป็นบิดา ส่วนย่ามีส่วนร่วมในการดูแลผู้ป่วยในเรื่องของการรับประทานอาหารในแต่ละวัน ซึ่งอาหารเป็นส่วนหนึ่งของการรักษาที่สำคัญอาหารที่ดีต่อสุขภาพจะช่วยควบคุมระดับของน้ำตาลในเลือดสิ่งสำคัญ คือ ผู้ป่วยต้องควบคุมการบริโภคแป้งและน้ำตาลให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมอยู่เสมอ รับประทานอาหารที่มีประโยชน์และรับประทานแต่ละมื้อในเวลาเดียวกันทุกวัน (Thanatornkeerati, 2020) ผู้ป่วยควรกินอาหารที่มีใยอาหารสูงเพื่อช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและควรเลือกรับประทานไขมันจากพืชมากกว่าไขมันจากสัตว์ (Annan et al., 2022) โดยในแต่ละวันบิดาจะเป็นผู้กำหนดเมนูอาหารตามที่ได้เรียนรู้จากนักโภชนาการขณะที่ผู้ป่วยได้รับการรักษาในโรงพยาบาลและให้ย่าของผู้ป่วยช่วยจัดเมนูอาหารที่ผู้ป่วยสามารถรับประทานได้อย่างเหมาะสมตามโรคของผู้ป่วย การมีส่วนร่วมในการดูแลสุขภาพผู้ป่วยของครอบครัวทำให้ผู้ป่วยมีความรู้สึกว่าสมาชิกในครอบครัวสนใจตนและดูแลตนเป็นอย่างดี นำความพึงพอใจที่มากขึ้นให้กับผู้ป่วยที่มีสมาชิกในครอบครัวพร้อมที่จะดูแล (Hertel et al., 2019)

3. การช่วยเหลือสมาชิกในครอบครัว (support) ควรให้การช่วยเหลือผู้ป่วยและครอบครัวในด้านการปรับตัวและการเตรียมความพร้อมในการเรียนรู้เรื่องโรคเบาหวานโดยทีมสหสาขาวิชาชีพร่วมกันให้การดูแล ประเมิน ช่วยเหลือผู้ป่วยและครอบครัว (ElSayed et al., 2023) สมาชิกในครอบครัวและผู้ป่วยควรได้รับการสนับสนุนประเภทต่าง ๆ เช่น เครื่องมือที่ใช้ในการดูแลผู้ป่วย การสนับสนุนทางอารมณ์และการสนับสนุนทางสังคม เป็นต้น (Foster et al., 2016) จากกรณีศึกษาพบว่า ผู้ป่วยได้รับการสนับสนุนเครื่องมือในการวัดระดับน้ำตาลในเลือดจากบริษัทยาแห่งหนึ่ง ซึ่งมีเครื่องมาให้ผู้ป่วยยืมใช้ในขณะที่ยังไม่พร้อมในการซื้ออุปกรณ์ในการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดต่อที่บ้าน และผู้ป่วยยังได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ในการฉีดยาอินซูลิน (Insulin Injection device) ชนิดปากกาจากโรงพยาบาลตามสิทธิการรักษาของโรงพยาบาล ซึ่งการสนับสนุนสมาชิกในครอบครัวจะเพิ่มความพึงพอใจให้กับสมาชิกในครอบครัวในกระบวนการดูแลสุขภาพ (Petry, Ernst, Seinbrüchel-Boesch, Altherr & Naef, 2019) รวมไปถึงการเตรียมความพร้อมของผู้ป่วยก่อนกลับเข้าสู่โรงเรียน (psycho-social adjustment and family support) โดยทีมสหสาขาวิชาชีพจำเป็นต้องประสานงานกับโรงเรียนเพื่อทำความเข้าใจกับคุณครูในการร่วมกันดูแลเมื่อเด็กกลับเข้าสู่โรงเรียน (ElSayed et al., 2023) นอกจากนี้ทีมสหสาขาวิชาชีพจะต้องมีการวางแผนเพื่อส่งต่อการดูแลรักษาในช่วงการเปลี่ยนวัยจากเด็กเป็นผู้ใหญ่การส่งต่อ

ผู้ป่วยจากคลินิกวัยรุ่นสู่คลินิกผู้ใหญ่ควรมีการเตรียมตัวในการดูแลและวางแผนการดูแลและรักษาอย่างน้อย 1 ปี ก่อนส่งต่อ ควรเริ่มเตรียมตัวในช่วงอายุ 16-19 ปี หรืออย่างช้าไม่เกินอายุ 21 ปี (Lertwattanarak & Likitmaskul, 2022) เพื่อให้ผู้เป็นเบาหวานในเด็กมีการดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างปกติสุข

4. การสนับสนุนด้านองค์กร (organization) โรงพยาบาลมีหน่วยงานที่ช่วยสนับสนุนและส่งเสริมการดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง ได้แก่ หน่วยงานในการดูแลผู้ป่วยโรคเบาหวานโดยเฉพาะ นักโภชนาการในการช่วยกำหนดอาหารที่ผู้ป่วยควรจะได้รับในแต่ละวัน และหน่วยงานที่คอยติดตามเยี่ยมบ้านในกรณีที่ผู้ป่วยจำหน่ายออกจากโรงพยาบาล รวมไปถึงหน่วยงานที่ช่วยส่งเสริมและฟื้นฟูสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Dias & Cadime, 2019) ซึ่งองค์กรในการดูแลที่มีครอบครัวเป็นศูนย์กลางเป็นสิ่งสำคัญอีกประการที่จะช่วยส่งเสริมให้ครอบครัวและผู้ป่วยมีส่วนร่วมในการดูแลสุขภาพ (Foster et al., 2016) จากกรณีศึกษาพบว่า ผู้ป่วยมีนัดพบแพทย์เพื่อติดตามอาการทุก 1 เดือน ที่โรงพยาบาล และนัดพบทีมสหสาขาวิชาชีพที่คลินิกโรคเบาหวานในการดูแลและติดตามอาการของโรคเบาหวานทุก 3-6 เดือน นอกจากนี้คลินิกโรคเบาหวานของโรงพยาบาลยังมีการติดตามทางโทรศัพท์และไปเยี่ยมผู้ป่วยที่บ้าน โดยใช้นักสังคมสงเคราะห์ในการติดต่อบุคคลในการดูแลรักษาและการเยี่ยมบ้าน ซึ่งการที่ผู้ป่วยและครอบครัวควรสามารถติดต่อสมาชิกในทีมในกรณีฉุกเฉินที่ต้องการคำแนะนำอย่างเร่งด่วนได้ตลอดเวลาและการให้คำปรึกษาในกรณีฉุกเฉินจะช่วยให้ผู้เป็นเบาหวานชนิดที่ 1 มีความยั่งยืนในการดูแลตนเองอย่างสม่ำเสมอนำไปสู่ผลการรักษาที่ดี (Tantayoyai & Numsangkul, 2022) ดังนั้นทีมสหวิชาชีพซึ่งประกอบด้วยแพทย์เฉพาะทางพยาบาลเภสัชกร นักกำหนดอาหาร และผู้ให้ความรู้โรคเบาหวานจะเป็นผู้ที่ให้การดูแลรักษาอย่างดีที่สุด สามารถช่วยทำให้การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยดีขึ้น (Rattarasarn, 2020)

5. ทัศนคติของพยาบาล (attitude of nurses) ทัศนคติเชิงบวกของพยาบาลที่มีต่อบทบาทของครอบครัวและการสนับสนุนครอบครัวเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ครอบครัวมีส่วนร่วมในการดูแล (Gusdal, Josefsson, Adolfsson & Martin 2017) จากกรณีศึกษาพบว่า พยาบาลมีความสำคัญอย่างยิ่งในการแนะนำการดูแลที่ถูกต้องและเหมาะสมให้กับผู้ป่วยและผู้ดูแล ซึ่งในกรณีศึกษานี้ได้แก่บิดา เนื่องจากผู้ป่วยต้องเข้ารับการรักษาพยาบาลที่หอผู้ป่วยเป็นเวลานาน การให้ข้อมูลในการดูแลและการรักษาที่เหมาะสมจะทำให้ผู้ดูแลและครอบครัวเข้าใจในเรื่องของโรค การดำเนินของโรคของผู้ป่วยและการให้การดูแลรักษาอย่างถูกต้อง ดังนั้น ทัศนคติของพยาบาลจึงมีความสำคัญอย่างมากในการดูแลสุขภาพของผู้ป่วย เพราะพยาบาลใช้เวลาส่วนใหญ่กับผู้ป่วยและสมาชิกในครอบครัว และยังเป็นตัวกลางในการประสานความเข้าใจระหว่างผู้ป่วยเด็กและผู้ดูแลเพื่อให้ได้แนวทางในการรักษาของผู้ป่วยแต่ละคนและแต่ละครอบครัว (Mackie, Mitchell & Marshall, 2019) ดังนั้นทัศนคติของพยาบาลจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูแลสุขภาพผู้ป่วย นอกจากนี้พยาบาลยังมีส่วนช่วยในการเสริมพลังใจให้ผู้ป่วยและครอบครัวทำให้ผู้เป็นเบาหวานสามารถอยู่กับโรคเบาหวานได้อย่างมีความสุขและมีกำลังใจที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้สอดคล้องไปกับเป้าหมายที่คาดหวังในการดูแลรักษา (International Diabetes Federation, 2022)

สรุป

ผู้ป่วยเด็กโรคเบาหวานชนิดที่ 1 ต้องการการดูแลเอาใจใส่เป็นพิเศษโดยเฉพาะเด็กเล็กหรือเด็กที่เพิ่งทราบว่า เป็นเบาหวานชนิดที่ 1 เพราะมีการเปลี่ยนแปลงในชีวิตหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการรับประทานอาหารการออกกำลังกาย การดำเนินกิจวัตรประจำวันที่ต้องเปลี่ยนแปลงไป และที่สำคัญ คือ การที่ผู้ป่วยต้องฉีดอินซูลินและเจาะเลือดทุกวัน การส่งเสริมการดูแลผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 1 ควรเน้นการบริการให้ครอบคลุมตั้งแต่ระดับปฐมภูมิ ทุติยภูมิ จนถึงระดับตติยภูมิ โดยความร่วมมือและการมีส่วนร่วมระหว่างองค์กรและเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงสาธารณสุข สมาคมวิชาชีพที่เกี่ยวข้องในด้านต่าง ๆ ในการจัดการความรู้และการจัดการข้อมูลด้านสุขภาพเพื่อให้ผู้ป่วยและครอบครัวเข้าถึงการบริการที่มีคุณภาพซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่สำคัญในการดูแลผู้ป่วย ผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับการตรวจภาวะแทรกซ้อนที่เกิดจากโรคเบาหวานเป็นระยะ ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยส่งเสริมให้ผลการรักษา

ดีขึ้น และนำไปสู่การลดลงของภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ ดังนั้น การดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางจึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาความรู้ด้านสุขภาพ เพิ่มทักษะในการจัดการการดูแล เพิ่มคุณภาพชีวิต ลดระยะเวลาการนอนโรงพยาบาล และช่วยลดความรุนแรงของความเครียดของสมาชิกในครอบครัว (McCarthy & Guerin, 2022) นอกจากนี้การดูแลโดยใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลางยังสามารถเพิ่มความพึงพอใจและความมั่นใจในงาน คุณภาพการดูแล และลดความเครียดและความเหนื่อยหน่ายของผู้ให้บริการด้านสุขภาพด้วย เช่นกัน (Gusdal, Josefsson, Adolfsson & Martin, 2017) International Diabetes Federation) การทำงานร่วมกันเป็นทีมระหว่างบุคคลากรสาธารณสุขมีความสำคัญอย่างยิ่งในการดูแลผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 โดยการใช้ครอบครัวเป็นศูนย์กลาง (family-centred care) จะช่วยให้ผู้ป่วยมีสุขภาพที่ดีและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นต่อไป

References

Annan, S. F., Higgins, L. A., Jelleryd, E., Hannon, T., Rose, S., Salis, S., Baptista, J., Chinchilla, P., & Marcovecchio, M. L. (2022). ISPAD clinical practice consensus guidelines 2022: Nutritional management in children and adolescents with diabetes. *Pediatric Diabetes, 23*(8), 1297–1321. https://doi.org/10.1111/pedi.13429

American Diabetes Association (ADA). (2020). *Treatment and care type 1 diabetes*. Retrieved from https://www.diabetes.org/diabetes/treatment-care

American Diabetes Association (ADA). (2022). *Standards of medical care in diabetes-2022 abridged for primary care providers*. Retrieved from https://diabetesjournals.org/clinical/article/40/1/10/139035/Standards-of-Medical-Care-in-Diabetes-2022

Chantrathammachart, P., & Boonrod, S. (2021). Treatment of DKA in Queen Sirikit National Institute of Child Health according to Thai society for pediatric endocrinology guideline 2020. *Journal of Emergency Medical Services of Thailand, 1*(2), 171–183. https://doi.org/10.14456/jemst.2021.17

Davidson, J. E., Aslakson, R. A., Long, A. C., Puntillo, K. A., Kross, E. K., Hart, J., Cox, C. E., Wunsch, H., Wickline, M. A., Nunnally, M. E., Netzer, G., Kentish-Barnes, N., Sprung, C. L., Hartog, C. S., Coombs, M., Gerritsen, R. T., Hopkins, R. O., Franck, L. S., Skrobik, Y., Kon, A. A., ... Curtis, J. R. (2017). Guidelines for family-centered care in the neonatal, pediatric, and adult ICU. *Critical Care Medicine, 45*(1), 103–128. https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002169

Dejkhamron, P., Santiprabhob, J., Likitmaskul, S., Deerochanawong, C., Rawdaree, P., Tharavanij, T., Reutrakul, S., Kongkanka, C., Suprasongsin, C., Numbenjapon, N., Sahakitrungruang, T., Lertwattanarak, R., Engkakul, P., Sriwijitkamol, A., Korwutthikulrangsri, M., Leelawattana, R., Phimphilai, M., Potisat, S., Khananuraksa, P., Kunsuikmengrai, K., ... Thai Type 1 Diabetes and Diabetes diagnosed Age before 30 years Registry, Care and Network (T1DDAR CN). (2022). Young-onset diabetes patients in Thailand: Data from Thai type 1 diabetes and diabetes diagnosed age before 30 years registry, care and network (T1DDAR CN). *Journal of Diabetes Investigation, 13*(5), 796–809. https://doi.org/10.1111/jdi.13732

Diabetes Association of Thailand. (2020). *Diabetes statistics*. Retrieved from https://dmthai.org/old/index.php/knowledge/the-chart/the-chart-1/1057-2021-01-19-02-32-29. (in Thai)

Diabetes Association of Thailand. (2023). *Clinical practice guidelines for diabetes 2023*. Bangkok: Srimuang Printing. (in Thai)

Dias, P. C., & Cadime, I. (2019). Child and family-centered practices in early childhood education and care services: An empirical study with families and practitioners in Portugal. *Child and Adolescent Social Work Journal, 36*(3), 285-294. https://doi.org/10.1007/s10560-019-00599-7

ElSayed, N. A., Aleppo, G., Aroda, V. R., Bannuru, R. R., Brown, F. M., Bruemmer, D., Collins, B. S., Hilliard, M. E., Isaacs, D., Johnson, E. L., Kahan, S., Khunti, K., Leon, J., Lyons, S. K., Perry, M. L., Prahalad, P., Pratley, R. E., Seley, J. J., Stanton, R. C., Gabbay, R. A., ... on behalf of the American Diabetes Association (2023). 14. Children and adolescents: Standards of care in diabetes-2023. *Diabetes Care, 46*(Suppl 1), S230–S253. https://doi.org/10.2337/dc23-S014

Foster, K., Maybery, D., Reupert, A., Gladstone, B., Grant, A., Ruud, T., Falkov, A., & Kowalenko, N. (2016). Family focused practice in mental health care: An integrative review. *Child and Youth Services, 37*(2), 129- 155. https://doi.org/10.1080/0145935X.2016.1104048

García-Grau, P., McWilliam, R. A., Martínez-Rico, G., & Morales-Murillo, C. P. (2019). Child, family, and early intervention characteristics related to family quality of life in Spain. *Journal of EarlyIntervention, 41*(1), 44-61. https://doi.org/10.1177/1053815118803772

Gonzalez, A., Deng, Y., Lane, A. N., Benkeser, D., Cui, X., Staimez, L. R., Ford, C. N., Khan, F. N., Markley Webster, S. C., Leong, A., Wilson, P. W. F., Phillips, L. S., & Rhee, M. K. (2020). Impact of mismatches in HbA1c vs glucose values on the diagnostic classification of diabetes and prediabetes. *Diabetic Medicine: A Journal of the British Diabetic Association, 37*(4), 689–696. https://doi.org/10.1111/dme.14181

Gusdal, A. K., Josefsson, K., Thors Adolfsson, E., & Martin, L. (2017). Nurses' attitudes toward family importance in heart failure care. *European Journal of Cardiovascular Nursing, 16*(3), 256–266. https://doi.org/10.1177/1474515116687178

Hertel, E., Cheadle, A., Matthys, J., Coleman, K., Gray, M., Robbins, M., Tufte, J., & Hsu, C. (2019). Engaging patients in primary care design: An evaluation of a novel approach to codesigning care. *Health Expectations: An International Journal of Public Participation in Health Care and Health Policy, 22*(4), 609–616. https://doi.org/10.1111/hex.12909

Hsu, C., Gray, M. F., Murray, L., Abraham, M., Nickel, W., Sweeney, J. M., Frosch, D. L., Mroz, T. M., Ehrlich, K., Johnson, B., & Reid, R. J. (2019). Actions and processes that patients, family members, and physicians associate with patient- and family-centered care. *BMC Family Practice, 20*(1), 35. https://doi.org/10.1186/s12875-019-0918-7

International Diabetes Federation. (2020). *Type 1 diabetes*. Retrieved from https://www.idf.org/aboutdiabetes/type-1-diabetes.html

International Diabetes Federation. (2022). *IDF diabetes atlas* (10th ed.). Retrieved from https://diabetesatlas.org/atlas/tenth-edition/

Kokorelias, K. M., Gignac, M. A. M., Naglie, G., & Cameron, J. I. (2019). Towards a universal model of family centered care: A scoping review. *BMC Health Services Research, 19*(1), 564. https://doi.org/10.1186/s12913-019-4394-5

Krajnc, A. (2020). Family-centered care: A scoping review. *Journal of Universal Excellence, 4*, 357-371. https://www.fos-unm.si/media/pdf/RUO/2020-9-4/RUO_193_Krajnc_Bercan.pdf

Lertwattanarak, R., & Likitmaskul, S. (2022). Managing diabetes in the transition from aging child entering adulthood. In J. Santiprabhob, R. Lertwattanarak and S. Sriussadaporn (Eds.). *Diabetes in children, teenagers, and young adults* (pp. 649-665). Bangkok: P.A. Living Co., Ltd. (in Thai)

Luttik, M., Goossens, E., Ågren, S., Jaarsma, T., Mårtensson, J., Thompson, D. R., Moons, P., Strömberg, A., & Undertaking Nursing Interventions Throughout Europe (UNITE) research group. (2017). Attitudes of nurses towards family involvement in the care for patients with cardiovascular diseases. *European Journal of Cardiovascular Nursing, 16*(4), 299–308. https://doi.org/10.1177/1474515116663143

Mackie, B. R., Mitchell, M., & Marshall, A. P. (2019). Patient and family members' perceptions of family participation in care on acute care wards. *Scandinavian Journal of Caring Sciences, 33*(2), 359–370. https://doi.org/10.1111/scs.12631

McCarthy, E., & Guerin, S. (2022). Family-centred care in early intervention: A systematic review of the processes and outcomes of family-centred care and impacting factors. *Child: Care, Health and Development, 48*(1), 1–32. https://doi.org/10.1111/cch.12901

Park, M., Giap, T. T., Lee, M., Jeong, H., Jeong, M., & Go, Y. (2018). Patient-and family-centered care interventions for improving the quality of health care: A review of systematic reviews. *International Journal of Nursing Studies, 87*, 69–83. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2018.07.006

Petry, H., Ernst, J., Steinbrüchel-Boesch, C., Altherr, J., & Naef, R. (2019). The acute care experience of older persons with cognitive impairment and their families: A qualitative study. *International Journal of Nursing Studies, 96*, 44–52. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2018.11.008

Rattarasarn, C. (2020). *Current situation and cooperation to reform diabetes care in Thailand*. Bangkok: Novo Nordisk Pharma Thailand Ltd. (in Thai)

Rhee, M. (2020). HbA1c and diabetes: Mismatches and Misclassifications. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 105*(7), e2630–e2632. https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa185

Ridgley, R., Snyder, P. A., & McWilliam, R. A. (2020). Individualized family service plan quality and alignment of child-focused outcomes to federal outcomes and state early learning guidelines. *Topics in Early Childhood Special Education (TECSE), 39*(4), 200-212. https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1242820.pdf

Shields, L. (2015). What is "family-centered care?". *European Journal for Person Centered Healthcare, 3*(2), 139-144. http://dx.doi.org/10.5750/ejpch.v3i2.993

Smith, J., Swallow, V., & Coyne, I. (2015). Involving parents in managing their child's long-term condition-a concept synthesis of family-centered care and partnership-in-care. *Journal of Pediatric Nursing, 30*(1), 143–159. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2014.10.014

Tantayoyai, V., & Numsangkul, S. (2022). Organizing participatory learning for people with diabetes. *Diabetes Journal, 53*(1), 15-23. (in Thai)

Tew, S. P., & Ahmad Fauzi, A. (2020). Parental perceptions of paediatric rehabilitation services using the Malay Measure of Processes of Care. *Child: Care, Health and Development, 46*(5), 585–590. https://doi.org/10.1111/cch.12773

Thanatornkeerati, N. (2020). The role of nurses in caring for pediatric diabetic patients. *Diabetes Journal, 53*(1), 24-29. (in Thai)

World Health Organization. (2020). *Adolescent health 2020*. Retrieved from https://www.who.int/health-topics/adolescent-health/#tab=tab_1

Yu, J., Lee, S. H., & Kim, M. K. (2022). Recent updates to clinical practice guidelines for diabetes mellitus. *Endocrinology and Metabolism, 37*(1), 26-37. https://doi.org/10.3803/EnM.2022.105

การศึกษาประสิทธิภาพ การออกแบบ การทำงานของเซนเซอร์วัดฝุ่นละออง
Study of the Performance and Design of Dust Sensors

ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ[1] และสุคนธ์ทิพย์ ทินาภรณ์[1]
Thatchakon Onboonuea[1] and Sukontip Tinapron[1]
[1]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Information Technology, Eastern Asia University
Received: August 30, 2023
Revised: October 17, 2023
Accepted: October 19, 2023

บทคัดย่อ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กมี 3 ขนาดที่ใช้เรียก ได้แก่ PM10 PM2.5 และ PM0.1 ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่สามารถลอยในอากาศได้ในระยะเวลานาน เนื่องจากมีอนุภาคเล็กจึงมีโอกาสในการเข้าสู่ปอดได้มากส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจในระยะยาว ในปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีแอพพลิเคชันและสมาร์ทโฟนได้รับความนิยมมากขึ้น นักพัฒนาระบบพยายามนำเครื่องมือที่เรียกว่า IoT ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ โดยการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบอัตโนมัติ เพื่อให้เลี่ยงพื้นที่อันตรายและเสี่ยงต่อการสูดดม ซึ่งอุปกรณ์ที่ช่วยในการทำงานที่สำคัญ คือ เซนต์เซอร์ ที่ทำหน้าที่หลัก ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบเซนต์เซอร์สำหรับวัดปริมาณฝุ่นละออง PM10 และ PM2.5 โดยเป็นการเปรียบเทียบการทำงานของเซนต์เซอร์ จำนวน 4 รุ่น ประกอบด้วย PM3003 PM5003 PM7003 และ GP2Y1010AU0F สำหรับการใช้งานในพื้นที่ การออกแบบ เทคนิคที่ใช้ และประเมินผลที่ได้

คำสำคัญ: เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง ฝุ่นละออง

Abstract

There are three sizes of small dust particles known as PM10 PM2.5 and PM0.1, which are particles capable of remaining suspended in the air for extended periods. Due to their small size and high likelihood of entering the lungs, they have a long-term impact on the respiratory system. In the current era where technology applications and smartphones are becoming increasingly popular, system developers are actively employing Internet of Things (IoT) tools to assist humanity. These tools automatically measure dust levels to help individuals avoid hazardous areas and the risk of inhaling pollutants. The pivotal component aiding in this critical task is the sensor. Therefore, this article aims to conduct a comparative analysis of sensors used for measuring PM10 and PM2.5 dust levels. We compare the performance of four sensor models: PM3003, PM5003, PM7003, and GP2Y1010AU0F, in terms of their suitability for field use, design, employed techniques, and the evaluation of results.

Keywords: dust sensor, dust

บทนำ

ปัจจุบันนี้ปัญหาใหญ่เรื่องหนึ่งของประเทศไทย คือ ปัญหาหมอกควันอันเกิดขึ้นจากฝุ่น PM2.5 โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้งพื้นที่ทางภาคเหนือหลายจังหวัดของประเทศไทย ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ประเทศไทยถูกจัดอันดับให้เป็นเมืองที่มีมลพิษทางอากาศสูงเป็นอันดับ 4 ของโลก โดยดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index--AQI) เป็นการรายงานคุณภาพอากาศให้ประชาชนเข้าใจได้ง่ายและเป็นการประชาสัมพันธ์ให้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละช่วงเวลาว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพระดับไหน ซึ่งค่าของดัชนีคุณภาพอากาศใช้เป็นตัวแทนความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด สำหรับประเทศไทยแบ่งเป็น 5 ระดับ แสดงดังตาราง 1 โดยดัชนีคุณภาพอากาศอยู่ที่ 177 AQI รองจากประเทศจีน เมืองอู่ฮั่นอยู่ที่ 184 AQI เมืองเฉินตูอยู่ที่ 181 AQI และประเทศอินเดียอยู่ที่ 185 AQI ซึ่งสูงเป็นอันดับหนึ่งของโลก ค่าของดัชนี AQI นี้จะเริ่มตั้งแต่ 0 ไปจนถึงมากกว่า 200 โดยค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 100 แต่หากสูงกว่า นั่นหมายถึงมลพิษทางอากาศที่เกินมาตรฐาน (Dechapong, 2023) ประเทศไทยประสบปัญหากรณีฝุ่นละอองขนาดขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) สูงขึ้นประจำทุกปี และมีความรุนแรงของฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจากเหตุการณ์โรงเรียนในเขตกรุงเทพฯ หลายแห่งทยอยสั่งหยุดเรียนเนื่องจาก PM2.5 สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพ ทางโรงเรียนจึงประกาศปิดโรงเรียนเนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 (Daily News Online, 2023) นอกจากนี้ปัญหาสภาพอากาศยังมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอันตรายต่อผู้อยู่ในกลุ่มเสี่ยง เด็ก หญิงตั้งครรภ์ ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ หอบหืด ภูมิแพ้ ประเด็นปัญหาฝุ่นละอองขนาด (PM2.5) ถูกกำหนดให้เป็นวาระแห่งชาติ โดยกำหนดในพระราชกิจจานุเบกษา ตั้งคณะกรรมาธิการวิสามัญพิจารณาศึกษาแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) อย่างเป็นระบบ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ให้นโยบายการยกระดับมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและให้เป็นไปตามแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” มาตรการที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการมลพิษ (Charoenchansa, 2022) อีกหนึ่งปัญหา พบว่าประชาชนหายใจรับฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ ถึงแม้ว่ากระทรวงสาธารณะสุขได้แนะนำช่องทางที่ประชาชนสามารถติดตามสถานการณ์ฝุ่นละอองอยู่เสมอจากแอปพลิเคชัน Air4Thai หรือเว็บไซต์//air4thai.pcd.go.th ของกรม

ควบคุมมลพิษ พร้อมแนะนำข้อปฏิบัติตนจากระดับสีค่าฝุ่น PM2.5 จากเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน ซึ่งจะแจ้งคุณภาพอากาศตั้งแต่ระดับดีมากไปจนถึงระดับมีผลกระทบต่อสุขภาพผ่านเว็บไซต์และสมาร์ทโฟนซึ่งเป็นเพียงการแจ้งเตือนให้ระวังและหลีกเลี่ยงบริเวณและสถานที่เหล่านั้น ณ ปัจจุบันมีงานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีในการตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ ผ่านเซนต์เซอร์และแสดงผลค่าฝุ่นละอองที่วัดได้ ประสิทธิภาพของเซนต์เซอร์จึงมีความสำคัญในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน พื้นที่ และสภาพแวดล้อม (Ministry of Public Health, 2020)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความหมายฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (particle matter) หมายถึง การรวมตัวกันของอนุภาคของแข็ง หยดละอองของเหลวที่แขวนลอยในอากาศ บางชนิดขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ฝุ่นจากโรงโม่หิน ฝุ่นจากโรงไม้ และบางชนิดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่อยู่รอบ ๆ ตัวมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ไปจนถึงฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน โดยฝุ่นละอองแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน สำหรับฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 10 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาทีแต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยในอากาศได้นานเป็นปี และสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ประเภทฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่นละอองที่วัดได้ ดังนี้

1) **ฝุ่นละอองรวม** (Total Suspended Particulate--TPS) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 100 ไมครอน เป็นฝุ่นละอองรวมที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน เตา ถ่านหิน แกลบ ฝุ่นชนิดนี้มีขนาดเล็กสามารถพบเห็นได้ตามสถานที่ภายในและภายนอกอาคาร

2) **ฝุ่นขนาดเล็กหรือฝุ่นหยาบ** (Particulate Matter--PM10) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน ตามคำจำกัดความของ US.EPA: United States Environmental Protection Agency (สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ) หมายถึง ฝุ่นหยาบ (course particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน มีสภาพได้ทั้งของแข็งและของเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิปกติ มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง จากการขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน

3) **ฝุ่นละเอียด** (Particulate Matter--PM2.5) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ตามคำจำกัดความของ US.EPA: United States Environmental Protection Agency (สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ) หมายถึง ฝุ่นละเอียด (fine particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOX) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละเอียดได้ ซึ่ง PM2.5 มีผลกระทบอย่างมากต่อสุขภาพของประชาชน (Mungsujaritkarn, Nusan, Nusan & Kawmorajalearn, 2021)

ค่ามาตรฐานของฝุ่นละออง

ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในประเทศไทยถูกกำหนดขึ้นเพื่อควบคุมความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยมาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะสั้น (24 ชั่วโมง) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยอย่างเฉียบพลัน (acute effect) และมาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะยาว (1 ปี) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบยาวหรือผลกระทบเรื้อรัง ที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย โดยแบ่งระดับค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ ของประเทศไทยด้วยการตั้งเกณฑ์ตามตาราง 1

ทั้งนี้ค่าความเข้มของสารมลพิษทางอากาศ ที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศเป็นไปตามเกณฑ์ดังตาราง 2 สำหรับค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย จีน อินเดีย และสิงคโปร์ รวมถึงค่ามาตรฐานขององค์การต่าง ๆ เช่น องค์การอนามัยโลก (WHO) US.EPA. และสหภาพยุโรป(EU) มีค่าตามตาราง 3

ตาราง 1

ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	คำอธิบาย
0-25	คุณภาพอากาศดีมาก	ฟ้า	คุณภาพอากาศดีมาก เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยว
26-50	คุณภาพอากาศดี	เขียว	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ
51-100	ปานกลาง	เหลือง	ประชาชนทั่วไป: สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ: หากมีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง
101-200	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	ส้ม	ประชาชนทั่วไป: ควรเฝ้าระวังสุขภาพ ถ้ามีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ: ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ถ้ามีอาการทางสุขภาพ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย ควรปรึกษาแพทย์
201 ขึ้นไป	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	แดง	ทุกคนควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้ง หลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษาแพทย์

Note. From "*Air Quality Index: AQI*" by Pollution Control Department, 2023 retrieved from http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php

ตาราง 2

ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

AQI	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	O_3 (ppb)	CO (ppm)	NO_2 (ppb)	SO_2 (ppb)
	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง		เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง		เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	
0-25	0-25	0-50	0-35	0-4.4	0-60	0-100
26-50	26-37	51-80	36-50	4.5-6.4	61-106	101-200
51-100	38-50	81-120	51-70	6.5-9.0	107-170	201-300
101-200	51-90	121-180	71-120	9.1-30.0	171-340	301-400
มากกว่า 200	91 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป	121 ขึ้นไป	30.1 ขึ้นไป	341 ขึ้นไป	401 ขึ้นไป

Note. From "Air *Quality Index: AQI*" by Pollution Control Department, 2023 retrieved from http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php

ตาราง 3

ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของต่างประเทศ

ประเทศ	PM10 (มคก./ลบ.ม.)		PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	
	24 ชั่วโมง	1ปี	24 ชั่วโมง	1ปี
องค์การอนามัยโลก (WHO)	50	20	25	10
US.EPA	50	40	-	25
สหภาพยุโรป (EU)	-	50	25	8
จีน				
-Class 1[1]	50	40	35	15
-Class 1[2]	150	70	75	35
อินเดีย	100	60	60	40
สิงคโปร์ (เป้าหมายปี 2563)	50	20	37.5	12

[1] พื้นที่คุ้มครองทางด้านสิ่งแวดล้อมและธรรมชาติ และพื้นที่ที่ต้องการป้องกันเป็นพิเศษ

[2] สำหรับที่พักอาศัย การพาณิชย์ พื้นที่อุตสาหกรรม และเขตชนบท

Note. From "*PM10 and PM2.5 characterization on the relationship of diseases related to air pollution in the area of the 4th health zone. an exploratory study* (Master's thesis)" by S. Phamorn, 2021 Copyright by National Institute of Development Administration

ระบบตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง

การทำงานของระบบตรววัดปริมาณฝุ่นละอองมีการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในแอบพลิเคชันตรวจวัดค่าฝุ่นละออง ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ดังนี้

1) **เซนต์เซอร์วัดค่าฝุ่นละออง (dust sensor)** มีการทำงานโดยอาศัยการส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ

2) **ตัวควบคุม (controller)** ทำหน้าที่ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ด (MCU ESP8266) ที่มีจำนวนขาพอร์ตอินพุตมากพอสำหรับการนำไปใช้งานเชื่อมต่อกับเซนต์เซอร์ และเชื่อมต่อกับ Wifi หรือ Internet ซึ่งสามารถสั่งให้อุปกรณ์ Output ทำงานได้ เช่น มอเตอร์ โมดูลรีเลย์ เป็นต้น

3) **MQTT Protocol** ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ทำงานบน TCP/IP Protocol ใช้งานกับแพคเก็ตข้อมูลที่รับส่งขนาดเล็ก ลดการใช้ Bandwidth ช่วยในการประหยัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์

4) **Cloud Database** ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการส่งข้อมูลจากตัวเซนต์เซอร์ผ่าน Node MCU

5) **ส่วนแสดงผล (output)** ทำหน้าที่แสดงผลให้กับผู้ใช้งาน โดยผ่าน Mobile Application หรือ Web Application

ทั้งนี้ หลักการทำงานระบบตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองแบบอัตโนมัติแสดงตามภาพ 1

หลักการทำงานของระบบตรวจวัดฝุ่นละอองและปรับคุณภาพอากาศ เริ่มต้นเมื่อเซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองตรวจวัดฝุ่นละอองจะส่งค่าผ่านมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU ESP8266) เป็นตัวควบคุมที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ผ่าน ssid และ password ที่ได้จาก access point ที่เชื่อมต่อ ซึ่งจะรับค่าและส่งผ่านไปยัง MQTT Protocol ในส่วนนี้อาจจะมีการเก็บข้อมูลไว้ใน Cloud database และในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

จะมีการเขียนโปรแกรมเงื่อนไขสำหรับการทำงานของเครื่องฟอกอากาศ (air purifier) ไว้ เมื่อค่าที่รับมาเกินกว่าค่าที่กำหนดจะสั่งให้โมดูลรีเลย์ (Relay Module) เปิดให้เครื่องฟอกอากาศสามารถทำงานได้ และแสดงผลที่ได้ผ่านไปยัง Mobile application หรือ web application (kongtip, Kaweekitprasert, Jitkamnungsuk & phakakoew, 2021)

ผลการเปรียบเทียบตัวเซนเซอร์วัดฝุ่นละออง

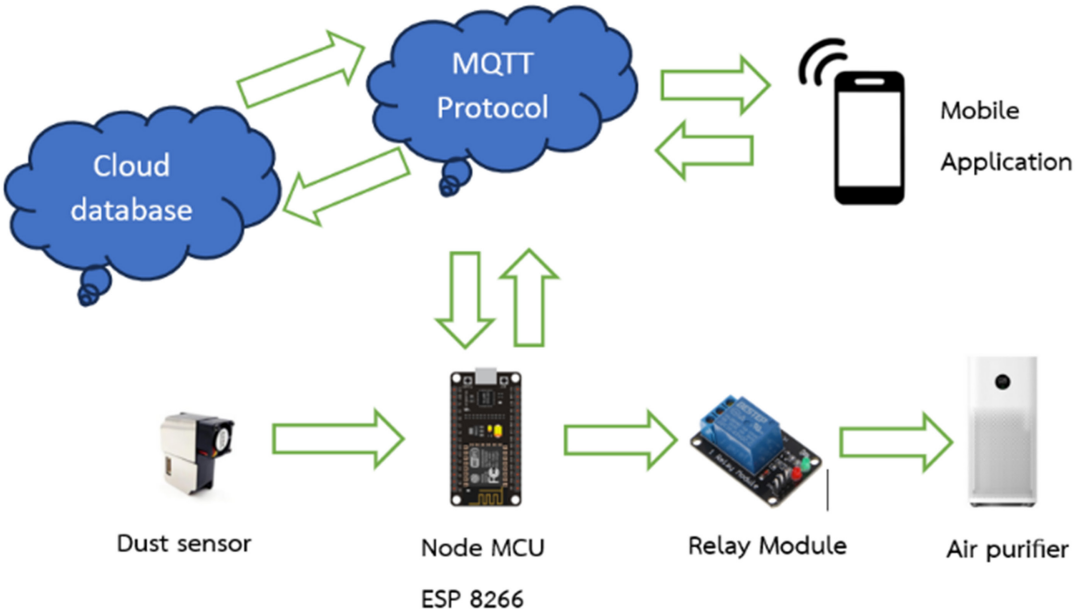
เปรียบเทียบคุณสมบัติของเซนเซอร์

การเลือกใช้เซนต์เซอร์ให้เหมาะสมกับพื้นที่และสภาพแวดล้อม ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดคุณภาพปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซนต์เซอร์แต่ละรุ่นดังตาราง 4

เปรียบเทียบหลักการทำงานของเซนต์เซอร์

หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละออง (dust sensor) เริ่มต้นพัดลมขนาดเล็กจะทำการดูดอากาศบริเวณที่มีฝุ่นละอองผ่านเข้า Air channel และใช้หลักการกระเจิงของแสงเลเซอร์ โดยจะประเมินผลจากแสงเลเซอร์ที่ไปกระทบกับอนุภาคแขวนลอยในอากาศ จากนั้นรวบรวมแสงกระเจิงในระดับหนึ่งและเส้นโค้งของแสงที่เปลี่ยนไปตามเวลา โดยจะส่งค่าเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ผ่านวงจรกรองและขยายสัญญาณเพื่อดำเนินการคำนวณค่าระดับปริมาณของฝุ่นและขนาดอนุภาคต่อหน่วยปริมาตรโดยไมโครโปรเซสเซอร์ เอาท์พุตออกมาในรูปแบบของสัญญานดิจิทัล (Yartit, Wannachai, Vimonthanasit, thinnakorn & Sampattakun, 2019) โดยหลักการทำงานเซนเซอร์วัดค่าฝุ่นละอองทั้ง 4 รุ่นมีหลักการทำงานดังภาพ 2

การวัดค่าฝุ่นละอองโดยนำเทคโนโลยีไอโอที เพื่อวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองและนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์ จากหลักการทำงานด้านต่าง ๆ ได้ผลดังตาราง 5



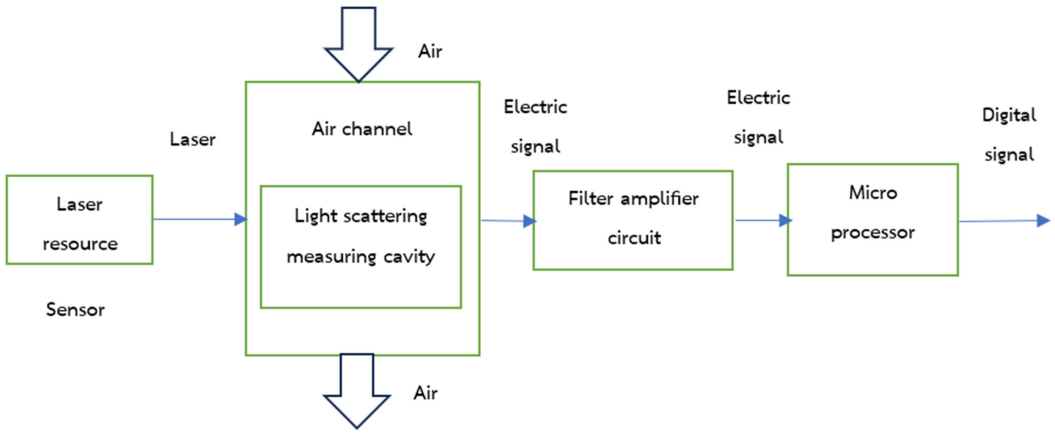
ภาพ 1 หลักการทำงานระบบตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองแบบอัตโนมัติ

ตาราง 4

การเปรียบเทียบ คุณสมบัติของตัวเซนเซอร์ รุ่น PMS3003 PMS5003 PMS7003 และ GP2Y1010AU0F

รุ่น	PMS3003	PMS5003	PMS7003	GP2Y1010AU0F
ช่วงของการวัด	2.5-10 um	2.5-10 um	2.5-10 um	2.5-10 um
ระยะที่มีผล	0~500 ug/M^3	0~500 ug/M3	0~500 ug/M^3	0~500 ug/M^3
สูงสุดช่วง	1000 ug/M^3	1000 ug/M^3	1000 ug/M^3	1000 ug/M^3
ความละเอียด ความเข้มข้น	1 ug/M^3	1 ug/M^3	1 ug/M^3	0.1 mg/m^3
ขั้นต่ำ DIA. distinguishable	0.3 um	0.3 um	0.3 um	0.3 um
Consistency of PM2.5 ความเข้มข้น (25±5) ℃	±10% @ 100~500 UG/M^3	±10% @ 100~500 UG/M^3	± 10% @ 100~500 UG/M^3	±10% @ 100~500 UG/M^3
(50±10)% RH มาตรฐานการทดสอบสภาพแวดล้อม	±10 ug/M^3 @ 0~100 ug/M^3	±10 ug/M^3 @ 0~100 ug/M^3	±10 ug/M^3 @ 0~100 ug/M^3	±10 ug/M^3 @ 0~100 ug/M^3
เวลาตอบสนอง	≤10s	≤10s	≤10s	≤1s
ประสิทธิภาพป้องกันการรบกวน	ไม่มี	มี	มี	มี
ปรับปรุงช่องทางเข้า-ออกของอากาศ	ไม่มี	มี	มี	ไม่มี
ขนาดเล็ก	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี

Note. From "*Alldatasheet.com.*" by Electronic Components Datasheet Search, 2023, retrieved from https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PM7003



ภาพ 2 หลักการทำงานของเซนต์เซอร์

Note. From "*Alldatasheet.com.*" by Electronic Components Datasheet Search, 2023, retrieved from https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PM7003

ตาราง 5

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซนเซอร์จากการทำงานในด้านต่าง ๆ

รุ่นเซนเซอร์	เรื่อง	หลักการทำงาน	ฝุ่นละอองที่วัดปริมาณได้	ตัวควบคุม	ฐานข้อมูล	รูปแบบการเชื่อมต่อ	การประเมินประสิทธิภาพ	การเชื่อมต่อinternet	พื้นที่วัดปริมาณฝุ่นละออง	ผลที่ได้
PMS-3003	การพัฒนาต้นแบบระบบตรวจจับและแจ้งเตือนฝุ่นละอองโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Deecharoenchitpong & Tortrakul, 2019)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10 PM2.5	Node MCU ESP8266	Cloud storage	อินเทอร์เน็ต	Black Box Testing โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านผู้ใช้งานทั่วไป 31 ท่าน	Think Speak	เขตสายไหม	วัดค่าทางสถิติ
	ระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในอากาศบนอุปกรณ์สมาร์ทโฟน (Phonrit, Arnansanti, Laotrakulngam & Wattana, 2020)			Node MCU ESP8266	MySQL	อินเทอร์เน็ต	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor เทียบกับข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ	อินเทอร์เน็ต (Wifi)	จังหวัดตรัง ปัญหาหมอกควันไฟป่าของประเทศอินโดนีเซีย	มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยกว่าค่าจากกรมควบคุมมลพิษ
PMS-5003	ระบบตรวจวัดฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคารโดยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Chuasuwan & Tongthong, 2021)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10 PM2.5	Arduino Uno +	Microsoft Excel	โมดูลสื่อสารไร้สายรุ่น NRF-24L01 2.4G	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	การสื่อสารไร้สาย	พื้นที่ก่อสร้างอาคาร	วัดค่าฝุ่นละอองได้หลายจุดจากการเคลื่อนที่ของโดรน
	การประยุกต์ใช้ระบบตรวจวัดเพื่อควบคุมฝุ่นในพื้นที่ก่อสร้างโดยใช้เทคโนโลยีไอโอที อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Prapankun & Jotisankasa, 2020)			Node MCU ESP8266	Cloud storage	อินเทอร์เน็ต IoT	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	Blynk Application	พื้นที่ก่อสร้างอาคาร	สามารถลดฝุ่นผ่านการสั่งให้มีการพ่นน้ำแบบหมอก
	อุปกรณ์วัดค่าฝุ่น PM2.5 แบบเคลื่อนที่ (Phirunkham, Meepoo, Polamat & Suwannaraj, 2022)			ESP-32	Google sheet	อินเทอร์เน็ต	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	IFTTT	ต.บึงพระ อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก	ประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการใช้งาน

ตาราง 5 (ต่อ)

รุ่นเซนเซอร์	เรื่อง	หลักการทำงาน	ฝุ่นละอองที่วัดปริมาณได้	ตัวควบคุม	ฐานข้อมูล	รูปแบบการเชื่อมต่อ	การประเมินประสิทธิภาพ	การเชื่อมต่อinternet	พื้นที่วัดปริมาณฝุ่นละออง	ผลที่ได้
PMS-7003	การพัฒนาเครื่องตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 แสดงผลผ่านระบบคลาวน์ ด้วยเซ็นเซอร์พีเอ็มเอส 7003 (Rattananimit, 2020)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10 PM2.5	Node MCU ESP8266	Cloud storage	อินเทอร์เน็ต	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	Think Speak	แยกท่าพระ แขวงท่าพระเขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ	รายงานผลออนไลน์
	การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ฝุ่นละอองในอากาศและระบบสอบถามแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นผ่านไลน์แชทบอท (Martmonthana, & kemapatapan, 2021)			Arduino Uno r3	Google Cloud	อินเทอร์เน็ต	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	Quectel รุ่น UC20-G	ม.กรุงเทพ	รายงานผลออนไลน์
GP2Y1010AU0F	การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนที่ใช้เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละอองและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน (Champa, 2022)	การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ	PM10	Arduino Uno +	Microsoft Excel	โมดูลสื่อสารไร้สายรุ่น NRF-24L01 2.4G	ตรวจวัดจากอุปกรณ์ Dust sensor	การสื่อสารไร้สาย	พื้นที่ก่อสร้างอาคาร	วัดค่าฝุ่นละอองได้หลายจุดจากการเคลื่อนที่ของโดรน

บทสรุป

จากการเปรียบเทียบการใช้งานของเซนต์เซอร์วัดค่าฝุ่นละอองในแต่ละรุ่นนั้น จะเห็นว่าใช้หลักการทำงานของเซนต์เซอร์แบบเดียวกัน คือ การส่งแสงเลเซอร์ฉายแสงผ่านอนุภาคฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ และสามารถใช้กับอนุภาคของฝุ่นที่เล็กมากถึง PM2.5 สำหรับตัวควบคุมที่ใช้ในการเชื่อมต่อจะใช้ Node MCU ESP-8266 ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่สามารถเชื่อมต่อ WIFI และอินเทอร์เน็ตและมีขนาดเล็ก ส่วนการเก็บข้อมูลจะใช้เป็น Cloud storage ผ่าน IoT Application เช่น Blynk App Think Speak และ IFTTT สำหรับพื้นที่วัดปริมาณฝุ่นละอองส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ภายนอกอาคารเช่นบริเวณท้องถนนที่มีฝุ่นละอองที่สูง และพื้นที่ก่อสร้างที่เกิดฝุ่นละอองจำนวนมาก ส่วนการประเมินประสิทธิภาพนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ (1) การวัดจากผู้ใช้งาน และ (2) การวัดจากการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

สำหรับเซนต์เซอร์ประสิทธิภาพส่วนใหญ่จะมีความสามารถที่ไม่แตกต่างกันมากนักสำหรับกลุ่มของ PMS-3003 PMS-5003 และ PMS-7003 ซึ่งในรุ่น PMS-5003 และ PMS-7003 จะมีการเพิ่มความสามารถในการป้องกันสัญญาณรบกวน โดยที่ PMS-7003 จะมีการปรับให้มีขนาดที่เล็กลงเพื่อง่ายในการออกแบบระบบที่มีพื้นที่จำกัด

ในการเลือกเซนต์เซอร์เพื่อนำไปใช้งานควรคำนึงถึงคุณสมบัติ พื้นที่ใช้งาน ขนาดของพื้นที่ในการติดตั้ง ระบบเครือข่ายที่ใช้อยู่ จากการเปรียบเทียบเซนต์เซอร์ทั้ง 3 รุ่นดังกล่าว ในรุ่นของ PMS-3003->PMS-5003->PMS-7003 เป็นการพัฒนาขึ้นในแต่ละรุ่นซึ่งมีการเพิ่มเติมการป้องกันสัญญาณรบกวนและขนาดที่เล็กลงตามลำดับ และในรุ่น GP2Y1010AU0F มีขนาดที่เล็กที่สุดและราคาถูกที่สุด เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นพัฒนา สำหรับงานประยุกต์ใช้พื้นที่จริงสามารถใช้ในรุ่น PMS-5003–PMS–7003 ซึ่งรุ่นดังกล่าวจะมีการป้องกันสัญญาณรบกวนและปรับช่องทางไหลของอากาศสำหรับการวัดค่า แต่ราคาแพงขึ้นตามลำดับ ดังนั้นการเลือกเซนต์เซอร์ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการนำไปใช้ งบประมาณที่มี พื้นที่ในการติดตั้ง สำหรับเซนต์เซอร์ทั้ง 4 รุ่นนี้ สามารถนำมาใช้ในการวัดค่าของฝุ่นละอองขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

References

Champa, L. (2022). Development of PM2.5 dust meter using dust sensor and notifying via application. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University, 24(*1), 48-55. (in Thai)

Charoenchansa, A. (2022). *Pollution Control Department Ministry of Natural Resources and Environment Raising the level of PM2.5 standards, the royal gazette has announced enforcement*. Retrieved from https://www.pcd.go.th/pcd_news/26385. (in Thai)

Chuasuwan, P., & Tongthong, T. (2021). Dust monitoring system in building construction projects by unmanned aerial vehicles. *The 26th National Convention on Civil Engineering* (pp. 1-8). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)

Daily News Online, (2023, February 3). School closed! Many schools in Bangkok have gradually ordered the suspension of classes to avoid PM2.5 dust. *Daily News Online*. Retrieved from https://www.dailynews.co.th/news/1956817 (in Thai)

Dechapong, T. (2023). *Thailand's air quality is ranked 4th in the world, behind only Mumbai, Wuhan and Chengdu. So which countries have good weather?*. Retrieved from https://www.brandthink.me/content/thailand-no-4-polluted-cities

Deecharoenchitpong, J., & Tortrakul, P. (2019). The development of dust detection and warning system prototypes by Internet of Things. *Journal of Science and Technology Thonburi University, 3*(1), 34-43. (in Thai)

Electronic Components Datasheet Search. (2023). *Alldatasheet.com*. Retrieved from https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PM7003 (in Thai)

Kongtip, T., Kaweekitprasert, A., Jitkamnungsuk, S., & Phakakoew, T. (2021). Web application development for air purifier control with internet of things. *The 13th National Conference Phuket Rajabhat University: Multidisciplinary Integration for Local Development* (pp. ST07-1). Phuket: Rajabhat University (in Thai)

Martmonthana, M., & Kemapatapan, C. (2021). *Delelopmet of equipment to measure temperature, humidity, dust in the air and dust notification inquiry system via LINE chatbot* (Master's thesis). Dhurakij Pundit University. Thailand. (in Thai)

Ministry of Public Health. (2020). *Medical and public health operations manual in case of dust particles no larger than 2.5 microns (PM2.5)*. Retrieved from http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/downloads/do_manual_PM2.5.pdf.

Mungsujaritkarn, S., Nusan, P., Nusan, S., & Kawmorajalearn, M. (2021). Factors affecting particulate matter smaller than 2.5 microns from residential building. *The 26th National Convention on Civil Engineering* (pp. 1-9). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)

Phamorn, S. (2021). *PM10 and PM2.5 characterization on the relationship of diseases related to air pollution in the area of the 4th health zone. An exploratory study* (Master's thesis). Bangkok: National Institute of Development Administration (in Thai)

Phirunkham, T., Meepoo, P., Polamat, S., & Suwannaraj, K. (2022). Mobile PM2.5 dust measure. *The 13th Hatyai National and International Conference* (pp. 530-541). Songkla: Hatyai University. (in Thai)

Phonrit, O., Arnansanti, N., Laotrakulngam, N., & Wattana, N. (2020). Measuring dust system in the air on smartphone devices. *Journal of Information Science and Technology, 10*(1), 1-9. (in Thai)

Pollution Control Department. (2023). *Air Quality Index: AQI*. Retrieved from http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php. (in Thai)

Prapankun, A., & Jotisankasa, A. (2020). Application of measurement system for dust control in construction site using IoT (Internet of Things) Technology. *The 58th Kasetsart University Annual Conference* (pp. 352-361). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Rattananimit, W. (2020). Development PM2.5 dust monitoring system on cloud with PMS7003. *The 12th National Conference Nakorn Pathom Rajabhat University* (pp. 435-442). Nakorn Pathom: Nakorn Pathom Rajabhat University. (in Thai)

Yartit, A., Wannachai, S., Vimonthanasit, P., Thinnakorn, J., & Sampattakun, S. (2019). Development of PM monitor by light scattering principle and comparison with standard device. *The 42nd Electrical Engineering Conference* (pp. 481-484). Bangkok: Mahidol University. (in Thai)

Yong, Z. (2016). *PMS5003 series data manua*. Retrieved from http://www.ett.co.th/productSensor/PMS5003_PM_SENSOR/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf

วิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ
The Operation of Pneumatic Impact Wrench Analysis by Fuzzy Logic System

ณัฐพงศ์ โชคสัมฤทธิผล[1] อรรถสิทธิ์ วงศ์เจริญ[1] และเรวัฒน์ บุญจันทร์[1]
Nuttapong Choksumrittipon[1], Athasit Wongcharoen[1] and Rewat Bunchan[1]
[1]เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[1]Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Received: January 17, 2023
Revised: February 15, 2023
Accepted: February 20, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงคำนวณมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลม (pneumatic impact wrench) ที่เป็นเครื่องมือสำหรับการขันประกอบสลักเกลียวของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม โดยเป้าหมายของงานวิจัยต้องการหาทางเลือกใหม่สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของการขันประกอบสลักเกลียวด้วยบล็อกลมที่ไม่ต้องการตรวจสอบแรงบิดขันแน่นของสลักเกลียวโดยละเอียด ผลลัพธ์ของงานวิจัยมีโอกาสนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับระบบการป้องกันความผิดพลาด (ระบบโพคา-โยเกะ) ที่มีหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของจำนวนการครั้งในการขันประกอบสลักเกลียวด้วยบล็อกลมของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม โดยทำการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมจากสัญญาณเซนเซอร์วัดความดันลม (pneumatic pressure sensor) ที่วัดความดันลมในระบบขณะที่บล็อกลมทำงานและทำการวิเคราะห์จากความดันลมที่เปลี่ยนแปลงไปชั่วขณะในช่วงเวลาที่บล็อกลมทำงาน โดยนำระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic system) มาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือถือเป็นที่น่าพอใจ สามารถวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมได้ว่า เป็นกรณีแรงบิดขันแน่นหรือกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่น จากผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือมีความเป็นไปได้ในการนำไปพัฒนาและใช้จริงในอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: บล็อกลม เซนเซอร์วัดความดันลม ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ แรงบิดขันแน่น ไม่เกิดแรงบิดขันแน่น ระบบโพคา-โยเกะ

Abstract

This research utilized computational analysis to examine how a pneumatic impact wrench, a common instrument for tightening bolt assemblies in the workplace, operates. The aim of this research is to discover a new substitute that does not necessitate a thorough analysis of the tightening torque of the bolt to confirm the accuracy of bolt tightening using the pneumatic impact wrench in the production process. The findings of this study may be used to improve the error prevention system (Poka Yoke), which is in charge of ensuring the precision of the number of attempts made during bolt assembly using a pneumatic impact wrench in industrial production. The operation of the pneumatic impact wrench is examined using a fuzzy logic system to assess the instantaneous change in air pressure during the pneumatic impact wrench operation from the pressure sensor signal that detects the air pressure in the system during the pneumatic impact wrench operation. The results of this analysis are acceptable and can be used to assess the tightening or loosening cases of a pneumatic impact wrench. The results showed that it was possible to apply the fuzzy logic system's pneumatic impact wrench analysis to industrial manufacturing.

Keywords: pneumatic impact wrench, pressure sensor, fuzzy logic system, tightening, untightening, Poka Yoke system

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีความก้าวหน้าอย่างมากในทางด้านเทคโนโลยีการผลิตและหนึ่งในนั้นคือเทคโนโลยีการป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่มีมนุษย์ดำเนินงานในกระบวนการ เนื่องจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิตถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมากในอุตสาหกรรม ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายในด้านความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ (Semsri, Suksukont, Sisamut & Pudtipatkosit, 2021) ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ควรจะเกิดขึ้นถ้าเรานั้นสามารถป้องกันได้ ระบบโพคา-โยเกะ เป็นระบบป้องกันความผิดพลาดที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมถูกนำมาใช้ในการป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากความไม่ได้ตั้งใจของพนักงาน โดยส่วนใหญ่จะเป็นวิธีการควบคุมเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดจากกระบวนการ (Somsirikarnjanakoon, Prasopchaichana, Tongjiphitak, Suthachewa & Srikosak, 2018) และในกระบวนการประกอบชิ้นงานด้วยสลักเกลียวในปัจจุบันมีการใช้เครื่องมืออยู่หลายประเภทด้วยกัน เช่น บล็อกลม บล็อกไฟฟ้า เครื่องขันสลักเกลียวแบบนัทรันเนอร์ และเครื่องมือชนิดอื่น ๆ กระบวนการประกอบสลักเกลียวที่ใช้บล็อกลมค่อนข้างเป็นที่นิยมเนื่องจากมีความรวดเร็วในการทำงานมากกว่าชนิดอื่น ๆ ในส่วนของการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการขันประกอบด้วยบล็อกลมจะใช้ประแจวัดแรงบิด (torque wrench) ที่เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความแน่นของสลักเกลียว (Xia, Xie & Wang 2019) และ (Xu, Zhoa & Chen 2019) โดยเครื่องมือชนิดนี้จะถูกนำมาใช้หลังจากที่ได้ใช้บล็อกลมประกอบชิ้นงานด้วยสลักเกลียวเสร็จสิ้น เบื้องต้นจะเห็นได้ว่า ในกระบวนการจะมีสองขั้นตอนด้วยกันคือกระบวนการประกอบและกระบวนการตรวจสอบ ซึ่งข้อดีของประแจวัดแรงบิดคือสามารถตรวจสอบแรงบิดของสลักเกลียวว่า เป็นแรงบิดขันแน่นได้อย่างละเอียด จะเหมาะสมกับกระบวนการประกอบที่ให้ความสำคัญกับแรงบิดขันแน่นของสลักเกลียว ตัวอย่างเช่น กระบวนการประกอบเครื่องยนต์ กระบวนการประกอบล้อรถยนต์เป็นต้น ในด้านของข้อเสียนั้นคือต้องใช้สองขั้นตอนด้วยกันในกระบวนการ แต่

ในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนในบางกระบวนการไม่จำเป็นจะต้องตรวจสอบแรงบิดขันแน่นของสลักเกลียวซ้ำ เนื่องจากว่าแรงบิดของบล็อกลมที่ใช้ในการขันสลักเกลียวนั้นเพียงพอสำหรับแรงบิดขันแน่นของสลักเกลียว (Lee, Talluri & Chung 2019) ต้องการเพียงจะตรวจสอบว่าการขันสลักเกลียวครบถูกต้องตามจำนวนในกระบวนการหรือไม่ ตัวอย่างเช่น กระบวนการประกอบแผ่นกันร้อนท่อไอเสีย และแผ่นเหล็กกันกระแทกใต้เครื่องยนต์เป็นต้น

งานวิจัยนี้ต้องการหาทางเลือกในการตรวจสอบกระบวนการขันประกอบสลักเกลียวด้วยบล็อกลมในกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องการตรวจสอบแรงบิดขันแน่นของสลักเกลียวโดยละเอียด เพียงต้องการทราบว่า ในการทำงานของบล็อกลมในแต่ละครั้งเป็นการทำงานในกรณีแรงบิดขันแน่นหรือไม่ เพื่อหาแนวทางการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมไปพัฒนากับระบบการป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke) ที่มีหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของจำนวนครั้งในการขันประกอบสลักเกลียวด้วยบล็อกลมของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เพื่อป้องกันความผิดพลาดของการขันประกอบสลักเกลียวในกระบวนการประกอบ

บล็อกลมหรือประแจลมเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับขันประกอบสลักเกลียว โดยมีหลักการทำงานคือให้ลมไหลผ่านไปที่โรเตอร์ จากนั้นโรเตอร์จะเกิดการหมุนและส่งกำลังไปที่ชุดลูกตี (hammer) ที่เชื่อมต่ออยู่กับแกน Anvil (Lee et al., 2019) ในขณะที่บล็อกลมทำงานในกรณีแรงบิดขันแน่นจะเกิดการกระทบกันภายในชุดลูกตี ส่งผลให้โรเตอร์เกิดการหมุนและหยุดเป็นจังหวะตามจังหวะกระแทกของชุดลูกตีในช่วงการทำงานนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของลมเกิดขึ้น ส่งผลให้ความดันลมในระบบมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะนำความดันลมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในระบบในขณะนั้นมาทำการวิเคราะห์เพื่อทำการตรวจสอบการทำงานของบล็อกลม

ในการออกแบบระบบวิเคราะห์หรือระบบจำแนกประเภทนั้นมีวิธีการที่หลากหลายด้วยกัน เช่น วิธีการทางสถิติ (statistical approach) ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) และระบบอื่น ๆ จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการนำระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจจับ และจำแนกประเภท ซึ่งการนำมาประยุกต์ใช้ในงานจะมีความแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของงานที่นำไปวิเคราะห์ งานวิจัยของ Khalid, Yusof and Mokayed (2011) ทำการตรวจสอบลายเซ็นออนไลน์ด้วยการรวมตัวแยกประเภทสำหรับการตรวจสอบลายเซ็นและทำการสรุปผลด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยทำการวิเคราะห์จาก ระยะของลายเซ็น เวลาในการเซ็น ผลของการวิเคราะห์จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (BPNN) และผลของการวิเคราะห์จากการแบ่งกลุ่มสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation classifier) ผลลัพธ์ของงานวิจัยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ให้ดีขึ้นได้โดยทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และผลของการวิเคราะห์จากการแบ่งกลุ่มสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน งานวิจัยของ Anas (2016) ทำการตรวจจับขอบวัตถุที่อยู่ในรูปภาพด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยทำการนำระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือไปเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับขอบแบบเดิม ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจจับขอบวัตถุให้ดีขึ้นได้ งานวิจัยของ Pharne and Patil (2017) ทำการวินิจฉัยข้อบกพร่องของมอเตอร์ด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยทำการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และนำสัญญาณไปทำการวิเคราะห์ ผลลัพธ์ของงานวิจัยสามารถวินิจฉัยสถานะของมอเตอร์ได้ว่าอยู่ในเกณฑ์สภาพดี ยอมรับได้ ต้องได้รับการดูแล และยอมรับไม่ได้ สามารถช่วยบุคลากรที่เกี่ยวข้องให้ทำการตรวจสอบและบำรุงรักษาก่อนที่จะเกิดความเสียหายได้ งานวิจัยของ Ülkir, Gökmen and Kaplanoğlu (2017); Karuna, Ganesh, Das and Kumar (2017) ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) เพื่อทำการแบ่งประเภทของการเคลื่อนไหวของข้อมือ โดย Ülkir et al. (2017) นำสัญญาณมาทำการหาความถี่ด้วยวิธีการ Root Mean Square--RMS Wavelet Length--WL และ Kurtosis (Kurt) เพื่อเป็นอินพุตของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Karuna et al., 2017) นำสัญญาณมาทำการหาความถี่ด้วยวิธีการ Root Mean Square--RMS และนำค่าแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณเป็นอินพุตของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ ผลลัพธ์ของ Ülkir et al. (2017) สามารถแยกประเภทของการงอข้อมือได้ 3

ระดับ และ Karuna et al. (2017) สามารถแยกประเภทของการงอและการยืดข้อมือได้อย่างละ 3 ระดับ ทั้งสองงานวิจัยสรุปว่า ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นเครื่องมือที่ไม่จำเป็นต้องทำการสอน (training) ให้กับระบบ สามารถใช้งานได้ง่ายเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ งานวิจัยของ Buemi, Giacalone, Naccari and Spampinato (2016); Sahid and Alaydrus (2020) ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ โดย Buemi et al. (2016) ทำการนำเสนอการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้จากวีดีโอด้วยฮอรัสอัลกอริทึม (Horus Algorithm) เป็นอัลกอริทึมที่มีการนำระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือไปค้นหาชุดของพิกเซล (Pixel) ในภาพที่อาจจะเกิดเพลิงไหม้ และนำไปวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีการทดสอบการเคลื่อนไหวของเปลวเพลิง เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดเพลิงไหม้ งานวิจัยของ Sahid and Alaydrus (2020) นำค่าจากเซนเซอร์ตรวจจับควัน เซนเซอร์วัดคาร์บอนไดออกไซด์ และเซนเซอร์ตรวจจับเปลวเพลิงเป็นอินพุตของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ และทำการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อการเกิดเพลิงไหม้ของอินพุตแต่ละชนิดเทียบกับเวลาเพื่อชี้แจงถึงประสิทธิภาพในการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ของเซนเซอร์แต่ละชนิด งานวิจัยของ Kumar, Raj and Abarna (2018) ตรวจจับข้อผิดพลาดสำหรับระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ ทำการวิเคราะห์จากค่ากระแสของขดลวดที่สเตเตอร์ (Stator) ทั้ง 3 เฟส และเวลาการทำงานของมอเตอร์ ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์สภาวะการทำงานของมอเตอร์ว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ อันตราย และอันตรายมาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันมอเตอร์ไม่ให้เกิดความเสียหายได้ งานวิจัยของ Mendoza, Schweitzer and Weber (2019) ทำการตรวจจับการเกิดข้อผิดพลาดสำหรับการอาร์ค (Arc) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านด้วยตัวกรองคาลมานและระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยจะทำการวัดกระแสไฟฟ้าภายในบ้านเพื่อทำการวิเคราะห์ และทำการจำลองการอาร์คให้เกิดขึ้นเพื่อทำการจำลองสถานการณ์ ผลลัพธ์ในงานวิจัยสามารถช่วยให้ทราบถึงอาการของความผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านที่เกิดขึ้นได้หลังจากมีการอาร์คเกิดขึ้นในระบบ งานวิจัยของ Gougam, Rahmoune, Benazzouz and Merainani (2019) ทำการวินิจฉัยข้อบกพร่องของตลับลูกปืนตามการแยกคุณลักษณะของการแปลงเวฟเล็ตเชิงประจักษ์ (EWT) และระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือภายใต้สภาวะการทำงานที่ผันแปร โดยทำการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะที่เครื่องจักรทำงาน และทำการนำสัญญาณที่วัดได้ไปแปลงเวฟเล็ตเชิงประจักษ์ เพื่อทำการแยกองค์ประกอบของความถี่ และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเป็นอินพุตของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ ผลลัพธ์ของงานวิจัยสามารถวินิจฉัยได้ว่า ตลับลูกปืนอยู่ในสภาวะปกติ ความผิดปกติที่เกิดจากวงแหวนชั้นนอก ความผิดปกติที่เกิดจากวงแหวนชั้นใน และความผิดปกติที่เกิดจากเม็ดลูกกลิ้ง

ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นวิธีที่มีความเรียบง่ายในการใช้งาน เป็นวิธีที่สามารถจัดการกับความซับซ้อนของระบบได้เป็นอย่างดี (Ülkir et al., 2017) และไม่มีฟังก์ชันการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากในระบบ ดังนั้นระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือจึงมีศักยภาพสูงและเป็นตัวเลือกที่ดีในการนำมาสร้างระบบวิเคราะห์ (Sahid & Alaydrus, 2020) จากเหตุผลข้างต้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือมาเป็นเครื่องมือวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลม และนอกจากนั้นระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือมีพื้นฐานจากคณิตศาสตร์ จึงสามารถนำระบบการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ไปต่อยอดพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์ให้สามารถใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตได้

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย บล็อกลม เซนเซอร์วัดความดันลม ดิจิตัลเพรชเชอร์สวิตซ์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ บล็อกลมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ บล็อกลมยี่ห้อ Kuani รุ่น KI-1308 แสดงดังภาพ 1 เซนเซอร์วัดความดันลมยี่ห้อ SMC รุ่น PSE-530 วัดความดันช่วง 0 ถึง 10 บาร์

อนาล็อกเอาต์พุต 1 ถึง 5 โวลต์ ทำหน้าที่วัดความดันลมในขณะที่บล็อกลมทำงานแสดงดังภาพ 2 ดิจิตัลเพรชเชอร์สวิตซ์ ยี่ห้อ Airtac รุ่น DPSN1-10020 ใช้สำหรับแสดงค่าความดันลมในระบบและสอบเทียบเซนเซอร์วัดความดันลมก่อนใช้งาน แสดงดังภาพ 3 และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega2560 ทำหน้าที่อ่านค่าความดันลมจากเซนเซอร์วัดความดันลมและส่งให้คอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์แสดงดังภาพ 4

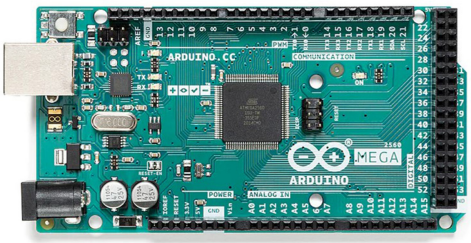
โดยในส่วนของอุปกรณ์จะมีการเชื่อมต่อกันดังนี้ ระบบ Pneumatic จะนำเซนเซอร์วัดความดันลมต่อเข้ากับระบบลมของบล็อกลม ดังภาพ 5 เพื่อวัดความดันลมของระบบในขณะที่บล็อกลมทำงานและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าความดันของลมในระบบจากเซนเซอร์วัดความดันลมและนำค่าความดันลมที่อ่านได้มาทำการวิเคราะห์ ดังภาพ 6

ในส่วนของการวิเคราะห์สัญญาณจะสร้างระบบวิเคราะห์สัญญาณด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือโดยใช้โปรแกรม MATLAB ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณแสดงดังภาพ 7

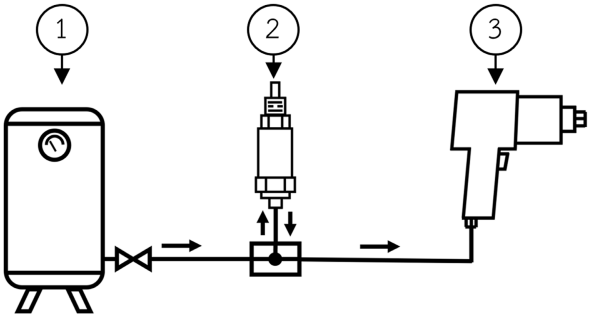
ภาพ 1 บล็อกลมยี่ห้อ Kuani รุ่น KI-1308

ภาพ 2 เซนเซอร์วัดความดันลมยี่ห้อ SMC รุ่น PSE-530

ภาพ 3 ดิจิตัลเพรชเชอร์สวิตซ์ยี่ห้อ Airtac รุ่น DPSN1-10020



ภาพ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega2560

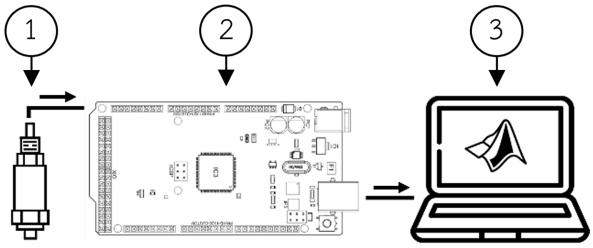


ภาพ 5 ภาพแสดงระบบ Pneumatic

จากภาพ 5 หมายเลข 1 คือ แหล่งจ่ายลม

หมายเลข 2 คือ เซนเซอร์วัดความดันลม

หมายเลข 3 คือ บล็อกลม

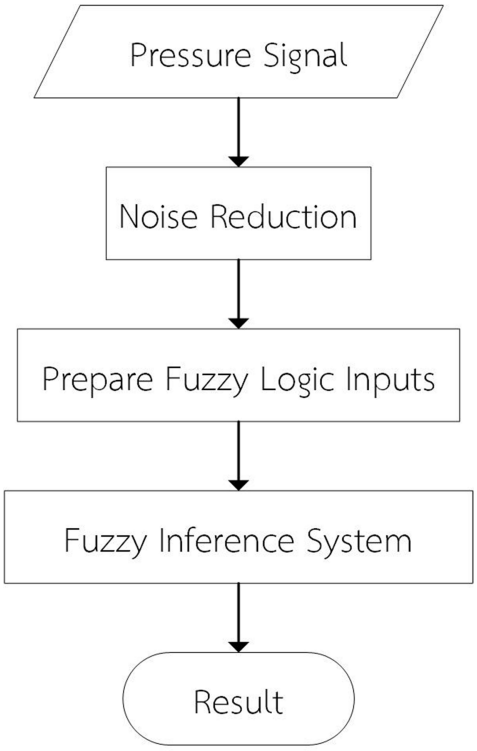


ภาพ 6 ภาพแสดงการต่อเซนเซอร์วัดความดันลมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และเครื่องคอมพิวเตอร์

จากภาพ 6 หมายเลข 1 คือ เซนเซอร์วัดความดันลม

หมายเลข 2 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข 3 คือ เครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพ 7 แสดงลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณ

จากภาพ 7 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณจะมีอยู่ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1.รับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดันลม

2.การกรองสัญญาณรบกวน

3.การเตรียมอินพุตสำหรับระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

4.ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนจะแสดงในหัวข้อถัดไป

2. การกรองสัญญาณรบกวน

ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวกรองคาลมานมิติเดียว (1D-Kalman Filter) ในการกรองสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณของเซนเซอร์วัดความดันลม ตัวกรองคาลมานมิติเดียวมีสมการดังนี้ Marselli, Daudet, Amann and Pellandini (1998); Roveda, Riva, Bucca and Piga (2021)

$$f_n = f_{(n-1)} + k_n \left(p_n - f_{(n-1)}\right) \quad (1)$$

เมื่อ f_n คือ ค่าสัญญาณที่ทำการกรองเสร็จสิ้น

$f_{(n-1)}$ คือ ค่าสัญญาณที่ทำการกรองเสร็จสิ้นในรอบก่อน

k_n คือ ค่า Kalman Gain

p_n คือ ค่าสัญญาณจากเซนเซอร์

3. การเตรียมข้อมูลอินพุตสำหรับระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

การเตรียมข้อมูลอินพุตในขั้นตอนแรกจะเป็นการแยกสัญญาณในช่วงที่บล็อกลมทำงานออกจากสัญญาณทั้งหมด และขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการเตรียมข้อมูลอินพุตสำหรับบระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลอินพุตสำหรับระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือนั้นจะเป็นการแยกปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลม โดยสิ่งที่เป็นปัจจัยหลักของการวิเคราะห์มีดังนี้

1. ขนาดระยะห่างของท่อลมระหว่างบล็อกลมและเซนเซอร์วัดความดันลม

2. ระยะเวลาการทำงานของบล็อกลม

3. จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในขณะที่บล็อกลมทำงาน

4. พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นต่อ 1 ลูกคลื่น

โดยปัจจัยในข้อ 1 นั้นเป็นปัจจัยภายนอกที่สามารถระบุได้ ส่วนข้อ 2 ถึงข้อ 4 เป็นปัจจัยที่เกิดขึ้นจากการวัดความดันลมในขณะที่บล็อกลมทำงาน ต้องทำการแยกออกมาจากสัญญาณของเซนเซอร์วัดความดันลม โดยแต่ละปัจจัยมีวิธีการเตรียมข้อมูลที่แตกต่างกัน แสดงดังต่อไปนี้

3.1 การแยกสัญญาณ

การแยกสัญญาณคือการนำสัญญาณในช่วงที่ต้องการวิเคราะห์ออกมาจากสัญญาณทั้งหมด และสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ คือ สัญญาณในช่วงที่บล็อกลมทำงาน จะอยู่ในช่วงที่บล็อกลมมีอัตราการใช้ลมจนถึงจุดคงที่ แสดงดังภาพ 8 (ก) หมายเลข 2

สัญญาณที่แยกออกมาวิเคราะห์จะอยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการแยกสัญญาณ เงื่อนไขของการแยกสัญญาณ ดังนี้

$$Signal = \begin{cases} \beta < 30° \\ Signal = Signal_{[\beta-\alpha]} \\ \alpha > 80° \end{cases} \quad (2)$$

3.2 ระยะเวลาการทำงานของบล็อกลม

สามารถหาได้จากเวลาของจุดเริ่มต้นลบกับเวลาของจุดสิ้นสุดของสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์

$$t_{op} = t_{start} - t_{end} \quad (3)$$

3.3 จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสัญญาณ

จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสัญญาณสามารถใช้วิธีการหาจุดยอดของลูกคลื่นและทำการหาค่าสะสมของจำนวนจุดยอดลูกคลื่นเพื่อหาจำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสัญญาณ

วิธีการหาจุดยอดของลูกคลื่นจะใช้วิธีค้นหาองค์ประกอบสูงสุดของลูกคลื่นนั้น ๆ มีวิธีการ ดังนี้

$$peak = \begin{cases} f_n \geq f_{n-1} \\ peak = f_n \\ f_n \geq f_{n+1} \end{cases} \quad (4)$$

เมื่อ $peak$ คือ จุดยอดของลูกคลื่น

f_n คือ สัญญาณปัจจุบัน

$f_{(n+1)}$ คือ สัญญาณในรอบถัดไป

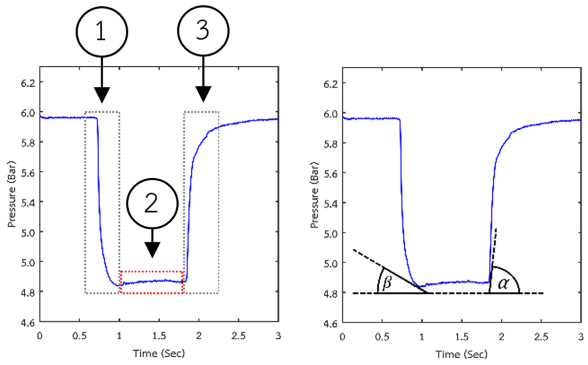
$f_{(n-1)}$ คือ สัญญาณในรอบที่แล้ว

วิธีการหาค่าสะสมของจำนวนจุดยอดลูกคลื่นมีวิธีการ ดังนี้

$$n_w = peak_n + peak_{n+1} + peak_{n+...n} \quad (5)$$

เมื่อ n_w คือ จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสัญญาณ

$peak_n$ ถึง $peak_{(n+...n)}$ คือ จุดยอดของลูกคลื่นที่หาได้จากสมการที่ (4)



(ก) (ข)

ภาพ 8 ภาพ (ก) แสดงช่วงการทำงานของบล็อกลม ภาพ (ข) แสดงวิธีการแยกสัญญาณในช่วงที่บล็อกลมทำงาน

จากภาพ 8 หมายเลข 1 คือ ช่วงเริ่มกดวาล์วบล็อกลมและบล็อกลมเริ่มมีอัตราการใช้ลมเกิดขึ้น

หมายเลข 2 คือ ช่วงที่บล็อกลมมีอัตราการใช้ลมจนถึงจุดคงที่

หมายเลข 3 คือ ช่วงปล่อยวาล์วบล็อกลมเป็นช่วงที่บล็อกลมไม่มีอัตราการใช้ลมเกิดขึ้น การแยกสัญญาณในช่วงที่บล็อกลมทำงานออกมาเพื่อทำการวิเคราะห์ สามารถทำได้จากการตรวจสอบความลาดเอียงของสัญญาณ (Jumahat, Beng, Misran, Islam & Mahri, 2019) โดยทำการคำนวณหามุม β เพื่อหาจุดเริ่มต้นของการแยกสัญญาณ และคำนวณหามุม α เพื่อหาจุดสิ้นสุดของการแยกสัญญาณ จากภาพ 8 เห็นได้ว่าลักษณะสัญญาณในช่วงระหว่างหมายเลข 1 ก่อนเข้าสู่หมายเลข 2 สัญญาณมีความลาดเอียงน้อยลงเข้าใกล้ 0 องศา พบว่า ที่มุม β มีค่าน้อยกว่า 30 องศา เป็นการเริ่มเข้าสู่ช่วงการทำงานของบล็อกลม และลักษณะสัญญาณในช่วงระหว่างหมายเลข 2 ก่อนเข้าสู่หมายเลข 3 สัญญาณมีความลาดเอียงเพิ่มขึ้นเข้าใกล้ 90 องศา พบว่า ที่มุม α มีค่ามากกว่า 80 องศา เป็นช่วงที่บล็อกลมหยุดการทำงาน

3.4 พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น

พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นหมายถึงขนาดเฉลี่ยพื้นที่ของคลื่นความดันลมที่เกิดขึ้นในขณะที่บล็อกลมทำงาน โดยในกรณีแรงบิดขันแน่นจะมีขนาดเฉลี่ยของลูกคลื่นมากกว่ากรณีไม่ได้เป็นแรงบิดขันแน่น เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของความดันลมจากการกระทบของลูกตี (hammer) ในขณะที่เกิดแรงบิดขันแน่น และพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นมี

ขนาดแตกต่างกันไปตามความยาวของสายลม ในการหาพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นใช้วิธีการหาพื้นที่ใต้กราฟด้วยปริพันธ์ และในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการประมาณปริพันธ์ด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมูและทำการหาค่าเฉลี่ยพื้นที่ของลูกคลื่นที่เกิดขึ้นทั้งหมดในสัญญาณเพื่อทำการหาพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น

วิธีการประมาณปริพันธ์ด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมูมีสมการ ดังนี้ Ratanaprasert, Ananchuen, Chumchob, Supaporn and Howsud (2016)

$$wa = \frac{b-a}{2n}[f(x_0) + 2f(x_1) + \cdots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)] \quad (6)$$

เมื่อ wa คือ พื้นที่ของลูกคลื่นนั้น ๆ

b คือ จุดเริ่มต้นของลูกคลื่น

a คือ จุดสิ้นสุดของลูกคลื่น

n คือ จำนวนจุดของสัญญาณในลูกคลื่น

$f(x_0)$ ถึง $f(x_n)$ คือ ค่าความดันลมในช่วงเวลานั้น ๆ ลบกับค่าความดันลมตำแหน่งแรกของลูกคลื่นนั้น ๆ

การหาค่าเฉลี่ยพื้นที่ของลูกคลื่นที่เกิดขึ้นทั้งหมดในสัญญาณมีสมการ ดังนี้

$$x_{wa} = \frac{wa_n + wa_{n+1} + wa_{[n+\ldots n]}}{n}$$

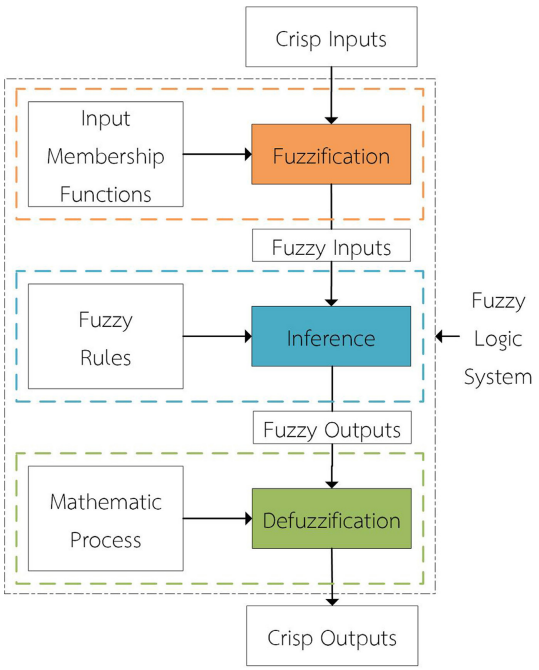
เมื่อ x_{wa} คือ ค่าเฉลี่ยพื้นที่ของลูกคลื่นที่เกิดขึ้นทั้งหมดในสัญญาณ

$wa_{[n\ldots]}$ คือ พื้นที่ของลูกคลื่นนั้นๆ

n คือ จำนวนลูกคลื่นทั้งหมดที่เกิดขึ้นในสัญญาณ

4. ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยชุดข้อมูลตัวอย่างจำนวน 100 ข้อมูล แบ่งเป็นกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่น 50 ข้อมูล และกรณีแรงบิดขันแน่น 50 ข้อมูล ขั้นตอนการสร้างระบบตรรกศาสต์คลุมเครือสำหรับวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลม ในงานวิจัยนี้ใช้ Fuzzy Logic Designer ที่เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือของโปรแกรม MATLAB ในการสร้างระบบวิเคราะห์และใช้ระบบกฎฟัซซีแบบแมมดานิ (Mamdani) โดยโครงสร้างพื้นฐานของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักด้วยกัน คือ การแปลงข้อมูลอินพุตทั่วไปให้เป็นอินพุตแบบฟัซซี (Fuzzification) การวินิจฉัยหรือการตีความ (inference) และการสรุปเหตุผล (defuzzification) (Pratumsuwan, 2018; Gougam et al., 2019) แสดงดังภาพ 9



ภาพ 9 โครงสร้างพื้นฐานของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ขั้นตอนการสร้างระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในโปรแกรม MATLAB มีอยู่ 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ด้วยกัน

1. Fuzzification จะเป็นการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ของข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุต

2. Inference จะเป็นการสร้างกฎฟัซซี (Fuzzy Rule) สำหรับวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลม

3. Defuzzification คือกระบวนการสรุปเหตุผลของตรรกศาสตร์คลุมเครือหรือกระบวนการแปลงเอาต์พุต

4.1 สร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function)

ในงานวิจัยนี้มีอินพุตสำหรับระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมทั้งหมดจำนวน 4 อินพุต และมีเอาต์พุตของระบบจำนวน 1 เอาต์พุต มีการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้งหมด 5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ในแต่ละฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะมีความแตกต่างกันออกไปตามลักษณะเฉพาะของอินพุตแต่ละชนิด โดยการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามารถสร้างได้จากการหาค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุด จากตัวอย่างข้อมูล และทำการปรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้เหมาะสมกับระบบวิเคราะห์จากการหาช่วงข้อมูลที่ทับซ้อนกันของแต่ละฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

จากภาพ 10 ค่าความเป็นสมาชิกของความยาวท่อลมสามารถกำหนดได้ ดังนี้ VS--Very Short S--Short M--Medium L--Long และ VL--Very Long โดยแต่ละกลุ่มจะมีค่าความยาวท่อลมและชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ดังนี้

VS = [0 0 2 4] ชนิด trapmf

S = [2 4 6] ชนิด trimf

M = [4 6 8] ชนิด trimf

L = [6 8 10] ชนิด trimf

VL = [8 10 12 12] ชนิด trapmf

จากภาพ 11 ค่าความเป็นสมาชิกของระยะเวลาการทำงานสามารถกำหนดได้ ดังนี้ VS--Very Short S--Short M--Medium และ L--Long โดยแต่ละกลุ่มจะมีระยะเวลาและชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ดังนี้

VS = [0 0 0.5 1] ชนิด trapmf

S = [0.5 1.25 2] ชนิด trimf

M = [1 2 3] ชนิด trimf

L = [2 3 5 5] ชนิด trapmf

จากภาพ 12 ค่าความเป็นสมาชิกของจำนวนลูกคลื่นสามารถกำหนดได้ดังนี้ L--Little M--Medium และ AL--A lot โดยแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนลูกคลื่นและชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ดังนี้

L = [0 0 20 30] ชนิด trapmf

M = [20 30 50] ชนิด trimf

AL = [30 50 120 120] ชนิด trapmf

จากภาพ 13 ค่าความเป็นสมาชิกของระยะเวลาการทำงานสามารถกำหนดได้ ดังนี้ VS--Very Small S--Small M--Medium L--Large และ VL--Very Large โดยแต่ละกลุ่มจะมีพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นและชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ดังนี้

VS = [0 0 0.01 0.02] ชนิด trapmf

S = [0.015 0.02 0.03 0.04] ชนิด trapmf

M = [0.02 0.04 0.06 0.08] ชนิด trapmf

L = [0.04 0.065 0.085 0.12] ชนิด trapmf

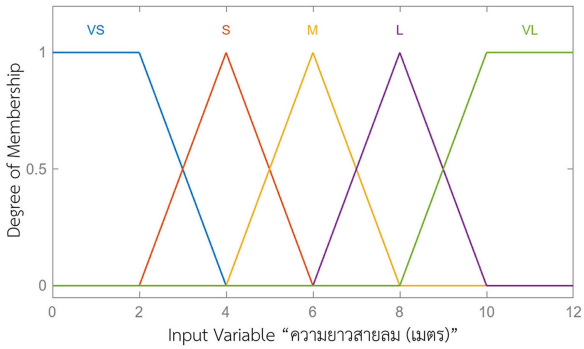
VL = [0.08 0.1 0.3 0.3] ชนิด trapmf

จากภาพ 14 ค่าความเป็นสมาชิกของผลการวิเคราะห์สามารถกำหนดได้ดังนี้ U--Untightening F--Fuzzy และ T--Tightening โดยแต่ละกลุ่มจะมีค่าผลการวิเคราะห์และชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ดังนี้

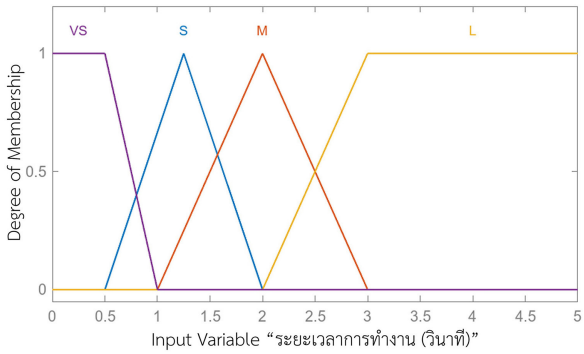
U = [0 0 0.2 0.5] ชนิด trapmf

F = [0.25 0.5 0.75] ชนิด trimf

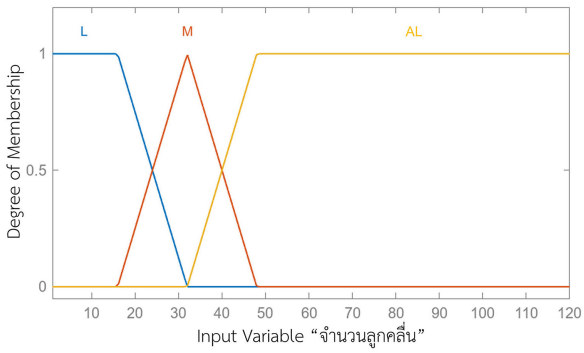
T = [0.5 0.8 1 1] ชนิด trapmf



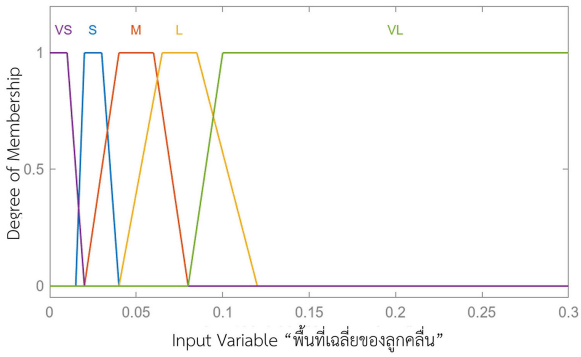
ภาพ 10 แสดงการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความยาวท่อลม



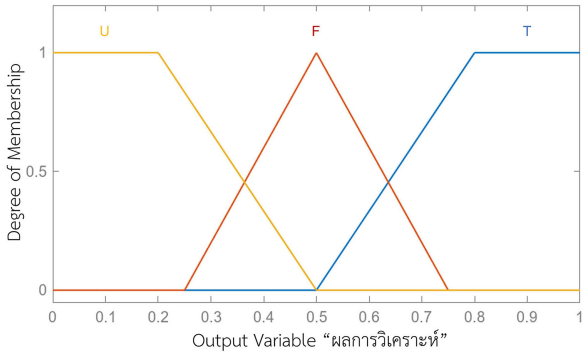
ภาพ 11 แสดงการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะเวลาการทำงานของบล็อกลม



ภาพ 12 แสดงการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของจำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสัญญาณ



ภาพ 13 แสดงการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสัญญาณ



ภาพ 14 แสดงการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของผลการวิเคราะห์

4.2 กฎฟัซซี (Fuzzy Rule)

การสร้างกฎฟัซซีสำหรับการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมสามารถแบ่งความสัมพันธ์ของอินพุตได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มแรก คือ ความยาวท่อลมและพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น และกลุ่มที่สอง คือ ระยะเวลาการทำงานและจำนวนลูกคลื่น

4.2.1 สร้างกฎจากความยาวท่อลมและพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น

ความสัมพันธ์ของระยะความยาวท่อลมและพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นมีความแปรผกผันต่อกัน เมื่อท่อลมมีความยาวมากขึ้นความสูงของลูกคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความดันจะมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ขนาดพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นจะมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย สามารถอธิบายได้จากสมการสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อมีสมการ ดังนี้ Brkić (2011)

$$\Delta p = \frac{LfV^2\rho}{2D_{in}} \tag{8}$$

เมื่อ Δp คือ ความดันที่สูญเสีย (Bar)

f คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลแบบราบเรียบ

L คือ ความยาวของท่อลม (เมตร)

V คือ ความเร็วของการไหลเฉลี่ยผ่านท่อ (m/s)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

D_{in} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (เมตร)

กฎจากความยาวท่อลมและพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นสามารถสร้างได้ ดังนี้

จากตาราง 1 การสร้างกฎจากความยาวท่อลมและพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นสามารถสร้างกฎได้ทั้งหมด 25 ข้อ

4.2.2 สร้างกฎจากระยะเวลาการทำงานและจำนวนของลูกคลื่น

ความสัมพันธ์ของระยะเวลาการทำงานกับจำนวนของลูกคลื่นมีความแปรผันตรงต่อกัน เมื่อระยะเวลาการทำงานมากขึ้นจำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

กฎจากระยะเวลาการทำงานและจำนวนของลูกคลื่นสามารถสร้างได้ ดังนี้

จากตาราง 2 การสร้างกฎจากระยะเวลาการทำงานและจำนวนของลูกคลื่นสามารถสร้างกฎได้ทั้งหมด 12 ข้อ

ตาราง 1

แสดงการสร้างกฎจากความยาวท่อลมและพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น

Rule		พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น				
		VS	S	M	L	VL
ความยาวท่อลม	VS	U	U	U	F	T
	S	U	U	F	T	F
	M	U	F	T	T	F
	L	U	T	T	T	U
	VL	U	T	T	F	U

ตาราง 2

แสดงการสร้างกฎจากระยะเวลาการทำงานและจำนวนของลูกคลื่น

Rule		จำนวนลูกคลื่น		
		L	M	AL
ระยะเวลา	VS	U	U	U
	S	T	T	U
	M	M	T	M
	L	U	M	T

4.3 การแปลงเอาต์พุต (Defuzzification)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity--COG) มีสมการ ดังนี้ Gougam et al. (2019)

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^{N} \alpha_i w_i}{\sum_{i=1}^{N} \alpha_i} \tag{9}$$

เมื่อ COG คือ ค่าของจุดศูนย์ถ่วง

N คือ ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i

α_i คือ ค่าฟัซซีของเอาต์พุตในเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

w_i คือ พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

โดยค่า COG จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการทำงานของบล็อกลมว่า เป็นการทำงานในกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่น หรือเป็นการทำงานในกรณีแรงบิดขันแน่น ค่า COG ต่อผลการวิเคราะห์มีเงื่อนไข ดังนี้

1.การทำงานในกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่นจะมีค่า $COG \leq 0.5$

2.การทำงานในกรณีแรงบิดขันแน่นจะมีค่า $COG > 0.5$

การกำหนดค่า COG สำหรับผลการวิเคราะห์นั้นมาจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของผลการวิเคราะห์ โดยในจุดที่ค่าความเป็นสมาชิกของ F--Fuzzy เท่ากับ 1 มีค่าของผลการวิเคราะห์เท่ากับ 0.5 และเมื่อผลรวมของค่า COG ออกมามีค่ามากกว่า 0.5 สามารถตีความได้ว่าการวิเคราะห์ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือนั้นมีค่ามากกว่าความคลุมเครือ ผลการวิเคราะห์จึงจัดอยู่ในกรณีแรงบิดขันแน่น

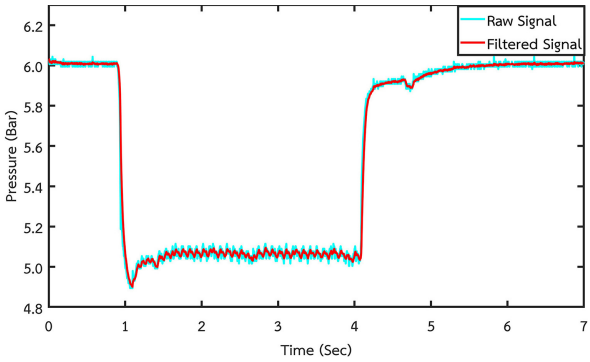
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. การกรองสัญญาณรบกวน

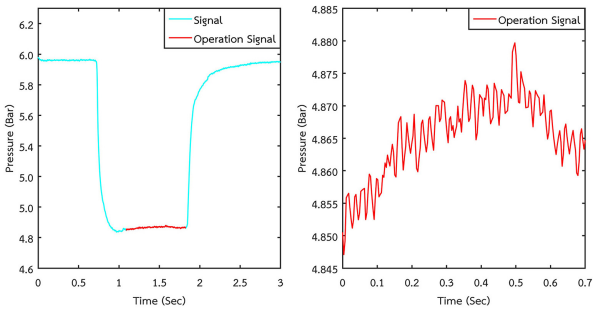
ผลของการใช้ตัวกรองคาลมานมิติเดียว (1D-Kalman Filter) ในการกรองสัญญาณรบกวน แสดงดังภาพ 15 พบว่าตัวกรองสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้สามารถทำการหาจำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสัญญาณได้ดีขึ้น เนื่องจากได้ทำการกำจัดลักษณะของสัญญาณที่ไม่สามารถคาดคะเนแบบแผนของการเกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวนที่ส่งผลต่อเงื่อนไขของการตรวจจับลูกคลื่นได้ โดยต้องกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนของ k_n ให้เหมาะสมกับระบบ การกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการทดสอบการกำหนดค่าเพื่อหาค่าที่เหมาะสม พบว่าค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 0.05 ถึงจะให้ผลการกรองที่เหมาะสมที่สุด สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ และยังคงไว้ซึ่งลักษณะที่สำคัญต่อการวิเคราะห์สัญญาณ

2. การแยกสัญญาณ

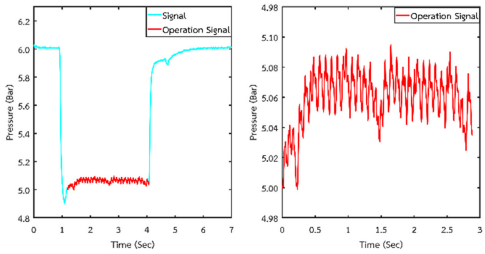
การแยกสัญญาณในช่วงที่บล็อกลมทำงานเพื่อทำการวิเคราะห์ ภาพ 16 แสดงการแยกสัญญาณช่วงที่บล็อกลมทำงานในกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่น และภาพ 17 แสดงการแยกสัญญาณช่วงที่บล็อกลมทำงานในกรณีแรงบิดขันแน่น โดยภาพรวมของสัญญาณของทั้งสองกรณีแสดงดังภาพ 16 (ก) และภาพ 17 (ก) สัญญาณในช่วงที่บล็อกลมทำงานแสดงดังภาพ 16 (ข) และภาพ 17 (ข) โดยความแตกต่างที่สามารถจำแนกทั้งสองกรณีออกจากกันได้ คือ ระยะเวลาในการทำงาน และพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น โดยในกรณีแรงบิดขันแน่นจะมีระยะเวลาการทำงานที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 1-1.5 วินาทีขึ้นไป และพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นจากภาพ 16 (ข) พบว่า มีพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นอยู่ที่ 0.012376 ตารางหน่วย ซึ่งน้อยกว่ากรณีแรงบิดขันแน่น ในภาพ 17 (ข) ที่มีพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นอยู่ที่ 0.09727 ตารางหน่วย



ภาพ 15 แสดงลักษณะสัญญาณก่อนและหลังการทำการกรองสัญญาณ



ภาพ 16 แสดงลักษณะสัญญาณในกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่นที่ระยะท่อลม 6 เมตร ภาพ (ก) แสดงภาพรวมของสัญญาณ ภาพ (ข) แสดงสัญญาณช่วงที่บล็อกลมทำงาน



ภาพ 17 แสดงลักษณะสัญญาณในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ระยะท่อลม 6 เมตร ภาพ (ก) แสดงภาพรวมของสัญญาณ ภาพ (ข) แสดงสัญญาณช่วงที่บล็อกลมทำงาน

3. ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

การวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่นจากสัญญาณในภาพ 16 สามารถแจกแจงอินพุตได้ ดังนี้

ความยาวท่อลม = 6 เมตร

พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น = 0.012736 ตารางหน่วย

จำนวนลูกคลื่น = 17 ลูก

ระยะเวลา = 0.7385 วินาที

สัญญาณจากภาพ 16 ตรงกับกฎฟัซซีทั้งหมด 4 ข้อด้วยกัน มีดังนี้

1. If จำนวนลูกคลื่น is L and ระยะเวลา is S then Output is T.

2. If จำนวนลูกคลื่น is M and ระยะเวลา is S then Output is T.

3. If จำนวนลูกคลื่น is M and ระยะเวลา is VS then Output is U.

4. If ความยาวท่อลม is M and พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น is VS then Output is U.

จากอินพุตของสัญญาณและกฎของฟัซซีที่กล่าวมาข้างต้น ค่าความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตแสดงดังภาพ 18 และในส่วนของการแปลงเอาต์พุต (defuzzification) ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถวิเคราะห์ค่าความถูกต้องของการขันแน่นออกมาได้เท่ากับ

0.397 ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ของการทำงานกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่น

การวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในกรณีแรงบิดขันแน่นจากสัญญาณในภาพ 17 สามารถแจกแจงอินพุตได้ ดังนี้

ความยาวท่อลม = 6 เมตร

พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น = 0.060554 ตารางหน่วย

จำนวนลูกคลื่น = 49 ลูก

ระยะเวลา = 2.877 วินาที

สัญญาณจากภาพ 17 ตรงกับกฎฟัซซีทั้งหมด 4 ข้อด้วยกัน มีดังนี้

1. If จำนวนลูกคลื่น is AL and ระยะเวลา is M then Output is F.

2. If จำนวนลูกคลื่น is AL and ระยะเวลา is M then Output is T.

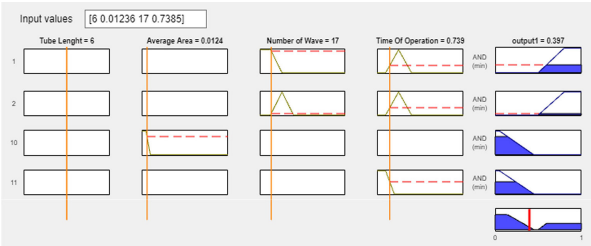
3. If ความยาวท่อลม is M and พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น is M then Output is T.

4. If ความยาวท่อลม is M and พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น is L then Output is T.

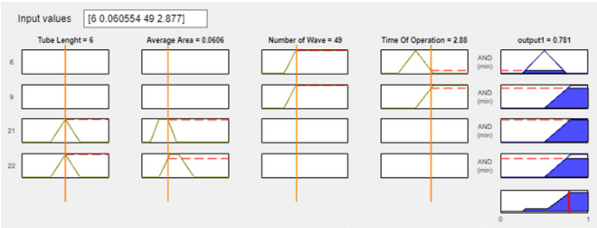
จากอินพุตของสัญญาณและกฎของฟัซซีที่กล่าวมาข้างต้น ค่าความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตแสดงดังภาพ 19 และในส่วนของการแปลงเอาต์พุต (defuzzification) ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถวิเคราะห์ค่าความถูกต้องของการขันแน่นออกมาได้เท่ากับ 0.781 ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ของการทำงานกรณีแรงบิดขันแน่น

ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถจัดการกับอินพุตในส่วนของความสัมพันธ์ของระยะความยาวท่อลมและพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นมีความแปรผกผันต่อกันได้เป็นอย่างดี จากภาพ 20 จะเห็นได้ว่าพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นจะมีขนาดเล็กลงตามความยาวท่อลมที่เพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุดของพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นต่อความยาวท่อลม แสดงดังตาราง 3

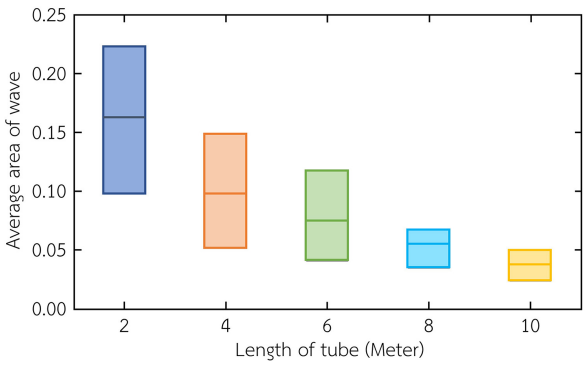
จากสัญญาณในภาพ 21 (ก) แสดงลักษณะภาพรวมสัญญาณในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ท่อลมระยะ 2 เมตร และภาพ 22 (ก) แสดงลักษณะภาพรวมสัญญาณในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ท่อลมระยะ 10 เมตร พบว่า สัญญาณที่ท่อลมระยะ 2 เมตร จากภาพ 21 (ข) มีพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นอยู่ที่ 0.20604 ตารางหน่วย และสัญญาณที่ท่อลมระยะ 10 เมตร จากภาพ 22 (ข) มีพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นอยู่ที่ 0.036391 ตารางหน่วย สามารถสรุปได้ว่าระยะความยาวของท่อลมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นมีขนาดเล็กลง ดังข้อมูลที่แสดงในตาราง 3



ภาพ 18 แสดง Fuzzy Rule Inference ของการวิเคราะห์การทำงานในกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่น



ภาพ 19 แสดง Fuzzy Rule Inference ของการวิเคราะห์การทำงานในกรณีแรงบิดขันแน่น

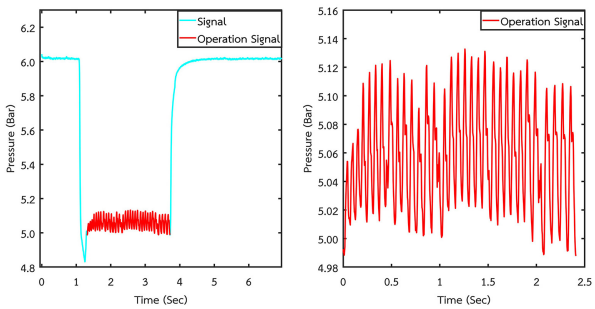


ภาพ 20 แสดงพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นต่อความยาวท่อลม

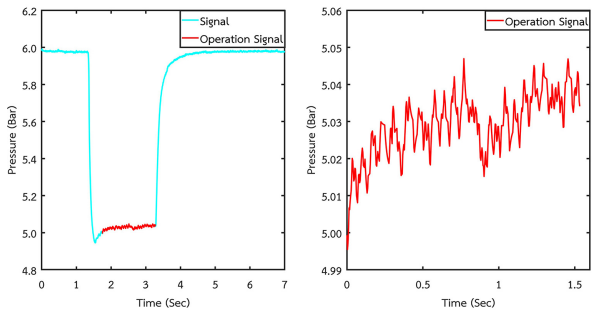
ตาราง 3

แสดงค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุด ของพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นต่อความยาวท่อลม

ความยาวของท่อลม (เมตร.)	พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น		
	Max.	Min.	Mean.
2	0.2221	0.0987	0.1636
4	0.1476	0.0530	0.0987
6	0.1172	0.0418	0.0745
8	0.0660	0.0356	0.0561
10	0.0495	0.0249	0.0395



ภาพ 21 แสดงลักษณะสัญญาณในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ระยะท่อลม 2 เมตร ภาพ (ก) แสดงภาพรวมของสัญญาณ ภาพ (ข) แสดงสัญญาณช่วงที่บล็อกลมทำงาน



ภาพ 22 แสดงลักษณะสัญญาณในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ระยะท่อลม 10 เมตร ภาพ (ก) แสดงภาพรวมของสัญญาณ ภาพ (ข) แสดงสัญญาณช่วงที่บล็อกลมทำงาน

การวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ระยะท่อลม 2 เมตร จากสัญญาณในภาพ 21 สามารถแจกแจงอินพุตได้ ดังนี้

ความยาวท่อลม = 2 เมตร

พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น = 0.20604 ตารางหน่วย

จำนวนลูกคลื่น = 39 ลูก

ระยะเวลา = 2.639 วินาที

สัญญาณจากภาพ 21 ตรงกับกฎฟัซซีทั้งหมด 5 ข้อด้วยกัน มีดังนี้

1. If จำนวนลูกคลื่น is M and ระยะเวลา is M then Output is T.

2. If จำนวนลูกคลื่น is AL and ระยะเวลา is M then Output is F.

3. If จำนวนลูกคลื่น is M and ระยะเวลา is L then Output is F.

4. If จำนวนลูกคลื่น is AL and ระยะเวลา is L then Output is T.

5. If ความยาวท่อลม is VS and พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น is VL then Output is T.

จากอินพุตของสัญญาณและกฎของฟัซซีที่กล่าวมาข้างต้น ค่าความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตแสดงดังภาพ 23 และในส่วนของการแปลงเอาต์พุต (defuzzification) ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถวิเคราะห์ค่าความถูกต้องของการขันแน่นออกมาได้เท่ากับ 0.724 ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ของการทำงานกรณีแรงบิดขันแน่น

การวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ระยะท่อลม 10 เมตร จากสัญญาณในภาพ 22 สามารถแจกแจงอินพุตได้ ดังนี้

ความยาวท่อลม = 10 เมตร

พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น = 0.036391 ตารางหน่วย

จำนวนลูกคลื่น = 24 ลูก

ระยะเวลา = 1.5295 วินาที

สัญญาณจากภาพ 22 ตรงกับกฎฟัซซีทั้งหมด 6 ข้อด้วยกัน มีดังนี้

1. If จำนวนลูกคลื่น is L and ระยะเวลา is S then Output is T.

2. If จำนวนลูกคลื่น is M and ระยะเวลา is S then Output is T.

3.If จำนวนลูกคลื่น is L and ระยะเวลา is M then Output is F.

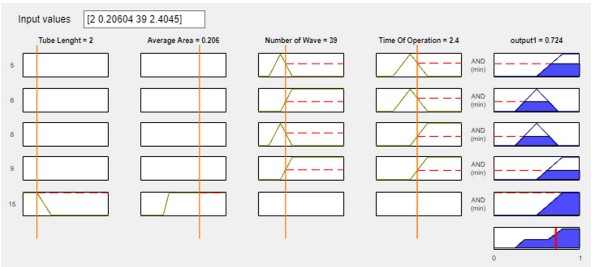
4. If จำนวนลูกคลื่น is M and ระยะเวลา is M then Output is T.

5. If ความยาวท่อลม is VL and พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น is S then Output is T.

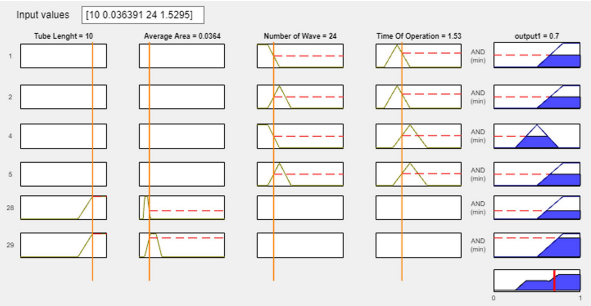
6. If ความยาวท่อลม is VL and พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น is M then Output is T.

จากอินพุตของสัญญาณและกฎของฟัซซีที่กล่าวมาข้างต้น ค่าความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตแสดงดังภาพ 24 และในส่วนของการแปลงเอาต์พุต (defuzzification) ของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถวิเคราะห์ค่าความถูกต้องของการขันแน่นออกมาได้เท่ากับ 0.7 ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ของการทำงานกรณีแรงบิดขันแน่น

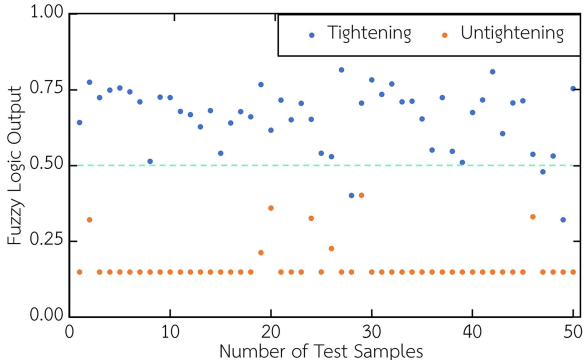
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่สร้างขึ้น ด้วยชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 100 ข้อมูล แบ่งเป็นกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่น 50 ข้อมูล และกรณีแรงบิดขันแน่น 50 ข้อมูล การทดสอบจะแบ่งตามระยะความยาวท่อลมที่ 2 4 6 8 และ 10 เมตร ผลการทดสอบแสดงดังภาพ 25



ภาพ 23 แสดง Fuzzy Rule Inference ของการวิเคราะห์การทำงานในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ระยะท่อลม 2 เมตร



ภาพ 24 แสดง Fuzzy Rule Inference ของการวิเคราะห์การทำงานในกรณีแรงบิดขันแน่นที่ระยะท่อลม 10 เมตร



ภาพ 25 แสดงผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

จากภาพ 25 จะเห็นได้ว่าเอาต์พุตในกรณีแรงบิดขันแน่นจะมีค่ามากกว่า 0.5 และในกรณีไม่ได้เป็นแรงบิดขันแน่นจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5

จากการทดสอบระบบวิเคราะห์ ค่าเอาต์พุตในกรณีไม่ได้เป็นแรงบิดขันแน่นส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ 0.14863 เนื่องจากว่าสัญญาณความดันลมไม่มีลูกคลื่นเกิดขึ้น (เกิดจากลูกคลื่นมีขนาดเล็กมากและถูกกรองออกด้วยตัวกรองคาลมานมิติเดียว) หรือถ้ามีลูกคลื่นเกิดขึ้นพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่นจะมีขนาดน้อยมาก รวมถึงในกรณีที่มีระยะเวลาในการทำงานน้อย (น้อยกว่า 0.5 วินาที) ส่วนใหญ่แล้วในกรณีข้างต้นจะตรงกับกฎฟัซซีในข้อใดข้อหนึ่งหรือมากกว่า 1 ข้อมี ดังนี้

1. If พื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น is VS Output is U.

2. If ระยะเวลาการทำงาน is VS Output is U.

ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือพบว่า มีเอาต์พุตในกรณีแรงบิดขันแน่นที่มีค่าน้อยกว่า 0.5 อยู่ 3 ข้อมูลจากทั้งหมด 50 ข้อมูล ถือว่าเป็นการวิเคราะห์ผิดพลาด สามารถคำนวนเป็นเปอร์เซ็นความแม่นยำได้เท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์และในกรณีไม่เกิดแรงบิดขันแน่นมีค่าความแม่นยำอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่า ระบบมีความแม่นยำโดยรวมอยู่ที่ 97 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์ในกรณีแรงบิดขันแน่นที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น เกิดจาก 3 ข้อมูลที่นำมาทดสอบ เป็นการขันน็อตที่เกิดแรงบิดขันแน่น แต่มีเวลาในการทำงานของบล็อกลมน้อย ส่งผลให้จำนวนลูกคลื่นมีขนาดน้อยกว่ากฎของกรณีแรงบิดขันแน่นที่ได้สร้างไว้ ระบบจึงวิเคราะห์ออกมาว่าไม่ได้เป็นกรณีแรงบิดขันแน่น และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นถือว่าเป็นข้อดี เนื่องจากในการขันประกอบสลักเกลียวด้วยบล็อกลมนั้นต้องใช้ระยะเวลาที่มากพอเพื่อเป็นการยืนยันว่าการขันสลักเกลียวเป็นกรณีแรงบิดขันแน่นที่แท้จริง

สรุปผล

จากการออกแบบการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ สามารถสรุปได้ดังนี้ ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือมีความสามารถในการจัดการกับตัวแปรอินพุตของระบบการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมที่มีหลายตัวแปรและมีค่าตัวแปรหลายขนาดได้ดีจากการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและการสร้างกฎของระบบฟัซซี ในงานวิจัยนี้เห็นได้ชัดเจนในเรื่องของการจัดการกับความสัมพันธ์ที่มีความแปรผกผันกันของอินพุตระหว่างความยาวท่อลมและพื้นที่เฉลี่ยของลูกคลื่น ข้อดีของการใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในการวิเคราะห์ คือ สามารถปรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและกฎฟัซซีตามตัวอย่างข้อมูลได้โดยไม่มีความยุ่งยาก เหมาะสำหรับเป็นเครื่องมือเริ่มต้นเพื่อวิเคราะห์สัญญาณหรือข้อมูล

การวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในงานวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมได้แม่นยำถึง 97 เปอร์เซ็น

ผลจากงานวิจัยนี้ถือว่าเป็นแนวโน้มที่ดีของการนำระบบวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือไปพัฒนาต่อ สำหรับสร้างระบบการป้องกันความผิดพลาด (ระบบโพคา-โยเกะ) ที่มีหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของจำนวนการครั้งในการขันประกอบสลักเกลียวด้วยบล็อกลมของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ตัวอย่างของบล็อกลมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยคือบล็อกลมยี่ห้อ Kuani รุ่น KI-1308 ผู้วิจัยได้ทำการสร้างระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อทำการวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลมจากข้อมูลของบล็อกลมรุ่นที่ได้นำเสนอ เพื่อเป็นการหาแนวทางวิเคราะห์การทำงานของบล็อกลม หากต้องการที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับบล็อกลมรุ่นอื่นจะต้องทำการปรับข้อมูลของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) และกฎของฟัซซีให้เข้ากับพฤติกรรมการทำงานของบล็อกลมชนิดนั้น ๆ

References

Anas, E. (2016). Edge detection techniques using fuzzy logic. *2016 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)* (pp. 169-173). Noida, India: IEEE. https://doi.org/10.1109/SPIN.2016.7566682

Brkić, D. (2011). A gas distribution network hydraulic problem from practice. *Petroleum Science and Technology, 29*(4), 366-377. http://dx.doi.org/10.1080/10916460903394003

Buemi, A., Giacalone, D., Naccari, F., & Spampinato, G. (2016). Efficient fire detection using fuzzy logic. *2016 IEEE 6th International Conference on Consumer Electronics-Berlin (ICCE-Berlin)* (pp. 237-240). Berlin, Germany: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCE-Berlin.2016.7684764

Gougam, F., Rahmoune, C., Benazzouz, D., & Merainani, B. (2019). Bearing fault diagnosis based on feature extraction of Empirical Wavelet Transform (EWT) and Fuzzy Logic System (FLS) under variable operating conditions. *Journal of Vibroengineering, 21*(6), 1636-1650. https://doi.org/10.21595/jve.2019.20092

Jumahat, S., Beng, G. K., Misran, N., Islam, M. T., & Mahri, N. (2019). Automatic QRS onset detection of ECG signal using secant line slope formula. *2019 IEEE 15th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)* (pp. 132-136). Penang, Malaysia: IEEE. https://doi.org/10.1109/CSPA.2019.86959823

Karuna, M., Ganesh, Ch., Das, R. P., & Kumar, M. V. (2017). Classification of wrist movements through EMG Signals with fuzzy logic algorithm. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)* (pp. 2258-2261). Chennai, India: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389854

Khalid, M., Yusof, R., & Mokayed, H. (2011). Fusion of multi-classifiers for online signature verification using fuzzy logic inference. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 7*(5), 2709-2726. http://www.ijicic.org/isme09-si16.pdf

Kumar, R. S., Raj, L. G. C., & Abarna, J. (2018). Analysis of fuzzy logic based fault detection for three phase induction motor drive system. *2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)* (pp. 700-705). Chennai, India: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICEES.2018.8443247

Lee, Y. G., Talluri, T., & Chung, H. T. (2019). Development of impact wrench torque measurement system. *2019 IEEE International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)* (pp. 33-36). Xiamen, China: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICACEH484242019.9042104

Marselli, C., Daudet. D., Amann, H. P., & Pellandini, F. (1998). Application of Kalman filtering to noise reduction on microsensor signals. *Proceedings of the Colloque interdisciplinaire en instrumentation: C2I'98* (pp. 443-450). France: The Open University and Jisc. https://core.ac.uk/download/pdf/20641186.pdf

Mendoza, C., Schweitzer, P., & Weber, S. (2019). Kalman filter and a fuzzy logic processor for series arcing fault detection in a home electrical network. *International Journal of Electrical Power and Energy System, 107*(3), 251-263. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.11.002

Pharne, S., & Patil, A. (2017). Fault diagnosis of motor using fuzzy logic technique. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)* (pp. 3110-3115). Chennai, India: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8390029

Pratumsuwan, P. (2018). *Fuzzy logic control*. Bangkok: Se-Education Public Company Limited. (in Thai)

Ratanaprasert, C., Ananchuen, N., Chumchob, N., Supaporn, W., & Howsud, T. (2016). Integrals. In N. Ananchuen, M. Chaiya, J. Rakbud & R. Srithus (Eds.). *Calculus II. Silpakorn University*. http://www.math.sc.su.ac.th/web3/textbooks/cal2/Calculus2-ch1-integrals.pdf. (in Thai)

Roveda, L., Riva, D., Bucca, G., & Piga, D. (2021). External joint torques estimation for a position-controlled manipulator employing an extended Kalman Filter. *2021 18th International Conference on Ubiquitous Robots (UR)* (pp. 101-107). Gangneung, Korea (South): IEEE. https://doi.org/10.1109/UR52253.2021.9494674

Sahid, D., & Alaydrus, M. (2020). Multi sensor fire detection in low voltage electrical panel using modular fuzzy logic. *2020 2nd International Conference on Broadband Communications, Wireless Sensors and Powering (BCWSP)* (pp. 31-35), Yogyakarta, Indonesia: IEEE. https://doi.org/10.1109/BCWSP50066.2020.9249400

Semsri, A., Suksukont, A., Sisamut, S., & Pudtipatkosit, T. (2021). Quality control and loss reduction in the front side fender model assembly process using Poka-Yoke Techniques. *RMUTP Research Journal, 15*(2), 103-118. https://doi.org/10.14456/jrmutp.2021.25. (in Thai)

Somsirikarnjanakoon, T., Prasopchaichana, K., Tongjiphitak, K., Suthachewa, K., & Srikosak, K. (2018). Defect reduction in assembly process: Case study of automotive manufacturer. *IE Network Conference 2018 (July 23-26)*. Ubon Ratchathani: IE Network. (in Thai)

Ülkir, O., Gökmen, G., & Kaplanoğlu, E. (2017). Emg signal classification using fuzzy logic. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering, 5*(2), 97-101. https://doi.org/10.17694/bajece. 337941

Xia, Z., Xie, F., & Wang. X. (2019). Design of electric fixed torque wrench based on speed difference detection. *2019 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* (pp. 3724-3729). Nanchang, China: IEEE. https://doi.org/10.1109/CCDC.2019.8832745.

Xu, J., Zhoa, Y., & Chen, K. (2020). Development of a high-precision digital display torque wrench. *Journal of Physics: Conference Series, Volume 1626, 2020 4th International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering 21-22 June 2020* (pp. 1-6). Beijing, China: IOP Publishing Ltd. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1626/1/012138

การพัฒนาแบบจำลองพลังงานแบบบูรณาการของอาคารในเมืองพัทยา ประเทศไทย
Development of Integrated Building Energy Modeling in Pattaya City, Thailand

ณัฏฐ์ นาคกร[1] ศุภรัชชัย วรรัตน์[1]* และอำนาจ ผดุงศิลป์[2]
Nat Nakkorn[1], Suparatchai Vorarat[1]* and Aumnad Phdungsilp[2]
[1]วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
[1]College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University
[2]คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[2]School of Energy, Environment and Materials King Mongkut's, University of Technology Thonburi
*Corresponding author E-mail: vorarat@gmail.com
Received: February 22, 2023
Revised: March 29, 2023
Accepted: April 5, 2023

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนนั้นจำเป็นที่จะต้องมีแนวความคิดหรือนวัตกรรมใหม่ ๆ สิ่งเหล่านี้สามารถเข้ามาช่วยสนับสนุนให้รัฐบาลท้องถิ่นและผู้ที่มีส่วนได้เสียในการกำหนดนโยบายด้านพลังงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและนำเสนอวิธีการในการสร้างแบบจำลองพลังงานอาคารแบบบูรณาการรวมถึงการวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานในเขตเมือง ในงานวิจัยได้ใช้เมืองพัทยาในประเทศไทยเป็นกรณีศึกษา โดยมีขอบเขตเฉพาะอาคารประเภทที่อยู่อาศัยเท่านั้น ผลการวิจัยพบว่า จากอาคารทั้ง 6 ประเภทอาคาร คือ (1) บ้านเดี่ยว (2) อาคารเดี่ยว (3) บ้านสองชั้น (4) ทาวน์เฮ้าส์ (5) อาคารพาณิชย์ และ (6) โรงแรมและคอนโดมิเนียม ในกรณีอ้างอิงมีการใช้พลังงานรวม 44,176,062 MWh/yr และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม 25,714,886 tCO_2e/yr การวิเคราะห์มาตรการการลดการใช้พลังงาน พบว่า การเปลี่ยนกระจกสองชั้นด้วยการเคลือบแบบ Low-E การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังและหลังคา ฟิล์มกันความร้อน และการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนชั้นดาดฟ้ามีศักยภาพสูงในการประหยัดพลังงานและลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงาน มาตรการเหล่านี้นำไปสู่การประหยัดพลังงานรวม 12,908,646 MWh/yr และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 7,514,123 tCO_2e/yr โดยวิธีการที่นำเสนอใช้สำหรับการตัดสินใจทางด้านพลังงานและความเป็นกลางทางคาร์บอนในเมืองจะเป็นประโยชน์ต่อรัฐบาลท้องถิ่นและผู้กำหนดนโยบายด้านพลังงาน

คำสำคัญ: อนุรักษ์พลังงาน ประสิทธิภาพพลังงาน การจำลองพลังงานในอาคาร ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Abstract

Transitioning energy systems towards carbon neutrality is necessary to have creative initiatives or new innovations. These enable local governments and stakeholders to provide energy policies. This research aims to develop and present a method for integrated building energy modeling. This includes the analysis of energy conservation measures and energy-related CO_2 emissions in an urban area. The research used Pattaya city in Thailand as a case study. The scope of the building type covers only residential buildings. The results show that the total energy use and energy-related CO_2 emissions in the six building types, including (1) single houses, (2) single buildings, (3) two-story houses, (4) townhouses, (5) commercial buildings, and (6) hotels and condominiums, are 44,176,062 MWh/yr and 25,714,886 tCO_2e/yr. The analysis of energy conservation measures revealed that replacing glazing areas with Double IGU with Low-E, installing wall and roof insulation, thermal film, and solar photovoltaic rooftops have high potential for energy-savings and energy-related CO_2 emission reductions. These measures led to total energy savings of 12,908,646 MWh/yr and energy-related CO_2 emission reductions of 7,514,123 tCO_2e/yr. Local governments and stakeholders would benefit from the proposed method for energy and carbon-neutral decision-making in cities.

Keywords: Energy conservation, Energy efficiency, Building energy simulation, CO_2 emission reductions

บทนำ

ในปัจจุบันโลกมีสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากเนื่องจากการขยายตัวของชุมชนเมือง และประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้การกำหนดนโยบายทางด้านพลังงานและการพัฒนาผังเมืองให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนนั้นทำได้ยากมากยิ่งขึ้น โดยมีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนเพียงร้อยละ 19 โดยส่วนมากประชากรของโลกทั้งหมดจะอาศัยอยู่ในเขตพื้นที่เมืองคิดเป็นประมาณร้อยละ 55 และคาดการณ์ว่า ในอนาคตตัวเลขของประชากรของโลกจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 68 ภายในปี 2050 (UN DESA, 2018) นั่นหมายความว่า มีความต้องการใช้พลังงานในทุก ๆ ด้านเพิ่มสูงขึ้นเช่นกันส่งผลโดยตรงให้มีการเพิ่มขึ้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas--GHG) เขตพื้นที่อาศัยในเขตชุมชนเมืองมีการใช้พลังงานถึงร้อยละ70 และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 66 (Alhamwi, Medjroubi, Vogt & Agert, 2019) การใช้พลังงานในเขตพื้นที่ชุมชนเมืองนั้นมีความเกี่ยวข้องกับทรัพยากรและสภาพภูมิอากาศอย่างเป็นนัยสำคัญเนื่องจากพื้นที่ชุมชนเมืองนั้นใช้พลังงานจากไฟฟ้าเป็นหลัก หากสามารถลดการใช้พลังงานจากไฟฟ้าเปลี่ยนมาเป็นการใช้พลังงานจากพลังงานหมุนเวียนแทน เช่น การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ การติดตั้งกังหันลม การใช้พลังงานชีวมวล และอื่น ๆ เพื่อรองรับความต้องการในการใช้พลังงานภายในอาคารที่พักอาศัยหรืออาคารสาธารณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแผงโซลาร์เซลล์นั้น สามารถติดตั้งกับหลังคาและผนังของอาคารที่มีอยู่เดิมได้ ประชาชนโดยทั่วไปสามารถหาซื้อและนำมาใช้ได้อย่างทั่วถึง (Li et al., 2020) และยังมีอีกหนึ่งมาตรการที่สามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคารได้อย่างยั่งยืนโดยทำการปรับปรุงอาคารเดิมหรือออกแบบอาคารใหม่ให้เข้าสู่เกณฑ์อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ไม่ว่าจะเป็นการปรับเปลี่ยนกรอบหน้าต่างอาคาร การติดฟิล์มกันความร้อนภายในอาคาร การติดตั้งฉนวนกันความร้อน การปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศที่เน้นไปทางด้านลดการใช้พลังงานไฟฟ้า การปรับเปลี่ยนหลอด

ไฟประหยัดพลังงาน และอื่น ๆ นั้นล้วนแต่เป็นมาตรการเชิงรุกที่มุ่งไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำได้ในอนาคต

สำหรับอาคารที่มีการผสมผสานรวมกับแผงโซลาร์เซลล์ หากต้องการวางแผนการใช้พลังงานในอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงนั้น การวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลให้เป็นระบบระเบียบ เป็นกลยุทธ์หนึ่งที่เป็นไปได้และมีประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลที่เป็นจำนวนมาก คือ การใช้แบบจำลองระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System--GIS) เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลพลังงานทางด้านภูมิศาสตร์และสภาพแวดล้อมโดยรอบ (Li, 2018) ทำให้การแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่นั้นชัดเจนและเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น ในการวางแผนพลังงาน ข้อมูลด้านสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) นั้นสามารถช่วยเป็นทางเลือกในการเลือกมาตรการพลังงานที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคารได้ ซึ่งสามารถทำได้หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมหาศาลเท่านั้น (Ali, Shamsi, Hoare & O'donnell, 2018) อย่างไรก็ตามความยากลำบากในการสำรวจและการเก็บข้อมูลเชิงลึกรวมถึงข้อมูลจำเพาะส่วนบุคคล บางครั้งอาจขัดขวางในการเก็บบันทึกข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างฐานข้อมูลของอาคารต้นแบบของแต่ละประเภทของโครงสร้างอาคารได้ (Ali, Haris Shamsi, Hoare, Mangina & O'Donnell, 2019) และเพื่อที่จะวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารโดยรวมโดยใช้ข้อมูลเพียงเล็กน้อยนั้น แนวทางที่เป็นที่นิยมและเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่าย คือ การสร้างแบบจำลองพลังงานต้นแบบของอาคารแต่ละประเภท (Reinhart & Davila, 2016)

หน่วยงานท้องถิ่น นักวางผังเมือง และผู้กำหนดนโยบายด้านพลังงานมักจะทำการวางแผนและวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงานด้วยข้อมูลในพื้นที่ของตัวเองอีกทั้งเป็นข้อมูลที่จำกัดเข้าถึงข้อมูลได้ลำบาก และยังขาดการเก็บรวบรวมข้อมูล การสร้างฐานข้อมูลของอาคารต้นแบบที่มีรายละเอียดเฉพาะในแต่ละท้องที่ โดยรัฐบาลหรือหน่วยงานระดับประเทศก็อาจจะประสบปัญหาในการจัดระเบียบของแหล่งข้อมูลเชิงลึกของแต่ละบุคคล อันเนื่องมาจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงานที่เน้นเฉพาะภาพรวมในระดับชาติหรือระดับนานาชาติเท่านั้น (Nutkiewicz, Yang & Jain, 2018) โดยการศึกษาแบบจำลองพลังงานในอาคารที่มีอยู่ส่วนใหญ่นั้นไม่ได้ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของอาคารเหล่านี้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากการวางแผนด้านพลังงานนั้นไม่ค่อยได้รับการจัดการที่เหมาะสมโดยเฉพาะในระดับท้องถิ่น ดังนั้นรัฐบาลท้องถิ่นจึงขาดข้อมูลที่สำคัญที่จำเป็นที่ช่วยในการกำหนดนโยบายด้านพลังงานต่าง ๆ ซึ่งวิธีการสร้างแบบจำลองพลังงานในปัจจุบันไม่ได้ให้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการศึกษาข้อมูลเชิงลึก รวมถึงข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารในรูปแบบของข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS)

ขอบเขตการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาวิธีการในการสร้างแบบจำลองพลังงานในอาคารแบบบูรณาการและการวิเคราะห์เปรียบเทียบ อาคารทั้ง 6 ประเภท ได้แก่ (1) บ้านเดี่ยว (2) อาคารเดี่ยว (3) บ้านสองชั้น (4) ทาวน์เฮ้าส์ (5) อาคารพาณิชย์ และ (6) โรงแรมและคอนโดมิเนียม ตามมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งรวมถึงการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคา เพื่อนำไปใช้ในมาตรการการลดการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัย ในการวิจัยนี้จะใช้พื้นที่เมืองพัทยาซึ่งเป็นเมืองท่องเที่ยวขนาดใหญ่ของประเทศไทยเป็นกรณีศึกษา

วัตถุประสงค์การวิจัย

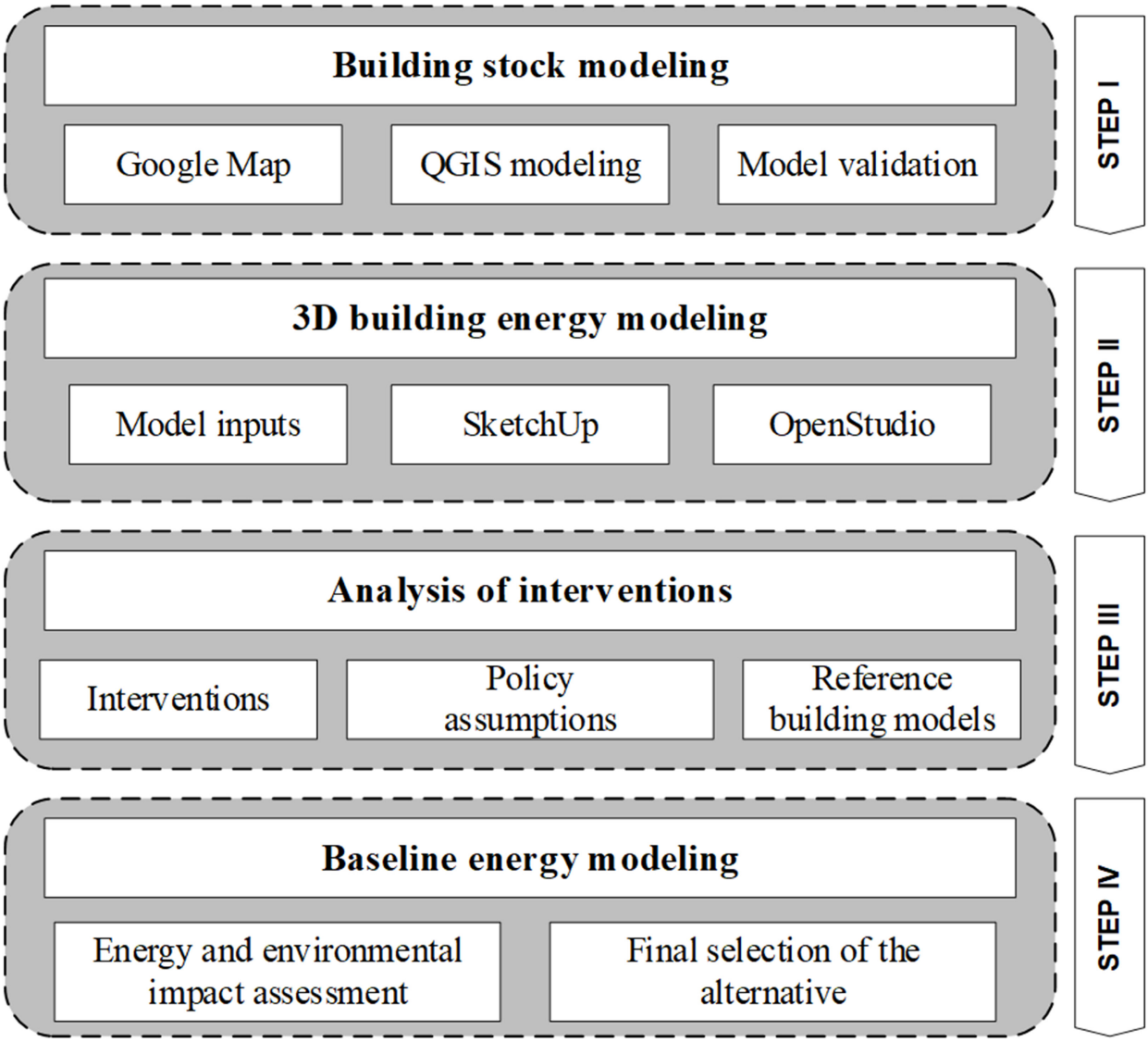
1. เพื่อพัฒนาและนำเสนอวิธีการในการสร้างแบบจำลองพลังงานอาคารแบบบูรณาการ

2. เพื่อสร้างแบบจำลองพลังงานอาคารและวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรณีศึกษา เมืองพัทยา

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวทางในสร้างแบบจำลองพลังงานแบบบูรณาการในเขตพื้นที่ศึกษาเมืองพัทยาจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ โดยจะแสดงไว้ในภาพ 1 และขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์และเก็บรวมรวบข้อมูลด้วยเทคนิควิธีการต่าง ๆ ในการสร้างแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ฐานข้อมูลอาคารแบบสองมิติ การสร้างฐานข้อมูลของอาคารที่พักอาศัยทั้ง 6 ประเภทในรูปแบบแผนที่ดิจิตัลแบบสองมิติ นั้นจะสามารถทำให้แสดงภาพรวมของอาคารที่อยู่อาศัยทั้งหมดภายในพื้นที่ที่ต้องการศึกษาได้และง่ายต่อการแบ่งแยกประเภทอาคาร ขนาดพื้นที่ดิน ลักษณะอาคาร จำนวนอาคารในพื้นที่ศึกษา และอื่น ๆ โดยในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม QGIS version 3.28 ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างการค้นหาเชิงโต้ตอบ จัดเก็บข้อมูล อัปเดตข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ จากนั้นจึงแสดงการค้นพบในรูปของตารางคุณลักษณะและแผนที่ดิจิทัล ด้วยเหตุนี้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) จึงเป็นวิธีการและเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่แบบสองมิติของชุมชนเมือง แผนภูมิระดับความสูงของอาคารในรูปแบบ สองมิติ และสามมิติ สามารถทำได้ด้วยซอฟต์แวร์ QGIS นี้ (Sola, Corchero, Salom & Sanmarti, 2018) ซึ่งการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สร้างฐานข้อมูลดิจิทัล อาจเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดมาตรการด้านพลังงานได้ในอนาคต



ภาพ 1 กรอบแนวความคิดการวางแผนพลังงานของอาคารที่พักอาศัยแบบบูรณาการ

2. การสร้างแบบจำลองพลังงานอาคารแบบสามมิติ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างแบบจำลองแบบสามมิติของอาคารตัวแทนของทั้ง 6 ประเภทอาคาร เพื่อเป็นอาคารต้นแบบที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์มาตรการในลดการใช้พลังงานด้านต่าง ๆ โดยแบบจำลองของอาคารต้นแบบสามารถดำเนินการได้โดยใช้ปลั๊กอินโปรแกรม OpenStudio ร่วมกับ โปรแกรม EnergyPlus เพื่อจำลองการใช้พลังงานของอาคาร EnergyPlus สร้างขึ้น โดย National Renewable Energy Laboratory ของกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา เป็นหนึ่งในเครื่องมือ ด้าน Building Energy Simulation--BES (DOE, 2021) EnergyPlus เป็นโปรแกรมจำลองภาระความร้อนและโปรแกรมการวิเคราะห์พลังงาน สามารถใช้กำหนดปริมาณความร้อนและความเย็นที่ต้องการสำหรับอาคารได้ ซึ่งโดยส่วนมากโปรแกรม EnergyPlus ในบทความที่ตีพิมพ์ในหลาย ๆ ฉบับจะถูกนำไปใช้เพื่อสร้างข้อมูลทางด้านพลังงานเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับอาคารประเภท ต่าง ๆ (Stadler, Firestone & Curtil, 2006) โดยโปรแกรม EnergyPlus จะใช้ลักษณะข้อมูลทางกายภาพของอาคาร สภาพทางภูมิศาสตร์ สภาพอากาศ และระบบอาคารต่าง ๆ เช่น ระบบทำความเย็นและระบายอากาศ เป็นต้น

ในการสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบได้ทำการสำรวจโดยใช้เครื่องมือคำนวณพื้นที่ใน Google Maps เพื่อดูขนาดของอาคารโดยทั่วไป นอกจากนี้ พารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความสูงของอาคารและความครอบคลุมของหน้าต่างจะถูกประเมินด้วยโปรแกรม Google Street View เพื่อใช้ในกระบวนการสร้างแบบจำลอง แบบจำลองจะถูกแสดงเป็นรูปทรงเมตริก ต้นแบบจะถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงผลลัพธ์ของการใช้พลังงาน ตัวอย่างเช่น จำนวนชั้น ตารางเวลาบุคคล กิจกรรม และรายละเอียดอุปกรณ์ภายในของแต่ละชั้น โดยเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานจากสถานการณ์จริง จากนั้นจะนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมทั้งหมดมาใส่ในโปรแกรม OpenStudio โดยการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารนั้นตั้งอยู่บนหลักการสมดุลทางความร้อน รวมถึงสมดุลความร้อนที่พื้นผิว สมดุลความร้อนในอากาศ และการจำลองระบบอาคาร โดยการคำนวณสมดุลความร้อนได้แสดงไว้ในสมการ (1) ถึงสมการ (4) (Kampelis et al., 2020)

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

โดยที่

$q''_{\alpha sol}$ = รังสีแสงอาทิตย์ที่ดูดซับโดยตรงและกระจาย (ความยาวคลื่นสั้น) และฟลั๊กความร้อน

q''_{LWR} = การแลกเปลี่ยนฟลั๊กการแผ่รังสีความยาวคลื่นสุทธิ (ความร้อน) กับอากาศและสภาพแวดล้อม

q''_{conv} = การแลกเปลี่ยนฟลั๊กหมุนเวียนกับอากาศภายนอก

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

โดยที่ $q''_{\alpha sol}$ ได้รับอิทธิพลจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ตำแหน่ง มุมและความเอียงของพื้นผิว วัสดุพื้นผิวและสภาพอากาศ q''_{LWR} ถูกกำหนดโดยการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างพื้นผิวกับพื้นดิน ท้องฟ้าและอากาศ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned} q''_{LWR} = {} & \varepsilon\sigma F_{gnd}\left(T_{gnd}^4 - T_{surf}^4\right) \\ & + \varepsilon\sigma F_{sky}\left(T_{sky}^4 - T_{surf}^4\right) \\ & + \varepsilon\sigma F_{air}\left(T_{air}^4 - T_{surf}^4\right) \end{aligned} \qquad (2)$$

โดยที่

ε = การปล่อยคลื่นยาวของพื้นผิว

σ = ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann

F_{gnd} = ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิพื้นผิวพื้นดิน

F_{sky} = ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิของท้องฟ้า

F_{air} = ปัจจัยของพื้นผิวผนังต่ออุณหภูมิอากาศ

T_{surf} = อุณหภูมิพื้นผิวภายนอก

T_{gnd} = อุณหภูมิพื้นผิวดิน

T_{sky} = อุณหภูมิท้องฟ้า

T_{air} = อุณหภูมิของอากาศ

การคำนวณความร้อนจากการพาความร้อนของแบบจำลองสามารถหาได้ตามสมการที่ 3

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

โดยที่

$h_{c,ext}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอก

T_{surf} = อุณหภูมิพื้นที่ผิว

T_{air} = อุณหภูมิอากาศภายนอก

การคำนวณค่าการนำความร้อนสู่ผนังสามารถหาได้ตามสมการที่ 4

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

โดยที่

T = อุณหภูมิ

T_o = อุณหภูมิขององค์ประกอบภายนอกของอาคาร

T_i = อุณหภูมิขององค์ประกอบภายในของอาคาร

i = องค์ประกอบภายในของอาคาร

o = องค์ประกอบภายนอกของอาคาร

X, Y = ปัจจัยตอบสนอง

3. มาตรการทางเลือกลดการใช้พลังงาน ในการวิเคราะห์หามาตรการทางเลือกในการลดการใช้พลังงานนั้นเป็นผลลัพธ์ที่ได้มาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของอาคารที่และจากทบทวนวรรณกรรมเช่นการสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Building Energy Models--BEM) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร (Reinhart & Davila, 2016) การติดฟิล์มและหน้าต่างลดพลังงานความร้อนที่แสงอาทิตย์ส่งผ่าน ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง (Marina et al., 2019) การใช้พลังงานหมุนเวียนทดแทนการใช้พลังงานจากไฟฟ้าเป็นหลัก และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาและอื่น ๆ (Li, Ding, Liu & Wang, 2016) จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบเพื่อนำมาวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารของอาคารแต่ละประเภท โดยจะนำมาตรการต่าง ๆ มาวิเคราะห์และปรับให้เหมาะกับแต่ละประเภทอาคารเพื่อทำการเปรียบเทียบมาตรการแต่ละประเภทว่ามาตรการใดเป็นมาตรการที่ดีสุดที่โดยจะแบ่งมาตรการในการลดการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยได้เป็น 4 ประเภทหลัก ๆ ดังต่อไปนี้ (1) การติดตั้งกระจกประหยัดพลังงานเพื่อลดความร้อนในอาคาร (2) การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหลังคา (3) การติดฟิล์มลดความร้อนภายในอาคาร และ (4) การติดตั้งแผงโซล่าร์เซลล์บนหลังคา ซึ่งมาตรการดังกล่าวเป็นการผสมผสานสิ่งที่ค้นพบเข้ากับกลยุทธ์ด้านพลังงาน โดยปรับให้เหมาะกับระดับท้องถิ่นหรือระดับภูมิภาค

4. การเลือกมาตรการด้านพลังงานของอาคารต้นแบบ ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่สามารถช่วยให้ผู้กำหนดมาตรการหรือผู้ที่มีส่วนได้เสียทราบถึงมาตรการและทางเลือกทางด้านพลังงานว่า มาตรการใดที่สามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคารและเหมาะสมกับอาคารที่พักอาศัยทั้ง 6 ประเภทได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาจากการวิเคราะห์การใช้พลังงานรวมของอาคารแต่ละประเภท จากนั้นนำมาตรการทั้ง 5 มาตรการหลัก ๆ มาจำลองในแบบจำลองอาคารต้นแบบและพิจารณาเปรียบระหว่างแบบจำลองอาคารต้นแบบกับแบบจำลองอาคารที่ได้รับการเพิ่มมาตรการต่าง ๆ เข้าไปในแบบจำลอง จากนั้นทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่พักอาศัยทั้ง 6 ประเภท ภายในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ตามมาตรการต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงการคำนวณค่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยในขั้นตอนสุดท้ายนี้จะได้ฐานข้อมูลแบบจำลองอาคารที่อยู่อาศัยทั้ง 6 ประเภท แบบสามมิติ ฐานข้อมูลการใช้พลังงานโดยรวมในอาคาร และฐานข้อมูลค่าการใช้พลังงานที่ลดลงตามมาตรการต่าง ๆ ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้ที่กำหนดนโยบายด้านพลังงานนำข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้นำไปช่วยในการตัดสินใจในการกำหนดนโยบายด้านพลังงานได้ต่อไปในอนาคต

4. มาตรการการลดการใช้พลังงาน

4.1 กระจกภายนอกอาคารแบบทั่วไปที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่โดยใช้วัสดุเคลือบผิวกระจกจะทำให้การใช้พลังงานภายในอาคารนั้นลดลงอย่างมีประสิทธิภาพ และ

เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการจัดการรังสีจากแสงอาทิตย์ เข้าสู่ตัวอาคาร ตัวอย่างหนึ่ง คือ การเคลือบผิวกระจกแบบมาตรฐานด้วยโลหะเงิน (low emissivity) อิเล็กโตรโครมิก เทอร์โมโครมิก และซัสเพนเด็ด พาร์ทิเคิล (Marina et al., 2019) การปรับปรุงประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของกระจกบานหน้าต่างที่ติดตั้งในอาคารเดิม คือ การติดตั้งวัสดุที่มีค่า E ต่ำ เพื่อที่จะช่วยลดการแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์เข้าไปในห้อง (Zhai et al., 2017) กระจกที่มีการเคลือบผิวกระจกแบบมาตรฐานด้วยโลหะเงิน (low-E) และฟิล์มกรองแสง (cooling film) จะได้รับเลือกเป็นมาตรการลดการใช้พลังงานในอาคาร

4.2 ฉนวนกันความร้อนของหลังคาและผนังนั้นเป็นอีกหนึ่งมาตรการที่เป็นทางเลือกในการลดการใช้พลังงานในอาคาร ข้อดีของฉนวนกันความร้อนคือง่ายต่อการติดตั้งและการใช้งานเนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถปรับเปลี่ยนเข้ากับโครงสร้างอาคารได้โดยง่าย ป้องกันความร้อนไม่ให้ส่งผ่านไปยังส่วนอื่น ๆ ได้ดี โดยพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้ (1) Thickness = 0.15 เมตร (2) Thermal Conductivity = 0.038 W/m.K (3) Density = 12.00 kg/m3 และ (4) Specific Heat = 960 J/kg.K

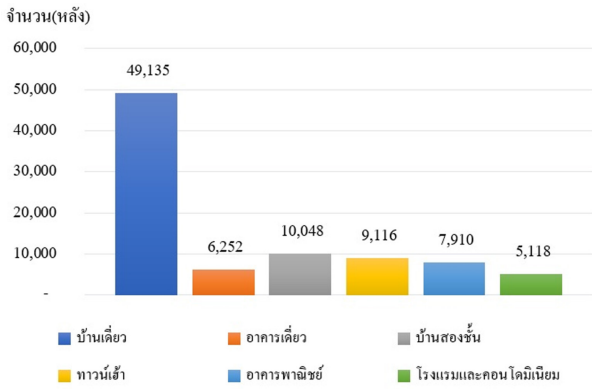
4.3 การติดตั้งแผงโซล่าร์เซลล์นั้นโดยปกติจะนิยมติดตั้งบนหลังคาเพราะเป็นตำแหน่งที่ดีและง่ายต่อการติดตั้ง (Li et al., 2016) การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคานั้นหากต้องการให้ผลิตกระแสไฟฟ้าให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดนั้นค่อนข้างเป็นได้ยากหากติดตั้งในเขตพื้นที่เมืองและเนื่องจากมีพื้นที่ของหลังคาจำกัดที่สามารถเข้าถึงมุมที่ดีที่สุดในการรวบรวมแสงแดดจากดวงอาทิตย์และในบางพื้นที่อาจถูกบดบังจากเงาของโครงสร้างอาคารสูง ซึ่งงานวิจัยที่มีอยู่โดยส่วนมากนั้นได้พยายามที่จะประเมินศักยภาพของโซลาร์เซลล์ทั้งในระดับภูมิภาคและในระดับประเทศ (Zhang, Ren, Pu & Wang, 2020) งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Helioscope เพื่อจำลองการติดตั้งโซลาร์เซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ และคำนวนประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยกำหนดความจุหรือพื้นที่ของโซลาร์เซลล์ตลอดจนปัจจัยต่าง ๆ เช่น มุมยกระดับของโซลาร์เซลล์ ทิศทางที่โซลาร์เซลล์ ได้รับแสง ความสูญเสียต่าง ๆ เป็นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

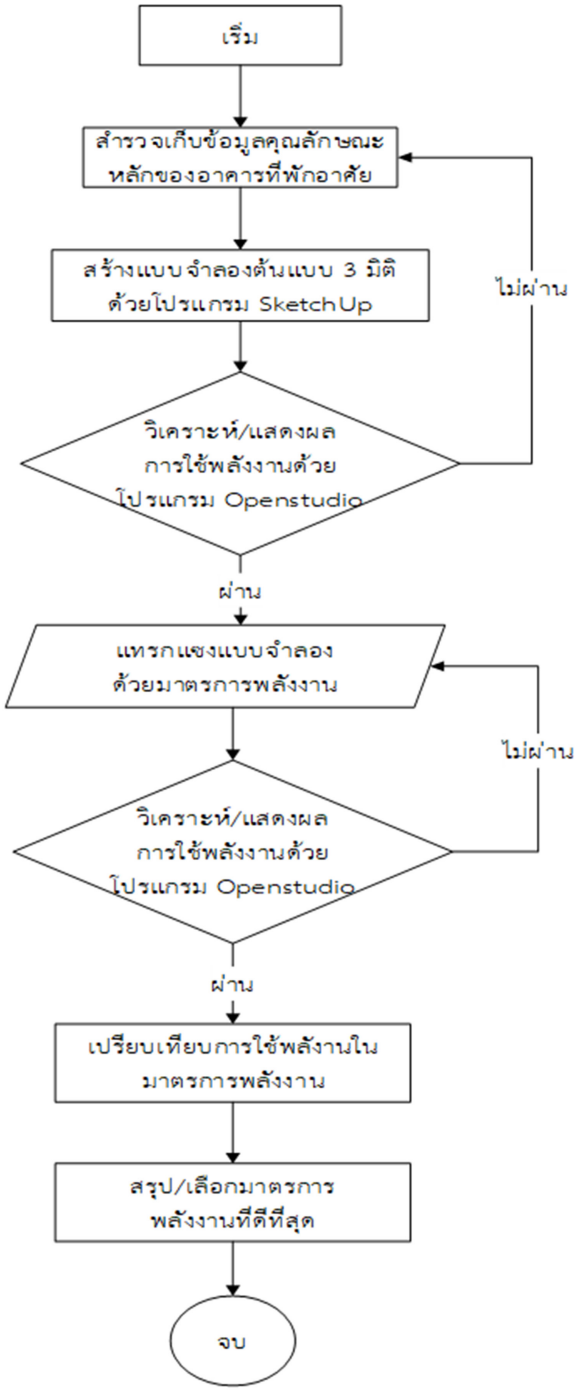
งานวิจัยนี้จะใช้เมืองพัทยาเป็นกรณีศึกษา เมืองพัทยาเป็นเขตการปกครองเฉพาะในจังหวัดชลบุรี พิกัดละติจูด 13 องศาเหนือ และลองจิจูด 101 องศาตะวันตก มีพื้นที่ดินประมาณ 53.44 ตารางกิโลเมตร การใช้ที่ดินเป็นที่อยู่อาศัยคิดเป็นร้อยละ 12.47 ของพื้นที่โดยรวมของพัทยา และมีที่อยู่อาศัย 87,579 แห่ง (Pattaya City, 2019) จากข้อมูลข้างต้นของอาคารในแต่ละประเภท จะสามารถนำมากำหนดประเภทของอาคารที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองอาคารที่พักอาศัยในพื้นที่ศึกษาเมืองพัทยา รายละเอียดการแบ่งอาคารแต่ละประเภทอาคารและจำนวนของแต่ละอาคารที่ใช้ศึกษาสามารถแสดงดังภาพ 2 และขั้นตอนในการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละประเภทอาคารแสดงได้ดังภาพ 3

1. การเก็บข้อมูลและจำแนกอาคารในรูปแบบอาคาร 2 มิติ

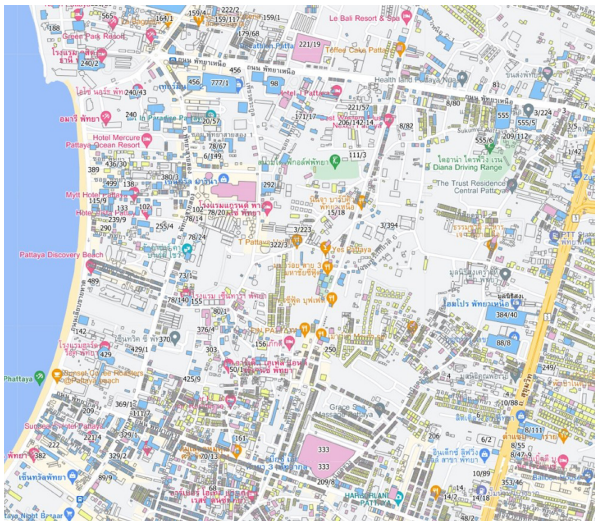
ในขั้นตอนนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลประเภทอาคารที่พักอาศัยในรูปแบบข้อมูล 2 มิติ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูลของประเภทอาคาร จำนวนอาคาร ความกว้าง ความยาว และอื่น ๆ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลสำมะโนครัว ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ และเรขาคณิตของอาคาร ในกระบวนการทำแผนที่สารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ข้อมูลจะถูกรวบรวมจากแผนที่ดาวเทียมของ Google Earth เพื่อสร้างฐานข้อมูลทางเรขาคณิตและที่ไม่ใช่เรขาคณิต ซึ่งจากข้อมูลการแบ่งประเภทอาคารของเมืองพัทยาจะสามารถบันทึกฐานข้อมูลในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) โดยการศึกษานี้จะช่วยให้นักวางแผนนโยบายด้านพลังงานมีการตัดสินใจอย่างมีข้อมูล แสดงได้ดังภาพ 4



ภาพ 2 ประเภทและจำนวนอาคารที่พักอาศัยในเมืองพัทยา



ภาพ 3 Flow Chart ขั้นตอนวิเคราะห์และเปรียบเทียบแบบจำลองอาคาร



ภาพ 4 แผนที่ GIS แบ่งประเภทอาคารที่พักอาศัย (2มิติ)

2. การเก็บข้อมูลและจำแนกอาคารในรูปแบบอาคาร 3 มิติ

อาคารต้นแบบในพื้นที่ศึกษาเมืองพัทยา จะแบ่งประเภทอาคารเป็นทั้งหมด 6 ประเภท ได้แก่ (1) บ้านเดี่ยว (2) อาคารเดี่ยว (3) บ้านสองชั้น (4) ทาวน์เฮ้าส์ (5) อาคารพาณิชย์ และ (6) โรงแรมและคอนโดมิเนียม ซึ่งประเภทอาคารดังกล่าวจะได้รับการตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือคำนวณพื้นที่ของ Google Maps เพื่อกำหนดข้อมูลโดยทั่วไป นอกจากนี้พารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความสูง และความครอบคลุมของหน้าต่างยังถูกประเมินด้วยความช่วยเหลือของ Google Street View โดยแบบจำลองสามมิติจะแสดงกรอบอาคารในรูปแบบรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐานเพื่ออำนวยความสะดวกในกระบวนการสร้างแบบจำลอง ผลลัพธ์ของแบบจำลองได้รับอิทธิพลมาจากตารางเวลา และลักษณะการใช้งานในอาคาร ในการศึกษานี้ได้ใช้มาตรฐาน ASHRAE 90.1-2010 (ASHRAE, 2010) เป็นหลักในการอ้างอิง สำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ แบบจำลองได้ให้ข้อมูลมากมายเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าและ Heating Ventilation and Air-conditioning-HVAC Systems ของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ

3. ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำสถิติข้อมูลจำนวนอาคารและข้อมูลพื้นฐานของอาคารแต่ละประเภท เช่น ความกว้าง ความยาว ความสูง จำนวนชั้น อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ส่องสว่าง จำนวนผู้ใช้อาคาร ลักษณะการใช้อาคาร

และระยะเวลาในการใช้อาคาร นำมาใส่โปรแกรม OpenStudio ซึ่งเป็นโปรแกรม API–Application Programming Interface ที่ใช้งานร่วมกับโปรแกรม EnergyPlus เพื่อแสดงผลการใช้พลังงานรวมของอาคารต้นแบบแต่ละประเภท จากนั้นจะนำมาตรการด้านพลังงานต่าง ๆ เข้ามาแทรกแซงแบบจำลองเพื่อเปรียบว่ามาตรการใดสามารถลดการใช้พลังงานรวมในอาคารได้ที่ที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการเก็บข้อมูล

แบบจำลองพลังงานอาคารที่พักอาศัยได้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ข้อกำหนดในระดับอาคารเดี่ยว โดยมีคุณลักษณะหลักของทั้ง 6 อาคารสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้ (1) ขนาดของพื้นที่ (m^2) (2) จำนวนชั้น (3) ประเภทผนัง (4) External wall (W/m^2 °C) (5) Glazing area (%) (6) U-value (W/m^2 °C) (7)Lighting load (W/m) (8) Equipment (W/m^2) (9) HVAC equipment (COP) และ (10) จำนวนอาคาร (หลัง) คุณลักษณะเหล่านี้แสดงได้ดังตาราง 1 เมื่อได้คุณลักษณะหลักของทั้ง 6 อาคารแล้วจากนั้นจะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลในเรื่องของกระจกหน้าต่างที่ใช้ในส่วนภายนอกของอาคาร แสดงดังตาราง 2 โดยจะพิจารณาว่าการติดตั้งกระจก Low-E และการติดตั้ง Cooling Film แบบใดในพื้นที่ศึกษาเมืองพัทยาจะคุ้มค่าที่สุดในด้านการประหยัดพลังงานรวมภายในอาคาร และในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการเก็บข้อมูลของโซลาร์เซลล์ ซึ่งจะถูกวางไว้บนหลังคาของอาคารที่อยู่อาศัยทั้ง 6 ประเภทอาคาร เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าจากการติดตั้งโซลาร์เซลล์ โดยแบบจำลองการติดตั้งโซลาร์เซลล์บนอาคาร 6 ประเภทในเขตเมืองพัทยาสามารถแสดงได้ในตาราง 3

2. ผลการจัดประเภทอาคาร

ในขั้นตอนนี้เมื่อได้แบบจำลองพลังงานอาคารที่พักอาศัยและคุณลักษณะต่าง ๆ ของอาคารแล้ว จากนั้นทำการจำลองอาคารแต่ละประเภทด้วยโปรแกรม OpenStudio โดยผลการใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัยของอาคารต้นแบบ ทั้ง 6 ประเภท สามารถแสดงได้ดังตาราง 4 ผลการศึกษาพบว่า การใช้พลังงานของอาคารใน 1 หน่วยอาคาร โรงแรมและคอนโดมิเนียมจะใช้พลังงานมากที่สุดถึง 8,382,758 kWh/yr รองลงมาคือ อาคารพาณิชย์และทาวน์เฮ้าส์ ใช้พลังงาน 63,682 kWh/yr และ 29,994 kWh/yr ตามลำดับ

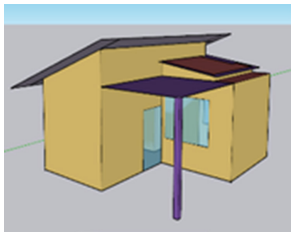
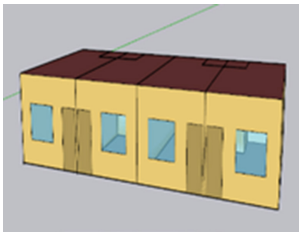
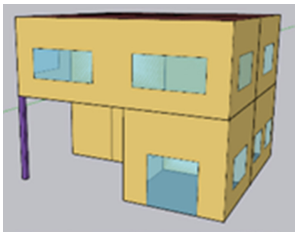
3. ผลการพัฒนาแบบจำลองตามประเภทอาคาร

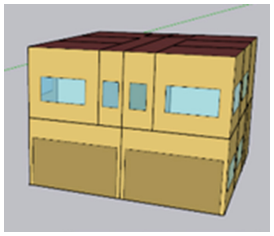
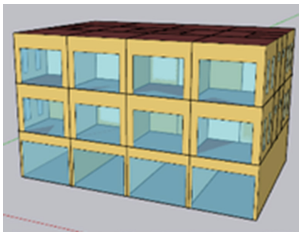
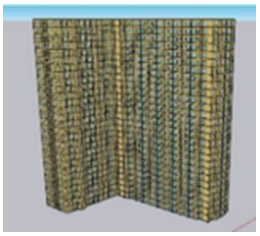
เมื่อได้แบบจำลองต้นแบบของอาคารที่พักอาศัยทั้ง 6 ประเภทแล้ว ต่อมาจะทำการเพิ่มความสามารถในการป้องกันความร้อน ซึ่งจะช่วยให้ลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศลงได้ และส่งผลให้การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่พักอาศัยนั้นลดลงอย่างเป็นนัยสำคัญ สามารถนำมากำหนดมาตรการในการลดการใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัยได้ แสดงดังตาราง 5 โดยมาตรการลดการใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัยทั้ง 8 รูปแบบ ตามตาราง 5 จะสามารถนำมาวิเคราะห์พลังงานรวมของอาคารที่พักอาศัยทั้ง 6 ประเภท จำนวน 87,579 อาคาร ในเขตพื้นที่เมืองพัทยา โดยจะนำมาตรการพื้นฐานทั้ง 8 รูปแบบมากำหนดมาตรการเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ว่ามาตรการใดที่สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยในเขตพื้นที่เมืองพัทยาได้สูงสุดผลการจำลองของอาคารทั้งหมดแยกตามแต่ละมาตรการแสดงไว้ดังตาราง 6 โดยในตารางจะแสดงลำดับมาตรการอยู่ท้ายจากข้อมูลการใช้พลังงานยกตัวอย่างเช่นในช่องที่ 1 การใช้พลังงานรวมในอาคารทั้ง 6 ประเภทอาคารเท่ากับ 44,176,062 (1) โดย (1) หมายถึงมาตรการที่ 1

การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารทุกประเภท รวมถึงการติดตั้ง Solar PV โดยในงานวิจัยนี้ ตามมาตรการที่ 40 Double IGU with Low-E G W4+A+B+C+D เป็นมาตรการที่ดีที่สุด กรณีอาคารเดิมใช้พลังงาน 44,176,062 MWh/yr ดำเนินการตามมาตรการ 40 ใช้พลังงาน 31,267,417 MWh/yr ทำให้พลังงานรวมของอาคารใช้น้อยลงกว่าเดิม 12,908,645 MWh/yr สำหรับประเภทอาคารที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ด้วยกระจก Double IGU with Low-E Green 6 มิลลิเมตร (W4) ตามมาตรการที่ 16 ใช้พลังงาน 41,925,466 MWh/yr กระจกหน้าต่างประเภทนี้ช่วยประหยัดพลังงานได้มากที่สุดในบรรดาตัวเลือกของกระจกทั้งหมด

ตาราง 1

ข้อมูลอาคารแต่ละประเภทและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ประเภทของอาคาร	บ้านเดี่ยว	อาคารเดี่ยว	บ้านสองชั้น
โมเดลอาคารต้นแบบ			
พื้นที่ (m^2)	55	133	128
จำนวนชั้น	1	1	2
ประเภทผนัง	คอนกรีตสำเร็จรูป	คอนกรีตสำเร็จรูป	คอนกรีตสำเร็จรูป
External wall ($W/m^2{}^\circ C$)	1.00	1.00	1.00
Glazing area (%)	30	20	40
U-value ($W/m^2\ {}^\circ C$)	5.74	5.74	5.74
Lighting load (W/m^2)	8-12	8-12	8-12
Equipment (W/m^2)	8-12	8-12	8-12
HVAC equipment (COP)	3.0	3.0	3.0
จำนวนอาคาร	49,135	6,252	10,048

ประเภทของอาคาร	ทาวน์เฮ้าส์	อาคารพาณิชย์	โรงแรมและคอนโดมิเนียม
โมเดลอาคารต้นแบบ			
พื้นที่ (m^2)	210	648	30,625
จำนวนชั้น	2	3	25
ประเภทผนัง	คอนกรีตสำเร็จรูป	คอนกรีตสำเร็จรูป	คอนกรีตสำเร็จรูป
External wall ($W/m^2\ {}^\circ C$)	1.00	1.00	1.00
Glazing area (%)	35	50	50
U-value ($W/m^2\ {}^\circ C$)	5.74	5.74	5.74
Lighting load (W/m^2)	8-12	8-12	8-12
Equipment (W/m^2)	8-12	8-12	8-12
HVAC equipment (COP)	3.2	3.2	3.2
จำนวนอาคาร	9,116	7,910	5,118

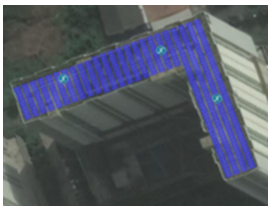
ตาราง 2

ประเภทพารามิเตอร์และประเภทกระจก

พารามิเตอร์	Single Monolithic	Single Monolithic	Laminated	Double Glazing IGU	Double Glazing IGU with Low-E
สี	Green	Film BK	Green	Green	Green
ความหนา	6 มม	6 มม	6.38 มม	6 /12 มม	6 /12 มม
U-value	5.80	5.67	5.70	2.50	1.80
SHGC	0.56	0.44	0.73	0.44	0.32
VLT	0.7	0.07	0.71	0.62	0.49

ตาราง 3

รูปแบบการติดตั้งโซล่าร์เซลล์บนหลังคาอาคารที่พักอาศัยทั้ง 6 ประเภท

ประเภทของอาคาร	บ้านเดี่ยว	อาคารเดี่ยว	บ้านสองชั้น
โมเดลอาคารต้นแบบ			
Annual Production (MWh)	20.10	6.826	13.21
Performance Ratio (%)	74.5	73.5	71.9
Inverters	1 (17KTL)	1 (5KTL)	1 (10KTL)
Module	36 (450W)	12 (450W)	32 (335W)
ประเภทของอาคาร	**ทาวน์เฮ้าส์**	**อาคารพาณิชย์**	**โรงแรมและคอนโดมิเนียม**
โมเดลอาคารต้นแบบ			
Annual Production (MWh)	13.39	12.94	248.2
Performance Ratio (%)	77.7	77.4	79.5
Inverters	1 (10KTL)	1 (10KTL)	3 (60KTL)
Module	22 (450W)	21 (450W)	394 (450W)

ตาราง 4

ประเภทของอาคารต้นแบบและการใช้พลังงาน

ประเภทของอาคาร	Total Site Energy (kWh/yr)	Total Site EUI (kWh/m2/yr)	Total Building Energy (MWh/yr)
บ้านเดี่ยว	11,420	208	561,122
อาคารเดี่ยว	4,837	199	30,241
บ้าน 2 ชั้น	26,473	151	266,001
ทาวน์เฮ้าส์	29,994	187	273,425
อาคารพาณิชย์	63,682	185	503,725
โรงแรม&คอนโดมิเนียม	8,382,758	273	42,902,955
Total Residential Energy			44,537,469

โดยรายละเอียด การใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดของพื้นที่ศึกษาของอาคารแต่ละประเภทสามารถแสดงได้ตาราง 7 ซึ่งพบว่าอาคารที่ใช้พลังงานมากที่สุด คือ โรงแรมและคอนโดมิเนียม ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้โดยอาคารทั้งหลัง คือ 42,902,955 MWh/yr ในทางกลับกัน ประเภทที่มีจำนวนอาคารมากที่สุดคือบ้านเดี่ยว ซึ่งใช้พลังงานรวม 561,122 MWh/yr หากดำเนินการตามมาตรการที่ 40 (W4+A+B+C+D) ใช้พลังงานรวม -763,823 MWh/yr (ค่าติดลบเนื่องจากการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า การผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์) ทำให้การใช้พลังงานรวมของอาคารประเภทบ้านเดี่ยวลดลงได้ 1,324,943 MWh/yr และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง 771,249 tCO2e/yr การใช้มาตรการดังกล่าวทำให้ปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคารประเภทบ้านเดี่ยวนั้นลดลงอย่างชัดเจนหากเปรียบเทียบกับอาคารประเภทอื่น ๆ เพราะเป็นอาคารที่มีจำนวนมากที่สุดในพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาฐานข้อมูลแบบสองมิติ GIS & แบบสามมิติ Modeling ของที่อยู่อาศัยทั้ง 6 ประเภทอาคารพื้นที่ศึกษา เมืองพัทยา จังหวัด ชลบุรี เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาในการจัดการพลังงานหรือใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับผู้ที่สนใจสร้างแบบจำลองการจัดการพลังงานสำหรับพื้นที่อื่น ๆ

สรุปและอธิปายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการสำหรับการสร้างแบบจำลองพลังงานอาคารแบบบูรณาการ วิเคราะห์อิทธิพลของมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กรณีศึกษา เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี อาคารต้นแบบ 6 อาคารจะถูก ใช้เพื่อแสดงอาคารที่อยู่อาศัยภายในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (รวมถึงคอนโดและโรงแรม) โดยวิธีการที่นำเสนอประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ (1) การพัฒนาแบบจำลองต้นแบบอาคารของแต่ละประเภทอาคารในรูปแบบ 2 มิติโดยใช้ซอฟต์แวร์ QGIS (2) การสร้างและจำลองการใช้พลังงานในอาคารของอาคารอ้างอิง 6 ประเภทโดยใช้ซอฟต์แวร์ OpenStudio และ EnergyPlus (3) ดำเนินการหามาตรการทางเลือกของมาตรการอนุรักษ์พลังงานและแนวทางที่เป็นไปได้เพื่อให้เกิดความเป็นกลางทางคาร์บอน และ (4) การวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ลดลงและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การจำลองของอาคารจะถูกเรียกใช้ด้วยแบบจำลองพลังงานโปรแกรม OpenStudio ซึ่งใช้เป็นต้นแบบของตัวแทนของอาคารของทั้งพื้นที่ศึกษาโดยใช้เป็นกรณีอ้างอิงเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารผลลัพธ์โดยโปรแกรม EnergyPlus จะแสดงให้เห็นว่าทางเลือกการใช้พลังงานที่เหมาะสมและลดการใช้พลังงานได้สูงสุด 3 อันดับแรก คือ

(1) มาตรการ 25 Single 6 mm (W_1) + Insulation Roof + Insulation Wall + Film RL 01 BK + Solar Rooftop สามารถลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบได้ 9,466,016 MWh/yr และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 5,510,168 tCO_2e/yr

(2) มาตรการ 35 Double IGU with Low-E (W_3) + Insulation Roof + Insulation Wall + Film RL 01 BK + Solar Rooftop สามารถลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบได้ 12,113,180 MWh/yr และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 7,051,082 tCO_2e/yr

(3) มาตรการ 40 Double IGU with Low-E (W_4) + Insulation Roof + Insulation Wall + Film RL 01 BK + Solar Rooftop สามารถลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบได้ 12,908,646 MWh/yr และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 7,514,123 tCO_2e/yr

การเลือกใช้ กระจก Glazing with Low-E coatings Insulation Roof + Insulation Wall + Film RL 01 BK และ การติดตั้ง Solar Rooftop ถูกระบุว่า เป็นมาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการประหยัดพลังงานและลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหรือผู้กำหนดนโยบายด้านพลังงานสามารถนำแนวทางวิธีการที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ไปช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการเปลี่ยนผ่านไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำได้ต่อไป

ตาราง 5

มาตรการทางด้านพลังงาน

มาตรการ	รายละเอียด	สัญลักษณ์
1	Single 6 mm	W_1
2	Laminated 6.38 mm	W_2
3	Double IGU 6mm 12 mm 6 mm	W_3
4	Double IGU with Low-E	W_4
5	Insulation Roof	A
6	Insulation Wall	B
7	Film RL 01 BK	C
8	Solar Rooftop	D

ตาราง 6

การใช้พลังงานรวมของอาคารทั้งหมดในเมืองพัทยาแยกตามมาตรการพลังงาน

Renovate window	Glazing (MWh/yr)	Glazing+A (MWh/yr)	Glazing+B (MWh/yr)	Glazing+C (MWh/yr)	Glazing+D (MWh/yr)
Single 6 mm (W_1)	44,176,062 (1)	40,251,965 (2)	41,506,250 (3)	43,641,187 (4)	41,518,332 (5)
Laminated 6.38 mm (W_2)	44,647,987 (6)	40,733,055 (7)	42,024,441 (8)	44,290,552 (9)	41,990,257 (10)
Double IGU 6 mm 12 mm 6 mm (W_3)	42,622,581 (11)	38,565,328 (12)	39,808,032 (13)	42,021,041 (14)	39,964,851 (15)
Double IGU with Low-E (W_4)	41,925,466 (16)	37,826,368 (17)	39,025,817 (18)	41,320,937 (19)	39,267,736 (20)
Renovate window	**Glazing+A+B (MWh/yr)**	**Glazing+A+C (MWh/yr)**	**Glazing+A+D (MWh/yr)**	**Glazing+A+B+C (MWh/yr)**	**Glazing+A+B+C+D (MWh/yr)**
Single 6 mm (W_1)	37,248,273 (21)	39,699,964 (22)	37,594,235 (23)	36,662,458 (24)	34,004,728 (25)
Laminated 6.38 mm (W_2)	37,766,810 (26)	40,365,150 (27)	38,075,325 (28)	37,367,776 (29)	34,710,046 (30)
Double IGU 6 mm 12 mm 6 mm (W_3)	35,456,734 (31)	37,944,900 (32)	35,907,598 (33)	34,720,612 (34)	32,062,882 (35)
Double IGU with Low-E (W_4)	34,594,175 (36)	37,184,777 (37)	35,168,638 (38)	33,925,146 (39)	31,267,417 (40)

ตาราง 7

การใช้พลังงานและปริมาณการปล่อย CO_2 ของอาคารทุกประเภทตามมาตรการที่ 40

Type of Building	Original Building (MWh/yr)	CO_2 Emissions (tCO_2e/yr)	มาตรการที่ 40 W4+A+B+C+D (MWh/yr)	CO_2 Emissions (tCO_2e/yr)	Energy Savings (MWh/yr)	CO_2 Emission Reductions (tCO_2e/yr)
บ้านเดี่ยว	561,122	326,628	-763,823	-444,621	1,324,943	771,249
อาคารเดี่ยว	30,241	17,605	-28,005	-16,302	58,248	33,907
บ้าน2ชั้น	266,001	154,838	-21,641	-12,597	287,639	167,435
ทาวน์เฮ้าส์	273,425	103,906	-42,694	-24,852	221,195	128,758
อาคารพาณิชย์	503,725	138,103	1,081	629	236,169	137,473
โรงแรมและคอนโดมิเนียม	42,902,955	24,973,810	32,122,496	18,698,505	10,780,458	6,275,305
รวม	44,537,469	25,714,886	31,267,417	18,200,763	12,908,645	7,514,123

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นนั้นสร้างโดยใช้ข้อมูลที่จำกัด และหากต้องการทำการวิจัยเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตควรพิจารณาประเด็นดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์เชิงลึกของต้นแบบอาคารจำเป็นต้องมีความครอบคลุมมากขึ้น เพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพและใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุดซึ่งจะมีการรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของอาคาร ลักษณะอาคาร ความลาดเอียง และข้อมูลพื้นที่ของแต่ละชั้นโดยละเอียด

2) การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์อาคารต้นแบบควรที่จะศึกษาและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในเมืองท่องเที่ยวอื่น ๆ เพิ่มเติม

3) ควรมีการศึกษาและสร้างแบบจำลองต้นแบบของอาคารที่พักอาศัยประเภทคอนโดและโรงแรมเพิ่มเติมโดยแบ่งตามขนาด พื้นที่ จำนวนชั้น และจำนวนห้องพัก

4) ควรมีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของอัตราการลงทุนและความคุ้มค่าในการดำเนินการตามมาตรการด้านพลังงานต่าง ๆ

References

Alhamwi, A., Medjroubi, W., Vogt, T., & Agert, C. (2019). Development of a GIS-Based platform for the allocation and optimisation of distributed storage in Urban Energy Systems. *Applied Energy, 251*, 113360. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113360

Ali, U., Haris Shamsi, M., Hoare, C., Mangina, E., & O'Donnell, J. (2019). A data-driven approach for multi-scale building archetypes development. *Energy and Buildings, 202*, 109364. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109364

Ali, U., Shamsi, M. H., Hoare, C., & O'donnell, J. (2018). GIS-Based residential building energy modeling at district scale. *Proceedings of BSO 2018: 4th Building Simulation and Optimization Conference, Cambridge, UK: 11-12 September 2018* (pp. 153-160). UK: International Building Performance Simulation Association. http://www.ibpsa.org/proceedings/BSO2018/2B-2.pdf

ASHRAE. (2010). *ASHRAE 90.1 appendix G: Building performance rating method*. U.S.A.: ASHRAE

DOE. (2021). *EnergyPlus, department of energy, energy.Gov*. Retrieved from https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/energyplus

Kampelis, N, Papayiannis, G. I., Kolokotsa, D., Galanis, G. N., Isidori, D., & Cristalli, C., & Yannacopoulos, A. N. (2020). An integrated energy simulation model for buildings. *Energies, 13*(5), 1170. https://doi.org/10.3390/en13051170

Li, C. (2018). *GIS for urban energy analysis. In Comprehensive Geographic Information Systems Vol. 3 (pp. 187–195)*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

Li, G., Xuan, Q., Akram, M. W., Akhlaghi, Y. G., Liu, H., & Shittu, S. (2020). Building integrated solar concentrating systems: A review. *Applied Energy, 260*, 114288. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114288

Li, Y., Ding, D., Liu, C., & Wang, C. (2016). A pixel-based approach to estimation of solar energy potential on building roofs. *Energy and Buildings, 129*, 563–573. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.025

Marina, A., Soebarto, V., Williamson, T., Liang, R., Ebendorff-Heidepriem, H., & Wu, Y. (2019). Thermochromic smart window technologies for building application: A review. *Applied Energy, 255*, 113522. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113522

Nutkiewicz, A., Yang, Z., & Jain, R. K. (2018). Data-driven Urban Energy Simulation (DUE-S): A framework for integrating engineering simulation and machine learning methods in a multi-scale urban energy modeling workflow. *Applied Energy, 225*, 1176-1189. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.023

Reinhart, C. F., & Davila, C. C. (2016). Urban building energy modeling–A review of a nascent field. *Building and Environment, 97*, 196-202. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001

Pattaya City. (2019). *Translation of Pattaya City yearly report 2019*. Pattaya: Pattaya City. (in Thai)

Sola, A., Corchero, C., Salom, J., & Sanmarti, M. (2018). Simulation tools to build urban-scale energy models: A review. *Energies, 11*(12), 3269. https://doi.org/10.3390/en11123269

Stadler, M., Firestone, R., & Curtil, D. (2006). *On-site generation simulation with energyplus for commercial buildings*. Retrieved from https://escholarship.org/uc/item/7cf5g36q

UN DESA. (2018). *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. United Nations*. Retrieved from https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html

Zhai, Y., Ma, Y., David, S. N., Zhao, D., Lou, R., Tan, G., Yang, R., & Yin, X. (2017). Scalable-manufactured randomized glass-polymer hybrid metamaterial for daytime radiative cooling. *Science (New York, N.Y.), 355*(6329), 1062–1066. https://doi.org/10.1126/science.aai7899

Zhang, Y., Ren, J., Pu, Y., & Wang, P. (2020). Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis. *Renewable Energy, 149*, 577–86. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.071

การศึกษาประสิทธิภาพในการออกแบบเครือข่ายไอพีด้วยวิธีมีมีติก
A Study on IP Network Design by Memetic Algorithm

กายรัฐ เจริญราษฎร์[1] และณัฐชามญฑ์ ศรีจำเริญรัตนา[2]*
Kairat Jaroenrat[1] and Natchamol Srichumroenrattana[2]*
[1]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[1]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
[2]สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]Department of Business Computer, Faculty of Management Science, NakhonPathom Rajabhat University
*Corresponding author e-mail: fengkrj@ku.ac.th
Received: February 23, 2023
Revised: March 28, 2023
Accepted: April 5, 2023

บทคัดย่อ

การออกแบบเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตชิ่งเป็นปัญหาที่ยากและซับซ้อนจนไม่เหมาะที่จะแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะโพรโทคอลโอเอสพีเอฟบนเครือข่ายเราเตอร์หรือเครือข่ายไอพีที่สามารถหาเส้นทางได้ด้วยตัวเอง ยิ่งทำให้การออกแบบและจัดเส้นทางการไหลให้ข้อมูลนั้นมักไม่สอดคล้องกับความต้องการใช้งานเครือข่าย ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้วิธีมีมีติกในการเลือกติดตั้งสายสัญญาณในเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า โดยทำการทดลองใช้วิธีมีมีติก เปรียบเทียบกับวิธีซิมเพล็กซ์ และวิธีเมนเทอร์-II ที่เครือข่ายขนาด 4 ถึง 10 โหนด ได้ผลปรากฏว่า วิธีมีมีติกที่มีการแลกเปลี่ยนมีมสามารถออกแบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพด้านเวลาหน่วงสายสัญญาณที่ดีกว่าวิธีเมนเทอร์-II และเกือบเท่ากับวิธีซิมเพล็กซ์ที่นัยสำคัญ .05 แต่มีความซับซ้อนของกระบวนการที่น้อยกว่าวิธีซิมเพล็กซ์

คำสำคัญ: มีมีติก โอเอสพีเอฟ การออกแบบเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตชิ่ง

Abstract

Designing packet switch networks is a difficult and complex problem. The mathematical methods were improperly used to solve this problem. Especially the router network (or IP network) protocols that find the route by themselves, such as the OSPF protocol, may not make the traffic flow routing get together with the traffic requirement. We apply the Memetic algorithm for a worthwhile and effective network design. Then, the performance of 4–10 node networks was compared to the Simplex and MENTOR-II methods. The results of the comparison between the Memetic method and the Simplex method showed that the delay efficiency of the Memetic with crossover method is close to the Simplex method with a significance level of .05 but with less complexity.

Keywords: Memetic, OSPF, Packet-Switching Network Design

บทนำ

ในปัจจุบันระบบคอมพิวเตอร์นับเป็นสิ่งที่จำเป็นกับชีวิตประจำวันในหลาย ๆ ด้าน ส่งผลให้เกิดความต้องการที่จะเชื่อมต่อให้เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเพิ่มขีดความสามารถของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งสิ่งสำคัญที่ต้องมีในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั่น ก็คือ โพรโทคอลชี้เส้นทางของโครงข่ายเราเตอร์ โดยโพรโทคอลชี้เส้นทางที่เป็นที่นิยมมากที่สุดตัวหนึ่ง คือ โพรโทคอลโอเอสพีเอฟ (OSPF) (Duvedi, Ashraf & Gairola, 2022) ที่มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้าน อาทิ ความสามารถในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดด้วยตัวเอง และการอัพเดตตารางเส้นทางที่ไม่ต้องรับส่งข้อมูลตลอดเวลา แต่การกำหนดเส้นทางด้วยวิธีโอเอสพีเอฟนี้อาจทำให้เกิดปัญหาความคับคั่งของข้อมูล จากการที่ข้อมูลหลายกระแสไหลไปยังเส้นทางเดียวกันทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางของข้อมูล (delay) บางเส้นทางในโครงข่ายสูงและไม่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งปัญหาเรื่องเวลาในการเดินทางของข้อมูลนี้ถือเป็นปัญหาหลักในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Charnkeitkong, 2007; Dehestani & Hajipour, 2010)

ทั้งนี้ การออกแบบเครือข่ายแบบตาข่ายบางส่วน (partial mesh network) เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อที่เน้นจำนวนของช่องสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างกันหลายช่องทาง โดยจะเลือกว่าจะใช้ช่องสัญญาณใดเชื่อมต่อกันบ้างเพื่อให้เหมาะสมและคุ้มค่ากับการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีมีมีติกสำหรับแก้ปัญหาการออกแบบติดตั้งสายสัญญาณในเครือข่าย เพื่อเลือกติดตั้งช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าด้านเวลามากที่สุด และเพื่อที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีมีมีติกนี้ ผู้วิจัยทำการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีซิมแพล็กซ์ (Lanthong & Jaroenrat, 2012) และวิธีเมนเทอร์-II (Monsakul, 2015) เนื่องจากวิธีซิมแพล็กซ์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในทางทฤษฎี โดยวิธีนี้พัฒนามาจากวิธีทางพีชคณิตที่อาศัยทฤษฎีของเมทริกซ์เข้าร่วมจัดรูปแบบปัญหาให้มีระบบยิ่งขึ้น โดยเริ่มต้นจากสมการกำหนดเป้าหมายให้ได้ผลแนวโน้มสู่เป้าหมายด้วยการจัดรูปสมการเข้าเป็นตารางแล้วดำเนินการตามขั้นตอนที่ถูกต้อง ทำให้ได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมายด้วยผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนวิธีเมนเทอร์-II เป็นวิธีฮิวริสติกในการออกแบบติดตั้งช่องทางสื่อสารในเครือข่ายไปพร้อมกับการกำหนดค่าน้ำหนักของช่องสัญญาณที่จะทำให้ข้อมูลไหลไปในเส้นทางที่ต้องการด้วยวิธีที่เรียกว่า Incremental Shortest Path--ISP โครงข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีเมนเทอร์-II แม้ไม่ได้เป็นโครงข่ายที่ดีที่สุด แต่ก็เป็นโครงข่ายที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ รวมถึงสมรรถนะที่ดีพอสมควร

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้วิธีมีมีติกเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน สำหรับออกแบบเครือข่ายไอพี โดยประเมินประสิทธิภาพจากผลรวมของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณทั้งเครือข่าย

กรอบแนวคิดการวิจัย

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือการทดลองเป็นโปรแกรมออกแบบโครงข่ายที่ได้พัฒนาขึ้นเอง ซึ่งมีภาพรวมของระบบดังแสดงในภาพ 1 โดยเริ่มต้นทำงานด้วยการรับค่าความต้องการในการออกแบบเครือข่าย อันประกอบด้วยจำนวนโหนดของเครือข่าย ค่าความต้องการไหลระหว่างคู่โหนด (traffic requirement) อัตราส่วนระหว่างจำนวนสายสัญญาณกับจำนวนโหนด (node degree) และจำนวนจุดแลกเปลี่ยนมีม จากนั้นจึงใช้วิธีการมีมีติกคำนวณการติดตั้ง การไหล และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณ และสุดท้ายจึงเป็นการแสดงผลค่าผลลัพธ์ที่เป็นรูปแบบการติดตั้งสายสัญญาณและค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการติดตั้ง

ทั้งนี้ ในส่วนของขั้นตอนการทำงานของวิธีมีมีติกที่คำนวณการติดตั้ง การไหล และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายสัญญาณนั้น ประกอบไปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ที่แสดงในภาพ 2 ดังนี้

ขั้นตอนแรกเริ่มจากการรับค่าจำนวนโหนด โหนดดีกรี ความต้องการการไหลของข้อมูล และจำนวนจุดแลกเปลี่ยนมีม เพื่อทำการสุ่มสร้างเครือข่ายจำนวน 1,000 เครือข่าย ด้วยค่าโหนดดีกรีตามที่กำหนด แล้วทำการสุ่มค่าน้ำหนักให้สายสัญญาณแต่ละเส้นในเครือข่าย

ต่อมาในขั้นตอนที่สองจะเป็นการคำนวณค่าภาระการไหลของข้อมูลในแต่ละสายสัญญาณ โดยค่าภาระการไหลของข้อมูลในสายสัญญาณนั้นได้จากผลรวมของปริมาณข้อมูลที่ไหลในสายสัญญาณตั้งแต่ต้นทางไปปลายทาง และนำค่าภาระการไหลนี้มาคำนวณหาค่าความกว้างช่องสัญญาณที่เหมาะสม แล้วจึงคำนวณหาประสิทธิภาพด้านค่าเวลาหน่วงของเครือข่าย

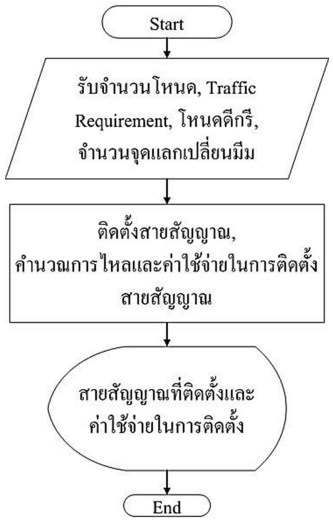
ในส่วนของขั้นตอนที่สามเป็นการคัดเลือกชุดโครโมโซมของค่าการติดตั้งสายสัญญาณระหว่างคู่โหนด 200 ชุด ด้วยการสุ่มแบบวงล้อรูเล็ต ซึ่งค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณที่น้อยจะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่า และจับคู่ชุดโครโมโซมของค่าการติดตั้งสายสัญญาณระหว่างคู่โหนดมาทำการแลกเปลี่ยนมีมกัน

จากนั้นในขั้นตอนที่สี่ เป็นการแลกเปลี่ยนมีม โดยจุดที่ทำการแลกเปลี่ยนมีมอยู่ในช่วงอัตรา 0.2-0.8 จากการสุ่มตำแหน่ง ซึ่งทุกคู่ของโครโมโซมที่ถูกเลือกยกเว้นชุดโครโมโซมของตัวเองจะแลกเปลี่ยนมีมกัน และจำนวนของตำแหน่งของการแลกเปลี่ยนมีมที่ 1-10 จุด

ในขั้นตอนที่ห้าเป็นกระบวนการการกลายพันธุ์ ซึ่งเป็นการสุ่ม 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะสุ่มตำแหน่งมีมที่มีโอกาสเกิดการกลายพันธุ์ โดยอัตราส่วนในแต่ละตำแหน่งของมีมที่มีโอกาสเกิด เท่ากับ 0-1% และสุ่มครั้งที่สอง เป็นการสุ่มค่ามีมค่าใหม่

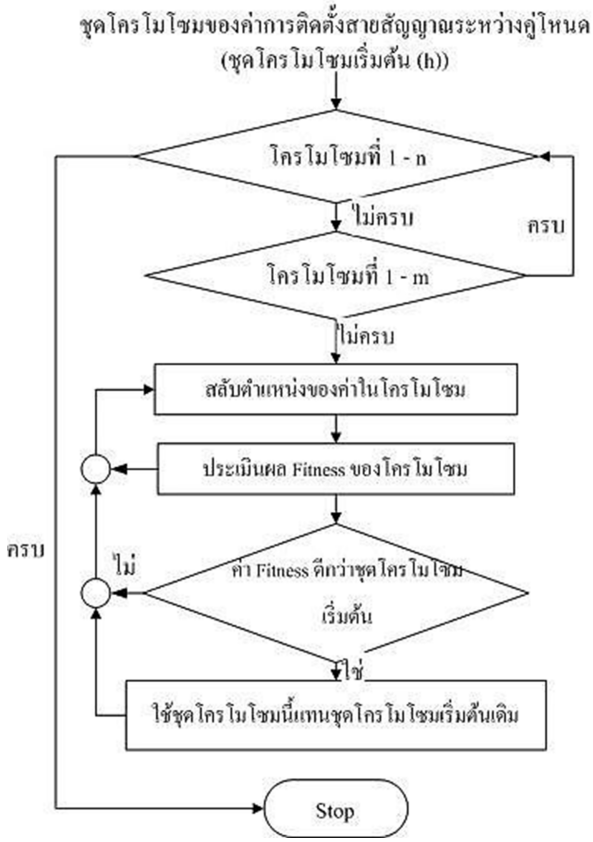
ต่อมาในขั้นตอนที่หก เมื่อได้ชุดของโครโมโซมของค่าการติดตั้งสายสัญญาณระหว่างคู่โหนด จึงทำการค้นหาแบบเฉพาะที่ โดยใช้วิธีการปีนเขาแบบง่ายที่ใช้การสลับค่าภายในชุดโครโมโซม ดังภาพ 3

จากนั้นจึงทำการทำซ้ำกระบวนการคัดเลือก การแลกเปลี่ยนมีม การกลายพันธุ์ และการทำค้นหาแบบเฉพาะที่ จำนวน 100 รอบ เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบหาเครือข่ายที่ให้ค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณน้อยที่สุด ทั้งนี้การค้นหาเฉพาะที่แบบ Simple Hill climbing มีขั้นตอนเป็นไปดังภาพ 3



ภาพ 1 ภาพรวมของระบบ

ภาพ 2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการมีมีติก



ภาพ 3 ภาพรวมขั้นตอน Simple Hill climbing

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการเปรียบเทียบสมรรถนะของการจัดการไหลของข้อมูลในเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีมีมีติกเปรียบเทียบกับเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II

โดยในงานวิจัยนี้จะแบ่งประชากรการวิจัยออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ กลุ่มเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีมีมีติก มีจำนวนประชากรเท่ากับ 504 เครือข่าย ประกอบไปด้วยชุดข้อมูลเครือข่ายขนาด 4-10 โหนด ที่โหนดดีกรี 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 2.0 ที่สุ่มความต้องการการไหลของข้อมูลที่แตกต่างกัน 3 ชุด แต่ละชุดมีเครือข่ายที่ใช้พารามิเตอร์จำนวนจุดที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนมีมในการออกแบบที่ต่างกัน คือ 0 1 3 และ 6 จุด และพารามิเตอร์การวนซ้ำจำนวน 100 รอบ

กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีซิมเพล็กซ์จะมีจำนวนประชากรเท่ากับ 108 เครือข่าย ประกอบไปด้วยชุดข้อมูลเครือข่ายขนาด 4-9 โหนด ที่โหนด

ดีกรี 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 2.0 ที่สุ่มความต้องการการไหลของข้อมูลที่แตกต่างกัน 3 ชุด

กลุ่มที่สาม คือ กลุ่มเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีเมนเทอร์-II มีจำนวนประชากรเท่ากับ 210 เครือข่าย โดยเครือข่ายถูกกำหนดให้ค่าผลรวมของข้อมูลขาเข้าและขาออกในแต่ละโหนด เท่ากับ 150 200 และ 250 Mbps รวมจำนวนเครือข่ายทั้งสิ้น 210 เครือข่าย

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม DELITE (Cahn, 1998) สังเคราะห์ระบบโหนดพร้อมค่าความต้องการการไหลของข้อมูล แล้วจึงใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเองด้วยภาษา C++ ร่วมกับ GLPK Library (Makhorin, 2000) ออกแบบเครือข่ายตามแต่ละวิธีและพารามิเตอร์ที่กำหนด จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการออกแบบดังแสดงในหัวข้อถัดไป

การประเมินประสิทธิภาพของเครือข่าย

การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายโดยพิจารณาจากผลรวมของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณทั้งโครงข่าย (Charnkeitkong, 2007; Dehestani & Hajipour, 2010) โดยเวลาที่ใช้ในการเดินทางของข้อมูลผ่านช่องสัญญาณนี้ ประกอบด้วย 2 ส่วนดังสมการ (1)

Link Delay = Fixed Delay + Variable Delay (1)

ค่าในส่วน Fixed Delay คือ เวลาที่สัญญาณเดินทางในสายสัญญาณ โดยทั่วไปจะประมาณค่าอยู่ที่ประมาณ 5 μs ต่อกิโลเมตร ส่วน Variable Delay นั้นประกอบไปด้วย เวลาที่เข้าแถวรอในบัฟเฟอร์ และเวลาที่ใช้ในการส่งท่อนข้อมูลจนเสร็จ ซึ่งถ้ารู้ขนาดเฉลี่ยของท่อนข้อมูล (average packet size) และความเร็วของสายสัญญาณ (link capacity) ก็จะสามารถคำนวณค่าเวลาเฉลี่ย (Tp) ที่ใช้ในการส่งท่อนข้อมูล ได้จากสมการ (2)

$$T_p = \frac{\text{Average Packet Size}}{\text{Link Capacity}} \quad (2)$$

สำหรับเวลารอในแถวรอของท่อนข้อมูล สามารถคำนวณโดยประมาณด้วยทฤษฎีแถวรอ (queuing theory) ด้วยตัวแบบ M/M/1 (Charnkeitkong, 2007; Dehestani & Hajipour, 2010; Jaroenrat & Samrongsub, 2014) และเวลาเฉลี่ยที่รอในบัฟเฟอร์ (average queuing delay) (Tq) จะสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$T_q = T_p \frac{U}{1-U} \quad (3)$$

เมื่อ U คือ อัตราการใช้ช่องสัญญาณ (link utilization) ทำให้เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมดผ่านช่องสัญญาณ (Tr) หรือก็คือ Variable Delay จะเป็นไปตามสมการ (4)

$$T_r = T_p + T_q = \frac{U}{1-U} T_p \quad (4)$$

โดย U คือ Utilization (U=l/c)

l คือ Load ในสายสัญญาณ

c คือ Capacity หรือ ค่าปริมาณการไหลของข้อมูล

ทั้งนี้ค่า Tp สามารถตัดออกจากการคำนวณได้เพราะเป็นค่าคงที่ (Charnkeitkong, 2007) ซึ่งจะได้สมการใหม่-ของค่าเวลาหน่วง Delay Cost (Ø) เป็นดังสมการ (5)

$$\text{Delay Cost } (\emptyset) = \frac{U}{1-U} \quad (5)$$

เมื่อนำค่า U แทนในสมการที่ (6) จะได้เป็นสมการใหม่ ดังสมการ (6)

$$\emptyset_a(l_a, c_a) = \frac{l_a}{c_a - l_a} \quad (6)$$

แต่สมการนี้ไม่สามารถนำมาใช้ได้เนื่องจากเมื่อค่า Ø เข้าใกล้ Ø ผลลัพธ์ค่าเวลาหน่วงจะลู่เข้าสู่การเป็น

อนันต์จึงต้องมีสมการใหม่มาแก้ไขปัญหานี้ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ (Fortz & Thorup, 2000) ประมาณค่า $\frac{l_a}{c_a - l_a}$ ด้วยสมการเส้นตรงแบ่งช่วง (piecewise linear) โดยแบ่งสมการออกเป็นหลายเงื่อนไขเพื่อหาค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณที่ให้เงื่อนไขที่มีค่าสูงที่สุด ดังสมการที่ (7) และเมื่อนำค่าเวลาหน่วงของทุกสายสัญญาณมารวมกันก็จะได้ค่าเวลาหน่วงรวมทั้งเครือข่ายนั่นเอง

$$\emptyset_a(\text{Delay Cost}) =$$

$$\text{Max}\left\{\begin{array}{c} \phi_a \geq l_a \\ \phi_a \geq 3l_a - \frac{2}{3}C_a \\ \phi_a \geq 10l_a - \frac{16}{3}C_a \\ \phi_a \geq 70l_a - \frac{178}{3}C_a \\ \phi_a \geq 500l_a - \frac{1468}{3}C_a \\ \phi_a \geq 5000l_a - \frac{19468}{3}C_a \end{array}\right\} \quad (7)$$

เมื่อ $\emptyset_a$ คือ ค่าเวลาหน่วง (delay cost) ที่ใช้ในสายสัญญาณของคู่โหนดที่พิจารณา l_a คือ ค่าภาระการไหลของข้อมูล (Load) ของสายสัญญาณของคู่โหนดที่พิจารณา C_a คือ ค่าความกว้างช่องสัญญาณ (bandwidth) ของคู่โหนดที่พิจารณา และ a คือ ลิงก์ของคู่โหนดที่พิจารณา

อัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของการจัดการไหลของข้อมูลในเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีมีมีติกเปรียบเทียบกับเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II โดยแต่ละอัลกอริทึมมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

1) Mesh Network Topology Optimization and Routing-II (MENTOR-II)

เมนเทอร์เป็นฮิวริสติกอัลกอริทึมออกแบบเครือข่ายแบบตาข่ายที่มีความซับซ้อนต่ำระดับ $O(N^2)$ (Charnkeitkong, 2007) ประมวลผลได้เร็ว แต่กำหนดเส้นทางการไหลของข้อมูลโดยไม่คำนึงถึงการทำงานของ Routing Protocol เช่น OSPF ดังนั้นหากจะออกแบบเครือข่ายไอพี จึงต้องใช้วิธีเมนเทอร์-II (Monsakul, 2015) ผู้วิจัยจึงได้นำวิธีเมนเทอร์-II นี้มาเป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีมีมีติก ซึ่งการทำงานของวิธีเมนเทอร์-II นี้ คือ ในขณะที่ออกแบบติดตั้งช่องทางสื่อสารในเครือข่ายก็จะกำหนดค่าน้ำหนักของช่องสัญญาณที่จะทำให้ข้อมูลไหลไปในเส้นทางที่ต้องการไปพร้อม ๆ กัน ด้วยวิธีที่เรียกว่า Incremental Shortest Path--ISP

2) Simplex Method

วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) (Lanthong & Jaroenrat, 2012) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมของโปรแกรมเชิงเส้นที่มีประสิทธิภาพในทางปฏิบัติเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงได้นำวิธีการซิมเพล็กซ์นี้มาเป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีมีมีติก วิธีนี้พัฒนามากจากวิธีทางพีชคณิตที่อาศัยทฤษฎีของเมทริกซ์เข้าร่วมจัดรูปแบบปัญหาให้มีระบบช่วยให้สังเกตความเปลี่ยนแปลงตัวแปรได้ง่ายและสามารถเข้าใจแนวทางที่ตัวแปรแต่ละตัวจะเปลี่ยนไปอย่างมีเหตุมีผล วิธีดังกล่าวจะเริ่มต้นการเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ให้มีผลต่อสมการกำหนดเป้าหมายโดยมีผลแนวโน้มสู่เป้าหมายในทางที่เร็วที่สุด การจัดรูปสมการเข้าเป็นตารางแล้วดำเนินการตามขั้นตอนที่ถูกต้อง และทำให้ได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมาย ทั้งนี้การแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายนี้มีค่าตัวแปรที่เป็นจำนวนเต็ม ทำให้การหาค่าขอบเขตของคำตอบทำได้ยากและมักเป็นปัญหาแบบ NP-Hard (Charnkeitkong, 2007)

3) MEMETIC Algorithm

ขั้นตอนวิธีมีมีติก Ammaruekarat and Meesad, (2012); Wongthatsanekorn (2009); Chaimanee and Supithak (2018) เป็นอัลกอริทึมแบบเมตาฮิวริสติกที่คล้ายกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) Deb, Pratap, Agarwal and Meyarivan (2002); Srikaew, (2002); Nuipian and Phimpha (2019) ซึ่งใช้เทคนิคการค้นหาคำตอบด้วยหลักการของทฤษฎีวิวัฒนาการทางชีววิทยา และมีเทคนิคการค้นหาแบบเฉพาะที่เพิ่มเข้ามาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น โดยในส่วนประกอบของโครโมโซมจะถูกเรียกว่า มีม (Meme) แทนคำว่ายีน (Gene) ทั้งนี้ ขั้นตอนวิธีมีมีติก ประกอบไปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้

3.1) กระบวนการคัดเลือก (selection) เป็นกระบวนการเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด ซึ่งก็คือการทำให้เกิดการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาในแต่ละรุ่นของจำนวน

โครโมโซมทั้งหมด โดยเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การสุ่มแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ซึ่งเทคนิคนี้สามารถนำมาเปรียบเทียบได้กับวงล้อรูเล็ตที่มีช่อง Slot ขนาดไม่เท่ากันโดยช่อง Slot ที่มีขนาดใหญ่จะเทียบได้กับโอกาสของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากและสามารถถูกเลือกไปสู่รุ่นถัดไปได้มากในขณะที่ช่อง Slot ที่มีขนาดเล็กจะเทียบได้กับโอกาสของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยและจะมีโอกาสถูกเลือกไปสู่รุ่นถัดไปได้น้อย ซึ่งขนาด Slot ของวงล้อรูเล็ตแต่ละช่องจะหาได้จากอัตราส่วนของค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัวกับค่าความเหมาะสมรวมของโครโมโซมทุกตัว ในการคัดเลือกจะทำการกำหนดจุดคงที่หนึ่งจุดแล้วหมุนวงล้อรูเล็ตโดยการสุ่ม เมื่อวงล้อรูเล็ตหยุดที่จุดใด โครโมโซมที่ถูกแทนโดยช่อง Slot ช่องนั้นจะถูกคัดเลือกไปเป็นโครโมโซมของประชากรรุ่นต่อไป จากนั้นจะทำการหมุนวงล้อเพื่อคัดเลือกโครโมโซมจนครบตามจำนวนประชากรที่ต้องการ

3.2) การแลกเปลี่ยนมีม (crossover) เป็นขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อเปลี่ยนแปลงโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกมาแล้ว ซึ่งกระบวนการนี้จะเริ่มต้นด้วยการสุ่มเลือกโครโมโซมมาคู่หนึ่งจากโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกมาแล้ว โดยโครโมโซมคู่นี้จะเรียกว่าโครโมโซมพ่อแม่ (parents) และจากนั้นจะทำการแลกเปลี่ยนมีมกันระหว่างโครโมโซมพ่อแม่เกิดเป็นโครโมโซมลูกมาสองตัว แต่โดยทั่วไปแล้วการแลกเปลี่ยนมีมจะไม่ได้เกิดขึ้นกับทุกโครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกเลือกมา ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการเกิดการแลกเปลี่ยนมีม ที่มักจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9 โดยหากไม่เกิดการแลกเปลี่ยนมีมจะทำให้โครโมโซมลูกที่ได้มีลักษณะเหมือนโครโมโซมพ่อแม่ทุกประการ เทคนิคของการแลกเปลี่ยนมีมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ N-Point Crossing-over ที่เป็นการแลกเปลี่ยนมีมระหว่างโครโมโซมที่จับคู่กัน โดยที่การแลกเปลี่ยนมีมนี้จะเกิดขึ้นทางด้านใดด้านหนึ่งของจุดที่กำหนด แล้วสลับกันไปตามจุดของการแลกเปลี่ยนมีม โดยจำนวนจุดของการแลกเปลี่ยนมีม n จุดนี้จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

3.3) การกลายพันธุ์ (mutation) เป็นการกลายพันธุ์ของโครโมโซมโดย Allele ของมีมที่ตำแหน่งนี้จะถูกเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ซึ่งการเกิดการกลายพันธุ์ นี้จะไม่ได้เกิดขึ้นในทุกตำแหน่งของมีมบนโครโมโซม แต่จะเกิดได้จากความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.1 ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนมีม ดังนั้นการแลกเปลี่ยนมีมจะเป็นตัวดำเนินการหลักที่มีผลอย่างมากต่อขั้นตอนวิธีมีมีติก ส่วนการกลายพันธุ์แม้จะมีโอกาสในการเกิดน้อยกว่าจึงทำให้มีผลน้อย แต่ก็เป็นตัวดำเนินการหนึ่งที่อาจจะสร้างโครโมโซมที่มีความเหมาะสมกว่าประชากรรุ่นพ่อแม่ได้

3.4) การค้นหาแบบเฉพาะที่ (local search) (Sirinaovakul, 2008) มีความแตกต่างจากการค้นหาข้อมูลแบบธรรมดาที่ทำการค้นหาข้อมูลเพื่อจะตรวจสอบข้อมูลทีละตัวจนครบ แต่การค้นหาคำตอบเฉพาะที่นั้นจะไม่ตรวจสอบข้อมูลทุกตัว จะเลือกได้คำตอบที่เหมาะสมให้กับการค้นหา ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถทำการค้นหาคำตอบจากข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ได้ แต่มีข้อเสีย คือ คำตอบที่ได้เป็นเพียงคำตอบที่ดีเท่านั้น ไม่แน่ว่าจะดีที่สุด ตัวอย่างขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเฉพาะที่เช่น วิธีการค้นแบบไต่เขา (hill climbing) การค้นหาแบบทาบู (Tabu search) และ Simulated annealing เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการไต่เขาแบบง่าย (simple hill climbing) ที่เป็นวิธีการค้นหาข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกับการปีนภูเขา การที่นักปีนภูเขาจะเลือกเดินทางไปถึงยอดภูเขาโดยเร็วที่สุด ซึ่งจะมองทิศทางที่เมื่อปีนแล้วจะใกล้ยอดเขาและหลีกเลี่ยงทิศทางที่เมื่อไปแล้วจะทำให้ตัวเองห่างจากยอดเขา โดยมีข้อเสีย คือ ปีนขึ้นอย่างเดียวไม่มีการปีนลง ทำให้บางทีเส้นทางที่ดีที่สุดอาจจะไม่สามารถทำให้ถึงเป้าหมายได้

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของระบบเครือข่ายที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีมีมีติกแยกตามจำนวนจุด cross over 0 1 3 และ 6 จุด เปรียบเทียบกับวิธีซิมเพล็กซ์ และวิธีเมนเทอร์-II โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณ เวลาที่ใช้ในการประมวลผลรวมและค่าใช้จ่ายในการออกแบบทั้งระบบเครือข่าย ได้ผลค่าเฉลี่ยดังแสดงในตาราง 1 – 3 และผลค่า t-Test ดังตารางที่ 4

ตาราง 1

ค่าเฉลี่ยเวลาหน่วงในสายสัญญาณของเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีต่าง ๆ

จำนวนโหนดในเครือข่าย	ค่าเฉลี่ยเวลาหน่วงในสายสัญญาณของเครือข่าย					
	Memetic-0	Memetic-1	Memetic-3	Memetic-6	Simplex	MENTOR-II
4	148.00	100.50	100.75	116.00	84.50	186.00
5	377.50	211.50	211.50	211.67	253.00	456.00
6	507.50	430.17	443.83	485.17	383.33	758.00
7	711.83	541.00	559.83	588.17	517.67	1162.00
8	1499.67	1211.17	1215.83	1314.50	1095.67	1895.67
9	2075.67	1815.17	1643.50	1801.00	1238.06	2485.00
10	2859.98	2722.58	2086.49	2549.32	-	3897.90

ตาราง 2

ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการประมวลผลออกแบบเครือข่ายด้วยวิธีต่าง ๆ

จำนวนโหนดในเครือข่าย	ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการประมวลผลออกแบบเครือข่าย					
	Memetic-0	Memetic-1	Memetic-3	Memetic-6	Simplex	MENTOR-II
4	1224.72	8960.00	9050.00	9304.62	0.027	0.005
5	1357.92	12865.55	12817.77	13171.36	0.210	0.005
6	2005.50	24466.59	24614.63	27228.80	1.233	0.005
7	2727.69	36285.04	38294.29	42256.64	217.32	0.005
8	5396.80	59118.63	63284.85	75327.86	5558.03	0.020
9	9635.00	75512.02	81672.85	93797.50	335284.00	0.023
10	17222.77	93062.52	97911.08	129881.40	-	0.023

ตาราง 3

ค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครือข่ายที่ออกแบบด้วยวิธีต่าง ๆ

จำนวนโหนดในเครือข่าย	ค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครือข่าย					
	Memetic-0	Memetic-1	Memetic-3	Memetic-6	Simplex	MENTOR-II
4	326.50	316.00	310.50	318.00	253.50	270.00
5	717.33	785.67	790.67	785.67	545.44	540.00
6	1521.17	1435.00	1412.00	1540.00	1110.00	930.00
7	1711.00	1775.83	1792.00	1959.33	1586.67	1190.00
8	3820.00	4334.33	4613.67	3977.67	3288.67	2243.60
9	4235.00	4643.67	5460.33	4797.00	3714.67	2902.00
10	4532.51	4595.64	6376.03	4618.67	-	4478.45

ตาราง 4

ค่า t-value เวลาหน่วงของวิธีมีมีติกที่พารามิเตอร์ต่าง ๆ เมื่อเทียบกับวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II

t-Test เวลาหน่วงของวิธีมีมีติกที่พารามิเตอร์ต่าง ๆ				
เทียบกับ	Memetic-0	Memetic-1	Memetic-3	Memetic-6
Simplex	2.43833002	1.3186357	1.553	1.78114324
MENTOR-II	-3.02374247	-3.97528598	-3.00904127	-3.39907716

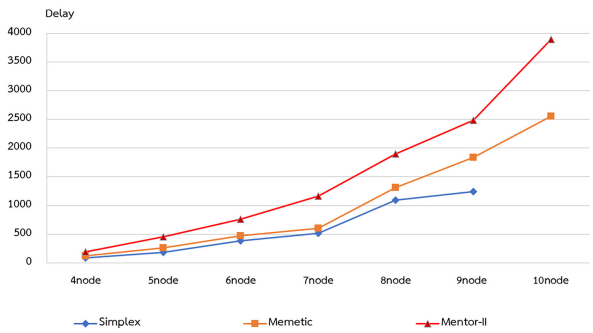
*นัยสำคัญทางสถิติที่ .05

1) ผลการทดลองในด้านเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมที่เครือข่ายขนาด 4 5 6 8 9 และ 10 โหนด เป็นไปดังภาพ 4 โดยการเปรียบเทียบวิธีมีมีติก (เฉลี่ย) กับวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II แสดงให้เห็นว่า วิธีซิมเพล็กซ์ให้เครือข่ายที่มีเวลาความหน่วงของสายสัญญาณน้อยกว่าวิธีมีมีติกและวิธีเมนเทอร์-II โดยวิธีมีมีติกมีประสิทธิภาพด้านเวลาหน่วงที่ด้อยกว่าวิธีซิมเพล็กซ์เล็กน้อย แต่ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีเมนเทอร์-II

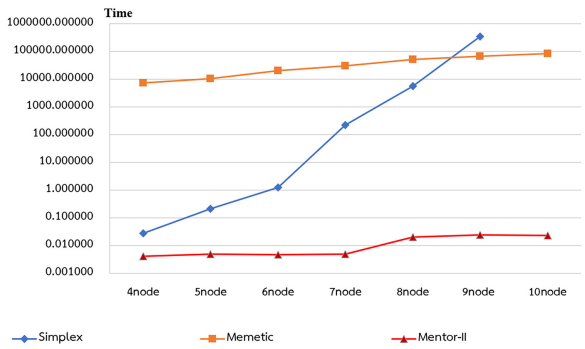
2) ผลการทดลองในด้านเวลาที่ใช้ออกแบบเครือข่าย (ในหน่วยวินาที) ที่เครือข่ายขนาด 4 5 6 8 9 และ 10 โหนด เป็นไปดังภาพ 5 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีมีมีติก (เฉลี่ย) กับวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II พบว่า วิธีเมนเทอร์-II ใช้เวลาในการประมวลผลออกแบบน้อยกว่าวิธีซิมเพล็กและวิธีมีมีติก แต่มีข้อสังเกตว่า วิธีการซิมเพล็กซ์นั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีมีมีติกสำหรับเครือข่ายที่มีขนาดไม่เกิน 8 โหนด แต่สำหรับเครือข่ายขนาดใหญ่ที่มี 9 โหนดขึ้นไป วิธีมีมีติกจะใช้เวลาออกแบบน้อยกว่าวิธีซิมเพล็กซ์ และยิ่งมีแนวโน้มที่จะใช้เวลาน้อยกว่ายิ่งขึ้นเมื่อเครือข่ายที่ออกแบบมีขนาดใหญ่ขึ้น

3) ผลการทดลองในด้านค่าใช้จ่ายในการออกแบบระบบเครือข่ายที่ขนาด 4 5 6 8 9 และ 10 โหนด เป็นไปดังภาพ 6 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีมีมีติก (เฉลี่ย) กับวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II พบว่า วิธีมีมีติกให้เครือข่ายที่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่มากกว่าวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II ตามลำดับ

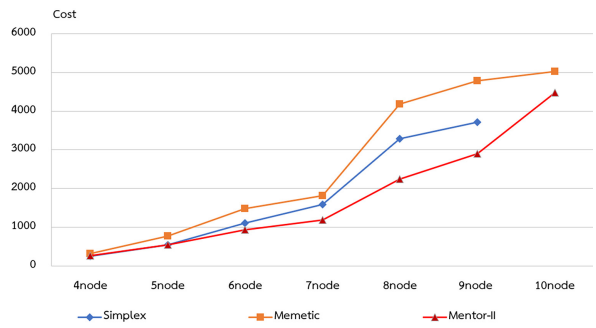
ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการออกแบบเครือข่ายด้วยวิธีมีมีติกที่มีจำนวนจุดแลกเปลี่ยนมีมที่แตกต่างกัน ได้ผลดังแสดงในภาพ 7 โดยพบว่า การมีกระบวนการแลกเปลี่ยนมีมจะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลออกแบบมากขึ้น และหากมีจำนวนจุดแลกเปลี่ยนมีมมากขึ้นก็จะใช้เวลาในการออกแบบมากขึ้นเล็กน้อย



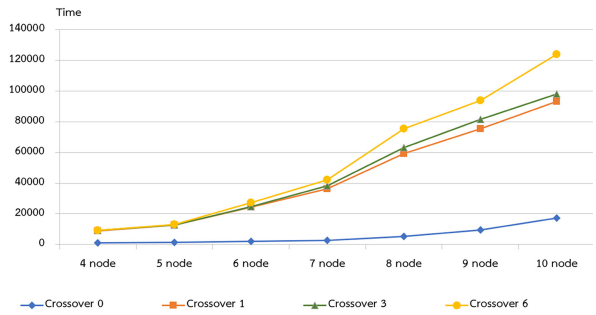
ภาพ 4 ความต่างของค่าเวลาหน่วงของสายสัญญาณรวมของเครือข่ายขนาด 4-10 โหนด



ภาพ 5 เวลาในการประมวลผลออกแบบเครือข่ายขนาด 4-10 โหนด



ภาพ 6 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครือข่ายขนาด 4-10 โหนด



ภาพ 7 เวลาที่ใช้การออกแบบเครือข่าย 4-10 โหนด ด้วยวิธีมีมีติก ที่จำนวนจุดแลกเปลี่ยนมีม เท่ากับ 0 1 3 และ 6

การอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการออกแบบโครงข่ายข่ายด้วยวิธีมีมีติกเปรียบเทียบกับวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II โดยเริ่มทดลองด้วยวิธีมีมีติกเปรียบเทียบกับวิธีซิมเพล็กซ์ ที่แปรผันค่าจำนวนโหนดของโครงข่าย ค่าโหนดดีกรี และความต้องการการไหลของข้อมูลในโครงข่าย รวมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 432 เครือข่าย ส่วนการทดลองเปรียบเทียบระหว่างวิธีมีมีติกกับวิธีเมนเทอร์-II นั้น ได้ทำการทดลองเป็นจำนวนทั้งสิ้น 210 เครือข่าย

จากตาราง 4 แสดงให้เห็นว่า ค่าเวลาหน่วงของเครือข่ายที่ใช้วิธีมีมีติกแบบ 1 3 และ 6 จุดแลกเปลี่ยนมีม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีซิมเพล็กซ์จะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าเวลาหน่วงของเครือข่ายที่ใช้วิธีมีมีติกแบบไม่มีจุดแลกเปลี่ยนมีมนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีซิมเพล็กซ์จะมีค่ามากกว่าวิธีซิมเพล็กซ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ส่วนค่าเวลาหน่วงของเครือข่ายที่ใช้วิธีมีมีติกทุกแบบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเมนเทอร์-II จะพบว่า มีค่าน้อยกว่าวิธีเมนเทอร์-II ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 จึงสรุปได้ว่า ในด้านของเวลาหน่วงของสายสัญญาณในเครือข่าย วิธีมีมีติกที่มีการแลกเปลี่ยนมีมมีประสิทธิภาพด้านเวลาหน่วงที่ใกล้เคียงหรือด้อยกว่าวิธีซิมเพล็กซ์เล็กน้อย แต่ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีเมนเทอร์-II

ส่วนในด้านของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อออกแบบเครือข่าย พบว่า วิธีเมนเทอร์-II ใช้เวลาในการประมวลผลออกแบบน้อยกว่าวิธีซิมเพล็กและวิธีมีมีติก ทั้งนี้มีข้อสังเกตว่าวิธีการซิมเพล็กซ์นั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีมีมีติกสำหรับเครือข่ายที่มีขนาดไม่เกิน 8 โหนด แต่สำหรับเครือข่ายขนาดใหญ่ตั้งแต่ 9 โหนดขึ้นไป วิธีมีมีติกจะใช้เวลาออกแบบน้อยกว่าวิธีซิมเพล็กซ์ และยิ่งมีแนวโน้มที่จะใช้เวลาน้อยกว่ายิ่งขึ้นเมื่อเครือข่ายที่ออกแบบมีขนาดใหญ่ขึ้น ในด้านของค่าใช้จ่ายของการติดตั้งเครือข่ายพบว่า วิธีมีมีติกให้เครือข่ายที่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมากกว่าวิธีซิมเพล็กซ์และวิธีเมนเทอร์-II ตามลำดับ

จึงสามารถสรุปได้ว่า วิธีมีมีติกเป็นวิธีการออกแบบโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพดีในแง่ของเวลาหน่วงและเวลาในการประมวลผลออกแบบ ซึ่งออกแบบได้เครือข่ายที่มีเวลาหน่วงน้อยใกล้เคียงกับวิธีซิมเพล็กซ์ แต่กระบวนการมีความซับซ้อนน้อยกว่าทำให้ออกแบบได้เร็วและเหมาะสำหรับใช้ในการออกแบบเครือข่ายขนาดใหญ่มากกว่าวิธีซิมเพล็กซ์

References

Ammaruekarat, P., & Meesad, P. (2012). Optimization by Multi-Objective Chaos-Memetic Algorithm. *Information Technology Journal, 8*(1), 54-61. (in Thai)

Cahn, R. (1998). *The design tool: Delite (software)*. Retrieved from http://www.mkp.com/wand.htm.

Chaimanee, A., & Supithak, W. (2018). A memetic algorithm to minimize the total sum of earliness tardiness and sequence dependent setup costs for flow shop scheduling problems with job distinct due windows. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 40*(5). 1203-1218. (in Thai)

Charnkeitkong, P. (2007). *Network analysis and design*. Pathumthani: Rangsit University. (in Thai)

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Trans. Evolutionary Computation, 6*(2), 182-197. doi: 10.1109/4235.996017.

Dehestani, A., & Hajipour, P. (2010). Comparative study of M/Er/1 and M/M/1 queuing delay models of the two IP-PBXs. *Journal of Convergence Information Technology, 5*(2), 36-42. doi:10.4156/JCIT.VOL5.ISSUE2.4

Duvedi, A., Ashraf, A., & Gairola, S. (2022). A Comparitive study on routing protocols: RIP, OSPF and EIGRP. *Proceeding of International Conference on Cyber Resilience, Vol.2* (pp.519–528). Dubai UAE: Skyline University College.

Fortz, B., & Thorup, M. (2000). Internet traffic engineering by optimizing OSPF Weights, Proceeding of *IEEE Computer and Communications Societies Vol.2* (pp.519–528). Tel Aviv: IEEE Computer Society.

Jaroenrat, K., & Samrongsub, T. (2014). OSPF network traffic engineering by branch exchange method. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 24*(3), 503-511. (in Thai)

Lanthong, K., & Jaroenrat, K. (2012). OSPF weight optimization by linear programming method. *Proceeding of 9th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference* (pp. 180-186). Nakhon Pathom: Kasetsart University. (in Thai)

Makhorin, A. (2000). *GLPK (GNU linear programming kit)*. Retrieved from http://www.gnu.org/software/glpk.

Monsakul, A. (2015). Performance of design with MENTOR-II Algorithm for IP Backbone network of Internet Service Provider. *Information Technology Journal, 11*(2), 62-69. (in Thai)

Nuipian, V., & Phimpha, A. (2019). Comparison of selection and mutation in genetic algorithms for examination schedule problem. *The Journal of Industrial Technology, 15*(2), 112-124. (in Thai)

Sirinaovakul, B. (2008). *Artificial Intelligence: Swarm Intelligence*. Bangkok: Top. (in Thai)

Srikaew, A. (2002). Genetic Algorithm–Part I. *Suranaree Journal of Science and Technology, 9*, 69-83. (in Thai)

Wongthatsanekorn, W. (2009). Reviewing and comparisons of five evolutionary-based algorithms. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 19*(2), 285-290. (in Thai)

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

Design and Development of a Dryer with Herb Grinder Controlled by a Microcontroller System

ณมน วรธนานุวงศ์[1]* และรังสรรค์ พงษ์พัฒนอำไพ[2]

Namon Vorathnanuwong[1]* and Rungsun Pongpattanaumpai[2]

[1]สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

[1]Department of Industrial Education, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

[2]Program in Farm Machinery Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Mahasarakham University

*Corresponding author: emailit62@gmail.com

Received: February 24, 2023

Revised: March 26, 2023

Accepted: April 4, 2023

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันหลายชุมชนมีการนำเศรษฐกิจพอเพียงเข้ามามีบทบาทกับชุมชนมากขึ้น รวมถึงกระทรวงสาธารณสุขมีนโยบายส่งเสริมให้สถานพยาบาลใช้ยาบำบัดโรคควบคู่กับยาแผนปัจจุบันทำให้หลายชุมชนมีการปลูกสมุนไพรเพิ่มมากขึ้น สามารถแปรรูปเพื่อสร้างรายได้ให้กับท้องถิ่นได้ การแปรรูปสมุนไพรบางชนิดทำให้คุณสมบัติดีขึ้น รวมถึงเพิ่มคุณภาพในการเข้าถึงการรักษาและบรรเทาโรค จึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งเพื่อศึกษาปัจจัยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอเตอร์ตัวเดียวกันทั้งสร้างการเคลื่อนที่ให้สมุนไพรในระหว่างการอบและการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กำลังสูงในการบดพร้อมรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม การเคลื่อนที่ของสมุนไพรเพื่อไล่ความชื้นโดยการควบคุมอุณหภูมิให้มีอัตราการอบแห้งสูงและลดระยะเวลาในการอบแห้งจากการระเหยของไอน้ำได้ดียิ่งขึ้น หากสมุนไพรมีความชื้นสูงจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพของสมุนไพร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำให้สมุนไพรเคลื่อนที่จะทำให้เกิดการกระจายความชื้นที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส เทียบจากระยะเวลาในการอบพร้อมบดด้วยเครื่องกับการอบและบดแบบปกติสามารถลดเวลาได้ตามประเภทของพืชสมุนไพร ทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการใช้เทคนิคแบบลีนเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการแปรรูป สามารถลดเวลา กระบวนการทำงานลงคิดอย่างน้อยเป็นร้อยละ 10.98 ขึ้นกับการตั้งอุณหภูมิการควบคุมมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส สามารถกระจายความชื้นได้พร้อมกับทำการบดจะสูญเสียพลังงานต่ำกว่าการเพิ่มชุดสร้างลมร้อน ในการทดลองกับสมุนไพร 2 ประเภท สรุปได้ว่าระดับความพึงพอใจ ลักษณะทั่วไป สี กลิ่นและรส การละลาย มีค่าเฉลี่ยดีมากทุกปัจจัยกับสมุนไพรทั้ง 2 ประเภท การใช้มอเตอร์ขับการเคลื่อนของสมุนไพรทำให้เกิดการแพร่กระจายความร้อนได้ดีกว่าการให้ความร้อนแบบคงที่และสามารถปรับค่าความต้องการของอุณหภูมิได้ตามลักษณะสมุนไพร

คำสำคัญ: การอบแห้ง ลมร้อน มอเตอร์กระแสสลับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ บดสมุนไพร

Abstract

The sufficiency economy philosophy has been adopted by many communities to play essential roles in more community-based activities. A policy has been formulated by the Ministry of Public Health to encourage medical institutions to use therapeutic drugs along with modern medicines. For these reasons, many communities have realized they need to grow more herbs that can be processed in order to generate income for the locals. Processing certain herbs can improve their properties and increase their quality of access to healing and the alleviation of disease. Therefore, a dryer was developed to study the factors of using a microcontroller to control the same motor both to create the movement of the herbs during drying and to control the speed of the high-powered motor to grind them together, as well as to control the temperature appropriately. The movement of the herbs to remove moisture by controlling the temperature would result in a high drying rate and a shorter drying time due to evaporation. If herbs have high humidity, it will result in damage to their quality. The experimental results showed that moving the herbs would cause the distribution of humidity at the drying temperature of 40–70 °C. Compared with the time of drying and grinding by machine and normal drying and grinding, the time can be reduced according to the type of medicinal plant. The efficiency improvement test using lean techniques comparing the difference before and after fabrication can reduce the process time by at least 10.98 percent, depending on the single-phase AC motor control temperature setting. Humidification can be distributed while grinding, and the energy loss was lower than adding a hot air-generating unit. In experiments with two types of herbs, it was concluded that the levels of satisfaction with general appearance, color, odor, taste, and solubility were averaged very well in all factors for both types of herbs. The use of a motor to drive the herbs caused better heat diffusion than static heating and could adjust the temperature requirements according to the characteristics of the herbs.

Keywords: drying, hot air, AC motor, microcontroller, herb grinding

บทนำ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรนั้นเป็นแนวคิดมาจากพืชสมุนไพรประเภทใช้ใบหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น หญ้าหวาน ใบย่านาง ใบชา นิยมในการนำมาอบแห้งพร้อมนำมาทำผลิตภัณฑ์แปรรูปในรูปแบบผงเป็นส่วนมาก ไม่ว่าจะบรรจุแคปซูลหรือเป็นส่วนผสมเครื่องสำอาง การใช้เครื่องอบแห้งเพียงอย่างเดียวแล้วทำการเคลื่อนย้ายไปบดผงอีกครั้งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองหรือจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการได้ การทำผงสมุนไพรนั้นจำเป็นต้องรักษาคุณภาพ อุณหภูมิและความสะอาดอยู่ตลอดเวลา ตามมาตรฐานชุมชน การนำไปใช้เป็นยารักษาโรค ใช้เพื่อปรุงอาหาร หรือใช้ในเครื่องสำอาง การตากแห้งที่เป็นกรรมวิธีดั้งเดิมนิยมใช้สมุนไพรไปตากแดดในพื้นที่ลานกว้างและใช้ระยะเวลาในการตากค่อนข้างนานขึ้นอยู่กับปริมาณแดดในแต่ละช่วง อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการปนเปื้อนแมลงและฝุ่น (Fudholi et al., 2012) เครื่องอบพลังงานต่าง ๆ จึงเข้ามามีบทบาทหน้าที่ เช่น การอบแห้งโดยใช้เทคนิคการใช้สตรีมความร้อนจากเครื่องทำความร้อน การอบแห้งแบบความดันต่ำกว่าบรรยากาศ การอบแห้งด้วยลมร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Bala & Janjai, 2009)

ปัญหาของการตากแห้ง คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่คงที่ (Arrisa, Suhdee, Teerayut & Teerapat, 2022) การอบแห้งด้วยรังสีอินฟาเรด (Riadh, 2015) หรือการอบแห้งด้วยความร้อนจากชีวมวลแทนการใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียว ทั้งเพื่อคุณภาพและการเก็บรักษา อย่างไรก็ดีพืชสมุนไพรชนิดใบ เมื่อทำการอบแห้งจำเป็นต้องนำมาบด จึงมีแนวความคิดสร้างเครื่องอบและบดสมุนไพรเพื่อลดการปนเปื้อนในสมุนไพรระหว่างกระบวนการการผลิต การออกแบบเพิ่มชุดการทำงานไว้ในภาชนะเดียวกันเพื่อลดต้นทุนอุปกรณ์การควบคุม กระบวนการอบแห้งนั้นสามารถทำได้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟสและตัวทำความร้อนในชุดเดียวกัน แทนการเพิ่มชุดควบคุมมอเตอร์เพื่อลดต้นทุนเครื่อง และลดรอบเวลาทั้งหมดของกระบวนการทำงานได้กรณีเพิ่มชุดการทำงานแยกระหว่างการอบด้วยชุดลมร้อนแล้วบด การควบคุมความเร็วในการทำความร้อนกับสมุนไพรบางชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของสมุนไพร ด้วยเหตุนี้การใช้แหล่งพลังงานความร้อน จากอินฟาเรดร่วมกับลมร้อนจึงมีความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์นวัตกรรมใหม่ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

เกษตรกร สาธารณสุข SME และชุมชน สามารถใช้เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรที่มีศักยภาพสูง และเพิ่มประสิทธิภาคการเกษตร

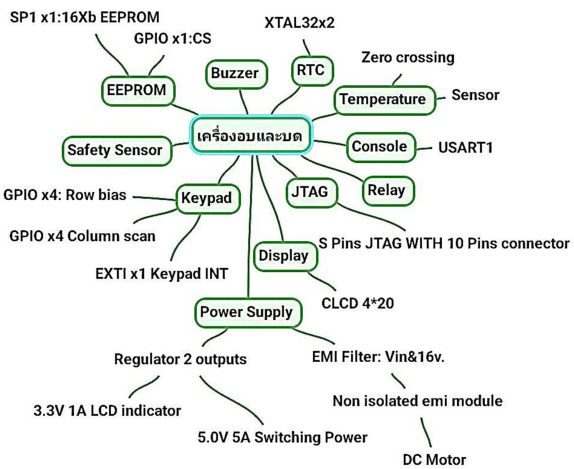
ขอบเขตของการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องอบและบดสมุนไพรควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ต้นแบบสามารถทำงานกับสมุนไพรประเภทที่ใช้ใบเท่านั้น เมื่อป้อนสมุนไพรประเภทใบแล้วตั้งอุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสมกับการอบแห้งในเครื่อง ในการอบแห้งหลังจากเครื่องทำการอบโดยควบคุมการทำความร้อนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิและกำลังลมให้คงที่ตามกำหนด เพื่อกระจายความชื้นของใบสมุนไพรให้ทั่วถึงกัน เมื่อครบกำหนดเวลาระบบจะสั่งการให้ทำการบดใบสมุนไพรโดยอัตโนมัติเพื่อให้สมุนไพรที่แห้ง ทำการบดสมุนไพรตามเวลาที่กำหนดโดยความเร็วรอบหมุนของใบมีดใช้มอเตอร์เป็นตัวควบคุมใบมีดสามารถถอดลับคมตัดหรือเปลี่ยนใหม่ได้เมื่ออายุการใช้งานที่หมดสภาพ ซึ่งการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เครื่องจะเป็นระบบแบบกึ่งอัตโนมัติ หลังการเก็บสมุนไพรแบบครบวงจร สามารถประยุกต์ใช้ได้ในระดับเกษตรกร สาธารณสุข SME และชุมชน โดยมี เป้าหมายที่มีประสิทธิภาพการอบแห้งต่อครั้งที่สมุนไพรมีความชื้นที่ 200 กรัมต่อครั้งเพื่อป้องกันการกระจายความชื้นที่ไม่สมบูรณ์

วิธีดำเนินการออกแบบและพัฒนา

1. การออกแบบโปรแกรมควบคุม

การออกแบบโปรแกรมควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์จากภาพ 1 กำหนดผังการดำเนินงานของอุปกรณ์ในเครื่องก่อนการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการอบและบดสมุนไพร ซึ่งในขณะอบนอกจากการควบคุมมอเตอร์กำลังสูงให้เกิดการหมุน พร้อมกันนั้นก็สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ได้ค่าที่ต้องการ การควบคุมลักษณะนี้จะเกิดเอาต์พุตที่เกินค่าสุดท้ายในสถานะคงตัว ที่เป็นค่าที่เกินจากค่าที่ตั้งไว้ในช่วงเวลาขณะหนึ่งก่อนที่อุณหภูมิจะกลับเข้าสูงค่าที่ตั้งไว้ความชื้นของสมุนไพรประเภทที่มีใบเป็นยา เช่น ใบย่านางหญ้าหวาน



ภาพ 1 แผนผังอุปกรณ์การควบคุมเครื่องอบและบด

2. การออกแบบ LCD ควบคุม

ทำการทดสอบระบบแสดงผลการควบคุมโดยใช้จอแสดงผลเป็น CLCD 4*20 Chars ทำการออกแบบตามแผนผังการทำงาน เพื่อให้เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรสามารถควบคุมได้ตามที่ต้องการ การทำงานเครื่องอบและบดสมุนไพร การออกแบบหน้าจอเพื่อให้สามารถทราบถึงการตั้งค่าของเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพร ซึ่งจะเป็นแบบปุ่มกด โดยสามารถกดเข้าไปตั้งค่าได้ตามภาพ 2

หน้าจอเริ่มต้นเพื่อตั้งค่าเมนูหลัก จะมี 3 เมนู ดังนี้

1. Start Machine เป็นการเริ่มเมนูทำงาน สามารถทำงานได้เลยโดยจะเป็นค่ากำหนดกลางไว้เพื่อความปลอดภัย

2. User Setting ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าให้เหมาะสมกับสมุนไพรที่จะใช้งานได้โดยการตั้งอุณหภูมิในการอบกับเวลาที่ใช้ในการบดสมุนไพร

3. System Setting การตั้งระบบค่าที่สัมพันธ์กัน สามารถตั้งค่า PID ของเครื่อง จากผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุมเพื่อกำหนดค่าว่างเร็วในการทำงาน ความแม่นยำในการทำงาน หรือความเสถียรของอุณหภูมิและมอเตอร์ได้ เพื่อรองรับให้เหมาะสมกับสมุนไพร

ในแต่ละเมนูจะมีโหมดแยกย่อยในการตั้งค่าระบบของเครื่องอย่างละเอียด

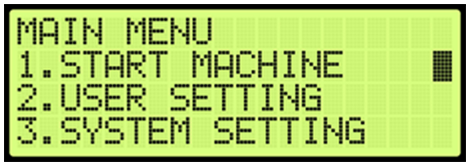
1. จากภาพ 3 เมื่อเข้าเมนู Start Machine จะมีระบบ Safety Check เพื่อเป็นการเตือนผู้ใช้อีกครั้งว่าพร้อมการทำงาน เนื่องจากระบบมอเตอร์ความเร็วสูงมากจึงมีการเตือนก่อนเริ่มทำงาน

ภาพ 4 ในโหมด Start Machine เป็นเมนูที่จะสามารถตรวจสอบการตั้งระยะเวลาในการอบแห้ง เพื่อให้เหมาะกับสมุนไพรแต่ละชนิดได้ สมุนไพรบางชนิดต้องใช้ระยะเวลาในการอบนานมากกว่าประเภทอื่น และมีการแสดงผลในรูปแบบเชิงเส้นของหน้าจอดิจิทัลถึงคาบการทำงาน

ภาพ 5 การตรวจวัดความชื้นสมุนไพรในเมนู Cooling ในโหมด Start Machine เป็นเมนูหลักเพื่อดูความชื้นของสมุนไพรที่อบแห้งว่าเหมาะสมไหม สามารถเพิ่มอุปกรณ์ตรวจวัดเพิ่มได้ในภายหลัง

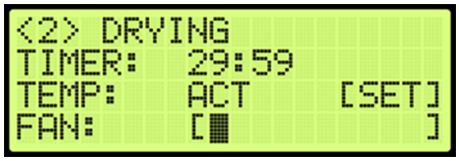
ภาพ 6 การตั้งเมนู Grinding ในโหมด Start Machine เป็นเมนูการบดสมุนไพรซึ่งค่า Fan จะบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาเพื่อให้สมุนไพรมีความละเอียด ความเร็วในมอเตอร์จึงต้องสูงมาก แต่หากต้องการทำในรูปแบบชา สามารถตั้งที่ 1-2 นาทีได้

ภาพ 7 การตั้งเมนู Finished ในโหมด Start Machine จะเป็นการแจ้งเตือนเมื่อสิ้นสุดการทำงาน สามารถตั้งสัญญาณเตือนได้ในโหมด User Setting

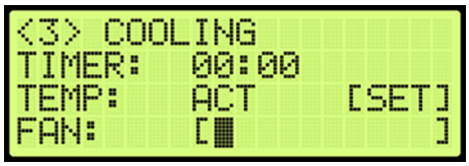


ภาพ 2 การแสดงผลของเริ่มต้นการทำงาน

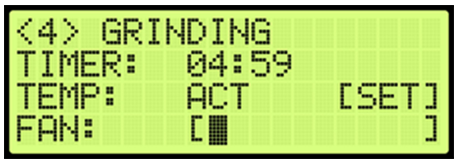
ภาพ 3 การแสดงผลของหน้าจอ LCD เริ่มระบบตรวจสอบความปลอดภัย



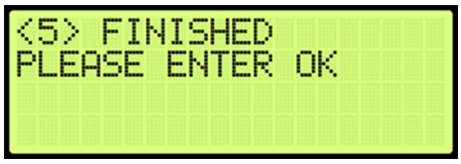
ภาพ 4 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งระยะเวลาในการอบแห้ง



ภาพ 5 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตรวจวัดความชื้น



ภาพ 6 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งค่าบดสมุนไพรซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใย



ภาพ 7 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งสัญญาณเตือน

2. โหมด User Setting ในภาพ 8 สามารถให้ผู้ใช้ตั้งค่าได้ 3 รูปแบบ ซึ่งสามารถตั้งให้เหมาะสมกับสมุนไพรที่ทำการอบและบดได้ในตัวอย่างงานนี้ใช้ใบย่านาง หญ้าหวาน ซึ่งเป็นประเภทใบที่มีความแตกต่างกัน การสูญเสียความชื้นจึงไม่เท่ากัน สามารถตั้งค่าได้ ดังนี้

Heat Temp การตั้งค่าที่อุณหภูมิในการอบ สามารถตั้งได้ที่ 30-70 องศาเซลเซียส เพื่อให้เหมาะสมกับสมุนไพร หากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจเกิดการไหม้ได้

Dry Time ระยะเวลาในการอบแห้ง สามารถตั้งเวลาได้ถึงหลักวินาที

Cool Temp เป็นระยะเวลาในการพักจากการอบแห้ง

ภาพ 9 ต่อเนื่องจากภาพ 8 จะเป็นการเข้าโหมด User Setting สามารถให้ผู้ใช้ตั้งค่าสามารถตั้งเลื่อนหน้าต่อไปได้

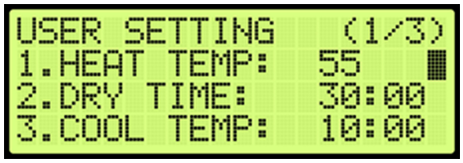
Grind Time การตั้งค่าระยะเวลาในการบดสมุนไพร ซึ่งการบดสมุนไพรที่มีเส้นใยสูงหากต้องการให้มีความละเอียดควรเพิ่มระยะเวลาให้นานขึ้น

Buzzer การตั้งเสียงเตือนในการทำงาน เนื่องจากการอบแล้วสามารถทำงานในโหมดของการบดได้อย่างต่อเนื่อง หรือจะพักการทำงานงานก่อนเข้าโหมดบดก็ได้ การบดที่ใช้ความเร็วของมอเตอร์สูงทำให้มีการตั้งเสียงเตือนไว้ก่อน แต่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้เองว่าต้องการปิดเสียงการทำงานหรือไม่

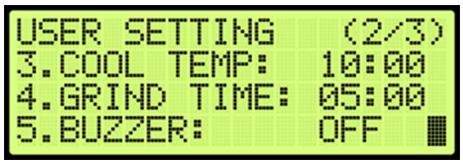
ภาพ 10 เป็นการตั้ง Brightness เป็นการตั้งค่าความเข้มของหน้าจอ ซึ่งสามารถให้ผู้ใช้ตั้งค่าได้ถึง 10 ใช้กับการที่เครื่องทำงานกลางแจ้ง การตั้งความสว่างของหน้าจอจะทำให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนขึ้น

สำหรับสมุนไพรที่ต้องรักษาคุณค่าทางอาหารสูง และมีผู้เชี่ยวชาญในการแปรรูปอาหารสามารถตั้งโหมด System Setting ในภาพ 11 เป็นการตั้งค่า PID ซึ่งเป็นการควบคุมระบบควบคุมแบบป้อนกลับจึงเปิดให้ใช้แบบใส่ Password เพื่อป้องการผู้ใช้ที่ไม่เข้าใจการตั้งค่า PID ตั้งค่าระบบเองโดยไม่ตั้งใจ

3. โหมด System Setting ภาพ 12 สามารถปรับค่า PID ด้วยมือได้ดังนี้ เพื่อความสะดวกกับการอบและบดสมุนไพร ถ้าระบบยังคงทำงาน ให้ตั้งค่าที่ข้อ 1 GA การตั้งค่า PID เป็นค่าของ Ki และ Kd ก่อนเพิ่มค่า Kp เป็นกระบวนการควบคุมที่มาใช้แก้ไขปัญหา การเกิด Offset Error ที่สถานะคงตัวของระบบได้

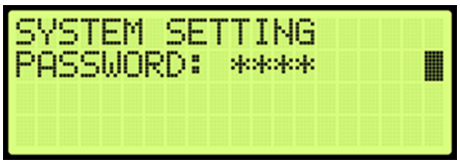


ภาพ 8 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งค่ารูปแบบการอบและบดให้เหมาะสม



ภาพ 9 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งค่าการบดและเสียง

ภาพ 10 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งความเข้มของแสงหน้าจอ



ภาพ 11 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งการเข้ารหัสสำหรับการตั้งค่าแบบละเอียดอ่อน

ภาพ 12 การแสดงผลของหน้าจอ LCD สามารถปรับค่า PID ที่ต้องเข้ารหัสก่อนตั้งเท่านั้น

3 หลักการทำงานของเครื่องอบและบด

เขียนโปรแกรมส่วนควบคุมการทำงาน ร่วมกับการทดสอบอุปกรณ์การทำงานของเครื่องอบและบดสมุนไพร การบดสมุนไพรประเภทใบ เครื่องบดจำเป็นต้องมีความคม เพื่อให้ใบของสมุนไพรเกิดการตัดขาด เป็นมอเตอร์กำลัง 220V 1 ตัว กำลังการปั่นสูง อัตราในการหมุนของใบมีด high rotate 25000r/min-32000r/min ความละเอียดของวัตถุดิบที่บดได้ ประมาณ 50 Mesh/ 0.5 นาที และ 300/ Mesh 2-5 นาที ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่มีมวลหนักเบาไม่เท่ากัน ใช้ไฟฟ้า 220 V และกำลังไฟในการปั่น 3000 W ขนาด 280 มม.x280 มม.x450 มม. ตัวเครื่องน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ซึ่งการบดสมุนไพรต้องคำนึงถึงเส้นใยใบสมุนไพร ซึ่งถ้ามีเส้นใยสูงอาจทำให้เกิดการพันที่แกนและเกิดการไหม้ของมอเตอร์ วัสดุหลักทำจากสแตนเลสเกรด sus 316 เป็นตัวฝาปิดและตัวเครื่อง ใบมีดสแตนเลส sus 430 ตามมาตรฐานเกรดอาหาร

ขั้นตอนการออกแบบเครื่องอบและบดสมุนไพร เพื่อให้สามารถใช้งานประโยชน์ได้เต็มที่ การบดมีความละเอียดมากขึ้นจึงทำการวางมอเตอร์ในแนวตั้ง อยู่ระหว่างดำเนินการประกอบเครื่องอบและบดสมุนไพร หากขาดอุปกรณ์บางส่วน

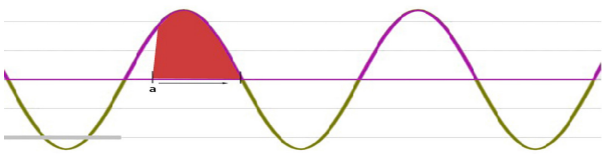
ในส่วนของ 4krmuj 13 ตัว เครื่องเป็นรูปแบบที่เน้นการบดเป็นหลักจึงแยกการออกแบบระบบควบคุมกับเครื่องบดออกจากกันทำให้ให้สามารถปรับรูปแบบของการอบได้ เนื่องจากการเก็บสมุนไพรบางช่วงมีความชื้นที่สูง การอบในเครื่องอาจไม่สามารถทำได้โดยสมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามสามารถพักให้แห้งหรือแช่ตู้เย็นก็สามารถทำให้ความชื้นในสมุนไพรลดลงเป็นอย่างมาก ทำให้ได้คุณภาพของสมุนไพรตามต้องการได้

ภาพ 13 การออกแบบในส่วนเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพร

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจจับสัญญาณเพื่อตรวจสอบว่าเงื่อนไขถูกต้องในการเริ่มการทำงานหรือไม่

การออกแบบการควบคุมด้วยสมการที่แสดงนี้ จะปรับเกณฑ์การข้ามศูนย์ เพื่อเพิ่มความถูกต้องและทำให้การทำงานของมอเตอร์เท่า ๆ กันทุกช่วง จะมีตัวเลือกในการระบุช่วงเวลาที่ยอมรับได้ และเกณฑ์สัญญาณ จากภาพ 14



ภาพ 14 พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดจากเส้น a เพื่อส่งสัญญาณการทำงาน

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมควบคุมภายใต้เงื่อนไขสมการ

T = เวลาเส้นใต้กราฟ

A = พื้นที่ที่มอเตอร์จะทำงานที่เส้นใต้กราฟ

f1 = ฟังก์ชันของสัญญาณคลื่น

a = ระยะเพื่อหาพื้นที่จากจุดใดจุดหนึ่งในสัญญาณรูปคลื่น

Restart

$$f1 = t \rightarrow A.\sin(2.Pi.f.t) \quad (1)$$

$$\int_{a}^{\frac{1}{2f}} f1(t)dt = area$$

$$\frac{A(\cos(2\pi fa) + 1)}{2\pi f} = area$$

Solve for a

$$\left[a = -\frac{-\pi + \cos^{-1}\left(\frac{-2area\pi f + A}{A}\right)}{2\pi f}\right]$$

เพื่อที่ให้ได้คาบเวลาแรกจึงจำเป็นต้องหาโดย

$$t_{FireDelay} = area \rightarrow -\frac{-\pi+\cos^{-1}\left(\frac{-2area\pi f+A}{A}\right)}{2\pi f} \quad (2)$$

$$fullArea = \int_{0}^{\frac{1}{2f}} f1(t)dt$$

$$fullArea = \frac{A}{\pi f}$$

$$solve(fullAera = maxRes, A)$$

$$\pi f maxRes = 1000$$

$$A = solve(fullAera = maxRes, A)$$

$$A = 1000\pi f$$

$$f = 50$$

$$t_{FireDelay^{(aera)}}$$

$$-\frac{-\pi + \cos^{-1}\left(\frac{-100\pi area + 50000\pi}{50000\pi}\right)}{100\pi}$$

$$evalf\left[\int_{0}^{\frac{1}{2f}} f1(t)dt\right] = 1000$$

การตรวจจับสัญญาณของสมการนี้ขึ้นอยู่กับการสร้างสัญญาณในรูปแบบ Zero Crossings ให้กับเครื่องอบและบด โดยการควบคุมเครื่องที่ได้รับสัญญาณรูปคลื่นเข้ามา ได้สร้างเส้น a ซึ่งเส้น a จนถึงสิ้นสุดลูกคลื่นที่ช่วงบวกและลบ สมการจะทำการหาพื้นที่ในช่วงตั้งแต่ a เป็นพื้นที่เริ่มการทำงานของมอเตอร์และอุณหภูมิใช้ในสมการเดียวกัน ทำให้มีพื้นที่การทำงานในกราฟเท่ากันเสมอในช่วงลูกคลื่น สำหรับการป้องกันความอิ่มตัวสัญญาณ การตรวจจับสัญญาณเป็นศูนย์ที่ตัดกราฟเงื่อนไขตามคาบเวลาที่ต้องการทำงาน การทำงานนี้มอเตอร์จะทำงานในช่วงเวลาหนึ่งก่อนจะหยุดการทำงาน

2. การควบคุมการหมุนของมอเตอร์

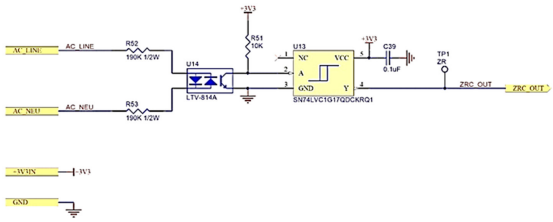
เพื่อสามารถใช้งาน 2 รูปแบบ คือ ในระหว่างอบหมุนให้สมุนไพรเกิดการเคลื่อนที่ และสำหรับบดสมุนไพรให้ละเอียด

1. ใช้มอเตอร์กระแสสลับ 220V 1,800 W

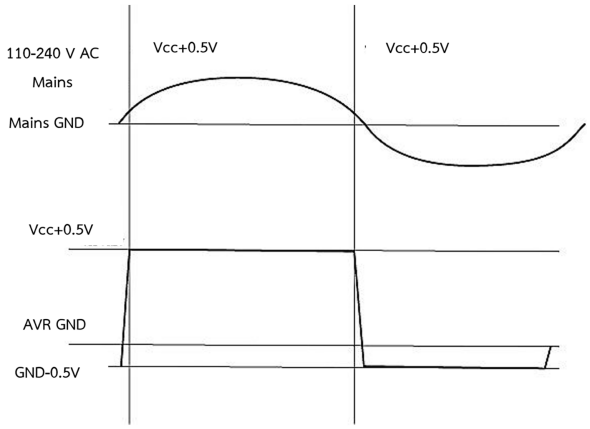
2. กำลังมอเตอร์ทำให้การอบไม่สามารถทำได้ เนื่องจากสมุนไพรจะถูกบดก่อนที่อุณหภูมิความร้อนจะถึง จึงทำการปรับความถี่โดยใช้กฎอัตราส่วนต่อความถี่มีค่าคงที่เพื่อการพัฒนาสมรรถนะของแรงบิดที่ย่าน ความถี่ต่ำ (Sharma, Verma & Pathare, 2005) การประหยัดพลังงานในมอเตอร์เหนี่ยวนำอยู่ในรูปแบบของเทคนิคการควบคุมการทำงาน ของชุดขับเคลื่อนเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่ทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุดหรือมีกำลังงานการสูญเสียน้อยที่สุด

3. วิธีการควบคุมแรงดันมอเตอร์ตามหลักการ Zero Crossings ในภาพ 15 สำหรับจ่ายแรงดันให้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด คือ การควบคุมความถี่ของโรเตอร์ (perturbing rotor frequency control) และการควบคุมอัตราส่วนระหว่าง แรงดันกับความถี่ (V/f control) ในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์ของความเร็ว โดยค่าประสิทธิภาพจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันของค่าสลิป ค่าความถี่และค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ

4. ทำการปรับค่าแรงดันโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ปรับมุมจุดชนวน (firing delay angle) ของไตรแอก การปิดการทำงานเมื่อมีการตรวจจับแรงดันที่ข้ามศูนย์จะปิดกั้น เนื่องจากแรงดันมีการเข้าใกล้ศูนย์มากเกินไป ความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นซึ่งการตรวจจับด้วย Zero-Crossing ให้เลือกค่าจาก Maximum order หน้าต่าง Solver ของกล่องโต้ตอบพารามิเตอร์การกำหนดค่าในภาพ 16 การตรวจจับสัญญาณของคลื่นเมื่อเริ่มทำงาน



ภาพ 15 วงจร Zero Crossings สำหรับจ่ายแรงดันให้มอเตอร์



ภาพ 16 การตรวจจับสัญญาณคลื่นเพื่อเริ่มการทำงาน

3. มาตรฐานชุมชน

เพื่อให้เครื่องอบและบดสมุนไพรสามารถพัฒนาคุณภาพของสมุนไพร รวมถึงเป็นการสนับสนุนให้ชุมชนใช้เทคโนโลยีในชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำการนำสมุนไพรเมื่อผ่านกระบวนการอบและบดเสร็จสิ้นดำเนินการตามรูปแบบของชุมชน เป็นการรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนของผู้ผลิตในชุมชนที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันประกอบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ตามประกาศข้อกำหนด ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ประกาศกำหนดไว้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการทดลองในส่วนการควบคุม

ผลทดลองพบว่า การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อควบคุมการเครื่องอบและบดสมุนไพรแยกเป็น 2 ส่วน ในเรื่องของการควบคุมระบบให้เกิดการกระจายตัวสามารถควบคุมระดับกระแสให้มอเตอร์สามารถตั้งการทำงานระดับการทำงานให้ระเอียดได้ตามความต้องการของสมุนไพร การควบคุมแรงดันจะสัมพันธ์กับช่วงของเวลาดังตารางการทดลอง ตารางการทดลองเป็นการกำหนดให้มอเตอร์ทำงานที่ 18% เนื่องจากมอเตอร์มีกำลังสูงหากต้องการให้ทำงานในช่วงอบต้องทำการลดเปอร์เซ็นต์การทำงานลง ซึ่งส่วนนี้ขึ้นกับขนาดของตัวเครื่องอบและบดที่สมุนไพรปริมาณ 200 กรัม แบ่งการทำงานของมอเตอร์ต้องหาจุดที่จะเกิดการแบ่งกราฟจากเส้นใต้กราฟของกระแสสลับ

เพื่อให้เกิดพื้นที่ในกราฟเท่ากันเมื่อเข้าใกล้จุดศูนย์ช่วงเวลาของกราฟจะมีช่วงเวลากว้างขึ้น โดยทำงานที่ 25 ms แล้วหยุดการทำงาน 1 ms

ความสามารถการควบคุมอุณหภูมิหลังทดลองมีค่า overshoot ที่ต่ำและเข้าสู่อุณหภูมิที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ทำการทดสอบกับสมุนไพร 2 ประเภท โดยค่าวัดได้จากออสซิลโลสโคป สามารถสรุปได้ ดังนี้

โดยตาราง 1 เป็นตัวอย่างในการแบ่งค่าการทำงานของมอเตอร์และการควบคุมอุณหภูมิจากการทดลอง 5 ครั้ง ซึ่งความจริงใน 1 ช่วงคลื่นสามารถแบ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ ได้มากกว่า 1,000 ช่วง เป็นการสุ่มตัวอย่าง จากสมการที่นำเสนอจะทำให้ได้พื้นที่ที่เท่ากันเสมอแต่ช่วงของ Δt อาจมีค่าที่แตกต่างกันกันเพราะในแต่ละช่วงคลื่นเริ่มไม่เท่ากัน ซึ่งสมการที่ใช้เขียนโปรแกรมจะสามารถแบ่งพื้นที่ในช่วงคลื่นได้เท่ากันตลอดทุกช่วงคลื่นไม่ว่าจะแบ่งที่ 10 ช่องใน 1 ลูกคลื่น หรือ 1,000 ในช่วง 1 ลูกคลื่นทั้งคลื่นบวกและลบ ดังภาพ 17 ตัวอย่างการตัดลูกคลื่นที่ t6

ทำให้เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ความสามารถในการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่รอบใบพัดของมอเตอร์ได้ 1,000 ระดับ จากตาราง 1 เป็นตัวอย่างทดลองที่ปรับที่ 10 ระดับเท่านั้น โดยการควบคุมนี้จะแบ่งจากการหมุนของมอเตอร์และการควบคุมอุณหภูมิมีอัตราการอบแห้งและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนยังผลสูงที่สุด สำหรับเครื่องอบและบดสมุนไพร การหมุนของมอเตอร์เพื่อสร้างการอบแห้งภายใต้มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ด้วยวิธีการจัดพื้นที่ใต้กราฟของมอเตอร์กระแสสลับทำให้การจ่ายกระแสในคาบเวลาที่ไม่เท่ากันตามการขึ้นของกราฟ หากเริ่มกระแสจากคลื่น sine

wave ถึงช่วงเวลาหนึ่งจะทำการตัดเพื่อนำไปใช้งาน สรุปได้ว่า การให้ช่วงเวลาที่เหมาะสมแก่มอเตอร์กระแสสลับให้ทำงานที่ช่วงเวลาหนึ่ง สร้างการเคลื่อนที่ให้กับสมุนไพร ทำให้เกิดการแพร่กระจายความร้อนได้ดีกว่าการให้ความร้อนแบบคงที่ ภาพ 18 ตัวอย่างการแบ่งช่วงลูกคลื่น แสดงให้เห็นการแบ่งการทำงานในการควบคุมทั้งมอเตอร์และอุณหภูมิ ที่ได้จากการวัดในมิเตอร์เมื่อทำการทดลองที่แบ่งในลูกคลื่นที่ 10 ช่อง

ตาราง 2 ระยะเวลาในการอบและบดใบย่านางอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่คงที่ ที่ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส ได้เฉลี่ยจากการทดลอง 4 ครั้ง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเวลาในการอบจะลดลง ระยะเวลาในการอบที่ 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับและบดที่ 3 และ 5 นาที ตามลำดับ โดยเทียบผลคุณภาพตามตารางมาตรฐานชุมชนใบย่านางผงสำเร็จรูป (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 2019b) ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นน้ำหนักแห้งต่ำกว่ากว่า 20 กรัม ความละเอียดเฉลี่ยที่ 250 ไมครอน ซึ่งถ้าเทียบกับการอบแห้งโดยวิธีดั้งเดิมจะเห็นได้ชัดเจนว่าเราจะทราบเวลาในการอบแห้งที่แน่นอนและไม่ต้องเคลื่อนย้ายสมุนไพรไปในส่วนของการบดเมื่อสมุนไพรแห้งแล้ว

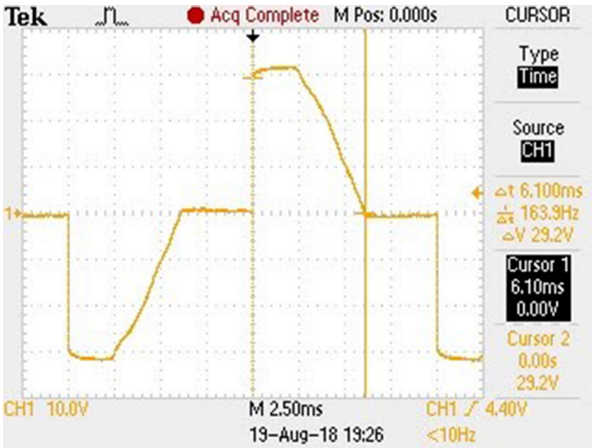
ตาราง 3 ระยะเวลาในการอบและบดหญ้าหวาน อบด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่คงที่ ที่ 40 45 และ 50 องศาเซลเซียส ได้เฉลี่ยจากการทดลอง 4 ครั้ง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเวลาในการอบจะลดลง หากอุณหภูมิสูงเกินไปสีของสมุนไพรจะเปลี่ยนและคุณภาพลดลง ระยะเวลาในการอบที่ 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับและบดที่ 3 และ 5 นาที ตามลำดับ โดยเทียบผลคุณภาพตามตารางมาตรฐานชุมชน เปอร์เซ็นต์ความชื้นน้ำหนักแห้งต่ำกว่ากว่า 20 กรัมความละเอียดเฉลี่ยที่ 250 ไมครอน

ภาพ 18 เป็นค่าเฉลี่ยความแตกต่างของเวลาก่อนการและหลังการแปรรูปสมุนไพรที่มีความแตกต่างกันของเส้นใบ จากตาราง 2 และ 3 เพื่อดูการลดเวลาการใช้งานจากแบบปกติ แสดงการเพิ่มประสิทธิภาพโดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการใช้ระยะเวลาจะสั้นลงแต่ไม่เหมาะกับสมุนไพรที่มีใบขนาดเล็กเพราะอาจทำให้เสียคุณสมบัติของสมุนไพร การใช้เทคนิคแบบลีน (ECRS) (Nirundorn, 2015) ทดสอบความแตกต่างก่อนและหลังการแปรรูป สามารถลดเวลากระบวนการทำงานลงคิดอย่างน้อยเป็นร้อยละ 10.98 ขึ้นกับการตั้งอุณหภูมิ

ตาราง 1

ผลการทดสอบการทำงานตามสมการที่ 1/2 เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ

	Input			ตั้งค่าการทำงานของมอเตอร์	
t	Δt (ms)	1/Δt (Hz)	ΔV (V)	ร้อยละการทำงาน	เวลาจริง (ms)
0	2.500	400	22	18	25
1	3.400	294	27.2	18	25
2	4.100	243.9	29.6	18	25
3	4.900	204.1	30.0	18	25
4	5.500	181.8	30.0	18	25
5	6.100	163.9	29.2	18	25
6	6.800	147.1	26.4	18	25
7	7.600	131.6	22.6	18	25
8	8.500	117.6	16.0	18	25
9	10.00	100.0	0.8	18	25



ภาพ 17 ตัวอย่างการทำงานที่ช่วงคลื่นที่ t6

ตาราง 2

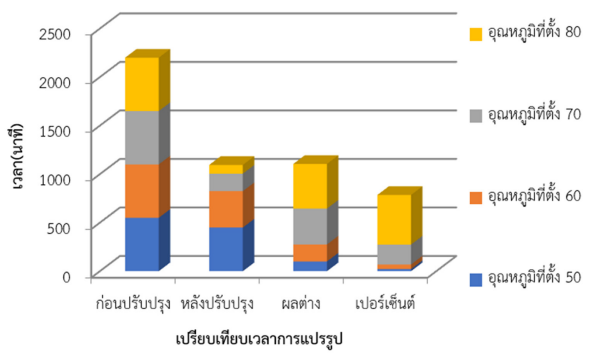
ระยะเวลาในการอบและบดใบย่านางเทียบวิธีดั้งเดิม

ย่านาง					
ใช้เครื่องอบและบด			ใช้วิธีดั้งเดิม		
ควบคุมอุณหภูมิที่ตั้ง	ระยะเวลาอบ (นาที)	ระยะเวลาบด (นาที)	ควบคุมอุณหภูมิที่ตั้ง	ระยะเวลาอบ (นาที)	ระยะเวลาบด (นาที)
50	450	5	ตามอุณหภูมิพื้นที่	โดยเฉลี่ย 500	5
60	390	4			
70	180	3			
80	90	3			

ตาราง 3

ระยะเวลาในการอบและบดหญ้าหวานเทียบวิธีดั้งเดิม

หญ้าหวาน					
ใช้เครื่องอบและบด			ใช้วิธีดั้งเดิม		
ควบคุมอุณหภูมิที่ตั้ง	ระยะเวลาอบ (นาที)	ระยะเวลาบด (นาที)	ควบคุมอุณหภูมิที่ตั้ง	ระยะเวลาอบ (นาที)	ระยะเวลาบด (นาที)
50	450	4	ตามอุณหภูมิพื้นที่	โดยเฉลี่ย 600	5
60	360	4			
70	180	3			
80	90	3			



ภาพ 18 การใช้เทคนิคแบบลีน (ECRS) ทดสอบความแตกต่างก่อนและหลังการแปรรูป

2. การใช้สมุนไพรในมาตรฐานชุมชน

เป็นเทคนิคการรวบรวมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อการพิจารณาการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพสมุนไพรที่ใช้เครื่องต้นแบบในการอบและบดสมุนไพรโดยการมุ่งลดผลกระทบที่เกิดจากปนเปื้อนของฝุ่นหรือแบคทีเรียที่สามารถเกิดขึ้นในสมุนไพรได้อย่างรวดเร็ว การรวบรวมผลของการพิจารณาและตัดสินใจเกี่ยวกับคำตอบที่เป็นมติของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในชุมชนที่มีความรู้เรื่องสมุนไพร เพื่อสรุปให้เป็นมติที่เห็นชอบโดยเสียงข้างมากในการที่จะตัดสินใจถึงแนวโน้มการใช้งานของเครื่องบดและอบสมุนไพรในอนาคต โดยเครื่องต้นแบบจะมีการออกแบบและแก้ไขหลายครั้งซึ่งต้นทุนจะสูงกว่าการผลิตเครื่องในเชิงอุตสาหกรรมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จากการใช้เทคนิคเดลฟายเพื่อข้อสรุปที่น่าเชื่อถือจากการเปิดโอกาสให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นแบบอิสระโดยไม่มีการเผชิญหน้าระหว่างผู้เชี่ยวชาญด้วยกันเพื่อไม่มีการชี้นำหรืออิทธิพลทางความคิดของผู้อื่น โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยระบบผู้เชี่ยวชาญด้านสมุนไพรชุมชน

กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ผู้ตรวจสอบ ทดสอบแบบสุ่มจำนวน 5 คนขึ้นไป ที่เป็นอิสระกัน โดยมีสมมติฐาน ดังนี้ การอบและบดในแต่ละครั้งย่อมมีความแตกต่างกันตามประเภทของสมุนไพรที่มีรูปร่างและขนาดที่ต่างกัน การใช้เครื่องบดพร้อมบดในชุมชนควรใช้ได้กับประเภทของสมุนไพรหลายชนิด ซึ่งได้ทำการออกแบบให้ระบบมีการตั้งค่าได้อิสระตามลักษณะของสมุนไพร ซึ่งครั้งนี้การทดสอบใช้ตัวอย่างของสมุนไพรจำนวน 2 ชนิด โดยสมุนไพรทั้ง 2 ชนิดที่นำมาทดสอบจะเป็นคนละประเภทสมุนไพร คือ ประเภทใบเล็กใยอาหารสูงเช่นหญ้าหวานและใบใหญ่เช่นใบหญ้านาง การทดสอบจะทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และการละลาย เป็นไปตามมาตรฐานชุมชนของแต่ละประเภทสมุนไพร ภาพ 19 และภาพ 20 ตัวอย่างสมุนไพรก่อนและหลังการแปรรูป

ตาราง 4 แสดงผลชนิดแรก ใบย่านางมีลักษณะใบค่อนข้างใหญ่การสะสมความชื้นน้อยกว่า เส้นใยมากกว่าการบดจะใช้เวลาที่มากกว่าเล็กน้อย โดยแยกเป็น ลักษณะทั่วไปที่ 3.5±0.53 สี 3.4±0.52 กลิ่นรส 3.3±0.67 การละลาย 3.2±0.63 ตามลำดับ

ตาราง 5 แสดงผลชนิดที่ 2 หญ้าหวานมีลักษณะใบค่อนข้างเล็กการสะสมความชื้นจะมากกว่าประเภทใบใหญ่ไม่ค่อยมีความแตกต่างเรื่องเวลาอบ และการบดจะเร็วกว่า

เล็กน้อยได้ความพึงพอใจจัดว่าดีมาก โดยแยกเป็น ลักษณะทั่วไปที่ 3.4±0.52 สี 3.2±0.32 กลิ่นรส 3.1±0.42 การละลาย 3.4±0.52 ตามลำดับ

ภาพ 19 ตัวอย่างสมุนไพรก่อนแปรรูป

ภาพ 20 ตัวอย่างสมุนไพรหลังแปรรูป

ตาราง 4

ค่าตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ย่านาง มผช.๘๖๖/๒๕๖๒

ลักษณะทั่วไป	เกณฑ์ที่กำหนด	ค่าตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน	ระดับความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย	SD
ลักษณะทั่วไป	เป็นเกล็ดขนาดเล็กหรือเป็นผงแห้งไม่จับตัวเป็นก้อน	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.5	0.53
สี	มีสีที่ดีตามธรรมชาติของผงสำเร็จรูป	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก.	3.4	0.52
กลิ่นรส	มีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของผงสำเร็จรูป ปราศจากกลิ่น รสอื่นที่ไม่พึงประสงค์	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.3	0.67
การละลาย	ต้องละลายได้หมดไม่ทิ้งสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนผสมที่ใช้	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.2	0.63

ตาราง 5

ค่าตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน หญ้าหวาน มผช.๑๕๒๑/๒๕๖๒

ลักษณะทั่วไป	เกณฑ์ที่กำหนด	ค่าตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน	ระดับความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย	SD
ลักษณะทั่วไป	เป็นเกล็ดขนาดเล็กหรือเป็นผงแห้งไม่จับตัวเป็นก้อน	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.4	0.52
สี	มีสีที่ดีตามธรรมชาติของผงสำเร็จรูป	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก.	3.1	0.32
กลิ่นรส	มีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของผงสำเร็จรูป ปราศจากกลิ่น รสอื่นที่ไม่พึงประสงค์	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.2	0.42
การละลาย	ต้องละลายได้หมดไม่ทิ้งสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนผสมที่ใช้	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.4	0.52

ข้อเสนอแนะ

สามารถพัฒนาวิธีการอบในรูปแบบอื่นเพื่อรักษาคุณภาพของสมุนไพรอื่น ๆ ได้ เนื่องจากการตั้งค่า PID เป็นการกำหนดค่าตัวแปรได้หลายค่าจึงจำเป็นที่ต้องสุ่มวัดค่าที่สมุนไพรประเภทที่ต่างกัน ข้อดีของชุดควบคุมนี้ คือ สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบของตัวเครื่องได้ภายใต้เงื่อนไขกำลังเดียวกัน เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างความสามารถในการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่รอบใบพัดของมอเตอร์ได้ 1,000 ระดับ การทำงานในการอบสมุนไพรต้องใช้ความละเอียดในการควบคุมเพราะสมุนไพรมีความชื้นที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

References

Bala, B. K., & Janjai, S. (2009). Solar drying of fruits, vegetables, spices, medicinal plants and fish: Developments and Potentials. *International Solar Food Processing Conference 2009* (pp. 1-24). Indore, India: Solar Cookers International. https://bit.ly/3kmlF92

Fudholi, A., Ruslan, M. H., Othman, M., Saadatian, O., Zaharim, A., & Sopian, K. (2012). Investigation of Medical Herbs Moisture in Solar Drying. In P. Drahomíra , S. Jiri , P. Marie (Eds.). *Advances in Environment, Biotechnology and Biomedicine* (pp. 127-131). Texas, USA: Wseas LLC

Riadh, M. H., Ahmad, S. A.B., Marhaban, M. H. & Soh, A. C. (2015). Infrared heating in food drying: An overview. *Drying Technology, 33*(3), 322–335. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.951124

Sharma, G. P., Verma, R. C., & Pathare, P. B. (2005). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering, 67*(3), 361-366. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.002

Somboon, N. (2015). *Improving work to reduce waste in the production process of rubber door seals* (Master's thesis). Nakhon Ratchasima Rajabhat University. Nakhon Ratchasima. (in Thai)

Sopajarn, A., Niseng, S., Toyarn, T., & Ritplin, T. (2022). Investigation of piper betle herbal tea drying. *RMUTSV Research Journal, 12*(1), 171-179. (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute (TISI). (2019b). *Community Standards for instant stevia powder 1521.* Bangkok: Thai Industrial Standards Institute (TISI). (in Thai)

การศึกษาผลของการสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม ต่ออารมณ์ความรู้สึก การทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ

The Effects of Essential oil from Roots of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Inhalation on Emotional States Autonomic Nervous System

แสงสิทธิ์ กฤษฎี[1]* สิริภารัศมิ์ อัศวปัญญาพร[1] และสลิลทิพย์ กุลศิลารักษ์[1]*

Saengsit Kritsadee[1], Siriparas Assavapanyaporn[1] and Salinthip Kunsilarak[1]*

[1]สาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วิทยาเขตสมุทรสงคราม

[1]Department of Applied Thai Traditional Medicine, College of Allied Health Sciences, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkaew, Muang, Samut Kongkhram

*Corresponding author: salinthip.ku@ssru.ac.th

Received: March 1, 2023

Revised: April 15, 2023

Accepted: April 21, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง กลุ่มเดียวกันผลก่อนและหลังการทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม ต่ออารมณ์ความรู้สึก การทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ ได้แก่ ความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการหายใจ โดยให้อาสาสมัครสุขภาพดี จำนวน 32 คน อายุ 18-35 ปี ทำการสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม และทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทอัตโนมัติ ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยหลังการได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม ของความดันโลหิตตัวบน 114.50±07.13 mmHg ความดันโลหิตตัวล่าง 77.62±8.73 mmHg อัตราการเต้นของหัวใจ 77.38±5.80 ครั้ง/นาที อัตราการหายใจ 17.44±1.01 ครั้ง/นาที เมื่อเทียบกับขณะพักและก่อนสูดดมกลิ่น ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) และค่าเฉลี่ยอารมณ์ความรู้สึก ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม พบว่า มีความรู้สึกดี รู้สึกสดชื่น รู้สึกผ่อนคลาย รู้สึกเคลิบเคลิ้ม เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากการทดลองสรุปได้ว่าการสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม ทำให้การเปลี่ยนแปลงทางระบบประสาทอัตโนมัติลดลง และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางอารมณ์ความรู้สึก ซึ่งการศึกษานี้สามารถนำไปต่อยอดในการใช้เพื่อร่วมเพื่อการรักษาทางเวชกรรมไทยและหัตถเวชกรรรมไทยได้

คำสำคัญ: น้ำมันหอมระเหย แฝกหอม ระบบประสาทอัตโนมัติ การแพทย์แผนไทย

Abstract

This research is quasi-experimental, with the same group before and after the experiment. The objective of this study was to study the effects of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash essential oil, inhalation of emotional states, and the autonomic nervous system, including blood pressure, heart rate, and respiratory rate, by having 32 healthy volunteers aged 18–35 years old smell almond oil, inhale *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash essential oil, and record the results of the changes in the autonomic nervous system. The results showed the mean value after exposure to the smell of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash essential oil. The study showed that systolic blood pressure was 114.50±07.13 mmHg, diastolic blood pressure was 77.62±8.73 mmHg, heart rate was 77.38±5.80 beats/min, and respiratory rate was 17.44±1.01 breaths/min, compared with rest and while inhaling the sweet almond oil scent. It was statistically significantly reduced ($p<.05$). The mean emotional states after inhaling the *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash essential oil were feeling good, fresh, relaxed, and romantic, which increased statistically at a P-value of .05. The *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash essential oil causes the autonomic neurological changes to be reduced. The study of the effect of inhalation on the flavor of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Essential Oil is the first time to study the form of flavoring or the use of a mixture of different essential oils in the same recipe.

Keywords: essential oil, autonomic nervous system, Thai traditional medicine

บทนำ

แฝกหอม เป็นพืชพระราชทานที่ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้ทรงศึกษาศักยภาพของหญ้าแฝก ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษในการช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดิน และอนุรักษ์ความชุ่มชื้นใต้ดิน จึงได้พระราชทานพระราชดำริให้ดำเนินการศึกษาทดลองหญ้าแฝกในการป้องกันการเสื่อมโทรมและพังทลายของดิน หญ้าแฝกจึงได้กลายมาเป็นกำแพงธรรมชาติในการอนุรักษ์และคืนธรรมชาติสู่ผืนดิน มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash ชื่อภาษาอังกฤษว่า Vetiver grass Khuskhus, Cuscus Sevendara grass มีชื่อเรียกอื่น ๆ เช่น หญ้าแฝกหอม (นครราชสีมา ภาคกลาง) แกงหอม แคมหอม (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) เป็นต้น เป็นพืชที่มีการกระจายพันธุ์อย่างกว้างขวาง สันนิษฐานว่ามีต้นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย คนไทยคุ้นเคยกับหญ้าแฝกมานานแล้ว สมัยก่อนนิยมนำใบหญ้าแฝกมาใช้มุงหลังคาบ้าน ต้นหญ้าแฝกขึ้นเป็นกอแน่นมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โคนกอเบียดแน่นไม่มีไหล ส่วนโคนของลำต้นจะแบน โดยเกิดจากส่วนของโคนใบที่แบนเรียงซ้อนกัน มีรากเหง้าเป็นฝอยอยู่ใต้ดินและมีกลิ่นหอมใบแทงออกมาจากเหง้าที่อยู่ใต้ดิน

คนไทยสมัยโบราณนิยมนำรากมากลั่นเป็นน้ำมันหอมระเหย มีคุณสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา ฆ่าเชื้อโรค ผ่อนคลายความเครียด รวมทั้งมาทำเป็นเครื่องหอมอบเสื้อผ้า ไล่แมลงและกลิ่นอับในตู้เสื้อผ้า รสยาทางการแพทย์แผนไทย “รสหอมเย็น” เป็นส่วนประกอบหลักในการปรุงน้ำปรุง ซึ่งตำรับวังสวนสุนันทามีการปรุงน้ำปรุงมากมายหลากหลายสูตรตามพรรณไม้ที่ปลูกในเขตวังสวนสุนันทาและพันธุ์นำเข้าจากต่างประเทศอีกด้วย (Promdao, 2015)

นอกจากนี้ หญ้าแฝกยังมีสรรพคุณทางยา ช่วยละลายนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ ลดการกระหายน้ำ ลดไข้ ขับเหงื่อ ขับปัสสาวะ บำรุงหัวใจ บำรุงธาตุ การศึกษาทางเภสัชวิทยา พบว่า สารสำคัญในหญ้าแฝกมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา

ไล่แมลง ต้านมาลาเรีย โดยมีการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิยาของแฝกหอม ได้แก่ ฤทธิ์ลดอาการปวด และต้านการอักเสบ (Lima et al., 2012) การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากรากแฝกหอม ด้วยวิธี Free Radical Scavenging--DPPH และ Lipid Peroxidation Inhibition--TBARs (Veerapan & Khunkitti, 2011) และฤทธิ์ต้านอาการชัก (Gupta et al., 2013) นอกจากนั้นมีการทดสอบพิษเฉียบพลันของสารสกัดรากด้วยเอทานอลร้อยละ 50 โดยให้หนูกินในขนาด 10 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (คิดเป็น 7,143 เท่า เปรียบเทียบกับขนาดรักษาในคน) และให้โดยการฉีดเข้าใต้ผิวหนังหนู ในขนาด 10 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ตรวจไม่พบอาการเป็นพิษ (Department of Medical Sciences Ministry of Public Health, 2003)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีนโยบายการ ณ ศูนย์การเรียนรู้และพัฒนาผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก ตำบลก๊อหลวง อำเภอภูซาง จังหวัดพะเยา ซึ่งเป็นศูนย์ที่เผยแพร่ความรู้และพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ของศูนย์จะได้มาจากการใช้ใบของแฝกหอมนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ทางหัตถกรรม คณะผู้วิจัยจากสาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์จึงเล็งเห็นความสำคัญของศาสตร์การแพทย์แผนไทยที่ใช้รากแฝกหอมเป็นยาในการบำบัดรักษาโรคหรืออาการต่าง ๆ จึงมีความประสงค์ที่จะทำการวิจัยโดยการศึกษาผลของการสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม ต่ออารมณ์ความรู้สึก การทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ เพื่อต่อยอดการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสร้างอาชีพให้กับชุมชนในท้องถิ่น และพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากของประเทศให้มั่นคงและยั่งยืน

วัตถุประสงค์วิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม ต่อการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ
2. เพื่อศึกษาผลของการสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม ต่ออารมณ์ความรู้สึก

สมมุติฐานการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะมีผลต่ออารมณ์ความรู้สึกที่ผ่อนคลายโดยมีความรู้สึกอารมณ์ทางบวก การผ่อนคลายมากขึ้น ในทางกลับกันอารมณ์ทางลบและอารมณ์ที่ทำให้เกิดการกระตุ้นลดลง

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi-experimental research) มีรูปแบบการการศึกษาจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะควบคุมและระยะศึกษา ผู้เข้าร่วมการทดลอง จำนวน 32 คน ทำการทดลอง ดังนี้

ให้การสูดดมกลิ่นน้ำหอมระเหยแฝกหอม ต.ก๊อหลวง อ.ภูซาง จ.พะเยา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาและบุคลากร ของวิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จำนวน 781 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ อาสาสมัครอายุ 18-35 ปี ที่เลือกโดยวิธีเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 32 คน โดยกำหนดคุณสมบัติกลุ่มตัวอย่างดังต่อไปนี้

เกณฑ์การคัดเข้า

1. อาสาสมัครเข้าร่วงโครงการด้วยความสมัครใจและลงนามในเอกสารยินยอมโดยได้รับการบอกกล่าวอย่างเต็มใจ

2. เป็นผู้มีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัว ไม่มีโรคแทรกซ้อนเฉพาะโรคที่เกี่ยวกับทางเดินหายใจส่วนบน

3. มีความดันโลหิตอยู่ในระดับปกติ อาสาสมัครจะต้องมีค่าความดันโลหิตตัวบนน้อยกว่า 140 มิลลิเมตรปรอท และค่าความดันโลหิตตัวล่าง น้อยกว่า 90 มิลลิเมตรปรอท อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าระหว่าง 60-100 ครั้ง/นาที และอัตราการหายใจมีค่าระหว่าง 16-20 ครั้ง/นาที (Kamjorn, 1999)

4. ถนัดมือขวา จากการใช้แบบทดสอบ “Edinburgh Handedness Inventory Test”

5. ไม่มีปัญหาสุขภาพ เมื่อประเมินจากแบบสอบถามข้อมูลสุขภาพ

6. ไม่สูบบุหรี่หรือเลิกบุหรี่ไม่ต่ำกว่า 1 ปี เพราะการสูบบุหรี่มีผลต่อการรับกลิ่น

7. อาสาสมัครต้องไม่มีประวัติการแพ้น้ำหอม หรือน้ำมันหอมระเหย

8. อาสาสมัครต้องไม่มีประวัติแพ้ยาหรือผลิตภัณฑ์พลาสติก

9. หากผู้เข้าร่วมเป็นเพศหญิง ต้องไม่อยู่ในช่วงของการมีประจำเดือนในวันที่เข้าร่วมการวิจัย เนื่องจากผู้มีประจำเดือนมีการรับกลิ่นลดลง

เกณฑ์การคัดออก

1. กลุ่มตัวอย่างขอถอนตัวออกจากการวิจัย

2. วันที่ทำการทดลอง อาสาสมัครพักผ่อนไม่เพียงพอ รู้สึกง่วงนอน และอ่อนเพลียในช่วงก่อนเริ่มการวิจัย

3. รับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีสารคาเฟอีน เช่น ชา กาแฟ เครื่องดื่มชูกำลัง ฯลฯ และแอลกอฮอล์ ในวันที่เข้าร่วมวิจัย เนื่องจากอาหารและเครื่องดื่มที่มีสารคาเฟอีน ทรีโอฟิลลิน มีผลต่อระบบประสาทอัตโนมัติ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดสัญญาณชีพรุ่น Multi-Parameter Patient Monitor รุ่น M700

2. ถังแก๊สออกซิเจน

3. หน้ากากออกซิเจนขนาดผู้ใหญ่

4. คอมพิวเตอร์

5. เก้าอี้ มีพนักพิง

แบบประเมินที่ใช้ในการศึกษา

1. แบบสอบถามข้อมูลสุขภาพ

2. แบบบันทึกสัญญาณชีพ

ขั้นตอนการศึกษา

ผู้วิจัยได้แนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขั้นตอนการศึกษาระยะเวลาของการศึกษา อธิบายโดยใช้เอกสารชี้แจงแนะนำข้อมูลและให้กลุ่มตัวอย่างแสดงความยินยอม

ขั้นตอนการทำการทดลอง

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยต้นเองโดยใช้แบบบันทึกข้อมูลตามขั้นตอน ดังนี้

การวัดสัญญาณชีพและอารมณ์ความรู้สึก (Sayorwan, 2013)

1. ก่อนการทดลองมีการเตรียมห้องโดยการเตรียมห้องที่อุณหภูมิ 24-26 องศาเซลเซียส ความคุมความชื้นในห้อง ร้อยละ 40-60 ให้อาสาสมัครนั่งพิงเก้าอี้และอยู่ในท่าที่สบาย 10 นาที

2. บันทึกอารมณ์ความรู้สึกของกลุ่มตัวอย่างก่อนการรับกลิ่น 10 นาที และติดอุปกรณ์ในการวัดผลสัญญาณชีพ ได้แก่ ความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการหายใจ ก่อนการรับกลิ่น โดยใช้แบบสอบถามของผู้วิจัย

3. วัดผลสัญญาณชีพขณะพัก คือ วัดความดันโลหิตทุก 5 นาที เป็นระยะเวลา 10 นาที, วัดอัตราการเต้นของหัวใจทุก 1 นาที เป็นระยะเวลา 10 นาที วัดอัตราการหายใจทุก 1 นาที เป็นระยะเวลา 10 นาที

4. ให้กลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอมประมาณ 10 นาที ผ่านถังออกซิเจนแรงดัน 2 ลิตร/นาที วัดผลสัญญาณชีพ คือ วัดความดันโลหิตทุก 5 นาที เป็นระยะเวลา 10 นาที วัดอัตราการเต้นของหัวใจทุก 1 นาที เป็นระยะเวลา 10 นาที วัดอัตราการหายใจทุก 1 นาที เป็นระยะเวลา 10 นาที และบันทึกอารมณ์ความรู้สึก ประเมินความพึงพอใจ

5. นำข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมาตรวจสอบความถูกต้อง ก่อนนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง และข้อมูลที่ได้ โดยใช้สถิติการแจงความถี่ โดยใช้ค่าสถิติแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงทางระบบประสาทอัตโนมัติของกลุ่มตัวอย่างก่อนและหลังดมกลิ่น น้ำมันหอมระเหยแฝกหอม โดยใช้สถิติ Paired t-test

จริยธรรมวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ COA.1-066/2021 หลังจากนั้นผู้วิจัยเข้าพบกลุ่มตัวอย่าง แนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยและให้ตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยโดยอิสระ ทั้งนี้สามารถถอนตัวหรือยกเลิกการให้ข้อมูลได้ตลอดเวลา ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะเก็บเป็นความลับ และนำเสนอในภาพรวมเท่านั้น

ผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบค่าสัญญาณชีพของอาสาสมัครก่อนสูดดมกลิ่นและขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม และผลการเปรียบเทียบค่าอารมณ์ความรู้สึกของอาสาสมัคร ก่อนสูดดมกลิ่นและขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม

พบว่า กลุ่มตัวอย่างเพศชาย 16 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 เพศหญิง 16 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 กลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง 18-35 ปี คิดเป็นร้อยละ 100 ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 100 ไม่มีอาการผิดปกติอื่น ร้อยละ 100 (ตาราง 1)

การเปรียบค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตตัวบนก่อนให้กลิ่นในระยะพัก ก่อนสูดดมกลิ่น และหลังการได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า ค่าความดันโลหิตตัวบนขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 118.36±11.89 ค่าความดันโลหิตตัวบนก่อนสูดดมกลิ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 118.18±12.38 และค่าความดันโลหิตตัวบนหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 114.5±07.13 (ตาราง 2)

เปรียบค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตตัวล่างก่อนให้กลิ่นในระยะพัก ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังการได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า ค่าความดันโลหิตตัวล่างขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.38±8.72 ค่าความดันโลหิตตัวล่างก่อนสูดดมกลิ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.63±7.96 และค่าความดันโลหิตตัวล่างหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.62±8.73 (ตาราง 3)

เปรียบค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจก่อนให้กลิ่นในระยะพัก ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังการได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.53±6.28 ค่าอัตราการเต้นของหัวใจก่อนสูดดมกลิ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.39±6.46 และค่าอัตราการเต้นของหัวใจหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.38±5.80 (ตาราง 4)

เปรียบค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจก่อนให้กลิ่นในระยะพัก ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังการได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราการหายใจขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.45±1.92 ค่าอัตราการหายใจก่อนสูดดมกลิ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.51±1.90 และค่าอัตราการหายใจหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.44±1.01 (ตาราง 5)

อาสาสมัครมีความรู้สึกดี รู้สึกสดชื่น รู้สึกผ่อนคลาย รู้สึกเคลิบเคลิ้มรัญจวนใจ เพิ่มมากขึ้น ส่วนความรู้สึกไม่ดี รู้สึกกระปรี้กระเปร่า รู้สึกเฉื่อยชาง่วงซึม รู้สึกเครียด รู้สึกอึดอัด รู้สึกหงุดหงิด รู้สึกจิตใจสงบนิ่ง รู้สึกรังเกียจ ขยะแขยงลดลง (ตาราง 6)

ตาราง 1

จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามข้อมูลทั่วไป (n=32)

ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	16	50.00
หญิง	16	50.00
รวม	**32**	**100**
อายุ		
18-40	32	100
รวม	**32**	**100**
โรคประจำตัว		
มี	0	0
ไม่มี	32	100
รวม	**32**	**100**
อาการผิดปกติอย่างอื่น		
มี	0	
ไม่มี	32	100
รวม	**32**	**100**

ตาราง 2

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความดันโลหิตตัวบนของอาสาสมัคร ก่อนสูดดมกลิ่น กับขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม

สภาวะ	ค่าความดันโลหิตตัวบน		P-value
	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
ขณะพัก	118.36	11.89	
ก่อนสูดดมกลิ่น	118.18	12.38	.576
ขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม	114.50	07.13	.017

ตาราง 3

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความดันโลหิตตัวล่างของอาสาสมัคร ก่อนสูดดมกลิ่น กับขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม

สภาวะ	ค่าความดันโลหิตตัวบน		P-value
	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
ขณะพัก	76.38	8.72	
ก่อนสูดดมกลิ่น	75.63	7.96	.170
ขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม	77.62	8.73	.040

ตาราง 4

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจของอาสาสมัคร ก่อนสูดดมกลิ่น กับขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม

สภาวะ	ค่าความดันโลหิตตัวบน		P-value
	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
ขณะพัก	80.53	6.28	
ก่อนสูดดมกลิ่น	80.39	6.46	.465
ขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม	77.38	5.80	.000

ตาราง 5

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจของอาสาสมัคร ก่อนสูดดมกลิ่น กับขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม

สภาวะ	ค่าความดันโลหิตตัวบน		P-value
	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
ขณะพัก	18.45	1.92	
ก่อนสูดดมกลิ่น	18.51	1.90	.818
ขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม	17.44	1.01	.007

ตาราง 6

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอารมณ์ความรู้สึกของอาสาสมัครก่อนสูดดมกลิ่น กับขณะสูดดมกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม

อารมณ์ความรู้สึก	ก่อนสูดดม		สูดดมแฝกหอม		P-value
	ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
รู้สึกดี	36.40	17.65	68.80	15.12	.000
รู้สึกไม่ดี	35.65	21.00	3.45	1.96	.000
รู้สึกกระปรี้กระเปร่า	22.65	12.68	22.30	10.07	.568
รู้สึกเฉื่อยชาง่วงซึม	30.10	19.30	12.40	10.08	.000
รู้สึกสดชื่น	23.10	14.17	30.95	17.20	.000
รู้สึกผ่อนคลาย	31.55	13.61	38.55	15.68	.000
รู้สึกเครียด	17.85	17.92	1.20	0.83	.000
รู้สึกอึดอัด	15.90	15.75	7.05	5.34	.001
รู้สึกเคลิบเคลิ้มรัญจวนใจ	15.55	14.22	20.15	4.92	.040
รู้สึกหงุดหงิด	20.55	18.73	4.30	3.57	.000
รู้สึกจิตใจสงบนิ่ง	25.15	18.42	16.20	5.20	.007
รู้สึกรังเกียจขยะแขยง	12.05	8.79	1.10	0.79	.000

จากตาราง ผลการศึกษาได้ข้อมูลพบว่าข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเพศชาย 16 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 เพศหญิง 16 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 กลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง 18-35 ปี คิดเป็นร้อยละ 100 ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 100 ไม่มีอาการผิดปกติอื่น ร้อยละ 100

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการหายใจ ก่อนให้กลิ่นในระยะพัก ก่อนสูดดมกลิ่น และหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม

ความดันโลหิตตัวบน ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า ความดันโลหิตตัวบนขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 118.36±11.89 ความดันโลหิตตัวบนก่อนสูดดมกลิ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 118.18±12.38 และความดันโลหิตตัวบนหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 114.5±07.13 เมื่อเปรียบเทียบความดันโลหิตตัวบนระหว่างก่อนสูดดมกลิ่น กับหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ความดันโลหิตตัวล่าง ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า ความดันโลหิตตัวล่างขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.38±8.72 ความดันโลหิตตัวล่างก่อนสูดดมกลิ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.63±7.96 และความดันโลหิตตัวล่างหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.62±8.73 เมื่อเปรียบเทียบความดันโลหิตตัวล่างระหว่างก่อนสูดดมกลิ่น กับหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อัตราการเต้นของหัวใจ ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.53±6.28 อัตราการเต้นของหัวใจก่อนสูดดมกลิ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.39±6.46 และอัตราการเต้นของหัวใจหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.38±5.80 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างก่อนสูดดมกลิ่น กับหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อัตราการหายใจ ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า อัตราการหายใจขณะพักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.45±1.92 อัตราการหายใจก่อนสูดดมกลิ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.51±1.90 และ

อัตราการหายใจหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.44±1.01 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการหายใจระหว่างก่อนสูดดมกลิ่น กับหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อารมณ์ความรู้สึก ก่อนสูดดมกลิ่นและหลังได้รับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยอารมณ์ความรู้สึกของอาสาสมัคร พบว่า อาสาสมัครมีความรู้สึกดี รู้สึกสดชื่น รู้สึกผ่อนคลาย รู้สึกเคลิบเคลิ้มรัญจวนใจ เพิ่มมากขึ้น ส่วนความรู้สึกไม่ดี รู้สึกกระปรี้กระเปร่า รู้สึกเฉื่อยชาง่วงซึม รู้สึกเครียด รู้สึกอึดอัด รู้สึกหงุดหงิด รู้สึกจิตใจสงบนิ่ง รู้สึกรังเกียจขยะแขยงลดลง เมื่อเทียบกับก่อนสูดดมกลิ่นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การอภิปรายผล

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าน้ำมันหอมระเหยแฝกหอม มีผลต่อการทำงานความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการหายใจ ลดลง เมื่อเทียบกับการวัดในขณะพัก และเทียบกับก่อนสูดดมกลิ่น โดยสอดคล้องการทฤษฎีการแพทย์แผนไทย (Thai traditional medicine textbook, 2007) ในเรื่องของรสยา รสหอมเย็น ซึ่งในทฤษฎีการแพทย์แพทย์ได้กล่าวถึง รสยาตามฤดู โดยฤดูร้อนหรือคิมหันตฤดู ควรใช้ยารสเย็นหรือจืด ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สมุนไพรที่มีนสหอมเย็นตามคัมภีร์สรรพคุณยา เพื่อให้ได้สรรพคุณที่ถูกต้องและเหมาะสมในการนำมาปรุงเป็นน้ำปรุง (Kritsadee, 2018) ให้ได้กลิ่นและสรรพคุณยาในคัมภีร์การแพทย์แผนไทย (Kritsadee, 2022) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สมุนไพรที่มีรสยาหรือสรรพคุณยา รสหอมเย็น มีส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ สอดคล้องกับผลการวิจัยของวินัย สยอวรรณที่ศึกษาผลของน้ำมันส้มมือต่อระบบประสาทอัตโนมัติและอารมณ์ความรู้สึก (Sayorwan, 2011) น้ำปรุงตำรับวังสวนสุนันทามีผลต่อการทำงานความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการหายใจ ลดลง

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้สนับสนุนว่า น้ำมันหอมระเหยแฝกหอมมีรสยาตามหลักการแพทย์แผนไทย คือ รสเย็น ส่งผลให้ความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการหายใจ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อนสูดดมกลิ่น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ในการทำการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยเห็นว่า ควรเพิ่มขนาดตัวอย่างและมีการควบคุมตัวแปรต่างที่อาจส่งผลต่อระบบประสาทอัตโนมัติด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ และสาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

References

Department of Medical Sciences Ministry of Public Health. (2003). *Process toxicology research of herbal research institute*. Bangkok: Department of Medical Sciences Ministry of Public Health. (in Thai)

Gupta, R., Sharma, K. K., Afzal, M., Damanhouri, Z. A., Ali, B., Kaur, R., Kazmi, I., & Anwar, F. (2013). Anticonvulsant activity of ethanol extracts of Vetiveria zizanioides roots in experimental mice. *Pharmaceutical Biology, 51*(12), 1521–1524. https://doi.org/10.3109/13880209.2013.799710

Kamjorn, K. (1999). *Basics in nursing: vital signs*. Bangkok: Education Division, College of Royal Thai Army Nursing. (in Thai)

Kritsadee, S. (2022). Effects of Nam Prung Product in Suan Sunandha Palace (Vassana Scented Water) Inhalation on Autonomic Nervous System. *Thai Pharmaceutical and Health Science Journal, 17*(3), 273-277. (in Thai)

Kritsadee, S. (2018). Suan Sunandha Royal Thai Perfume. *4th International Conference on Research Challenges to Multidisciplinary Innovation RCMI 2018* (pp. 62-64). Bangkok: Sunandha Rajabhat University. (in Thai)

Lima, G. M., Quintans-Júnior, L. J., Thomazzi, S. M., EMSA, A., Melo, M. S., Serafini, M., ..., José Claúdio F., Moreira, J., & Araújo, A. A. S. (2012). Phytochemical screening, antinociceptive and anti-inflammatory activities of Chrysopogon zizanioides essential oil. *Brazilian Journal of Pharmacognosy, 22*(2), 443-450. https://doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000002

Promdao, W., (2015). Suan Sunandha Palace Style Aromatherapy. *The 7th Academic Meeting National and International Conference* (pp. 391-400). Bangkok: Sunandha Rajabhat University. http://journalgrad.ssru.ac.th/index.php/5-01/article/view/310. (in Thai)

Sayorwan, V. (2011). *Effects if some volatile oils in Thailand on physiology and moods* (Doctoral dissertation). Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)

Sayorwan, V. (2013). *Effects of volatile of Buddha's fingers on autonomic nervous system and moods.* Nonthaburi: Kanchanabhisek Institute of Medical and Public Health Technology. (in Thai)

Thai traditional medicine textbook. (2007). *Phaetsart Songkroh, Conservation issue 1.* Bangkok: Foundation of Thai Traditional medicine. (in Thai)

Veerapan, P., & Khunkitti, W. (2011). In Vitro antioxidant activities of essential oils. *Isan Journal of Pharmaceutical Sciences, 7*(3), 30-38. (in Thai)

ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการดำเนินโครงการ implement ข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง โดยการใช้ตัวแบบเอนโทรปี (Based on Shannon's Entropy)

Factors Affected Successful Implementation of Unstructured Data by Entropy Model (Based on Shannon's Entropy)

ฉสุภ ตั้งเลิศลอย[1] และวรภัทร ไพรีเกรง[1]
Chasupa Tung-lersloy[1] and Worapat Paireekreng1
[1]วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
[1]College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University
Received: March 1, 2023
Revised: April 16, 2023
Accepted: April 21, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งปรับปรุงกรอบการทำงาน (framework) สำหรับดิจิทัลทรานส์ฟอร์เมชัน (digital transformation) เพื่อประเมินและจัดการโครงการเกี่ยวกับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง (unstructured data) โดยใช้ตัวแบบเอนโทรปี (Entropy) ค้นหาความแน่นอนเพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ (key success factor) เนื่องจากดิจิทัลทรานส์ฟอร์เมชันเป็นกระบวนการสำคัญในยุคปัจจุบัน และข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างนั้นยากต่อการวิเคราะห์ ผลสัมฤทธิ์จากกระบวนการในงานวิจัยครั้งนี้ คือ การปรับปรุง ดัดแปลง และประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ยืดหยุ่นในการประเมินความพร้อมก่อนเริ่มโครงการเกี่ยวกับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง ทำให้องค์กรมีแนวทางในการบริหารโครงการดิจิทัลทรานส์ฟอร์เมชันที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และนำเสนอแบบจำลองใหม่ที่ปรับปรุงด้วยตัวแบบเอนโทรปีเพื่อเพิ่มปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ การทดสอบพบว่าสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความพร้อมในการสนับสนุนองค์กรในการสร้างความสำเร็จในยุคดิจิทัล

คำสำคัญ: ข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง การบริหารโครงการข้อมูลไม่มีโครงสร้าง ตัวแบบ Entropy

Abstract

This study aims to refine the modeling approach for digital transformation projects, specifically addressing the assessment and management of unstructured data. By employing the entropy model, the research seeks to identify crucial success factors associated with such projects. Digital transformation constitutes a vital process in the contemporary era, and the analysis of unstructured data presents considerable challenges. The research methodology encompasses the enhancement and adaptation of flexible models to assess project readiness concerning unstructured data. This approach facilitates the formulation of effective strategies for managing digital transformation projects within organizations. Furthermore, the study introduces a novel model, improved by incorporating the entropy model, which offers both practical benefits and a readiness framework for organizations striving for success in the digital era.

Keywords: unstructured data, unstructured data project, unstructured data entropy factor

บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่องค์กรมุ่งหวังการนำข้อมูลมาเป็นแนวทางในการดำเนินงาน (data-driven organization) จึงเกิดโครงการที่ดิจิทัลทรานส์ฟอร์เมชันขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องคำนึงถึงประเด็นความซับซ้อนในการประเมินผลความสำเร็จหรือความล้มเหลวของโครงการ ซึ่งสิ่งที่สำคัญแต่ถูกนำมาวิเคราะห์ไม่มากนัก คือ ความแตกต่างของประเภทข้อมูลต้นทางที่ใช้ในการพัฒนาโครงการ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลที่มีโครงสร้าง (structure data) หรือข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง (unstructured data) ซึ่งส่งผลสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการพอ ๆ กับความรู้พื้นฐานของทีมงานในการประเมินศักยภาพและความสำเร็จของโครงการ

จากผลการศึกษาพบว่า ในปัจจุบันข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างคิดเป็น 80% ของข้อมูลทั้งหมด และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นในอนาคต (Wieringa, 2016) ซึ่งข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างนี้จำเป็นต้องปรับปรุงให้สามารถประมวลผลได้ โดยต้องใช้ความรู้จากนักพัฒนาและผู้เชี่ยวชาญเป็นอย่างมาก และเพื่อทำให้โครงการสามารถดำเนินการได้อย่างยั่งยืน ต้องมีเครื่องมือเพื่อนำความรู้ของผู้เชี่ยวชาญปรับเข้ามาเป็นความรู้ที่อยู่ในโครงการ (Geronazzo, 2021) อย่างไรก็ตามการจัดการข้อมูลแบบไม่มีโครงสร้างมักมีความซับซ้อนและยากต่อการควบคุม ทำให้โครงการมีความเสี่ยงสูงในการล้มเหลว (Bissacco, Netzer & Neven, 2013)

งานวิจัยนี้จึงตั้งใจที่จะสำรวจและเสนอกรอบการทำงานเพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ ในการพัฒนาโครงการที่มีข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง และประเมินอิทธิพลของความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้หรือค่าเอนโทรปีต่อความล้มเหลวของโครงการ โดยคาดว่าจะช่วยเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในปัจจัยสำคัญและความไม่แน่นอนที่มีและเพื่อตอบคำถามหลักของวิจัยนี้ ผลลัพธ์ที่คาดหวัง คือ การสร้างกรอบการทำงานที่จะช่วยในการระบุปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของโครงการที่ใช้ข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างเป็นสำคัญ และการค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้หรือค่าเอนโทรปีช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินโครงการมีความรู้ความเข้าใจที่สำคัญเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของโครงการ และความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในโครงการที่มีข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนปรับปรุง และประเมินโครงการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีอัตราความสำเร็จของโครงการมากขึ้น หรือทราบได้ก่อน

เริ่มโครงการว่า โครงการมีแนวโน้มจะสำเร็จหรือไม่ และมีความเสี่ยงที่ปัจจัยอะไร

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยชุดนี้มุ่งหมายในการนำเครื่องมือที่ใช้ประเมินความสำเร็จของโครงการที่ดำเนินงานกับโครงการข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นแต่สามารถวัดผลเชิงสถิติได้ มาเพื่อต่อยอดพัฒนาหาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จและอิทธิพลของสิ่งที่ไม่อาจจะคาดเดาได้ผ่านตัวแบบเอนโทรปี ที่มีความเกี่ยวข้องต่อสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นได้กับโครงการ และสร้างเครื่องมือใหม่ในรูปแบบกรอบการทำงาน เพื่อใช้ประเมินสิ่งต่าง ๆ ก่อนเริ่มพัฒนาโครงการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างโดยสามารถระบุได้ว่าปัจจัยอะไรที่สำคัญและมีผลต่อความสำเร็จของโครงการ

ทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิดการวิจัย

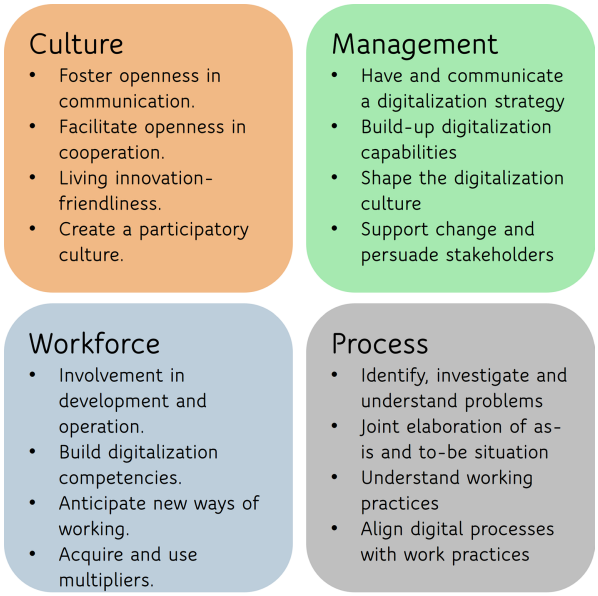
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่างานวิจัยชุดนี้มีเป้าหมายในการนำเสนอเครื่องมือที่มีความยืดหยุ่นสำหรับการประเมินความสำเร็จของโครงการที่มีข้อมูลไม่มีโครงสร้าง ซึ่งสามารถวัดผลเชิงสถิติ ด้วยการพัฒนาต่อยอดเพื่อค้นหาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ และความสัมพันธ์ของความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถคาดคะเนได้หรือค่าเอนโทรปี กับสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นในโครงการ หรืออาจแบ่งได้เป็นด้านต่าง ๆ ดังนี้:

- ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ (key success factor)
- กรอบการพัฒนาที่ใช้สำหรับการจัดการข้อมูลไม่มีโครงสร้าง (unstructured data framework)
- ทฤษฎีของความสับสนทางข้อมูล (shannon entropy) จากทฤษฎีความรู้ (information theory) ข้อมูลเชิงรายละเอียดของแต่ละด้านสามารถสรุปได้ ดังนี้:

1) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ (key success factor)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ หมายถึง ปัจจัยที่สำคัญสำหรับความสำเร็จของโครงการ โดยปัจจัยเหล่านี้อาจมีความแตกต่างขึ้นอยู่กับประเภทและบริบทของโครงการ ในงานวิจัยที่มีชื่อว่า “Key Success Factors for the Implementation of Digital Technologies in the Context of Industry 4.0” (Stocker, Rosenberger, Schmeja & Schneider, 2021) ซึ่งเน้นถึงบริบทของอุตสาหกรรม 4.0 ที่มีเน้นในการลดเอกสาร และใช้ข้อมูลเป็นแนวทางในการขับเคลื่อนกระบวนการ

งานวิจัยนี้ได้สรุปและเสนอชุดข้อมูลที่เป็นข้อมูลอ้างอิงที่ดีว่าในโครงการที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม 4.0 นั้นมีปัจจัยสำคัญสำหรับความสำเร็จในด้านใดบ้าง พร้อมทั้งรายละเอียดย่อยเพื่อส่งเสริมความสามารถในการดำเนินโครงการอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถสรุปเป็นภาพได้ดังภาพ 1



ภาพ 1 ภาพการแบ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จเป็นกลุ่มต่าง ๆ

Note. From “*Key success factors for the implementation of digital technologies in the context of industry 4.0*” by A. Schneider, 2021, *RAIRO-Operations Research, 53*(4), 1357–1384 Copyright by EDP Sciences

2) กรอบการพัฒนาที่ใช้สำหรับการจัดการข้อมูลไม่มีโครงสร้าง (unstructured data framework)

ในการวิเคราะห์และศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกรอบการพัฒนาสำหรับข้อมูลไม่มีโครงสร้าง ทางผู้วิจัยได้ตรวจสอบและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 4 งานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย:

1. "Application of Text Mining Technology to Solve Project Management Problems" Goryachev (2022) เป็นงานวิจัยที่ตั้งคำถามเกี่ยวกับการสร้างกรอบการทำงานเพื่อจัดการข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างในรูปแบบข้อความ โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงปัญหาการจัดการโครงการ ผลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ คำแนะนำและวิธีการเพื่อวินิจฉัยและแก้ไขปัญหาในโครงการที่ใช้การพัฒนาข้อมูลไม่มีโครงสร้างเชิงข้อความ

2. "Analysis of Computer Information Processing Technology Based on Unstructured Data" Peng (2021) คือ งานวิจัยที่สำรวจเกี่ยวกับวิธีการประมวลผลข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างจากรูปแบบต่าง ๆ และวิธีการที่นำไปสู่ผลสำเร็จในโครงการ ผลการวิจัยนี้ประกอบด้วยการสร้างตารางข้อมูลที่เข้าใจง่ายและเปิดโอกาสให้ผู้ที่สนใจนำข้อมูลที่หลากหลายและไม่มีโครงสร้างมาใช้พัฒนาในโครงการต่าง ๆ ด้วยวิธีการที่ช่วยในการตรวจสอบความพร้อมของข้อมูล

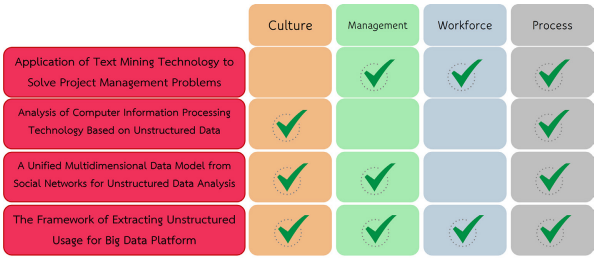
3. "A Unified Multidimensional Data Model from Social Networks for Unstructured Data Analysis" Dabbèchi, Haddar, Ben-Abdallah and Haddar (2017) เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นในการรวมข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างจากแหล่งต่าง ๆ บนเครือข่ายสังคมออนไลน์เพื่อประมวลผลข้อมูลร่วมกัน ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ คือ การสร้างกรอบที่ช่วยในการประมวลผลข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างที่มาจากแหล่งสื่อสังคมออนไลน์ โดยนำเสนอมิติต่าง ๆ ที่สามารถทำให้ผู้ที่ต้องการพัฒนาโครงการที่เกี่ยวข้องกันสามารถนำไปปรับปรุงและปฏิบัติตามอย่างมีประสิทธิภาพ

4. "The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform" Chasupa (2021) เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นในการแยกวิเคราะห์และเข้าใจข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างเพื่อนำไปใช้ในโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ให้สามารถบรรลุเป้าหมายและความสำเร็จได้ งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบการทำงานที่มีลำดับขั้นตอนชัดเจนเพื่อให้ผู้ที่สนใจพัฒนาโครงการที่มีข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างสามารถปฏิบัติตามและประยุกต์ใช้ได้ ซึ่งสามารถนำไปประเมินและทำนายความสำเร็จของโครงการ และในทางกลับกันยังช่วยในการค้นหาและปิดช่องโหว่ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของโครงการก่อนที่จะเริ่มดำเนินการ

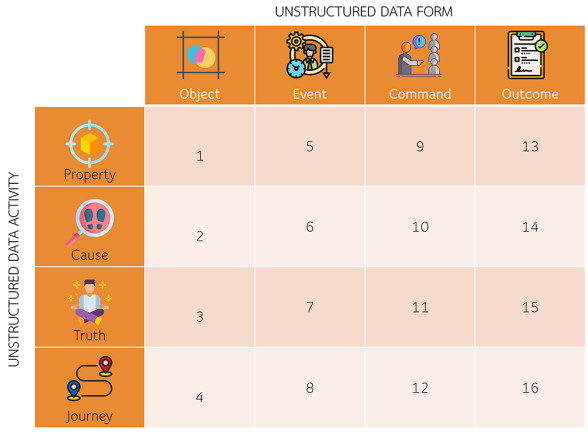
โดยเมื่อนำจุดมุ่งเน้นของกรอบการทำงานต่าง ๆ มาเปรียบเทียบในตาราง ตามมุมมองของปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ ตามงานวิจัย "Key Success Factors for the Implementation of Digital Technologies in the Context of Industry 4.0" (Stocker, Rosenberger, Schmeja & Schneider, 2021) ก็สามารถแสดงได้ออกมาดังภาพ 2

ซึ่งพบว่า ในงานวิจัย "The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform" มีความพร้อมครบสำหรับปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ นำเสนอกรอบความคิดเรื่องปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ ที่มุ่งเน้นการสกัดความรู้จากข้อมูลไม่มีโครงสร้างในกรอบการทำงานข้อมูลขนาดใหญ่ ภายในกรอบความคิดนี้ ทีมงานควรมีการประเมินความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลไม่มีโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยการประเมินความรู้ในเชิงลักษณะการเติมเต็มข้อมูลในแต่ละช่องข้อมูลว่าทีมงาน "มีความรู้" หรือ "ไม่มีความรู้" จากนั้น จะทำการแบ่งข้อมูลและแนวความคิดเกี่ยวกับความรู้ใน 16 ปัจจัยที่สำคัญ

แม้กรอบการทำงานนี้อาจมีความยืดหยุ่นในการปรับปรุงคำถาม แต่ยังคงความสำคัญหลักของกรอบการทำงาน ในบริบทของ "The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform" กรอบการทำงานนี้เปิดโอกาสในการพิจารณาปัจจัยที่สำคัญต่าง ๆ จาก 16 ประเด็นที่ต้องเตรียมตัว ดังแสดงในภาพ 3



ภาพ 2 เปรียบเทียบกรอบการพัฒนาที่นำมาใช้ในการศึกษา



ภาพ 3 กรอบการทำงานเพื่อประเมินความพร้อมโครงการ จาก The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform

ในปัจจัยหรือเมทริกซ์ที่นำเสนอในงานวิจัยแต่ละช่อง คือ แนวคิดหรือมิติที่ควรได้รับความสนใจและความรู้ก่อนเริ่มต้นโครงการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลไม่มีโครงสร้าง โดยภายในเมทริกซ์นี้สามารถสร้างคำถามหรือเสนอแนวคิดในรูปแบบที่หลากหลาย โดยยังคงความสำคัญของจุดประสงค์หลักในการวิเคราะห์และวางแผนโครงการ ดังนี้:

หมวดต้นฉบับ (object) ที่จะเข้ามาทำการประมวลผลข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง

1. ข้อมูลดิบมีคุณลักษณะอย่างไรบ้าง (property x object)

2. ทำไมต้องนำข้อมูลดิบมาทำการยกระดับทางดิจิทัล (cause x object)

3. รูปแบบสุดท้ายเมื่อข้อมูลที่พร้อมประมวลผลแล้ว จะเป็นอย่างไร (truth x object)

4. วิธีการที่ทำให้ข้อมูลดิบพร้อมประมวลผลมีอะไรบ้าง (journey x object)

หมวดเหตุการณ์ที่ (event) ที่จะเกิดขึ้นในโครงการ

5. กิจกรรมที่จะต้องทำในโครงการมีอะไรบ้าง (property x event)

6. ทำไมถึงมีกิจกรรมนั้น ๆ (cause x event)

7. สุดท้ายเมื่อกิจกรรมนั้น ๆ สมบูรณ์จะมีลักษณะอย่างไร (truth x event)

8. วิธีการทำให้กิจกรรมเหล่านั้นสมบูรณ์มีลำดับเส้นทางอย่างไร (journey x event)

หมวดคำสั่งหรือการประมวลผล (command) ที่ใช้

9. ข้อกำหนดและวิธีประมวลผลในโครงการมีอะไรบ้าง (property x command)

10. ทำไมถึงเลือกใช้วิธีประมวลผลด้วยคำสั่งนั้น ๆ (cause x command)

11. สุดท้ายเมื่อประมวลผลสมบูรณ์จะเป็นอย่างไร (truth x command)

12. ลำดับการประมวลผลคำสั่งเป็นอย่างไร (journey x command)

หมวดผลลัพธ์ (outcome) ที่จะได้จากโครงการ

13. ผลลัพธ์ที่จะได้จากโครงการมีลักษณะอย่างไร (property x outcome)

14. ผลลัพธ์ที่ได้มาใช้เพื่ออะไร (cause x outcome)

15. สุดท้ายผลลัพธ์ที่สมบูรณ์คืออะไร (truth x outcome)

16. ลำดับหรือข้อพิจารณาว่าผลลัพธ์สมบูรณ์แล้วมีอะไรบ้าง (journey x outcome)

ซึ่งหากได้ทำการสอบถามตามกรอบการทำงานแล้ว จะเป็นแนวทางของทีมงานได้อย่างดีว่ามีความรู้เพียงพอต่อการดำเนินงานหรือไม่ ขาดองค์ความรู้หรือยังไม่เคลียร์ในประเด็นอะไรบ้าง

3) ทฤษฎีของความสับสนทางข้อมูล (shannon entropy) จากทฤษฎีความรู้ (information theory)

ในกระบวนการด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ การจัดการโครงการ หรือดำเนินงานวิจัย ความไม่แน่นอน (uncertainty) เป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณาอย่างต่อเนื่อง และอาจถือว่าเป็นความเสี่ยงในการดำเนินการ ดังนั้นการคาดการณ์และประเมินความวุ่นวายที่อาจเกิดขึ้นกลายเป็นกระบวนการที่สำคัญ หนึ่งในเครื่องมือที่นิยมใช้ในการประเมินความวุ่นวาย คือ ทฤษฎี Shannon

Entropy ในวิชาทฤษฎีสารสนเทศ ซึ่งเสนอครั้งแรกในปี ค.ศ. 1947 ทฤษฎีนี้เปิดวิถีในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสาขาวิชาต่าง ๆ ซึ่งปกติทฤษฎีนี้ใช้ในการวัด "ความไม่มีระเบียบ" "ความไม่สม่ำเสมอ" "ความซับซ้อนของระบบ" และสิ่งที่ "เราไม่รู้ว่าเราไม่มีความรู้" โดยอาศัยสูตรที่นำเสนอในสมการ 1 (Wang & Yu, 2011) สูตรการคำนวณหาความไม่แน่นอนความวุ่นวายหรือเอนโทรปี

$$\mathrm{H}(X)=-\sum_{i=1}^{n} P(xi)\,logP(xi) \quad (1)$$

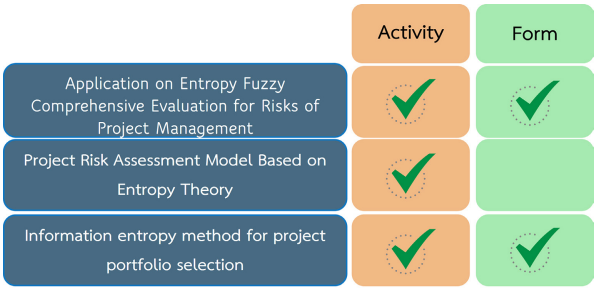
ในหลากหลายกรณีจะมีจุดร่วมและจุดต่างในการศึกษาวิจัย และหากจะแบ่งจุดที่มุ่งศึกษาของงานวิจัยต่าง ๆ อาจจะแบ่งการวัดความวุ่นวายหรือเอนโทรปี เพื่อประกอบความมั่นใจได้ 2 กลุ่มหลัก ๆ คือ วัดเอนโทรปีในแง่ของความพร้อมด้านกิจกรรม (activity) และในงานของความพร้อมด้านลักษณะ (form) เช่น

1. งานวิจัย "Application on Entropy Fuzzy Comprehensive Evaluation for Risks of Project Management" Xiao-rong (2010) เป็นการนำเอนโทรปีมาใช้ศึกษาด้านกิจกรรมการตัดสินใน 5 กิจกรม คือ (1) กิจกรรมด้านการบริหารต้นทุน (2) กิจกรรมด้านความเสี่ยงของโครงการ (3) กิจกรรมการประเมินเวลาและใช้เวลา (4) รูปลักษณะของคุณภาพสิ่งที่นำมาเป็นองค์ประกอบตั้งต้นของโครงการ และ (5) กิจกรรมการวางคนตามความรู้ความเข้าใจ

2. งานวิจัย "Project Risk Assessment Model Based on Entropy Theory" Xiongjin (2021) เป็นงานวิจัยที่มุ่งไปทางใช้ความเอนโทรปี เพื่อประเมินกิจกรรมต่าง ๆ แยกเป็น 3 กิจกรรม (1) กิจกรรมการชี้บ่ง (identification) (2) กิจกกรรมหาและรับมือความเสี่ยง (assessment & response) (3) กิจกรรมการบำรุงรักษาความเสี่ยง (treatment)

3. งานวิจัย "Information entropy method for project portfolio selection" Wang and Yu (2011) งานวิจัยนี้เน้นการนำความเอนโทรปี ไปตอบการลงทุนโดยมีโมเดลที่มุ่งเน้นในการหาเอนโทรปีใน 5 ประเด็น คือ (1) แนวทางยุทธศาสตร์ (2) ความสามารถในการทำกำไร (ใช้ NPV เป็นเกณฑ์ (3) แนวทางทรัพยากร (4) ความยากลำบากในการจัดการ (5) ระดับความเสี่ยง ซึ่งในข้อ 1 และ 3 เป็นกลุ่มของลักษณะ และ 2 4 5 เป็นกลุ่มของกิจกรรม

ซึ่งเมื่อสรุปทั้ง 3 ข้อออกมาเป็นตารางจะเห็นได้ว่าความวุ่นวายหรือเอนโทรปี ถูกใช้ได้ทั้งกรณีหาค่าของความไม่แน่นอนและสิ่งที่ "เราไม่รู้ว่าเราไม่มีความรู้" ได้ดังภาพ 4



ภาพ 4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเอนโทรปี

สมมติฐานการวิจัย

สมมุติฐานในการวิจัยครั้งนี้เกิดจากประสบการณ์ของผู้วิจัยในงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง ซึ่งพบว่าโครงการเหล่านี้มักไม่สามารถบรรลุเป้าหมายอย่างครบถ้วน แม้ว่าโครงการเหล่านั้นมีการนำเครื่องมือในการบริหารโครงการต่าง ๆ มาใช้

ดังนั้นสมมุติฐานของวิจัย คือ โครงการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างน่าจะมีความซับซ้อนที่แตกต่างจากโครงการทางด้านสารสนเทศทั่วไป และจำเป็นต้องพัฒนาต้นแบบหรือกรอบการทำงานที่เหมาะสม เพื่อสามารถระบุความรู้ที่สำคัญในการพัฒนาโครงการข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง นอกจากนี้ ต้องมีการประเมินความเสี่ยงและปัจจัยที่สำคัญเพื่อเพิ่มความสำเร็จในโครงการประเภทนี้

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเสนอการออกแบบโดยตั้งสมมุติฐานว่าหากสามารถยืนยันความถูกต้องของต้นแบบหรือกรอบการทำงาน จาก "Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform" ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติจะต้องมีค่า KMO สูงกว่า 70% และค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance--Sig) ต่ำกว่า .05 นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังมองหาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เมื่อคำตอบในเชิงของความรู้และความเข้าใจที่ดีถึงดีมากในโครงการที่สำเร็จ จะมีค่าความไม่แน่นอนต่ำ หรือค่าเอนโทรปีที่ใกล้เคียงศูนย์ เพื่อค้นหาปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องทราบก่อนเริ่มทำโครงการข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างเพื่อให้สำเร็จตามเป้าหมาย ดังภาพ 5

วิธีดำเนินการวิจัย

ในกรอบงานวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายในการตรวจสอบและพิสูจน์ความถูกต้องของต้นแบบในวิจัย “The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform” และนำมาพัฒนาต่อยอดโดยมีเน้นที่ความถูกต้องและความแม่นยำ นอกจากนี้ต่อยอดด้วยการหาปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อความสำเร็จของโครงการในหลากหลายด้านอย่างมีนัยสำคัญและความเสถียร ซึ่งสามารถวัดความเสถียรนั้นผ่านค่าเอนโทรปี

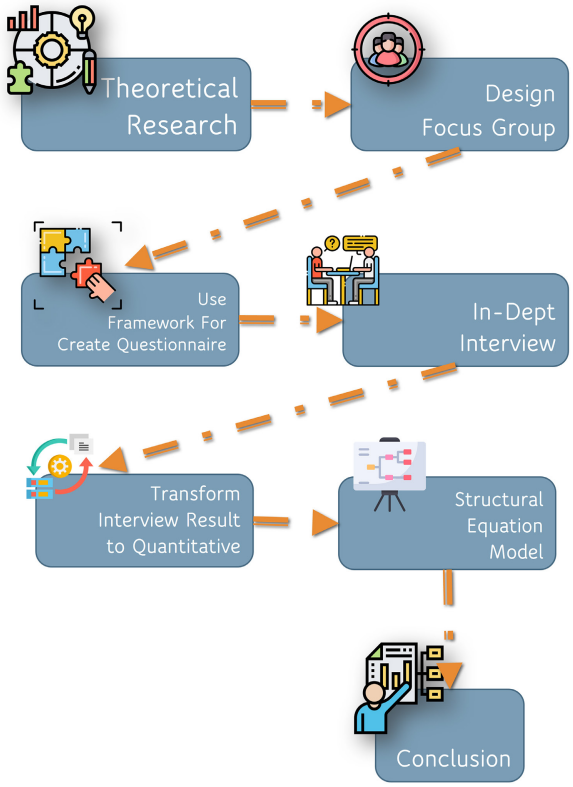
วิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งหาวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางเพื่อนำไปใช้ในการพิสูจน์ทฤษฎี ดังแสดงในภาพ 6 และสามารถอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอน ดังนี้

$$H(X)=-\sum_{i=1}^{n} P(xi)logP(xi)$$

		Key Success Factor XXX1				Key Success Factor XXX2			
		Count	P	LogP	P*LogP	Count	P	LogP	P*LogP
Project Success	Score >= 4	40	100%	0.00	0.00	40	100%	0.00	0.00
	Score < 4	0	0%	0.00	0.00	0	0%	0.00	0.00
	Entropy				0.00				0.00

		Key Success Factor XXX3				Key Success Factor XXX4			
		Count	P	LogP	P*LogP	Count	P	LogP	P*LogP
Project Success	Score >= 4	40	100%	0.00	0.00	40	100%	0.00	0.00
	Score < 4	0	0%	0.00	0.00	0	0%	0.00	0.00
	Entropy				0.00				0.00

ภาพ 5 สมมุติฐานว่าค่าเอนโทรปีเมื่อมองจากทุกปัจจัยจะมีค่าเอนโทรปีต่ำจำนวน 4 ปัจจัย



ภาพ 6 แผนผังและขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

1) Theoretical Research

ขั้นตอนการทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวกับข้อมูลไม่มีโครงสร้าง และการประเมินความสามารถของทีมก่อนทำโครงการและจัดทำเป็นเครื่องมือ และค้นคว้ากระบวนการในการพิสูจน์ทราบศักยภาพของเครื่องมือว่ามีเพียงพอหรือไม่

2) Design Focus Group

ขั้นตอนการทำการ ออกแบบกลุ่มเป้าหมายที่จะทำการสำรวจข้อมูลทั้งหมด 42 ตัวอย่าง มุ่งเน้นไปที่

2.1) กลุ่มผู้เคยดำเนินงานแปลงข้อมูล ที่ไม่มีโครงสร้าง และมีการใช้งานจริงมาแล้ว ด้วยการสแกนเอกสารและทำดัชนี

2.2) กลุ่มผู้เคยดำเนินงานแปลงข้อมูลจากกล้อง

2.3) กลุ่มผู้เคยดำเนินการแปลงข้อมูลจากเสียงเป็นข้อความ

3) Use Framework for Crate Questionnaire

ขั้นตอนการสร้างคำถามเชิงลึกตามเครื่องมือ The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform ซึ่งจะมีความเป็นคำถามปลายเปิดที่มีการถามเป็นขั้นเป็นตอน ทำให้ต้องใช้ทักษะและความเข้าใจในการสอบถาม เพื่อจำแนกข้อเท็จจริง หรือเจาะให้ลึกแต่ยังคงมีแนวทางในการถามได้

4) In-dept Interview

ในขั้นตอนการสอบถามกลุ่มเป้าหมายตามกรอบคำถามของกรอบการทำงาน อ้างอิงจากงานวิจัย “The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform” ที่ได้คัดสรรมา ผู้วิจัยได้ดำเนินการบันทึกข้อมูลด้วยวิธีการบันทึกเสียงในกรณีที่ผู้สอบถามยินยอมให้ทำการบันทึก หากในกรณีที่กลุ่มเป้าหมายไม่สามารถให้ทำการบันทึกเสียงได้ ผู้วิจัยจะทำการจดบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

5) Transform interview result to Quantitative

ทำการปรับชุดข้อมูลที่ได้การสัมภาษณ์เชิงลึก สู่ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยพิจารณาจากการตอบคำถามว่าเป็นไปในทางใดในรูปแบบ 5 น้ำหนัก (scale) คือ

5.1 ตอบไม่ได้

5.2 คิดว่าไม่จำเป็นต้องมี

5.3 มีความรู้ความเข้าใจแต่เข้าใจผิด

5.4 มีความรู้ความเข้าใจ

5.5 มีความรู้ความเข้าใจอย่างสมบูรณ์

6) Factor Analysis

เป็นกระบวนการในการใช้เครื่องมือทางสถิติ มาทำการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล และทำการเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้จากชุดข้อมูลที่ได้เก็บมา (Kaiwan, 2021)

7) Entropy Calculate & Conclusion

หาค่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของต้นแบบกรอบการทำงานผ่านการคำนวณค่าเอนโทรปี ของปัจจัย ที่มีแนวโน้มมีความรู้ในโครงการที่สำเร็จ ทดสอบในการนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในการทำงานจริง

ผลการวิจัย

ผลลัพธ์จากการวิจัยนี้ได้ใช้กลุ่มตัวอย่างที่ประกอบด้วย 42 ชุดข้อมูล โดยใช้เครื่องมือสถิติสำหรับสังคมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ (Statistics Package for Social Sciences--SPSS) ในการประมวลผล วิธีการที่ใช้ในการวิจัย คือ การลดมิติของข้อมูลเพื่อทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และการหมุนแกนเพื่อตรวจสอบคุณภาพของชุดข้อมูลและต้นแบบ (model) ที่เหมาะสม

จากนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ผ่านการทำความสะอาด (data cleansing) มาคำนวณหาเอนโทรปีของโครงการที่สำเร็จ เพื่อหาปัจจัยมีความเสถียรและสูงในกรณีที่โครงการสำเร็จ โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้:

- สร้างตัวแปรข้อมูลที่เหมาะสมกับการประมวลผลทางสถิติ
- ทำการวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น
- ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลังตัด Cross Loading
- ทำการวิเคราะห์หาค่าความไม่แน่นอนของ ปัจจัย

1) สร้างตัวแปรข้อมูลที่เหมาะสมกับการประมวลผลทางสถิติ

โดยทำการสร้างตารางเพื่อมารับชุดข้อมูลตามภาพ 7 ที่ได้มาจากแบบสอบถาม โดยตัวชี้วัดต่าง ๆ เป็นประเภท Ordinal เพื่อเก็บข้อมูลตามแต่ละปัจจัยว่าในการทำโครงการนั้นมีความรู้ของเข้าใจในแต่ละปัจจัยอย่างไร โดยแบ่งเป็น 5 น้ำหนัก (scale) คือ

1.1 ตอบไม่ได้

1.2 คิดว่าไม่จำเป็นต้องมี

1.3 มีความรู้ความเข้าใจแต่เข้าใจผิด

1.4 มีความรู้ความเข้าใจ

1.5 มีความรู้ความเข้าใจอย่างสมบูรณ์

2) ทำการวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น

โดยเมื่อทำการใช้เครื่องมือ SPSS วิเคราะห์ ต้นแบบและปัจจัยเบื้องต้น ตามภาพ 8 จะมีข้อสรุปตามเลขต่าง ๆ คือ (1) ชุดข้อมูลมีคุณภาพสามารถอธิบายได้ 79% ซึ่งถือว่าใช้ได้ (2) มีค่า Sig ไม่เกิน .05 ในกรณีนี้ คือ .00 คือต้นแบบใช้ได้ดี (3) เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของตัวแปรแต่ละตัวกับองค์ประกอบมีเพียง Object x Journey ที่ค่าสหสัมพันธ์ต่ำกว่า 60% (4) ข้อมูลมีการจัดโดยโปรแกรมได้ 3 องค์ประกอบ (eigenvalue) อธิบายข้อมูลได้ 80.4 (5) พบองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์ตรงกัน (cross loading) อยู่ 4 ตัวทั้งนี้อาจจะเป็นความบังเอิญแต่เพื่อเป็นไปตามหลักวิชาการจึงตัดออกเพื่อทำความสะอาดข้อมูล

Name	Type	Width	Decimals	Label	Values
SUCCESS	Numeric	8	0	Project Success	None
OP	Numeric	8	0	Object X Property	None
OC	Numeric	8	0	Object X Cause	None
OT	Numeric	8	0	Object X Truth	None
OJ	Numeric	8	0	Object X Journey	None
EP	Numeric	8	0	Event X Property	None
EC	Numeric	8	0	Event X Cause	None
ET	Numeric	8	0	Event X Truth	None
EJ	Numeric	8	0	Event X Journey	None
CP	Numeric	8	0	Command X Pr...	None
CC	Numeric	8	0	Command X Ca...	None
CT	Numeric	8	0	Command X Truth	None
CJ	Numeric	8	0	Command X Jo...	None
TP	Numeric	8	0	Outcome X Pro...	None
TC	Numeric	8	0	Outcome X Cau...	None
TT	Numeric	8	0	Outcome X Truth	None
TJ	Numeric	8	0	Outcome X Jou...	None

ภาพ 7 การตั้งค่าในเครื่องมือวิจัยเพื่อรับค่าการเก็บข้อมูลนำไปประมวลผล

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.791
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	781.893
	df	136
	Sig.	.000

Component	Initial Eigenvalues Total	% of Variance	Cumulative %
1	9.623	56.606	56.606
2	2.552	15.013	71.619
3	1.492	8.774	80.393

Communalities

	Initial	Extraction
Project Success	1.000	.986
Object X Property	1.000	.726
Object X Cause	1.000	.636
Object X Truth	1.000	.915
Object X Journey	1.000	.423
Event X Property	1.000	.867
Event X Cause	1.000	.844
Event X Truth	1.000	.896
Event X Journey	1.000	.856
Command X Property	1.000	.890
Command X Cause	1.000	.808
Command X Truth	1.000	.836
Command X Journey	1.000	.792
Outcome X Property	1.000	.761
Outcome X Cause	1.000	.683
Outcome X Truth	1.000	.868
Outcome X Journey	1.000	.878

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotated Component Matrix[a]

	Component 1	2	3
Project Success	.959	.226	.124
Command X Property	.906	.186	.185
Event X Journey	.903	.163	.120
Object X Truth	.893	.324	.113
Outcome X Truth	.880	.281	.126
Command X Truth	.867	.113	.267
Command X Cause	.807	.292	-.266
Object X Property	.768		.369
Outcome X Cause	.612	.520	.194
Outcome X Journey	.338	.874	
Event X Truth	.417	.776	.346
Command X Journey	.435	.734	.254
Object X Journey		.650	
Object X Cause		.573	.555
Event X Property		.286	.884
Outcome X Property	.519	-.110	.693
Event X Cause	.223	.595	.664

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a. Rotation converged in 7 iterations.

ภาพ 8 ทำการวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น

3) ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลังตัด Cross Loading

เมื่อทำการทำความสะอาดข้อมูลแล้ว เมื่อทำการวิเคราะห์ใหม่จะได้ผลตามภาพ 9 และอธิบายตามแต่ละหมายเลขได้ ดังนี้ (1) ชุดข้อมูลมีคุณภาพมากขึ้นสูงถึง 84% (2) ไม่พบเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของตัวแปรแต่ละตัวกับองค์ประกอบ (3) จัดกลุ่มตัวแปรเหลือ 2 กลุ่มอธิบายข้อมูลได้ถึง 80% (4) การจัดตัวแปรชุดที่ 1 (5) การจัดตัวแปรชุดที่ 2

โดยเมื่อดูภาพรวมแล้วจะเห็นว่า ทั้งข้อมูลและต้นแบบมีคุณภาพตั้งแต่ขั้นต้น และเมื่อทำความสะอาดแล้วจะได้ Factor ที่มีคุณภาพในการนำมาใช้งานต่อไป

4) ทำการวิเคราะห์หาค่าความไม่แน่นอนของปัจจัย

เมื่อได้ทำการทำความสะอาดข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาหาต่อว่าปัจจัยอะไรที่มีค่าเอนโทรปีต่ำ โดยเมื่อทำการคำนวณค่าแล้ว พบข้อสรุปได้ดังภาพ 10

เลขที่ 1) สูตรเอนโทรปีที่ใช้คำนวณเพื่อหาค่าความสุ่มที่ต่ำของปัจจัย

เลขที่ 2) องค์ความรู้กับคุณสมบัติของเอกสารหรือวัตถุดิบหรือข้อมูลดิบก่อนนำมาประมวลผลจะต้องชัดเจน ๆ ระดับที่ดีและมีความเข้าใจค่อนข้างแน่นอน ซึ่งจากการหาค่าเอนโทรปีพบว่า มีความสุ่มน้อย

เลขที่ 3) องค์ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดิบหรือข้อมูลดิบว่าเมื่อผ่านขั้นตอนต่าง ๆ และพร้อมประมวลผล ก่อนนำไปประมวลผลจะต้องชัดเจน ๆ ระดับที่ดีและมีความเข้าใจแน่นอน ซึ่งจากการหาค่าเอนโทรปีพบว่า ไม่มีค่าความสุ่ม

เลขที่ 4) องค์ความรู้เกี่ยวกับลำดับการของเหตุการณ์การเตรียมวัตถุดิบหรือข้อมูลดิบก่อนนำมาประมวลผลจะต้องชัดเจน ๆ ระดับที่ดีและมีความเข้าใจค่อนข้างแน่นอน ซึ่งจากการหาค่าเอนโทรปีพบว่ามีความสุ่มน้อย

เลขที่ 5) องค์ความรู้เกี่ยวกับคำสั่งหรือข้อกำหนดในการนำวัตถุดิบหรือข้อมูลดิบมาประมวลผลจะต้องชัดเจน ๆ ระดับที่ดีและมีความเข้าใจค่อนข้างแน่นอน ซึ่งจากการหาค่าเอนโทรปีพบว่ามีความสุ่มน้อย

เลขที่ 6) องค์ความรู้ความเข้าใจผลลัพธ์คำสั่งหรือข้อกำหนดในการนำวัตถุดิบหรือข้อมูลดิบมาประมวลผลจะต้องชัดเจน ๆ ระดับที่ดีและมีความเข้าใจค่อนข้างแน่นอน ซึ่งจากการหาค่าเอนโทรปีพบว่า มีความสุ่มน้อย

เลขที่ 7) องค์ความรู้ความรู้ความเข้าใจถึงผลลัพธ์ที่แท้จริงว่าต้องการอะไรอย่างแท้จริงจะต้องสูงและตอบได้แน่นอนอย่างที่สุด ซึ่งจากการหาค่าเอนโทรปีพบว่าไม่มีค่าความสุ่มเลย

KMO and Bartlett's Test (1)

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.840
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	573.199
	df	66
	Sig.	.000

Communalities (2)

	Initial	Extraction
Project Success	1.000	.982
Object X Property	1.000	.612
Object X Truth	1.000	.918
Event X Property	1.000	.515
Event X Truth	1.000	.881
Event X Journey	1.000	.873
Command X Property	1.000	.889
Command X Cause	1.000	.672
Command X Truth	1.000	.815
Command X Journey	1.000	.833
Outcome X Truth	1.000	.864
Outcome X Journey	1.000	.761

Extraction Method: Principal Component Analysis.

(3)

	Initial Eigenvalues		
Component	Total	% of Variance	Cumulative %
1	7.996	66.632	66.632
2	1.620	13.496	80.128

Rotated Component Matrix[a] (4)

	Component 1	Component 2
Project Success	.947	.293
Event X Journey	.914	.193
Object X Truth	.897	.335
Command X Property	.895	.295
Command X Truth	.878	.211
Outcome X Truth	.861	.352
Command X Cause	.806	.152
Object X Property	.748	.230
Event X Truth	.402	.848
Command X Journey	.386	.827
Outcome X Journey	.305	.817
Event X Property		.717

(5)

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

ภาพ 9 ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลังตัด Cross Loading

(1) $H(X)=-\sum_{i=1}^{n} P(xi)logP(xi)$

		(2) Property x Object				(3) Truth x Object			
		Count	P	LogP	P*LogP	Count	P	LogP	P*LogP
Project Success	Score >= 4	27	93%	-0.10	-0.10	29	100%	0.00	0.00
	Score < 4	2	7%	-3.86	-0.27	0	0%	0.00	0.00
	Entropy				0.36				0.00

		(4) Journey x Event				(5) Property x Command			
		Count	P	LogP	P*LogP	Count	P	LogP	P*LogP
Project Success	Score >= 4	27	93%	-0.10	-0.10	28	97%	-0.05	-0.05
	Score < 4	2	7%	-3.86	-0.27	1	3%	-4.86	-0.17
	Entropy				0.36				0.22

		(6) Truth x Command				(7) Truth x Outcome			
		Count	P	LogP	P*LogP	Count	P	LogP	P*LogP
Project Success	Score >= 4	27	93%	-0.10	-0.10	29	100%	0.00	0.00
	Score < 4	2	7%	-3.86	-0.27	0	0%	0.00	0.00
	Entropy				0.36				0.00

ภาพ 10 การวิเคราะห์เอนโทรปีโดยแสดงเฉพาะปัจจัยที่มีค่าเอนโทรปีต่ำซึ่งแสดงถึงความเสถียรของค่าที่ระบุในปัจจัยนั้น

ผลการวิจัยที่นำกรอบการทำงาน "The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform" มาปรับปรุงและพัฒนาเป็นกรอบการทำงานใหม่ พบว่า มีเพียง 6 ปัจจัยที่มีความสำคัญและจำเป็นในการพัฒนาโครงการเกี่ยวกับข้อมูลไม่มีโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยยังเสนอ 10 ปัจจัยอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประเมินความสำเร็จของโครงการ ซึ่งได้นำเสนอและเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยจากแต่ละกรอบการทำงานในตาราง 1

อภิปรายผล

จากการวิจัยเพื่อหาปัจจัยสำคัญสำหรับความสำเร็จของโครงการข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง ผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยให้ทีมงานและองค์กรนิยามและค้นหาความต้องการที่แท้จริง ด้วยแนวคิดจาก "The Framework of Extracting Unstructured Usage for Big Data Platform" โดยเน้นให้ทำความเข้าใจกลุ่ม "Great Key Success Factor" และ "Key Success Factor" ตามภาพ 11 อย่างชัดเจนและละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่ม "Great Key Success Factor" ที่ต้องมีความเข้าใจอย่างเป็นพิเศษ

สรุป คือ ในโครงการข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างนั้น ความเข้าใจในลักษณะของข้อมูลที่พร้อมใช้งานและผลลัพธ์ของโครงการมีความสำคัญยิ่ง นั่นคือ "ต้องเข้าใจถึงความพร้อมของวัตถุดิบและผลลัพธ์ของโครงการอย่างละเอียด" นอกจากนี้ยังต้องมีความรู้และความเข้าใจในกลุ่ม "Key Success Factor" ก่อนเริ่มโครงการ ส่วนปัจจัยที่เป็น "Nice to Have" หากสามารถรวบรวมข้อมูลครบถ้วนก่อนตัดสินใจทำโครงการ จะช่วยสร้างความพร้อมในการดำเนินโครงการอย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานสามารถแสดงให้เห็นถึงสองกรณี คือ:

กรณีที่ 1 เป็นโครงการที่มีวัตถุประสงค์ในการสร้างระบบตอบคำถามอัตโนมัติจากภาพถ่ายหน้าจอข้อผิดพลาด (error) ซึ่งภาพที่ได้เป็นข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง ในโครงการนี้ทีมงานในการพัฒนาสามารถตอบคำถามตามต้นแบบได้อย่างครบถ้วน และเมื่อดำเนินโครงการก็สามารถส่งมอบโครงการให้สำเร็จได้ ซึ่งทีมงานได้ตอบคำถามในต้นแบบตามตัวอย่างภาพ 12

กรณีที่ 2 เป็นโครงการที่มีเป้าหมายในการลดข้อผิดพลาดของการทำงานในโรงงานด้วยการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ แต่ทีมงานพัฒนาไม่สามารถตอบคำถามได้ดีเท่าที่ควร ดังที่แสดงในภาพ 13 จึงมีความน่าจะเป็นว่าโครงการจะไม่สามารถสำเร็จหรืออาจจะต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมให้ครบถ้วน โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาปัจจัยสำคัญในความสำเร็จและผลลัพธ์เมื่อตัดสินใจดำเนินโครงการปรากฏว่าโครงการไม่สามารถดำเนินการได้

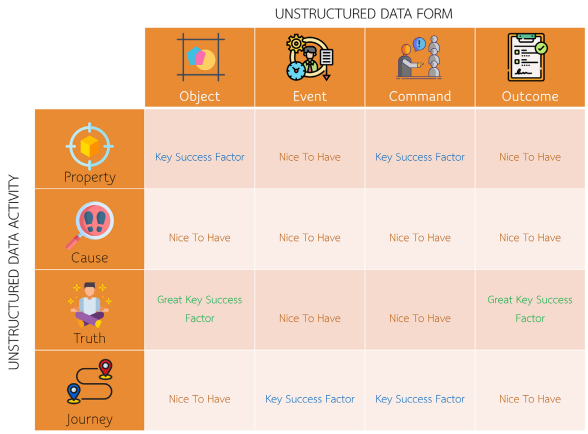
ตาราง 1

เปรียบเทียบกรอบการทำงานเดิมและกรอบการทำงานใหม่

	ต้นแบบการทำงานเดิม	ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นใหม่
ข้อมูลดิบมีคุณลักษณะอย่างไรบ้าง (property x object)	✓	✓
ทำไมต้องนำข้อมูลดิบมาทำการยกระดับทางดิจิทัล (cause x object)	✓	
รูปแบบสุดท้ายเมื่อข้อมูลที่พร้อมประมวลผลแล้ว จะเป็นอย่างไร (truth x object)	✓	✓
วิธีการที่ทำให้ข้อมูลดิบพร้อมประมวลผลมีอะไรบ้าง (journey x object)	✓	
กิจกรรมที่จะต้องทำในการโครงการมีอะไรบ้าง (property x event)	✓	
ทำไมถึงมีกิจกรรมนั้น ๆ (cause x event)	✓	
สุดท้ายเมื่อกิจกรรมนั้น ๆ สมบูรณ์จะมีลักษณะอย่างไร (truth x event)	✓	

ตาราง 1 (ต่อ)

	ต้นแบบการทำงานเดิม	ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นใหม่
วิธีการทำให้กิจกรรมเหล่านั้นสมบูรณ์มีลำดับเส้นทางอย่างไร (journey x event)	✓	✓
ข้อกำหนดและวิธีประมวลผลในโครงการมีอะไรบ้าง (property x command)	✓	✓
ทำไมถึงเลือกใช้วิธีประมวลผลด้วยคำสั่งนั้น ๆ (cause x command)	✓	
สุดท้ายเมื่อประมวลผลสมบูรณ์จะเป็นอย่างไร (truth x command)	✓	
ลำดับการประมวลผลคำสั่งเป็นอย่างไร (journey x command)	✓	✓
ผลลัพธ์ที่จะได้จากโครงการมีลักษณะอย่างไร (property x outcome)	✓	
ผลลัพธ์ที่ได้มาใช้เพื่ออะไร (cause x outcome)	✓	
สุดท้ายผลลัพธ์ที่สมบูรณ์คืออะไร (truth x outcome)	✓	✓
ลำดับหรือข้อพิจารณาว่าผลลัพธ์สมบูรณ์แล้วมีอะไรบ้าง (journey x outcome)	✓	



ภาพ 11 การนำต้นแบบไปใช้งานอย่างมีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ

UNSTRUCTURED DATA FORM

UNSTRUCTURED DATA ACTIVITY	Object	Event	Command	Outcome
Property	Bug Notifications - more than 10 words - Where did it happen?		Generate Bug Answers - OCR the image to find the screen ID. - Text Clustering to find related words - Reply with previous answer	Auto Bug Answers - Ask a Bug and you can reply - A system that can develop accurate responses
Cause	Bug Notifications - Who is the user, what system does it use?			
Truth	Bug Notifications - clear - Understanding what to answer	Notify via Bug Tracking - More than 10 words - There is a picture of a bug		Auto Bug Answers clear, fast
Journey		Notify via Bug Tracking - When interactions occur, questions and permissions must be checked before being processed.	Generate Bug Answers - Must understand Text Clustering or Text Mining - Must have previous bug response information to reference.	Auto Bug Answers - Find a system that is available in the market Or find developers in OCR processing, Text Clustering.

ภาพ 12 กรณีโครงการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างที่ประสบผลสำเร็จ

UNSTRUCTURED DATA FORM

UNSTRUCTURED DATA ACTIVITY	Object	Event	Command	Outcome
Property	work process information - Who did what? - how to do	work happens - have workers - have a job - There is a way to work		Malfunction information and error reduction
Cause				
Truth		work happens - will not damage		
Journey				

ภาพ 13 กรณีโครงการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างที่ไม่ประสบผลสำเร็จ

โดยคำถามตัวอย่างในแต่ละช่องนั้นเป็นการย่อให้เข้าใจง่าย ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงอาจจะต้องใช้ระเบียบวิธีหรือขยายความหลายหน้ากระดาษ

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอเครื่องมือใหม่ในการประเมินความสำเร็จของโครงการที่ต้องนำข้อมูลรูปแบบอื่น ๆ มาแปลงเป็นข้อมูลที่สามารถประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างซึ่งมีปริมาณมากและซับซ้อนกว่าข้อมูลที่มีโครงสร้าง หลังจากการประเมินความสำเร็จของโครงการ ความสนใจของงานวิจัยต่อไปที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้อาจประกอบด้วย ดังนี้:

1) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการที่มีข้อมูลไม่มีโครงสร้างเพื่อคำนวณประโยชน์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ

2) การค้นหาค่าพหุสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ในโครงการและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ส่งเสริมกันโดยตรงในกรอบของการนำข้อมูลไม่มีโครงสร้างมาประยุกต์ใช้

3) การศึกษาและหาปริมาณของวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม ตามปริมาณข้อมูลที่สกัดได้จากข้อมูลไม่มีโครงสร้าง เพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลของงานวิจัยนี้จะช่วยเสริมสร้างความรู้ใหม่ ในด้านการจัดการข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง และขยายแนวทางในการประยุกต์ใช้ข้อมูลนี้ในสถานการณ์และโครงการที่หลากหลาย นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสามารถนำไปปรับปรุงวิธีการประเมินความสำเร็จของโครงการ และเสนอแนวทางใหม่ ๆ ในการวิเคราะห์และจัดการข้อมูลที่ซับซ้อน ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงโครงการให้สามารถให้ประสิทธิภาพสูงสุด

References

Bissacco, M. C. A., Netzer, Y., & Neven, H. (2013). PhotoOCR: Reading text in uncontrolled conditions, California. USA: Google Corp.

Chasupa, T., & Paireekreng, W. (2021). The framework of extracting unstructured usage for big data platform. *Proceeding of 2021 2nd International Conference on Big Data Analytics and Practices (IBDAP) (Online)*. Bangkok: IEEE. https://doi.org/10.1109/ibdap52511.2021.9552131

Dabbèchi, H., Haddar, N.Z., Ben-Abdallah, M., & Haddar, K. (2017). A unified multidimensional data model from social networks for unstructured data analysis. *2017 IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)* (pp. 415-422). Tunisia: IEEE. doi: 10.1109/AICCSA.2017.70.

Geronazzo, M. Z. A. (2021). *QMLEx: Data driven digital transformation in marketing analytics*. New York, USA: Sciencegate.

Goryachev, A. (2022). Application of text mining technology to solve project management problems. *Information and Control, 8*(3), 338–353. doi: 10.1016/j.jjimei.2021.100008

Kaiwan, Y. (2021). *Structural equation model analysis with AMOS*. Bangkok: (in Thai)

Peng, R. (2021). Analysis of computer information processing technology based on unstructured data. *IEEE Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC) Dalian, China* (pp. 1222-1225). Dalian, China: IEEE. doi: 10.1109/IPEC51340.2021.9421190.

Qu, Y., & Yang, T. (2016). Research on occurrence frequency of IT projects risk based on fuzzy influence diagram. *2016 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), Jeju, Korea (South)* (pp. 166-171). Jeju, Korea (South): IEEE. doi: 10.1109/ICMLC.2016.7860895.

Stocker, A., Rosenberger, M., Schmeja, M., & Schneider, G. (2021). Key success factors for the implementation of digital technologies in the context of industry 4.0. *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), Bordeaux, France* (pp. 920-925). Bordeaux, France: IFIP/IEEE

Tang, Y., Wang, L., Yang, L., & Wang, X. (2014). Information security risk assessment method based on cloud model. *25th IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies (ISSC 2014/CIICT 2014), Limerick* (pp. 258-262). Limerick: IEEE. doi: 10.1049/cp.2014.0695.

Wieringa, J. E. (2016). *Unstructured data Can its power be unleashed?*. Groningen, Netherlands: University of Groningen.

Xue, X., & Li, J. (2010). Application on entropy fuzzy comprehesive evaluation for risks of project management. *2010 International Conference on Future Information Technology and Management Engineering, Changzhou, China* (pp. 533-537). Changzhou, China: IEEE. doi: 10.1109/FITME.2010.5656707.

Xiongjin, W. (2021). Project risk assessment model based on entropy theory. *2021 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Xi'an, China* (pp. 854-857). Xi'an, China: IEEE. doi: 10.1109/ICITBS53129.2021.00212.

Wang, Z., & Yu, Y. (2011). Information entropy method for project portfolio selection. *2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Shanghai, China, 2011* (pp. 2618-2622). Shanghai, China: IEEE. doi: 10.1109/FSKD.2011.6020005

ผลของการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดไทยแบบราชสำนักต่อการรักษาความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบน

The Effects of Massage oil From *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Extract with Court-Type Thai traditional Massage in Myofascial Pain Syndrome

สลิลทิพย์ กุลศิลารักษ์[1] แสงสิทธิ์ กฤษฎี[1]* และสิริภารัสมิ์ อัศวปัญญาพร[1]

Salinthip Kunsilarak[1], Saengsit Kritsadee[1]* and Siriparus Assavapanyaporn[1]

[1]สาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วิทยาเขตสมุทรสงคราม

[1]Department of Applied Thai Traditional Medicine, College of Allied Health Sciences, Suan Sunandha Rajabhat University, Samut Kongkhram

*Corresponding author: Saengsit.kr@ssru.ac.th

Received: March 9, 2023

Revised: April 21, 2023

Accepted: April 27, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดไทยแบบราชสำนัก ก่อนและหลังการรักษา ต่อความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบน กลุ่มตัวอย่าง คือ อาสาสมัครอายุ 18-50 ปี งานวิจัยมีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด จำนวน 30 คน จะได้รับการนวดแบบราชสำนักกับแพทย์แผนไทยประยุกต์ที่ได้ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ประกอบวิชาชีพ ครั้งละ 45 นาที รักษาทั้งหมด 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสอบถาม ประกอบด้วยแบบประเมินระดับความเจ็บปวด และแบบบันทึกความแข็งของเนื้อเยื่อ ผลที่ได้จากการศึกษานำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพรรณนา และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ด้วยค่า Paired T–test ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 73.33 มีอายุอยู่ในช่วง 29-39 ปี ระดับความปวดเฉลี่ยหลังการรักษาลดลง (2.27±0.45) เมื่อเทียบกับระดับความปวดเฉลี่ยก่อนการรักษา (5.97±0.67) หลังจากนวดตั้งแต่ครั้งที่ 1 ถึง 3 ระดับความปวดเฉลี่ยลดลงในทุกครั้งเมื่อเทียบกับครั้งก่อนหน้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยคะแนนความแข็งของเนื้อเยื่อหลังการรักษาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากผลระดับความปวดที่ลดลง และค่าคะแนนความแข็งของเนื้อเยื่อที่ลดลง สรุปได้ว่า การนวดไทยแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม สามารถบรรเทา รักษา ผู้ป่วยที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อหลังส่วนบนได้ ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสนับสนุนการเลือกใช้การนวดไทยแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม ที่มีประสิทธิภาพในการรักษาทางคลินิกสืบไป

คำสำคัญ: แฝกหอม น้ำมันหอมระเหย น้ำมันนวด สมุนไพร ผลิตภัณฑ์ สารสกัด

Abstract

This research is quasi-experimental. The purpose of this study was to compare the effect of massage oil from *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Extract with court-type Thai traditional massage before and after treatment on the tension of the upper back muscles. The sample group consisted of volunteers aged 18–50 years. Through a specific purposive sampling under specified conditions, 30 people will receive a Thai traditional massage with applied Thai traditional medicine from a registered professional practitioner for 45 minutes each time, three times a week. The research tool was a questionnaire consisting of a pain rating scale and a tissue stiffness record. The results of the study were used for descriptive statistical analysis, and the relationship was compared by a paired T-test. The research results found that most of the subjects were female (73.33%, aged 29–39 years). The mean pain level after treatment decreased (2.27±0.45) compared with the mean pain level before treatment (5.97±0.67). From 1 to 3 times, the mean pain level decreased for each time compared to the previous time, which was statistically significant at the level of .05. In addition, the mean score of tissue stiffness after treatment was significantly decreased at the .05 level from the reduction of pain level and decreased tissue stiffness scores. It can be concluded that Thai traditional massage combined with massage oil from *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Extract can relieve and treat patients with upper back muscle pain. This is preliminary information to support the choice of court-type Thai traditional massage combined with the use of massage oil from *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Extract, which is effective in clinical treatment.

Keywords: *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash., essential oil, massage oil, herbal, product, extract, Thai traditional massage

บทนำ

ปัจจุบันลักษณะการทำงานหรือแม้กระทั่งการดำเนินชีวิตประจำวัน การเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยี การเมืองและเศรษฐกิจ มีผลต่อภาวะสุขภาพของประชาชน ส่งผลให้สุขภาพของประชาชนเกิดภาวะเครียด และการทำงานหนัก พักผ่อนไม่เพียงพอ ท่าทาง อิริยาบถต่าง ๆ ไม่ถูกต้อง เป็นสาเหตุที่ทำให้มีการอาการปวดบ่า ต้นคอ สะบัก และศีรษะ มักทำให้ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ (muscles flexibility) ลดลง และมักทำให้กล้ามเนื้อนั้นแข็ง (muscle tissue hardness) ซึ่งเมื่อปล่อยไว้เป็นเวลานานก็จะทำให้มีอาการปวดเรื้อรัง กล้ามเนื้อหดสั้น (muscle contracture) และสามารถส่งผลให้การเคลื่อนไหวข้อทำได้ไม่เต็มช่วงการเคลื่อนไหวปกติ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานในชีวิตประจำวัน

กลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและพังผืด (Myofascial Pain Syndrome--MPS) เป็นโรคทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่พบได้บ่อยและเป็นสาเหตุของอาการปวดเรื้อรัง สามารถเกิดได้กับกล้ามเนื้อทุกมัดของร่างกายแต่กล้ามเนื้อที่พบอาการปวดบ่อยที่สุด คือ กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ควบคุมท่าทางบริเวณแกนกลางของลำตัว เช่น กล้ามเนื้อคอและหลัง โดยเฉพาะบริเวณสะบักส่วนบน (Pradit, 2008) มีสาเหตุมาจากการใช้กล้ามเนื้อในท่าทางที่ไม่เหมาะสม โครงสร้างของร่างกายผิดปกติหรือพฤติกรรมการใช้กล้ามเนื้อมัดนั้นซ้ำ ๆ จนกล้ามเนื้อทำงานมาก

เกินไป (Suay-ngarm, Nicharojana & Arpanantiku, 2017) โดยกลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและพังผืดมักเกิดในผู้ที่ทำงานแบบนั่งอยู่กับที่ เช่น ผู้ที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นประจำ ซึ่งเป็นการทำงานในอาชีพที่ผู้ป่วยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ หากผู้ป่วยไม่ได้รับการรักษาหรือการจัดการกับความปวดที่เหมาะสม จะทำให้เกิดอาการปวดเรื้อรัง ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันลดลง (Kraiwat, 2009) การรักษาแนวคิดการแพทย์แผนไทยแบบผสมผสานนั้นมีรูปแบบการรักษามากมายหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่าแพร่หลาย คือ การนวดและการประคบสมุนไพร (Sattayarom, Nitcharot & Pieasue, 2014) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรักษาด้วยการนวดนั้นเป็นที่ยอมรับกันว่าสามารถช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ เส้นเอ็นอันเนื่องมาจากการทำงานในชีวิตประจำวันได้เป็นอย่างดี (Kate, 2010) ช่วยผ่อนคลายความเครียด ลดความวิตกกังวล (Bunpean, Cherdchoterakhun & Tantayothin, 2018) นอกจากการประคบสมุนไพรที่นิยมใช้ร่วมกับการนวดแล้ว ยังมีการใช้น้ำมันเข้ามาช่วยประกอบการนวด โดยจะใช้น้ำมันทาไปยังบริเวณกล้ามเนื้อ น้ำมันบางชนิดมีส่วนประกอบของสมุนไพรที่มีสรรพคุณในการแก้อาการอักเสบ ลดปวด การนวดดังกล่าวจึงมีผลให้สารสำคัญของสมุนไพรซึมเข้าไปในบริเวณกล้ามเนื้อส่งเสริมให้การนวดมีผลมากขึ้น

จากรายงาน (Kannutcha, Chayanit & Priyapat, 2014) ผลของการนวดไทยต่อความแข็งของเนื้อเยื่ออ่อนและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตึงแข็งกับความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ โดยศึกษาในอาสาสมัครเพศหญิงอายุ 18-22 ปี จำนวน 60 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ได้รับการรักษาโดยการนวดและนอนกลุ่มละ 30 คน เป็นเวลา 40 นาที ทำการวัดความแข็งของเนื้อเยื่ออ่อนด้วยเครื่อง tissue hardness and algometer และวัดความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อด้วย sit and reach box ทั้งก่อนและหลังการทดลอง โดยทำการวัดในกล้ามเนื้อ 4 บริเวณได้แก่ กล้ามเนื้อบริเวณบ่าไหล่ (trapezius) หลัง (back) ต้นขาทางด้านหลัง (hamstring) และปลายขาทางด้านหลัง (gastrocnemius) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของเนื้อเยื่ออ่อนกับความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อพบว่า ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันในทุกบริเวณ ในด้านความแข็งของกล้ามเนื้อพบว่า ภายหลังการทดลองกลุ่มที่ได้รับการรักษาโดยการนวด มีค่าความแข็งของกล้ามเนื้อลดลงในทุกบริเวณ

แฝกหอม มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. ชื่อภาษาอังกฤษว่า Vetiver grass Khuskhus Cuscus Sevendara grass มีชื่อเรียกอื่น ๆ เช่น หญ้าแฝกหอม (นครราชสีมา ภาคกลาง) แกงหอม แคมหอม (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) เป็นต้น เป็นพืชพระราชทานที่ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้ทรงศึกษาศักยภาพของหญ้าแฝก ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษในการช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดิน และอนุรักษ์ความชุ่มชื้นใต้ดิน จึงได้พระราชทานพระราชดำริให้ดำเนินการศึกษาทดลองหญ้าแฝกในการป้องกันการเสื่อมโทรมและพังทลายของดิน เป็นพืชที่มีการกระจายพันธุ์อย่างกว้างขวาง สันนิษฐานว่ามีต้นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย คนไทยสมัยโบราณนิยมนำรากมากลั่นเป็นน้ำมันหอมระเหย มีคุณสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา ฆ่าเชื้อโรค ผ่อนคลายความเครียด รวมทั้งมาทำเป็นเครื่องหอมอบเสื้อผ้า ไล่แมลงและกลิ่นอับในตู้เสื้อผ้า นอกจากนี้หญ้าแฝกยังมีสรรพคุณทางยาช่วยละลายนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ ลดการกระหายน้ำ ลดไข้ ขับเหงื่อ ขับปัสสาวะ บำรุงหัวใจ บำรุงธาตุ การศึกษาทางเภสัชวิทยาพบว่า สารสำคัญในหญ้าแฝกมีฤทธิ์ลดอาการปวดและต้านการอักเสบ (Herbal Medicine Database Faculty of Pharmaceutical Sciences Ubon Ratchathani University, 2010)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีนโยบายในการพัฒนา ณ ศูนย์การเรียนรู้และพัฒนาผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก ตำบลก๊อหลวง อำเภอภูซาง จังหวัดพะเยา ซึ่งเป็นศูนย์ที่เผยแพร่ความรู้และพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ของศูนย์จะได้มาจากการใช้ใบของแฝกหอมนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ทางหัตถกรรม คณะผู้วิจัยจากสาขาวิชาการแพทย์แผนไทยจึงเล็งเห็นความสำคัญของศาสตร์การแพทย์แผนไทย ที่ใช้รากแฝกหอมเป็นยาในการบำบัดรักษาโรคหรืออาการต่าง ๆ และจากปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวกับปัญหาด้านกลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อ ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะทำการวิจัยโดยศึกษาผลของการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดไทยแบบราชสำนัก ต่อการรักษาความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบน จากผลการวิจัย

ที่ได้ผู้วิจัยจึงต่อยอดให้มีความคุ้มค่ายิ่งขึ้น และนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันนวดสมุนไพรจากสารสกัดแฝกหอม เพื่อเสริมสร้างอาชีพให้กับชุมชนในท้องถิ่น เพิ่มมูลค่าและพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากของประเทศให้ มั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน

วัตถุประสงค์วิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดไทยแบบราชสำนัก ต่อการรักษาความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบน

2. เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดไทยแบบราชสำนัก ก่อนและหลังการรักษา ต่อความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบน

สมมุติฐานการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการนวดแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมต่อความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบน หลังการรักษา ค่าเฉลี่ยคะแนนความแข็งของเนื้อเยื่อลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการรักษา

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi-experimental research) ดำเนินการวิจัยโดยใช้แบบแผนการวิจัยกลุ่มเดียว (one-group) ทดสอบความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบนก่อนและหลังการรักษาโดยการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดแบบราชสำนัก

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาและบุคลากร ของวิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วิทยาเขตจังหวัดสมุทรสงครามจำนวน 781 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ อาสาสมัครอายุ 18-50 ปี งานวิจัยมีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 30 คน โดยมีคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการและข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

เกณฑ์การคัดผู้ป่วยเข้าร่วมโครงการ (inclusion criteria)

1. อาสาสมัครเข้าร่วมโครงการด้วยความสมัครใจและลงนามในเอกสารยินยอมโดยได้รับการบอกกล่าวอย่างเต็มใจ

2. ผ่านการคัดกรองการตรวจวินิจฉัยตามหลักการแพทย์แผนไทยประยุกต์ และได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นผู้มีอาการปวดกล้ามเนื้อบริเวณต้นคอ บ่า ไหล่ ทั้งเพศชายและเพศหญิง โดยแพทย์แผนไทยประยุกต์ที่ได้ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ประกอบวิชาชีพ

3. มีความดันโลหิตอยู่ในระดับปกติ อาสาสมัครจะต้องมีค่าความดันโลหิตตัวบนน้อยกว่า 140 มิลลิเมตรปรอท และค่าความดันโลหิตตัวล่างน้อยกว่า 90 มิลลิเมตรปรอท อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าระหว่าง 60-100 ครั้ง/นาที และอัตราการหายใจมีค่าระหว่าง 16-20 ครั้ง/นาที

เกณฑ์การคัดแยกผู้ป่วยออกจากโครงการ (exclusion criteria)

1. ผู้ที่มีข้อห้ามของการนวด หรืออาการที่ห้ามนวด

- มีไข้สูงเกิน 38.5 องศาเซลเซียส
- ไข้พิษ ไข้กาฬ เช่น อีสุกอีใส งูสวัด
- โรคผิวหนังที่มีการติดต่อ
- โรคติดต่อ เช่น วัณโรค
- กระดูกแตกหัก ปริ ร้าวที่ยังไม่ติด
- สตรีมีครรภ์ ไม่ทำการนวดในเดือนที่ 3 ของการตั้งครรภ์ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการปรับฮอร์โมน และเดือนที่ 7 เนื่องจากช่วงที่เด็กเริ่มกลับหัว

2. กลุ่มตัวอย่างขอถอนตัวออกจากการวิจัย

3. มีอาการอันไม่พึงประสงค์ในขณะทำการรักษา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. น้ำมันนวดจากสารสกัดจากแฝกหอม ตำบลก๊อหลวง อำเภอภูซาง จังหวัดพะเยา ผลิตช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564

2. เครื่องมือวัดระดับความปวด วัดจากความรู้สึกที่เกิดขึ้นตามการรับรู้ของผู้ป่วยแต่ละคน สามารถวัดได้โดย Visual Rating Scales--VRS การวัดใช้เส้นตรงยาว 10 เซนติเมตร แบ่งเป็น 10 ช่อง ๆ ละ 1 เซนติเมตร ให้ผู้ป่วยทำเครื่องหมายบนเส้นตรงที่มีตัวเลขแทนค่าความรุนแรงของความปวดโดยปลายข้างหนึ่งแทนค่าด้วยเลข 0 หมายถึง ไม่ปวด ปลายอีกข้างแทนค่าด้วยเลข 10 หมายถึง ปวดรุนแรงมากที่สุด ผู้ป่วยทำเครื่องหมายตรงเลขใดถือเป็นคะแนนความปวด

3. เครื่องวัดความแข็งของเนื้อเยื่อและวัดระดับความเจ็บปวดโดยแรงกดในเครื่องเดียวกัน (tissue hardness meter and algometer) หลักการทำงานของเครื่องมือโดยเครื่องมือจะอ่านค่าจากแรงกดที่จมลงไป โดยจะมีวงแหวน 2 วง คือ วงแหวนรอบนอกที่อยู่ที่พื้นผิวสัมผัสและวงแหวนวงในที่จมลงไปตามความอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อถ้าจมลงไปได้มากแสดงถึงเนื้อเยื่อมีความอ่อนนุ่มมาก โดยเครื่องจะมีเซนเซอร์ควบคุมแรงกดเพื่อให้แรงกดมีขนาดเท่ากันและเครื่องจะอ่านค่าโดยเทียบกับสัดส่วนของวัตถุที่มีความแข็ง เช่น พื้นเรียบ กระจก เป็นต้น เครื่องจะอ่านค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ และค่าที่นำมาคำนวณเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยใน 3 ครั้ง

ขั้นตอนการศึกษา

ผู้ศึกษาแนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขั้นตอนการศึกษา ระยะเวลาของการศึกษา อธิบายโดยใช้เอกสารชี้แจงแนะนำข้อมูลและให้อาสาสมัครแสดงความยินยอม

ขั้นตอนการทำการทดลอง

1. บันทึกการซักประวัติจากการบอกเล่าของผู้ป่วยได้แก่ เพศ อายุ ศาสนา สถานภาพ ระดับการศึกษา อาชีพ ลักษณะของงานที่ทำ โรคประจำตัว และประวัติการเจ็บป่วย

2. ประเมินอาการ จากการสอบถามอาสาสมัครและตรวจวินิจฉัยอาการพร้อมบันทึกผลก่อนการรักษา

3. ทดสอบอาการแพ้ให้กับอาสาสมัคร โดยใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมทาท้องแขนด้านใน 2 ข้าง ขนาดเท่าเหรียญ 5 บาท ทิ้งไว้นาน 5 นาที หากพบเป็นผื่นแดงจะคัดออก

4. อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจะได้รับการอธิบายจุดประสงค์ของการศึกษา วิธีการศึกษา รวมทั้งข้อปฏิบัติในช่วงที่ทำการศึกษา และลงชื่อในใบยินยอมก่อนเข้าร่วมการวิจัย

5. ดำเนินการรวบรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างตามแบบสอบถาม และบันทึกข้อมูลตามแบบสอบถาม ดังนี้

ขั้นตอนการรักษา

อาสาสมัครจะได้รับการนวดแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม ครั้งละ 45 นาที รักษาทั้งหมด 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ตามขั้นตอนการรักษา ดังนี้

1. ประเมินอาการ จากการสอบถามกลุ่มตัวอย่างและตรวจวินิจฉัยอาการพร้อมบันทึกผลก่อนการรักษา

2. ประเมินระดับความเจ็บปวด โดยวัดจากความรู้สึกที่เกิดขึ้นตามการรับรู้ของแต่ละคน สามารถวัดได้โดย Visual Rating Scales--VRS บันทึกผล ก่อนและหลังการรักษา

3. วัดความตึงตัวของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องมือ Tissue hardness and algometer บันทึกผล ก่อนและหลังการรักษา

4. ก่อนทำการทดลองให้ผู้ป่วยนั่งขัดสมาธิ นั่งเหยียดขา หรือนั่งห้อยเท้าก็ได้ แล้วแต่ความเหมาะสมของสถานที่ และสภาพร่างกายของผู้ป่วย จากนั้นทำการทดลองโดยการนวดแบบราชสำนักกับแพทย์แผนไทยประยุกต์ที่ได้ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ประกอบวิชาชีพ เริ่มต้นจากจุดที่ 1 ซึ่งอยู่ในแอ่งเหนือสันของกระดูกสะบัก ห่างจากขอบในของหัวดุมไหล่ 2 นิ้วมือ นวดไล่เรียงไปตามแนวเส้นไปถึงจุดที่ 2 อยู่บริเวณต้นคอ ชิดกับส่วนนูนที่เกิดจากปลายสันของกระดูกสันหลังส่วนคอ ชิ้นที่ 7 (C7) จุดที่ 3 เริ่มต้นจากบริเวณต้นคอชิดกับส่วนนูนที่เกิดจากปลายสันของกระดูกสันหลังส่วนคอ ชิ้นที่ 7 (C7) แนวเส้นไล่ไปตามก้านคอ กับแนวของกระดูกสันหลังส่วนคอ จนถึงจุดที่ 4 ซึ่งอยู่บริเวณท้ายทอย นวดซ้ำเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำน้ำมันนวดจากสารสกัดจากแฝกหอม หยดลงบนกล้ามเนื้อ จำนวน 10 หยด แล้วนวดตามแนวเส้นอีกครั้ง เป็นเวลา 15 นาที โดยจะหยดน้ำมันนวดซ้ำทุก ๆ 3 นาที จะทำการทดลองดังกล่าวเป็นระยะเวลา 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ครั้งละ 45 นาที หลังจากนวดรักษาเสร็จให้กลุ่มตัวอย่างนั่งพัก 15 นาที จากนั้นประเมินผลหลังการรักษา ตามแบบบันทึกผลและแบบประเมินหลังการรักษา

5. ติดตามผลการรักษาอย่างต่อเนื่อง โดยเว้นระยะเวลาในการรักษาครั้งต่อไป 1 วัน จนครบ 3 ครั้ง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง และข้อมูลที่ได้ โดยใช้สถิติการแจงความถี่ โดยใช้ค่าสถิติแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เปรียบเทียบความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบนของกลุ่มตัวอย่างก่อนและหลังการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดไทยแบบราชสำนัก โดยใช้สถิติ Paired t-test

จริยธรรมวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ COA.1-068/2021 หลังจากนั้นเข้าพบกลุ่มตัวอย่าง แนะนำตัว ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยและให้ตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยโดยอิสระ ทั้งนี้สามารถถอนตัว หรือยกเลิกการให้ข้อมูลได้ตลอดเวลา ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะเก็บเป็นความลับ และนำเสนอในภาพรวมเท่านั้น

ผลการวิจัย

ผลการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดไทยแบบราชสำนัก ก่อนและหลังการรักษาต่อความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบน

จากตาราง 1 แสดงให้เห็นผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาครั้งนี้ จำนวนทั้งหมด 30 คน ได้ดังนี้

เพศ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 22 ราย คิดเป็นร้อยละ 73.33 รองลงมาคือ เพศชาย จำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 26.67

อายุ ผลการศึกษาพบว่า ช่วงอายุที่พบมากที่สุดมีอายุระหว่าง 29–39 ปี จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 40.00 รองลงมาคือ ช่วงอายุระหว่าง 18–28 ปี จำนวน 11 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.67 ลำดับสุดท้ายมีอายุระหว่าง 40–50 ปี จำนวน 7 ราย คิดเป็นร้อยละ 23.33

สถานภาพทางครอบครัว ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีสถานภาพโสด จำนวน 23 ราย คิดเป็นร้อยละ 76.67 รองลงมามีสถานภาพสมรส จำนวน 7 ราย คิดเป็นร้อยละ 23.33

ระดับการศึกษา ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาในระดับปริญญาตรี จำนวน 17 ราย ร้อยละ 56.67 รองลงมาคือ มีระดับการศึกษาระดับปริญญาโท 11 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.67 และลำดับสุดท้ายคือ ระดับการศึกษาปริญญาเอก จำนวน 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 6.66

อาชีพ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นพนักงานมหาวิทยาลัย จำนวน 17 ราย คิดเป็นร้อยละ 56.67 รองลงมาคือ นักศึกษา จำนวน 13 ราย คิดเป็นร้อยละ 43.33

ลักษณะของงานที่ทำ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีลักษณะการทำงานคือนั่งทำงานหน้าคอมพิวเตอร์ จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 50.0 รองลงมาคือ ทำงานอยู่ในอิริยาบถเดิม จำนวน 9 ราย คิดเป็นร้อยละ 30.0 และมีลักษณะงานที่มีการเคลื่อนไหวอวัยวะในการทำงาน จำนวน 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 20.0

ประวัติการมีโรคประจำตัว ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่มีประวัติการมีโรคประจำตัว จำนวน 24 ราย คิดเป็นร้อยละ 80.00 และมีกลุ่มตัวอย่างมีประวัติการมีโรคประจำตัว จำนวน 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 20.00

จากตาราง 2 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยระดับอาการปวดกล้ามเนื้อหลังส่วนบนของกลุ่มตัวอย่างก่อนและหลังได้รับการนวดรักษาแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม ความแตกต่างของระดับความปวดเฉลี่ย ครั้งที่ 1 ถึง 3 พบว่า ระดับความปวดเฉลี่ยก่อนการรักษา เท่ากับ 5.97 4.37 และ 2.87 ตามลำดับ หลังการรักษาระดับความปวดเฉลี่ยเท่ากับ 4.93 3.17 และ 2.27 ตามลำดับ แสดงว่า หลังการรักษาระดับของความปวดลดลงเมื่อเทียบกับระดับของความปวดก่อนการนวดรักษาแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความแข็งของเนื้อเยื่อ ระหว่างก่อนกับหลังการนวดรักษาแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสาร

สกัดแฝกหอมของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ จำนวน 30 คน ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนความแข็งของเนื้อเยื่อ ก่อนการรักษา เท่ากับ 69.87 67.77 และ 63.73 ตามลำดับ หลังการรักษาค่าเฉลี่ยคะแนนความแข็งของเนื้อเยื่อ เท่ากับ 67.93 65.80 และ 61.01 ตามลำดับ แสดงว่า หลังการรักษาระดับความแข็งของเนื้อเยื่อลดลงเมื่อเทียบกับระดับความแข็งของเนื้อเยื่อก่อนการรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 1

จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามข้อมูลทั่วไป (n=30)

ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
หญิง	22	73.33
ชาย	8	26.67
รวม	30	100
อายุ		
18-28	11	36.67
29-39	12	40.00
40-50	7	23.33
รวม	30	100
สถานภาพ		
โสด	23	76.67
สมรส	7	23.33
รวม	30	100
ระดับการศึกษา		
ปริญญาตรี	17	56.67
ปริญญาโท	11	36.67
ปริญญาเอก	2	6.66
รวม	30	100
อาชีพ		
พนังงานมหาลัย	17	56.67
นักศึกษา	13	43.33
รวม	30	100

ตาราง 1 (ต่อ)

ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
ลักษณะของงานที่ทำ		
นั่งทำงานหน้าคอมฯ	15	50.00
ทำงานอยู่ในอิริยาบถเดิม	9	30.00
มีลักษณะงานที่มีการเคลื่อนไหวอวัยวะในการทำงาน	6	20.00
รวม	30	100
โรคประจำตัว		
ไม่มี	24	80.00
มี	6	20.00
รวม	30	100

ตาราง 2

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยระดับอาการปวดกล้ามเนื้อหลังส่วนบนของกลุ่มตัวอย่าง ก่อนและหลังได้รับการนวดรักษาแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม

การรักษา	การรักษา			
	ก่อน	หลัง	ค่าความต่าง (95%)	p-value
ครั้งที่ 1	5.97±0.67	4.93±0.64	1.15±0.91	0.000
ครั้งที่ 2	4.37±0.81	3.17±0.65	1.38±1.01	0.000
ครั้งที่ 3	2.87±0.35	2.27±0.45	0.79±0.41	0.000

*p<.05

ตาราง 3

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความแข็งของเนื้อเยื่อระหว่างก่อนกับหลังการนวดรักษาแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม ของกลุ่มตัวอย่าง (n = 30)

การรักษา	ก่อนการรักษา		หลังการรักษา		p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	
ครั้งที่ 1	69.87	6.68	67.93	6.70	.000
ครั้งที่ 2	67.77	6.53	65.80	7.22	.000
ครั้งที่ 3	63.73	6.67	61.01	6.46	.000

*p<.05

การอภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบว่า ผู้ที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อหลังส่วนบน หลังจากได้รับการนวดรักษาแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม เป็นเวลา 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ใช้เวลา 45 นาทีต่อครั้ง มีคะแนนเฉลี่ยความแข็งของเนื้อเยื่อและระดับความปวดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากได้มีการทดสอบฤทธิ์ลดอาการปวด และต้านการอักเสบในหนู โดยใช้การทดสอบ writhing test และ formalin test ผลการทดลองข้างต้นพบว่า น้ำมันหอมระเหยของรากแฝกหอม มีฤทธิ์ในการลดอาการปวด และต้านการอักเสบได้ (Lima et al., 2012) เมื่อทำการนวดด้วยน้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม จึงทำให้สารดังกล่าวซึมเข้าไปสู่กล้ามเนื้อออกฤทธิ์ลดอาการปวด

ผลการวิจัยยังพบว่า การนวดรักษาแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม มีประสิทธิผลในการลดอาการปวดกล้ามเนื้อคอ บ่า ไหล่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งอธิบายได้ว่า การนวดจะไปกระตุ้นเส้นใยประสาทขนาดใหญ่ (pressure receptor) ทำให้เกิดการยับยั้งการส่งต่อของกระแสประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวดในระดับไขสันหลัง ทำให้ปิดประตูการส่งสัญญาณความเจ็บปวด สมองจึงได้รับสัญญาณความปวดลดลงตามทฤษฎีควบคุมประตูความปวด (Melzack & Well, 1965 as cited in Bunpean, Cherdchoterakhun & Tantayothin, 2018) ระดับความเจ็บปวดจึงลดลง ทำให้สามารถรับแรงกระตุ้นด้วยการกดได้มากขึ้น ระดับความรู้สึกกดเจ็บจึงเพิ่มขึ้น (Prasert, Paungmali & Uthaikhup, 2013)

สอดคล้องกับการศึกษาของ Prasopa (2020) ที่ศึกษาผลของการนวดคอ บ่า ไหล่ ร่วมกับการประคบสมุนไพรต่อความปวดของกล้ามเนื้อในผู้ที่มีอาการปวดบ่าไหล่ สะบักและต้นคอจากกลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและพังผืดของผู้ป่วย ตำบลนาหมอม้า อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ ผลการศึกษาพบว่า หลังได้รับการนวดอย่างเดียว และการได้รับการนวดร่วมกับการประคบสมุนไพรค่าเฉลี่ยอันดับของความปวดและค่าเฉลี่ยคะแนนความตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัยยังพบว่า การนวดแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม เป็นเวลา 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ใช้เวลา 45 นาทีต่อครั้ง นอกจากระดับความปวดจะลดลงแล้ว ยังช่วยให้ความแข็งของเนื้อเยื่อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม ยังมีส่วนช่วยทำให้เนื้อเยื่อพังผืดยืดตัวออก ลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ ช่วยลดอาการบวมที่เกิดจากการอักเสบของกล้ามเนื้อ เอ็น และข้อต่อ ช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือด และน้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมสามารถซึมผ่านชั้นผิวหนังเข้าสู่ภายในร่างกาย ซึ่งตัวยาสมุนไพรแฝกหอมมีสรรพคุณช่วยลดอาการปวด และต้านการอักเสบ (Herbal Medicine Database Faculty of Pharmaceutical Sciences Ubon Ratchathani University, 2010) ซึ่งเมื่อผสานน้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมร่วมกับการนวดแบบราชสำนักแล้วก็เท่ากับเป็นการเสริมฤทธิ์ในการรักษาซึ่งกันและกัน

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phuthaprom, Rangchayanit and Phalasai (2014) ได้ศึกษาผลของการนวดไทยต่อความแข็งของเนื้อเยื่ออ่อนและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตึงแข็งกับความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ โดยศึกษาในอาสาสมัครเพศหญิง อายุ 18-22 ปี จำนวน 60 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ได้รับการรักษาโดยการนวดและนอนกลุ่มละ 30 คน เป็นเวลา 40 นาที ทำการวัดความแข็งของเนื้อเยื่ออ่อนด้วยเครื่อง tissue hardness and algometer และวัดความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อด้วย sit and reach box ทั้งก่อนและหลังการทดลอง โดยทำการวัดในกล้ามเนื้อ 4 บริเวณได้แก่ กล้ามเนื้อบริเวณบ่าไหล่ (trapezius) หลัง (back) ต้นขาทางด้านหลัง (hamstring) และปลายขาทางด้านหลัง (gastrocnemius) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของเนื้อเยื่ออ่อนกับความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อพบว่า ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันในทุกบริเวณ ในด้านความแข็งของกล้ามเนื้อพบว่าภายหลังการทดลองกลุ่มที่ได้รับการรักษาโดยการนวด มีค่าความแข็งของกล้ามเนื้อลดลงในทุกบริเวณ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การนวดไทยแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอม สามารถบรรเทา รักษา ผู้ป่วยที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อคอ บ่า ไหล่

ได้ หลังการรักษาครั้งที่ 3 ระดับความปวดเฉลี่ยลดลง และค่าเฉลี่ยคะแนนความแข็งของเนื้อเยื่อลดลง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ การนวดแบบราชสำนักร่วมกับการใช้น้ำมันนวดจากสารสกัดแฝกหอมสามารถลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อหลังส่วนบนได้ วิธีการดูแลตนเองเมื่อมีอาการปวดกล้ามเนื้อบ่า ไหล่ สะบัก และต้นคอ ด้วยวิธีการนวดตามการศึกษานี้ สามารถนำไปเป็นแนวทางเลือกในการส่งเสริมสุขภาพของตนเองที่มีความปลอดภัยสูง ควบคุมการใช้ยาแผนปัจจุบัน โดยจะต้องนวดเป็นระยะเวลา 45 นาที 3 ครั้งต่อสัปดาห์

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะกลุ่มนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัย จึงอาจไม่ครอบคลุมทุกกลุ่มอาชีพ ดังนั้นในอนาคตจึงควรขยายขอบเขตประชากรและกลุ่มตัวอย่างให้มีความหลากหลาย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ และสาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

References

Bunpean, A., Cherdchoterakhun, W., & Tantayothin, S. (2018). Effect of Plai oil and palm oil massage on neck and shoulder pain in students of Kanchanabhishek Institute of Medical and Public Health Technology. *Advanced Science, 18*(1), 17-30.

Faculty of Pharmaceutical Sciences Ubon Ratchathani University. (2010). *Herbal Medicine Database Faculty of Pharmaceutical Sciences Ubon Ratchathani University*. Retrieved from https://apps.phar.ubu.ac.th/thaicrudedrug/main.php?action=viewpage&pid=89

Kate, S. (2010). *Prevalence and Related Factors of Musculoskeletal Discomfort Among Thai-Massage Workers* (Thesis's master). Preventive and Social Medicine Faculty of Medicine, Chulalongkorn University. (in Thai)

Kraiwat, T. (2009). *Concept in painmanagement. In P. Intarakamhang. (Ed.). Textbook of Medicinem Rehabilitation*. Bangkok: Textbook Project, Phramongkutklao College of Medicine. (in Thai)

Lima, G. M., Quintans-Júnior, L.J., Thomazzi, S.M., Almeida, EMSA., Melo, M.S., Serafini, M. R., ..., Moreira, J. F., & Araújo, A. A. S. (2012). Phytochemical screening, antinociceptive and anti-inflammatory activities of Chrysopogon zizanioides essential oil. *Brazilian Journal of Pharmacognosy, 22*(2), 443-450. https://doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000002

Phuthaprom, K., Rangchayanit, C., & Phalasai, P. (2014). *Effects of Thai massage on soft tissue stiffness and muscle flexibility* (Thesis's master). Faculty of Medical Technology, Khon Kaen University. Khon Kaen. (in Thai)

Pratipavanit, P. (2551). *Traditional massage difficult stylein difficult situation. The essence of pain management*. Bangkok: Amarin Printing and Publishing. (in Thai)

Prasert, R., Paungmali, A., & Uthaikhup, S. Pressure pain thresholds and psychological features in elders with chronic idiopathic neck pain. *Journal of Medical Technology and Physical Therapy, 25*(2), 203-211. (in Thai)

Prasopa, S. (2020). The effect of neck and shoulder massage combined with herbal compress on pain of Muscular pain in people with shoulder pain, scapula and nape of the neck from muscle pain syndrome and fascia of Patients in Na Mo Ma Subdistrict, Mueang District, Amnat Charoen Province. *National Academic Conference Dhurakij Pundit University*. Bangkok: Dhurakij Pundit University. (in Thai)

Sattayarom, C., Nitcharot, L. A., & Pieasue, N. (2014). Effect of aroma oil massage and herbal compression with analgesic drug on low back pain and electromyogram of muscle tension in persons with low back pain. *Journal of Phrapokklao Nursing College, 25*(2), 1-3. (in Thai)

Suay-ngarm, S., Nicharojana, L. O., & Arpanantiku, M. (2017). Effects of neck and shoulder massage combined with medication use on pain and electromyogram biofeedback in persons with neck and scapular pain associated with myofascial pain syndrome. *Journal of Phrapokklao Nursing College, 28*(2), 42-54. (in Thai)

การวิเคราะห์การจราจรคนเดินเท้าในสถานีรถไฟฟ้าแบบยกระดับ: กรณีศึกษาสถานีรถไฟฟ้าสยาม กรุงเทพมหานคร
Analysis of Pedestrian Traffic in Elevated Skytrain Station: A Case Study Siam BTS Station in Bangkok

สายชล ผลโพธิ์[1] และศุภรัชชัย วรรัตน์[2]*
Saichol Pholpho[1] and Suparatchai Vorarat[2]
[1]นักศึกษาปริญญาเอก วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
[1]Doctor of the College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University
[2]วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
[2]College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University
*Corresponding author E-mail: vorarat@dpu.ac.th
Received: August 16, 2023
Revised: October 7, 2023
Accepted: October 11, 2023

บทคัดย่อ

แนวโน้มของพลเมืองที่มีอัตราการเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของพื้นที่ไม่อาจขยายตัวออกได้ ส่งผลให้รถยนต์ส่วนบุคคลและระบบขนส่งสาธารณะทางถนนไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร ระบบขนส่งทางรางจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม ส่วนประกอบที่สำคัญของโครงการรถไฟฟ้าที่ช่วยให้โครงการมีประสิทธิภาพคือสถานีรถไฟฟ้าที่ใช้ในการจอดรับส่งผู้ใช้บริการ งานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการจราจรคนเดินเท้าในสถานีรถไฟฟ้าแบบยกระดับ โดยการใช้แบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งแบบจำลองสามารถแสดงผลโครงข่ายการจราจรและรูปแบบการเดินทางของคนเดินเท้าให้สอดคล้องกับพื้นที่จริงได้ โดยอาศัยข้อมูลนำเข้าที่ตรงกับสภาพพื้นที่จริง ให้ทราบถึงรูปแบบของชานชาลาแต่ละประเภททั้งแบบ 2 ชั้นและแบบ 3 ชั้น ที่มีรางรถไฟฟ้าอยู่กลางสถานีและแบบรางรถไฟฟ้าอยู่ริมสถานีที่มีจุดเด่นและจุดด้อยในการใช้เวลาเดินทางของผู้โดยสารภายในสถานีของแต่ละแบบ การวิจัยจะทำการศึกษาสถานีรถไฟฟ้าในแต่ละแบบเพื่อเปรียบเทียบให้ทราบถึงรูปแบบที่เหมาะสมในการใช้งาน โดยมีรูปแบบชานชาลาทั้งหมด 6 รูปแบบ และใช้สถานีสยามเป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลอง ทั้งจำนวนผู้โดยสารขนาดความกว้างและความยาวทำการจำลองด้วยแบบจำลอง (PTV VISSIM) โดยการจำลองการเดินทางภายในสถานีแบ่งเป็น 3 แบบ แบบที่ 1 เป็นการเดินลงจากชานชาลาเพื่อต่อรถขนส่งสาธารณะ แบบที่ 2 เป็นการเดินขึ้นชานชาลาเพื่อขึ้นรถไฟฟ้า และแบบสุดท้ายเป็นแบบผู้โดยสารเดินขึ้น-เดินลง นำแบบจำลองที่ได้มาปรับเทียบกับข้อมูลที่สำรวจจากสถานที่จริง ผลการวิจัยแบบที่ 1 เดินลงอย่างเดียว ชานชาลาแบบ 2 ชั้น รูปแบบที่ 1 และ ชานชาลาแบบ 3 ชั้นรูปแบบที่ 6 ใช้เวลาน้อยสุด แบบที่ 2 เดินขึ้นอย่างเดียว ชานชาลาแบบ 2 ชั้นรูปแบบที่ 1 และ ชานชาลาแบบ 3 ชั้นรูปแบบที่ 6 ใช้เวลาน้อยสุด แบบที่ 3 เดินขึ้น-ลง ชานชาลาแบบ 2 ชั้น รูปแบบที่ 2และชานชาลาแบบ 3 ชั้นเป็นรูปแบบที่ 5 ใช้เวลาน้อยสุด

คำสำคัญ: การจราจรคนเดินเท้า แบบจำลอง PTV VISSIM สถานีรถไฟฟ้า

Abstract

The trend of increasing rates of citizens making the area's density undependable has resulted in personal cars and public transportation systems on the road not being developed as well as they should, so the railway transportation system is an appropriate option. A critical component of the tram project that enables the project to be efficient is the tram station used to park the service user. This research aims to analyze and compare pedestrian traffic at elevated train stations. Using simulation models, the model can display traffic networks and travel patterns of pedestrians to be consistent with the actual area by using input data that matches the actual area conditions. Be aware of the layout of each type of platform, both a 2-story model and a 3-story model with electric train tracks in the middle of the station and electric train tracks at the edge of the station, which have strengths and weaknesses in the use of passenger travel time within the station of each type. The research will study each type of train station to compare the appropriate format for use, with a total of six platform formats, and use Siam Station as a model for modeling both passenger numbers and width. The length is simulated with a model (PTV VISSIM) by simulating travel within the station, divided into three types. Type 1 involves walking down from the platform to connect to public transportation. The second type involves walking up to the platform to board the electric train, and the last type involves passengers walking up and down. The obtained model compares with the data surveyed from the actual location. Research results: Type 1: walk down only 2-story platforms; Type 1: 3-level platforms; and Type 6: take the least time. Type 2: Walk-up only; 2-story platform, type 1, and 3-level platform, type 6, use the least time; type 3 walks up and down the 2-story platform, type 2, and the 3-story platform, type 5, takes the least time.

Keywords: pedestrian traffic, models, PTV VISSIM, skytrain station

บทนำ

แผนในการส่งเสริมการก่อสร้างการขนส่งพื้นฐานงานระบบการเดินทางขนส่งที่เชื่อมโยงของประเทศในอีก 10 ปี ข้างหน้า มุ่งเน้นการปรับเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งจากระบบพื้นราบไปสู่ขนส่งทางรางเนื่องจากเป็นโครงการมีต้นทุนของระบบการขนส่งต่อหน่วยไม่สูงมากและมีความสามารถในการขนส่งมวลชนได้จำนวนมากอีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงานและทำให้ลดการเกิดมลภาวะที่เกิดจากการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนตัวได้อย่างมีนัยสำคัญ รถไฟฟ้ายังใช้เป็นแม่แบบในการชี้นำการปรับปรุงเมืองโดยการปรับปรุงระบบรางจะปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัยอีกทั้งใช้แก้ปัญหาความหนาแน่นของผู้พักอาศัยที่กระจุกตัวเฉพาะในเขตศูนย์กลางเมือง ถือเป็นการช่วยยกระดับความเป็นอยู่ของผู้คนโดยรวม (Inpayung, 2016) โครงข่ายระบบรถไฟฟ้าในประเทศไทยที่ใช้กันปัจจุบันเป็นระบบขนส่งมวลชนทางรางในประเทศไทย เปิดให้ใช้เป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยกรุงเทพมหานครเป็นเมืองแรกที่มีระบบรถไฟฟ้า ต่อด้วยเมืองนนทบุรี สมุทรปราการ และปทุมธานี ตามลำดับระบบการให้บริการทางรางเป็นระบบเดินทางที่มีประสิทธิภาพมีบทบาทสำคัญการแก้ไขการจราจรในเมืองขนาดใหญ่ที่เป็นจุดศูนย์รวมการปกครอง การศึกษา และการคมนาคมขนส่ง (The Mass Rapid Transit network in

Thailand, 2010) ดังนั้นระบบขนส่งทางรางจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม ส่วนประกอบที่สำคัญของโครงการรถไฟฟ้าที่ช่วยให้โครงการมีประสิทธิภาพ คือ สถานีรถไฟฟ้าที่ใช้ในการจอดรับส่งผู้ใช้บริการ การออกแบบสถานีรถไฟฟ้าออกแบบโดยคำนึงถึงให้หลบเลี่ยงสาธารณูปโภคใต้ดินและบนดิน และรักษาสภาพผิวจราจรบนถนนมากที่สุด โดยทั่วไปออกแบบจะมีโครงสร้างชนิดเสาเดี่ยวตั้งอยู่บริเวณบนเกาะกลาง เช่นเดียวกับโครงสร้างของทางวิ่งโดยทั่วไปโดยมีระยะห่างของแต่ละสถานีอยู่ที่ประมาณ 850-1,100 เมตร (BTS E-Library, 2020) โครงสร้างสถานีมีความยาวประมาณ 150 เมตร รูปแบบของสถานีแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบประกอบด้วย

1. ชานชาลาเกาะกลาง (island platform) มีลักษณะที่ชานชาลาตั้งอยู่ตรงกลาง โดยมีรางรถไฟขนาบอยู่สองข้าง การก่อสร้างรูปแบบลักษณะนี้ค่อนข้างซับซ้อน คือ ต้องใช้รางรถไฟคู่เบี่ยงแยกออกจากกันแต่มีการใช้งานได้คล่องตัวเพราะสะดวกในการเปลี่ยนขบวนรถหรือเปลี่ยนเส้นทางอาจไม่เหมาะกับสถานีที่มีผู้โดยสารพลุกพล่านหรือผู้โดยสารสูงทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับโดยผู้โดยสารทั้งสองทิศทางจะใช้พื้นที่ร่วมกันและเกิดความสับสนในชั่วโมงเร่งด่วนได้

2. ชานชาลาแบบข้าง Side Platform Station มีลักษณะชานชาลาอยู่ทั้งสองฝั่งโดยรถไฟฟ้าวิ่งอยู่ตรงกลาง โดยทั่วไปได้ออกแบบให้มีลักษณะแบบนี้ เนื่องจากทำการสร้างได้อย่างรวดเร็วและใช้เนื้อที่ทำงานน้อย ใช้ในสถานีรถ BTS ทั่วไปยกเว้นสถานีสยาม สถานีสำโรง สถานีห้าแยกลาดพร้าวและสถานีวัดพระศรีฯ

3. ชานชาลาต่างระดับหรือชานชาลาซ้อนกัน (split platform) ลักษณะสถานีรถไฟฟ้าซึ่งมี 2 ชานชาลาอยู่คนละระดับ การก่อสร้างชานชาลาลักษณะนี้ซับซ้อนยุ่งยากต้องใช้รางรถไฟฟ้าคู่ โดยลดและเพิ่มระดับออกจากกันจะใช้ชานชาลาแบบนี้ในกรณีที่ไม่มีพื้นที่ในการก่อสร้างเพียงพอ เนื่องจากมีระบบสาธารณูปโภคใต้ดินบังคับเช่นมีสถานีรถไฟฟ้าอยู่ใต้ดิน มีข้อจำกัดจากท่ออุโมงค์ส่งน้ำเสาเข็มยาวของสะพานลอยและอาคารสูง สถานีรถไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้ระบบขนส่งเกิดการลื่นไหลคล่องตัว (Parthiban & Archana, 2020) ช่วยไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโควิด 19 ที่เกิดจากการแออัดยัดเยียดของการขึ้นและลงของผู้โดยสาร (Sun et al., 2021) อีกทั้งยังเกิดการคล่องตัวยามเกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้ในสถานี (Lo & Wang, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับปัจจุบันในชั่วโมงเร่งด่วนของวันทำงานการระบายผู้โดยสารเป็นไปด้วยความล่าช้า

งานวิจัยนี้ ได้มีการนำซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองคนเดินเท้าจำลองการจราจรคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าโดยซอฟต์แวร์ที่จะนำมาใช้คือซอฟต์แวร์ PTV VISSIM ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้จำลองสถานการณ์ของการจราจรคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าในรูปแบบ 3 มิติ โดยจะสามารถสร้างเป็นแบบจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ อาศัยสิ่งอำนวยความสะดวกของคนเดินและสิ่งกีดขวางเพื่อช่วยตรวจสอบการทำงานของระบบจราจรของคนเดินเท้าในสถานการณ์ต่าง ๆ ให้มีสถานการณ์ที่ใกล้เคียงของจริง

Srithaso and Karunsunthawong (2021) ผู้วิจัยใช้ PTV VISSIM จำลองสถานการณ์ 2 รูปแบบ เพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสม โดยงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์รูปแบบปัจจุบันเปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 และทำการวัดผลโดยใช้ตัวชี้วัด คือ ผลรวมของเวลาในแถวคอยเฉลี่ย (Petchan & Karoonsoontawong, 2020)

ขอบเขตการศึกษาวิจัย

ผู้วิจัยได้ใช้สถานีรถไฟฟ้าสยามเป็นสถานีอ้างอิงโดยมีขนาดและส่วนประกอบภายในเหมือนกับสถานีสยามและเปลี่ยนแปลงชานชาลาและรางวิ่งตามรูปแบบได้กำหนดไว้ทั้ง 6 แบบ เพื่อให้การเปรียบเทียบของสถานีแต่ละแบบมีความใกล้เคียงกัน เส้นทางการเดินของผู้โดยสารภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าเป็นการจำลองเส้นทางที่ผู้โดยสารเดินภายในสถานี การตัดสินเลือกใช้บริการที่จุดต่าง ๆ เช่น ตู้ขายบัตรโดยสารอัตโนมัติหรือห้องขายบัตรโดยสาร บันไดหรือบันไดเลื่อน และเกท เป็นต้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

เมื่อผู้โดยสารเดินทางเข้ามาในสถานี (A01) จะต้องเลือกเส้นทาง (B01) ว่า จะเดินไปซื้อบัตรโดยสารที่ห้องขายบัตรโดยสารหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะเดินไปยังห้องขายบัตรโดยสาร (C01) แต่ถ้าไม่จะเดินไปที่เครื่องขายบัตรโดยสารอัตโนมัติ (C02) เมื่อผู้โดยสารซื้อบัตรโดยสารเสร็จแล้วก็

จะต้องเลือกเส้นทาง (B02) ว่า จะเดินไปเครื่องตรวจบัตรโดยสารอัตโนมัติที่ 1 (D01) หรือเครื่องตรวจบัตรโดยสารอัตโนมัติที่ 2 (D02) หรือเครื่องตรวจบัตรโดยสารอัตโนมัติที่ 3 (D03) เมื่อเดินผ่านเครื่องตรวจบัตรโดยสารเข้ามาแล้ว ผู้โดยสารจะเลือกเส้นทาง (B03) ว่า จะเดินขึ้นบันได (E01) หรือบันไดเลื่อน (E02) หรือลิฟต์ (E03) จากนั้นผู้โดยสารก็จะเดินไปยังจุดรอรถไฟฟ้าที่ระดับสำหรับรถไฟฟ้าจอดรับ–ส่งผู้โดยสาร (F01) ดังแสดงในภาพ 1

เมื่อผู้โดยสารลงจากรถไฟฟ้า (G01) ต้องเลือกเส้นทาง (B01) ว่า เลือกจะลงบันได (E01) หรือลงบันไดเลื่อน (E02) หรือลงลิฟต์ (E03) จากนั้น ผู้โดยสารจะเลือกเส้นทาง (B02) เลือกว่า จะออกจากสถานีที่ประตูทางออกที่ 1 (H01) หรือประตูทางออกที่ 2 (H02) หรือทางออกที่ 3 (H03) หรือทางออกที่ 4 (H04) เมื่อผู้โดยสารเลือกเส้นทางได้แล้วจึงเดินไปยังฝั่งที่จะออก

แล้วจึงตัดสินใจ (B03) เลือกว่า จะแลกบัตรโดยสารที่เครื่องตรวจบัตรโดยสารที่ 1 (I01) หรือเครื่องตรวจบัตรโดยสารที่ 2 (I02) หรือเครื่องตรวจบัตรโดยสารที่ 3 (I03) เมื่อแลกบัตรโดยสารเสร็จแล้วผู้โดยสารจึงเดินไปยังทางออกที่ต้องการ และจะต้องตัดสินใจ (B04) ว่าจะลงบันได (E01) ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะเดินลงบันได แต่ถ้าไม่ก็จะเดินลงบันไดเลื่อน (E02) หรือใช้ลิฟต์ (E03) แล้วจึงออกจากสถานี (J01) ดังแสดงในภาพ 2

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสม มีการจราจรภายในที่ลื่นไหลคล่องตัว ผู้ใช้บริการไม่แออัดยัดเยียด

2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบให้ได้รูปแบบที่ดีที่สุดใช้งานได้คล่องตัว

3. เพื่อศึกษาข้อดีและข้อเสียของสถานีรถไฟฟ้าแต่ละรูปแบบ

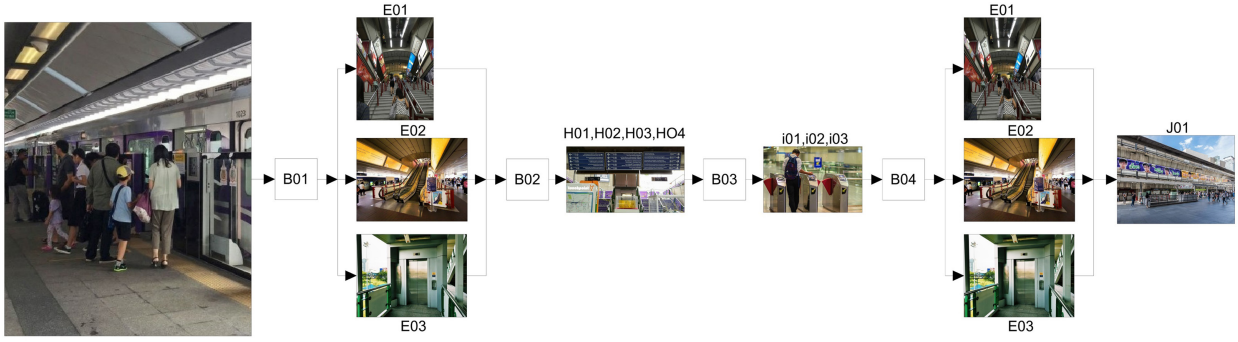
แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจำลองสถานการณ์ (simulation) เป็นการจำลองเหตุการณ์ วิธีการหรือระบบงานต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีการเก็บข้อมูลและทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่เหมาะสมเนื่องจากในการทำงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้ การจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการวิจัยงานเชิงระบบเนื่องจากสามารถวัดค่าผลกระทบเชิงปริมาณ

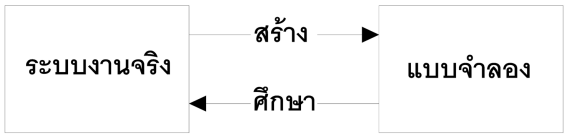
แนวคิดและทฤษฎีแบบจำลอง

การจำลอง (simulation) เป็นการหาคำตอบที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง เนื่องจากเทคนิคการจำลองสถานการณ์มีการปรับเปลี่ยนได้สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคในการหาคำตอบอื่น ๆ การจำลองระบบ หมายถึงกระบวนการออกแบบตัวแบบจำลอง (model) ของระบบงานจริง แล้วทำการทดลองใช้ต้นแบบจำลองนั้น เพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างระบบงานจริงกับแบบจำลองดังแสดงในภาพ 3

ภาพ 1 เส้นทางเดินเข้าใช้บริการของผู้โดยสาร



ภาพ 2 เส้นทางการเดินออกจากสถานีของผู้โดยสาร



ภาพ 3 การทดลองด้วยการจำลอง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการการจราจรคนเดินเท้า ประกอบด้วย

คนเดิน (pedestrian) คือ คนที่เดินทางเคลื่อนที่ด้วยเท้าไปยังสถานที่ต่าง ๆ โดยไม่ใช้เครื่องทุ่นแรงหรือยานพาหนะ ทุกคนมีการเลือกการเดินทางที่จะไปหรือความเร็วในการเดินต่างกันไปตามองค์ประกอบและความต้องการของแต่ละคน โดยจะหลบสิ่งกีดขวางเพื่อให้ไปถึงยังจุดหมายให้เร็วที่สุด เช่น กลุ่มคนเดินเท้าด้วยกันเอง กลุ่มคนเดินที่เคลื่อนที่สวนทางกัน และกลุ่มคนเดินมีความเร็วในการเคลื่อนที่น้อยกว่าตัวคนเดิน

ความเร็วสำหรับคนเดิน (pedestrian speed) คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย โดยปกติคนเดินจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่อยู่ที่ 0.9-1.4m/s

ความหนาแน่นสำหรับคนเดิน (pedestrian density) การวัดจำนวนของคนเดินต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่การบริการลดลง โดยเก็บข้อมูลได้ โดยการวัดจำนวนของพื้นที่ของทางเดินและสิ่งอำนวยความสะดวกในพื้นที่ตัวอย่าง จากนั้นทำการกำหนดจำนวนสูงที่สุดของคนเดินที่จะทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลในช่องตามระยะเวลาที่กำหนด

อัตราการไหลของคนเดิน (pedestrian flow rate) เป็นปริมาณที่คนเดินผ่านพื้นที่หนึ่งต่อหน่วยเวลา ซึ่งมีจุดที่กำหนดเป็นเส้นตั้งฉากกับความกว้างของทางเดิน การหาการคล่องตัวของคนเดินจะแบ่งเป็นช่องละ 15 นาที ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์การคล่องตัว เพื่อหาค่าการไหลของคนเดินสูงสุดที่ 15 นาที

ความต้องการพื้นที่ในการเดินทางของคนเดินเท้า (pedestrian space) คือ พื้นที่ที่คนเดินใช้ในการเดินของแต่ละคน คนทุกคนต้องการใช้พื้นที่ในการยืนและการเดิน โดยคนแต่ละคนต้องการพื้นที่ในการเดินเฉลี่ยน้อยสุดเมื่อยืนเป็นรูปวงรี โดยพื้นที่ที่คนเดินใช้ในการเดินแล้วสะดวกสบายที่สุดประมาณ 0.65–0.93 m/ped (Noiruen, 2020)

แนวคิดและพฤติกรรมแบบจำลอง

การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเป็นพฤติกรรมที่อยู่ภายใต้แรงกระทำรอบข้าง (social force) โดยที่แรงกระทำรอบข้างเกี่ยวข้องกับควบคุมพฤติกรรมการเดินของคนซึ่งไม่สามารถคาดเดาได้ มีลักษณะเป็นปัจเจกต่อกันหรืออิสระต่อกัน คนเดินเท้าในระบบต่างมีอิทธิพลต่อกัน และปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา (Petchan & Karoonsoontawong, 2020) โดยแรงกระทำรอบข้างนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งเป็นแรงอันเนื่องมาจากปัจจัยแวดล้อมของคนเดินเท้าขณะนั้น เช่น ระยะห่างกับคนรอบข้าง ระยะห่างระหว่างอุปสรรคสิ่งกีดขวาง หรือแรงดึงดูดจากคนรอบข้างในระบบ รวมไปถึงเป้าหมายที่ต้องการเดินทางของคนเดินเท้าด้วย ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการเดินของคนเดินเท้านั้นประกอบด้วย ความเร็วของคนเดินเท้า (velocity) แรงกระทำรอบข้าง (social force) เวลาผ่อนคลาย(relaxation time) ผลจากการดึงดูด (attraction effect) เป็นต้น

แนวคิดและทฤษฎีแถวคอยการเกิดคิว (queuing) หรือแถวคอย (waiting lines) เป็นสิ่งที่พบเห็นได้เสมอในระบบงานต่าง ๆ และในชีวิตประจำวัน เช่น ต่อแถวเพื่อซื้อตั๋วชมภาพยนตร์ การติดต่อเกี่ยวกับการเงินกับธนาคาร เป็นต้น ซึ่งล้วนเป็นสิ่งที่ทุกคนมีความคุ้นเคยและตอบรับกับการรอคิวในแถวคอยเสมอ แม้ว่าจะมีความไม่สะดวกสบายเกิดขึ้นสำหรับการรอคอยที่ใช้เวลานาน ทฤษฎีแถวคอย (queuing theory) เป็นการศึกษาการรอคอยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหรือระบบงานที่สนใจ โดยดำเนินการสร้างตัวแบบแถวคอยที่เหมาะสมเป็นตัวแทนของระบบแถวคอยต่าง ๆ ที่มีความเป็นไปได้ โดยที่สูตรที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในแต่ละตัวแบบจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของแถวคอยที่เหมาะสมที่สุดภายใต้สถานการณ์นั้น ๆ ที่เกิดขึ้นจริง (Khatiyasoontron & Kronpraser, 2019) กระบวนการรอคอยจะประกอบด้วย เหตุการณ์หลาย ๆ อย่างรวมกัน เช่น การมาถึง (arrivals) ของผู้เข้ามาใช้บริการ การเข้าแถวเพื่อรอรับบริการ การเข้าใช้บริการ และการจากไป โดยที่วิธีการจะเริ่มต้นจากการที่มีผู้เข้ามาใช้บริการ (call population) หรือที่เรียกว่า “ลูกค้า” โดยเข้ามาในระบบของแถวคอยเพื่อมารอรับบริการ ซึ่งถ้าหน่วยให้บริการว่าง (service mechanism) ผู้ที่มารอรับบริการก็จะได้รับบริการทันทีจนเสร็จแล้วจึงออกไปจากระบบแถวคอย แต่ถ้าหน่วยให้บริการกำลังให้บริการลูกค้าคนอื่นอยู่ ผู้เข้ามาใช้บริการที่เข้ามาใหม่ก็จะต้องเข้าแถวคอย (queue) เพื่อรอรับบริการตามลำดับ สำหรับพวกที่อยู่ในแถวคอยจะได้บริการตามกฎระเบียบของการให้บริการแถวคอย (queue discipline) นั้น ๆ ซึ่งระบบแถวคอยโดยทั่ว ๆ ไปจะประกอบด้วยประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ลูกค้าหรือผู้เข้ามาใช้บริการ แถวคอย หน่วยให้บริการหรือผู้ให้บริการ เมื่อนำปัจจัยทั้ง 3 ส่วนมารวมกัน สามารถเขียนเป็นโครงสร้างของระบบแถวคอยได้ ดังแสดงภาพ 4

ลูกค้าหรือผู้เข้ามาใช้บริการ ลักษณะสำคัญที่เกี่ยวข้องกับลูกค้า คือ จำนวนประชากร และลักษณะการเข้ามารับบริการแถวคอย ลักษณะสำคัญที่สัมพันธ์กับแถวคอย คือ ความยาวของแถวคอย และรูปแบบการจัดระบบแถวคอย หน่วยให้บริการ ลักษณะสำคัญที่เกี่ยวกับหน่วยให้บริการ ได้แก่ ระเบียบการใช้งานและลักษณะการใช้งาน

แบบจำลองการจราจรคนเดินระดับจุลภาค (microscopic pedestrian traffic simulation) แบบจำลองการจราจรสามารถพัฒนาโครงข่ายการจราจรสำหรับคนเดินและจำลองพฤติกรรมต่าง ๆ ของคนเดินให้สอดคล้องกับพื้นที่จริง ในส่วนการวิจัยนี้ได้เลือกแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคด้วยซอฟต์แวร์ PTV VISSIM เป็นซอฟต์แวร์แบบจำลองระดับจุลภาคที่ถูกพัฒนาเพื่อใช้จำลองพฤติกรรมสำหรับคนเดินเท้า ซอฟต์แวร์ PTV VISSIM เป็นโปรแกรมจำลองด้านการจราจรในเครือ PTV GROUP สำหรับ PTV VISSIM ใช้ในการจำลองลักษณะของคนเดินที่ให้ความเสมือนจริงและมีการแสดงผลที่มีประสิทธิภาพที่ถูกต้องและมีคุณสมบัติที่หลากหลายสามารถยืดหยุ่นตามสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริง (Kirimatthong, Pitchayapan & Kornprasert, 2020)

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบสถานี ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ต้นแบบจากสถานีรถไฟฟ้า BTS สยาม โดยใช้ขนาดความกว้างยาวของสถานีนำมาทำแบบจำลองการจราจรภายในสถานี โดยความยาวอยู่ที่ 192 เมตร และความกว้างอยู่ที่ 25 เมตร มีทั้งหมด 6 รูปแบบ มีทั้งแบบ 2 ระดับและแบบ 3 ระดับ ดังแสดงในตาราง 1

รูปแบบที่ 1 (T-1) ประกอบด้วยชั้นที่ 1 ระดับจำหน่ายบัตรโดยสาร ชั้นที่ 2 เป็นระดับชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้าน ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในภาพ 5-6

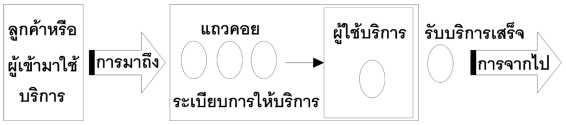
รูปแบบที่ 2 (T-2) ประกอบด้วยชั้นที่ 1 ระดับจำหน่ายบัตรโดยสาร ชั้นที่ 2 เป็นระดับชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน ดังแสดงในภาพ 7-8

รูปแบบที่ 3 (T-3) ประกอบด้วยชั้นที่ 1 ระดับจำหน่ายบัตรโดยสาร ชั้นที่ 2 เป็นระดับชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน ชั้นที่ 3 เป็นระดับชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้านชาน ชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในภาพ 9-11

รูปแบบที่ 4 (T-4) ประกอบด้วยชั้นที่ 1 จำหน่ายบัตรโดยสาร ชั้นที่ 2 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้าน ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง ชั้นที่ 3 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน ดังแสดงในภาพ 12-14

รูปแบบที่ 5 (T-5)ประกอบด้วยชั้นที่ 1 จำหน่ายบัตรโดยสาร ชั้นที่ 2 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน ชั้นที่ 3 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน ดังแสดงในภาพ 15-17

แบบที่ 6 (T-6) ประกอบด้วยชั้นที่ 1 จำหน่ายบัตรโดยสาร ชั้นที่ 2 เป็นระดับชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้าน ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง ชั้นที่ 3 เป็นระดับชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้าน ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในภาพ 18-20

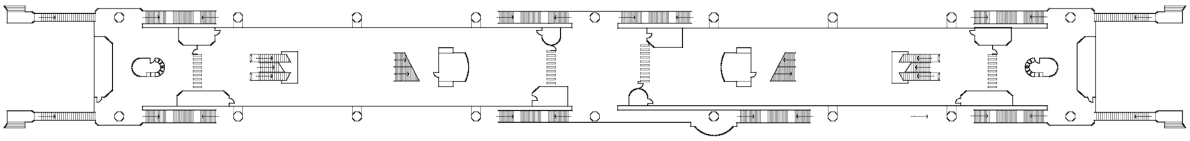


ภาพ 4 โครงสร้างพื้นฐานระบบแถวคอย

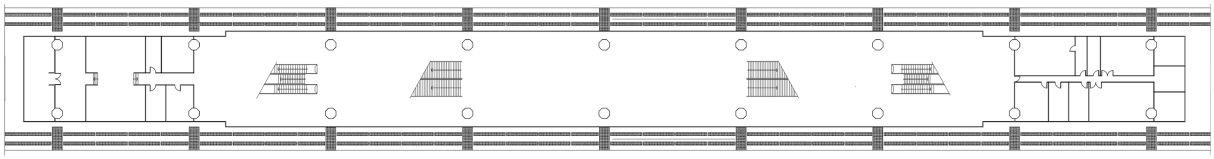
ตาราง 1

รูปแบบชานชาลา

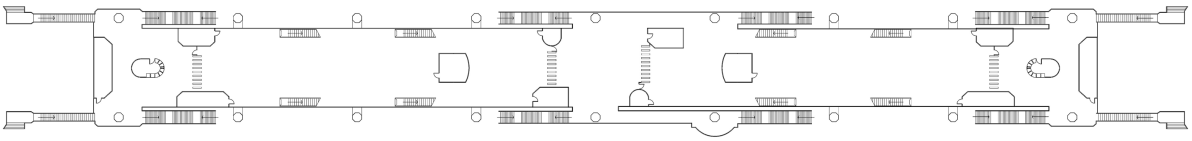
รูปแบบ	ลักษณะชานชาลา	อักษรย่อ
รูปแบบที่ 1	มีจำนวน 2 ชั้น ชั้นที่ 1 ชั้นจำหน่ายตั๋ว ชั้นที่ 2 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้าน ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง	T-1
รูปแบบที่ 2	มีจำนวน 2 ชั้น ชั้นที่ 1 จำหน่ายตั๋ว ชั้นที่ 2 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน	T-2
รูปแบบที่ 3	มีจำนวน 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ชั้นจำหน่ายตั๋ว ชั้นที่ 2 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน ชั้นที่ 3 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสอง ด้านชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง	T-3
รูปแบบที่ 4	มีจำนวน 3 ชั้น ชั้นที่ 1 จำหน่ายตั๋ว ชั้นที่ 2 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้าน ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง ชั้นที่ 3 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน	T-4
รูปแบบที่ 5	มีจำนวน 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ชั้นจำหน่ายตั๋ว ชั้นที่ 2 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน ชั้นที่ 3 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ริมทั้งสองด้าน	T-5
รูปแบบที่ 6	มีจำนวน 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ชั้นจำหน่ายตั๋ว ชั้นที่ 2 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้าน ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง ชั้นที่ 3 เป็นชั้นชานชาลารางรถไฟฟ้าอยู่ริมทั้งสองด้าน ชานชาลาสำหรับขึ้นลงอยู่ตรงกลาง	T-6



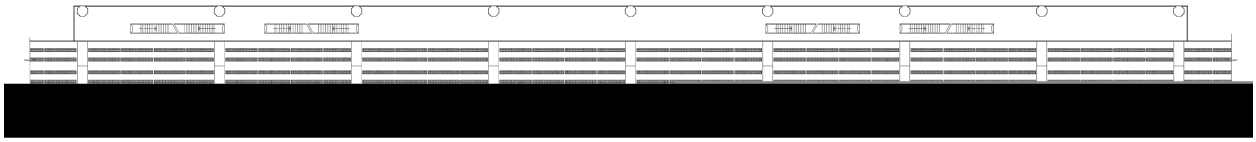
ภาพ 5 (T-1) ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร



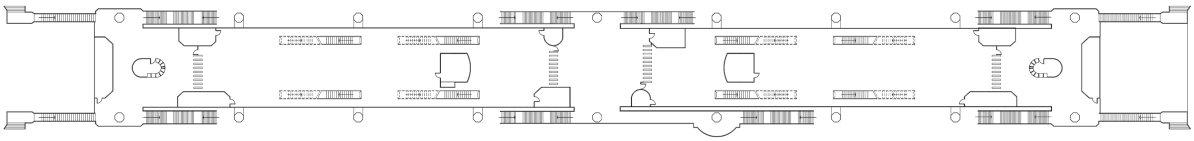
ภาพ 6 (T-1) ชานชาลาชั้นที่ 2 (ชาลาอยู่กลาง รางรถไฟอยู่ริม)



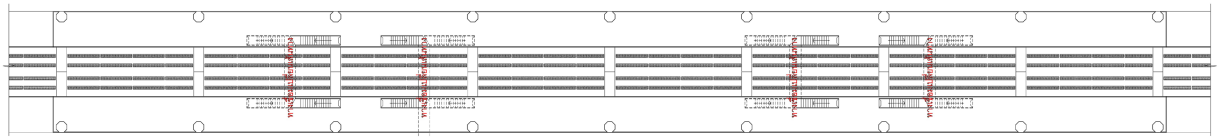
ภาพ 7 (T-2) ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร



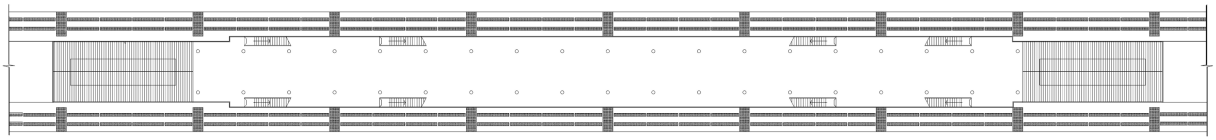
ภาพ 8 (T-2) ชานชาลาชั้น 2 (ชานชาลาอยู่ริม รางรถไฟอยู่กลาง)



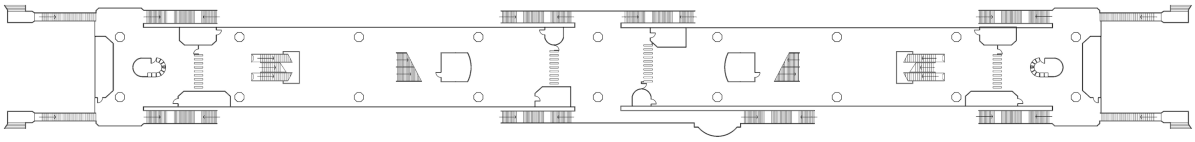
ภาพ 9 (T-3) ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร



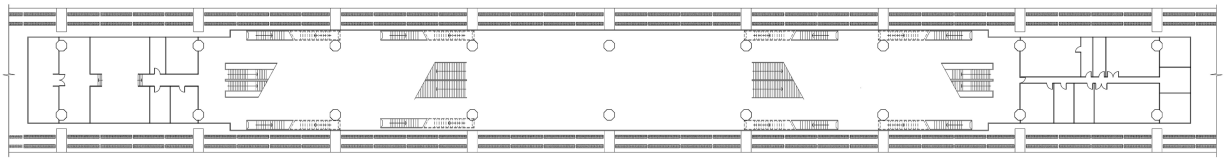
ภาพ 10 (T-3) ชานชาลาชั้น 2 (ชานชาลาอยู่ริม รางรถไฟอยู่กลาง)



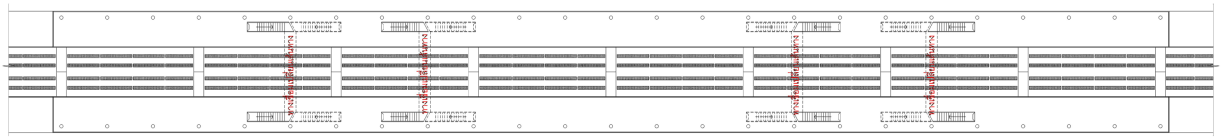
ภาพ 11 (T-3) ชานชาลาชั้น 3 (ชานชาลาอยู่กลาง รางรถไฟอยู่ริม)



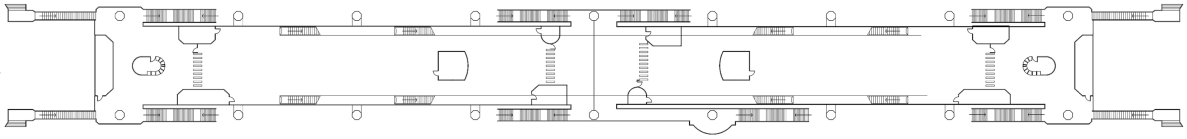
ภาพ 12 (T-4) ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร



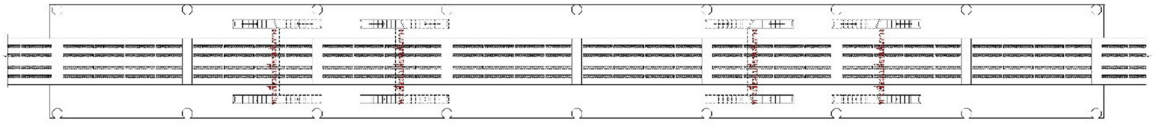
ภาพ 13 (T-4) ชานชาลาชั้น 2 (ชานชาลาอยู่กลาง รางรถไฟอยู่ริม)



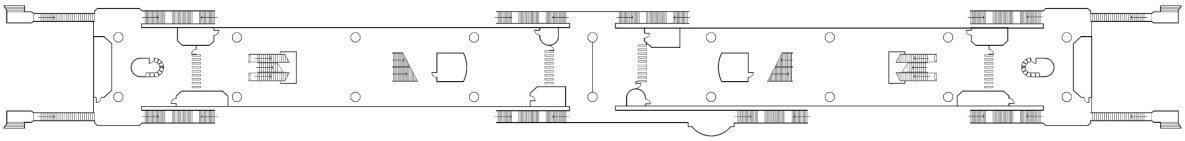
ภาพ 14 (T-4) ชานชาลาชั้น 3 (ชานชาลาอยู่ริม รางรถไฟอยู่กลาง)



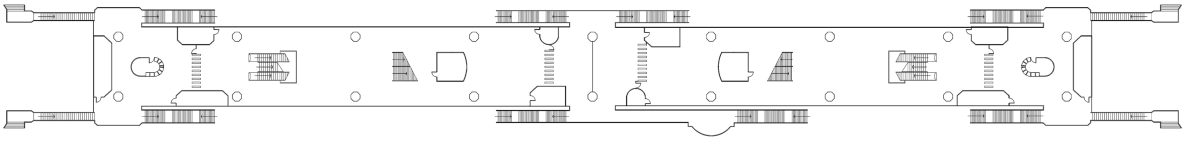
ภาพ 15 (T-5) ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร



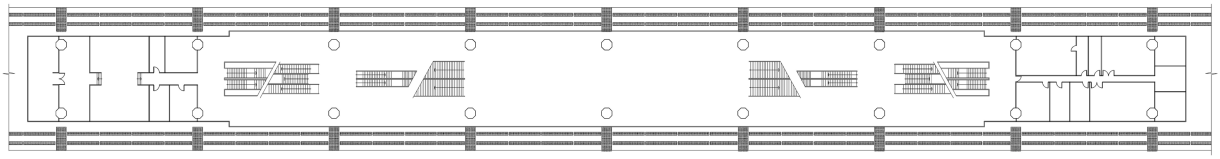
ภาพ 16 (T-5) ชานชาลาชั้น 2 (ชานชาลาอยู่ริม รางรถไฟอยู่กลาง)



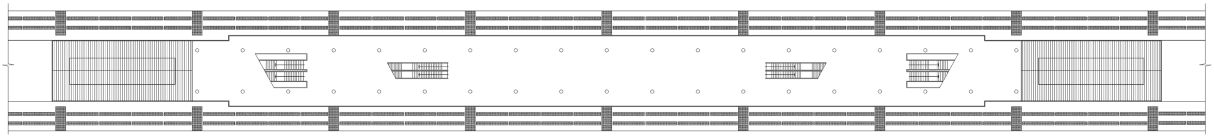
ภาพ 17 (T-5) ชานชาลาชั้น 3 (ชานชาลาอยู่ริม รางรถไฟอยู่กลาง)



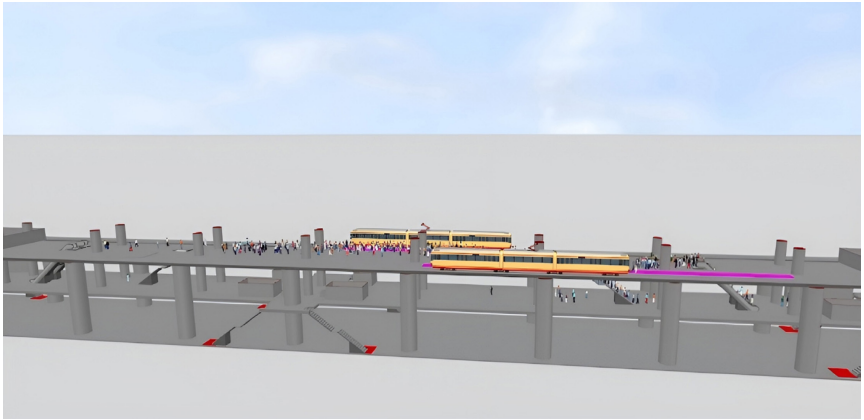
ภาพ 18 (T-6) ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร



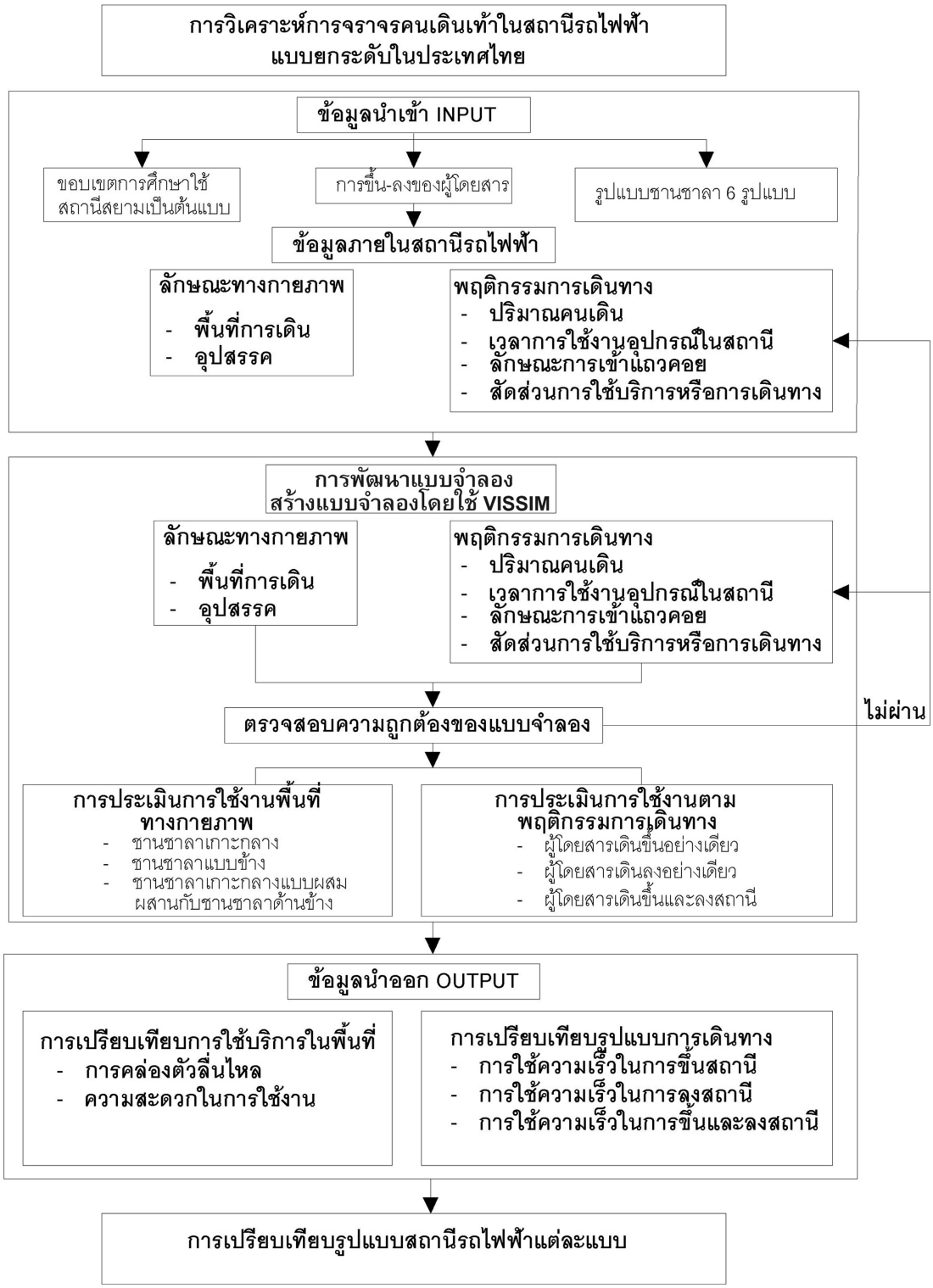
ภาพ 19 (T-6) ชานชาลาชั้น 2 (ชานชาลาอยู่กลาง รางรถไฟอยู่ริม)



ภาพ 20 (T-6) ชานชาลาชั้น 3 (ชานชาลาอยู่กลาง รางรถไฟอยู่ริม)



ภาพ 21 แบบจำลองที่สร้างในซอฟแวร์ PTV VISSIM



ภาพ 22 ขั้นตอนการศึกษา

การพัฒนาแบบจำลอง

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบจำลองการเดินทางด้วยซอฟแวร์ PTV VISSIM และข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการเดินทางภายในสถานีรถไฟฟ้า และนำผลการวิเคราะห์มาทำการเปรียบเทียบ ขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลอง การดำเนินการของการให้บริการช่องทางจำหน่ายบัตรโดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าได้แบ่งขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลอง นำเข้าข้อมูล ขั้นตอนการพัฒนาลักษณะทางกายภาพในแบบจำลองลักษณะทางกายภาพในการสร้างแบบจำลองคนเดินภายในสถานีรถไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ พื้นที่คนเดิน (areas/ pedestrian areas) เป็นพื้นที่สามารถเดินได้ โดยมีความกว้างของพื้นที่ในการเดินไม่น้อยกว่า 0.4 เมตร อุปสรรค (obstacles) เป็นสิ่งกีดขวางในการเดินทางของคนเดินในแบบจำลอง ซึ่งไม่สามารถเดินผ่านได้ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม PTV VISSIM สำหรับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์คนเดินเท้าโดยการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเป็นพฤติกรรมที่อยู่ภายใต้แรงทางสังคม (social force) คนเดินเท้าภายในระบบต่างมีอิทธิพลต่อกัน จากแรงทางด้านสังคม (social force) แรงทางด้านจิตวิทยา (psychological force) และแรงทางด้านกายภาพ (physical force) รวมกันเป็นพลังงานรวม (total force) เรียกว่า แบบจำลองทางสังคม (social force model) ซึ่งเป็นแนวคิดของ Dirk Helbing (Helbing et al., 1995) และด้วยความสามารถของโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง จึงง่ายต่อการจำลองและการวิเคราะห์คนเดินในสถานการณ์ต่าง ๆ การพัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ถึงสภาพปัญหาของระบบขั้นตอนการสร้างแบบจำลองจึงมีความสำคัญ ตัวแบบจำลองจะต้องสามารถวัดผลได้จริงเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลได้ การปรับเทียบแบบจำลอง การปรับเทียบแบบจำลองนั้นเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากในการทำแบบจำลองโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรบางตัวในแบบจำลองเพื่อทำให้ผลลัพธ์มีค่าที่ใกล้เคียงเสมือนจริงกับค่าที่ได้จากการไปสำรวจข้อมูล โดยการนำผลลัพธ์เหล่านั้นมาทำการสอบเทียบกับข้อมูลแบบจำลองของระบบโดยผลลัพธ์นั้น ๆ จะต้องผ่านเกณฑ์ที่ใช้ในการปรับเทียบเพื่อที่สามารถยอมรับได้ว่าแบบจำลองสามารถอ้างอิงระบบในโลกความจริงได้ หลังจากนั้นจึงจะสามารถนำแบบจำลองเหล่านั้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์อื่น ๆ ต่อไป โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสอบเทียบเวลาของคนเดินในทางเดินปกติ เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง เกณฑ์ที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองนั้นจะนำหลักการทางสถิติมาช่วยในการหาผลลัพธ์ที่มีความเหมาะสมของแบบจำลองนั้น ๆ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการประเมินผลด้วย MAD MSE และ MAPE

ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation--MAD) เป็นการวัดค่าความผิดพลาดสมบูรณ์เฉลี่ยเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ที่วัดความผิดพลาดในหน่วยเดียวกันกับข้อมูลอนุกรมเวลา มีรูปแบบสมการดังนี้

$$\mathrm{MAD} = \frac{\sum_{t=1}^{n} |A_t - F_t|}{n} \qquad (1)$$

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error--MSE) เป็นวิธีวัดความแม่นยำโดยแก้ปัญหาวิธีค่าเฉลี่ยความผิดพลาด โดยพิจารณาระหว่างความแตกต่างข้อมูลสำรวจกับแบบจำลองโดยวิธียกกำลังสองรูปแบบสมการดังนี้

$$\mathrm{MSE} = \frac{\sum_{t=1}^{n} (A_t - F_t)^2}{n} \qquad (2)$$

ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error--MAPE) เป็นวิธีวัดความแม่นยำโดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์โดยไม่คำนึงถึงค่าผลลัพธ์ที่ได้ต่ำมีความแม่นยำ

$$\mathrm{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} \times 100 \qquad (3)$$

โดยที่

Ft = ค่าที่ได้จากการสำรวจ

At = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

n = จำนวนข้อมูล

ค่าที่ได้จากการเดินในทางเดินปกติจากการสำรวจที่สถานีรถไฟฟ้าสยามโดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 120 ตัวอย่าง ได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูลในวันทำงาน จันทร์-ศุกร์ ช่วงเวลา 06.30-08.30 น.และ 17.00-19.30 น.ซึ่งเป็นชั่วโมงเร่งด่วนของผู้โดยสารใช้บริการหนาแน่นและนำข้อมูลการสำรวจที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยความเร็วของ

คนเดิน MAD MSE และ MAPE มาทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อให้ได้ค่าที่ยอมรับได้ในการปรับพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์ให้เกิดความเสมือนจริงของการเคลื่อนที่ในแบบจำลองดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2

ตารางแสดงการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าระยะเวลาการเดินในทางเดินปกติจากการสำรวจ

เพศ	สำรวจ	Model	MAD	MSE	MAPE
ชาย	121 (m/s)	122 (m/s)	0.047	0.003	3.880
หญิง	118 (m/s)	119 (m/s)	0.047	0.004	4.030
ชาย & หญิง	119 (m/s)	120 (m/s)	0.023	0.002	1.940

ผลการวิจัย

ความแออัดยัดเยียดของสถานีรถไฟฟ้าในชั่วโมงเร่งด่วนของวันทำงานสิ่งที่จะช่วยบรรเทาปัญหา คือ การระบายผู้โดยสารให้ลื่นไหลสถานีรถไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้การจราจรภายในเกิดการคล่องตัวการใช้ซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ได้เห็นการจราจรภายในหลายมิติตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ความคล่องตัวของการจราจร การเปรียบเทียบรูปแบบต่าง ๆ และข้อเสียของแต่ละรูปแบบผ่านการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบการเคลื่อนไหวเสมือนจริง จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือประสิทธิภาพการจราจรคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าแต่ละรูปแบบที่มีการสัญจรภายในที่ลื่นไหลและถึงที่จุดหมายได้อย่างรวดเร็ว โดยการกำหนดการเดินทางของผู้โดยสารเป็นแบบที่ 1 กำหนดให้ผู้โดยสารเดินลงรถไฟฟ้าอย่างเดียวถ้าเป็นแบบชานชาลา 2 ชั้นจะมีผู้โดยสารลงจากรถไฟฟ้าชั้นบนเพื่อลงต่อรถสาธารณะที่ชั้นล่างในขณะเดียวกันถ้าเป็นแบบ 3 ชั้นจะมีผู้โดยสารลงจากรถไฟฟ้าชั้นที่ 3 เพื่อมาต่อรถไฟฟ้าที่ชั้น 2 หรือลงชั้นล่างเพื่อต่อรถสาธารณะซึ่งจะทำให้การจราจรไปในทิศทางเดียวกันเกิดความลื่นไหล สำหรับแบบที่ 2 กำหนดให้ผู้โดยสารขึ้นรถไฟฟ้าอย่างเดียวผู้โดยสารจะขึ้นจากระดับล่างและระดับที่ 2 ที่เป็นจุดจอดรถขนส่งสาธารณะและจุดจอดรถรถไฟฟ้าเพื่อมาขึ้นรถไฟฟ้าในชั้นที่ 2-3 และแบบที่ 3 กำหนดให้ผู้โดยสารขึ้นและลงรถไฟฟ้าตามการใช้งานจริง โดยจะมีการขึ้นและลงตามการใช้งานจริงผลการทดลองที่ได้แสดงรายละเอียด ดังนี้

แบบที่ 1 ผู้โดยสารจะเดินลงอย่างเดียวจากรถไฟฟ้าที่จุดจอดชั้นที่ 2-3 จนถึงจุดปลายทางที่จุดรอรถประจำทางระดับล่าง หรือต่อรถไฟฟ้าที่ชั้นที่ 2 ผลการทดลองที่ได้แสดงในตาราง 3

แบบที่ 2 ผู้โดยสารจะขึ้นจากระดับล่างและระดับที่ 2 ที่เป็นจุดจอดรถขนส่งสาธารณะและรถไฟฟ้าเพื่อมาขึ้นรถไฟฟ้าระดับที่ 2-3 ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตาราง 4

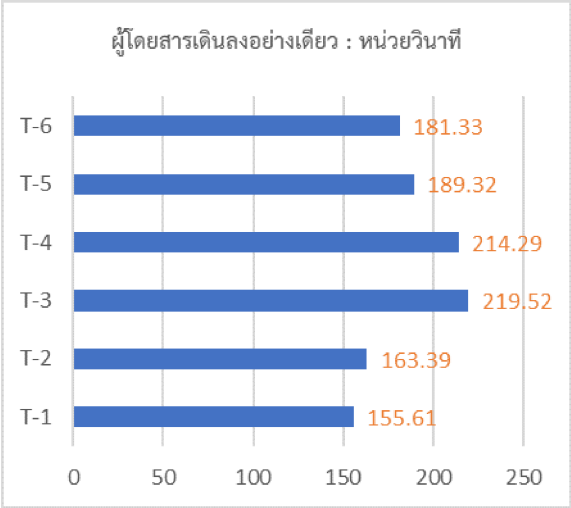
แบบที่ 3 ผู้โดยสารจะเดินขึ้นจากการซื้อตั๋วชั้นล่างเพื่อมาขึ้นรถไฟฟ้าชั้นที่ 2-3 ซึ่งเป็นจุดขึ้น-ลงรถไฟฟ้า ในขณะเดียวกันชั้นที่ 2-3 ก็จะมีผู้โดยสารขึ้นหรือลงจากรถไฟฟ้าโดยจะลงไปต่อรถชั้นที่ 2 หรือลงชั้นล่างเพื่อนั่งรถขนส่งสาธารณะเช่นกัน ตามรูปแบบของชานชาลาแต่ละชนิดผลการทดลองที่ได้ ดังแสดงในตาราง 5

นำผลการทดลองมารวมเป็นกราฟไว้ในชุดเดียวกัน (ดังแสดงในภาพ 26)

ตาราง 3

แสดงค่าผู้ใช้บริการเดินลงอย่างเดียว: หน่วยวินาที

รูปแบบ	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
เวลาเดินลง	155.61	163.39	219.52	214.29	189.32	181.38



ภาพ 23 กราฟแสดงเวลาผู้โดยสารเดินลงอย่างเดียว: หน่วยวินาที

ตาราง 4

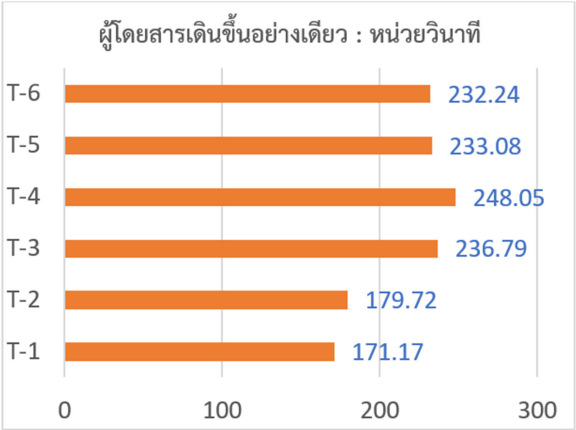
แสดงเวลาผู้โดยสารเดินขึ้นอย่างเดียว: หน่วยวินาที

รูปแบบ	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
เวลาเดินขึ้น	171.17	179.72	236.79	248.05	233.08	232.24

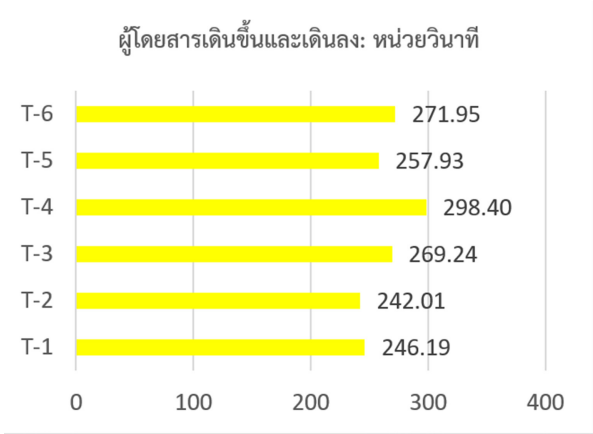
ตาราง 5

แสดงเวลาผู้โดยสารเดินขึ้นและลง: หน่วยวินาที

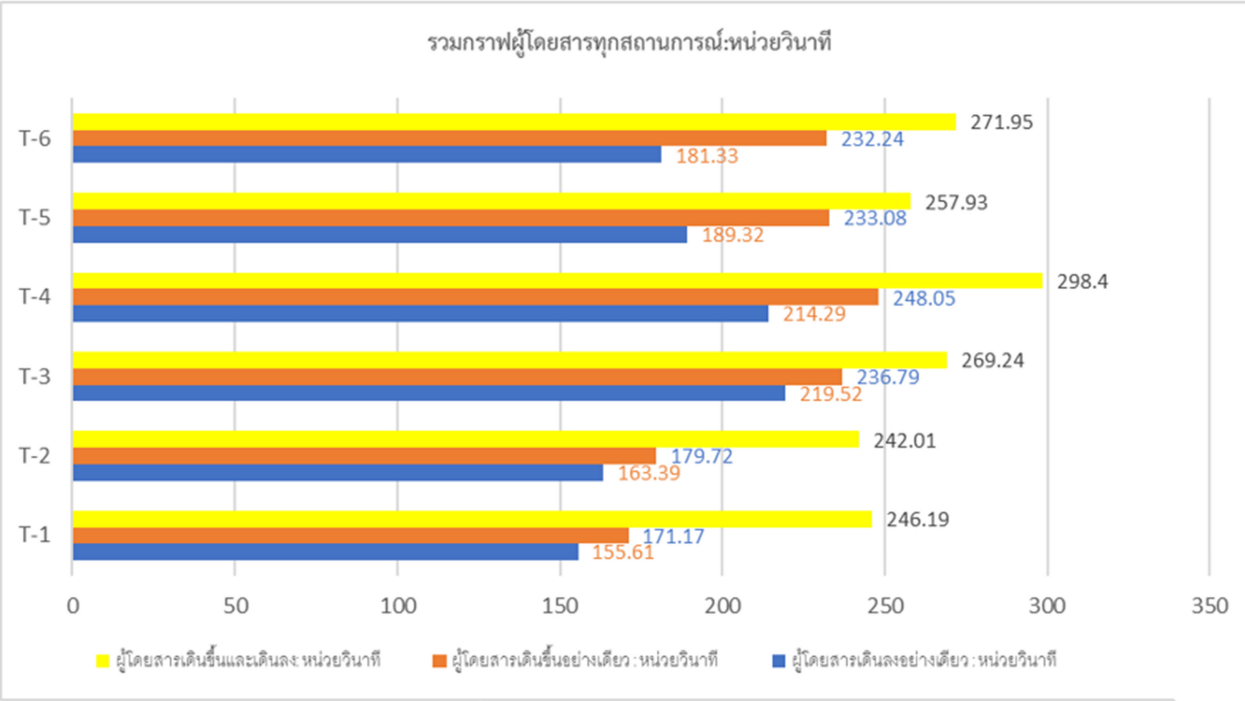
รูปแบบ	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
เวลาเดินขึ้น-เดินลง	246.19	242.01	269.24	298.40	257.93	271.95



ภาพ 24 กราฟแสดงเวลาผู้โดยสารเดินขึ้นอย่างเดียว: หน่วยวินาที



ภาพ 25 กราฟแสดงเวลาผู้โดยสารเดินขึ้นและลง: หน่วยวินาที



ภาพ 26 รวมกราฟแสดงเวลาผู้โดยสารเดินขึ้นและลง: หน่วยวินาที

สรุปและการอภิปรายผล

จากผลการทดลองจำลองสถานการณ์จำนวน 30 ครั้ง จำลองวันทำงาน จันทร์-ศุกร์ ช่วงเวลา 06.30-08.30 น. และ 17.00-19.30 น. ซึ่งเป็นชั่วโมงเร่งด่วนของผู้โดยสารใช้บริการหนาแน่นพบว่าชานชาลารูปแบบที่ 1 และชานชาลารูปแบบที่ 2 ซึ่งเป็นชานชาลา 2 ชั้น ผู้โดยสารใช้เวลาในการเดินทางภายในสถานีรถไฟฟ้าจากการเดินทางภายในทั้งสามแบบประกอบด้วย

แบบที่ 1 ผู้โดยสารเดินลงอย่างเดียว ชานชาลาแบบ 2 ชั้นรูปแบบที่ 1 ใช้เวลาน้อยที่สุด รองลงมาเป็นรูปแบบที่ 2 เนื่องจากชานชาลาที่ทางเดินอยู่ตรงกลางทำให้ไม่ต้องเดินแยกออกข้างซ้ายและขวาช่วยลดระยะเวลาการเดินลง ทำให้รูปแบบที่ 1 ทำเวลาการเดินทางได้ดีกว่า ส่วนชานชาลาแบบ 3 ชั้นรูปแบบชานชาลาที่ 5 และรูปแบบที่ 6 ใช้เวลาใกล้เคียงกันทั้ง 2 แบบ รูปแบบที่ 6 จะทำเวลาการเดินทางได้ดีกว่า เนื่องจากชานชาลาที่ทางเดินอยู่กลางทำให้เวลาเดินไม่ต้องแยกออกข้างซ้ายและขวาลดเวลาการเดินลงได้เล็กน้อย ส่วนรูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 จะใช้เวลาใกล้เคียงกันเนื่องจากชั้นที่ 2 และ 3 ทางสัญจรภายในสลับกันระหว่างทางเดินอยู่กลางและอยู่ริมทำให้เสียเวลาการเดินทางลง

แบบที่ 2 เป็นแบบเดินขึ้นอย่างเดียว ชานชาลาแบบ 2 ชั้น รูปแบบที่ 1 ใช้เวลาน้อยที่สุด รองลงมาเป็นรูปแบบที่ 2 เนื่องจากรูปแบบที่ 1 ชานชาลาที่ทางเดินอยู่ตรงกลางทำให้ไม่ต้องเดินแยกออกข้างซ้ายและขวาช่วยลดระยะเวลาการเดินลง ส่วนชานชาลาแบบ 3 ชั้น รูปแบบที่ 5 และรูปแบบที่ 6 ใช้เวลาใกล้เคียงกัน รูปแบบที่ 6 จะทำเวลาการเดินทางได้ดีกว่า เนื่องจากชานชาลาที่ทางเดินอยู่ตรงกลางทำให้ไม่ต้องเดินแยกออกข้างซ้ายและขวาช่วยลดระยะเวลาการเดินลง ส่วนรูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 จะใช้เวลาใกล้เคียงกันเนื่องจากชั้นที่ 2 และ 3 ทางสัญจรภายในสลับกันระหว่างทางเดินอยู่กลางและอยู่ริมทำให้เสียเวลาการเดินทางลง

แบบที่ 3 ผู้โดยสารเดินขึ้นและเดินลงเหมือนการใช้งานจริง ชานชาลาแบบ 2 ชั้น รูปแบบที่ 2 ใช้เวลาน้อยที่สุด รองลงมาเป็นรูปแบบที่ 1 เนื่องจากชานชาลาที่ทางเดินอยู่ริมทำให้เกิดการสัญจรที่ลื่นไหลขึ้นเพราะแยกออกข้างซ้ายและขวาช่วยลดปัญหาความแออัดและสับสนเมื่อต้องเดินสวนทางกันลดระยะเวลาการเดินลง ทำให้รูปแบบที่ 2 ทำเวลาการเดินทางได้ดีกว่ารูปแบบที่ 1 ส่วนชานชาลาแบบ 3 ชั้น รูปแบบชานชาลาที่ 5 และ รูปแบบที่ 6 เป็นชานชาลา 3 ชั้นใช้เวลาใกล้เคียงกันทั้ง 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 5 จะทำเวลาการเดินทางได้ดีกว่าเนื่องจากทางเดินอยู่ริมทำให้เกิดการสัญจรที่ลื่นไหลขึ้นเพราะแยกออกข้างซ้ายและขวาช่วยลดปัญหาความแออัด ส่วนรูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 จะใช้เวลาใกล้เคียงกันเนื่องจากชั้นที่ 2 และ 3 ทางสัญจรภายในสลับกันระหว่างทางเดินอยู่กลางและอยู่ริมทำให้เสียเวลาการเดินทางลง

เมื่อนำผลการจำลองซอฟต์แวร์การเดินทั้ง 3 รูปแบบทำเป็นเปอร์เซ็นต์ดังแสดงในตาราง 5 จากตารางแสดงเปอร์เซ็นต์เวลาผู้โดยสารเดินลงอย่างเดียว ชานชาลาแบบ 2 ชั้น T1 และ T2 แบบที่เร็วที่สุด คือ T1 จะเร็วกว่า T2 คิดเป็น 0.69% ชานชาลาแบบ 3 ชั้น T3 T4 T5 และ T6 แบบที่เร็วที่สุด คือ T6 จะเร็วกว่า T3 คิดเป็น 3.40 %

ตาราง 6

แสดงเปอร์เซ็นต์เวลาผู้โดยสารเดินขึ้นและลง

รูปแบบ	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
เวลาเดินลง	13.85	14.54	19.54	19.07	16.85	16.14
เวลาเดินขึ้น	13.16	13.81	18.20	19.07	17.91	17.85
เวลาเดินขึ้น-เดินลง	15.53	15.26	16.98	18.82	16.27	17.15

ผู้โดยสารเดินขึ้นอย่างเดียว ชานชาลาแบบ 2 ชั้น T1 และ T2 แบบที่เร็วที่สุด คือ T1 จะเร็วกว่า T2 คิดเป็น 0.65% ชานชาลาแบบ 3 ชั้น T3 T4 T5 และ T6 แบบที่เร็วที่สุด คือ T6 จะเร็วกว่า T4 คิดเป็น 1.22 %

ผู้โดยสารเดินขึ้นและเดินลง ชานชาลาแบบ 2 ชั้น T1 และ T2 แบบที่เร็วที่สุด คือ T2 จะเร็วกว่า T1 คิดเป็น

0.27% ชานชาลาแบบ 3 ชั้น T3 T4 T5 และ T6 แบบที่เร็วที่สุด คือ T5 จะเร็วกว่า T4 คิดเป็น 2.55 %

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตควรพิจารณาประเด็นดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์รูปแบบของสถานีรถไฟฟ้าในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อศึกษาความเหมาะสมและการใช้งานของผู้โดยสารที่สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นไป

2. การศึกษาวิเคราะห์ระดับการให้บริการของทางเดิน (Level-of-Service--LOS) สิ่งอำนวยความสะดวกและสิ่งกีดขวางซึ่งเป็นตัวแปร โดยสามารถจำแนกความต้องการพื้นที่เช่น การเข้าแถวรอคิวของผู้โดยสาร

References

BTS E-Library. (2020). *Mass rapid transit master*. Retrieved from https://www.bts.co.th/library/system-design.html/Mass Rapid Transit Master. (in Thai)

Helbing, D., & Molnar, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E, 51*(5), 4282-4286. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282

Inpayung, N. (2016). *Assessing accessibility of transit terminal for supporting urban railway system development research project income from government subsidies* (Research report). ChonBuri: ChonBuri Burapha University. (in Thai)

Khatiyasoontron, K., & Kronpraser, N. (2019). Evaluation of mass rapid transit ticket service. *Engineering Journal Chiang Mai University, 26*(1), 121–134. (in Thai)

Kirimatthong, M., Pitchayapan, P., & Kornprasert, N. (2020). Service time evaluation for terminal screening at Chiang Mai International Airport during normal and new normal condition. *The 25th National Convention on Civil Engineering* (pp. 1-8). Chonburi: National Convention on Civil Engineering (in Thai)

Sun, L., Yuan, G., Yao, L., Cui, L., & Kong, D. (2021). Study on strategies for alighting and boarding in subway stations. *Physica A, 583*, 126302. https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126302

Noiruen, T., Tajumpa, P., & Pantasiri, S. (2020). A study pedestrian behavior crossroads at signal light: Case study in Chiang Mai. *National Convention on Civil Engineering, 37*, 1-12. (in Thai)

Parthiban, P., & Archana, S. (2020). Pedestrian flow and capacity analysis at railway station. *Proceeding of National Conference on Emerging Trends in Civil Engineering* (pp. 316–325). AIJR Kollam, Kerala, India Publisher. https://doi.org/10.21467/proceedings.112.65

Petchan, P., & Karoonsoontawong, A. (2020). Development of simulation for queuing system at Saphan-Taksin BTS station by using PTV Viswalk. *Kasem Bundit Engineering Journal, 10*(3), 24–45. (in Thai)

Loa, S. M., Wanga, W. L., Liua, S. B., & Mab. J. (2014). Using agent-based simulation model for studying fire escape process in Metro Stations. *Procedia Computer Science, 32*, 388–396. doi: 10.1016/j.procs.2014.05.439

Srithaso, P., & Karunsunthawong, A. (2021). Development of passenger emergency evacuation model: A case study of Chatuchak park MRT station. *The 26th National Convention on Civil Engineering. Online Conference* (p. 27). https://oa.mg/work/3175246734 (in Thai)

The Mass Rapid Transit network in Thailand. (2010). *Mass rapid transit master plan in Bangkok metropolitan region*. Retrieved from https://th.wikipedia.org/wikiMassRapidTransitMasterPlaninBangkokMetropolitanRegion.

Weerawatand, W., & Thongboonpien, T. (2018). Pedestrian transit simulation of feeder system case study of Tao Poon Station. *The Journal of Industrial Technology, 14*(1), 40-49. (in Thai)

ตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์

Positive Pressure Screening Cabinet for Reducing the Spread of SARS-CoV-2 to Healthcare Workers

สมมาส แก้วล้วน[1]* สงกรานต์ วิริยะศาสตร์[1] สุรชัย ภูมิศรีจันทร์[2] และพิลดา หวังพานิช[3]
Sommas Kaewluan[1]*, Songkarn Wiriyasart[1], Surachai Phoomsrijun[2] and Pilada Wangphanich[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
[1]Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Srinakarinwirot University
[2]คลินิกคัดกรองโรคทางเดินหายใจ โรงพยาบาลศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
[2]ARI Clinic, HRH Princess MahaChakri Sirindhorn Medical Center, Srinakarinwirot University
[3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
[3]Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Srinakarinwirot University
*Corresponding author: sommas@g.swu.ac.th
Received: March 9, 2023
Revised: May 5, 2023
Accepted: May 12, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ ตู้คัดกรองความดันบวกมีพื้นที่ภายใน 1.44 m^2 และมีความสูง 2 m ภายในติดตั้งเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ด้านหลังตู้คัดกรองติดตั้งชุดกรองสิ่งปนเปื้อนและฆ่าเชื้อโรคในอากาศ มีพัดลมชนิดปรับความเร็วรอบได้ดูดอากาศจากภายนอกผ่านชุดกรองสิ่งปนเปื้อนและฆ่าเชื้อโรคและส่งอากาศสะอาดเข้าในตู้คัดกรอง พัดลมภายในเครื่องปรับอากาศซึ่งปรับอัตราการไหลได้ 3 ระดับ เป่าอากาศเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 26 °C โดยมีทิศทางลมตรงไปยังบุคลากรทางการแพทย์ อากาศไหลออกจากตู้สู่ภายนอกผ่านรอยรั่วของตู้ที่จัดไว้ 3 ระดับ คือ 187 220 และ 253 cm^2 ความดันอากาศภายในตู้สามารถควบคุมให้มีค่าอยู่ในช่วง 5-15 Pa ผลการทดลองพบว่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมสำหรับป้อนเข้าสู่ตู้มีค่าอยู่ในช่วง 150-335 m^3/h โดยอัตราการไหลอากาศต่ำสุดที่ 150 m^3/h สอดคล้องกับการทำงานของพัดลมภายในเครื่องปรับอากาศที่อัตราการไหลต่ำสุดและอัตราการไหลสูงสุดที่ 335 m^3/h สอดคล้องกับการปรับรอยรั่วของตู้สูงสุดที่ 253 cm^2 และความดันภายในตู้สูงสุด 15 Pa ดังนั้นระดับการทำงานของพัดลมภายในเครื่องปรับอากาศต้องตั้งไว้ที่ตำแหน่งเบาสุดเท่านั้นเพื่อป้องกันกระแสอากาศภายในตู้ไหลวนกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานพบว่า เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาเป็นพัดลมป้อนอากาศ หลอดไฟฆ่าเชื้อและระบบแสงสว่างที่ร้อยละ 46 35 11 และ 8 ตามลำดับ เมื่อใช้งานตู้คัดกรองต่อเนื่องเป็นเวลา 26 สัปดาห์ พบว่า มีฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนอุดตันแผ่นกรองมากขึ้นส่งผลให้ความดันตกคร่อมชุดกรองมากขึ้นประมาณ 20 -30 Pa ซึ่งทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับตู้คัดกรองใหม่

คำสำคัญ: ตู้คัดกรองความดันบวก โควิด-19 ยูวีซี กรองสิ่งปนเปื้อนและเชื้อโรคในอากาศ

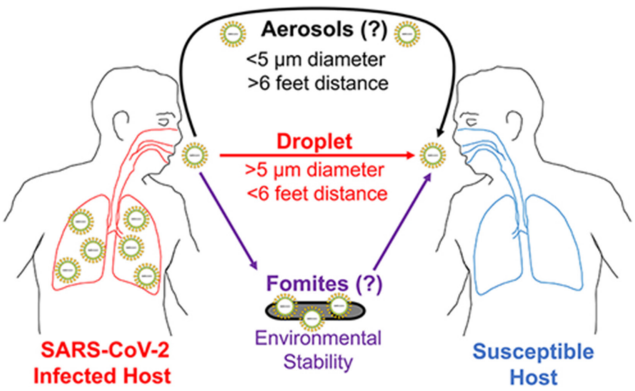
Abstract

This research aims to design and build a Positive Pressure Screening Cabinet (PPS-cabinet) to reduce the spread of COVID-19 among healthcare workers. The PPS cabinet has an internal area of 1.44 m^2 and a height of 2 m. It is equipped with an inverter air conditioner. Behind the PPS cabinet is a set of decontamination and disinfection units. The variable-speed fan draws outside air through the decontamination and disinfection unit and sends clean air into the PPS cabinet. The 3-speed fan inside the air conditioner blows cold air at about 26 °C directly to the healthcare workers. The air then flows from the cabinet to the outside through the leaks of the cabinets, arranged in three levels: 187, 220, and 253 cm^2. The air pressure inside the cabinet can be controlled to a value in the range of 5–15 Pa. The results showed that the appropriate fresh air flow rate to be fed into the PPS-Cabinet must have a flow rate in the range of 150–335 m^3/h. The minimum fresh air flow rate of 150 m^3/h corresponds to the fan operation inside the air conditioner at the lowest speed, while the maximum air flow rate of 335 m^3/h corresponds to the maximum leakage area of the cabinet of 253 cm^2 making the pressure inside the PPS cabinet not more than 15 Pa. Therefore, to ensure that no air flow inside the cabinet returns to the air conditioner under all operating conditions, the fan flow rate in the air conditioner should be adjusted to the lowest speed. In terms of energy consumption, air conditioners use the most energy, followed by fans, disinfection lamps, and lighting at 46%, 35%, 11%, and 8%, respectively. When the PPS cabinet was used for 26 weeks, more dust and contaminants were clogging the filters. This results in an increase in the pressure drop across the filter unit by approximately 20–30 Pa, resulting in 15% more energy consumption compared to the new PPS-Cabinet.

Keywords: positive pressure screening cabinet, COVID-19, UVC, ultra-low penetration air filter

บทนำ

โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) คือโรคทางเดินหายใจซึ่งเกิดจากเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus-2--SARS-CoV-2) พบการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสครั้งแรกในช่วงเดือนธันวาคมปี 2019 ในเมืองอู่ฮั่น ประเทศจีน หลังจากนั้นเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 ได้มีการกลายพันธุ์เป็นหลากหลายสายพันธุ์ และมีการแพร่ระบาดไปทั่วโลก ผู้ที่ติดเชื้อบางรายอาจไม่มีอาการ สำหรับผู้ที่มีอาการ ความเจ็บป่วยอาจมีตั้งแต่เล็กน้อยไปจนถึงรุนแรง ผู้ใหญ่อายุ 65 ปีขึ้นไปและคนทุกวัยที่มีโรคประจำตัวมีความเสี่ยงสูงต่อการเจ็บป่วยที่รุนแรง เชื้อไวรัส SARS-CoV-2 สามารถแพร่กระจายจากผู้ที่ติดเชื้อ (infected host) ไปยังผู้รับเชื้อ (susceptible host) ได้ 3 วิธีที่เป็นไปได้ วิธีแรกเชื้อถูกส่งจากคนสู่คน (สัมผัสรับเชื้อทางตรง) ผ่านละอองทางเดินหายใจ (droplet) จากการไอหรือจาม ละอองเหล่านี้สามารถเดินทางเป็นระยะทางไม่เกิน 6 ฟุตในอากาศ วิธีที่สอง เชื้อ SARS-CoV-2 มีแนวโน้มที่จะส่งผ่านวัตถุที่เป็นพาหะนำโรค (fomites) ซึ่งเป็นการรับเชื้อทางอ้อมในช่วงระยะเวลาที่เชื้อสามารถทำงานได้บนพื้นผิวของสิ่งแวดล้อม วิธีที่สาม มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผ่านละอองทางเดินหายใจในรูปแบบละอองลอย (aerosols) จากการไอ จาม พูดคุย หรือการหายใจ ซึ่งเป็นการรับเชื้อทางอ้อมในระยะทางที่ยาวกว่า 6 ฟุตในอากาศ โดยเชื้อ SARS-CoV-2 ต้องไปถึงจุดรับเชื้อ (ตา จมูก หรือปาก) ของผู้รับเชื้อก่อนและเข้าสู่ทางเดินหายใจ โดยวิธีการแพร่เชื้อแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 การแพร่เชื้อ SAR-CoV-2

Note. From Does COVID-19 Spread Through Droplets Alone?, by T. Galbadage, B. M. Peterson and R. S. Gunasekera, 2020, *Public Health, 8*(163), 1-4. Copyright by Frontiers Media S.A. All rights reserved

ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส SAR CoV-2 ในประเทศไทยทำให้มีจำนวนผู้ติดเชื้อและป่วยเป็นโรค COVID-19 เพิ่มสูงเพิ่มขึ้น โดยข้อมูลในวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2565 มียอดผู้ติดเชื้อป่วยเป็นโรค COVID-19 สูงถึง 24,932 ราย (Department of Disease Control, 2022) ส่งผลให้ในแต่ละวันมีประชาชนที่มีอาการป่วยขอเข้าตรวจคัดกรองที่คลินิกโรคติดเชื้อทางเดินหายใจ (ARI Clinic) ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี ผู้เข้ารับบริการส่วนใหญ่เดินทางมาจากจังหวัดนครนายก ปทุมธานี ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี และสระบุรี ในขณะที่อุปกรณ์สำหรับป้องกันการติดเชื้อของบุคลากรทางการแพทย์ของแผนกยังไม่เพียงพอ โดยเฉพาะโต๊ะคัดกรองที่มีเพียงฉากพลาสติกใสกั้น 3 ด้าน แสดงดังภาพ 2 ส่งผลให้บุคลากรทางการแพทย์ติดเชื้อและนำไปสู่การปิดคลินิกโรคติดเชื้อทางเดินหายใจชั่วคราวเพื่อทำความสะอาดสถานที่รวมถึงการจัดเตรียมอุปกรณ์และมาตรการป้องกันการติดเชื้อของบุคลากร เนื่องจากโรค COVID-19 เป็นโรคอุบัติใหม่ซึ่งเป็นโรคติดต่ออันตรายที่เกิดจากเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ที่แพร่กระจายผ่านการสัมผัส (contact) หรือ ผ่านละอองฝอยขนาดใหญ่ (droplet) หรือผ่านฝอยละอองขนาดเล็ก (aerosol) (Sakkawong et al. 2021) การสูดดมอากาศที่มีละอองขนาดเล็กมากและอนุภาคละอองลอยที่มีเชื้อไวรัสมีความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อจะมากที่สุดภายในระยะสามถึงหกฟุตจากแหล่งที่มีเชื้อ (Centers of Disease Control and prevention, 2022) การเปลี่ยนจากโต๊ะคัดกรองเป็นตู้คัดกรองผู้ป่วยติดเชื้อจึงเป็นแนวทางที่ป้องกันบุคลากรทางการแพทย์ที่ปฏิบัติหน้าที่คัดกรองจากการติดเชื้อจากผู้ป่วยได้มีประสิทธิภาพมากกว่า อย่างไรก็ตามภายในตู้คัดกรองจะต้องจัดให้มีสภาวะที่ปลอดภัยและมีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกเพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถปฏิบัติงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยตู้คัดกรองต้องเป็นตู้ความดันบวกเพื่อให้สามารถป้องกันเชื้อจากภายนอกตู้เข้าสู่ภายในโดยภายในตู้มีบุคลาการทางการแพทย์ปฏิบัติงานอยู่ (Aroom et al., 2022) โดยความดันแตกต่างระหว่างพื้นที่ความดันบวกและพื้นที่ภายนอกควรมีค่ามากกว่า 2.5 Pa อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (Air changes per hour--ACH) ควรมีค่ามากกว่า 12 อากาศใหม่ป้อนเข้าห้องควรกรองด้วยฟิลเตอร์ที่มีประสิทธิภาพร้อยละ 99.97 ที่ขนาดอนุภาค 0.3 µm (Centers of Disease Control and prevention, 2003) และการฉายรังสี UV-C เพื่อฆ่าเชื้อในอากาศสำหรับระบบอากาศไหลในท่อทั่วไปอยู่ที่ 1,000 ถึง 10,000 µW/cm^2 (ASHRAE, 2019) ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านพัฒนาตู้คัดกรองความดันบวกและความดันลบ (Nair et al. 2020) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้แผ่นกรองดักจับอนุภาคประสิทธิภาพสูง (HEPA) ร่วมกับการใช้หลอดฆ่าเชื้อ UVC ในขณะที่งานวิจัยนี้มุ่งที่จะใช้แผ่นกรองอนุภาคละเอียดมาก (ultra-low penetrating air filter-U15) มีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาค 99.9995% ที่ขนาดอนุภาค 0.12 µm และมีการออกแบบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เพื่อให้ได้สภาวะอากาศภายในตู้คัดกรองความดันบวกที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานของบุคลากรทางการแพทย์ได้อย่างต่อเนื่อง ตลอดจนมีการประเมินการใช้พลังงานเมื่อตู้คัดกรองความดันบวกที่ผ่านการใช้งานมาระยะเวลาหนึ่งเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดประกอบการวางแผนบำรุงรักษาและเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สำคัญต่อไป

ภาพ 2 ลักษณะโต๊ะคัดกรองผู้ติดเชื้อป่วยเป็นโรค COVID-19 และประกาศปิดทำการ ARI CLINIC

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างตู้คัดกรองความดันบวกโดยพัฒนาต่อยอดตู้คัดกรองความดันบวกต้นแบบที่ได้สร้างให้ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี ใช้ในช่วงสถานการณ์วิกฤติ

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของตู้คัดกรองความดันบวก

เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างตู้ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในสถานการณ์ที่บุคลากรทางการแพทย์ต้องปฏิบัติงานใกล้ชิดกับผู้ติดเชื้อจำนวนมาก เช่นการคัดกรองผู้ติดเชื้อ ผู้ติดเชื้อมีโอกาสสูงที่จะแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังผู้ปฏิบัติงานทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะการแพร่เชื้อทางอ้อมผ่านละอองลอย (aerosols) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเล็กกว่า 50 μm ละอองลอยสามารถลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานก่อนจะตกลงพื้นหรือไปยังผู้คนที่อยู่ใกล้ ละอองลอยมีอนุภาคไวรัสติดเชื้อน้อยกว่าเนื่องจากมีขนาดเล็ก นักวิทยาศาสตร์ยังไม่ทราบจำนวนอนุภาคของ SARS-CoV-2 ซึ่งเป็นไวรัสที่ทำให้เกิดโรค COVID-19 ที่จำเป็นในการแพร่เชื้อให้กับคนรอบข้าง แต่การหายใจเอาละอองลอยที่มีเชื้อไวรัสเข้าไปจำนวนมากเชื้อไวรัสนั้นอาจรวมกันเป็นละอองที่ติดเชื้อได้ นอกเหนือจากนี้องค์การอนามัยโลกและศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคระบุว่า การแพร่ระบาดในอากาศ (airborne transmission) สามารถเกิดขึ้นได้ โดยสถานการณ์ที่เป็นไปได้มากที่สุดสำหรับการแพร่ระบาดทางอากาศคือการอยู่ในพื้นที่ในร่มที่มีผู้คนหนาแน่นและมีการระบายอากาศไม่ดีเป็นเวลานาน (Stadnytskyi et.al., 2020). ดังนั้นเพื่อลดโอกาสในการติดเชื้อของผู้ที่ต้องปฏิบัติงานใกล้ชิดกับผู้ติดเชื้อจึงต้องแยกผู้ปฏิบัติงานออกจากผู้ป่วยโดยให้ผู้ปฏิบัติงานอยู่ภายในปริมาตรควบคุมที่ออกแบบสำหรับการป้องกันสิ่งปนเปื้อนจากภายนอกปริมาตรควบคุม (สิ่งแวดล้อม) เข้ามาภายในปริมาตรควบคุม (ระบบควบคุมปริมาตร) โดยการทำให้ภายในปริมาตรควบคุมมีความดันสูงกว่าภายนอกปริมาตรควบคุม และถ้าภายนอกปริมาตรควบคุมมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศดังนั้นภายในปริมาตรควบคุมจึงมีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศหรือเรียกว่าความดันบวก อีกทั้งจะต้องมีอากาศสะอาดป้อนเข้าสู่ปริมาตรควบคุมในอัตราที่จะรักษาความดันบวกในห้องปริมาตรควบคุมนั้นไว้ได้ตลอดเวลา

ความดันภายในห้องที่เป็นบวกที่ประมาณ 5-20 Pa เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการไหลเวียนของอากาศจากภายในห้องออกสู่ภายนอก ดังนั้นเพื่อรักษาความดันภายในห้องความดันบวกให้คงที่จึงต้องเติมอากาศเข้าสู่ห้องความดัน

บวกและอากาศที่เติมเข้าสู่ห้องมาจากอากาศภายนอกห้อง และอาจเป็นอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อ ดังนั้นจะต้องมีหน่วยจัดการอากาศเพื่อให้ได้อากาศที่สะอาดปราศจากเชื้อก่อนส่งเข้าสู่ห้องความดันบวก

ความดันอากาศภายในห้องความดันบวกต้องควบคุมอย่างระมัดระวังให้มีค่าสูงกว่าความดันอากาศภายนอกตู้เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศจากภายนอกตู้เข้ามาภายในตู้ โดยค่าแนะนำควรอยู่ในช่วง 5-20 Pa (ISO 14644-4) แต่ค่าที่เหมาะสมมักจะควบคุมไว้ที่ 8-10 Pa (และห้ามต่ำกว่า 2.5 Pa เนื่องจากกรณีลมกรรโชกแรกอาจทำให้ลมพัดพาเชื้อรั่วเข้าภายในห้องได้ หรือกรณีเปิดประตูตู้ความดันบวก อาจมีความเสี่ยงที่เชื้อจะเล็ดลอดเข้าไปภายในตู้ได้)

ปริมาณอากาศสะอาดที่ป้อนเข้าสู่ห้องความดันบวกเพื่อใช้ควบคุมความดันภายในห้องจะมีค่าเท่ากับอัตราการรั่วของอากาศจากห้องความดันบวก โดยอัตราการรั่วของอากาศแปรผันตามความแตกต่างของความดันภายในและภายนอกห้องความดันบวกและพื้นที่รอยรั่ว โดยสามารถหาได้จากการทดลองหรือเป็นจากความสัมพันธ์ที่แสดงในสมการที่ 1 (Gadgil et al., 2006)

$$Q = CA(\Delta P)^n \qquad (1)$$

เมื่อ

Q คือ อัตราการรั่วของอากาศจากห้องความดันบวก (m^3/s)
ΔP คือ ความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกห้อง (Pa)
C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลมรั่ว C= 0.84 (Pharmaceuticalhvac, 2020)
A คือ พื้นที่รอยรั่ว (m^2)
n คือ มีค่าระหว่าง 0.5 ถึง 1.0

การกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง

การนำอากาศจากภายนอกมาป้อนเข้าสู่ตู้คัดกรองความดันบวกจำเป็นต้องทำให้อากาศสะอาดปราศจากเชื้อซึ่งนิยมใช้การกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง (HEPA & ULPA High Quality Filters) โดย HEPA ย่อมาจาก High-Efficiency Particulate Air filtration คือ สิ่งที่บ่งบอกว่าตัวกรองมีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคในอากาศที่สูงกว่าแบบปกติ และULPA ย่อมาจาก Ultra-Low Particulate Air คือ สิ่งที่บ่งบอกว่าอากาศที่ผ่านตัวกรอง ULPA จะสะอาดมาก โดยมีอนุภาคของสารมลพิษ สารก่อภูมิแพ้ และสิ่งอื่น ๆ ที่คุณไม่ต้องการหายใจ

ตัวกรอง HEPA และ ULPA ทำจากเส้นใยซิลิเกตชั้นเยี่ยม ซึ่งทำให้สารปนเปื้อนเกาะติดอยู่ผ่านแรงดึงดูดของไฟฟ้าสถิต มีรูปร่างและขนาดแตกต่างไปจากตัวกรองที่ออกแบบมาสำหรับการใช้ HVAC ในบ้านโดยสิ้นเชิง ตัวกรองทั้งสองพบได้ทั่วไปในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาล สิ่งอำนวยความสะดวกด้านชีวการแพทย์และห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ ตัวกรอง HEPA สามารถกำจัดอนุภาคในอากาศได้ 99.97% ที่มีขนาดเล็กถึง 0.3 μm ในขณะที่ตัวกรอง ULPA จะกำจัดอนุภาคในอากาศอย่างน้อย 99.9995% ที่มีขนาดเล็กถึง 0.1 μm ดังนั้นการกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง: HEPA/ULPA จึงเป็นการกรองเพื่อแยกอนุภาคในอากาศหรือสิ่งสกปรกที่มีขนาดตั้งแต่ 0.1 μm ลงมา (เช่น ไวรัส เชื้อโรค ฝุ่นพิษ) เพื่อให้ได้อากาศที่สะอาดป้อนเข้าสู่ปริมาตรควบคุม

การฆ่าเชื้อในท่อส่งอากาศด้วย UVC (UV-C In-Duct Air Disinfection)

กลุ่มของหลอด UVC ที่ติดตั้งภายในหน่วย HVAC หรือในระบบท่อ (ASHRAE, 2021) โดยตำแหน่งการวางกลุ่มหลอดอาจตั้งฉากหรือขนานกับกระแสการไหลของอากาศ ต้องใช้ปริมาณรังสี UVC ที่เพิ่มขึ้นเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ในทันทีเมื่อผ่านเขตการฆ่าเชื้อ เนื่องจากเวลาในการรับแสงจำกัด ดังนั้นการติดตั้งกลุ่มหลอด UVC ควรปฏิบัติตามแนวทางเหล่านี้:

- ปริมาณรังสี UVC เป้าหมายขั้นต่ำ 1,500 μW-s/cm^2 (1,500 μJ/cm^2)
- ออกแบบมาสำหรับกระแสลมที่เคลื่อนที่ช้ากว่า 500 fpm (2.54 m/s) หรือช้ากว่า
- เขตการฉายรังสีขั้นต่ำสองฟุต (0.6 m)

- เวลาเปิดรับแสง UV ขั้นต่ำ 0.25 s

- การฆ่าเชื้อในท่อส่งอากาศด้วย UVC ควรใช้ร่วมกับการกรองทางกล (high quality filters)

กรอบแนวคิดการวิจัย

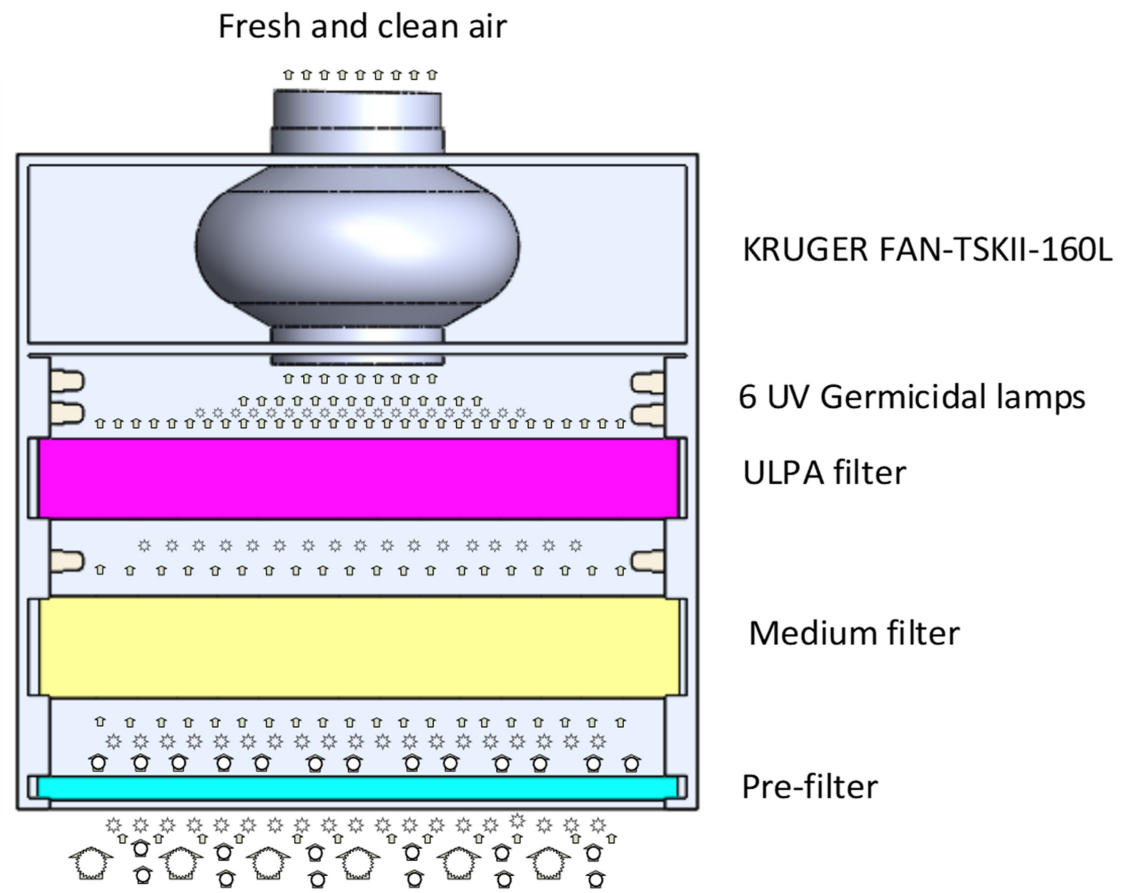
ตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ถูกออกแบบและสร้างตามความต้องการของบุคลากรทางการแพทย์ มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 ตู้คัดกรองความดันบวก พื้นตู้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 1.44 m^2 ตู้สูง 2 m ปริมาตรตู้ 2.88 m^3 ทำหน้าที่เป็นห้องทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ โครงตู้ทำจากอลูมิเมียมโปรไฟล์ขนาด 30 x 30 mm ผนังด้านหน้าทำจากอะคริลิกใสพร้อมเจาะช่องสำหรับติดตั้งถุงมือจำนวน 2 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 mm ผนังส่วนที่เหลือทำจากวัสดุพลาสวูด โดยผนังด้านขวามีการเจาะช่องสำหรับติดตั้งประตูขนาดกว้าง 0.75 m และสูง 2.00 m ผนังด้านซ้ายติดตั้งเกจวัดความดันภายในตู้ มีปุ่มควบคุมการทำงานของพัดลมป้อนอากาศสะอาดเข้าสู่ตู้และควบคุมความดันภายในตู้ มีสวิตช์เปิด-ปิดหลอดฆ่าเชื้อ (UVGI lamps) ไฟแสงสว่างภายในตู้และหน้าตู้ มีเต้ารับไฟฟ้า และมีเครื่องสื่อสารกับผู้รับบริการ (inter-communication) ผนังด้านหลังมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์พร้อมรีโมทควบคุม บริเวณเหนือเครื่องปรับอากาศมีการเจาะช่องจ่ายอากาศสะอาดจากภายนอกเข้าสู่ตู้ และบริเวณส่วนล่างของผนังมีการเจาะช่องปล่อยอากาศทิ้งสู่ภายนอก ตู้ตั้งอยู่บนฐานที่มีล้อที่สามารถเข็นเคลื่อนที่ได้และภายในตู้ยังมีโต๊ะซึ่งเป็นที่ทำงานและวางเอกสารทางการแพทย์อีกด้วย

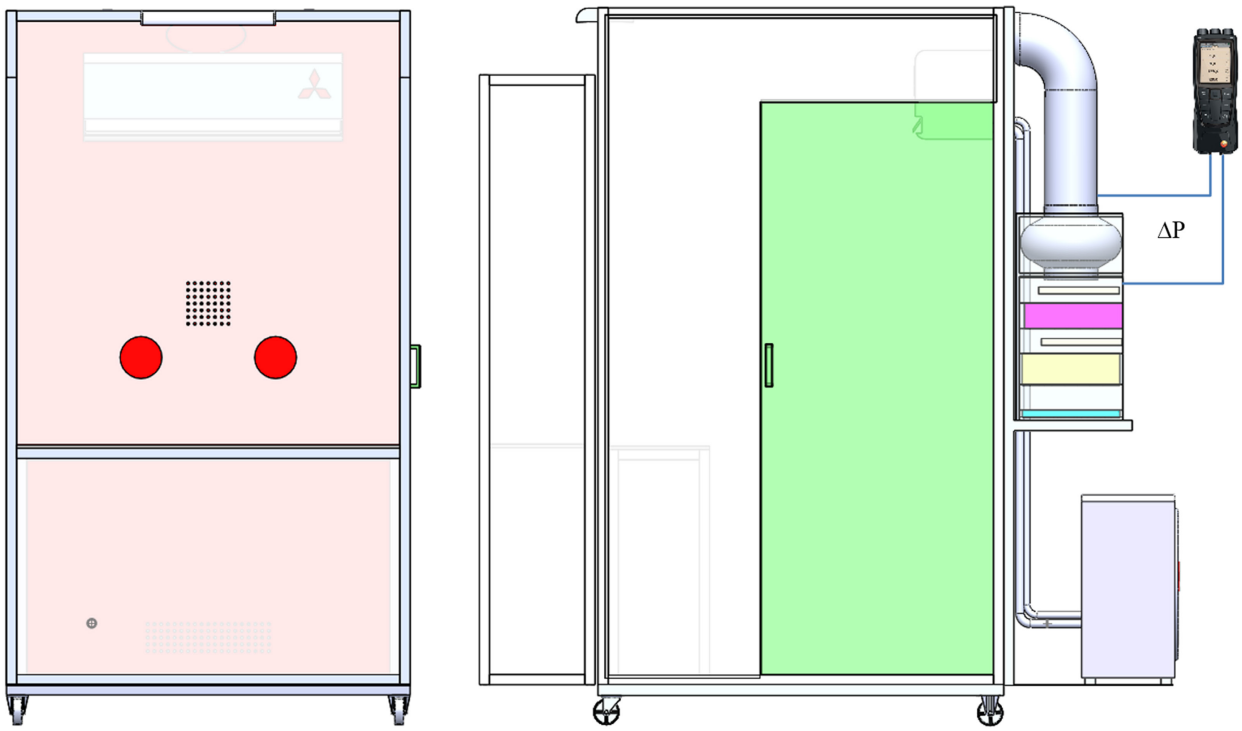
ส่วนที่ 2 ชุดกรองสิ่งปนเปื้อนและฆ่าเชื้อโรคในอากาศพร้อมพัดลมส่งอากาศสะอาดเข้าสู่ตู้คัดกรองความดันบวก ทำหน้าที่นำอากาศจากภายนอกเข้าสู่กระบวนการกรองสิ่งสกปรกและฆ่าเชื้อโรคด้วยแผ่นกรองที่มีความละเอียดในการกรอง 3 ช่วง คือ แผ่นกรองหยาบ (pre filter-MERV5-6)) มีประสิทธิภาพ 30-35% ที่ขนาดอนุภาค 3-10 μm แผ่นกรองละเอียดปานกลาง (medium filter-merv15) มีประสิทธิภาพในการกรอง 90-95% ที่ขนาดอนุภาค 0.3-1 μm และแผ่นกรองละเอียดมาก (ultra-low penetrating air filter-U15) มีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาค 99.9995% ที่ขนาดอนุภาค 0.12 μm และมีการติดตั้งหลอดฆ่าเชื้อชนิด UVGI (ultraviolet germicidal irradiation lamp) ขนาด 6Wx6ชุด เพื่อฆ่าเชื้อโรค จากนั้นพัดลมจะดูดและส่งอากาศสะอาดเข้าสู่ตู้คัดกรองความดันบวก โดยพัดลม (KRUGER-TSKII-160L) ทำงานแบบปรับเปลี่ยนความเร็วรอบได้ตามความต้องการความดันในตู้คัดกรองความดันบวก

ส่วนที่ 3 เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศแบบอัดไอที่ติดตั้งไว้ด้านหลังของตู้คัดกรองความดันบวก ทำหน้าที่ปรับสภาวะอากาศภายในตู้คัดกรองความดันบวกให้อยู่ในระดับอุณหภูมิสบายที่ช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์ปฏิบัติงานได้นานขึ้น

ส่วนที่ 4 โต๊ะแบบมีผนังกั้นที่ติดตั้งไว้ด้านหน้าตู้คัดกรองความดันบวก เพื่อเป็นที่พักแขนหรือวางเอกสารของผู้เข้ารับการคัดกรอง โดยมีผนังกั้นบังตาด้านข้างแบบทึบ โดยผนังบังตามีความกว้าง 35 cm และสูง 180 cm พื้นโต๊ะสูงจากพื้น 65 cm และสามารถปรับสูงต่ำได้



ภาพ 3 ชุดกรองสิ่งปนเปื้อนและฆ่าเชื้อโรคในอากาศ



ภาพ 4 ตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทดลองหาความสัมพันธ์ของขนาดพื้นที่รอยรั่วของตู้คัดกรองเมื่อทำงานร่วมกับพัดลมป้อนอากาศเข้าสู่ตู้คัดกรอง เพื่อรักษาความดันภายในตู้คัดกรองไว้ที่ 3 ระดับ คือ 5 10 และ 15 Pa โดยเริ่มทดสอบที่อัตราการป้อนอากาศสูงสุดของพัดลมและหาค่ารอยรั่วสูงสุดของตู้คัดกรองที่สามารถรักษาความดันภายในตู้ที่ 15 Pa อัตราการป้อนอากาศสูงสุดเข้าสู่ตู้คัดกรองหาได้จากการวัดความดันตกคร่อมพัดลมและกราฟคุณลักษณะของพัดลม (fan-curve) และทำการคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ไหลเข้าสู่ตู้คัดกรองเมื่อช่องทางป้อนอากาศเข้าสู่ตู้คัดกรองมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ที่ 119 cm^2 อีกทั้งยังสามารถกำหนดจุดวัดความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ป้อนเข้าสู่ตู้คัดกรองซึ่งสอดคล้องกับอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากกราฟคุณลักษณะของพัดลม ในขณะที่พื้นที่รอยรั่วต่ำสุดกำหนดไว้ที่ 187 cm^2 (รอยรั่วขอบประตู) และอัตราการป้อนอากาศเข้าสู่ตู้คัดกรองที่ความเร็วรอบพัดลมที่ต่ำกว่าความเร็วสูงสุดหาได้จากผลการวัดความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ป้อนเข้าสู่ตู้คัดกรองคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของช่องทางอากาศไหลเข้าตู้คัดกรองและกำหนดให้อัตราการป้อนอากาศเข้าสู่ตู้คัดกรองมีค่าเท่ากับอัตราการรั่วของอากาศออกจากตู้คัดกรอง

2. ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของพัดลมป้อนอากาศเข้าตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อให้ได้ความดันภายในตู้ที่กำหนดที่ 5 10 และ 15 Pa เมื่อพื้นที่รอยรั่วของตู้มี 3 ขนาด คือ 187 220 และ 253 cm^2 ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะมีการปรับค่าความเร็วรอบของพัดลมป้อนอากาศเข้าตู้คัดกรองเพื่อให้ได้ค่าความดันภายในตู้ที่กำหนด และวัดค่าความดันตกคร่อมพัดลมเพื่อประเมินหาอัตราการป้อนอากาศเข้าตู้ตัดกรองและคำนวณหาอัตราการหมุนเวียนอากาศ (ACH) ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับพัดลมป้อนอากาศ

3. ทดสอบสภาวะการทำงานของตู้คัดกรองความดันบวกโดยปรับตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 26 °C และพัดลมภายในเครื่องปรับอากาศทำงานที่อัตราการไหลต่ำสุด (ตำแหน่งปรับพัดลม “Lo” และควบคุมค่าความดันภายในตู้คัดกรองความดันบวกไว้ที่ 10 Pa และที่รอยรั่วของตู้ที่ 220 cm^2 โดยทำการปรับค่าความเร็วรอบของพัดลมป้อนอากาศเข้าตู้คัดกรองและวัดค่าความดันตกคร่อมพัดลมเพื่อประเมินหาอัตราการป้อนอากาศเข้าตู้ตัดกรองและคำนวณหาอัตราการหมุนเวียนอากาศ (ACH) ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าสำหรับพัดลมป้อนอากาศ กำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ กำลังไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟฆ่าเชื้อ UVC และกำลังไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟแสงสว่าง ตลอดจนวัดค่าสภาวะภายในตู้คัดกรองความดันบวกประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเข้มแสง ความเร็วอากาศปะทะตัว ความเข้มแสง และค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทดสอบตู้คัดกรองความดันบวกสร้างใหม่และตู้คัดกรองความดันบวกที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว 6 เดือน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัด Testo 480 ที่ภายในมีเซ็นเซอร์วัดความดัน-ความดันแตกต่าง และมีเซ็นเซอร์ภายนอกประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ-ความชื้น เซ็นเซอร์วัดความเร็วลม-อัตราการไหล เซ็นเซอร์วัดแสง

1.1 โพรบวัดอัตราการไหลและความชื้นของอากาศ (thermal air flow measuring head and humidity probe) ช่วงการวัดความเร็วลม 0-20 m/s ความละเอียดในการวัด 0.03 m/s ช่วงการวัดอุณหภูมิ -20-70 °C ความละเอียดในการวัด 0.5 °C ช่วงการวัดความชื้นสัมพัทธ์ 0-100 %RH ความละเอียด 1.8 %RH

1.2 โพรบวัดดัชนีคุณภาพอากาศ (IAQ probe) ช่วงการวัด CO_2 0-10,000 ppm ความละเอียด 75 ppm ช่วงการวัดอุณหภูมิ 0-50 °C ความละเอียดในการวัด 0.5 °C ช่วงการวัดความชื้นสัมพัทธ์ 0-100 %RH ความละเอียด 1.8 %RH

2. อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger WISCO AI210) พร้อมเซ็นเซอร์วัดกระแส Current Transducer

3. อุปกรณ์วัดทางไฟฟ้า (Sonoff รุ่น Pow Elite 16A สวิตช์ควบคุม WiFi แบบเรียลไทม์) สามารถกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า และสามารถดูประวัติการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้ 6 เดือน

4. เครื่องวัดความเข้มแสงยูวี (UVC Meter รุ่น RGM-UVC) ช่วงการวัด 0-1,999 $\mu W/cm^2$

ผลการวิจัย

ผลการประเมินอัตราการรั่วของอากาศออกจากตู้คัดกรอง

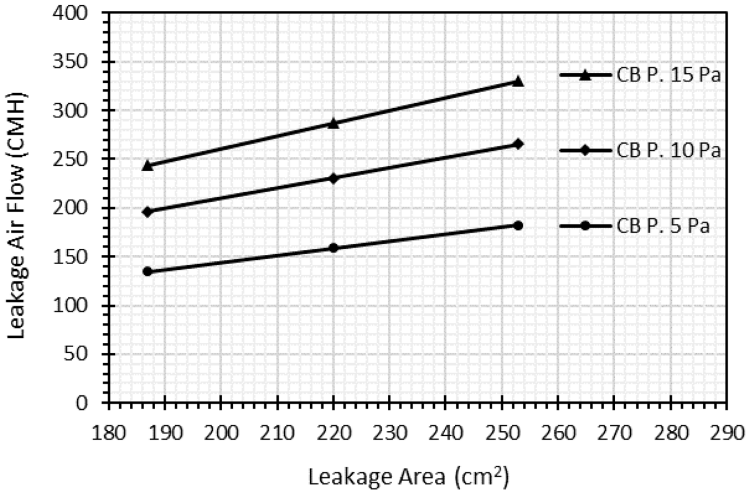
จากการทดลองควบคุมความดันภายในตู้คัดกรองความดันบวกที่ 3 ระดับ คือ 5 10 และ 15 Pa เพื่อหาอัตราการรั่วของอากาศออกจากตู้เมื่อกำหนดให้พื้นที่รอยรั่วมี 3 กรณี คืออากาศรั่วออกจากช่องว่างขอบประตู และอากาศรั่วออกจากช่องว่างขอบประตูร่วมกับช่องระบายอากาศ โดยช่องระบายอากาศมี 2 ช่องที่สามารถเปิดปิดได้ โดยอัตราการรั่วของอากาศวัดจากอัตราการป้อนอากาศใหม่เข้าสู่ตู้คัดกรอง ผลการทดลองแสดงดังภาพ 5 จากผลการทดลองพบว่า อัตราการรั่วของอากาศเพิ่มขึ้นตามความดันภายในตู้และพื้นที่รอยรั่วที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการรั่วสูงสุดมีค่า 330.2 m^3/h เมื่อความดันภายในตู้สูงสุดที่ 15 Pa และพื้นที่รอยรั่วสูงสุดที่ 253 cm^2 และอัตราการรั่วต่ำสุดมีค่า 134.9 m^3/h เมื่อความดันภายในตู้ต่ำสุดที่ 5 Pa และพื้นที่รอยรั่วต่ำสุดที่ 187 cm^2 โดยระดับความดันบวกภายในตู้คัดกรองที่กำหนดสอดคล้องกับมาตรฐาน 5-20 Pa (ISO 14644-4) และความดันภายในตู้ห้ามต่ำกว่า 2.5 Pa โดยพบว่า ค่าการระบายอากาศมีค่าต่ำสุด 46 เท่าของปริมาตรห้องใน 1 h ซึ่งสอดคล้องกับค่าการระบายอากาศต้องมากกว่า 12 เท่าของปริมาตรห้องใน 1 h

ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของพัดลมป้อนอากาศเข้าตู้คัดกรอง

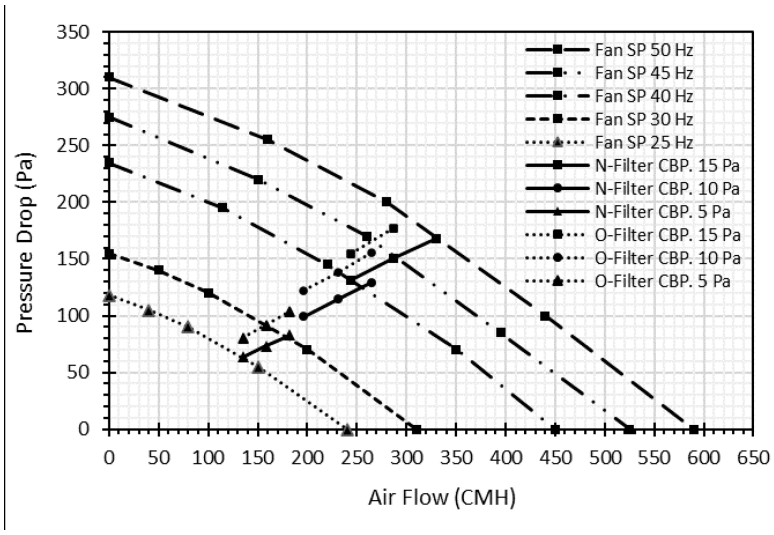
จากการทดลองปรับความเร็วรอบของพัดลมเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ตู้คัดกรองกับความดันแตกต่างระหว่างความดันในตู้และความดันตกจากชุดกรอง เมื่อพื้นที่รอยรั่วของตู้มี 3 ขนาด คือ 187 220 และ 253 cm^2 และอายุการใช้งานชุดกรอง 2 ช่วง คือ 0 และ 6 เดือน ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังภาพ 6 จากผลการทดลองพบว่า พัดลมทำงานที่ความเร็วรอบสูงขึ้นตามความดันภายในตู้ที่สูงขึ้นและพื้นที่รอยรั่วสูงขึ้นและเมื่อชุดกรองถูกใช้งานเป็นเวลา 6 เดือนพบว่าพัดลมต้องทำงานที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นประมาณ 2-3 Hz เมื่อปรับพื้นที่รอยรั่วของตู้ที่ 253 cm^2 พบว่า ไม่สามารถรักษาความดันตู้ลดลงจาก 15 Pa เหลือ 12 Pa

ผลศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

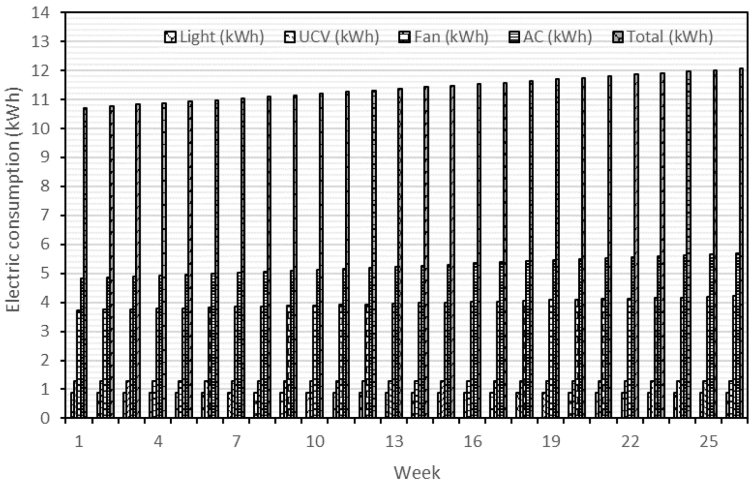
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าของตู้คัดกรอง โดยอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดคือเครื่องปรับอากาศ รองลงมา คือ พัดลมและหลอด UVC ภายในชุดกรองสิ่งปนเปื้อนและเชื้อโรคในอากาศ และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ ระบบแสงสว่าง โดยเครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามความร้อนของตู้คัดกรองและความสามารถในการรับความร้อนและระบายความร้อนของอิวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ ซึ่งสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองที่สะสมบริเวณแผงระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ (COP) และทำให้แนวโน้มอัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น นอกจากเครื่องปรับอากาศแล้วพัดลมภายในชุดกรองสิ่งปนเปื้อนและเชื้อโรคในอากาศก็เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่มีปัจจัยมาจากการอุดตันแผ่นกรองทำให้ความดันตกคร่อมแผ่นกรองเพิ่มขึ้นและการปรับตั้งความดันภายในตู้คัดกรองและการเปิดช่องระบายอากาศ โดยผลการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าสภาพใช้งานจริงรายสัปดาห์ แสดงในภาพ 7



ภาพ 5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่อากาศรั่วและอัตราการรั่วของอากาศที่ความดันภายในตู้แตกต่างกัน 3 ระดับ



ภาพ 6 กราฟแสดงสภาวะการทำงานของพัดลมที่ความดันภายในตู้ 3 ระดับและอัตราการรั่วของอากาศจากตู้ 3 ระดับ เมื่อใช้ชุดกรองใหม่และชุดกรองที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว 6 เดือน



ภาพ 7 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ารายสัปดาห์

ผลการทดสอบสภาวะการทำงานของตู้คัดกรองความดันบวก

จากการทดสอบสภาวะการทำงานของตู้คัดกรองความดันบวกเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 26 °C และปรับระดับการทำงานของพัดลมภายในเครื่องปรับอากาศที่ตำแหน่ง "Lo" และควบคุมค่าความดันภายในตู้คัดกรองความดันบวกไว้ที่ 10 Pa โดยพื้นที่รอยรั่วของตู้ที่ 220 cm^2 ผลการทดสอบแสดงในตาราง 1 จากผลการทดลองพบว่า ค่าคุณภาพอากาศภายในตู้คัดกรองสอดคล้องกับค่ามาตรฐานห้องความดันบวกดังนี้ ค่ามาตรฐานด้านแสงสว่างภายในโรงพยาบาล แผนกรักษาโรค ส่วนซักถามกำหนดระดับความสว่างต่ำสุดไว้ที่ 300 Lux (international commission on illumination) คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality--IAQ) ถ้าความเข้มข้นของ CO_2 ภายนอกอาคารมีค่า 300 ppm ภายในอาคารจะมีค่าความเข้มข้นของ CO_2 ไม่เกิน 1,000 ppm (ASHRAE Standard 62) อุณหภูมิภายในห้องมีค่ามาตรฐานที่ 24-26 °C ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 65% ความเร็วลม 0.1-0.3 m/s (0.25 m/s: (ASHRAE Standard 55)

การประมาณเงินลงทุนและค่าใช้จ่าย

ในการสร้างตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ มีรายละเอียดของเงินลงทุนประกอบด้วย ส่วนโครงสร้างตู้คัดกรอง เครื่องปรับอากาศ ชุดกรองที่มีวัสดุกรองติดตั้งไว้ภายใน หลอดฆ่าเชื้อ พัดลมป้อนอากาศเข้าตู้ เกจวัดความดันบวก ระบบสื่อสารอินเตอร์คอม ระบบแสงสว่างและเต้ารับ โดยมีรายละเอียดแสดงในตาราง 2 ในขณะที่ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการนำตู้คัดกรองไปใช้งาน โดยใช้จ่ายแยกออกเป็น 2 ส่วน คือค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าบำรุงรักษา โดยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใช้งานที่เพิ่มขึ้น โดยฝุ่นอุดตันชุดกรองทำให้อัตราการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศเพิ่มขึ้น โดยแผ่นกรองฝุ่นมีอายุประมาณ 2 ปี และการอุดตันของฝุ่นที่ชุดระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น จึงควรทำความสะอาดแผงระบายความร้อนเครื่องปรับอากาศทุก ๆ 6 เดือน

ตาราง 1

สภาวะการทำงานของตู้คัดกรองความดันบวกที่อายุการใช้งาน 0 และ 6 เดือน

สภาวะอากาศภายในตู้คัดกรอง	ตู้คัดกรองใหม่	ตู้คัดกรองอายุ 6 เดือน	ค่ามาตรฐานห้องความดันบวก
ความดันภายในตู้ (Pa)	10	10	5-20
อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ACH)	46	46	>12
อุณหภูมิอากาศ (°C)	22.4	22.5	22-26
ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	57.8-59.4	50	>65
ความเร็วอากาศปะทะตัว (m/s)	< 0.21	0.1-0.3	0.1-0.3
ความเข้มแสงภายในตู้ (Lux)	350	350	Min 300
คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	629-641	629	<1,000
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง (W)	306	339	-

ตาราง 2

แสดงรายละเอียดเงินลงทุน

รายการ	บาท
1. วัสดุก่อสร้างตู้คัดกรอง (1.2 m x 1.2 m x 2 m)	30,000
2. เครื่องปรับอากาศ Mitsubishi heavy duty invertor (DXK/C10-YXP-W1)	18,000
3. ชุดกรองประสิทธิภาพสูง AIRMAX (UML-U15-12243-G2-E2, MF2-CB-915, PP-STD-110)	5,500
4. ชุดหลอดฆ่าเชื้อ Philips UV-C-T5 (TUV 6W x 6 หลอด)	3,600
5. อุปกรณ์พัดลม KRUGER (TSK-II-160L)	3,500
6. อุปกรณ์วัดความดัน High Precision Air Differential Pressure Gauge (-30 to 30 Pa)	2,000
7. เครื่องสื่อสาร	2,000
8. ไฟแสงสว่างและเต้ารับ	1,000
รวม	65,600

การอภิปรายผล

จากการออกแบบและสร้างตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ และมีการนำไปติดตั้งเพื่อใช้งานในสถานการณ์จริง ณ คลินิกคัดกรองโรคทางเดินหายใจ โรงพยาบาลศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถนน รังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120 และทางคณะผู้วิจัยได้ติดตามความถี่ในการใช้งานพบว่า ตั้งแต่เดือน มกราคม 2565 ถึงเดือน มิถุนายน 2565 มีผู้ป่วย ATK รวม 2537 ราย ผู้ป่วยที่เข้าเกณฑ์กลุ่ม 608 ต้องใช้เวลารายละมากกว่า 15 นาที ส่วนผู้ป่วยที่ไม่เข้าเกณฑ์ 608 ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ในการซักประวัติรวมถึงจ่ายยา

จากการทดลองหาค่าสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของตู้คัดกรองความดันบวก โดยความดันภายในตู้คัดกรองกำหนดตามค่าแนะนำที่เหมาะในการใช้งานซึ่งมีค่าอยู่ที่ 10 Pa (ASHERE, 2019) เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดพื้นที่รอยรั่วของตู้จาก 187 เป็น 220 และ 253 cm^2 พบว่า อัตราการป้อนอากาศใหม่ (fresh air) เข้าสู่ตู้คัดกรองความดันบวกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการรั่วของลมเมื่อนำสมการที่ 1 มาพิจารณา พบว่าสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ n เท่ากับ 0.54 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5-1.0 (Gadgil et. al., 2006) อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการป้อนอากาศใหม่เข้าตู้ส่งผลต่อการใช้พลังงานของพัดลมป้อนอากาศ อีกทั้งยังลดอายุการใช้งานของชุดกรองอีกด้วย แม้ว่าในการกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูงจะกำหนดให้ใช้แผ่นกรอง HEPA แต่เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการใช้งานทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้แผ่นกรอง ULPA (U15) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาค 99.9995% ที่ขนาดอนุภาค 0.12 μm (Thai Engineering Specialists Co., Ltd., 2022) อีกทั้งการค่าเชื้อด้วย UVC ที่กำหนดค่าปริมาณรังสี UVC เป้าหมายขั้นต่ำไว้ที่ 1,500 μJ/cm^2 ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่าปริมาณรังสี UVC ที่ 3,300 μJ/cm^2

สรุปผลการทดลอง

ตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ที่ออกแบบและสร้างมีพื้นที่ภายใน 1.44 m^2 และมีความสูง 2 m คิดเป็นปริมาตรตู้ 2.88 m^3 ภายในติดตั้งเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่มีความสามารถในการทำความเย็นในช่วง 2,729-10,557 BTU/h โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 26 °C พัดลมภายในเครื่องปรับอากาศตั้งค่าให้ทำงานที่อัตราการไหล 150 m^3/h เป่าอากาศเย็นออกโดยมีทิศทางลมตรงไปยัง

บุคลากรทางการแพทย์ ตู้คัดกรองความดันบวกมีพื้นที่รอยรั่วปรับได้ 3 ระดับคือ 187 220 และ 253 cm^2 เพื่อให้ได้ความดันบวกภายในตู้คัดกรองมีค่า 10 Pa จึงต้องป้อนอากาศจากภายนอกเข้าสู่ตู้ที่อัตราการไหลสอดคล้องกับพื้นที่รอยรั่วคือ 196.1 230.7 และ 265.3 m^3/h อากาศจากภายนอกไหลผ่านชุดกรองสิ่งปนเปื้อนและเชื้อโรคในอากาศที่ประกอบด้วยกรองหยาบ (MERV5-6) กรองหยาบปานกลาง (MERV15) กรองละเอียดมาก (U15) พร้อมติดตั้งหลอดฆ่าเชื้อแสงยูวี (UVC) ที่ความเข้มของแสงยูวีที่ 3,300 μJ/cm2 ฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนอุดตันแผ่นกรองมากขึ้นตามเวลาการใช้งาน เมื่อใช้ชุดกรองต่อเนื่องเป็นเวลา 6 เดือนส่งผลให้ความดันตกคร่อมชุดกรองมากขึ้นประมาณ 20-30 Pa ซึ่งทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 แผ่นกรองมีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปี การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาเป็นพัดลมป้อนอากาศ หลอดไฟฆ่าเชื้อและระบบแสงสว่างตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การใช้ตู้คัดกรองความดันบวกควรควบคุมความดันอากาศภายในตู้ไว้ไม่ต่ำกว่า 5 Pa อย่างไรก็ตามศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค (CDC) แนะนำว่าความแตกต่างของแรงดันขั้นต่ำที่จำเป็นระหว่างห้องควบคุมความดันกับสภาพแวดล้อมภายนอกควรเท่ากับหรือมากกว่า 2.5 Pa ดังนั้นจึงควรมีระบบควบคุมความดันที่เหมาะสมแบบอัตโนมัติและมีสัญญานเตือนเมื่อความดันต่ำกว่าค่าที่กำหนดหรือมีอุปกรณ์ใดทำงานผิดปกติ

องค์ความรู้ใหม่และผลที่เกิดต่อสังคม

ต้นแบบตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในสถานการณ์ฉุกเฉินช่วงที่โรคติดเชื้อโควิด-19 ระบาดอย่างรุนแรง โดยหนึ่งในขั้นตอนสำคัญของการพัฒนาเครื่องต้นแบบ คือ การให้ผู้ใช้งานจริงมาทดลองใช้เครื่องและร่วมปรับปรุงแบบให้ตรงกับการใช้งานจริง และปัจจุบันเครื่องต้นแบบได้ถูกนำไปใช้จริงที่ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารีแล้วจำนวน 3 ตู้ โดยมีอายุการใช้งาน 1 ปี (สิงหาคม 2564) จำนวน 1 ตู้ อายุการใช้งาน 6 เดือน (กุมภาพันธ์ 2565) จำนวน 1 ตู้ และตู้คัดกรองติดตั้งใหม่ จำนวน 1 ตู้ (กันยายน 2565) ตู้คัดกรองรุ่นแรกถูกปรับปรุงให้เหมาะสมสำหรับการรักษาความดันบวกในช่วงที่เหมาะสมมากขึ้นโดยการเปลี่ยนพัดลมเติมอากาศใหม่เข้าสู่ตู้จากพัดลม KRUKER รุ่น TSKII-125L เป็น รุ่น TSKII-160L และติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบพัดลมเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถควบคุมความดันภายในตู้ให้อยู่ในช่วง 5-15 Pa ได้ และชุดกรองอากาศได้ใช้งานได้ยาวขึ้น 2 เท่า จาก 1 ปี เป็น 2 ปี

ตู้คัดกรองความดันบวกเพื่อลดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ มีการนำไปติดตั้งเพื่อใช้งานในสถานการณ์จริง ณ คลินิกคัดกรองโรคทางเดินหายใจ โรงพยาบาลศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถนน รังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120 และทางคณะผู้วิจัยได้ติดตามการใช้งานและความถี่ในการใช้งานพบว่า มีบุคลากรทางการแพทย์ 3 กลุ่มใช้ตู้คัดกรอง คือ แพทย์ พยาบาล และผู้ช่วยพยาบาล โดยใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ประกอบด้วย (1) ใช้คัดกรอง/ซักประวัติ ผู้ป่วยที่มีผล ATK เป็นบวก (2) ใช้ลงข้อมูล/ลงระบบ เกี่ยวกับประวัติการรักษาของผู้ป่วยโควิด 19 (3) ใช้แจก/จ่าย ยา ของผู้ป่วยโควิด-19 (4) ใช้ป้องกันการแพร่กระจายเชื้อจากผู้ป่วยสู่บุคลากร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนมิถุนายน 2565 โดยมีผู้ป่วยที่ผลตรวจ ATK เป็นบวก รวม 2537 ราย ผู้ป่วยที่เข้าเกณฑ์กลุ่ม 608 ต้องใช้เวลารายละมากกว่า 15 นาที ส่วนผู้ป่วยที่ไม่เข้าเกณฑ์ 608 ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ในการซักประวัติรวมถึงจ่ายยา

โดยตลอดระยะเวลาที่มีบุคลากรทางการแพทย์ใช้ตู้คัดกรองความดันบาก ไม่พบบุคลากรทางการแพทย์ติดเชื้อจากผู้ป่วยซึ่งแตกต่างจากเหตุการณ์ก่อนหน้า คือ ช่วงกรกฎาคม 2564 บุคลากรทางการแพทย์ของแผนก ARI ติดเชื้อโควิด-19 จากผู้ป่วยที่มาตรวจคัดกรอง เป็นเหตุให้ต้องปิดแผนก เป็นการชั่วคราว และกลับมาเปิดดำเนินการใหม่พร้อมกับต้นแบบตู้คัดกรองความดันบวกที่นำเข้าติดตั้งเพื่อใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากเงินกองทุนส่งเสริมพัฒนาการวิจัยและนวัตกรรมส่วนสะสมของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2565

References

Aroom, K., Ge, J., Al-Zogbi, L., White, M., Trustman, A., Greenbaum, A., Farley, J., and Krieger, A. (2022). Positive pressure testing booths development and deployment in response to the COVID-19 outbreak. *About Journal of Medical Devices, 16*(1), 011001. https://doi.org/10.1115/1.4052515

ASHRAE. (2019). *ASHRAE handbook-hvac applications-chapter 62 ultraviolet air and surface treatment*. Retrieved from https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/i-p_a19_ch62_uvairandsurfacetreatment.pdf

ASHRAE. (2021). *Technical resources: Filtration-disinfection*. Retrieved from https://www.ashrae.org/technical-resources/filtration-disinfection

Centers of Disease Control and prevention. (2003). *Guidelines for environmental infection control in health-care facilities*. Retrieved from https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/environmental/background/air.html

Centers of Disease Control and prevention. (2022). *Sars-Cov-2-transmission*. Retrieved from https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html

Department of Disease Control. (2022). *Covid-19-daily*. Retrieved from https://data.go.th/en/dataset/covid-19-daily

Department of Disease Control. (2022). *Timeline-cases-by-provinces*. Retrieved from https://covid19.ddc.moph.go.th/api/Cases/timeline-cases-by-provinces

Gadgil, A., Price, P. N., Shehabi, A., & Chan, R. (2006). *Indoor-outdoor air leakage of apartments and commercial buildings. CEC-500-2006-111. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory.* http://www.energy.ca.gov/2006publications/CEC-500-2006-111/CEC-500-2006-111.PDF.

Galbadage, T., Peterson, B. M., & Gunasekera, R. S. (2020). Does COVID-19 spread through droplets alone? Front. *Public Health, 8*(163), 1-4. https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00163

International Standard. (2001). *Cleanrooms and associated controlled Environments, Part 4: Design, construction and start-up (ISO 14644-4).* Retrieved from http://www.driso.ir/standards/iso/ISO_14644_4_2001_,_Cleanrooms_and.pdf

Nair, S. S., Prajapati, A. K., Venkatesan, R. B., Vayalappil, M. C., & Kishore, A. (2020). Design and Evaluation of Chitra Swab Collection Booths for Health Professionals in COVID-19 Pandemic. *Transactions of the Indian National Academy of Engineering, 2020*, 1-6. doi:10.1007/s41403-020-00167-x

Pharmaceuticalhvac. (2020). *Leakages calculation*. Retrieved from https://www.pharmaceuticalhvac.com/leakages-calculation/

Sakkawong, S., Kullatam, P., Kumsang, W., & Chunate, Y. (2021). Guidelines for the prevention of COVID-19 transmission from using medical tools and equipment in patient care. *Siriraj Medical Bulletin (SMB), 14*(1), 41-49. (in Thai)

Stadnytskyi, V., Bax, C. E., Bax, A., & Anfinrud, P. (2020). The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 117*(22), 11875-11877. https://doi.org/doi:10.1073/pnas.2006874117

Thai Engineering Specialists Co., Ltd. (2022). *ULPAMax: Ultra law penetrating air*. Retrieved from www. Airmaxthai.com

การแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบอัตโนมัติ
Salt Separation by Automation Control System

อุกฤษฎ์ ธรรมะ[1] นราธิป แสงซ้าย[1] ภาวัช จันทสร[1] และอรรถสิทธิ์ วงศ์เจริญ[1]*
Ukrit Thamma[1], Naratip Sangsai[1], Pawat Jantasorn[1] and Athasit Wongcharoen[1]*
[1]เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[1]Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
*Corresponding author: athasit.w@cit.kmutnb.ac.th
Received: July 25, 2023
Revised: September 8, 2023
Accepted: September 14, 2023

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการนำน้ำทะเลมาแปรรูปเพื่อให้ได้ผลผลิตที่เป็นเกลือออกมานั้น ต้องใช้วิธีการต่าง ๆ หลายกระบวนการ ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีในการลดต้นทุนการแยกน้ำและเกลือของน้ำทะเลออกจากกันโดยใช้เทคโนโลยีในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบและสร้างระบบการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติใช้หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริคและอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการเก็บข้อมูลต่าง ๆ โดยมี 4 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรก คือ ประกอบโครงสร้างและอุปกรณ์ทั้งหมด ขั้นที่สอง คือ เริ่มการใช้โปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์และเปิดการใช้งานอุปกรณ์ทั้งหมด ขั้นตอนที่สาม คือ วิเคราะห์ข้อมูลและสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลแต่ละการทดลอง ขั้นตอนที่สี่ คือคำนวณเปอร์เซนต์ประสิทธิภาพในการผลิตเกลือและสรุปผล ส่วนสำคัญคืออัลตราโซนิคฟอกเกอร์จะสร้างหมอกโดยการสั่นของคลื่นความถี่สูงบริเวณพื้นผิวน้ำจนทำให้น้ำกลายเป็นหมอกที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมครอน ส่วนเทอร์โมอิเล็กทริคจะทำหน้าที่ในการสร้างเกลือโดยด้านร้อนทำหน้าที่ในการระเหยหมอกที่มีเกลือปนอยู่ให้กลายเป็นเกลือ ส่วนด้านเย็นจะทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำที่ได้จากด้านร้อนให้เป็นน้ำ จากการทดลองที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ปริมาตรน้ำที่หายไปและอุณหภูมิฮีตซิงก์ด้านร้อนมีความใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดอนุภาคของหมอกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตเกลือ ซึ่งทำให้ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. มีความร้อนเกิดที่ฮีตซิงก์มากสุดเกิดประสิทธิภาพการระเหยเกลือได้สูงที่สุด

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริค อัลตราโซนิคฟอกเกอร์ การแลกเปลี่ยนความร้อน ระบบการทำนาเกลือ

Abstract

At present, the process of transforming seawater into salt employs a range of diverse methods and techniques. Researchers have introduced an approach aimed at cost reduction in the separation of water and salt from seawater, leveraging contemporary technologies. The primary goal of this investigation is to examine the design and implementation of an automated control system for separating salt from seawater, grounded in the principles of thermoelectricity coupled with ultrasonic technology. Data collection by the researchers unfolded in four main phases. Initially, the complete structure and equipment are assembled. Next, software programs are written to gather data from various sensors. The subsequent step involved data analysis in order to compare experimental results. Finally, the researchers computed the efficiency percentage of salt production and summarized their findings. Key components of this process include the ultrasonic vibration generator, which generates micron-sized water droplets through high-frequency vibrations on the water surface, resulting in smaller mist particles measuring less than 5 microns. Simultaneously, the thermoelectric component is responsible for producing salt by heating the mist containing salt impurities, while the cold side condenses the steam from the hot side back into water. In experiments conducted with water layer thicknesses of 3 cm, 4 cm, and 5 cm, it was observed that the volume of lost water and the temperature of the hot side were similar. However, the particle size of the mist varied, impacting the efficiency of salt production. Consequently, the 5 cm water layer exhibited the highest temperature on the hot side, leading to the greatest effectiveness in salt water evaporation.

Keywords: Thermoelectric, Ultrasonic fogger, Heat exchange, Salt farming system

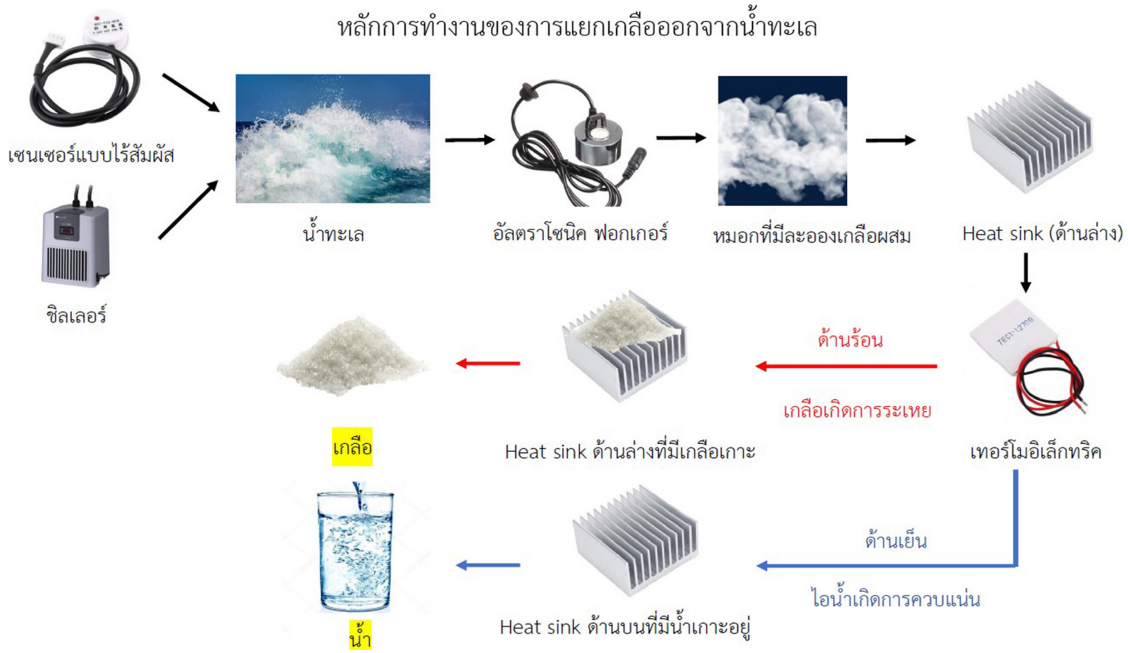
บทนำ

ในปัจจุบันการนำน้ำทะเลมาแปรรูปเพื่อให้ได้ผลผลิตที่เป็นเกลือและน้ำบริสุทธิออกมานั้น ต้องใช้วิธีการต่าง ๆ หลายกระบวนการ เช่น การทำรีเวิร์สออสโมซิส (Cerci, 2002) การทำระบบกลั่นด้วยอัลตราโซนิก (Hosseingholiloua, Banakara & Mostafaeib, 2019) การทำระบบกลั่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Shatat, Worall & Riffat, 2013) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริคและระบบแยกเกลือโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการ (Aberuee, Baniasadi & Ziaei-Rad, 2017) สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะสนใจในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลเพื่อการทำนาเกลือ โดยการทำนาเกลือต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ใช้แรงงานคนและมีต้นทุนสูง (Moossa, Trivedi, Saleem & Javaid Zaidi, 2022) สภาพอากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณผลผลิต คุณภาพและราคา (El-Dessouky & Ettouney, 2002) นอกจากนี้การทำนาเกลือยังส่งผลต่อทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง แม้สถานการณ์การผลิตเกลือจะมีแนวโน้มลดลง แต่ในหลายพื้นที่ของจังหวัดที่ติดชายฝั่งทะเลยังคงมีการทำนาเกลืออย่างต่อเนื่อง การทำนาเกลือถือเป็นการใช้ประโยชน์พื้นที่ชายฝั่งทะเลรูปแบบหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเล เช่น การขยายพื้นที่ทำนาเกลือรุกล้ำเข้าไปยังพื้นที่ของป่าชายเลน ส่งผลให้พื้นที่ของป่าชายเลนลดลง นอกจากนี้การทำนาเกลือยังส่งผลทำให้ดินกลายสภาพเป็นดินเค็ม ส่งผลทำให้ดินเกิดความเสื่อมโทรม และไม่สามารถนำดินมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีในการลดต้นทุนการแยกน้ำและเกลือของน้ำทะเลออกจากกันโดยใช้

เทคโนโลยีสมัยใหม่มาปรับใช้ (Ahmadi, Khanmohammadi, Musharavati & Afrand, 2020) อีกทั้งยังมีผู้ที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและได้ทดลองออกมาก่อนหน้านี้ คือ นวัตกรรมการทำนาเกลือด้วยเทอร์โมอิเล็กทริคและอัลตราโซนิคในระบบปิด โดยจะใช้หลักการของเทอร์โมอิเล็กทริค (Thermoelectic) เพื่อสร้างความต่างของอุณหภูมิของทั้ง 2 ด้านจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป (Miller, Hendricks & Peterson, 2009) และอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ (Ultrasonic Fogger) เทคโนโลยีการเปลี่ยนน้ำให้กลายเป็นไอ โดยใช้หลักการเพียโซอิเล็กทริค (Piezoelectric) ทำให้น้ำกลายเป็นไอ ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่า 5 ไมครอน จนได้ผลผลิตเกลือที่แยกตัวออกมาจากน้ำทะเลโดยหลักการดังกล่าวได้นำไปจดอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 21754 (Athasit & Ukrit, 2023) ซึ่งการทดลองเป็นเพียงการเริ่มต้น ยังมีข้อผิดพลาดหลายจุด ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำการทดลองนี้มาทำการศึกษาและทดลองมาปรับปรุงเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นและยังเป็นการต่อยอดเพื่อให้เกิดความรู้ และเป็นตัวอย่างให้กับผู้ที่สนใจที่อยากจะทำงานวิจัยที่คล้ายกันนำไปทดลองต่อเพื่อลดข้อผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด

จากการทดลองที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้กล่าวถึงปัญหาไว้มากมายที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้สรุปปัญหาที่เกิดขึ้นและคิดว่าควรนำมาแก้ไขต่อ ได้แก่ การแก้ปัญหาทำให้น้ำทะเลนั้นคงระดับเท่าเดิม ในระหว่างการทำปฏิกิริยากับอัลตราโซนิคฟอกเกอร์เนื่องจากการสร้างอนุภาคหมอกจากน้ำโดยใช้อัลตราโซนิคฟอกเกอร์นั้นจะทำให้ปริมาณน้ำเกิดการลดลงได้ การแก้ปัญหาลมตีกลับจากภายในท่อลำเลียงละอองเกลือที่มาจากหมอกดังกล่าวข้างต้นแก้ไขโดยการออกแบบโครงสร้างระบบท่อใหม่ การแก้ปัญหาการควบคุมอุณหภูมิน้ำทะเลให้คงที่ระหว่างการทำปฏิกิริยากับอัลตราโซนิคฟอกเกอร์นั้นเนื่องจากการสร้างอนุภาคหมอกจากน้ำโดยอัลตราโซนิคฟอกเกอร์นั้นจะทำให้อุณหภูมิของน้ำนั้นร้อนขึ้นได้ซึ่งส่งผลเสียต่อการทำงานในระบบการผลิตเกลือได้ แก้ไขโดยการใช้อุปกรณ์ปรับควบคุมอุณหภูมิทำให้อุณหภูมิน้ำทะเลคงที่ และปัญหาการควบคุมอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริคควบคู่การกรองเกลือที่ได้จากการผลิตโดยใช้แผงระบายความร้อน (heat sink) ที่ผู้วิจัยทำก่อนหน้านั้นระบายอากาศของเทอร์โมอิเล็กทริคและกรองเกลือได้ไม่ดีพอ แก้ไขโดยการเปลี่ยนโครงสร้างใหม่แทน ซึ่งการแก้ไขปัญหาทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น จะทำให้ระบบการผลิตเกลือของนวัตกรรมการทำนาเกลือด้วยเทอร์โมอิเล็กทริคและอัลตราโซนิคในระบบปิดนั้นมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น โดยหลักการทำงานของการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล ดังภาพ 1 มีการควบคุมระบบให้คงที่มากยิ่งขึ้นโดยผ่านการควบคุมแบบอัตโนมัติ สามารถนำไปต่อยอดการทำเกลือที่มาจากน้ำทะเลได้ นำเอาระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการศึกษาเพื่อให้ระบบการผลิตเกลือมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



ภาพ 1 หลักการทำงานของการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบอัตโนมัติ

วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานจะต้องเริ่มจากกรอบแนวคิดของงานวิจัย การออกแบบระบบต่าง ๆ ของงานวิจัย และการดำเนินงานในด้านต่าง ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจำเป็นต้องมีการวางแผนการทำงาน ดังนี้

1 แนวคิดในการออกแบบการทำงาน

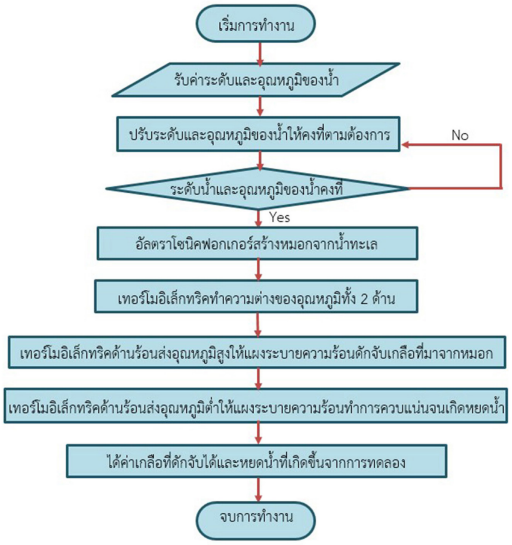
เนื่องจากผู้วิจัยได้เห็นว่าการทำนาเกลือต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ใช้แรงงานในการทำงาน ใช้ต้นทุนต่าง ๆ และยังมีสภาพอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงต้องการสร้างนวัตกรรมชุดจำลองแบบใหม่สำหรับอุตสาหกรรมเกลือ เพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ของการทำนาเกลือในปัจจุบันและยังเป็นทางเลือกใหม่ในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจึงนำมาศึกษา ซึ่งทางผู้วิจัยจะอธิบายขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและการทดลองดังภาพ 2

2 การกำหนดขอบเขตการทำงาน

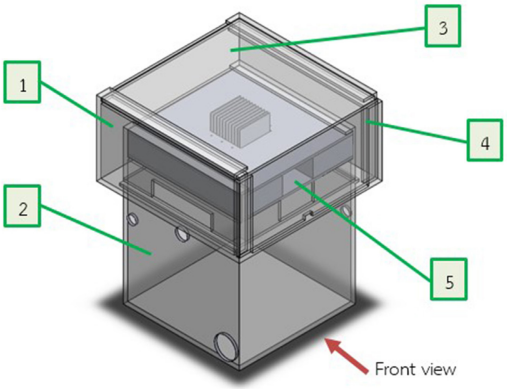
ผู้วิจัยจะแสดงวิธีการออกแบบในด้านต่าง ๆ ของงานวิจัยนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีการออกแบบ ดังนี้

2.1 การออกแบบโครงสร้างของงาน

โครงสร้างของนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติจะเน้นไปที่การออกแบบขนาดที่ไม่ใหญ่มาก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ในส่วนของตัวชิ้นงานทั้งหมดนั้นจะใช้แผ่นวัสดุประเภทพลาสติกอะคริลิก เนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีลักษณะที่ใส มองเห็นการทำงานได้ชัด โดยผู้วิจัยจะบรรจุน้ำทะเลไว้ภายในกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสพร้อมกับอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ ที่จะใช้ในการทำงานในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล ด้านข้างกล่องจะมีการเจาะรูเพื่อเป็นรูทางเข้าของสวิตช์ลูกลอยที่ใช้ในการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ และมีการทำช่องเพื่อเป็นที่ระบายหมอกมายังโซนฝาครอบด้านบนกล่องที่ครอบแผงระบายความร้อนฝั่งเย็นเพื่อทำการควบแน่นน้ำที่ฝั่งเย็น ส่วนของฝาปิดกล่องด้านในใช้เพื่อทำเป็นระบบปิดภายในระบบ ในฝาจะประกอบด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริค แผงระบายความร้อนฝั่งเย็นประกบด้านบนและโฟมโลหะประกบด้านล่าง ประกอบอยู่ด้วยกัน และจะมีการออกแบบให้แผงระบายความร้อนด้านบนของฝามีพื้นผิวที่เฉียงลงเพื่อเป็นการระบายน้ำที่มาจากการควบแน่นลงสู่กล่องเก็บน้ำด้านข้างอีกด้วย



ภาพ 2 ตัวอย่างของโฟลว์ชาร์ตการทำงาน



ภาพ 3 การออกแบบโครงสร้างของกล่อง

จากภาพ 3 หมายเลข 1 คือ ฝาครอบปิดกล่องทำจากอะคริลิก มีขนาดประมาณ 19x19 ซม. สูง 10 ซม. ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิด้านเย็นให้ควบแน่นให้ดีขึ้น หมายเลข 2 คือ ส่วนของกล่องทำจากอะคริลิก มีขนาดประมาณ 15x15 ซม. สูง 20 ซม. ทำหน้าที่เก็บน้ำในการทดลองพร้อมใส่อัลตราโซนิคฟอกเกอร์และฐานท่อพีวีซี (PVC) ไว้ภายใน โดยมีรูด้านข้างกล่องต่าง ๆ ได้แก่ รูด้านซ้ายกล่องจะมี 3 รู รูดึงน้ำออกเพื่อไปปรับอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ รูสายไฟของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ และรูท่อระบายน้ำทิ้ง ส่วนอีก 2 รูด้านขวาของกล่องเป็นรูเติมน้ำที่มาจากเครื่องปรับอุณหภูมิน้ำและรูเติมน้ำเพื่อปรับระดับน้ำภายในให้คงที่ นอกจากนี้ยังมีช่องอีก 2 ช่อง ได้แก่ ช่องระบายหมอก 2 ช่องทำหน้าที่ระบายหมอกที่ลอยขึ้นมาจากการทำงานของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ไปยังบริเวณฝาครอบด้านบนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริคฝั่งเย็นไม่ให้เย็นจนเกินไป และอีกช่องเป็นช่องลอดของแผงระบายความร้อนฝั่งร้อน หมายเลข 3 คือ แผ่นสไลด์อะคริลิกด้านบนมีขนาดประมาณ 18.5x18.5 ซม. หนา 3 มม. ทำหน้าที่ปิดฝาครอบให้เป็นระบบปิด สะดวกในการทดลองแต่ละครั้ง หมายเลข 4 คือ แผ่นสไลด์อะคริลิกด้านหน้า มีขนาดกว้าง 9 ซม. และยาว 18.5 ซม. หนา 3 มม. ทำหน้าที่ปิดฝาครอบให้เป็นระบบปิด และสะดวกในการทดลองแต่ละครั้ง จะมีรูขนาดเล็กเพื่อเป็นช่องสำหรับสายไฟของเทอร์โมอิเล็กทริคและสายไฟของตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD รุ่น PT100 ทั้ง 3 ตัว หมายเลข 5 คือ ฝาปิดแบบสไลด์ทำจากอะคริลิก มีขนาดประมาณ 15x15 ซม. หนาประมาณ 3 ซม. ทำหน้าที่ปิดการทำงานภายในให้เป็นระบบปิด ภายในฝาจะมีช่องที่เก็บแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคและแผงระบายความร้อนทั้ง 2 ฝั่งอยู่ตรงกลาง ช่องมีขนาดกว้างและยาว 4x4 ซม. ซึ่งเท่ากับขนาดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคและแผงระบายความร้อนทั้ง 2 ฝั่งพอดี โดยระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคและแผงระบายความร้อนจะมีกาวซิลิโคนระบายความร้อนทำหน้าที่เชื่อมและยึดไม่ให้หลุดออกจากกัน และยังมีรูด้านหน้าของฝาที่ทำการตัดไว้เพื่อเป็นทางออกของสายไฟของเทอร์โมอิเล็กทริคและสายไฟของตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD ทั้ง 3 ตัว นอกจากนี้ยังมีรูขนาดเล็กอีก 6 รูอยู่ใกล้ ๆ ช่องเก็บแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคและแผงระบายความร้อนทำหน้าที่เป็นรูใส่ลวดเพื่อทำการยึดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคและแผงระบายความร้อนให้อยู่ตัวติดกับแผ่นฝาปิดอีกด้วย

2.2 การออกแบบระบบการใช้พลังงาน

ในการออกแบบและการเลือกใช้ระบบพลังงานความร้อน จะอาศัยหลักการเดียวกับการทำนาเกลือรูปแบบการต้มให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ โดยจะเหลือแต่เกลือที่ตกผลึกอยู่ ซึ่งหลักการนี้สามารถแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 3 ส่วน ได้ ดังนี้

(1) เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) มาจากการนำคำสองคำมารวมกันได้แก่ เทอร์มอล (Thermal) และ อิเล็กทริกซิตี้ (Electricity) หรือ ความร้อน + อุณหภูมิ ส่วนองค์ประกอบภายนอก คือ เซรามิกสีขาว ขนาดเท่ากันสองด้านต่อกับสายไฟ 2 เส้น ขั้วบวกและขั้วลบ (Khanmohammadi, Saadat-Targhi, Ahmed & Afrand, 2020) องค์ประกอบด้านในนั้นทำมาจากสารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น (P-N Type) วัสดุที่ใช้ในเทอร์โมอิเล็กทริค คือ บิสมัทเทลลูไรด์ (Bismuth Telluride) เทอร์โมอิเล็กทริค หรือ TEC เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ (Saadat-Targhi & Khanmohammadi, 2019) และในทางกลับกันก็ยังสามารถเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน (Demir & Dincer, 2017) โดยลักษณะการทำงานที่ใช้ในการทดลอง คือ เทอร์โมอิเล็กทริคเป็นแผ่นที่สามารถสร้างความเย็นได้ที่ด้านหนึ่ง (Seyed, Mohammad, Milad, Soroush, Fathollah, Lingen, Mohammad & Ravinder, 2019) และปล่อยความร้อนออกมาที่อีกด้านหนึ่ง ซึ่งด้านร้อนจะเป็นด้านที่ทำให้หมอกเกลือเกิดการตกผลึก ส่วนด้านเย็นจะเป็นด้านที่ทำให้เกิดการควบแน่นของน้ำ ตามภาพ 4

ภาพ 4 เทอร์โมอิเล็กทริค 12 VDC 6 A (Windsolargadget, 2016)

(2) แผงระบายความร้อนหรือฮีตซิงก์ (Heat Sink) ใช้แผงระบายความร้อนจำนวน 2 ชิ้นเพื่อประกบด้านบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริค 1 ชิ้นและประกบด้านล่างแผ่นอีก 1 ชิ้น โดยมีขนาด 4x4 ซม. และสูงประมาณ 3.5 ซม. ทั้ง 2 ชิ้น

(3) กาวซิลิโคนระบายความร้อน (silicone thermal paste) ใช้ในการติดเชื่อมระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคและแผงระบายความร้อนเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการถ่ายเทอุณหภูมิที่มาจากเทอร์โมอิเล็กทริคไปยังแผงระบายความร้อนได้ดีอีกด้วย

2.3 การออกแบบระบบการเปลี่ยนขนาดโมเลกุลน้ำ

นวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติได้ใช้วิธีเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลน้ำทะเลให้เล็กลงเพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลน้ำทะเล ให้ระเหยเป็นหมอกที่อุณหภูมิที่ต่ำลง โดยทางผู้วิจัยได้เลือกอุปกรณ์ที่มีชื่อว่าอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ (Chen, Weavers & Walker, 2006) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลของน้ำให้เล็กลง โดยการสั่นด้วยความถี่อย่างต่อเนื่อง จากหลักการของคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (Doosti, Kargar & Sayadi, 2012) แต่ยังคงสถานะเป็นของเหลวเช่นเดิม เมื่อขนาดโมเลกุลเล็กลง ทำให้มีมวลที่เบาลง จะสามารถลอยตัวอยู่ในอากาศได้ระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนที่จะตกลงมาในภาชนะหรืออาจลอยไปตามทิศทางลม โดยอัลตราโซนิคฟอกเกอร์จะสร้างหมอกโดยการใช้ตัวแปลงสัญญาณแบบเพียโซอิเล็กทริค สะท้อนความถี่ 1.6 MHz ในการผลิตการสร้างการสั่นของคลื่นความถี่สูงบริเวณบนพื้นผิวของน้ำทะเล จะทำให้น้ำทะเลนั้นกลายเป็นหมอกที่มีเกลือผสมอยู่ ซึ่งอนุภาคน้ำในหมอกจะมีขนาดน้อยกว่า 5 ไมครอน และลอยไปเจอกับแผงระบายความร้อนฝั่งร้อนจนเกลือเกิดการตกผลึก

2.4 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิของน้ำทะเล

ในส่วนของระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำทะเล ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องปรับอุณหภูมิน้ำชิลเลอร์ในการควบคุมอุณหภูมิน้ำทะเลให้มีอุณหภูมิคงที่ตามที่ต้องการ โดยขณะที่อัลตราโซนิคฟอกเกอร์ทำงานอุณหภูมิของน้ำทะเลจะสูงขึ้น ซึ่งจะใช้อุปกรณ์ RTD ในการตรวจจับอุณหภูมิเป็นตัวควบคุม เมื่อใดที่อุณหภูมิสูงขึ้นกว่าจุดที่ผู้วิจัยต้องการ RTD จะส่งสัญญาณให้ปั๊มน้ำดีซีทำงานเพื่อที่จะดึงน้ำทะเลเข้าเครื่องปรับอุณหภูมิน้ำและปล่อยกลับมาเหมือนเดิมเป็นการทำงานแบบวนลูปซ้ำไปเรื่อย ๆ เพื่อปรับให้อุณหภูมิน้ำเป็นไปตามที่ต้องการ โดยปั๊มน้ำดีซีจะมีการควบคุมมอเตอร์ตามอุณหภูมิของน้ำแบบอัตโนมัติ คือ เมื่อน้ำทะเลถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วจะสั่งการให้ปั๊มหยุดทำงานในการนำน้ำทะเลเข้ามา แต่ถ้าอุณหภูมิกลับไปสูงขึ้นอีกครั้งปั๊มก็จะทำงานอีกครั้งนึง นอกจากนี้ยังมีเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำช่วยตรวจจับความเร็วของน้ำขาเข้าขณะเข้าสู่เครื่องชิลเลอร์อีกด้วย

2.5 การออกแบบระบบไฟฟ้าที่ต้องใช้ในระบบ

ระบบไฟฟ้าผู้วิจัยจะใช้แรงดันไฟฟ้าซึ่งจะมาจากไฟบ้าน คือ 220 โวลต์ แล้วจึงผ่านเข้าอุปกรณ์ที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และลดขนาดของแรงดันไฟฟ้าลง โดยจะแยกออกเป็น 2 ส่วน ตามแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ (1) สวิตช์ชิ่งเพาเวอร์ซัปพลาย 12 โวลต์ ดีซี 15 แอมป์ จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกและบอร์ดชุดขับมอเตอร์รุ่น L298N (2) อะแดปเตอร์ 24 โวลต์ ดีซี 2 แอมป์ จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้อัลตราโซนิคฟอกเกอร์

3 การดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

ในส่วนของกล่องที่จะใช้ทดลองในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล จะใช้กล่องที่ทำมาจากพลาสติกอะคริลิก มีขนาดประมาณ 15x15 ซม. สูง 20 ซม. ทำหน้าที่เก็บน้ำในการทดลองพร้อมใส่อัลตราโซนิคฟอกเกอร์และฐานท่อพีวีซี (PVC) ไว้ภายใน โดยมีรูด้านข้างกล่องได้แก่ รูด้านซ้ายกล่องจะมี 3 รู รูดึงน้ำออกไปปรับอุณหภูมิน้ำ รูสายไฟของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ และรูท่อระบายน้ำทิ้ง ส่วนอีก 2 รูด้านขวาของกล่องเป็นรูเติมน้ำที่มาจากเครื่องปรับอุณหภูมิน้ำและรูเติมน้ำเพื่อปรับระดับน้ำภายในให้คงที่ นอกจากนี้ยังมีช่องอีก 2 ช่อง ได้แก่ ช่องระบายหมอก 2 ช่องทำหน้าที่ระบายหมอกที่ลอยขึ้นมาจากการทำงานของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ไปยังบริเวณฝาครอบด้านบนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริคฝั่งเย็นไม่ให้เย็นจนเกินไป และอีกช่องเป็นช่องลอดของแผงระบายความร้อนฝั่งร้อน โดยทางผู้จัดทำได้ตัดสินใจที่จะผลิตโดยผ่านร้านอะคริลิก ซึ่ง

ใช้เลเซอร์ในการตัดแผ่นอะคริลิกที่ละชิ้นส่วนและประกอบแต่ละชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยใช้กาวประสานอะคริลิกจนได้กล่องทดลองที่เสร็จสมบูรณ์

ในส่วนของแผงระบายความร้อนนั้นจะแบ่งเป็น 2 ชิ้น ชิ้นแรกจะอยู่ด้านบนที่เป็นด้านเดียวกับฝั่งเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริคที่เป็นด้านเดียวกับฝั่งเย็นทำหน้าที่ควบแน่นน้ำ และอีกชิ้นจะอยู่ด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริคที่เป็นด้านเดียวกับฝั่งร้อนทำหน้าที่ดักเกลือที่มาจากหมอก โดยทั้ง 2 ชิ้นส่วนจะต่อกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD รุ่น PT100 แบบหัวสกรูอย่างละ 1 ตัว ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นทั้งฝั่งร้อนและฝั่งเย็น

นอกจากนี้ในตอนแรกแผงระบายความร้อนนั้นยังมีขนาดที่ใหญ่เกินไป ไม่ได้ขนาดที่ต้องการ ทำให้ต้องทำการกัดแผงระบายความร้อนเพื่อให้ได้ขนาด 4x4 ซม. สูง 3.5 ซม. และทำการเจาะรูเพื่อที่จะเป็นรูเสียบตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD โดยเจาะขนาด M6 ลึกประมาณ 2-3 ซม. เมื่อทำการกัดและเจาะแล้วนำไปประกอบเข้ากับตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD หลังจากนั้นนำไปประกอบเข้ากับในช่องของฝาสไลด์ปิดระบบขนาด 4x4 ซม. หนา 3 ซม. และทำยึดด้วยเส้นลวด 3 เส้นที่ลอดรูซ้ายและขวาที่ได้เจาะไว้

4 การดำเนินงานด้านไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าภาคกำลังจะทำการดึงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ขนาด 220 โวลต์เอซีเข้าไปจ่ายให้กับตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า 2 ขนาด ขนาดแรกจะเป็นสวิตช์ชิ่งเพาเวอร์ซัปพลาย 12 โวลต์ดีซี โดยจะเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแปลงจนเหลือ 12 โวลต์ดีซีไปยังเทอร์โมอิเล็กทริคและชุดขับมอเตอร์รุ่น L298N และอีกขนาด คือ อะแดปเตอร์ 24 โวลต์ดีซี โดยจะเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแปลงจนเหลือ 24 โวลต์ดีซีไปยังอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ ขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุม โดยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุมจะเป็นการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์และต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ เริ่มจากเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์เอซีต่อเข้ากับตัวแปลงไฟอะแดปเตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้าเหลือ 20 โวลต์ดีซีเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนเมกา 2560 (Arduino MEGA2560) จะต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์และเชื่อมต่อไปยังเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้แรงดัน 5 โวลต์ดีซี โดยไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนเมกา 2560 จะเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ (Arduino, 2019)

5 การดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์

การติดตั้งและทดสอบการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยอาดูโนไอดีอี (Arduino IDE) ในเบื้องต้นจะเริ่มจากการติดตั้งโปรแกรมอาร์ดูโนไอดีอี (Arduino IDE) และทดสอบการทำงานพื้นฐานของอาร์ดูโนเมกา 2560 โดยทำการติดตั้งอาร์ดูโนไอดีอี ในคอมพิวเตอร์เสร็จสิ้นแล้ว ทำการทดสอบการใช้งานของบอร์ดโดยการกดปุ่ม “Upload” ที่หน้าต่าง “Sketch” ของโปรแกรมบลิงค์ (Blink) ถ้าอัปโหลดเสร็จสมบูรณ์ ไฟจอแสงข้อความบนบอร์ดอาร์ดูโนเมกา 2560 จะกระพริบเป็นจังหวะทุก 1 วินาที (Adafruit, 2017) เมื่อเห็นแล้วว่าโปรแกรมสามารถทำตามข้อมูลที่ผู้วิจัยอัปโหลดได้สำเร็จ (Tabletop Robotics, 2019) จากนั้นเขียนโค้ดโปรแกรมเพื่อทำระบบควบคุมของนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติได้เลย

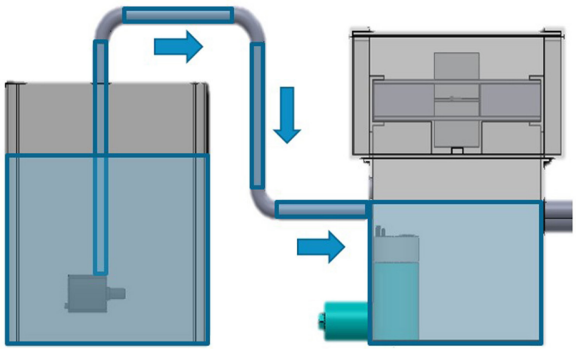
วิธีการทดลอง

ในการทดลองจริงนั้นไม่สามารถหาน้ำทะเลจริง ๆ มาใช้งานจึงได้ใช้น้ำเปล่าผสมเกลือเพื่อใช้ทดสอบแทนน้ำทะเล โดยน้ำเกลือที่ผสมนั้นจะอ้างอิงจากค่าความเค็มของน้ำทะเลจริง ๆ ซึ่งเท่ากับ 35 ppt หรือเท่ากับเกลือ 35 กรัมต่อน้ำเปล่า 1,000 กรัม นำน้ำเกลือที่ผสมแล้วมาใส่ในกล่องบรรจุน้ำที่รอการเติมน้ำเข้าสู่กล่องทดลองเพื่อควบคุมระดับน้ำ และทำการชั่งน้ำหนักโดยจะใช้น้ำเกลือจำนวน 3,200 กรัม จากนั้นนำปั๊มน้ำขนาดเล็กที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าไปในกล่องแล้วปิดฝาเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำทำการเปิดปั๊มน้ำเพื่อเติมน้ำเกลือเข้าไปในกล่องทดลอง โดยปั๊มน้ำจะทำการเติมน้ำเกลือให้มีระดับความสูงตามระดับที่ได้ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับระดับน้ำไว้ เมื่อถึงระดับที่ติดตั้งไว้ปั๊มน้ำจะหยุดการทำงานทันที และทำการจดบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้หลังเติมน้ำเข้าไป ดังภาพ 5

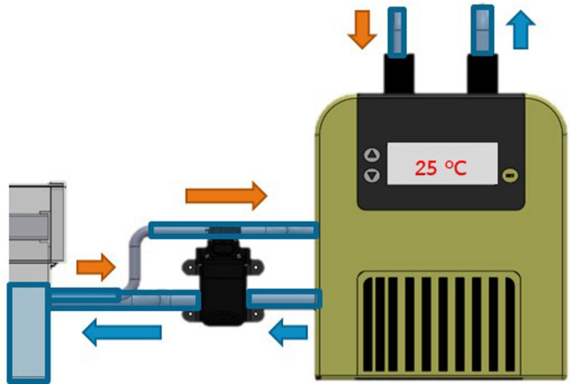
หลังจากเติมน้ำเกลือเข้าไปในกล่องทดลองแล้วจะทำการปรับอุณหภูมิของน้ำเกลือให้มีอุณหภูมิตามที่ต้องการโดยวนน้ำภายในเครื่องชิลเลอร์โดยปั๊มขนาดใหญ่ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสูบน้ำภายในกล่องทดลองไปยังเครื่องชิลเลอร์แล้ววนน้ำกลับมายังกล่องทดลอง โดยจะทำการวนน้ำเรื่อย ๆ จนกว่าเครื่องชิลเลอร์

จะทำการปรับอุณหภูมิน้ำให้ตรงตามต้องการ เมื่อได้อุณหภูมิน้ำตามที่ต้องการแล้วเครื่องชิลเลอร์จะทำการตัดการทำงานของเครื่องอัตโนมัติทันที ดังภาพ 6

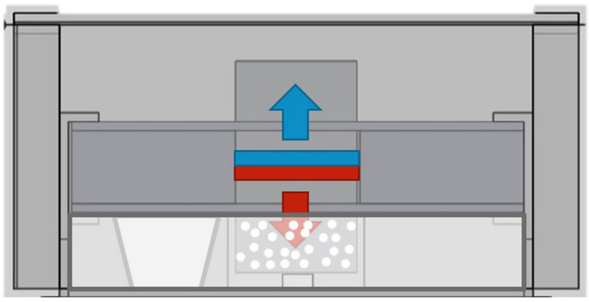
เมื่อทำการควบคุมระดับและอุณหภูมิของน้ำเกลือได้คงที่ตามต้องการแล้ว สามารถเริ่มการทดลองนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติได้ทันที ทำการประกอบอุปกรณ์ ได้แก่อัลตราโซนิคฟอกเกอร์ ฐานท่อพีวีซี (PVC) และฝาสไลด์ที่มีแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคเข้าไปยังกล่องทดลอง จากนั้นปิดฝาสไลด์ของกล่องทดลองทั้ง 2 ด้านให้เรียบร้อย และสามารถเริ่มการทดลองได้ โดยผู้วิจัยจะวางอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ไว้ที่มุมซ้ายและชิดเข้าไปข้างในกล่องทดลองเพื่อป้องกันน้ำที่กระเด็นมากจากการทำงานของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ จากนั้นนำที่ครอบที่ทำมาจากขวดพลาสติกนำมาครอบบริเวณที่มีน้ำกระเด็นเพื่อป้องกันน้ำไปโดนแผงระบายความร้อนฝั่งร้อนซึ่งจะส่งผลเสียต่อการระเหยเกลือได้ เมื่อทำการเริ่มการทดลองแล้ว อัลตราโซนิคฟอกเกอร์ จะทำการสร้างหมอกเทอร์โมอิเล็กทริคที่อยู่ระหว่างแผงระบายความร้อน 2 ชิ้นนั้นจะสร้างความต่างอุณหภูมิให้ทั้ง 2 ฝั่งและแผงระบายความร้อนชิ้นล่างที่ติดกับด้านร้อนนั้นจะทำการดักเกลือจากหมอกที่ลอยขึ้นมาจนได้ผลึกเกลือออกมา และแผงระบายความร้อนชิ้นบนที่ติดอยู่กับด้านเย็นจะทำหน้าที่ในการควบแน่นน้ำโดยจะมาจากปฏิกิริยาระหว่างอุณหภูมิที่เย็นและหมอกที่ผ่านการดักเกลือแล้วลอยขึ้นมาตามรูด้านข้างของกล่องจนควบแน่นเกิดเป็นหยดน้ำ ดังภาพ 7 นอกจากนี้ยังเปิดระบบควบคุมระดับและอุณหภูมิของน้ำเกลือควบคู่ไปด้วยเพื่อควบคุมระดับและอุณหภูมิของน้ำเกลือให้คงที่ตลอดการทดลองอีกด้วย



ภาพ 5 ภาพจำลองการทำงานการควบคุมระดับของน้ำเกลือ



ภาพ 6 ภาพจำลองการทำงานการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเกลือ



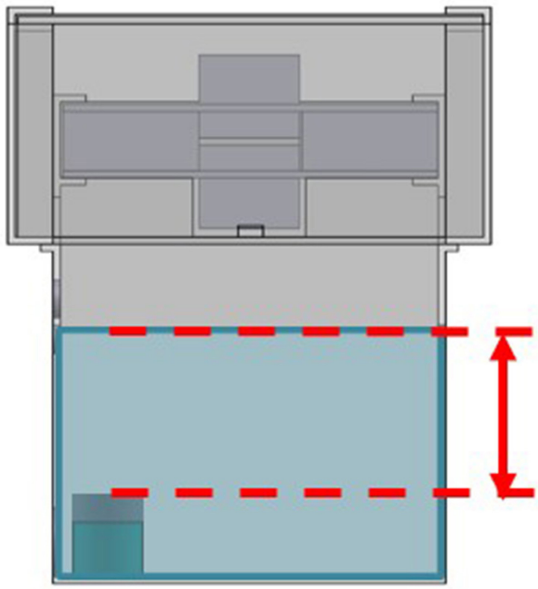
ภาพ 7 ภาพจำลองแสดงการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริคและการดักเกลือของแผงระบายความร้อนฝั่งร้อน

หลังจากการทำการทดลองตามเวลาที่กำหนดแล้วให้หยุดการทำงานทันที จากนั้นนำฝาสไลด์ที่มีเทอร์โมอิเล็กทริคอยู่ออกมา นำแผงระบายความร้อนฝั่งอุณหภูมิร้อนหันเข้าหาขวดฉีดน้ำกลั่น ซึ่งมีน้ำกลั่นอยู่ 250 ml ทำการฉีดน้ำกลั่นลงบนแผงระบายความร้อนเพื่อทำการล้างเกลือที่ติดอยู่บริเวณแผงระบายความร้อน ดังภาพ 8 เมื่อล้างเสร็จแล้วให้ทำการวัดน้ำกลั่นเพื่อหาค่าเกลือที่ได้จากการทดลองว่าได้ปริมาณเกลือเท่าใด ดังภาพ 9

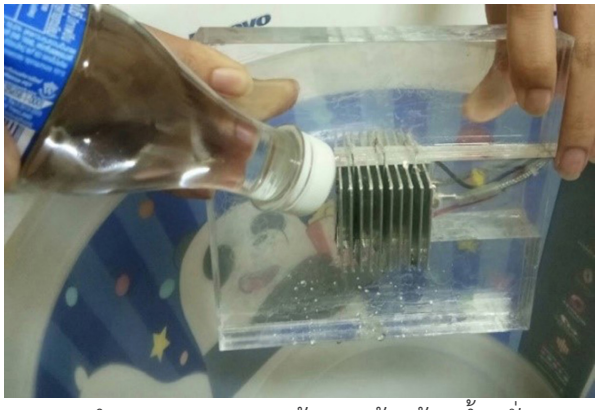
หลังจากได้ค่าเกลือที่มาจากการทดลองแล้ว จึงมาหาค่าปริมาตรของน้ำเกลือที่หายไปหลังจากการทำงานของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ว่าในแต่ละการทดลองนั้นใช้ปริมาณน้ำไปเท่าใด แตกต่างกันหรือไม่ แล้วบันทึกผลที่ได้ เมื่อทำการทดลองทั้งหมดแล้วทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อค่าตัวแปรในการสนับสนุนผลการทดลองของการศึกษานี้เพิ่มเติม นั่นคือ การทดลองหาจำนวนอนุภาคของหมอกแต่ละขนาด จะเป็นการหาขนาดอนุภาคของหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ โดยจะใช้โมดูลตรวจจับฝุ่นละอองในอากาศขนาดเล็ก (Laser Dust Sensor PMS7003) ซึ่งถึงแม้จะไม่ใช่โมดูลที่สามารถวัดค่าอนุภาคของหมอกได้โดยตรงแต่สามารถนำมาใช้เพื่อการเปรียบ

เทียบในการทดลองได้ โดยการทดลองจะทดลองในรูปแบบของระบบเปิด และจะวางตัวเซนเซอร์ให้สูงเหนือระดับน้ำประมาณ 16 ซม. เพื่อป้องกันการโอเวอร์โหลดของหมอกภายในเซนเซอร์ทำให้วัดค่าออกมามีค่าเกินช่วงที่เซนเซอร์สามารถวัดได้ และจะใช้เก้าอี้ขนาดเล็กที่ทำจากอะคริลิกทำหน้าที่บังน้ำที่กระเด็นออกมาจากอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ ซึ่งจะแบ่งการวัดขนาดได้เป็น 3 ขนาดได้แก่ PM 1 PM 2.5 และ PM 10 และนำผลการทดลองที่ได้มาใช้สรุปผลต่อไป

เมื่อได้ทดสอบระบบและกำหนดวิธีการทดลองแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าตัวแปรต่าง ๆ ของระบบนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยตัวแปรในการทดลองในการศึกษานี้จะใช้การเปลี่ยนความหนาของชั้นน้ำระหว่างผิวน้ำจนถึงเหนืออัลตราโซนิคฟอกเกอร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ความหนาของชั้นน้ำเหนืออัลตราโซนิคฟอกเกอร์ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ดังภาพ 10



ภาพ 10 ความหนาของชั้นน้ำเหนืออัลตราโซนิคฟอกเกอร์



ภาพ 8 นำแผงระบายความร้อนมาล้างด้วยน้ำกลั่น

ภาพ 9 วัดค่าเกลือที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดลอง

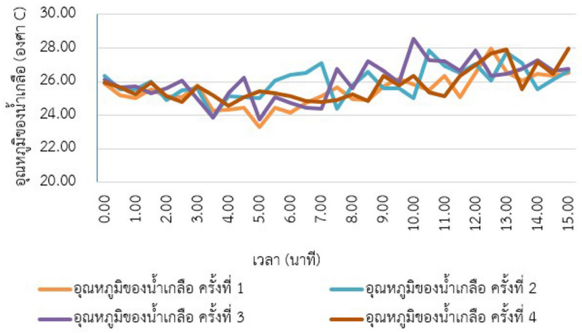
1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

เมื่อทราบถึงการกำหนดตัวแปรในการทดลอง ตัวแปรควบคุมและตัวแปรที่ใช้ในการวัดแล้ว ต่อไปจะเป็นการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการผลิตเกลือ แบ่งเป็น 3 การทดลองหลัก และ 3 การทดลองย่อย รวมเป็น 6 การทดลอง โดยการทดลอง 3 การทดลองหลักจะเป็นการทดลองการผลิตเกลือที่มีการควบคุมตัวแปรการทดลอง การทดลองการผลิตเกลือที่ความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ซึ่งจะทดลองซ้ำการทดลองละ 4 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที และมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเกลือที่ 25 องศาเซลเซียส และระดับของน้ำเกลือให้คงที่ที่ 12 ซม. ตลอดการทดลองทุกครั้ง

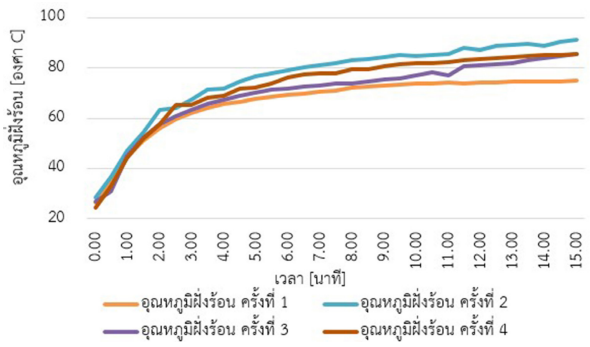
ต่อมาการทดลองอีก 3 การทดลองย่อยจะเป็นการทดลองเพื่อหาค่าขนาดของหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ โดยเป็นการทดลองเพื่อหาเหตุผลไปสนับสนุนทฤษฎีต่าง ๆ ในการทดลอง 3 การทดลองหลักและมีการควบคุมตัวแปรการทดลอง การทดลองหาขนาดของหมอกที่ความสูงของน้ำเกลือ 7 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ซึ่งจะทดลองซ้ำการทดลองละ 3 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที และจะเป็นการทดลองแบบระบบเปิด ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและระดับน้ำเกลือ โดยจะกำหนดให้เซนเซอร์อยู่ห่างเหนือจากผิวน้ำ 16 ซม.

1.1 การทดลองการผลิตเกลือที่ความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

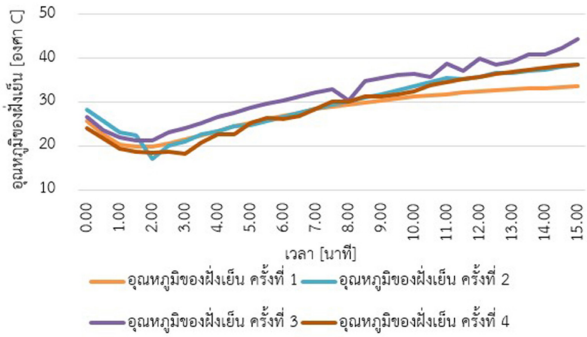
การหาค่าเกลือจากการทดลองที่มีการควบคุมตัวแปร ได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้งละ 15 นาที โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที ดังภาพ 11-13 และตาราง 1-2



ภาพ 11 กราฟของอุณหภูมิของน้ำเกลือทุก ๆ 30 วินาที ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.



ภาพ 12 กราฟของอุณหภูมิฝั่งร้อนที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.



ภาพ 13 กราฟของอุณหภูมิฝั่งเย็นที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

จากภาพ 11 จะเห็นอุณภูมิของน้ำเกลือที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.93 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบยังสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำเกลือให้อยู่ในช่วง 25 องศาเซลเซียส จากภาพ 12 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งร้อนที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 71.92 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้หมอกระเหยเป็นไอได้ดี จากภาพ 13 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งเย็นที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.73 องศาเซลเซียส แสดงว่า ระบบจะทำให้ไอน้ำควบแน่นได้

จากตาราง 1 และ 2 จะได้ปริมาณของน้ำที่หายไปและปริมาณของเกลือที่ดักได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. และ 5 ซม. โดยจะหาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบต่อไป จากภาพ 14 จะเห็นเกลือที่ดักได้ที่ฮีตซิงก์ฝั่งร้อน

ตาราง 1

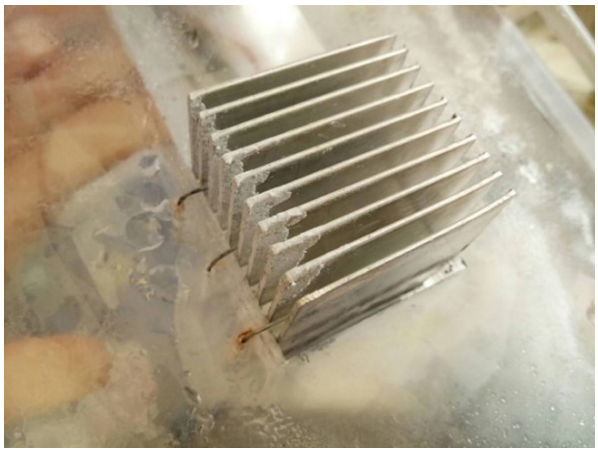
ปริมาตรของน้ำที่หายไปที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

ครั้งที่	ปริมาตรของน้ำที่หายไป [g]
ครั้งที่ 1	5.8
ครั้งที่ 2	6.6
ครั้งที่ 3	6.4
ครั้งที่ 4	6.3
เฉลี่ย	**6.28**

ตาราง 2

ปริมาณของเกลือที่ดักได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

ครั้งที่	ปริมาณของเกลือที่ดักได้ [ppt]
ครั้งที่ 1	0.21
ครั้งที่ 2	0.23
ครั้งที่ 3	0.28
ครั้งที่ 4	0.28
เฉลี่ย	**0.25**



ภาพ 14 คราบเกลือที่ดักได้จากการทดลองที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

1.2 การทดลองการผลิตเกลือที่ความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

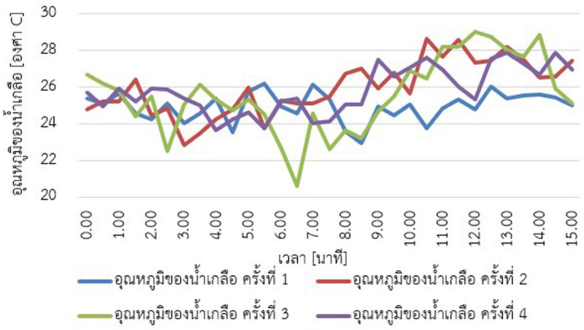
หาค่าเกลือจากการทดลองที่มีการควบคุมตัวแปร ได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง ละ 15 นาที โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที ดังรูปที่ 15-17 และตาราง 3-4

จากภาพ 15 จะเห็นอุณภูมิของน้ำเกลือที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.62 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบยังสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำเกลือให้อยู่ในช่วง 25 องศาเซลเซียส จากภาพ 16 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งร้อนที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 72.44 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้หมอกระเหยเป็นไอได้ดี จากภาพ 17 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งเย็นที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.62 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้ไอน้ำควบแน่นได้

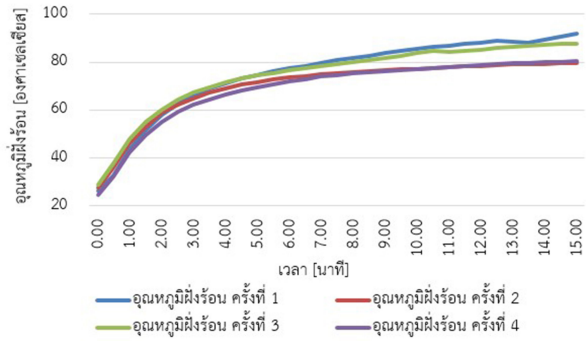
จากตาราง 3 และ 4 จะได้ปริมาณของน้ำที่หายไปและปริมาณของเกลือที่ดักได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. และ 5 ซม. โดยจะหาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบต่อไป จากภาพ 18 จะเห็นเกลือที่ดักได้ที่ฮีตซิงก์ฝั่งร้อน

1.3 การทดลองการผลิตเกลือที่ความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

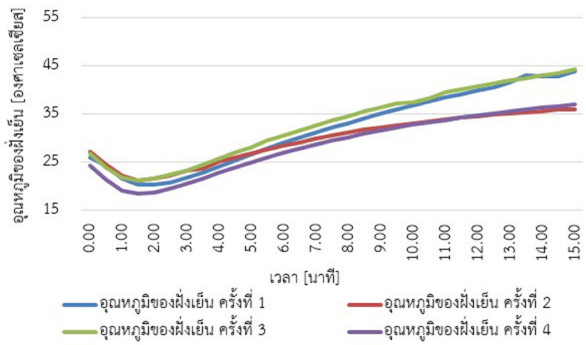
การหาค่าเกลือจากการทดลองที่มีการควบคุมตัวแปร ได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที ดังภาพ 19-21 และตาราง 5-6



ภาพ 15 กราฟอุณหภูมิของน้ำเกลือทุก ๆ 30 วินาทีที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.



ภาพ 16 กราฟของอุณหภูมิฝั่งร้อนที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.



ภาพ 17 กราฟของอุณหภูมิฝั่งเย็นที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

ตาราง 3

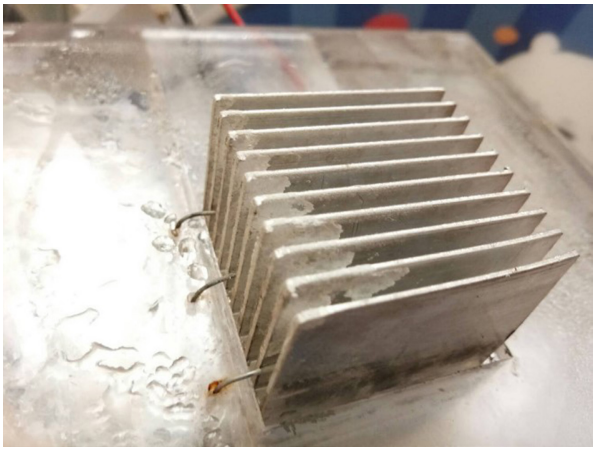
ปริมาตรของน้ำที่หายไปที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

ครั้งที่	ปริมาตรของน้ำที่หายไป [g]
ครั้งที่ 1	5.4
ครั้งที่ 2	6.4
ครั้งที่ 3	5.6
ครั้งที่ 4	5.8
เฉลี่ย	**5.8**

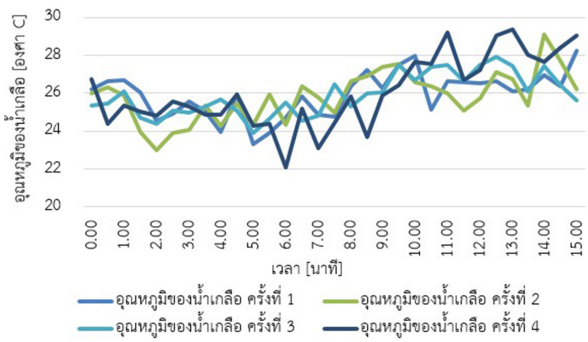
ตาราง 4

ปริมาณของเกลือที่ดักได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

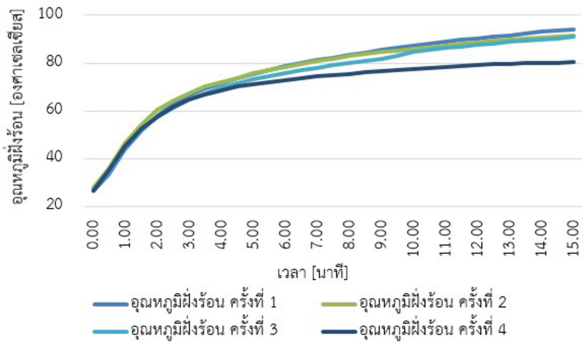
ครั้งที่	ปริมาณของเกลือที่ดักได้ [ppt]
ครั้งที่ 1	0.21
ครั้งที่ 2	0.31
ครั้งที่ 3	0.22
ครั้งที่ 4	0.28
เฉลี่ย	**0.26**



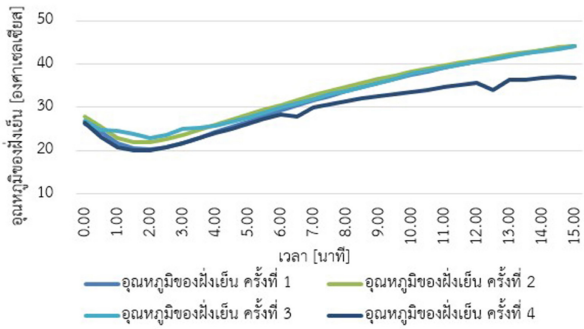
ภาพ 18 คราบเกลือที่ดักได้จากการทดลองที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.



ภาพ 19 กราฟของอุณหภูมิของน้ำเหลือทุก ๆ 30 วินาทีที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.



ภาพ 20 กราฟของอุณหภูมิฝั่งร้อนที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.



ภาพ 21 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่งเย็นที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

จากภาพ 19 จะเห็นอุณหภูมิของน้ำเกลือที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.94 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบยังสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำเกลือให้อยู่ในช่วง 25 องศาเซลเซียส จากภาพ 20 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งร้อนที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 74.43 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้หมอกระเหยเป็นไอได้ดี จากภาพ 21 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งเย็นที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 31.74 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้ไอน้ำควบแน่นได้

จากตาราง 5 และ 6 จะได้ปริมาณของน้ำที่หายไปและปริมาณของเกลือที่ดักได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. และ 4 ซม. โดยจะหาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบต่อไป จากภาพ 22 จะเห็นเกลือที่ดักได้ที่ฮีตซิงก์ฝั่งร้อน

ตาราง 5

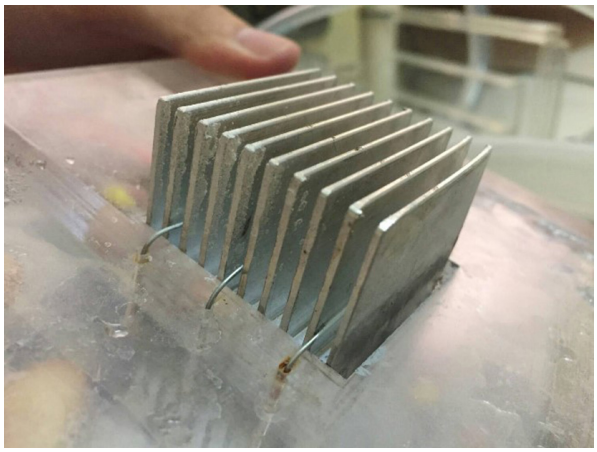
ปริมาตรของน้ำที่หายไปที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

ครั้งที่	ปริมาตรของน้ำที่หายไป [g]
ครั้งที่ 1	5.4
ครั้งที่ 2	6.4
ครั้งที่ 3	5.6
ครั้งที่ 4	5.8
เฉลี่ย	**5.8**

ตาราง 6

ปริมาณของเกลือที่ดักได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

ครั้งที่	ปริมาณของเกลือที่ดักได้ [ppt]
ครั้งที่ 1	0.15
ครั้งที่ 2	0.16
ครั้งที่ 3	0.16
ครั้งที่ 4	0.18
เฉลี่ย	**0.17**



ภาพ 22 คราบเกลือที่ดักได้จากการทดลองที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

1.4 การทดลองหาขนาดของหมอกที่ความสูงน้ำเกลือ 7 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

การหาค่าขนาดหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ที่มีการควบคุมตัวแปรได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 7 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที ดังตาราง 7

1.5 การทดลองหาขนาดของหมอกที่ความสูงน้ำเกลือ 7 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

เป็นการหาค่าขนาดหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ที่มีการควบคุมตัวแปร ได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 7 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งละ 10 นาที ดังตาราง 8

1.6 การทดลองหาขนาดของหมอกที่ความสูงน้ำเกลือ 7 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

การหาค่าขนาดหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ที่มีการควบคุมตัวแปร ได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 7 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งละ 10 นาที ดังตาราง 9

จากตาราง 7-9 แสดงขนาดอนุภาคของหมอกที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ตามลำดับ เป็นการทดลองย่อยในระบบเปิดเพื่อแสดงขนาดอนุภาคหมอกที่ PM1 PM 2.5 และ PM 10 ของแต่ละระดับชั้นน้ำ เพราะยิ่งเกิดอนุภาค PM 1 มากก็จะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการระเหยกลายเป็นไอของอนุภาคหมอกมาก

ตาราง 7

ขนาดอนุภาคของหมอกที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

ที่ 3 ซม.	ขนาดอนุภาคของหมอก ($\mu g/m^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
ครั้งที่ 1	129.9	164.4	158.9
ครั้งที่ 2	147.2	200.2	198.7
ครั้งที่ 3	109.6	138.6	134
ค่าเฉลี่ย	128.9	167.7	163.9
STD	18.84	30.92	32.64

ตาราง 8

ขนาดอนุภาคของหมอกที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

ที่ 4 ซม.	ขนาดอนุภาคของหมอก (μg/m^3)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
ครั้งที่ 1	158.6	200.8	198.5
ครั้งที่ 2	176.8	238.4	235.8
ครั้งที่ 3	134.5	168.9	163.8
ค่าเฉลี่ย	156.6	202.7	199.4
STD	21.22	34.78	36.01

ตาราง 9

ขนาดอนุภาคของหมอกที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

ที่ 5 ซม.	ขนาดอนุภาคของหมอก (μg/m^3)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
ครั้งที่ 1	108.8	132.4	126.4
ครั้งที่ 2	134	171.5	167.1
ครั้งที่ 3	150.5	192	187
ค่าเฉลี่ย	131.1	165.3	160.1
STD	20.99	30.27	30.88

สรุปผลการทดลอง

เมื่อได้ผลของปริมาตรน้ำที่หายไปและความเข้มข้นเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์แล้ว สามารถทำการหาประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละระดับความหนาชั้นน้ำได้ ที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. ปริมาณเกลือที่ได้จากน้ำที่หายไป 0.2198 กรัม ปริมาณเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์ 0.0625 กรัม ประสิทธิภาพการทำงาน 28.44% ที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. ปริมาณเกลือที่ได้จากน้ำที่หายไป 0.203 กรัม ปริมาณเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์ 0.065 กรัม ประสิทธิภาพการทำงาน 32.02% ที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. ปริมาณเกลือที่ได้จากน้ำที่หายไป 0.10325 กรัม ปริมาณเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์ 0.0425 กรัม ประสิทธิภาพการทำงาน 41.16% ดังภาพ 23

สุดท้ายเมื่อได้ผลการทดลองและประสิทธิภาพทั้งหมดของการทดลองในนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติแล้วสามารถบันทึกผลรวมทั้งหมดเป็นตารางและสรุปผลได้ดังตาราง 10

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. กับ 4 ซม. ปริมาตรน้ำที่หายไปและอุณหภูมิฮีตซิงก์ด้านร้อนมีความใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดอนุภาคของหมอกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตเกลือ โดยจะเห็นได้ว่าขนาดอนุภาคของหมอก <PM 1 และ PM 1 ถึง PM 2.5 ที่ 4 ซม. นั้นมีจำนวนของหมอกมากกว่า 3 ซม. จึงทำให้ที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. ได้ค่าเกลือมากกว่าและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 3 ซม. ต่อมาที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. กับ 5 ซม. ขนาดอนุภาคของหมอก <PM 1 และ PM 1 ถึง PM 2.5 ที่ 4 ซม. นั้นมีจำนวนของหมอกมากกว่า 5 ซม. ทำให้ได้ค่าเกลือมากกว่าแต่จะเห็นได้ว่า 4 ซม. มีประสิทธิภาพต่ำกว่า 5 ซม. เนื่องจากที่ความหนาชั้นน้ำที่ 4 ซม. มีอุณหภูมิด้านร้อนน้อยกว่าความหนาชั้นน้ำที่ 5 ซม. ซึ่งมีผลมาจากปริมาตรของน้ำที่อัลตราโซนิคฟอกเกอร์ใช้ในการผลิตหมอกนั้นที่ 4 ซม. ใช้ไปมากกว่า 5 ซม. ส่งผลทำให้อุณหภูมิด้านร้อนของ 4 ซม. ต่ำกว่า 5 ซม. ซึ่งทำให้ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. ที่มีความร้อนเกิดที่ฮีตซิงก์มากสุด เกิดประสิทธิภาพการระเหยเกลือได้ดีกว่า ประสิทธิภาพเลยสูงที่สุด และที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. นั้นมีประสิทธิภาพน้อยสุดไม่เหมาะสมในการผลิตเกลือ เนื่องจากมีอุณหภูมิด้านร้อนน้อยที่สุดและปริมาตรของน้ำที่อัลตราโซนิคฟอกเกอร์ใช้ในการผลิตหมอกนั้นใช้มากเกินไป ทำให้เกิดการโอเวอร์โหลดที่ฮีตซิงก์และมีความร้อนไม่เต็มที่จึงทำให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุด

ภาพ 23 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละความหนาชั้นน้ำ

ตาราง 10

สรุปผลการทดลอง

ความหนาชั้นน้ำ	ปริมาณน้ำที่หายไป (g)	ปริมาณเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์		ประสิทธิภาพที่ทำให้เกิดเกลือ (%)	อุณหภูมิฮีตซิงก์ด้านร้อน (°C)	จำนวนอนุภาคของหมอก (µg/m3)		
		(ppt)	(g)			<PM1	PM1 - 2.5	PM2.5 -10
3 ซม.	6.28	0.25	0.0625	28.44	71.93	128.89	38.83	3.87
4 ซม.	5.8	0.26	0.065	32.02	72.45	156.63	46.06	3.29
5 ซม.	2.95	0.17	0.0425	41.16	74.44	131.1	34.22	5.18

ข้อเสนอแนะ

ออกแบบระบบที่สามารถแก้ไขปัญหาน้ำค้างท่อและกาลักน้ำ ให้มีระบบการทำงานให้ดียิ่งขึ้นและไม่เกิดปัญหานี้อีก และควรออกแบบระบบการวางสายไฟรวมไปถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ถูกต้องและปลอดภัย เพื่อป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นและอาจส่งผลต่อการทำงานได้

References

Aberuee, M. J., Baniasadi, E., & Ziaei-Rad, M. (2017). Performance analysis of an integrated solar based thermo-electric and desalination system. *Applied Thermal Engineering, 110*, 399-411. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.08.199.

Adafruit. (2017). *MAX31865 PT100 and ARDUINO MEGA2560*. Retrieved from https://forums.adafruit.com/viewtopic.php?t=127049.

Arduino. (2019). *SPI library*. Retrieved from https://www.arduino.cc/en/reference/SPI

Ahmadi, P., Khanmohammadi, S., Musharavati, F., & Afrand, M. (2020). Development, evaluation, and multi-objective optimization of a multi-effect desalination unit integrated with a gas turbine plant. *Applied Thermal Engineering, 176*, 115414. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115414

Athasit, W., & Ukrit, T., (2023). *Salt-water Phase-separation Method for Indoor Salt Farming Using Thermoelectric and Ultrasonic Atomization Technology. Thai Petty Patent No. 21754.* Bangkok: Department of Intellectual Property

Cerci, Y. (2002). Exergy analysis of a reverse osmosis desalination plant in California. *Desalination, 142*(3), 257-266. https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00207-2

Chen, D., Weavers, L. K., & Walker H.W. (2006). Ultrasonic control of ceramic membrane fouling: Effect of particle characteristics. *Water Research, 40*(4), 840–850. https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.031

Demir, M. E., & Dincer, I. (2017). Development of an integrated hybrid solar thermal power system with thermoelectric generator for desalination and power production. *Desalination, 404*, 59-71. https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.016

Doosti, M., Kargar, R., & Sayadi, M. (2012). Water treatment using ultrasonic assistance: A review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2*(2), 96. https://www.researchgate.net/publication/268393705_Water_treatment_using_ultrasonic_assistance_A_review

El-Dessouky, H. T., & Ettouney, H. M. (2002). *Fundamentals of salt water desalination*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

Hosseingholiloua, B., Banakara, A., & Mostafaeib, M. (2019). Design and evaluation of a novel ultrasonic desalination system by response surface methodology. *Desalination and Water Treatment, 164*, 263–275. doi: 10.5004/dwt.2019.24458.

Khanmohammadi, S., Saadat-Targhi, M., Ahmed, F.W., & Afrand, M. (2020). Potential of thermoelectric waste heat recovery in a combined geothermal, fuel cell and organic Rankine flash cycle (thermodynamic and economic evaluation). *International Journal of Hydrogen Energy, 45*(11), 6934-6948. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.12.113

Miller, E. W., Hendricks, T. J., & Peterson, R. B. (2009). Modeling energy recovery using thermoelectric conversion integrated with an organic rankine bottoming cycle. *Journal of Electronic Materials, 38*(7), 1206-1213. https://doi.org/10.1007/s11664-009-0743-1

Moossa, B., Trivedi, P., Saleem, H., & Javaid Zaidi, S. J. (2022). Desalination in the GCC countries-a review. *Journal of Cleaner Product, 357*, 131717. doi:10.1016/j.jclepro.2022.131717

Saadat-Targhi, M., & Khanmohammadi, S. (2019). Energy and exergy analysis and multi-criteria optimization of an integrated city gate station with organic Rankine flash cycle and thermoelectric generator. *Applied Thermal Engineering, 149*, 312-324. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.12.079

Seyed, M. P., Mohammad, H. A., Milad, S., Soroush, M., Fathollah, P., Lingen, C., Mohammad, A. Y., & Ravinder, K. (2019). Thermoelectric cooler and thermoelectric generator devices: A review of present and potential applications, modeling and materials. *Energy, 186*, 115849. doi: 10.1016/j.energy.2019.07.179

Shatat, M., Worall, M., & Riffat, S. (2013). Economic study for an affordable small scale solar water desalination system in remote and semiarid region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25*, 543–551. doi:10.1016/j.rser.2013.05.026

Tabletop Robotics. (2019). *How to save Arduino Serial data to TXT file*. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=lz_AETY9o5E

Windsolargadget. (2016). *Thermoelectric Cooler Peltier*. Retrieved from https://www.windsolargadget.com/article/2/thermoelectric-cooler-peltie

การปรับปรุงแบบจำลอง DRASTIC และประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำใต้ดิน กรณีศึกษาจังหวัดลพบุรี

Modifying the DRASTIC Model and Groundwater Vulnerability Assessment of Nitrate: A Case Study in Lopburi province

พรกมล สดสะอาด[1, 2] และแอน กำภู ณ อยุธยา[1]*

Ponkamol Sodsa-ard[1, 2] and Ann Kambhu Na Ayudhya[1]*

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[1]Department of Environmental Technology and Management, Kasetsart University

[2]กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

[2]Department of Groundwater Resources

*Corresponding author: ann.k@ku.ac.th

Received: June 30, 2023

Revised: September 21, 2023

Accepted: September 28, 2023

บทคัดย่อ

แบบจำลอง DRASTIC มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษในน้ำใต้ดิน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้มีความแม่นยำและง่ายต่อการใช้งานยิ่งขึ้น โดยปรับปรุงแบบจำลอง DRASTIC ด้วยวิธีน้ำหนักของหลักฐาน (WoE) และเพิ่มปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำใต้ดินของจังหวัดลพบุรี 4 ปัจจัย ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน อัตราการซึมผ่านน้ำของดิน ระยะห่างจากแม่น้ำ และความหนาแน่นของแม่น้ำ ซึ่งใช้ผลวิเคราะห์ไนเตรตในน้ำใต้ดินระหว่างปี ค.ศ. 2015-2023 จำนวน 358 บ่อ ที่มีจำนวนไนเตรตเกิน 45 มิลลิกรัมต่อลิตร แบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกปี ค.ศ. 2015-2021 จำนวน 277 บ่อ ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ส่วนที่สองปี ค.ศ. 2021-2023 จำนวน 81 บ่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยวิธี Receiver Operating Characteristic--ROC และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองเดิมกับแบบจำลองปรับปรุงโดยใช้พื้นที่ใต้กราฟ Area Under Curve--AUC พบว่า แบบจำลองที่ปรับปรุงโดย WoE มีค่าความแม่นยำสูงกว่าโดยมีค่า AUC เท่ากับ 0.85 ในขณะที่แบบจำลองเดิมมีค่า AUC เท่ากับ 0.52 ผลลัพธ์ของ ROC แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองปรับปรุงโดยวิธี WoE มีการทำนายที่แม่นยำกว่า DRASTIC แบบเดิม

คำสำคัญ: การประเมินความเปราะบางของน้ำใต้ดิน น้ำหนักของหลักฐาน ไนเตรต แบบจำลอง DRASTIC

Abstract

The DRASTIC model is widely used to assess vulnerability to groundwater contamination. This research aims to improve the model to make it more accurate and user-friendly. To achieve this, the Weight of Evidence--WoE was used to enhance the DRASTIC model, and four factors affecting nitrate contamination in the groundwater of Lop Buri Province were added. These factors were land use, infiltration rate, distance from the river, and density of the waterway. To validate the model, nitrate analysis results from 358 groundwater wells with nitrates exceeding 45 mg/L were used, which were collected between 2015 and 2023. The dataset was divided into two parts: the first part (2015–2021) of 277 wells was used for modeling, and the second part (2022–2023) of 81 wells was used to validate the model using the Receiver Operating Characteristic--ROC method. The performance of the original DRASTIC model was compared with the improved model using the Area Under the Curve--AUC. The results show that the WoE-enhanced model has a higher accuracy with an AUC of 0.85, while the original model has an AUC of 0.52. The ROC analysis confirms that the WOE-enhanced model provides more accurate predictions compared to the original DRASTIC model.

Keywords: Assessment of Groundwater Vulnerability, Weights of Evidence, Nitrate, DRASTIC model

บทนำ

น้ำใต้ดินเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญเนื่องจากปัจจุบันมีการใช้น้ำใต้ดินในกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของประชากรที่เพิ่มขึ้นในการตอบสนองความต้องการของประชากรทำให้มีการขยายตัวของเศรษฐกิจอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การขยายตัวของเขตเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้เกิดผลกระทบที่ตามมา คือ ปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การปล่อยน้ำเสียของภาคอุตสาหกรรม ครัวเรือนและภาคเกษตรกรรม การกระทำเหล่านี้ส่งผลทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของชั้นน้ำใต้ดินได้ จังหวัดลพบุรีตั้งอยู่ทางภาคกลางของประเทศไทยเป็นจังหวัดที่มีสัดส่วนในการใช้ที่ดินในการเกษตรกรรมมากที่สุดและจังหวัดลพบุรียังมีศักยภาพด้านการปศุสัตว์โดยพื้นที่กิจกรรมด้านปศุสัตว์กระจายอยู่ในทุกอำเภอ อีกทั้งยังมีการเติบโตของอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง โดยภาคอุตสาหกรรมในจังหวัดลพบุรีส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมเกษตรและอุตาสหกรรมอาหาร ซึ่งการทำเกษตรกรรม การปศุสัตว์ และอุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นแหล่งในการก่อให้การปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตในแหล่งน้ำใต้ดินถือเป็นปัญหาร้ายแรงของการจัดการทรัพยากรน้ำใต้ดิน

ไนเตรตที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดินส่วนใหญ่เกิดจากฝีมือมนุษย์ เช่น การใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ ที่มากเกินความจำเป็นซึ่งพืชสามาถนำปุ๋ยไปใช้ได้แค่เพียงเล็กน้อยทำให้ส่วนที่เหลือเกิดการปนเปื้อนในระบบนิเวศ การทำปศุสัตว์ การรั่วไหลของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน หรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนหลายชนิดถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น แอมโมเนีย กรดไนตริก ยูเรีย เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตสีย้อม และการแปรรูป (Chotpantarat, Parkchai & Wisitthammasri, 2020; Ducci, Della Morte, Mottola, Onorati & Pugliano, 2019; Nakagawa, Amano, Persson & Berndtsson, 2021; Wang, Chen, Li, Guo & Jiang, 2020) การเกิดไนเตรตสามารถอธิบายได้จากวัฏจักรไนโตเจนโดยไนโตเจนนั้นเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตซึ่งแบคทีเรียมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) เกิดไนไตรท์และ

ไนเตรต (Cabello, Roldan & Moreno-Vivian, 2004) การกระทำของมนุษย์ที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า เป็นสาเหตุหนึ่งในการทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรตในน้ำใต้ดินและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ โดยมาตรฐานน้ำดื่มองค์การอนมัยโลกกำหนดปริมาณไนเตรตในน้ำดื่มไว้ไม่เกิน 45 มิลลิกรัมต่อลิตร หากมนุษย์ได้รับไนเตรตในปริมาณมากอาจทำให้เสี่ยงต่อโรคภาวะเมทฮีโมโกลบินในเด็กทารก (Lee et al., 2021)

การอนุรักษ์และพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินให้ยั่งยืนนั้นต้องสามารถรับรู้และระบุได้ว่าบริเวณนั้นมีความเสี่ยงที่จะได้รับการปนเปื้อนของมลพิษมากหรือน้อยเพียงใด การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำใต้ดินจึงเข้ามาเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินและป้องกันมลพิษที่จะปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดิน แบบจำลอง DRASTIC เป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดสำหรับการประเมินความเปราะบาง แบบจำลอง DRASTIC ใช้ปัจจัยทางอุทกธรณีวิทยา 7 ปัจจัยโดยให้ค่าถ่วงน้ำหนักและคะแนนของแต่ละปัจจัย (Aller, Bennett, Jay & Rebecca, 1987) แบบจำลอง DRASTIC เป็นการประเมินความเปราะบางในชั้นหินอุ้มน้ำ โดยพิจารณาเพียงแค่ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นหินอุ้มน้ำและไม่พิจารณาถึงลักษณะของมลพิษและกิจกรรมของมนุษย์ อีกทั้งแบบจำลอง DRASTIC อาศัยการใช้ดุลยพินิจของผู้สร้างแบบจำลองและอาศัยมาตรฐานบางส่วนในการกำหนดน้ำหนักและการให้คะแนนของปัจจัย เช่น อ้างอิงตาม (Aller et al., 1987) และความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งทำให้ความแน่นอนต่ำ ในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาแบบจำลอง DRASTIC ขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง DRASTIC โดยสามารถแบ่งการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองเป็นสองแนวทาง แนวทางแรก เป็นการเพิ่มหรือลดปัจจัยของแบบจำลอง เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ รอยเลื่อนทางธรณีวิทยา เป็นต้น (Goyal, Haritash & Singh, 2021) แนวทางที่สอง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการปรับเปลี่ยนน้ำหนักและคะแนนของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักและคะแนนทำได้หลายวิธี เช่น แบบจำลอง Projection Purse Dynamic Clustering--PPDC (Jia et al., 2019) การนำวิธีทางสถิติมาใช้ Frequency Ratio--FR Weights of Evidence--WoE Shannon Entropy--SE เป็นต้น (Khosravi, Sartaj, Karimi, Levison & Lotfi, 2021; Lakshminarayanan, Ramasamy, Anuthaman & Karuppanan, 2021)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้นจากแบบจำลอง DRASTIC เดิม จึงได้มีการเพิ่มปัจจัยของแบบจำลองได้ได้แก่ ระยะห่างจากแม่น้ำ ความหนาแน่นของแม่น้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และอัตราการซึมผ่านตามชุดดินในพื้นที่จังหวัดลพบุรี อีกทั้งยังมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและคะแนนใหม่ด้วยวิธี WoE โดยเพิ่มปัจจัย 4 ปัจจัย การศึกษานี้จะแบ่งเป็นสามส่วน ส่วนที่หนึ่ง เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลดิบจากหน่วยงานต่าง ๆ ส่วนที่สอง การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสร้างแบบจำลอง DRASTIC แบบเดิม และแบบจำลอง DRASTIC โดยวิธี WoE ส่วนที่สาม เป็นการตรวจสอบความถูกต้องและการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง DRASTIC แบบเดิมกับแบบจำลอง DRASTIC ที่ได้จากปรับปรุง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนไนเตรตในแหล่งน้ำใต้ดินของแบบจำลอง DRASTIC และประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของไนเตรตในน้ำใต้ดินในจังหวัดลพบุรีเพื่อเป็นแนวทางในการอนุรักษ์และฟื้นฟูให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

จังหวัดลพบุรีตั้งอยู่ทางภาคกลางของประเทศไทย มีขนาดพื้นที่ประมาณ 6,199.782 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ระหว่างพิกัด ระบบ UTM WGS1984 Zone 47N ที่ 65270E ถึง 758070E และ 1619822N ถึง 1742725N สภาพภูมิประเทศของจังหวัดมีลักษณะพื้นที่เป็นภูเขาสูงอยู่ทางทิศเหนือและทิศตะวันออก ส่วนพื้นที่ทิศตะวันตกเป็นพื้นที่ราบบริเวณกว้างมีแม่น้ำลพบุรีไหลผ่าน การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ของจังหวัดจะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม คิดเป็นร้อยละประมาณ 70.68 ของพื้นที่จังหวัด ซึ่งการแบ่งเขตการปกครอง ดังภาพ 1

ภาพ 1 พื้นที่ศึกษา

2. การวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละปัจจัยของแต่ละชั้นข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละปัจจัยในแบบจำลอง DRASTIC แบบเดิมซึ่งจะใช้ปัจจัย 7 ปัจจัยประกอบด้วย ความลึกของชั้นน้ำใต้ดิน (D) อัตราการเติมน้ำสุทธิ (R) คุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำ (A) คุณสมบัติของดิน (S) ความลาดชันของภูมิประเทศ (T) อิทธิพลของเขตอิ่มอากาศ (vadose zone) (I) และสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำใต้ดิน (C) สำหรับในการปรับปรุงแบบจำลองได้มีการเพิ่มปัจจัยอีก 4 ปัจจัย คือ การใช้ประโยชน์ที่ดิน (LU) อัตราการซึมผ่านของน้ำ (IF) ระยะห่างจากแม่น้ำ (DR) และความหนาแน่นของแม่น้ำ (RD) โดยรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิแต่ละชั้นของปัจจัยทั้งหมดจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ และข้อมูลปัจจัยทั้งหมดจะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ซึ่งสามารถสรุปกระบวนการในการวิจัยได้ดังภาพ 2 โดยอธิบายอย่างละเอียด ดังนี้

การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลความลึกของระดับน้ำ (D) โดยใช้ข้อมูลจากบ่อน้ำใต้ดินจำนวน 752 บ่อ จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล นำข้อมูลที่ได้มาทำการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการประเมินค่าแบบช่วงด้วยวิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Inverse Distance Weighted--IDW) จาก ArcMap 10.5

การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลอัตราการเติมน้ำสุทธิ (R) โดยคำนวณได้จากปริมาณน้ำฝน (rainfall) จากสถานีตรวจวัดทั้ง 22 สถานี โดยนำปริมาณน้ำฝนของแต่ละสถานีมาทำการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการประเมินค่าแบบช่วงด้วยวิธี IDW ร้อยละความลาดชันของพื้นที่ (slope) จากแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) และระดับการซึมน้ำของดิน (soil permeability) การคำนวณอัตราการเติมสุทธิดังสมการที่ 1 ซึ่งใช้กระบวนการระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์โดยวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก (Piscopo, 2001)

$$R = \text{Rainfall} + \text{Slope\%} + \text{Soil permeability} \quad (1)$$

การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลคุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำ (A) การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลคุณสมบัติชั้นดิน (S) นำเข้าข้อมูลชุดดินพิจารณาตามลักษณะของเนื้อดิน และการวิเคราะห์ชั้นข้อมูลของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LU) โดยนำเข้าข้อมูลในรูปแบบ Shape file (.shp) จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาลและกรมพัฒนาที่ดิน

การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลความลาดชันของภูมิประเทศ (T) หาจาก DEM โดยข้อมูลได้มาจากฐานข้อมูลของ USGS ความละเอียด 30 เมตร และทำการหาร้อยละความลาดชันในโปรแกรม ArcMap

การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลอิทธิพลของเขตอิ่มอากาศ (I) ซึ่งเป็นการนำเข้าข้อมูลจากบ่อน้ำใต้ดินที่มีรายละเอียดหลุมเจาะน้ำใต้ดิน (geologic log of borehole) บอกถึงลักษณะของชั้นดินชั้นหินของหลุมเจาะจำนวน 77 บ่อ ซึ่งในพื้นที่จังหวัดลพบุรีอิทธิพลของเขตอิ่มอากาศนั้นมีชั้นตะกอน ดิน และทราย ปะปนกันทำให้ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าจัดเป็นชนิดไหนจึงได้ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบฮาร์มอนิก (Harmonic) ดังสมการที่ 2

$$I_r = \frac{T}{\sum_{i=1}^{N} \frac{Ti}{Ir_i}} \qquad (2)$$

เมื่อ I, T, Iri และ Ti คือ น้ำหนักเฉลี่ยแบบฮาร์มอนิกของเขตอิ่มอากาศ ความหนาแต่ละชั้นของเขตอิ่มอากาศ คะแนนของชั้น i และ ความหนาชั้น i ของเขตอิ่มอากาศ (Anantha Rao, Naik, Jain, Vinod Kumar & Dhanamjaya Rao, 2018; Hussain, 2004) ตามลำดับ โดยการให้คะแนนชั้น I อ้างอิงตาม (Aller, Bennett, Jay & Rebecca, 1987; Hussain, 2004)

การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำใต้ดิน (C) ในการศึกษานี้จะนำเข้าข้อมูลจุดของบ่อน้ำใต้ดินที่มีการสูบทดสอบของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ทำการประเมินค่าแบบช่วงของข้อมูลสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (transmissivity) และความหนาของชั้นหินให้น้ำโดยวิธี IDW และประมวลผลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านโดยโปรแกรม ArcMap

$$K = T/b \qquad (3)$$

เมื่อ K, T และ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (m/d) ค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (m^2/d) และความหนาของชั้นหินให้น้ำ (m) (Hamza, Ahsan & Sulaiman, 2019) ตามลำดับ

การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลของอัตราการซึมผ่านโดยใช้หลักการของ Green-Ampt นำข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นองค์ประกอบของดิน ได้แก่ ทราย ดินร่วน ดินเหนียว ตามกลุ่มชุดดิน มาทำการหาค่าของพารามิเตอร์ของสมการ Green-Ampt ในโปรแกรม HYDRUS-1D ทำการคำนวณเพื่อหาอัตราการซึมผ่าน ตามสมการที่ 4 นำเข้าข้อมูลอัตราการซึมผ่านที่คำนวณได้เข้าในโปรแกรม ArcMap

$$I(t) = K(h_0)t + \Delta h \Delta\theta \ln\left(1 + \frac{I(t)}{\Delta h\, \Delta\theta}\right) \qquad (4)$$

การวิเคราะห์ชั้นข้อมูลระยะห่างจากแม่น้ำและชั้นข้อมูลความหนาแน่นของแม่น้ำ โดยนำเข้าข้อมูลในรูปแบบ Shape file ใช้คำสั่ง Euclidean Distance และ Line Density ใน ArcMap สามารถสรุปกระบวนการและแหล่งที่มาในการสร้างชั้นข้อมูลได้ตามตาราง 1

3. การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตโดยวิธีการใช้แบบจำลอง DRASTIC แบบเดิม

วิเคราะห์ DRASTIC แบบเดิม นำข้อมูลเชิงพื้นที่ของแต่ละปัจจัยที่ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม ArcMap ทั้ง 7 ปัจจัย ข้อมูลแต่ละชั้นข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบราสเตอร์ จากนั้นทำการซ้อนทับกันโดยใช้โปรแกรม ArcMap ตามสมการที่ 5

$$DRASTIC = D_r D_w + R_r R_w + A_r A + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \qquad (5)$$

เมื่อ w และ r คือ ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนนตามลำดับ

ซึ่งค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยจะอยู่ในช่วง 1-10 และค่าถ่วงน้ำหนักจาก 1-5 แสดงดังตาราง 2

4. การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตโดยแบบจำลอง DRASTIC วิธีน้ำหนักของหลักฐาน (Weights of Evidence, WoE) 11 ปัจจัย

หลังจากการวิเคราะห์ชั้นข้อมูลของทั้ง 11 ปัจจัย ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย WoE ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างตำแหน่งของการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำใต้ดินและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำใต้ดิน โดยจะกำหนดให้ปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อการปนเปื้อนไนเตรตเป็น “หลักฐาน” และการเกิดของตำแหน่งที่พบการปนเปื้อน

ไนเตรตบนหลักฐานด้วยความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ประเมินว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการปนเปื้อนส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำใต้ดินในอดีต ซึ่งความ

สัมพันธ์ดังกล่าวคือ ค่าน้ำหนักเชิงบวก (W+) และค่าน้ำหนักเชิงลบ (W^-) ตามสมการที่ 6 และ 7 โดยค่าน้ำหนักเชิงบวก (W^+) จะแสดงให้เห็นถึงช่วงของปัจจัยนั้น ๆ อยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของไนเตรตซึ่งค่ากำหนดคือมากกว่า 45 mg/L แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างช่วงของปัจจัยนั้น ๆ กับบริเวณที่ปนเปื้อน และค่าน้ำหนักเชิงลบ (W^-) จะแสดงให้เห็นถึงช่วงของปัจจัยนั้น ๆ ไม่ได้อยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของไนเตรต แสดงถึงระดับความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างช่วงของปัจจัยนั้น ๆ กับบริเวณที่ปนเปื้อน

$$w^+ = \mathrm{In}\frac{P(B/D)}{P(B/D^*)} \quad (6)$$

$$w^- = \mathrm{In}\frac{P(B^*/D)}{P(B^*/D^*)} \quad (7)$$

เมื่อ P, W^+ และ W^- คือ ความน่าจะเป็น น้ำหนักเชิงบวก และน้ำหนักเชิงลบ ตามลำดับ

B และ B* คือ การมีปัจจัยในการประเมินความเปราะบางของน้ำใต้ดิน และ การไม่มีปัจจัยในการประเมินความเปราะบางของน้ำใต้ดิน ตามลำดับ

D และ D* บริเวณที่ปนเปื้อน (พิกเซล) และบริเวณที่ไม่ปนเปื้อน (พิกเซล) ตามลำดับ

$$c = w^+ - w^- \quad (8)$$

ค่าความต่างระหว่างของน้ำหนัก (C) มีค่าเป็นบวก แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่เป็นบวกและค่าเป็นลบ แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่เป็นลบ

$$S(C) = \sqrt{S^2W^+ + S^2W^-} \quad (9)$$

เมื่อ S(C) คือค่าเบี่ยงแบนมาตรฐานของน้ำหนักทั้งสองโดยคำนวณจากค่าความแปรปรวนของน้ำหนักบวก ($S2W^+$) และความแปรปรวนของน้ำหนักลบ ($S2W^-$)

$$WoE = C/S(C) \quad (10)$$

ค่า WoE สุดท้ายคำนวณได้จากอัตราส่วนของค่าความต่างระหว่างน้ำหนักทั้งสอง (C) ต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S(C) ตามสมการที่ 6-10 หากค่า WoE เป็นบวก แสดงให้เห็นว่ากลุ่มของปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนไนเตรต ในทางกลับกันหากค่าน้ำหนักหลักฐานเป็นลบ แสดงให้เห็นว่ากลุ่มของปัจจัยดังกล่าวไม่มีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนไนเตรต (Armaş, 2011; Pourghasemi, Pradhan, Gokceoglu, Mohammadi & Moradi, 2012; Rahmati, Pourghasemi & Zeinivand, 2015) นำ WoE 11 ปัจจัยมาสร้างแบบจำลอง DRASTIC ปรับปรุง (MoDRASTIC) ดังสมการที่ 11

$$MoDRASTIC = D_{WE} + R_{WE} + A_{WE} + S_{WE} + T_{WE} + I_{WE} + C_{WE} + LU_{WE} + IF_{WE} + DR_{WE} + RD_{WE} \quad (11)$$

เมื่อ WE คือ น้ำหนักของหลักฐาน (WoE)

5. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยวิธี Receiver Operating Characteristic--ROC

การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของไนเตรตในน้ำใต้ดินโดยแบบจำลอง DRASTIC แบบเดิม 7 ปัจจัย และแบบจำลอง MoDRASTIC จะถูกนำมาประเมินประสิทธิภาพด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ROC และการวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟ (Area Under Curve, AUC) ซึ่งการดำเนินการวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟด้วยวิธี ROC จะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง True positive rate (TPR) และ False positive rate (FPR) ตามสมการที่ 12 และ 13

$$TPR = TP / (TP+FN) \quad (12)$$

$$FPR = FP / (FP+TN) \quad (13)$$

เมื่อ True positive rate (TPR) คือ ประสิทธิภาพแบบจำลองเมื่อแบบจำลองเตือนระดับความเปราะบางต่อการเกิดการปนเปื้อนไนเตรต โดยค่าที่ดีที่สุดเท่ากับ 1

False positive rate (FPR) คือ ความผิดพลาดของแบบจำลองเมื่อไม่มีการเตือนระดับความเปราะบางต่อการเกิดการปนเปื้อนไนเตรต โดยค่าที่ดีที่สุดเท่ากับ 0

True Positive--TP คือ แบบจำลองมีความเสี่ยงที่จะปนเปื้อนและเกิดการปนเปื้อนขึ้นจริง

False Positive--FP คือ แบบจำลองมีความเสี่ยงที่จะปนเปื้อนแต่ไม่เกิดการปนเปื้อนขึ้นจริง

True Negative--TN คือ แบบจำลองไม่มีความเสี่ยงที่จะปนเปื้อนและไม่เกิดการปนเปื้อนขึ้นจริง

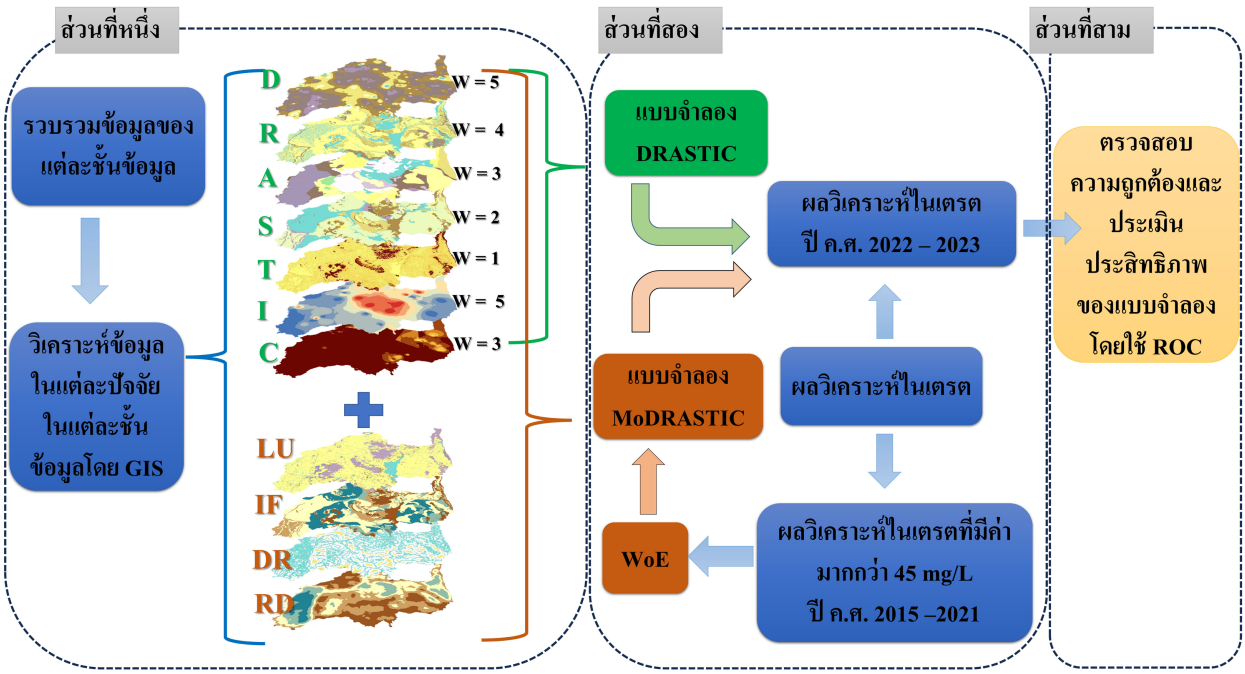
False Negative--FN คือ แบบจำลองไม่มีความเสี่ยงที่จะปนเปื้อนแต่เกิดการปนเปื้อนขึ้นจริง

การวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟ ROC ระหว่าง True positive rate (TPR) และ False positive rate (FPR) จะใช้ค่าคะแนนที่ได้จากแบบจำลอง DRASTIC กำหนดเป็นจุดตัดเพื่อแบ่งผลลัพธ์ออกเป็น 2 ค่า ได้แก่ ค่า 0 และ 1 กล่าว คือ เมื่อผลลัพธ์มีค่าต่ำกว่าค่าจุดตัดจะแทนด้วย 0 (Negative) และ เมื่อผลลัพธ์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับจุดตัดจะแทนด้วย 1 (Positive) โดยค่าพื้นที่ใต้กราฟ (Area Under Curve--AUC) จะบ่งบอกความถูกต้องของแบบจำลอง และแบบจำลองที่มีค่า AUC มากกว่าจะมีประสิทธิภาพที่มากกว่า (Gajowniczek & Ząbkowski, 2014; Fan, Upadhye & Worster, 2006; Frage, Melville & Wright, 2007; Sarakarn & Munpolsri, 2021)

ตาราง 1

แหล่งที่มาของข้อมูลและกระบวนการวิเคราะห์ของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	แหล่งข้อมูล	กระบวนการ/แผนที่
ความลึกของชั้นน้ำใต้ดิน (D)	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	การประเมินค่าแบบช่วงด้วยวิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (IDW)
อัตราการเติมน้ำสุทธิ (R)	กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยาและฐานข้อมูล USGS	ผลรวมถ่วงน้ำหนัก (Weighted sum) ในกระบวนการ GIS
คุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำ (A)	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	แผนที่ชั้นหินอุ้มน้ำ (.shp)
คุณสมบัติของดิน (S)	กรมพัฒนาที่ดิน	แผนที่ชุดดิน (.shp)
ความลาดชันของภูมิประเทศ (T)	ฐานข้อมูล USGS (USGS, 2014)	Slope ในกระบวนการ GIS
อิทธิพลของเขตอิ่มอากาศ (I)	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ค่าเฉลี่ยแบบฮาร์มอนิก (Hussain, 2004)
สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำใต้ดิน (C)	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (Department of Groundwater Resources, 2007)	หาค่า K = T/b
การใช้ประโยชน์ที่ดิน (LU)	กรมพัฒนาที่ดิน	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (.shp)
อัตราการซึมผ่านของน้ำ (IF)	กรมพัฒนาที่ดิน	สมการ Green-Ampt
ระยะห่างจากแม่น้ำ (DR)	(Satira & Kanitasri, n.d)	Euclidean Distance ในกระบวนการ GIS
ความหนาแน่นของแม่น้ำ (RD	กรมทรัพยากรน้ำ (Department of Water Resources, 2020)	Line Density ในกระบวนการ GIS



ภาพ 2 กระบวนการในการวิจัย

ผลและอภิปรายผล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละปัจจัยของแต่ละชั้นข้อมูล

การวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 11 ปัจจัย ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์ต่อการปนเปื้อนของไนเตรตในน้ำใต้ดินโดยพิจารณาลักษณะทางอุทกธรณี เช่น อนุภาคของตัวกลางในการไหลผ่านของสาร เช่น เม็ดดิน ชั้นหินให้น้ำ เขตอิ่มอากาศ และระยะทางในการเคลื่อนที่ของไนเตรตไปยังน้ำใต้ดิน เป็นต้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลให้อยู่ในข้อมูลราสเตอร์พบว่า ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดินที่พบส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 4.57–5.14 เมตร คิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่ ตามภาพ 3ก ปัจจัยอัตราการเติมน้ำสุทธิเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแพร่กระจายของมลพิษส่วนใหญ่ที่พบในจังหวัดลพบุรีอยู่ในช่วง 5-7 ร้อยละ 64.56 ของพื้นที่ ตามภาพ 3ข โดยส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณที่มีปัจจัยของคุณสมบัติชั้นดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียวพบร้อยละ 48.75 ของพื้นที่ ซึ่งส่วนมากพบบริเวณอำเภอหนองม่วง เมืองลพบุรี และท่าหลวง ตามภาพ 3ค ปัจจัยของชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่ศึกษาร้อยละ 20.08 ของพื้นที่เป็นชั้นหินอุ้มน้ำชนิดหินภูเขาไฟ (Vc) กระจายอยู่หลายอำเภอในจังหวัดลพบุรี ในขณะที่ความลาดชันของจังหวัดลพบุรีส่วนใหญ่มีความลาดชันร้อยละ 0-2 กระจายตัวทั่วจังหวัดลพบุรี ตามภาพ 3จ และทั้งนี้ยังได้เพิ่มชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเนื่องจากมลพิษมีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น ผลกระทบจากการระบายน้ำเสียของชุมชน อุตสาหกรรม และการชลประทานของภาคเกษตร เป็นต้น ส่งผลให้มลพิษเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อที่จะพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดและธรรมชาติของมลพิษจึงได้เพิ่มปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดินเข้ามา (Elmeknassi et al., 2021) ซึ่งพบว่า สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดลพบุรีส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรมคิดเป็นร้อยละ 73.61 ตามภาพ 3ถ ในส่วนของปัจจัยระยะห่างจากแม่น้ำและความหนาแน่นของแม่น้ำเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนของมลพิษเนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างแม่น้ำกับน้ำใต้ดิน (O'Driscoll, Johnson & Mallinson, 2010; Trauth et al., 2018) พบว่า ระยะห่างจากแม่น้ำในช่วง 398-1,325 เมตร ร้อยละ 50.48 ของพื้นที่ กระจายอยู่ทั่วจังหวัดลพบุรี ตามภาพ 3ซ และปัจจัยอัตราการซึมเป็นกระบวนการกำหนดปริมาณน้ำจากน้ำฝน การชลประทาน หรือการปนเปื้อนของสารเข้าสู่ดิน โดยพบว่าส่วนใหญ่จังหวัดลพบุรีช่วงอัตราการซึมผ่านเท่ากับ 1.89-2.53 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามภาพ 3ต และผลลัพธ์ในการสร้างชั้นข้อมูลของปัจจัยต่าง ๆ และสัดส่วนของพื้นที่เป็นตามภาพ 3

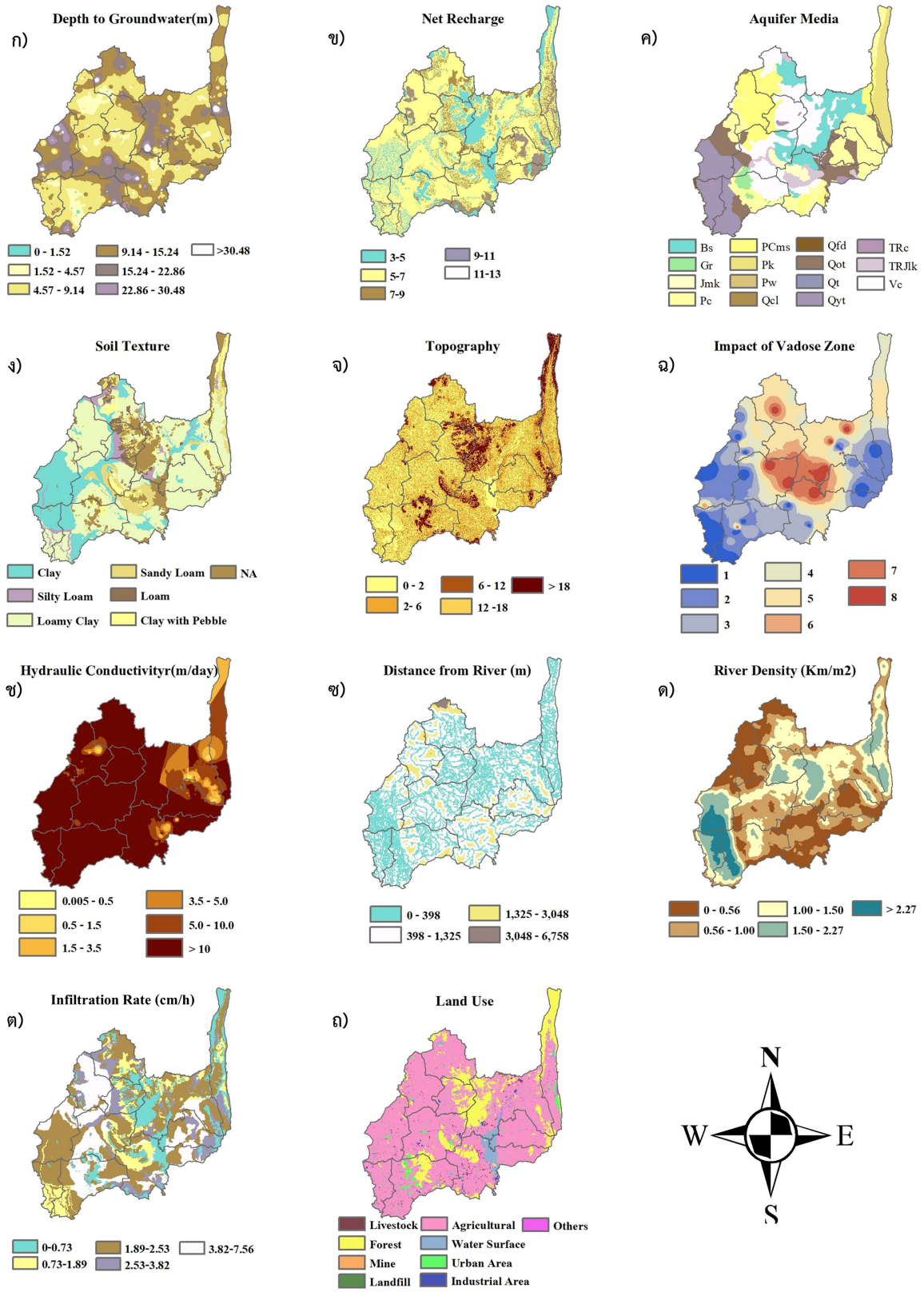
2. การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตโดยวิธีการใช้แบบจำลอง DRASTIC แบบเดิม

หลังจากทำการแบ่งช่วงชั้นข้อมูลของปัจจัย โดยช่วงชั้นข้อมูลของแต่ละปัจจัยจะมีการให้คะแนนตามความสัมพันธ์ต่อการเกิดมลพิษจากคะแนนมากไปน้อย ซึ่งคะแนนที่มาก หมายถึง ช่วงชั้นปัจจัยนั้นมีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษมากและทำการซ้อนทับชั้นข้อมูลของแต่ละปัจจัยโดยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ให้อยู่ในขอบเขตพื้นที่จังหวัดลพบุรีซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษา ผลลัพธ์ที่ออกมามีค่าความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตตั้งแต่ 60-184 ซึ่งทำการแบ่งช่วงของข้อมูลโดยใช้คำสั่ง Reclassify แบ่งลักษณะของช่วงแบบ Natural Breaks (Jenks) เป็น 5 ระดับ คือ ต่ำ ค่อนข้างต่ำ ปานกลาง ค่อนข้างสูง และสูง ตามภาพ 4 พบว่า ในจังหวัดลพบุรีส่วนใหญ่มีค่าความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษไนเตรตในระดับปานกลางมีค่าเท่ากับ 113-127.11 กระจายครอบคลุมทั่วจังหวัดคิดเป็นร้อยละ 32.37 ของพื้นที่ทั้งหมด ค่าความเปราะบางระดับค่อนข้างต่ำมีค่าเท่ากับ 97.93-113 คิดเป็นร้อยละ 22.81 ของพื้นที่ พบส่วนใหญ่ในบริเวณอำเภอเมืองลพบุรี บ้านหมี่ โคกสำโรง และชัยบาดาลเนื่องจากลักษณะเนื้อดินในบริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวที่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำจากแม่น้ำลพบุรีพบในเขตอำเภอเมือง ท่าวุ้ง และบ้านหมี่ อีกทั้งยังเป็นบริเวณที่มีคะแนนเขตอิ่มอากาศค่อนข้างต่ำ ซึ่งเขตอิ่มอากาศเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการปนเปื้อนของไนเตรตซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถของตัวกลางในการยอมให้น้ำซึมผ่าน พิจารณาจากขนาดอนุภาคตัวกลาง ชนิดของตัวกลาง รอยแตกของตัวกลางและรวมถึงความหนาของชั้นเขตอิ่มอากาศ อีกทั้งยังเป็นบริเวณที่มีความลึกของระดับน้ำใต้ดินที่สูงในบริเวณอำเภอบ้านหมี่จึงทำให้ค่าความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตค่อนข้างต่ำ ในส่วนค่าความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษไนเตรตในระดับสูงมีค่าเท่ากับ 143.15-184 ปกคลุมบริเวณตอนกลางของจังหวัดคิดเป็นร้อยละ 9.44 ของพื้นที่จังหวัดลพบุรี เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีคะแนนชั้นข้อมูลเขตอิ่มอากาศที่สูงเป็นบริเวณที่ชั้นหินเป็นหินบะซอลต์ ซึ่งหินบะซอลต์เกิดจากการแข็งตัวของลาวา ลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างของหินบะซอลต์ขึ้นอยู่กับการก่อตัวของหินและการเย็นตัวของหิน โดยมีหลายลักษณะ เช่น พื้นผิวเรียบเนื้อละเอียด พื้นผิวที่มีรูพรุน เป็นต้น ซึ่งทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของหินบะซอลน์นั้นจะมีความแปรผันสูงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อัตราการเย็นตัวของลาวา การแตกหักของชั้นหิน (Navarro,Taramoto, Engelbrcht & Kiang, 2020) เป็นต้น

3. การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตโดยแบบจำลอง MoDRASTIC

การสร้างแบบจำลอง MoDRASTIC ด้วยวิธี WoE ระบุความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่พบปริมาณไนเตรตเกินมาตราฐานน้ำบาดาล คือ มากกว่า 45 มิลลิกรัมต่อลิตรกับกลุ่มของปัจจัย 11 ปัจจัย จะเห็นว่า ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดินช่วง 9.14-15.24 มีอิทธิพลมากที่สุด (WoE=1.05) ในขณะที่ความลึกของระดับน้ำใต้ดินช่วง 15.24-22.86 มีอิทธิพลต่ำต่อการปนเปื้อน (WoE=-1.34) อัตราการเติมน้ำสุทธิ 5-7 มีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนมากที่สุด (WoE=2.38) ชั้นหินให้น้ำหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียน (Pc) มีอิทธิพลมากที่สุด (WoE=1.89) อิทธิพลของชั้นดินที่มีผลต่อการปนเปื้อนที่สุด คือ ดินร่วนปนดินเหนียว (WoE=4.97) ร้อยละความลาดชันที่มีอิทธิพล คือ ช่วงร้อยละ 2-6 (WoE=2.90) ในขณะที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลต่อการปนเปื้อน คือ พื้นที่เมือง (WoE=3.81) ส่วนอัตราการซึมผ่านของดินที่ส่งผลกระทบมากที่สุด คือ ช่วง 1.89-2.53 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (WoE=1.79) และระยะห่างจากแม่น้ำ ความหนาแน่นของทางน้ำที่มีอิทธิพล คือ 1,325-3,048 เมตร (WoE=1.40) และ 0-0.56 กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร (WoE=2.49) ตามลำดับ โดยจากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า บางปัจจัยไม่เป็นไปตามหลักการ เช่น ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

ตามหลักการแล้วบ่อที่มีความลึกน้อยกว่าจะมีผลกระทบในการเกิดการปนเปื้อนมากกว่า แต่จากผลลัพธ์พบว่า ที่ช่วงความลึก 4.57-9.14 เมตร (WoE=-0.51) ไม่อิทธิพลต่อการปนเปื้อนต่างจากที่ช่วงความลึก 9.14-15.24 (WoE=1.05) ที่มีอิทธิพลมากที่สุดแต่มีความลึกที่มากกว่าซึ่งเกิดจากมีปัจจัยอื่นมาควบคุมความเปราะบางมากกว่าปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่า WoE ของแต่ละปัจจัย แสดงดังตาราง 2



ภาพ 3 แผนที่ปัจจัยของแบบจำลอง: ก) ความลึกของชั้นน้ำ ข) อัตราการเติมน้ำสุทธิ ค) คุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำ ง) คุณสมบัติดิน จ) ความลาดชันของภูมิประเทศ ฉ) อิทธิพลของเขตอิ่มอากาศ ช) สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำใต้ดิน ซ) ระยะห่างจากแม่น้ำ ด) ความหนาแน่นของแม่น้ำ ต) อัตราการซึมผ่านของน้ำ ถ) การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ตาราง 2

ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าคะแนนของแต่ละช่วงปัจจัย และผลของ WoE

ปัจจัย	ช่วงปัจจัย	r	WoE
ความลึกถึงระดับน้ำ (m) w=5	0-1.52	10	0
	1.52-4.57	9	0.93
	4.57-9.14	7	-0.51
	9.14-15.24	5	1.05
	15.24-22.86	3	-1.34
	22.86-30.48	2	-0.66
	> 30.48	1	0.28
อัตราการเติมน้ำสุทธิ w=4	3-5	1	-3.10
	5-7	3	2.38
	7-9	5	0.75
	9-11	8	-0.33
คุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำ w=3	Gr	4	0.27
	Vc	4	-1.12
	TRc	5	0
	Pw	5	0
	TRJlk	6	-1.15
	Jmk	6	0
	Pc	6	1.89
	Pcms	6	0.37
	Pk	6	1.30
	Qyt	7	-2.46
	Qcl	7	0
	Qt	8	0
	Qfd	8	0
	Bs	9	1.53
	Qot	9	-1.46
ความลาดชันของภูมิประเทศ (%) w=1	0-2	10	-1.88
	2-6	9	2.90
	6-12	5	0.91
	12-18	3	0
	>18	1	0
อิทธิพลของเขตอิ่มอากาศ w=5	1	1	-1.01
	2	2	-1.07
	3	3	2.04
	4	4	1.89
	5	5	-2.61
	6	6	-1.20
	7	7	-0.63
	8	8	1.45
สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำใต้ดิน (m/day) w=3	0.005-0.5	1	0
	0.5-1.5	2	0.04
	1.5-3.5	4	-0.95
	3.5-5	6	1.18
	5.0-10	8	0.81
	>10	10	-1.03
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	เกษตรกรรม	-	-0.28
	ปศุสัตว์	-	0.36
	เมือง	-	3.81
	อุตสาหกรรม	-	-0.31
	ป่าไม้	-	0
	เหมืองแร่	-	0
	ที่ทิ้งขยะ	-	0
	แหล่งน้ำ	-	0
	พื้นที่อื่นๆ	-	-0.53

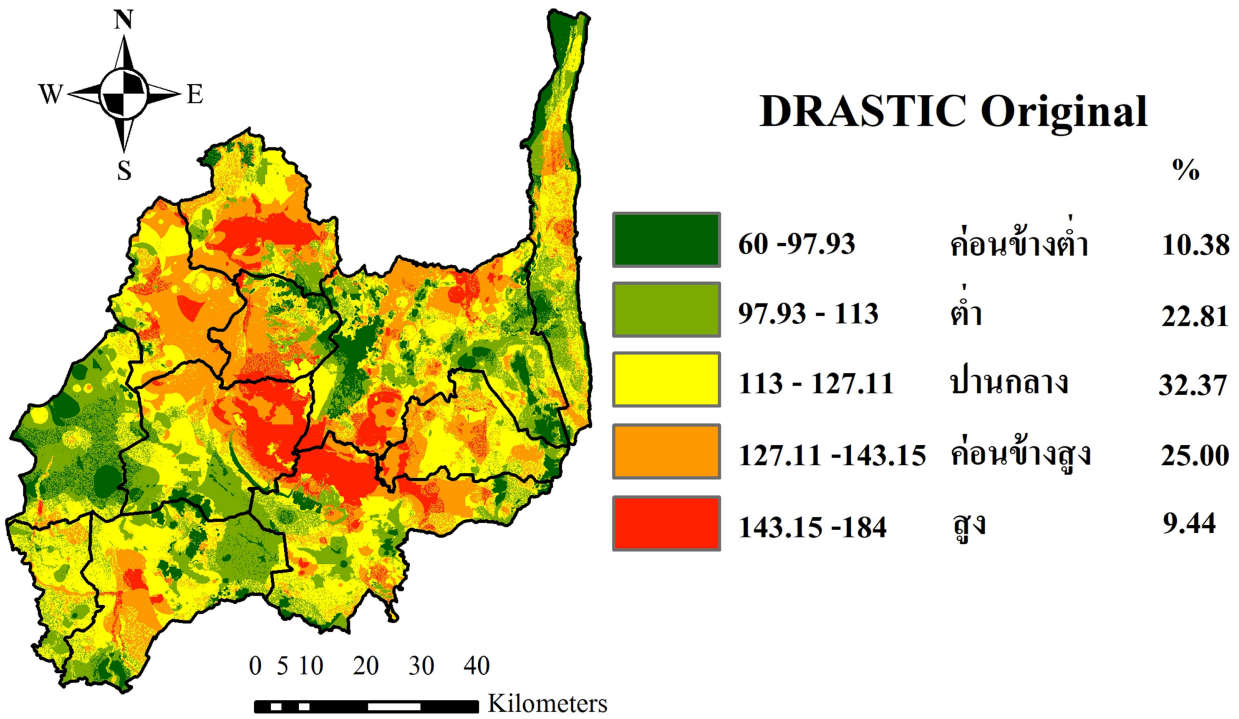
ตาราง 2 (ต่อ)

ปัจจัย	ช่วงปัจจัย	r	WoE	ปัจจัย	ช่วงปัจจัย	r	WoE
คุณสมบัติของดิน w=2	Clay	1	-2.88	อัตราการซึมผ่านของน้ำ (cm/h	0-0.73	-	-2.84
	Loamy Clay	3	4.97		0.73-1.89	-	-0.55
	Silty Loam	4	-0.85		1.89-2.53	-	1.79
	Loam	5	-.85		2.53-3.82	-	0.81
	Sandy Loam	6	0.57		3.82-7.56	-	-0.08
	Clay with Pebble	10	-1.67	ความหนาแน่นของแม่น้ำ (Km/m^2)	0-0.56	-	2.49
	Other	0	0		0.56-1.0	-	-0.28
ระยะห่างจากแม่น้ำ (m)	0-398	-	-0.91		1.0-1.5	-	-1.00
	398-1,325	-	0.11		1.50-2.27	-	-1.17
	1,325-3,048	-	1.40		>2.27	-	-1.44
	3,048-6,758	-					

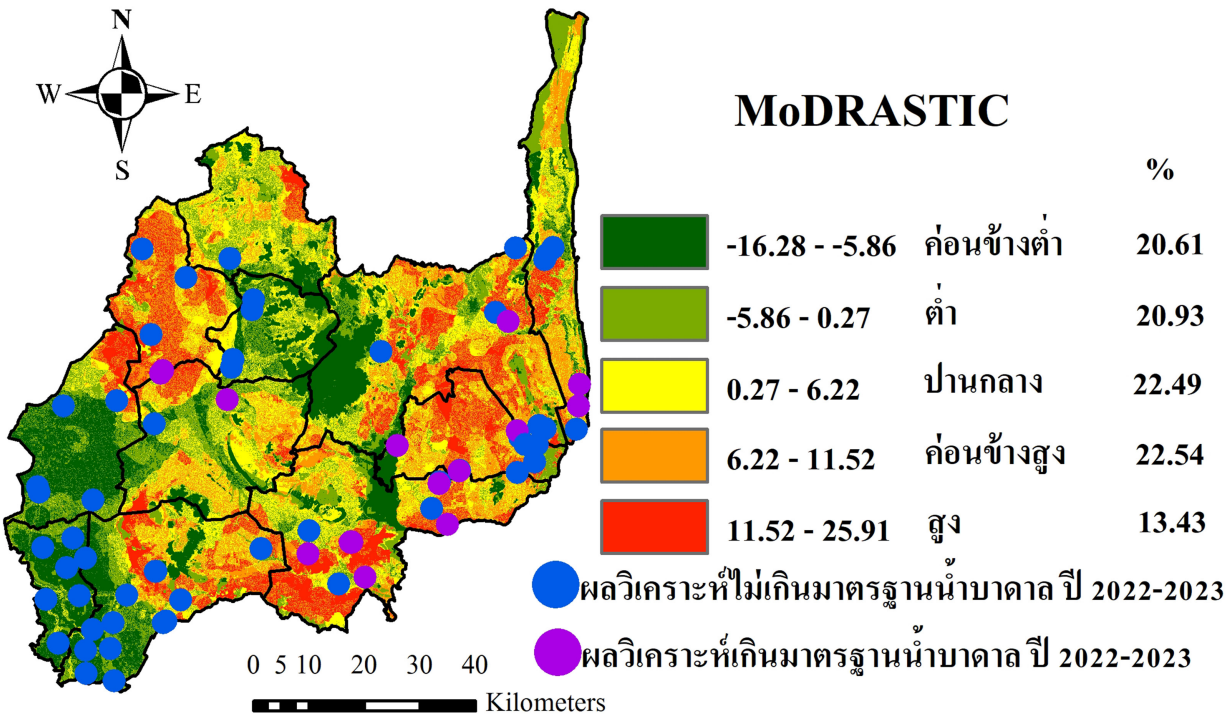
การสร้างจำลอง MoDRASTIC โดยการซ้อนทับระหว่างค่า WoE ของชั้นข้อมูลปัจจัยต่าง ๆ พบว่า ผลลัพธ์ในการประเมินความเปราะบางอยู่ในช่วง -16 ถึง 27 โดยแบ่งผลลัพธ์ออกเป็น 5 ช่วง ตามภาพ 5 ซึ่งพบว่า แบบจำลอง MoDRASTIC ในจังหวัดลพบุรีส่วนใหญ่มีค่าความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษไนเตรตในระดับค่อนข้างสูงและปานกลางกระจายครอบคลุมทั่วจังหวัดคิดเป็นร้อยละ 22.49 และ 22.54 ของพื้นที่ทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งอาจเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น จำนวนประชากรที่อยู่หนาแน่นในบริเวณอำเภอเมือง ส่งผลให้สิ่งปฏิกูลในครัวเรือนมีจำนวนมากและการบำบัดน้ำเสียในประเทศยังมีการใช้บ่อเกรอะ บ่อซึม อาจทำให้น้ำเสียไหลลงสู่ระดับน้ำใต้ดิน (Huang, Chang & Li, 2018; Jia, Bian & Wang, 2018) จากการศึกษาวิจัยจะเห็นว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เขตเมืองมีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนไนเตรต อีกทั้งปัจจัยระยะห่างและความหนาแน่นของแม่น้ำยังมีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนของมลพิษ เนื่องจากบ่อน้ำใต้ดินมีการเติมน้ำผ่านแม่น้ำมายังบ่อน้ำใต้ดินทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างแม่น้ำกับบ่อน้ำใต้ดิน บ่อน้ำใต้ดินที่มีระยะห่างจากแม่น้ำค่อนข้างสูงโอกาสในการเติมน้ำจากแม่น้ำมาสู่น้ำใต้ดินค่อนข้างต่ำทำให้น้ำบริเวณนั้นมีแร่ธาตุสูงส่งผลให้มีความเข้มข้นของมลพิษมาก Hoehn and Scholtis (2011) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยนี้พบบริเวณอำเภอหนองม่วง อำเภอท่าหลวง และอำเภอพัฒนานิคม มีพื้นที่ระยะห่างจากแม่น้ำค่อนข้างสูงนั้นมีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนไนเตรตสูง อีกทั้งจะเห็นว่าค่าความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษไนเตรตในระดับค่อนข้างต่ำกระจายครอบคลุมทั่วจังหวัดคิดเป็นร้อยละ 20.61 ของพื้นที่ทั้งหมด พบกระจายทั่วบริเวณอำเภอท่าวุ้ง บ้านหมี่ และสระโบสถ์ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความลึกถึงระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ในช่วง 15.24–22.86 เมตร (WoE=1.34) เป็นบริเวณที่มีเขตอิ่มอากาศและอัตราการเติมน้ำสุทธิที่ค่อนข้างต่ำ และในบริเวณนี้มีแม่น้ำที่หนาแน่นและเป็นพื้นที่ใกล้แม่น้ำซึ่งพบว่าค่า WoE เป็นลบ อีกทั้งบริเวณอำเภอท่าวุ้งส่วนใหญ่ยังมีอัตราการซึมผ่านของน้ำที่ต่ำ คือ 0.73-1.89 เซนติเมตรต่อชั่วโมงซึ่งมีอัตราการซึมผ่านน้อยกว่าบริเวณอื่นทั้งยังมีค่าอิทธิพลทางลบต่อการปนเปื้อน (WoE=-0.55)

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง DRASTIC ดั้งเดิม จะเห็นบริเวณความเปราะบางในระดับต่ำจะอยู่บริเวณอำเภอเมือง บ้านหมี่ โคกสำโรง ส่วนบริเวณความเปราะบางใน

ระดับสูงอยู่บริเวณหนองม่วง โคกเจริญ และโคกสำโรง ซึ่งค่อนข้างแตกต่างจากแบบจำลอง MoDRASTIC ที่บริเวณความเปราะบางในระดับสูงกระจายอยู่หลายบริเวณทั่วจังหวัด เช่น บริเวณอำเภอเมือง หนองม่วง พัฒนานิคม ท่าหลวง ชัยบาดาล และลำสนธิ อีกทั้งจะพบว่าบริเวณความเปราะบางในระดับสูงของแบบจำลอง MoDRASTIC นั้นหากเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ไนเตรตปี ค.ศ. 2022–2023 จะพบว่าบริเวณอำเภอหนองม่วง พัฒนานิคม ท่าหลวง ชัยบาดาล และลำสนธิ มีการตรวจพบปริมาณไนเตรตเกินมาตรฐานน้ำบาดาล (มากกว่า 45 mg/L) ในบางบ่อ ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าของการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนไนเตรตในแบบจำลอง MoDRASTIC ในบริเวณที่มีความเปราะบางในระดับสูง ในส่วนของบริเวณอำเภอเมืองลพบุรีนั้นแม้ว่าแบบจำลองจะมีค่าอยู่ในระดับสูงแต่จากผลวิเคราะห์ไม่พบปริมาณไนเตรตที่เกินมาตรฐานน้ำบาดาล ตามภาพที่ 5 อาจเนื่องมาจากในบริเวณนี้มีปัจจัยของระยะห่างจากแม่น้ำค่อนข้างน้อย และยังพบว่า บ่อบาดาลมีการนำน้ำขึ้นมาใช้ในระยะที่ลึกกว่าระดับน้ำใต้ดินมากจึงอาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้บริเวณดังกว่าไม่พบไนเตรตที่เกินมาตรฐาน จากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 ค่อนข้างแตกต่างกันเนื่องจากการสร้างแบบจำลอง MoDRASTIC นั้นจะใช้การคิดคำนวณค่าน้ำหนักนั้นจากความสัมพันธ์ของปัจจัยกับบริเวณที่เกิดการปนเปื้อนของไนเตรตในอดีตและอีกทั้งการเพิ่มปัจจัยในแบบจำลอง MoDRASTIC ทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำกว่าแบบจำลอง DRASTIC แบบจำลองดั้งเดิมที่คิดจากการให้น้ำหนักและคะแนนของปัจจัยตามที่มีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินซึ่งการให้คะแนนของแต่ละปัจจัยมาจากความคิดเห็นของผู้สร้างแบบจำลองทำให้แบบจำลองอาจมีการคลาดเคลื่อนซึ่งสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 โดยวิธีการ ROC



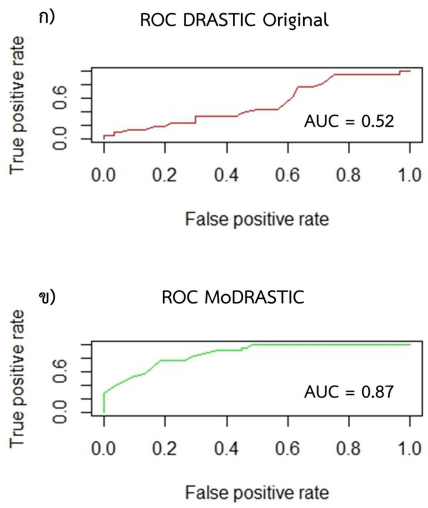
ภาพ 4 แบบจำลองการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตในน้ำใต้ดินโดย DRASTIC



ภาพ 5 แบบจำลองการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตในน้ำใต้ดิน MoDRASTIC

4. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยวิธี receiver operating characteristic--ROC

ประสิทธิภาพของแบบจำลองการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตโดยที่สร้างจากแบบจำลอง DRASTIC ดั้งเดิมและแบบจำลอง MoDRASTIC ด้วยวิธี ROC โดยใช้ AUC ในการประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องโดยรวมของแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่สมบูรณ์จะต้องมี AUC เท่ากับ 1 และหากต่ำกว่า 0.5 ถือว่าแบบจำลองไม่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ แบบจำลองควรมี TPR ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งหมายถึงแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการคาดการณ์หากแบบจำลองแสดงพื้นที่ปนเปื้อน และแบบจำลองควรมี FPR เข้าใกล้ 0 ซึ่งหมายถึงแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการคาดการณ์หากแบบจำลองแสดงพื้นที่ไม่ปนเปื้อน จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง TPR และ FPR และทำการวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟ ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลอง MoDRASTIC มีค่าการทำนายที่ถูกต้องในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำใต้ดิน AUC เท่ากับ 0.85 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและค่าความแม่นยำของโมเดล เท่ากับ 0.83 ในขณะที่ค่าการทำนายของ DRASTIC ดั้งเดิมมีค่าพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.52 และค่าความแม่นยำของโมเดลเท่า 0.75 ค่าดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ แสดงดังภาพ 6



ภาพ 6 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของวิธี ROC: ก) DRASTIC Original ข) MoDRASTIC

สรุป

จากการศึกษาการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษไนเตรตโดยแบบจำลอง DRASTIC แบบดั้งเดิมและจากการปรับปรุงโดยวิธี WoE 11 ปัจจัยใน

พื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนไนเตรตในระดับสูงของแต่ละแบบจำลองพบว่า ในแบบจำลอง DRASTIC จะมีพื้นที่ระดับความเปราะบางระดับสูงอยู่ที่ร้อยละ 9.44 ของพื้นที่ ในขณะที่แบบจำลอง MoDRASTIC จะมีพื้นที่ระดับความเปราะบางระดับสูงอยู่ที่ร้อยละ 13.43 ของพื้นที่ ทั้งนี้แบบจำลอง DRASTIC มีความแม่นยำที่ต่ำสำหรับพื้นที่การศึกษานี้ ขณะที่ MoDRASTIC มีความแม่นยำในการทำนายที่มากกว่า ข้อดีของการปรับปรุงโดยวิธี WoE มาใช้ในการปรับปรุงแบบจำลอง DRASTIC คือ การให้คะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยจะง่ายและแม่นยำขึ้น อีกทั้งการคำนึงถึงกิจกรรมของมนุษย์และสภาพแวดล้อมที่ตั้งของบ่อน้ำใต้ดินเพิ่มความแม่นยำให้กับแบบจำลอง เนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ส่งผลต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน และจากการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของไนเตรตของน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดลพบุรีพบว่า บริเวณอำเภอเมือง หนองม่วง พัฒนานิคม ท่าหลวง และชัยบาดาลมีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนไนเตรตในน้ำใต้ดินในระดับสูง ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปเป็นเครื่องมือในการประกอบการพิจารณาวางแผนในการอนุรักษ์และพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดิน กล่าวคือ สามารถนำแบบจำลองที่ได้รับการปรับปรุงมาใช้เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนจัดการกำหนดทิศทางในการใช้ทรัพยากร การใช้ประโยชน์ที่ดินและการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับพื้นที่ อีกทั้งยังสามารถช่วยในการจัดลำดับความสำคัญในการป้องกัน ติดตามและปรับปรุงคุณภาพน้ำใต้ดินในบริเวณดังกล่าวได้สะดวกและแม่นยำยิ่งขึ้น

References

Aller, L., Bennett, T., Jay, L. H., & Rebecca, P. J. (1987). *Drastic: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings: EPA/600/2-87/035*. Retrieved from https://bit.ly/46RuyJD

Armaş, I. (2011). Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping. Prahova Subcarpathians, Romania. *Natural Hazards, 60*(3), 937-950. doi:10.1007/s11069-011-9879-4

Cabello, P., Roldan, M. D., & Moreno-Vivian, C. (2004). Nitrate reduction and the nitrogen cycle in archaea. *Microbiology (reading), 150*(Pt 11), 3527-3546. doi:10.1099/mic.0.27303-0

Chotpantarat, S., Parkchai, T., & Wisitthammasri, W. (2020). Multivariate statistical analysis of Hydrochemical data and stable isotopes of groundwater contaminated with nitrate at Huay Sai Royal Development Study Center and Adjacent Areas in Phetchaburi Province, Thailand. *Water, 12*(4). doi:10.3390/w12041127

Department of Groundwater Resources. (2007). *Groundwater exploration and mapping of limestone aquifer project: Area 2*. Bangkok: Department of Groundwater Resources. (in Thai)

Department of Water Resources. (2023). *Water source information*. Retrieved from https://webgis.dwr.go.th/downloads

Ducci, D., Della Morte, R., Mottola, A., Onorati, G., & Pugliano, G. (2019). Nitrate trends in groundwater of the Campania region (southern Italy). *Environmental Science and Pollution Research, 26*(3), 2120-2131. doi:10.1007/s11356-017-0978-y

Elmeknassi, M., El Mandour, A., Elgettafi, M., Himi, M., Tijani, R., El Khantouri, F. A., & Casas, A. (2021). A GIS-based approach for geospatial modeling of groundwater vulnerability and pollution risk mapping in Bou-Areg and Gareb aquifers, Northeastern Morocco. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(37), 51612-51631. doi:10.1007/s11356-021-14336-0

Fan, J., Upadhye, S., & Worster, A. (2006). Understanding receiver operating characteristic (ROC) curves. *Canadian Journal of Emergency Medicine, 8*(1), 19-20. doi:10.1017/s1481803500013336

Fraga, C. G., Melville, A. M., & Wright, B. W. (2007). ROC-curve approach for determining the detection limit of a field chemical sensor. *Analyst, 132*(3), 230-236. doi:10.1039/b607843e

Gajowniczek, K., & Ząbkowski, T. (2014). Estimating the ROC curve and its significance for classification models' assessment. *Quantitative Methods in Economics, 15*(2), 382-391.

Goyal, D., Haritash, A. K., & Singh, S. K. (2021). A comprehensive review of groundwater vulnerability assessment using index-based, modelling, and coupling methods. *Journal of Environmental Management, 296*, 113161. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113161

Hamza, S. M., Ahsan, A., & Sulaiman, W. N. A. (2019). GIS-based spatial analysis accurately predicts alluvial well depletion and effectively establishes relationship between aquifer parameters. I*nternational Journal of Water Resources and Arid Environments, 8*(1), 49-60.

Hoehn, E., & Scholtis, A. (2011). Exchange between a river and groundwater, assessed with hydrochemical data. *Hydrology and Earth System Sciences, 15*(3), 983-988. doi:10.5194/hess-15-983-2011

Huang, Y., Chang, Q., & Li, Z. (2018). Land use change impacts on the amount and quality of recharge water in the loess tablelands of China. *Science Total Environ, 628*, 443-452. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.076

Hussain, H. M. (2004). *Assessment of groundwater vulnerability in an alluvial interfluve using GIS*. (Doctoral dissertation). Indian Institute of Technology Roorkee. Roorkee.

Jia, Z., Bian, J., & Wang, Y. (2018). Impacts of urban land use on the spatial distribution of groundwater pollution, Harbin City, Northeast China. *Journal of Contaminant Hydrology, 215*, 29-38. doi: 10.1016/j.jconhyd.2018.06.005

Jia, Z., Bian, J., Wang, Y., Wan, H., Sun, X., & Li, Q. (2019). Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate in porous aquifers based on a DRASTIC method modified by projection pursuit dynamic clustering model. *Journal of Contaminant Hydrology, 226*, 103522. doi: 10.1016/j.jconhyd.2019.103522

Khosravi, K., Sartaj, M., Karimi, M., Levison, J., & Lotfi, A. (2021). A GIS-based groundwater pollution potential using DRASTIC, modified DRASTIC, and bivariate statistical models. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(36), 50525-50541. doi: 10.1007/s11356-021-13706-y

Lakshminarayanan, B., Ramasamy, S., Anuthaman, S. N., & Karuppanan, S. (2021). New DRASTIC framework for groundwater vulnerability assessment: bivariate and multi-criteria decision-making approach coupled with metaheuristic algorithm. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(3), 4474-4496. doi:10.1007/s11356-021-15966-0

Lee, C. M., Choi, H., Kim, Y., Kim, M., Kim, H., & Hamm, S. Y. (2021). Characterizing land use effect on shallow groundwater contamination by using self-organizing map and buffer zone. *Science of The Total Environment, 800*, 149632. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149632

Nakagawa, K., Amano, H., Persson, M., & Berndtsson, R. (2021). Spatiotemporal variation of nitrate concentrations in soil and groundwater of an intensely polluted agricultural area. *Scientifc Reports, 11*, 2598. https://doi.org/10.1038/s41598-021-82188-2

Navarro, J., Teramoto, E. H., Engelbrecht, B. Z., & Kiang, C. H. (2020). Assessing hydrofacies and hydraulic properties of basaltic aquifers derived from geophysical logging. *Brazilian Journal of Geology, 50*(4). doi:10.1590/2317-4889202020200013

O'Driscoll, M., Johnson, P., & Mallinson, D. (2010). Geological controls and effects of floodplain asymmetry on river–groundwater interactions in the southeastern Coastal Plain, USA. *Hydrogeology Journal, 18*(5), 1265-1279. doi:10.1007/s10040-010-0595-z

Piscopo, G. (2001). *Groundwater vulnerability map explanatory notes. Centre for Natural Resources NSW Department of Land and Water Conservation: Lachlan Catchment*. Retrieved from https://water.dpie.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0004/151762/Castlereagh-map-notes.pdf

Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., Mohammadi, M., & Moradi, H. R. (2012). Application of weights-of-evidence and certainty factor models and their comparison in landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences, 6*(7), 2351-2365. doi: 10.1007/s12517-012-0532-7

Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2015). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International, 31*(1), 42-70. doi:10.1080/10106049.2015.1041559

Sarakarn, P., & Munpolsri, P. (2021). Optimal cut-off points for receiver operating characteristic (ROC) curve analysis in developing tools of health innovations:example using STATA. *Thai Bulletin of Pharmaceutical Sciences, 16*(1), 93-108 (in Thai)

Trauth, N., Musolff, A., Knoller, K., Kaden, U. S., Keller, T., Werban, U., & Fleckenstein, J. H. (2018). River water infiltration enhances denitrification efficiency in riparian groundwater. *Water research, 130*, 185-199. doi: 10.1016/j.watres.2017.11.058

Udomsri, S., & Hoontrakul, K. (n.d). *Surface texture of the soil series in Thailand*. Bangkok: Land Development Departmen. (in Thai)

U.S. Geological Survey. (2014). *Digital Elevation Model (DEM)*. Retrieved from https://earthexplorer.usgs.gov/.

Wang, K., Chen, H., Li, F., Guo, F., & Jiang, G. (2020). Spatial distribution characteristics of nitrogen pollution in a typical karst groundwater system. *Arabian Journal of Geosciences, 13*(10), 351. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05401-y

การพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชน กรณีศึกษา อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์

The Development of Digital Platform for Local Tourism Support: Case Study of Sikhoraphum District Surin Province

เอกชัย แซ่จึง[1] จงกล จันทร์เรือง[1] สุภาวดี พบพิมาย[1] และสรวิศ ต.ศิริวัฒนา[1]

Ekkachai Jueng[1], Jongkol Janruang[1], Supawadee Phobphimai[1] and Soravit T. Siriwattana[1]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

[1]Faculty of Science and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan

Received: July 11, 2023

Revised: September 19, 2023

Accepted: September 25, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงวิจัยและพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) การออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชน กรณีศึกษาอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ และ (2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบและการยอมรับเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น แนวคิดของงานวิจัยได้พัฒนาแพลตฟอร์มเชื่อมโยงชุมชนส่งข่าวสารผ่านการกระตุ้นจากอุปกรณ์บีคอนผ่านสัญญาณบลูทูธจากที่ติดตั้งที่สถานที่ท่องเที่ยวส่งข่าวสารไปถึงนักท่องเที่ยว และสามารถนำข้อมูลที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมบนแพลตฟอร์มไปใช้ประโยชน์ในการบริหารส่งเสริมการท่องเที่ยวชุมชนต่อได้ การดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ (1) ขั้นตอนการศึกษาได้ลงพื้นที่สัมภาษณ์และใช้แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นจากสถานประกอบการและนักท่องเที่ยว (2) ขั้นตอนการพัฒนาแพลตฟอร์มใช้หลักการทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์ พัฒนาเทคโนโลยี 4 ส่วนประกอบเป็นแพลตฟอร์มประกอบด้วย เว็บแอปพลิเคชัน แชทบอท อุปกรณ์บีคอน และแผงควบคุมการแสดงผล (3) ขั้นตอนการทดลองและประเมินผล ได้เก็บข้อมูลโดยแบบสอบถามและประมวลข้อมูลด้วยหลักสถิติเชิงพรรณนา โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ราย ให้ความคิดเห็นด้านประสิทธิภาพของระบบมีคุณภาพในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$=4.52 SD=.64) และประเมินโดยกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นผู้ใช้งานในชุมชนจำนวน 112 ราย ได้รับการยอมรับเทคโนโลยีจากผู้ใช้งานในชุมชนอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$=3.89 SD=.84) ผลจากการประเมินทั้ง 2 มุมมองนี้ได้แสดงให้เห็นว่าแพลตฟอร์มที่ได้ติดตั้งในพื้นที่นั้นได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานสามารถเป็นเครื่องมือสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชนได้ตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ: แพลตฟอร์มดิจิทัล แชทบอท เทคโนโลยีบีคอน

Abstract

This research is a research and development study aimed at (1) designing and developing a digital platform for local tourism, supporting a case study of Sikhoraphum district, Surin province, and (2) evaluating the effectiveness and system acceptance. The research project has developed a platform that connects communities and disseminates information through stimulation from beacon devices installed at attractive places, while also utilizing data generated from various activities on the platform for the benefit of community tourism management. The research process consists of three phases: (1) the study process, field interviews, and survey tools were utilized to gather opinions from businesses in the community and tourists; (2) the development process utilizes software engineering principles and involves the four key components: web applications, chatbots, beacon devices, and interactive dashboards; and (3) the experimentation and evaluation process, questionnaires were used and analyzed using descriptive statistics. It was found that the opinions of 5 experts on the system's performance were of the highest quality ($\overline{X}$=4.52, SD=.64). Additionally, the assessment of technology acceptance by 112 users showed high satisfaction ($\overline{X}$=3.89, SD=.84). The results of the evaluation from both perspectives show that the platform that has been installed in the community has been accepted by users and can be a tool to support community tourism as intended.

Keywords: digital platform, chatbot, beacon technology

บทนำ

ประเทศไทยกับการท่องเที่ยวมีความสัมพันธ์กันโดยตรงระหว่างเศรษฐกิจของประเทศกับการส่งเสริมอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีรายได้จากอุตสาหกรรมท่องเที่ยวโดยประมาณ 2 ล้านล้านบาท มีรายได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.05 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีที่ผ่านมา (Economic Tourism and Sports Division, 2021) และภายหลังจากสถานการณ์ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 สถานการณ์การท่องเที่ยวของประเทศไทยได้ฟื้นตัวและดีขึ้นเป็นลำดับ ดังนั้นประเทศไทยจึงถือได้ว่ามีศักยภาพในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว มีการท่องเที่ยวที่หลากหลาย เช่น ท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติ ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ เป็นต้น

จังหวัดสุรินทร์เป็นจังหวัดหนึ่งที่ได้รับการส่งเสริมตามนโยบายการท่องเที่ยวเมืองรอง จากการสำรวจข้อมูลโดยสำนักงานสถิติจังหวัดสุรินทร์ (National Statistical Office Surin Province, 2019) ในปี พ.ศ. 2561 จังหวัดสุรินทร์มีนักท่องเที่ยวชาวไทย 1,023,594 คน ชาวต่างชาติ 26,539 คน รวมจำนวน 1,050,133 คน ซึ่งเพิ่มขึ้นมากกว่าปี พ.ศ. 2560 ประมาณร้อยละ 7.4 จังหวัดสุรินทร์ปี 2561 รายได้จากการท่องเที่ยว 3,100 ล้านบาท และมีรายได้จากการจำหน่ายสินค้าของฝากและของที่ระลึก 2,015 ล้านบาท มีแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่มีความเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัด และแหล่งท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติที่น่าสนใจ เช่น หมู่บ้านช้างตากลาง เป็นหมู่บ้านช้างเลี้ยงที่ใหญ่ที่สุดในโลก ทะเลสาบทุ่งกุลา ด่านช่องจอม ปราสาทบ้านพลวง วนอุทยานพนมสวาย เป็นต้น จังหวัดสุรินทร์จึงถือได้ว่าเป็นเมืองรองที่มีศักยภาพทางการท่องเที่ยวและสามารถรองรับนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นได้อีก โดยเฉพาะอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ มีปราสาทศีขรภูมิเป็นแหล่งโบราณสถานที่เป็นมุดหมายของการเดินทางท่องเที่ยวหนึ่งของ

จังหวัด ปราสาทศีขรภูมิมีการจัดกิจกรรมใหญ่การแสดงแสงสีเสียงประจำปี มีแหล่งท่องเที่ยวอื่นภายในอำเภอ เช่น สระน้ำสี่เหลี่ยม ปราสาทช่างปี่ อ่างลำพอก เป็นต้น นอกจากนี้การให้ความสำคัญกับนโยบายส่งเสริมการท่องเที่ยวของชุมชน อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์จึงเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีศักยภาพต่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวเมืองรอง

พฤติกรรมการใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านอุปกรณ์สื่อสารของนักท่องเที่ยวในปัจจุบันมีใช้งานอุปกรณ์สื่อสารประเภทสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตเป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ดังเช่นผลการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานอินเทอร์เน็ตของคนไทยประจำปี 2565 ของสำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือ ETDA (Electronic Transactions Development Agency, 2022) พบว่า ผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตปี 2564 มีจำนวน 52.5 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 79.3 ของประชากรไทย ในปี 2565 ภาพรวมคนไทยใช้เวลาในการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตเฉลี่ยอยู่ที่ 7 ชั่วโมงต่อวัน นิยมใช้อินเทอร์เน็ตเพื่อค้นหาข้อมูลข่าวสารร้อยละ 67.6 มีการใช้งานวัตถุประสงค์ด้านทำธุรกรรมด้านการท่องเที่ยวและการเดินทางออนไลน์ร้อยละ 59 ซึ่งผู้ใช้งานส่วนใหญ่ใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ ร้อยละ 97.07 แท็บเล็ตร้อยละ 19.35 และโน้ตบุ๊คและคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะร้อยละ 18.42 และ 17.80 ตามลำดับ สำหรับการติดต่อสื่อสารโดยส่วนใหญ่ ร้อยละ 92.8 จะใช้งานแอปพลิเคชันไลน์โมบาย (Line Mobile) ในการติดต่อสื่อสาร เมื่อเทียบกับประชากรทั้งประเทศแล้วจะมีประชาชนใช้งานแอปพลิเคชันไลน์โมบายประมาณ 48 ล้านคน และใช้งานโดยเฉลี่ย 63 นาทีต่อวัน หากพิจารณาสถิตินักท่องเที่ยวและพฤติกรรมนักท่องเที่ยว จะพบว่า นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่จะมีการใช้อุปกรณ์สมาร์ทโฟนและมีการงานแอปพลิเคชันไลน์โมบาย สำหรับแอปพลิเคชันไลน์โมบายนั้นเป็นแอปพลิเคชันสำหรับการติดต่อสื่อสารและสามารถนำมาใช้ส่งเสริมทางการตลาดได้ การทำงานรวมกับเทคโนโลยีบีคอน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำงานผ่านสัญญาณบลูทูธเป็นความสามารถหนึ่งของแอปพลิเคชันไลน์โมบายมีให้บริการสามารถตรวจจับอุปกรณ์บีคอนที่อยู่ในรัศมีบริเวณโดยรอบได้ คณะนักวิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาแพลตฟอร์มตามแนวคิดการตลาดแบบผลัก เมื่อนักท่องเที่ยวเดินทางเข้าสู่บริเวณแหล่งท่องเที่ยวที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์สถานีบีคอน (Beacon station) นักท่องเที่ยวก็จะได้รับข้อมูลข่าวสารประชาสัมพันธ์จากแหล่งท่องเที่ยวผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนแบบอัตโนมัติ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวและสร้างโอกาสการเพิ่มรายได้จากการจำหน่ายสินค้าและบริการของร้านค้าชุมชนและสามารถส่งเสริมอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวระดับจังหวัดและประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อการออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชน กรณีศึกษาอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบและการยอมรับเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวเป็นเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกการบริหารจัดการธุรกิจท่องเที่ยว การบริการนักท่องเที่ยวให้สามารถวางแผนการท่องเที่ยวและตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ อย่างมีแบบแผน (Yanopas, 2018) สามารถจำแนกประโยชน์ได้ทั้งฝ่ายผู้รับบริการและฝ่ายผู้ให้บริการ (Nguyen, 2021) แบ่งได้ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ แหล่งท่องเที่ยว (smart destination) สามารถนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานเพื่อมุ่งหวังสร้างความยั่งยืนของการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยว โครงสร้างพื้นฐานของแหล่งท่องเที่ยวนั้นทุกคนต้องสามารถเข้าถึงบริการได้ และจะต้องได้รับการออกแบบเพื่อการสร้างประสบการณ์ให้กับผู้รับบริการผ่านเทคโนโลยีและนวัตกรรมเหล่านั้นได้ องค์ประกอบที่สอง ได้แก่การสร้างประสบการณ์จากการรับรู้ (experience of intelligence) ของนักท่องเที่ยวจากการใช้งานนวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อมุ่งหวังการสร้างประสบการณ์ที่ดีแก่นักท่องเที่ยว เช่น การบริการข้อมูลแบบตามสไตล์บุคคล (personalization) การสร้างความรับรู้และความตระหนักแก่นักท่องเที่ยว และการกำกับติดตามข้อมูลพฤติกรรมนักท่องเที่ยว (tracking) ตัวอย่างเช่น การแนะนำการท่องเที่ยวเชิงนันทนาการ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ (Siharad et al., 2023) ได้นำ

การรีวิวของนักท่องเที่ยวมาวิเคราะห์โครงสร้างคำและประโยคโดยใช้อัลกอริทึมไบแกรมร่วมกับเทคนิคการสกัดชุดข้อมูลข้อมูลร่วมกับข้อมูลการเช็คอินของนักท่องเที่ยว สร้างเป็นระบบบริการข้อมูลแบบตามสไตล์บุคคล รวมถึงเทคโนโลยีแชทบอทซึ่งเป็นระบบที่โต้ตอบแบบอัตโนมัติ ที่สามารถตอบโต้ พูดคุย สื่อสาร ผ่านตัวอักษร ข้อความบทสนทนากับมนุษย์ได้แบบทันที ดังปรากฏในงานวิจัยระบบสนับสนุนการให้ข้อมูลสำหรับแหล่งท่องเที่ยวบนเส้นทางท่องเที่ยวโคราชจีโอพาร์คด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล (Sungsri et al., 2020) ได้ใช้หลักการเรียนรู้ของเครื่องและการประมวลผลภาษาธรรมชาติในส่วนของการตอบข้อมูลด้วยแชทบอทบริการข่าวสารของแหล่งท่องเที่ยวมุ่งให้เกิดประสบการณ์ใหม่แก่ผู้ใช้บริการ และองค์ประกอบที่สาม ได้แก่ ระบบธุรกิจอัจฉริยะ (business intelligence system) จะรวบรวมข้อมูลจากแหล่งท่องเที่ยวและพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวมาประมวลผล นำไปวิเคราะห์และวางแผนการส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยว ดังเช่น ระบบบริหารจัดการการท่องเที่ยวของประเทศไทยหรือ Tourism Intelligence Center--TIC เป็นระบบที่เชื่อมโยงบูรณาการข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและภายนอกกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาทั้งหน่วยงานภาครัฐ เอกชนและนักท่องเที่ยวเพื่อการใช้ประโยชน์จากข้อมูลร่วมกันให้มีประสิทธิภาพ (https://tic.mots.go.th)

การสื่อสารการตลาดแบบผลักเป็นหลักการสื่อสารของกลยุทธ์การสื่อสารแบบเข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย (pull and push strategy) มีพื้นฐานจากหลักโลจิสติกส์และการจัดการโซ่อุปทาน (Tarnittanakorn, 2011) เป็นการผสมผสานระหว่างกลยุทธ์การตลาดด้านการทำแบรนด์และการขายเข้าด้วยกันเพื่อกระตุ้นให้ลูกค้าอยากซื้อสินค้ามากขึ้น การตลาดแบบผลักเป็นหลักในการตัดสินใจผลิตและกระจายสินค้า เพื่อผลักสินค้าหรือบริการเข้าสู่ท้องตลาดซึ่งเจ้าของสินค้าหรือบริการจะได้ประโยชน์จากการผลิตในแต่ละครั้งที่มีปริมาณมาก ทำให้เกิดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำ เมื่อนำมาปรับใช้กับบริบทการท่องเที่ยวชุมชนสินค้าและบริการของภาคท่องเที่ยวชุมชน ได้แก่ แหล่งท่องเที่ยว สินค้าและบริการของชุมชน และสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับการบริการการท่องเที่ยว เช่น ข้อมูลสิ่งอำนวยความสะดวก ข้อมูลการติดต่อโรงพยาบาล สถานีตำรวจ สถานีขนส่ง เป็นต้น

เทคโนโลยีบีคอน (Beacon technology) เป็นอุปกรณ์รับส่งข้อมูลด้วยสัญญาณบลูทูธย่านพลังงานต่ำ หรือ Bluetooth Low Energy--BLE สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเทคโนโลยีระบุตำแหน่ง เมื่อนำไปติดตั้งที่บริเวณสถานที่ต่าง ๆ จะสามารถบ่งบอกรหัสหรือชื่อสถานที่นั้นตามที่กำหนดค่าไว้ได้ เทคโนโลยีบีคอนสามารถนำมาใช้ส่งเสริมการตลาดให้กับธุรกิจแบบมีส่วนร่วมกับผู้รับบริการหรือลูกค้าได้ การทำงานของอุปกรณ์บีคอน เมื่อผู้ใช้งานเดินเข้าไปในรัศมีที่มีอุปกรณ์บีคอนส่งสัญญาณถึง ผู้ให้บริการจะสามารถส่งข้อความต่าง ๆ ไปหาผู้ใช้งานได้ ดังเช่นกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์บีคอนเพื่อเก็บข้อมูลการบริการและเพิ่มคุณภาพการบริการของสถานพยาบาล (Tidchai et al., 2017) ผู้รับบริการจะนำอุปกรณ์บีคอนติดประจำตัวไว้ อุปกรณ์บีคอนสามารถระบุตำแหน่งการใช้บริการของผู้รับบริการและบันทึกเวลาที่ให้บริการในจุดต่าง ๆ ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันที่มีบริการการลงทะเบียนเข้ารับบริการ การบริการข่าวสารให้แก่ผู้รับบริการ เช่น คิวรับยา ข้อมูลเกี่ยวกับจุดบริการ และบริการติดตามผู้รับบริการ แอปพลิเคชันสามารถรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์บีคอนไปวิเคราะห์วางแผนปรับปรุงการให้บริการที่ดียิ่งขึ้นได้

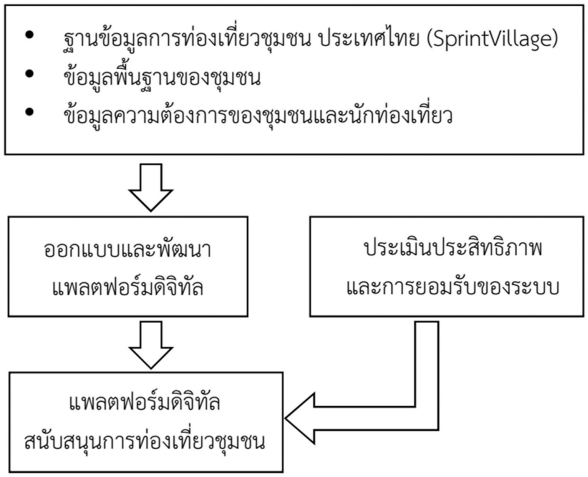
การประเมินความสำเร็จของการพัฒนาระบบตามกรอบแนวคิดความสำเร็จในการพัฒนาระบบสารสนเทศ (information success model) (Delone & Mclean, 2003) พิจารณาจาก 6 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณภาพสารสนเทศ ด้านคุณภาพระบบ ด้านคุณภาพบริการ ด้านความตั้งใจที่จะใช้งาน ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน และด้านผลประโยชน์สุทธิ และแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (technology acceptance model) นำเสนอโดย Davis (1989) ได้นำเสนอถึงความเป็นเหตุเป็นผลของการใช้งานระบบหรือเทคโนโลยี ที่มีประเด็นสำคัญ 6 ประเด็น ได้แก่ ปัจจัยภายนอก การรับรู้ถึงประโยชน์ การรับรู้ถึงความง่ายต่อการใช้งาน ทัศนคติต่อการใช้งาน ความตั้งใจในการใช้งานระบบ และการยอมรับนำระบบมาใช้งานจริง

กรอบแนวคิดการวิจัย

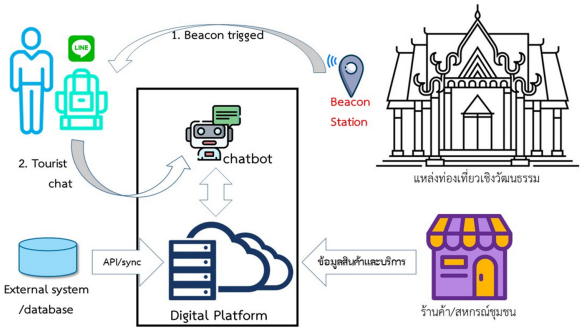
กรอบงานวิจัยใช้หลักการเชิงระบบ ประกอบด้วยปัจจัยนำเข้า (input) การประมวลผล (processing) ผลลัพธ์ (output) และผลย้อนกลับ (feedback) โครงการวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยและพัฒนาแบ่งงานวิจัยเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะศึกษาและวิจัย ระยะออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์ม และระยะทดลอง ติดตามผลและประเมินผล

ฐานข้อมูลการท่องเที่ยวชุมชนประเทศไทยหรือฐานข้อมูลจาก SprintVillage (Janruang et al., 2020) ได้รับการนำมาเป็นฐานข้อมูลตั้งต้นให้กับงานวิจัยนี้ และงานวิจัยได้กำหนดชุมชนบ้านปราสาท ตำบลระแงง อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ เป็นพื้นที่ศึกษา นำข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลความต้องการ ข้อมูลความคิดเห็นของชุมชนและนักท่องเที่ยวมาเป็นปัจจัยนำเข้าเพื่อการออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์ม และจะได้รับการประเมินผลประสิทธิภาพและประเมินการยอมรับระบบโดยนักท่องเที่ยวและเจ้าของกิจการร้านค้าในชุมชนแสดงดังกรอบแนวคิดภาพ 1

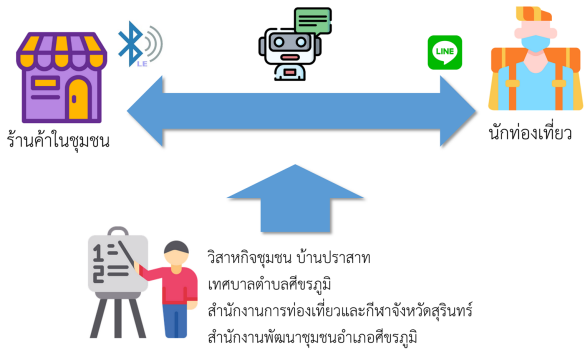
ภาพรวมการทำงานของแพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในชุมชนมีผู้เกี่ยวข้องประกอบด้วย นักท่องเที่ยว ร้านค้าและสหกรณ์ชุมชน และแหล่งท่องเที่ยว ทำงานแบบเชิงรุกด้วยแนวคิดการตลาดแบบผลัก นักท่องเที่ยวสามารถเข้าถึงแพลตฟอร์มและสื่อสารกับบอท (Bot) ผ่านแอปพลิเคชันไลน์โมบายเพื่อรับบริการข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยว สินค้าและบริการของชุมชน ผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนของนักท่องเที่ยว โดยบริเวณร้านค้าและแหล่งท่องเที่ยวได้รับการติดตั้งจุดบริการสแกนคิวอาร์ (QR Code) เพื่อบริการเพิ่มเพื่อนแชทบอทผ่านแอปพลิเคชันไลน์โมบาย และติดตั้งอุปกรณ์สถานีบีคอนทำหน้าที่ปล่อยสัญญาณบลูทูธย่านพลังงานต่ำ เพื่อกระตุ้นเตือนแจ้งข่าวสารและข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวแห่งนั้นให้แก่นักท่องเที่ยว แสดงดังภาพ 2 ดังนั้นเมื่อมีกิจกรรมการสนทนาระหว่างนักท่องเที่ยวกับบอท หรือเมื่อนักท่องเที่ยวได้รับสัญญาณบีคอน แพลตฟอร์มก็จะลงรายการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลเพื่อส่งให้หน่วยงานในพื้นที่ใช้ประโยชน์จากแผงควบคุมการแสดงข้อมูล (dashboard) วิเคราะห์ลักษณะและพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวต่อไปได้ แสดงดังภาพ 3



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 2 ภาพรวมการทำงานของแพลตฟอร์มดิจิทัล



ภาพ 3 ความเชื่อมโยงอุปสงค์อุปทานบนแพลตฟอร์ม

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชนกรณีศึกษาอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ แบ่งงานวิจัยเป็น 3 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะศึกษาและวิจัย (2) ระยะออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์ม และ (3) ระยะทดลองติดตามผลและประเมินผล

1. ระยะศึกษาและวิจัย

ได้สำรวจข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว สำรวจความต้องการของผู้ประกอบการ สินค้าและบริการและนักท่องเที่ยวในชุมชน และศึกษาการใช้ฐานข้อมูลการท่องเที่ยวชุมชนประเทศไทยเพิ่มเติม เพื่อเก็บรวบรวมแหล่งท่องเที่ยว สถานที่สำคัญของชุมชน สำรวจสินค้าและบริการ สิ่งอำนวยความสะดวกในชุมชนทางเว็บไซต์ https://www.sprintvillage.com นำมาเป็นฐานข้อมูลตั้งต้นของแพลตฟอร์ม และสำรวจข้อมูลสินค้าและบริการ แหล่งท่องเที่ยวในชุมชนเพิ่มเติมลงฐานข้อมูลที่พัฒนาใหม่

2. การออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์ม

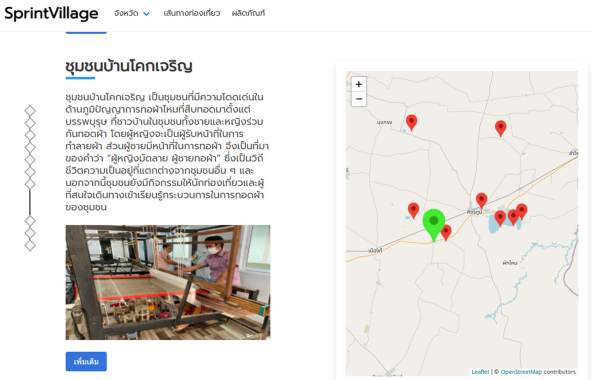
ได้วิเคราะห์และออกแบบแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ (1) สถาปัตยกรรมของระบบ (2) การออกแบบส่วนแชทบอท

2.1 สถาปัตยกรรมของระบบ ระบบจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลภายนอกแพลตฟอร์ม ได้แก่ ฐานข้อมูล SprintVillage ตัวอย่างหน้าเว็บไซต์แสดงดังภาพ 4 การออกแบบการทำงานของระบบแบ่งระบบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหน้าบ้าน (front-end) เพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน เช่น นักท่องเที่ยว ร้านค้าชุมชน และส่วนหลังบ้าน (back-end) เพื่อประสานการทำงานส่งผ่านข้อมูลระหว่างระบบต่าง ๆ ภายในแพลตฟอร์ม แสดงดังภาพ 5

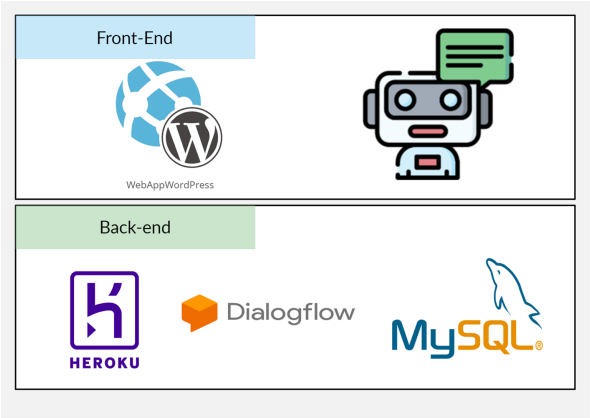
เมื่อร้านค้าหรือชุมชน ได้นำเข้าข้อมูลสินค้าและบริการ ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว ในเบื้องหลังการทำงานระหว่างหน้าบ้านและหลังบ้านของระบบจะปรับปรุงฐานข้อมูลให้ทันสมัยและจัดรูปแบบข้อมูลแบบอัตโนมัติ (Extract-Transform-Load--ETL) เพื่อจัดเตรียมข้อมูลไปบริการให้แก่นักท่องเที่ยว แสดงดังภาพ 6

เมื่อนักท่องเที่ยวใช้แอปพลิเคชันไลน์โมบายเพิ่มแชทบอทเป็นเพื่อน (add friend) ผ่านบริการคิวอาร์โค้ด ที่ติดตั้งบริเวณร้านค้าและแหล่งท่องเที่ยว แชทบอทจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางสื่อสารระหว่างนักท่องเที่ยวกับแพลตฟอร์มให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าถึงข้อมูลสินค้าและบริการแหล่งท่องเที่ยวที่ตนเองสนใจได้ ดังภาพ 7 เมื่อนักท่องเที่ยวสอบถามถึงสินค้าและบริการ แหล่งท่องเที่ยวหรือร้านอาหาร ระบบจะนำเสนอข้อมูลให้กับนักท่องเที่ยวตามพิกัดตำแหน่งที่นักท่องเที่ยวอยู่โดยเริ่มนำเสนอจากร้านค้าหรือแหล่งท่องเที่ยวที่ใกล้นักท่องเที่ยวมากที่สุด หากนักท่องเที่ยวสนใจเรื่องอื่น ก็สามารถสอบถามแชทบอท แชทบอทจะทำงานร่วมกับระบบ Dialogflow เพื่อวิเคราะห์ข้อคำถามและตอบสนองข้อมูลให้นักท่องเที่ยวได้ตามความต้องการ ดังภาพ 8 และ 9 ทั้งนี้ ข้อมูลที่นอกเหนือจากบทสนทนาที่เตรียมไว้ ข้อคำถามและบทสนทนาที่เกิดขึ้นจะสามารถนำไปคัดกรองและวิเคราะห์หาความน่าสนใจต่อไปได้

2.2 การออกแบบส่วนแชทบอทได้รับการออกแบบบุคลิกของแชทบอท (Chatbot Persona) เพื่อการสื่อสารกับบุคคล ให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายและธุรกิจที่บริการ กลุ่มเป้าหมายที่ให้บริการได้แก่นักท่องเที่ยว กำหนดเป้าหมายหลักของการบริการ 3 ด้าน ได้แก่ แนะนำแหล่งท่องเที่ยว แนะนำสินค้าและบริการ แนะนำร้านอาหาร รวมไปถึงการตอบข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวของชุมชน เช่น ข้อมูลการติดต่อสถานีขนส่ง สถานีรถไฟ สถานีตำรวจ โรงพยาบาล เป็นต้น ดังนั้นแชทบอทจึงเปรียบเสมือนเป็นมัคคุเทศก์ของชุมชนที่จะทำหน้าที่แทนชุมชนสื่อสารข้อมูลการท่องเที่ยวและข้อมูลข่าวสารของชุมชน แชทบอทนี้จึงได้รับการออกแบบเป็นเด็กผู้หญิง อายุ 16 ปี อาชีพมัคคุเทศก์ท้องถิ่น มีนิสัยร่าเริง แจ่มใส ช่างพูดคุย นำเสนอ ชื่อเล่น น้องชบา ดังภาพ 10



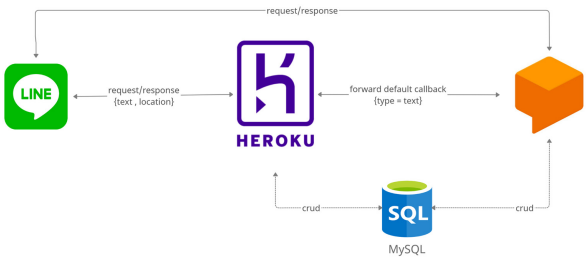
ภาพ 4 ตัวอย่างข้อมูลชุมชนบ้านโคกเจริญ



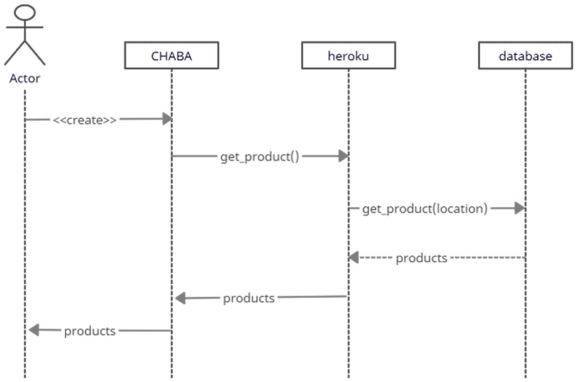
ภาพ 5 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบ

ภาพ 6 แสดงกระบวนการเชื่อมโยงระหว่างฐานข้อมูลหน้าบ้านและฐานข้อมูลหลังบ้าน

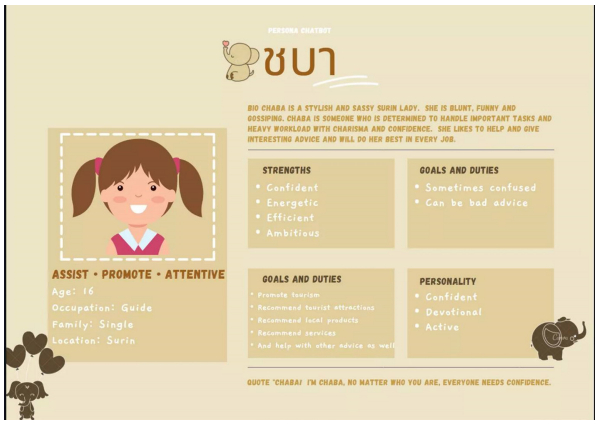
ภาพ 7 แสดงการทำงานเมื่อนักท่องเที่ยวใช้ระบบ



ภาพ 8 แสดงการทำงานเมื่อนักท่องเที่ยวใช้งานระบบ (tourist journey)



ภาพ 9 แสดงแผนภูมิลำดับการทำงาน เมื่อนักท่องเที่ยวพูดคุยกับแชทบอท



ภาพ 10 แสดงบุคลิกของแชทบอท

2.3 การพัฒนาแพลตฟอร์ม แพลตฟอร์มได้รับการพัฒนาด้วยหลายเทคโนโลยีสามารถจำแนกเป็นส่วนได้ ดังนี้

(1) ส่วนระบบหน้าบ้าน (front-end) พัฒนาด้วย Wordpress และ WooCommerce แบ่งกลุ่มผู้ใช้งานเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ ร้านค้า และผู้ใช้งานทั่วไป

(2) ส่วนระบบหลังบ้าน (back-end) พัฒนาด้วย MySQL และ Python ประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ส่วนจัดการฐานข้อมูลของแพลตฟอร์ม และส่วนโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องแนะนำแหล่งท่องเที่ยว

(3) ส่วนแชทบอท พัฒนาด้วยภาษา Python Line Messaging API และ DialogFlow

(4) ส่วนอุปกรณ์สถานีบีคอน พัฒนาด้วย Android

Studio กับอุปกรณ์ Node MCU ESP32 ปล่อยสัญญาณบูลทูธย่านพลังงานต่ำ

(5) ส่วนแผงควบคุมการแสดงข้อมูลพัฒนาด้วย Google Looker Studio

3. ระยะทดลอง ติดตามผลและประเมินผล

ได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์สถานีบีคอนตามสถานที่ท่องเที่ยวหรือร้านค้าในชุมชนบ้านปราสาท อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ ได้ทดลองใช้งานพื้นที่ศึกษาและประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ด้วยแบบสอบถามจำนวน 5 ราย ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีดิจิทัล จำนวน 2 ราย ผู้เชี่ยวชาญด้านสารสนเทศจำนวน 1 ราย ผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยวจำนวน 2 ราย ประเมินตามแนวคิดของกรอบแนวคิดความสำเร็จในการพัฒนาระบบปรับปรุงจากโมเดลของ Delone and Mclean (2003) และประเมินด้านการยอมรับทางเทคโนโลยีจากผู้ใช้งานในชุมชนด้วยแบบสอบถามจำนวน 112 ราย การเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณจากแบบสอบถามต่าง ๆ จะได้รับการประมวลผลทางสถิติและนำเสนอด้วยสถิติเชิงพรรณนาโดยหาค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉพาะและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในรูปแบบตารางและการบรรยาย ข้อคำถามที่ต้องนำเสนอด้วยค่าเฉลี่ย จะกำหนดให้ตอบตามมาตรวัดแบบลิเคิร์ท (Likert scale) (Prasithrathsint, 2011) แบ่งระดับความคิดเห็นเป็น 5 ระดับได้แก่ น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด การประมวลผลค่าเฉลี่ยนำมาแปลความหมายระดับความพึงพอใจหรือระดับความคิดเห็นได้ ดังนี้

4.50–5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

3.50–4.49 หมายถึง ระดับมาก

2.50–3.49 หมายถึง ระดับปานกลาง

1.50–2.49 หมายถึง ระดับน้อย

1.00–1.49 หมายถึง น้อยที่สุด

ผลการวิจัย

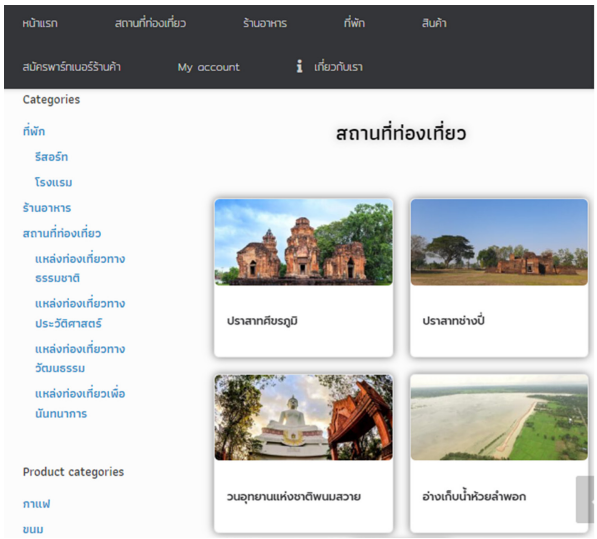
การดำเนินงานวิจัยและพัฒนาขอนำเสนอผลการดำเนินงานวิจัย 3 ส่วน ได้แก่ (1) ผลการพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชน กรณีศึกษาอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ (2) ผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ (3) ผลประเมินด้านการยอมรับทางเทคโนโลยีจากผู้ใช้งานในชุมชน

1. ผลการพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชน กรณีศึกษาอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ ได้ดำเนินการพัฒนาเทคโนโลยี 4 ส่วนประกอบหลัก ได้แก่ (1) เว็บแอปพลิเคชัน (2) แชทบอทและโมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง (3) อุปกรณ์บีคอน (4) แผงควบคุมการแสดงผล

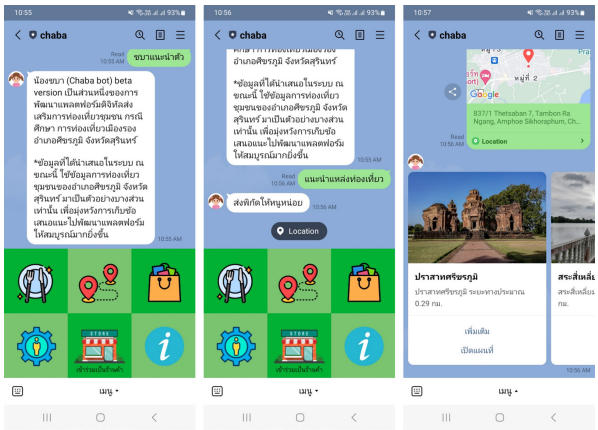
1) เว็บแอปพลิเคชัน ได้พัฒนาขึ้นโดยเชื่อมโยงจากฐานข้อมูลการท่องเที่ยวชุมชนประเทศไทย (SprintVillage) มาเพิ่มเติมในส่วนส่งเสริมการท่องเที่ยวของชุมชนอำเภอศีขรภูมิเพื่อประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสารของชุมชน ได้แก่ ข้อมูลสินค้าและบริการ แหล่งท่องเที่ยว สิ่งอำนวยความสะดวกในชุมชน (www.chaba24.com) ดังภาพ 11 และข้อมูลในส่วนเว็บไซต์นี้จะนำไปใช้งานกับส่วนแชทบอทน้องชบาต่อไป

2) แชทบอทและโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องทำงานผ่านแอปพลิเคชันไลน์โมบายใช้ฐานข้อมูลเดียวกับเว็บไซต์ ประกอบด้วย 6 เมนูหลักได้แก่ เมนูแนะนำร้านอาหาร เมนูแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว เมนูแนะนำแหล่งจำหน่ายสินค้าและบริการ เมนูตั้งค่าส่วนบุคคล เมนูสมัครเข้าร่วมรับบริการบนแพลตฟอร์ม และเมนูแนะนำตัวของแชทบอท ดังภาพ 12 เมื่อผู้ใช้งานตั้งค่าส่วนบุคคลจากเมนูตั้งค่าส่วนบุคคลแล้ว ฟังก์ชันโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจะทำการแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวให้แก่ผู้ใช้งานตามลักษณะแต่ละบุคคล แสดงการตั้งค่าตามภาพ 13 ดังนั้นการแสดงผลลัพธ์ให้นักท่องเที่ยวแต่ละรายจึงอาจจะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพิกัดที่อยู่ของนักท่องเที่ยวและคุณลักษณะของนักท่องเที่ยวที่เปิดอนุญาตยินยอมให้แชทบอทเข้าอ่านข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ได้

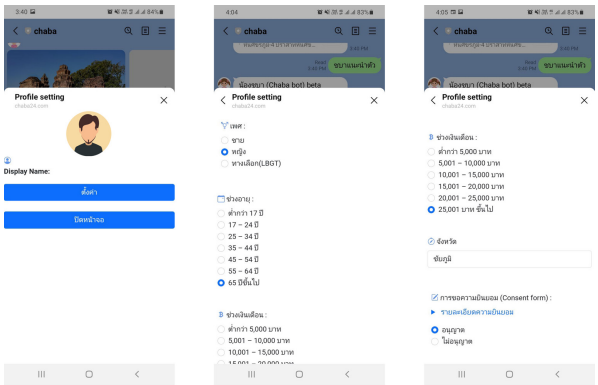
3) อุปกรณ์บีคอน ใช้อุปกรณ์ Node MCU ESP32 ทำหน้าที่กระจายสัญญาณบลูทูธย่านพลังงานต่ำ กำหนดเวลากระจายสัญญาณทุก 5 วินาที ทำงานร่วมกับแชทบอทบนแอปพลิเคชันไลน์โมบาย อุปกรณ์บีคอนได้รับการติดตั้งตามสถานที่ท่องเที่ยว สถานที่สำคัญ หรือร้านค้าในชุมชน เมื่อนักท่องเที่ยวได้ทำการเพิ่มแชทบอทเป็นเพื่อนผ่านบริการคิวอาร์โค้ด ที่ติดตั้งบริเวณร้านค้าและแหล่งท่องเที่ยว และเปิดสัญญาณบลูทูธที่อุปกรณ์สื่อสาร หากนักท่องเที่ยวเดินทางผ่านสถานีบีคอนภายในรัศมี 20 เมตรโดยประมาณ ก็จะได้รับข่าวสารจากสถานที่แห่งนั้น ดังภาพ 14



ภาพ 11 หน้าหลักของเว็บไซต์แสดงข้อมูลสถานที่



ภาพ 12 แชทบอทแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว



ภาพ 13 เมนูตั้งค่าส่วนบุคคล

ภาพ 14 อุปกรณ์บีคอน

4) แผงควบคุมการแสดงผล เป็นเว็บไซต์นำเสนอข้อมูลพฤติกรรมนักท่องเที่ยวทำหน้าที่นำเสนอข้อมูลนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวในพื้นที่ เชื่อมโยงข้อมูลจากแชทบอทและการท่องเที่ยวผ่านสถานที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์บีคอนมานำเสนอถึงข้อมูลพฤติกรรมนักท่องเที่ยว เช่น การจำแนกเพศ จำนวนครั้งที่ท่องเที่ยวของแต่ละสถานที่ตามที่ติดตั้งอุปกรณ์บีคอน จำนวนนักท่องเที่ยวมาท่องเที่ยวในแต่ละวัน เป็นต้น ซึ่งระบบจะสามารถนำข้อมูลมาประมวลในส่วนนี้ได้เมื่อนักท่องเที่ยวเปิดเผยข้อมูลหรือกรอกข้อมูลตามภาพ 13 ข้อมูลที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ บนแพลตฟอร์ม จะได้รับการรวบรวมและนำมาประมวลผลนำเสนอผ่านเว็บไซต์นี้ ให้หน่วยงานรัฐในพื้นที่ได้นำสารสนเทศไปใช้งานบริหารจัดการสนับสนุนการท่องเที่ยวได้ แสดงดังภาพ 15 และ 16

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ได้ดำเนินการประเมินจำนวน 5 ราย แสดงภาพรวมของผลการประเมินดังตารางที่ 1 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพแพลตฟอร์ม ต่อประเด็นหัวข้อคุณภาพของสารสนเทศ และประโยชน์ที่คิดว่าได้รับ ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$=4.55 SD=.69 และ $\bar{X}$=4.80 SD=.42 ตามลำดับ) และมีความพึงพอใจต่อภาพรวมคุณภาพของระบบ ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$=4.52 SD=.64)

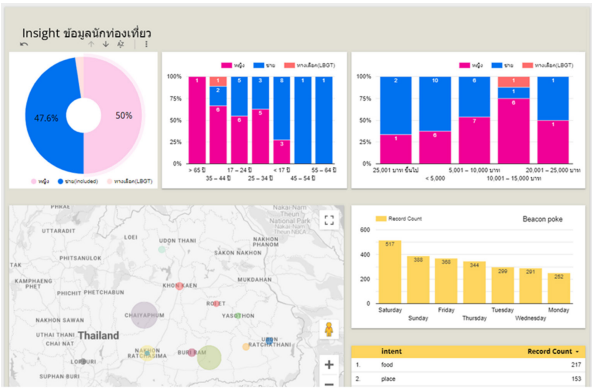
3. ผลประเมินด้านการยอมรับทางเทคโนโลยีจากผู้ใช้งานในชุมชน ได้รับการประเมินคุณภาพกรอบแนวคิดการยอมรับเทคโนโลยี มีผู้ใช้งานเข้าประเมินจำนวน 112 ราย ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถามจากตาราง 2 พบว่า

ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงร้อยละ 59.82 ช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามระหว่าง 25 ถึง 54 ปี ร้อยละ 68.76 มีการศึกษาระดับมัธยมศึกษาร้อยละ 37.50 และปริญญาตรีร้อยละ 32.14 การประกอบอาชีพส่วนใหญ่เป็นนักเรียนนักศึกษาร้อยละ 22.32 อาชีพรับจ้างทั่วไปร้อยละ 20.54 และอาชีพค้าขายร้อยละ 20.54 มีภูมิลำเนาอยู่ภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือร้อยละ 75.89 และเคยใช้งานแพลตฟอร์มร้อยละ 72.32

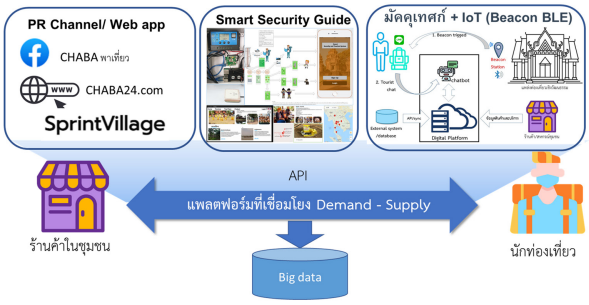
จากตาราง 3 ผลการประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งาน (perceived ease of use) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อทุกประเด็นในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยภาพรวมด้านนี้เท่ากับ 3.84 และมีความคิดเห็นต่อระบบออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย (user friendly) สูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.94

จากตาราง 4 ผลการประเมินด้านประโยชน์ที่คิดว่าได้รับ (perceived usefulness) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อทุกประเด็นในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยภาพรวมด้านนี้เท่ากับ 3.92 และมีความคิดเห็นต่อประโยชน์การส่งเสริมการท่องเที่ยวชุมชนศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ สูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.12

จากตาราง 5 ผลการประเมินคุณภาพของระบบในภาพรวม พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อการยอมรับเทคโนโลยีในระดับมาก ($\overline{X}$=3.89 SD=.836)



ภาพ 15 Dashboard ข้อมูลพฤติกรรมนักท่องเที่ยว



ภาพ 16 การเชื่อมโยงข้อมูลของแพลตฟอร์ม

ตาราง 1

ผลการประเมินประสิทธิภาพแพลตฟอร์มโดยผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อประเมิน	ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
1. คุณภาพของระบบ (system quality)	4.40	.68	มาก
2. คุณภาพของสารสนเทศ (information quality)	4.55	.69	มากที่สุด
3. คุณภาพของการบริการ (service quality)	4.47	.40	มาก
4. ประโยชน์ที่คิดว่าได้รับ (perceived usefulness)	4.80	.42	มากที่สุด
5. ภาพรวมคุณภาพของระบบ	4.52	.64	มากที่สุด

ตาราง 2

ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

หัวข้อประเมิน	รายละเอียด	ร้อยละ
เพศ	ชาย	33.93
	หญิง	59.82
	ทางเลือก (LGBT)	6.25
ช่วงอายุผู้ตอบแบบสอบถาม	ต่ำกว่า 17 ปี	11.61
	17–24 ปี	12.50
	25–34 ปี	20.54
	35–44 ปี	24.11
	45–54 ปี	24.11
	55–64 ปี	6.25
	65 ปีขึ้นไป	0.89

ตาราง 2 (ต่อ)

หัวข้อประเมิน	รายละเอียด	ร้อยละ
ระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม	ต่ำกว่าประถมศึกษา	1.79
	ประถมศึกษา	7.14
	มัธยมศึกษา	37.50
	ปวช./ปวส.	18.75
	ปริญญาตรี	32.14
	ปริญญาโท	2.68
อาชีพของผู้ตอบแบบสอบถาม	นักเรียน/นักศึกษา	22.32
	รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ	9.82
	เกษตรกรรม	3.57
	พนักงาน/ลูกจ้างเอกชน	17.86
	รับจ้างทั่วไป/บริการ	20.54
	แม่บ้าน/พ่อบ้าน	5.36
	ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	20.54
ภูมิลำเนา	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	75.89
	กรุงเทพและปริมณฑล	8.04
	ภาคตะวันออก	5.36
	ภาคกลาง	6.25
	ภาคเหนือ	3.57
	ภาคตะวันตก	0.89
เคยใช้งานแพลตฟอร์มหรือไม่	ใช่	72.32
	ไม่ใช่	27.68

ตาราง 3

ผลประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งาน

หัวข้อประเมิน	ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
1. ระบบออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย (user friendly)	3.94	.774	มาก
2. มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งาน (system flexibility)	3.77	.794	มาก
3. ระบบมีความง่ายต่อการเรียนรู้เพื่อใช้งาน (ease of learning)	3.81	.865	มาก
ภาพรวม	3.84	.813	มาก

ตาราง 4

ผลประเมินด้านการรับรู้ประโยชน์

หัวข้อประเมิน	ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
1. ระบบนำเสนอให้เห็นความเชื่อมโยงของข้อมูลต่าง ๆ บนแพลตฟอร์มได้	3.83	.858	มาก
2. นำเสนอข้อมูลทันเวลาต่อความต้องการใช้งาน	3.84	.896	มาก
3. ความต้องการกลับมาใช้งานระบบอีกครั้ง (repeat visit)	3.89	.842	มาก
4. ประโยชน์การส่งเสริมการท่องเที่ยวชุมชนศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์	4.12	.791	มาก
ภาพรวม	3.92	.853	มาก

ตาราง 5

ผลประเมินภาพรวมการยอมรับเทคโนโลยี

หัวข้อประเมิน	ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
ภาพรวม	3.89	.836	มาก

การอภิปรายผล

ผลการวิจัยและพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชน กรณีศึกษาอำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ สามารถสรุปและอภิปรายตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

1. การพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสนับสนุนการท่องเที่ยวชุมชน ได้นำมุมมองการเชื่อมโยงอุปสงค์ที่มีอยู่ภายในชุมชน ได้แก่ แหล่งท่องเที่ยว สินค้า ของฝากและบริการ สิ่งอำนวยความสะดวกภายในชุมชน ร้านค้า สถานประกอบการในชุมชน เชื่อมโยงกับอุปทาน ได้แก่ นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยว ด้วยการใช้แพลตฟอร์มเป็นตัวกลางสนับสนุนการแลกเปลี่ยนข้อมูล บริการข้อมูลระหว่างชุมชนกับนักท่องเที่ยว และใช้เทคโนโลยีบีคอนที่จะส่งข่าวสารผ่านโทรศัพท์มือถือกระตุ้นนักท่องเที่ยวให้เกิดความสนใจในพื้นที่ท่องเที่ยวด้วย ซึ่งข้อมูลที่เกิดขึ้นบนแพลตฟอร์มทางหน่วยงานรัฐสามารถนำไปบริหารวางแผนการจัดสรร

ทรัพยากรเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวต่อได้ ซึ่งผลการวิจัยสอดคล้องกับการศึกษาของ Minazzi and Mauri (2015) ที่ได้ศึกษาผลกระทบจากเทคโนโลยีโมบายกับพฤติกรรมและประสบการณ์ของนักท่องเที่ยวได้อภิปรายกลุ่มกับนักท่องเที่ยวจำนวน 20 ราย ศึกษาทดลองพฤติกรรมการใช้งานโทรศัพท์ประเภทสมาร์ทโฟนในช่วงก่อน ระหว่างและหลังการท่องเที่ยว พบว่า โทรศัพท์มีความสำคัญอย่างมากต่อการท่องเที่ยว บางรายได้ใช้อุปกรณ์สื่อสารอื่นเพิ่มเติมมากกว่า 1 เครื่อง เช่น แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์แบบพกพา ดังนั้นการพัฒนาบริการการท่องเที่ยวจึงควรพิจารณารูปแบบบริการตามพื้นที่ (location-bases features) เพื่อการเพิ่มรูปแบบบริการของธุรกิจที่แตกต่างกันให้แก่ผู้รับบริการ รวมไปถึงการใช้ปัญญาประดิษฐ์กับอุตสาหกรรมท่องเที่ยวจะมีแนวโน้มที่สูงมากขึ้น (Thormundsson, 2021) จึงเป็นโอกาสที่ควรพิจารณาการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ผนวกรวมเป็นส่วนหนึ่งของบริการด้วย

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ มีความคิดเห็นในภาพรวมระบบมีคุณภาพในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$=4.52 SD=.64) โดยมีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นด้านประโยชน์ที่คิดว่าได้รับ คุณภาพของสารสนเทศ คุณภาพของการบริการ และคุณภาพของระบบ เรียงลำดับจากมากไปน้อยตามลำดับ สำหรับผลการประเมินโดยผู้ใช้งานระบบตามหลักการยอมรับเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น มีความคิดเห็นในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$=3.89 SD=.84) มีความคิดเห็นต่อประโยชน์สามารถส่งเสริมการท่องเที่ยวชุมชนได้อยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$=4.12 SD=.79) และระบบออกแบบได้ใช้งานง่ายอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$=3.94 SD=0.77) การประเมินทั้ง 2 มุมมองนี้ได้แสดงให้เห็นว่าแพลตฟอร์มต้นแบบที่ได้ติดตั้งในพื้นที่นั้นได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานอยู่ในระดับมาก ได้รับประโยชน์ทั้งฝ่ายผู้ให้บริการในชุมชนและผู้รับบริการการท่องเที่ยว สอดคล้องกับผลการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาส่งเสริมการท่องเที่ยวของ Sungsri et al. (2020) ได้ศึกษาระบบสนับสนุนการให้ข้อมูลสำหรับแหล่งท่องเที่ยวบนเส้นทางท่องเที่ยวโคราชจีโอพาร์คด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล พบว่า ระบบที่มีประสิทธิภาพและชุมชนและนักท่องเที่ยวได้รับรู้ถึงความสามารถของระบบดังกล่าว ก็จะมีความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับมาก อย่างไรก็ตาม แพลตฟอร์มจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการ และต้องได้รับการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องให้สอดคล้องกับความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัยและความทันสมัยของเทคโนโลยีสอดคล้องกับ Nguyen (2021) ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาอุตสาหกรรมท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมนั้น ภาครัฐสามารถนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาพัฒนากลยุทธ์เพิ่มประสบการณ์การท่องเที่ยวรูปแบบใหม่และการสร้างคุณค่าร่วมกันของผู้ให้บริการและผู้รับบริการ (co-creation) ทั้งนี้การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมจำเป็นต้องได้รับการลงทุนพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้เกิดเป็นผลกระทบ และจะช่วยสร้างโอกาสในทางธุรกิจของอุตสาหกรรมท่องเที่ยวได้

ข้อเสนอแนะ

ประสบการณ์จากการดำเนินการวิจัย สามารถนำเสนอเป็นข้อเสนอแนะเป็นประเด็นได้ ดังนี้

1. ประเด็นด้านสังคม การดำเนินงานวิจัยจะสำเร็จได้นั้น ต้องการความร่วมมือจากหลายฝ่ายโดยเฉพาะผู้นำของชุมชน ผู้บริหารของส่วนราชการในพื้นที่ เช่น เทศบาล ที่ว่าการอำเภอ สำนักงานพัฒนาชุมชน การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (ททท.) เป็นต้น ดังนั้นการสร้างพันธมิตรภาคีเครือข่ายระหว่างหน่วยงานราชการในพื้นที่ร่วมกับคณะนักวิจัย จึงมีความสำคัญต่อการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องและให้สามารถบรรลุผลของโครงการ

2. ประเด็นด้านการใช้งานเทคโนโลยีที่อาจจะไม่เหมาะสมกับธรรมชาติของนักท่องเที่ยว เช่น การเชิญชวนเปิดสัญญาณบลูทูธที่โทรศัพท์ เพื่อให้อุปกรณ์บีคอนสามารถสื่อสารกับโทรศัพท์ได้ การออกแบบเทคโนโลยีในส่วนนี้จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมของกลุ่มผู้ใช้งานด้วย

References

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*, 319-340. https://doi.org/10.2307/249008

Delone, W., & McLean, E. (2003). The DeLone and McLean Model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems, 19*(4), 9-30. https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748

Economic Tourism and Sports Division. (2021). *Domestic tourism statistics (classify by region and province 2020)*. Retrieved from https://mots.go.th/more_news_new.php?cid=594. (in Thai).

Electronic Transactions Development Agency. (2022). *Thailand internet user behavior 2022*. Retrieved from https://www.etda.or.th/th/Useful-Resource/publications/iub2022.aspx. (in Thai)

Janruang, J., Karnka, S., Jueng, E., T.Siriwattana, S., Phobphimai, S., Meesawatdikul, W., Wannawat, P., Paoprajommuang, O., & Homjabok, U. (2020). *Development of innovation to raise local economy using creative tourism management system with participatory: case study of amphur Srikhoraphum, Surin Province* (Research report). Bangkok: National Research Council of Thailand. (in Thai)

Minazzi, R., & Mauri, A. G. (2015). Mobile technologies effects on travel behaviours and experiences: A preliminary analysis. *Information and Communication Technologies in Tourism, 2015*, 507–521. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14343-9_37

National Statistical Office Surin Province. (2019). *Tourism statistics in Surin Province 2019*. Retrieved from http://surin.nso.go.th. (in Thai)

Nguyen, T. (2021). Developing smart tourism in 4.0 industrial age: The case of Vietnam. *In Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Sustainable Development of Regional Infrastructure-Volume 1* (pp. 489-493). https://doi.org/10.5220/0010592804890493

Prasithrathsint, S. (2011). *Research and methodology in social science*. Bangkok: Feuangfa Printing. (in Thai)

Samala, N., Katkam, B. S., Bellamkonda, R. S., & Rodriguez, R. V. (2020). Impact of AI and robotics in the tourism sector: A critical insight. *Journal of Tourism Futures, 8*(1), 73-87. https://doi.org/10.1108/JTF-07-2019-0065

Siharad, D., Sukparseart, A., Pakamwang, J., & Sricharoen, J. (2023). The recreation tourism recommendation system in Khaokoh District, Phetchabun Province by using tourists' unstructured attraction review and check-in data. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(2), 176–188. (in Thai)

Sungsri, T., Sungsri, T., Ua-apisitwong, U., Krompho, S., Panomjerasawat, J., Chamnanpon, K., Thongdee M., & Dermsantear, A. (2021). The development of the supporting data providing system for the Khorat Geopark Attraction using digital technology. *Science and Technology Research Journal Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 6*(2), 19–28. (in Thai)

Tarnittanakorn, N. (2011). Social media: A push and pull strategy for entrepreneurs. *Executive Journal, 31*(4), 178-182. (in Thai)

Tidchai, R., Warawit, W., & Keamseng, C. (2017). Beacon implementations for work process monitoring in health care services. *Journal of the Thai Medical Informatics Association, 3*(2), 39-45. (in Thai)

Thormundsson, Bergur. (2021). *Artificial intelligence (AI) market revenue worldwide in 2020, by segment.* Retrieved from https://www.statista.com/statistics/755331/worldwide-spending-on-cognitive-ai-systems-segment-share.

Yanopas, N. (2018). Digital tourism innovation. *Journal of Kanchanaburi Rajabhat University, 7*(2), 1-8. (in Thai)

เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟอัจฉริยะ
Smart Microwave Leakage Detector

ประทีป พรมมาโฮม[1] จิณห์ณิชภา กินแก้ว[1] ปฏิภาณ เกิดลาภ[1] และสุชัย พงษ์พากเพียร[1]*
Prateep Prommahom[1], Jinnitchapa Kinkaew[1], Patiphan Kerdlap[1] and Suchai Pongpakpien[1]*
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Engineering, Eastern Asia University
*Corresponding author: suchai@eau.ac.th
Received: July 11, 2023
Revised: September 19, 2023
Accepted: September 25, 2023

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบและจัดสร้างเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟ โดยใช้ Arduino ควบคุมการทำงาน อุปกรณ์ที่ออกแบบและสร้างประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนรับสัญญาณ ส่วนขยายสัญญาณและส่วนแสดงผล เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟ รุ่น MT-M2 กับเตาไมโครเวฟ พบว่า การทำงานของเครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟ ในช่วงที่เตาไมโครเวฟเริ่มทำงาน หน้าจอจะแสดงผลค่าการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ ที่ 0.000 mW/cm^2 และ 0.909 mW/cm^2 จากการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟรุ่น MT-M2 พบว่า การทำงานของเครื่องวัดที่ออกแบบสามารถตรวจจับคลื่นไมโครเวฟและแสดงผลการแจ้งเตือนว่า มีการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟได้ จากการทดลองพบว่า เตาไมโครเวฟที่นำมาทดสอบจะมีบางช่วงที่เตาไมโครเวฟจะปล่อยคลื่นรั่วไหลที่ส่งผลอันตรายต่อร่างกาย ช่วงที่เตาไมโครเวฟทำงานจะปล่อยคลื่นเพียงเล็กน้อย เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟวัดค่าได้ประมาณ 0.909 mW/cm^2 และช่วงเครื่องทำงานผิดปกติเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟ วัดค่าได้ 10.000 mW/cm^2 จะสังเกตได้จากเสียงของเตาไมโครเวฟจะมีเสียงดังผิดปกติ เป็นการพัฒนาการแสดงผลการตรวจจับการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟในรูปแบบผ่านแพลตฟอร์มให้มีความทันสมัยมากขึ้น

คำสำคัญ: ไมโครเวฟ เครื่องตรวจจับ การรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ

Abstract

This article aims to study the design and development of a microwave leakage detector using Arduino as the control. The designed detector was composed of three parts: a signal receiver, a signal amplifier, and a display. The experimental test rigs were conducted in comparison to commercial microwave leakage measuring instruments, such as a model MT-M2, and a microwave oven. The results showed that when the microwave oven started operating, the display screen of the leakage measuring instrument showed microwave leakage values of 0.000 mW/cm^2 and 0.909 mW/cm^2. During heavy operation of the microwave oven, comparing the results with the MT-M2 microwave leakage measuring instrument, it was found that the designed instrument could detect the microwave waves and alert. The experiments revealed that the tested microwave oven had certain periods during which it emitted harmful microwave leakage that could affect the human body. When the microwave oven is working, it emits only a small number of waves. In the microwave leak detector, the value was measured to be approximately 0.909 mW/cm^2, and during the malfunction of the microwave leak detector, the instrument measured a value of 10.000 mW/cm^2. This detection and display circuit design would enable future development of microwave leakage detection, alarm display, and display in various formats, more modern through different platforms.

Keywords: microwave, detector, microwave leakage

บทนำ

ปัจจุบันในครัวเรือนทั่วไป นิยมใช้เตาไมโครเวฟ เพราะเตาไมโครเวฟมีประโยชน์มากในการอุ่น ทอด และเตรียมอาหารให้ง่ายและสะดวกสบาย และเป็นอุปกรณ์ครัวที่ช่วยให้การเตรียมอาหารเป็นเรื่องง่ายและประหยัดเวลา ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ไม่ทราบถึงข้อกำหนดการใช้งาน โดยเฉพาะปัญหาการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟอาจมีผลกระทบร้ายแรง สมบัติของคลื่นไมโครเวฟหากมีการสัมผัสการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ ความเสี่ยงจากคลื่นไมโครเวฟส่วนใหญ่มาจากความร้อนที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายเมื่อมีการเปิดปิดเตาไมโครเวฟหรือเปิดปิดฝาไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟสร้างความร้อนโดยรวดเร็วโดยตรงในอาหารหรือสิ่งของที่อยู่ภายในเตาไมโครเวฟ การตั้งค่าเวลาที่ไม่ถูกต้องหรือการใช้วัตถุดิบที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นและอันตราย คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก ซึ่งไม่สามารถเห็นด้วยตาเปล่า หากเกิดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ การวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟเป็นขั้นตอนสำคัญในการให้ความตระหนักด้านความปลอดภัย คุณภาพ และประสิทธิภาพในการใช้งานคลื่นไมโครเวฟ หากเกิดการรั่วไหลสูงทุกวันอาจทำให้เกิดปัญหา เช่น มะเร็งผิวหนัง ความเสียหายต่อดวงตาอย่างรุนแรง ปัญหาหัวใจและหลอดเลือดและความเสียหายของระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งจำนวนคนใช้เตาไมโครเวฟเพิ่มขึ้นทุกปีและทำให้มีความเสี่ยงต่ออันตราย (Chavan, Deshmukh & Kulkarni, 2014) การป้องกันอันตรายจากคลื่นไมโครเวฟควรปฏิบัติตามคำแนะนำที่ระบุในคู่มือการใช้งานเตาไมโครเวฟ ควรตรวจสอบการใช้งานเตาไมโครเวฟสภาพปลอดภัยและไม่ชำรุดที่อาจทำให้เกิดความเสี่ยงในการใช้งาน โดยเตาไมโครเวฟให้ความร้อนด้วยการแผ่คลื่นย่านความถี่ 2.45 GHz (Srilaphan, Prasertthai & Thupmeung, 2013) เข้าไปในอาหาร โมเลกุลของน้ำ ไขมัน และน้ำตาล ที่อยู่ในอาหารจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป และเกิดเป็นความร้อนขึ้น ในกระบวนการที่เรียกว่า การเกิดความร้อนในสารไดอิเล็กตริก (dielectric

heating) เนื่องจากโมเลกุลส่วนใหญ่นั้นเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวก และ ประจุลบ ที่ขั้วตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นสนามไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลจะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้ว ปรับเรียงตัวตามสนามไฟฟ้าของคลื่น (Khare & Singh, 2016)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rattanadecho and Pongpakpien (2011) ได้ทำเครื่องวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟที่แสดงผลในรูปของแอลอีดีบาร์ เนื่องจากเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคครัวเรือน โดยมีลักษณะทางเทคนิค คือ ใช้การตรวจสอบรับคลื่นที่เหมาะสมกับคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ ผ่านวงจรปรับปรุงลูกคลื่นให้เกิดการแสดงผลที่ง่ายต่อการใช้ โดยใช้แถบสีเป็นตัวบอกความอันตรายของความเข้มของรังสีที่แพร่กระจายออกมาภายนอก เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานง่ายขึ้น โดยแถบสีแอลอีดีจะไล่สีจากสีเขียว เหลือง แดง ซึ่งหมายถึงปลอดภัย ระมัดระวัง อันตราย ตามลำดับ และตัวเครื่องได้ออกแบบให้มีการส่งเสียงเตือนเมื่อเกิดระดับอันตราย สำหรับการตรวจสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟจากเตาไมโครเวฟ เพื่อส่งเสริมความปลอดภัย การตรวจวัดทำได้โดยต่อเตาไมโครเวฟเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและให้ทำงานตามปกติ ทำการวัด ณ จุดใดๆ ตามจุดอ่อนของเตาไมโครเวฟ เช่น กระจก ด้านหน้าบานประตู ตะเข็บรอยต่อต่างๆ เป็นต้น (Chaimongkon, 2015)

Srilaphan, Chainarong and Veerayuth (2013) ได้ทำโครงงานการศึกษาเครื่องตรวจสอบการรั่วไหลของเตาไมโครเวฟ มีส่วนประกอบสำคัญหลัก ดังนี้ คือ (1) วงจรภาครับสัญญาณ มีการใช้วงจรการเรียงกระแสครึ่งคลื่นแบบบริดจ์เปลี่ยนสัญญาณ สลับเป็นสัญญาณตรง (2) ออปแอมป์ เพื่อทำการขยายสัญญาณที่เข้ามาให้มีขนาดที่ตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC สามารถประมวลผลได้ โดยอุปกรณ์เหล่านี้มีการทำงานหลัก ๆ คือ วงจรภาครับสัญญาณรับสัญญาณเข้ามาจากสายอากาศ จากนั้นสัญญาณที่เข้ามาจากสายอากาศนั้นจะ ถูกส่งไปยังออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดที่เท่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลได้ เพื่อแสดงค่าบนจอแสดงผล เตาไมโครเวฟเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งอาจจะเกิดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟออกมาจากเตาไมโครเวฟ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผู้ใช้งาน (Srilaphan, Prasertthai & Thupmeung, 2013) โดยที่ผู้ใช้งานไม่สามารถรับรู้การรั่วไหลดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัดระดับความอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น หรือมีการแจ้งเตือนที่ทันสมัยในแพลตฟอร์มต่าง ๆ เช่น ทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทางอินเทอร์เน็ตเป็นต้น จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและออกแบบเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟ เพื่อแจ้งเตือนผ่านทางไมโครโพรเซสเซอร์อัจฉริยะ Arduino ให้ผู้ใช้สามารถรับรู้และวางแผนการใช้งาน การบำรุงรักษาเตาไมโครเวฟได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวงจรตรวจจับคลื่นไมโครเวฟทำงานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ Arduino โดยมีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรการทำงานของเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟ และ (2) เพื่อสร้างเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟ เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรการทำงานของเครื่องมือวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟอัจฉริยะที่สามารถแสดงผลในหลากหลายรูปแบบในอนาคตได้ อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือเตือนภัยที่มีราคาและขนาดที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในบ้านและสถานประกอบการที่มีการใช้เตาไมโครเวฟเป็นประจำ

แนวคิดทฤษฎี

หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟ ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาที มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุแต่มีความถี่ที่สั้นกว่า Klai-pan (2002); Sritrakun (2016) หัวใจสำคัญของเตาไมโครเวฟ คือตัวแมกนีตรอนที่จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ หลักการให้ความร้อนของเตาไมโครเวฟ แตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยเตาธรรมดา คือ เตาธรรมดาให้ความร้อนโดยเปลวไฟแบบเตาแก๊ส หรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อน คือการนำ การพาและการแผ่รังสี แต่เตาไมโครเวฟทำให้อาหารสุกโดยคลื่นไมโครเวฟ ที่มีความถี่

สูง ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไป จนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้เองจะกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว และเร็วกว่าการประกอบอาหารด้วยระบบอื่น ๆ โดยไม่เสียพลังงานความร้อน Orsat (2017)

ปัจจุบันผู้ใช้งานนิยมใช้เตาไมโครเวฟมากขึ้น เพราะสะดวก รวดเร็ว ผู้บริโภคในยุคสมัยใหม่น้อยรายนักที่จะตระหนักถึงการรั่วของคลื่นไมโครเวฟอาจทำให้เกิดอันตรายได้ ถ้าหากใช้อย่างไม่ระมัดระวัง IEC 60335-2-25 (2002-2003)

Pri Sanyakun (2006) ระบุว่า มีผลการสำรวจระบุว่า ผู้ใช้งานเตาไมโครเวฟร้อยละ 68 ไม่ทราบมาก่อนว่าปกติแล้วจะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารั่วออกจากเตาไมโครเวฟ ผู้ใช้งานร้อยละ 57 ไม่ทราบว่าขณะใช้งานควรอยู่ห่างจากเตา อย่างไรก็ตามการที่สารรังสีไมโครเวฟที่รั่วจากเตาไมโครเวฟนั้น มีปริมาณค่อนข้างต่ำและไม่อยู่ในเกณฑ์ที่จะก่อให้เกิดอันตราย อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรระวังเป็นพิเศษ คือ เมื่อวัสดุตามขอบประตูชำรุดหรือหากมีรอยร้าวและรอยแตก เศษอาหารติดอยู่ตามขอบตู้ทำให้ปิดประตูไม่สนิท หรือการชำรุดของตู้เนื่องจากการขนย้าย หรือเกิดเปลวไฟภายในตู้จะทำให้มีปริมาณรังสีรั่วมากกว่าระดับปกติซึ่งเป็นอันตรายได้ แต่เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟมองไม่เห็นและไม่มีกลิ่น ต้องใช้เครื่องตรวจวัด ซึ่งสามารถส่งตรวจวัดได้ที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (Department of Medical Sciences, 2019)

โดยปกติเตาไมโครเวฟมีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ตามมาตรฐาน 1773-2548 เฉพาะด้านความปลอดภัยสำหรับเตาไมโครเวฟที่ใช้ในที่อยู่อาศัย Thai Industrial Standard 1773-2548 (2005) และตามมาตรฐานการทดสอบ IEC 60335-2-25 (2002-2003) กำหนดโดยวัดระยะ 5 cm จากผิวเตา และการรั่วไหลได้ไม่เกิน 5 mW/cm^2 แต่ว่าอันตรายที่เกิดขึ้นได้นั้นมักจะเกิดจากเตาไมโครเวฟที่มีความเก่ามาก ๆ เป็นสนิมผุ วัสดุเคลือบผิวลอก บานพับประตูชำรุด ประตูปิดไม่สนิท หรือกระจกแตก ทำให้มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารั่วออกมา หากมีความเข้มข้นเกินมาตรฐาน จะก่อให้เกิดอันตรายได้

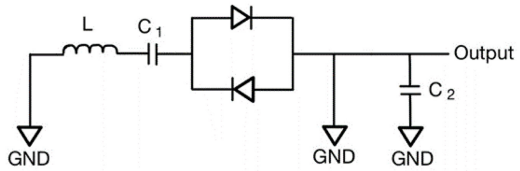
ส่วนประกอบของต้นแบบเครื่องตรวจจับ รายละเอียด ดังนี้ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ วงจรรับสัญญาณ วงจรขยายสัญญาณ และการแสดงผล

วงจรรับสัญญาณ

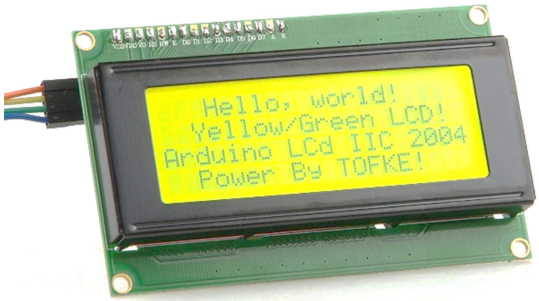
วงจรรับสัญญาณทำหน้าที่รับสัญญาณจากคลื่นไมโครเวฟ การออกแบบใช้วงจรแบนพาสฟิลเตอร์ที่เหมาะสม (Electrical4U, 2021) จะรับสัญญาณเฉพาะคลื่นไมโครเวฟเท่านั้น ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังชนิดไดโอด HSMS 268 ทำหน้าที่จับสัญญาณในย่านความถี่คลื่นไมโครเวฟ คือ 2.45 GHz โดยรับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟและส่งต่อสัญญาณไปยังชุดปรับและแปลงสัญญาณ ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง แล้วเข้าสู่ภาควงจรขยายสัญญาณ ดังแสดงในภาพ 1

วงจรขยายสัญญาณและการแสดงผล

ภาควงจรขยายสัญญาณจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากภาครับสัญญาณ ประกอบด้วยออปแอมป์ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ จากนั้นจะส่งสัญญาณที่ได้ไปยังภาควงจรแสดงผลจะแสดงผลการรั่วของคลื่นไมโครเวฟในรูปแบบของจอ LCD ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิด Arduino โดยทำหน้าที่รับสัญญาณที่ผ่านการเทียบสัญญาณแล้วจากภาควงจรขยายสัญญาณ Sauraubon (2018) และส่งสัญญาณไปยังจอ LCD ซึ่งความเข้มของคลื่นไมโครเวฟจะสอดคล้องกับค่าบนจอ LCD ที่ปรากฏ หน้าจอแสดงผล LCD-yellow-screen (2022)



ภาพ 1 วงจรรับสัญญาณ



ภาพ 2 จอแสดงผล LCD

Note. From "*LCD (Yellow Screen) 20x4*" by arduino4, retrieved from https://www.arduino4.com/p/658

วิธีการและการออกแบบ

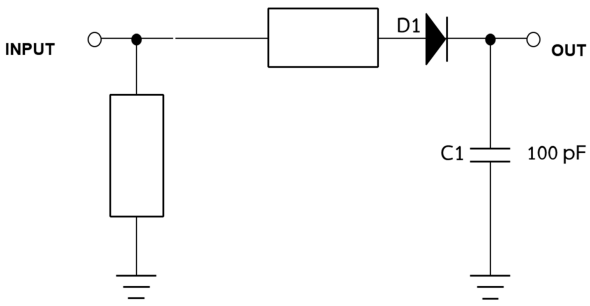
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย การเลือกใช้ประเภทเตาไมโครเวฟ ที่มีระบบอุ่นอาหารเท่านั้น เพราะจะมีแค่แมกนีตรอน สำหรับปล่อยคลื่นไมโครเวฟอย่างเดียวใช้สำหรับอุ่นอาหารหรือทำอาหาร และการออกแบบวงจรรับสัญญาณ การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ การออกแบบวงจรประมวลผลและแสดงผล การทดสอบและผลการทดสอบ

การออกแบบวงจรรับสัญญาณ

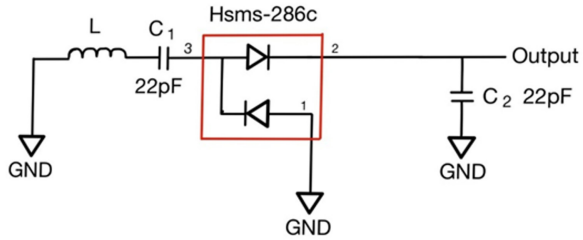
เนื่องจากวงจรรับสัญญาณ มีอุปกรณ์ในการรับสัญญาณที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz คือ ไดโอดชนิด Hsms-268c การออกแบบวงจรอ้างอิงข้อมูลจากคุณสมบัติของไดโอด HSMS-286x Microwave Datasheet (2022) แสดงดังภาพ 3

การออกแบบวงจรรับสัญญาณ สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุ C1 ได้ตั้งแต่ขนาด 20-100 pF สำหรับวงจรรับสัญญาณในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวเก็บประจุ C1 ขนาด 22 pF เนื่องจากมีจำหน่ายตามร้านอะไหล่อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป วงจรรับสัญญาณ แสดงดังภาพ 4

เนื่องจากวงจรรับสัญญาณที่ออกแบบนี้จะเปรียบเทียบสัญญาณคลื่นไมโครเวฟและแสดงผลสัญญาณในรูปแบบของแรงดัน แต่สัญญาณที่ได้ออกมาจะมีขนาดเล็ก ในระดับ mA จึงต้องออกแบบวงจรเพื่อขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณ



ภาพ 3 วงจรรับสัญญาณของไดโอด



ภาพ 4 วงจรรับสัญญาณ

การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากแรงดัน output ของวงจรรับสัญญาณมีขนาดเล็กมาก คือ ค่าที่ได้เป็นค่า mV เพื่อต้องการแรงดันมีขนาดเท่าที่ Microcontroller สามารถประมวลผลได้ คือ 0-5 V โดยในการออกแบบต้องการอัตราขยาย 1000 เท่า ต้องกำหนด Vin = 0.021 mV กำหนด R1 1 kΩ เพื่อที่จะให้ได้แรงดันในช่วง 0-5 V กำหนด R1 1 kΩ จะได้ R2 จากสูตร

สูตร $Av = 1 + R\_2/R\_1$ (1)

$R\_2/R\_1 = 1000 - 1 = 999$

$R2 = 999$ kΩ เลือกใช้ 1 MΩ

เลือกใช้ Op – Amp LM358P

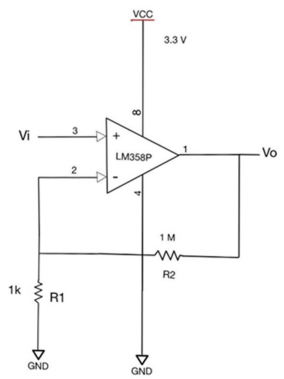
กำหนด Vin = 0.021 mV จะได้

$V\ out = 1 + R\_2/R\_1 \times Vin$ (2)

$V\ out = 1 + 1M\Omega/1k\Omega \times 0.021m$

$V\ out = 1.021$ V

และจ่ายแรงดัน Vcc = 3.3 V ในวงจรขยายสัญญาณจะได้วงจรแสดงดังภาพ 5

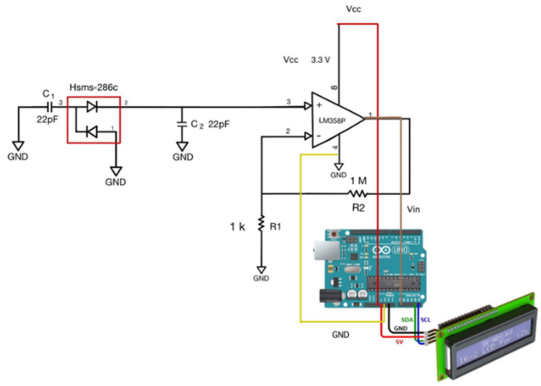


ภาพ 5 วงจรขยายสัญญาณ

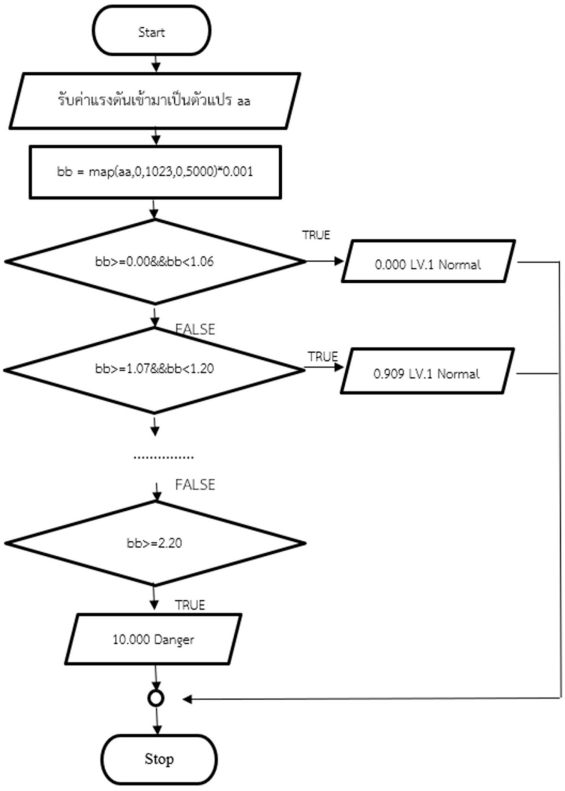
การออกแบบวงจรประมวลผลและแสดงผล

งานวิจัยเลือกใช้ Arduino UNO ในการประมวลผลด้วยการเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุม Arduino ide และแสดงผลผ่านจอ LCD

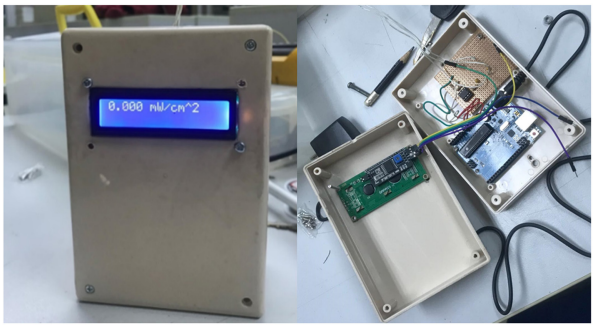
จากที่ประกอบวงจรต่าง ๆ ภายในกล่องโดยประกอบวางวงจรในตำแหน่งที่เหมาะสมภายในกล่อง จะได้เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟ เพื่อนำไปทำการวัดสอบเทียบและวัดผลการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ



ภาพ 6 การต่อวงจรรวม



ภาพ 7 ขั้นตอนการแสดงผล



ภาพ 8 เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟที่ออกแบบและจัดสร้างขึ้น

การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟด้วยเครื่องตรวจจับที่ได้ออกแบบและสร้าง โดยการทดสอบการทำงานของ Arduino UNO และ จอ LCD การทดสอบเครื่องมือวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟกับเตาไมโครเวฟที่ผ่านการใช้งานและมีสภาพชำรุดเล็กน้อย อายุการใช้งานระหว่าง 3-5 ปี โดยกำหนดเงื่อนไขการทดสอบด้วยวัตถุที่เป็นอาหารชนิดเดียวกัน ทดสอบเปรียบเทียบด้วยเครื่องตรวจจับที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดไมโครเวฟรุ่น HT-M2 ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดและราคาเหมาะสม Santatechnology.com (2022) ดังแสดงในภาพ 9

การสอบเทียบจะใช้เตาไมโครเวฟที่ใช้ทั่วไปตามครัวเรือน ซึ่งเตาไมโครเวฟที่ได้นำมาทดสอบจะวัดที่ระยะ 5 cm จากผิวเตาไมโครเวฟ ตรงรอยต่อของผิวเตาไมโครเวฟ อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.1773-2548 เครื่องวัดที่ใช้สอบเทียบครั้งนี้ ได้มาจากการใช้เครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟรุ่น HT-M2 เนื่องจากคลื่นที่ปล่อยออกจากเครื่องไมโครเวฟนั้นเวลาเครื่องทำงานที่ค่าต่ำจะอ่านค่าได้เพียง 0.24 mW/cm^2 และในช่วงเวลาที่เครื่องทำงานวัดค่าสูงสุดได้ 10.00 mW/cm^2 ค่าที่ได้นำมากำหนดช่วงของการแสดงผล ได้ดังตาราง 1

นำค่าจากการแสดงผลในตาราง 1 ไปป้อนในโปรแกรม IDE เพื่อประมวลผลและแสดงผลตามค่าดังที่ได้กำหนดช่วงไว้เพื่อให้ Arduino UNO ประมวลผลให้ค่าที่แสดงผลออกมานั้นสัมพันธ์กับค่า input ของแรงดันในแต่ละช่วงที่กำหนดไว้

ภาพ 9 เครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟรุ่น HT–M2

ตาราง 1

ผลการทดสอบการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า

แรงดันเข้า Arduino (V)	แสดงผล (mW/cm^2)	Level
0.00 – 1.06	0.000	LV.1 Normal
1.07 – 1.20	0.909	LV.1 Normal
1.21 – 1.30	1.818	LV.1 Normal
1.31 – 1.40	2.727	LV.1 Normal
1.41 – 1.50	3.636	LV.2 Beware
1.51 – 1.60	4.545	LV.2 Beware
1.61 – 1.70	5.455	LV.3 Danger
1.71 – 1.80	6.364	LV.3 Danger
1.81 – 1.90	7.273	LV.3 Danger
1.91 – 2.00	8.182	LV.3 Danger
2.01 – 2.10	9.091	LV.3 Danger
2.11 – 2.20	10.000	LV.3 Danger
>2.20	10.000	Danger

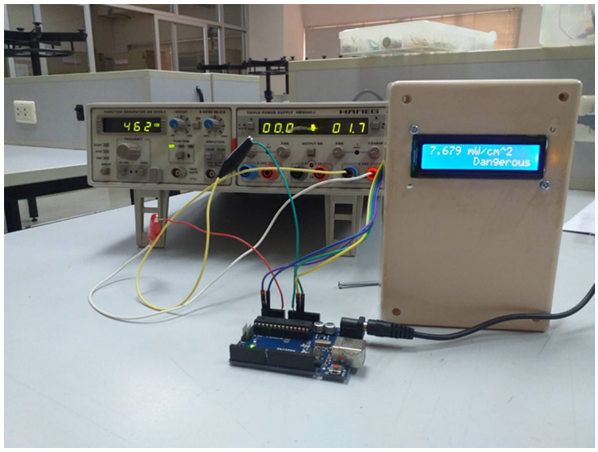
การทดสอบการทำงานของ Arduino UNO และจอแสดงผล LCD

ทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมการทำงาน Arduino UNO และการแสดงผล จอ LCD โดยใช้ Power supply เป็นแหล่งจ่ายป้อนแรงดันไฟฟ้า input แทนวงจรรับสัญญาณ เพื่อทำการทดสอบค่าแต่ละช่วงว่าเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ แสดงดังภาพ 10

เมื่อต่อวงจรและทำการจ่ายแรงดัน โดยใช้ Power supply เพื่อทดสอบวงจรควบคุมการทำงานและแสดงผล เพื่อให้ทราบว่าวงจรแสดงผลนี้สามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งผลการทดสอบดังตาราง 2

จากผลการทดสอบจะสังเกตเห็นว่า แรงดันที่ป้อนเข้าจะแสดงผลตรงตามค่าที่ได้เขียนคำสั่งไว้ในโปรแกรม Arduino ide ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วงจรควบคุมการทำงานและแสดงผลทำงานได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนทุกค่าที่ได้ทำการเขียนคำสั่งในโปรแกรม Arduino IDE

ภาพ 10 ขั้นตอนการทำงาน



ภาพ 11 ทดสอบวงจรควบคุมการทำงานและแสดงผล

ตาราง 2

ผลการทดลอง

แรงดันเข้า Arduino (V)	แสดงผล (mW/cm^2)	Level
0.00 – 1.06	0.000	LV.1 Normal
1.07 – 1.20	0.909	LV.1 Normal
1.21 – 1.30	1.818	LV.1 Normal
1.31 – 1.40	2.727	LV.1 Normal
1.41 – 1.50	3.636	LV.2 Beware
1.51 – 1.60	4.545	LV.2 Beware
1.61 – 1.70	5.455	LV.3 Danger
1.71 – 1.80	6.364	LV.3 Danger
1.81 – 1.90	7.273	LV.3 Danger
1.91 – 2.00	8.182	LV.3 Danger
2.01 – 2.10	9.091	LV.3 Danger
2.11 – 2.20	10.000	LV.3 Danger
>2.20	10.000	Danger

การทดสอบเครื่องมือวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟกับเตาไมโครเวฟ

ทำการทดสอบการทำงานของวงจรรับสัญญาณ ขยายสัญญาณ ควบคุมการทำงาน และแสดงผล โดยมีเครื่องไมโครเวฟเป็นแหล่งจ่ายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงดังภาพ 12

จากการทดสอบเครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟ โดยวัดที่ระยะ 5 เซนติเมตร จากผิวเตาตรงรอยต่อของฝา

เปิดปิดเครื่อง โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.1773-2548 ผลการทดลองแสดงดังตาราง 3

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟ จะสังเกตได้ว่าเครื่องที่ได้ทำการทดสอบนั้นจะปล่อยคลื่นเป็นช่วงของการทำงาน คือ ช่วงเครื่องทำงานค่าต่ำนั้นจะปล่อยคลื่นเพียงเล็กน้อย ซึ่งวัดค่าได้ประมาณ 0.909 mW/cm^2 และช่วงที่เครื่องทำงานค่าสูงสุดจะสังเกตได้จากเสียงของเตาไมโครเวฟจะมีเสียงดัง พบว่า ค่าที่วัดได้สูงถึง 10.000 mW/cm^2 ซึ่งระยะที่ใช้ในการวัดอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.1773-2548 โดยวัดที่ระยะ 5 cm จากผิวเตา ตรงรอยต่อของฝาเปิดปิดเครื่อง ความแม่นยำของเครื่องตรวจจับที่สร้างขึ้นโดยวัดจาก 3 ระดับ ที่แสดงสถานะปกติ ระมัดระวัง อันตราย ความสามารถของเครื่องตรวจจับไมโครเวฟในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง ระดับที่ 1 สถานะปกติ 1.20±0.91 ระดับที่ 2 สถานะระมัดระวัง 4.09±0.68 และระดับที่ 3 สถานะอันตราย 7.72±1.36

ภาพ 12 ทดสอบเครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟ

ตาราง 3

ผลการทดสอบเครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟกับเตาไมโครเวฟ

ทดสอบ	ค่ารั่วไหลของไมโครเวฟ (mW/cm^2)
ช่วงที่เครื่องทำงานค่าต่ำ	0.000 ถึง 0.909 LV.1 Normal
ช่วงที่เครื่องทำงานค่าสูง	10.000 LV.3 Danger

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การทดสอบเครื่องวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ จะสังเกตเห็นได้ว่าเตาไมโครเวฟที่มีอายุการใช้งานมากซึ่งตามมาตรฐานเตาไมโครเวฟนั้นเมื่อมีอายุการใช้งาน 3-5 ปี จะเริ่มมีการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ และบางช่วงของการทำงานจะเกิดอาการผิดปกติ เช่น เสียงดัง เครื่องร้อน ซึ่งช่วงที่ผิดปกตินั้น จะปล่อยคลื่นรั่วไหลออกมามาก ซึ่งจากการทดสอบวัดที่ระยะ 5 cm จากผิวเตา ตรงรอยต่อของผิวเตา วัดอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.1773-2548 จากการวัดค่าจะแสดงผลสลับไปมา ระหว่าง 0.000 mW/cm^2 และ 0.909 mW/cm^2 วัดค่าสูงสุดได้ 10.000 mW/cm^2 สำหรับเครื่องตรวจจับที่สร้างขึ้นใช้ระยะการวัดที่จุดห่างจากเตาไมโครเวฟ 5 cm ในการทดลองมีการวัดค่าจากการกำหนดช่วงแรงดันขาเข้าโดยการอ้างอิงจากการวัดระดับ 1 (Level1) สถานะปกติคลื่นระหว่าง 0.000-2.727 mW/cm^2 วัดแรงดันได้ 0-1.40 V ส่วนเครื่องวัดไมโครเวฟรุ่น MT-M2 ที่นำมาเปรียบเทียบการทดสอบจะวัดค่าต่ำสุดได้ 0.24 mW/cm^2 และวัดระดับ 3 (Level3) คลื่นสูงสุด 10.00 mW/cm^2 วัดแรงดันได้ 2.11 V สถานะผิดปกติ ระบบจะแจ้งเตือน และเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนการแจ้งเตือนตามมาตรฐานกำหนดการรั่วได้ไม่เกิน 5 mW/cm^2 วัดระดับ 3 (Level3) อยู่ที่ 5.455 mW/cm^2 คิดเป็นร้อยละ 9.1

เครื่องวัดที่ใช้สอบเทียบครั้งนี้ แสดงผลเพียงสองค่า คือ ค่าที่ต่ำที่สุดและค่าที่สูงที่สุด จากค่าที่สามารถทำการทดสอบวัดค่าที่รั่วไหลทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเตาไมโครเวฟนั้นปล่อยคลื่นรั่วไหลเป็นบางช่วงของการทำงานของเตาซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของเตาไมโครเวฟด้วย

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองการทำงานเครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟกับเตาไมโครเวฟ พบว่าการทำงานของเครื่องวัดการรั่วไหลของไมโครเวฟ ในช่วงที่เตาไมโครเวฟเริ่มทำงาน หน้าจอจะแสดงผลค่าการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ คือ 0.000 mW/cm^2 และ 0.909 mW/cm^2 และช่วงที่เครื่องเริ่มทำงานที่ค่าสูงจะวัดค่าได้ 10.000 mW/cm^2 จากการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องวัดไมโครเวฟรุ่น MT-M2 พบว่าการทำงานของเครื่องวัดที่ออกแบบสามารถตรวจจับคลื่นไมโครเวฟและแสดงผลได้เหมือนกัน จากการทดลองพบว่าเตาไมโครเวฟที่นำมาทดสอบจะมีบางช่วงที่เตาไมโครเวฟจะปล่อยคลื่นรั่วไหลที่ส่งผลอันตรายต่อร่างกาย

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของไมโครเวฟสามารถทดสอบวงจรการทำงานพื้นฐานได้ผลการทดลองสามารถตรวจวัดการรั่วไหลได้ โดยสอบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานของท้องตลาด ผลทดสอบเบื้องต้นที่วัดได้สอดคล้องกับเครื่องวัดดังกล่าว ส่วนข้อจำกัดของเครื่องเนื่องจากไม่สามารถควบคุมแหล่งจ่ายที่เป็นคลื่นของไมโครเวฟได้ทำให้การแสดงผลมีค่าความคลาดเคลื่อน และพัฒนาการทำงานของวงจรตรวจจับให้แสดงผลการเตือนผ่านมือถือ เป็นต้น

References

Chavan, N. M., Deshmukh, A. M., & Kulkarni, A. S. (2014). *Automated system to detect rf leakage from microwave oven using raspberry pi* (Master's thesis). Sinhgad College of Engineering, Pune, India. India.

Chaimongkon, P. (2015). Checking for microwave leaks from microwave ovens to improve quality of life and promote safety. *Journal of the Department of Science Services. 63*(199). 25-26. (in Thai)

Department of Medical Sciences. (2019). *Microwaves are more dangerous than atomic bombs*. Retrieved from https://pr.moph.go.th/?url=pr/detail/2/02/128238/ (in Thai)

Electrical4U. (2021). *Band pass filter: circuit & transfer function (active & passive)*. Retrieved from https://www.electrical4u.com/band-pass-filter/#google_vignette (in Thai)

HSMS-286x Microwave Datasheet. (2022). *HSMS-286x microwave datasheet*. Retrieved from https://datasheetspdf.com/datasheet/HSMS-286x.html.

IEC 60335-2-25. (2002-2003). *Household and similar electrical appliances-safety-Part 2-25: Particular requirements for microwave ovens, including combination*. Retrieved from https://webstore.iec.ch/publication/15173

Khare, V., & Singh, P. (2016). Rf leakage detection system for microwave based industrial heating appliances. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), 11*(3), 26-30. doi: 10.9790/2834-1103022630

Klai-pan, C. (2002). *Studying the history and origins of microwave ovens*. Retrieved from http://www.dss.go.th/images/st-article/pep_2_2546_microwave.pdf. (in Thai)

LCD-yellow-screen. (2022). *Lcd-yellow-screen-20x4-lcd-adapter*. Retrieved from https://www.arduino4.com/product/658/2004-lcd-yellow-screen-20x4-lcd-adapter. (in Thai)

Orsat, V., Raghavan, G. S. V., & Krishnaswamy, K. (2017). 5-Microwave technology for food processing: An overview of current and future applications. In M. Regier, K. Knoerzer and H. Schubert (Eds). *The Microwave Processing of Foods* (2nd ed.) (pp. 100-116). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00005-X

Pri Sanyakun, S. (2006). *Microwave leak radiation avoidable danger*. Retrieved from https://mgronline-com.translate.goog/qol/detail/9490000086798?_x_tr_sl=th&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=en&_x_tr_pto=sc. (in Thai)

Rattanadecho, P., & Pongpakpien, S. (2011). *Digital readout microwave leakage detector LD Bar. Patent No. A63F 13/20, G01S 13/00*. Pathum Thani: Thammasat University. (in Thai)

Santatechnology.com. (2022). *Microwave-leakage-detector-ht-m2*. Retrieved from https://santatechnology.com/Microwave-leakage-detector-ht-m2. (in Thai)

Sauraubon, K. (2018). *Developing IoT on arduino and raspberry Pi platforms*. Bangkok: Intermedia. (in Thai)

Srilaphan, M., Prasertthai, C., & Thupmeung, V. (2013). *Microwave oven leakage detector* (Bachelor's thesis). Suranaree University of Technology. Nakhon Ratchasima. (in Thai)

Sritrakun, V. (2016). *Microwave oven*. Retrieved from http://thep-center.org/src2/views/daily-life.php?article_id=16. (in Thai)

Thai Industrial Standard 1773-2548. (2005). *Microwave ovens safety requirements*. Retrieved from https://www.tisi.go.th/data/standard/fulltext/TIS-1773-2548m.pdf. (in Thai)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่ม
Development of Food Supplement from Mushroom Polysaccharide in form of Instant Beverage Mixed Powder

เยาวภา ปฐมศิริกุล[1] วิโรจน์ มีรุ่งเรือง[2] และกัมปนาท หวลบุตตา[3]*
Yaowapa Pathomsirikul[1], Wirod Meerungrueang[2] and Kampanart Huanbutta[2]
[1]หลักสูตรบริหารธุรกิจดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]Doctor of Business Administration Program, Eastern Asia University
[2]คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[2]School of Pharmacy, Eastern Asia University
[3]วิทยาลัยเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
[3]College of Pharmacy, Rangsit University
*Corresponding author: kampanart.h@rsu.ac.th
Received: August 22, 2023
Revised: October 12, 2023
Accepted: October 16, 2023

บทคัดย่อ

เห็ดเป็นอาหารและสมุนไพรที่มีการบริโภคมาอย่างยาวนานเนื่องจากเห็ดมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย เพื่อให้ได้รับประโยชน์ทางเภสัชวิทยาจากเห็ดจำเป็นต้องบริโภคเห็ดให้หลากหลายชนิดและปริมาณที่มากเพียงพอ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรตำรับและขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวม (เห็ดนางฟ้าภูฐาน เห็ดนางรมฮังการีขาว เห็ดนางรมเทา และเห็ดหลินจือ) ในรูปแบบผงชงดื่ม โดยผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวและมีผงสารสกัดเห็ดรวมสีน้ำตาลกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ ตำรับที่เลือกมาพัฒนาต่อ (E3) มีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 300-400 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดสม่ำเสมอ ความสามารถในการไหลอยู่ในระดับค่อนข้างดี ร้อยละความชื้น 4.38 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ (ร้อยละ 1-5) สามารถละลายน้ำได้ดี โดยหากละลายในน้ำอุ่น (60 องศาเซลเซียส) จะละลายได้ดีกว่าน้ำอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) และมีความหนืดต่ำกว่า จากผลการทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์แบบสภาวะเร่ง ที่อุณหภูมิ 40±2 องศาเซลเซียส ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่า ผลิตภัณฑ์เห็ดรวมในบรรจุภัณฑ์แบบซองฟอยล์อะลูมิเนียม มีน้ำหนักและลักษณะทางกายภาพที่ไม่เปลี่ยนแปลงจากผลิตภัณฑ์ก่อนนำมาทดสอบความคงตัว และเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเสริมโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่มมีปริมาณสารอาหารที่ครบถ้วนทั้งชนิดและปริมาณจึงเพิ่มผงถั่วลันเตาทำให้ได้ตำรับที่ดีที่สุดที่ประกอบด้วย สารสกัดโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวม 25 มิลลิกรัม กรดไขมันอิ่มตัวสายกลางแบบผงร้อยละ 15 น้ำตาลทรายร้อยละ 5 หญ้าหวานร้อยละ 1.5 ผงถั่วลันเตาร้อยละ 40 และมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 38.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นตำรับที่มีสารอาหารครบถ้วน มีสมบัติทางกายภาพและรสชาติดีเหมาะสมในการพัฒนาต่อในระดับอุตสาหกรรมเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โพลิแซคคาไรด์ เห็ด ผงชงดื่ม

Abstract

This research is quasi-experimental. The purpose of this study was to compare the effect of massage oil from *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Extract with court-type Thai traditional massage before and after treatment on the tension of the upper back muscles. The sample group consisted of volunteers aged 18–50 years. Through a specific purposive sampling under specified conditions, 30 people will receive a Thai traditional massage with applied Thai traditional medicine from a registered professional practitioner for 45 minutes each time, three times a week. The research tool was a questionnaire consisting of a pain rating scale and a tissue stiffness record. The results of the study were used for descriptive statistical analysis, and the relationship was compared by a paired T-test. The research results found that most of the subjects were female (73.33%, aged 29–39 years). The mean pain level after treatment decreased (2.27±0.45) compared with the mean pain level before treatment (5.97±0.67). From 1 to 3 times, the mean pain level decreased for each time compared to the previous time, which was statistically significant at the level of .05. In addition, the mean score of tissue stiffness after treatment was significantly decreased at the .05 level from the reduction of pain level and decreased tissue stiffness scores. It can be concluded that Thai traditional massage combined with massage oil from *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Extract can relieve and treat patients with upper back muscle pain. This is preliminary information to support the choice of court-type Thai traditional massage combined with the use of massage oil from *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash Extract, which is effective in clinical treatment.

Keywords: food supplement, polysaccharide, mushroom, beverage mixed powder

บทนำ

เห็ดเป็นอาหารและสมุนไพรที่มีการใช้มาอย่างยาวนาน เนื่องจากเห็ดมีคุณประโยชน์มากมาย มีสารประกอบ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย เกลือแร่ และวิตามิน (Bernaś, Jaworska, & Lisiewska, 2006) มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ด โดยพบว่า มีฤทธิ์ที่น่าสนใจหลายด้าน เช่น ยับยั้งการเจริญของเนื้องอก ปรับระบบภูมิคุ้มกัน ต้านอนุมูลอิสระ และต้านเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น ด้วยประโยชน์และฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาดังกล่าว ดร.ขนิษฐา ชวนะนรเศรษฐ์ จากสถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จึงได้เริ่มสกัดและคัดเลือกเห็ดที่มีฤทธิ์เหมาะสมในการพัฒนาเป็นอาหารเสริม โดยจากผลการศึกษาวิจัยพบว่า สารสกัดจากเห็ดนางฟ้าภูฐาน เห็ดนางรมฮังการีขาว เห็ดนางรมเทา และเห็ดหลินจือ ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านเซลล์มะเร็งที่ดี ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ในการพัฒนาสารสกัดดังกล่าวให้อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค อย่างไรก็ตามสารสกัดจากเห็ดยังมีข้อจำกัดเรื่องกลิ่นเฉพาะตัวและด้านการละลายจึงไม่สามารถเตรียมในรูปสารสกัด เพื่อนำไปบริโภคโดยตรงได้ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเสริมโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดนางฟ้าภูฐาน เห็ดนางรมฮังการีขาว เห็ดนางรมเทา และเห็ดหลินจือ ในรูปแบบผงชงดื่มที่สามารถบริโภคได้ง่าย เพื่อช่วยส่งเสริมสุขภาพของประชาชนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์การแพร่ระบาดระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 อีกทั้งยังสามารถสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต

สู่ผู้ประกอบการที่สนใจเพื่อนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพสำหรับจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ส่งผลให้ประชาชนหันมาใส่ใจสุขภาพมากยิ่งขึ้น โดยจากผลการสำรวจของสวนดุสิตโพล มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ระบุว่า ประชาชนชาวไทยร้อยละ 45.39 หันมาให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพกันมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการออกกำลังกายทั้งกลางแจ้งหรือในร่ม เพื่อเสริมสร้างภูมิคุ้มกันโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ ตลอดจนการรับประทานอาหารเสริมและวิตามิน (BangkokBankSME, 2020) โดยสถานการณ์การบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารของคนไทย จากข้อมูลของกรมสนับสนุนบริการสุขภาพพบว่า ในปี 2564 มีครัวเรือนไทยที่บริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร กว่า 1.8 ล้านครัวเรือน ส่งผลให้ตลาดผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและวิตามินของประเทศไทยเพิ่มขึ้นจากปี 2562 ถึงร้อยละ 149.3 โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยประมาณ 1,036 บาทต่อเดือน โดยประชาชนกว่าร้อยละ 70 มีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเป็นสิ่งจำเป็นต้องรับประทานเป็นประจำ (BangkokBankSME, 2020; PPTVonline, 2022) หนึ่งในอาหารที่มีคุณประโยชน์สูงและมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพได้แก่ เห็ด นั่นเอง

เห็ดเป็นแหล่งโปรตีนจากธรรมชาติที่มีแคลอรีต่ำ มีไขมันต่ำและน้ำตาลค่อนข้างน้อย โดยเห็ดมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 90 นอกนั้นเป็นคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 3-28 เส้นใยร้อยละ 3-32 โปรตีนประมาณร้อยละ3 ซึ่งเป็นโปรตีนคุณภาพสูงเนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน นอกจากนี้ยังพบกรดกลูตามิก ซึ่งกรดกลูตามิกนี้เป็นส่วนผสมหลักในผงชูรส ด้วยเหตุนี้เห็ดจึงมีรสชาติและกลิ่นที่ชวนรับประทาน โดยกรดกลูตามิกทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นประสาทการรับรู้รสอาหารของลิ้นให้ไวกว่าปกติและทำให้มีรสชาติคล้ายกับเนื้อสัตว์ เห็ดโดยทั่วไปมีไขมันต่ำประมาณร้อยละ 2-8 และยังมีเกลือแร่และวิตามินกว่า 15 ชนิด เช่น โฟเลต ซิลิเนียม สังกะสี ทองแดง แมกนีเซียม โพแทสเซียม วิตามินบีรวม และวิตามินดี (ตาราง 1) (Srimuk, 2007)

ตาราง 1

องค์ประกอบทางเคมีของเห็ด (ส่วนที่กินได้) 100 กรัม

ชนิดเห็ด	น้ำ (กรัม)	พลังงาน (แคลอรี่)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	เส้นใย (กรัม)	เถ้า (กรัม)
เห็ดหอม	92.40	21.55	0.043	2.95	2.34	1.308	0.625
เห็ดนางรม	90.70	32.39	0.043	5.67	2.13	0.396	0.543
เห็ดนางฟ้า	90.27	33.32	0.071	4.79	3.36	0.472	0.642
เห็ดฟาง	89.90	32.38	0.071	4.75	3.16	0.595	0.986
เห็ดโคน	84.90	48.72	0.280	5.28	6.27	1.963	1.293

Note. From "*Remarkable Mushroom Facts*" by W. Srimuk, 2007, retrieved from http://www.dss.go.th/dssweb/st-rticles/files/bsp_12_2550_Mushroom.pdf

นอกเหนือจากเห็ดจะเป็นแหล่งของสารอาหารแล้ว ยังมีรายงานฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่หลากหลาย ซึ่งการที่เห็ดมีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาเนื่องจากมีสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive substances) เช่น สารประเภทพอลิแซคคาไรด์ เช่น β-glucan ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์เนื้องอกและต้านอนุมูลอิสระที่พบในเห็ดหอม (*Lentinus edodes*) เห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) และเห็ดยานาหงิ (*Agrocybe aegerita*) (Manzi & Pizzoferrato, 2000) และยังมีรายงานว่า ในเห็ดยานาหงิมีสาร agrocybin ซึ่งเป็นเปปไทด์ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา (antifungal activity) (Ngai, Zhao & Ng, 2005) ส่วนเห็ดหลินจือ (*Ganoderma lucidum*) สามารถใช้รักษาโรคหัวใจ (coronary heart disease) โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (chronic bronchitis) และโรคความดันโลหิตสูง (Jong & Birmingham, 1992) เห็ดหอม (*Lentinula edodes*) ช่วยป้องกันโรคกระดูกอ่อนและลดความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร รักษาโรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เช่น มะเร็ง เอดส์ ภูมิแพ้บางชนิด (Falandysz & Borovička, 2013) สำหรับเห็ดหูหนู (Auricularia) ใช้รักษาโรคกระเพาะ และริดสีดวง ช่วยลดความดันโลหิตและเร่งการสมานแผล (Pak, Chen, Ma, Hu & Ji, 2021) และเห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) ช่วยลดความดันโลหิตและเร่งการสมานแผล (Chiu, Lam & Pang, 1995)

เห็ดนางฟ้าภูฐาน (*Pleurotus pulmonarius*) จากรายงานพบว่า สารสกัดด้วยเมทานอลจากเห็ดนางฟ้าภูฐานมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธีดักจับอนุมูลไฮดรอกซิล และความสามารถในการยับยั้งการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 476.67 และ 960.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ อีกทั้งยังมีผลทำให้ก้อนเนื้องอกมีขนาดเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบโดยทำให้อุ้งเท้าหนูบวมโดยการเหนี่ยวนำด้วยคาราจีแนนและฟอมาลิน พบว่า สารสกัดเห็ดนางฟ้าภูฐาน ขนาด 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักตัว สามารถยับยั้งการอักเสบได้ (Jose, Ajith & Janardhanan, 2002) นอกจากนี้ยังมีรายงานฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อทดลองในหนูทดลองอีกด้วย (Badole, Shah, Patel, Thakurdesai & Bodhankar, 2006; Balaji et al., 2020)

เห็ดนางรมฮังการีขาว (white oyster mushroom Hungary) และเห็ดนางรมเทา (grey oyster mushroom) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Pleurotus ostreatus* ต่างกันที่สายพันธุ์โดยเห็ดนางรมเทามีสายพันธุ์มาจากเยอรมัน พบว่ามีความนิยมบริโภคเห็ดนางรมทั่วโลก เนื่องจากรสชาติดี มีกลิ่นหอม คุณค่าทางโภชนาการสูง และมีรายงานฤทธิ์ทางเภสัชวิทยามากมาย ได้แก่ ฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด (Ghaly, Ahmed, Booles, Farag & Nada, 2011) ต้านเชื้อจุลชีพ (Iwalokun, Usen, Otunba, & Olukoya, 2007) ลดคอเลสเตอรอล (Alam et al., 2009) ต้านอนุมูลอิสระ (Zhang, Dai, Kong & Chen, 2012) ต้านมะเร็ง (Gu & Sivam, 2006; Jedinak, Dudhgaonkar, Jiang, Sandusky & Sliva, 2010) ต้านไวรัส (M EL-Fakharany, M Haroun, Ng & M Redwan, 2010) และบำรุงสายตา (Isai et al., 2009) เป็น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนาสูตรตำรับและขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวม (เห็ดนางฟ้าภูฐาน เห็ด นางรมฮังการีขาว เห็ดนางรมเทา และเห็ดหลินจือ) ในรูปแบบผงชงดื่ม

2. ประเมินสมบัติทางกายภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมและสรุปตำรับที่ เหมาะสมกับการพัฒนาต่อในระดับอุตสาหกรรม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาสูตรตำรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่ม

นำสารสกัดโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดนางฟ้าภูฐาน เห็ดนางรมฮังการีขาว เห็ดนางรมเทา และเห็ดหลินจือ มาผสมกับสารช่วย (ตาราง 2) ในโกร่งตามหลัก geometric dilution จากนั้นเก็บในที่แห้งเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่อไป

2. การประเมินทางกายภาพ

2.1 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค

ศึกษาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคด้วยวิธีการใช้ตะแกรงแร่ง (analytical sieving method) โดยใช้ปริมาณตัวอย่างผงผลิตภัณฑ์เห็ดรวมประมาณ 50 กรัม จากนั้นใส่ตัวอย่างด้านบนของตะแกรง เขย่าเป็นเวลา 10

นาที แล้วนำตัวอย่างแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาร้อยละของอนุภาคขนาดต่าง ๆ

2.2 สมบัติการไหล

การไหลของผงผลิตภัณฑ์เป็นสมบัติสำคัญที่ช่วยให้การบรรจุผงผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์มีประสิทธิภาพและมีการกระจายน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอ โดยประเมินจากค่า compressibility index และ Hausner ratio (Convention, 2016) ซึ่งสามารถบ่งบอกสมบัติการไหลได้ดังตาราง 3 ซึ่งการหาค่า compressibility index และ Hausner ratio นั้น จะต้องมีการทดสอบเพื่อหาค่า bulk density และ tapped density ก่อน โดย bulk density คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของผงยาที่ยังไม่ผ่านการเคาะหรือทำให้อัดแน่น ในขณะที่ tapped density คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของผงยาที่ผ่านการเคาะหรือทำให้อัดแน่นแล้ว ใช้หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดลองโดยการนำผงผลิตภัณฑ์มาผ่านแร่งเบอร์ 18 (รูเปิด ขนาด 1 มม.) จากนั้นเติมผงผลิตภัณฑ์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (mass, m) ลงไปในกระบอกตวงขนาด 250 มล. โดยต้องระวังการอัดแน่นของผงยา โดยใช้ผงผลิตภัณฑ์หนัก 100 กรัม จากนั้นอ่านค่าปริมาตรของผงยาจากขีดบอกปริมาตรของกระบอกตวง ปริมาตรของผงยาที่อ่านได้ คือ bulk volume (Vo) และคำนวณตามสูตร

$$P_{Bulk} = m/V_0 \quad (1)$$

ตาราง 2

ตำรับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่มสารสกัด

สาร	ปริมาณ
สารสกัดโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวม	25 มก
MCT powder 50	15-20 %w/w
Sucrose	5-10 %w/w
Stevia	1.5-5 %w/w
Flavor	1-7 %w/w
maltodextrin	60-70 %w/w

ตาราง 3

สมบัติการไหลของผงยากับค่า compressibility index และ Hausner ratio

Compressibility index	Flow property	Hausner ratio
≤10	Excellent	1.00-1.11
11-15	Good	1.12-1.18
16-20	Fair	1.19-1.25
21-25	Passable	1.26-1.34
26-31	Poor	1.35-1.45
32-37	Very poor	1.46-1.59
>38	Very, Very poor	>1.60

Note. From "*U.S. Pharmacopeia national formulary 2017: USP 40 NF 35 (Vol. 1)*" by United States Pharmacopeial Convention, 2016, United States: United States Pharmacopeial.

2.3 ความชื้น

ความชื้นส่งผลโดยตรงต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องติดตามความชื้นของสารสารตั้งต้นรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ โดยในการศึกษาวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยเครื่อง moisture analyzer โดยใช้หลักการความต่างกันของน้ำหนักของผงผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังได้รับความร้อน โดยเครื่องมือจะบันทึกน้ำหนักตัวอย่างผงผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ไม่มี unbound water ในสาร) โดยหลังจากได้ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงจะนำมาหาค่าร้อยละความชื้นดังสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนได้รับความร้อน} - \text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังได้รับความร้อน}}{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนได้รับความร้อน}} \times 100 \quad (2)$$

2.4 การละลาย

การละลายน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความยาก-ง่ายในการชง รสชาติ และความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ดังนั้นทุกตำรับจะต้องทดสอบประสิทธิภาพการละลาย โดยการใช้น้ำที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และทดสอบการละลายที่ค่าความเป็นกรด-ด่างจาก 3 ถึง 8 โดยใช้ความเข้มข้น 25 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร

3. การทดสอบความคงตัว

ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์แบบสภาวะเร่ง (accelerated storage condition) โดยการเก็บผงผลิตภัณฑ์เห็ดรวมที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ไว้ในตู้ทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิ 40±2 องศาเซลเซียส ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยบันทึกน้ำหนักก่อนและหลัง และสังเกตลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น ปริมาณความชื้น ที่เปลี่ยนแปลงไปของผลิตภัณฑ์

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ขนาดอนุภาค และการวิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง (n=3) แสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±SD) ในการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ทดลองจะใช้สถิติ One way ANOVA และ pair t-test โดยกำหนดค่า p-value ที่ .05 โดยใช้โปรแกรมสถิติวิเคราะห์ SPSS และโปรแกรม Excel 365

ผลการวิจัย

1. การพัฒนาสูตรตำรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่ม

เตรียมสูตรตำรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่ม จำนวน 4 สูตรตำรับ ดังตาราง 4 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว และมีผงสารสกัดเห็ดรวมสีน้ำตาลกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ

2. การประเมินทางกายภาพ

2.1 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค

% weight retained ของสารทดสอบที่ค้างอยู่บนแร่งแต่ละเบอร์ ของทั้ง 4 สูตรตำรับ แสดงดังตาราง 5 จากผลการทดลอง พบว่า ตำรับ E1 อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 210 นาโนเมตร ส่วนตำรับ E2 E3 และ E4 จะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า คือ อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 นาโนเมตรขึ้นไป (ภาพ 1)

ตาราง 4

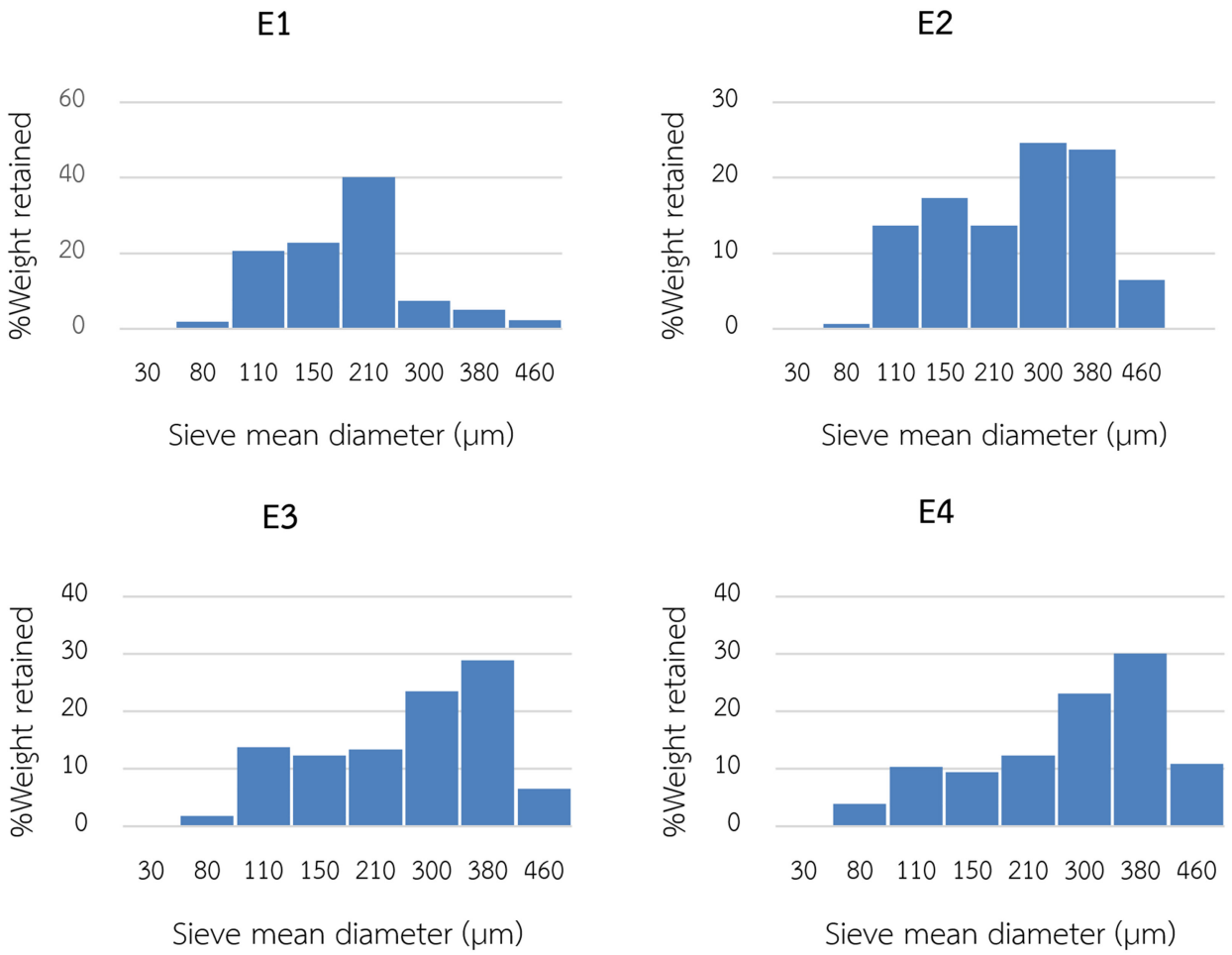
ตำรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่ม

สาร	E1	E2	E3	E4
สารสกัดโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวม	25 มก	25 มก	25 มก	25 มก
MCT powder 50	20 %w/w	20 %w/w	15 %w/w	15 %w/w
Sucrose	5 %w/w	5 %w/w	5 %w/w	10 %w/w
Stevia	1.5% w/w	3 %w/w	1.5% w/w	1.5% w/w
Flavor	1 %w/w	1 %w/w	1 %w/w	1 %w/w
maltodextrin	qs	qs	qs	qs

ตาราง 5

ผลการทดสอบการหาขนาดอนุภาค

Sieve No.	Sieve size range (mm)	Sieve mean diameter (μm)	%Weight retained			
			E1	E2	E3	E4
35 (500 μm)	0.50	460	2.19	6.47	6.54	10.91
40 (425 μm)	0.42	380	5.08	23.72	28.86	29.99
45 (355 μm)	0.35	300	7.45	24.60	23.48	23.14
60 (250 μm)	0.25	210	40.13	13.65	13.37	12.31
80 (180 μm)	0.18	150	22.77	17.27	12.28	9.37
120 (125 μm)	0.13	110	20.58	13.61	13.71	10.39
170 (90 μm)	0.09	80	1.81	0.68	1.75	3.88
230 (63 μm)	0.06	30	0	0	0	0
ผลรวม	-	-	100	100	100	100



ภาพ 1 กราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาค

2.2 สมบัติการไหล

จากผลการทดลองพบว่าตำรับมีค่า compressibility index Hausner ratio และ Flow property แสดงดังตาราง 6 โดยตำรับ E2 และ E3 มีสมบัติการไหลอยู่ในระดับค่อนข้างดี (fair) ซึ่งดีกว่าตำรับ E1 และ E4 ที่มีสมบัติการไหลอยู่ในระดับพอไหลได้ (passable) (Kaleem, Alam, Khan, Jaffery & Rashid, 2021)

2.3 ความชื้น

ร้อยละความชื้นของตำรับที่เตรียมได้ แสดงดังตาราง 7 ซึ่งพบว่า ค่าความชื้นของตำรับอยู่ในช่วงร้อยละ 4.38-4.61 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เนื่องจากโดยทั่วไปข้อกำหนดร้อยละความชื้นของยาผงอยู่ที่ร้อยละ 1-5 (Opaliński, Chutkowski & Hassanpour, 2016)

ตาราง 6

ค่า compressibility index, Hausner ratio และ Flow property ของตำรับ

สูตรตำรับ	Bulk Density (gm/ml)	Tap Density (gm/ml)	compressibility index	Hausner Ratio	Flow property
E1	0.50±0.01[a]	0.66±0.00[ab]	21.67±0.37[b]	1.28±0.01[ab]	Passable
E2	0.50±0.02[a]	0.65±0.00[bc]	20.23±1.79[b]	1.25±0.03[b]	Fair
E3	0.50±0.00[a]	0.65±0.00[c]	17.11±0.23[c]	1.18±0.05[c]	Fair
E4	0.48±0.00[a]	0.67±0.00[a]	25.62±0.82[a]	1.34±0.01[a]	Passable

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p-value>.05)

ตาราง 7

ค่าร้อยละความชื้นของตำรับ

สูตรตำรับ	ร้อยละความชื้น
E1	4.46±0.11
E2	4.61±0.55
E3	4.38±0.16
E4	4.40±0.08

2.4 การละลาย

การศึกษาประสิทธิภาพการละลายของตำรับโดยทดสอบที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3 ถึง 8 ที่ความเข้มข้น 25 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3 ถึง 8 ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ทุกตำรับสามารถละลายได้ดี และได้เครื่องดื่มที่มีลักษณะข้นหนืดเล็กน้อย และเมื่อทดสอบที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 ในน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ตำรับมีการละลายที่เร็วกว่าและมีความหนืดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยตำรับ E2 จะมีความหนืดมากกว่าตำรับอื่น ๆ

3. ความคงตัว

ผลการทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์แบบสภาวะเร่ง ที่อุณหภูมิ 40±2 องศาเซลเซียส ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าผลิตภัณฑ์เห็ดรวมในบรรจุภัณฑ์แบบซองฟอยล์อะลูมิเนียม มีน้ำหนักและลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น ความชื้น ไม่เปลี่ยนแปลงจากผลิตภัณฑ์ก่อนเก็บความคงตัว

4. การพัฒนาสูตรตำรับเพิ่มเติม

จากการประเมินรสชาติของตำรับเบื้องต้น พบว่า ตำรับ E1 และ E3 มีความหวานในระดับน้อย เหมาะสำหรับพัฒนาต่อเป็นตำรับเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพชนิดหวานน้อย ส่วนตำรับ E2 มีความหวานที่มากกว่า แต่จะมี

ความหวานแหลมที่มากเกินไปจาก stevia หรือหญ้าหวาน สำหรับตำรับ E4 มีความหวานในระดับปานกลาง และไม่หวานแหลมเท่าตำรับ E2 เมื่อพิจารณาร่วมกับสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ จึงได้เลือกตำรับ E3 นำมาพัฒนาต่อ

เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่มมีปริมาณสารอาหารที่ครบถ้วนทั้งชนิดและปริมาณ ผู้วิจัยจึงพิจารณาเพิ่มผงถั่วลันเตา เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงที่มีกรดอะมิโนที่สำคัญต่อร่างกาย เช่น ไลซีนและอาร์จีนีน มีใยอาหาร แคลเซียม และเหล็ก อีกทั้งไม่มีคอเลสเตอรอลและมีปริมาณไขมันต่ำ นอกจากนี้การใช้แหล่งที่มีของอาหารจากพืชแทนสัตว์ยังเป็นการสร้างความยั่งยืนให้แก่สิ่งแวดล้อม โดยผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของผงถั่วลันเตาแสดงดังตาราง 8 และได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสูตรตำรับ ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 8

ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่มีในผงถั่วลันเตา

Test Item	Unit	Test Result
Cys(CysO3H)	g/100 g	0.82
MetSON	g/100 g	0.95
Tryptophan	g/100 g	0.65
Aspartic acid	g/100 g	9.47
Threonine	g/100 g	3.02
Serine	g/100 g	4.01
Glutamic acid	g/100 g	14.32
Glycine	g/100 g	3.20
Alanine	g/100 g	3.67
Valine	g/100 g	4.41
Isoleucine	g/100 g	4.05
Leucine	g/100 g	6.83
Tyrosine	g/100 g	3.12
Phenylalanine	g/100 g	4.63
Lysine	g/100 g	6.00
Histidine	g/100 g	2.05
Arginine	g/100 g	6.78
Proline	g/100 g	3.52
Total of Hydrolyzed Amino Acid (18 items)	g/100 g	81.50

ตาราง 9

สูตรตำรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมเสริมโปรตีนจากถั่วลันเตาในรูปแบบผงชงดื่ม

สาร	น้ำหนัก (g)	Carbohydrate (g)	Fat (g)	Protein (g)
สารสกัดโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวม	0.025			
MCT powder 50	2.250	0.634	1.125	0.018
Sucrose	0.750	0.750	-	-
Stevia	0.225	-	-	-
Pea protein	6.000	1.046	-	4.405
Maltodextrin	5.75	5.75	-	-
Flavor	qs			
รวม (1 ซอง)	15.000	8.18	1.125	4.423

การอภิปรายผล

จากผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่มในงานวิจัยนี้พบว่า ตำรับ E3 ที่มีส่วนประกอบของสารสกัดโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวม 25 มก MCT powder ร้อยละ 15 น้ำตาลทรายร้อยละ 5 หญ้าหวานร้อยละ 1.5 สารแต่งกลิ่นรสร้อยละ 1 และ maltodextrin ร้อยละ 72.5 โดยน้ำหนัก ตำรับมีความคงตัวทางกายภาพ มีสมบัติการไหลที่สามารถเอื้อต่อการผลิตและบรรจุ ความชื้นอยู่ในระดับต่ำ สามารถละลายได้ทั้งน้ำอุณหภูมิห้องและน้ำอุ่นที่ความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการตั้งตำรับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมในรูปแบบผงชงที่มีส่วนผสมของถั่วเหลือง เห็ดและมะรุม พบว่าผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมที่เตรียมได้มีความชื้นใกล้เคียงกัน (ร้อยละความชื้น 3.65-5.46) นอกจากนี้ยังมีสัดส่วน คาร์โบไฮเดรต ต่อ ไขมัน ต่อ โปรตีน ใกล้เคียงกัน (Farzana, Mohajan, Saha, Hossain & Haque, 2017) แสดงให้เห็นถึงผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มีสารอาหารหลัก (Macronutrient) เป็นไปตามสัดส่วนที่เหมาะสม ผู้บริโภคสามารถได้รับประโยชน์จากสารสกัดเห็ดและทดแทนมื้ออาหารได้

เมื่อนำสูตรที่เหมาะสมที่สุด (E3) มาพัฒนาต่อโดยการเพิ่มผงถั่วลันเตาซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงที่มีกรดอะมิโนที่สำคัญต่อร่างกาย จึงช่วยยกระดับให้อาหารเสริมที่พัฒนาขึ้นมีทั้งชนิดและปริมาณสารอาหารครบถ้วนเหมาะสำหรับผู้ที่บริโภคโปรตีนไม่เพียงพอ หรือผู้ที่ต้องการบริโภคเพื่อทดแทนมื้ออาหาร จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพเพื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพลิแซคคาไรด์จากเห็ดรวมในรูปแบบผงชงดื่มในงานวิจัยนี้ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาเพิ่มเติมในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้อาจต้องมีการประเมินผลความพึงพอใจในรสชาตและรสสัมผัสของผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย (สัญญาเลขที่ 009/2566) คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย และคณะ

เภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์และห้องปฏิบัติการวิจัยด้านเทคโนโลยีเภสัชกรรม รวมถึงเภสัชกรหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิกานต์ แสงนิ่ม และพลตรีหญิง ธัญนิชา หวลบุตตา ที่ช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

Alam, N., Amin, R., Khan, A., Ara, I., Shim, M. J., Lee, M. W., Lee, U. Y., & Lee, T. S. (2009). Comparative effects of oyster mushrooms on lipid profile, liver and kidney function in hypercholesterolemic rats. *Mycobiology, 37*(1), 37-42. https://doi.org/10.4489/MYCO.2009.37.1.037

Badole, S. L., Shah, S. N., Patel, N. M., Thakurdesai, P. A., & Bodhankar, S. L. (2006). Hypoglycemic Activity of Aqueous Extract of Pleurotus pulmonarius. in Alloxan-Induced Diabetic Mice. *Pharmaceutical Biology, 44*(6), 421-425. https://doi.org/10.1080/13880200600794196

Balaji, P., Madhanraj, R., Rameshkumar, K., Veeramanikandan, V., Eyini, M., Arun, A., Thulasinathan, B., Al Farraj, D. A., Elshikh, M. S., Alokda, A. M., Mahmoud, A. H., Tack, J. C., & Kim, H. J. (2020). Evaluation of antidiabetic activity of Pleurotus pulmonarius against streptozotocin-nicotinamide induced diabetic wistar albino rats. *Saudi Journal of Biological Sciences, 27*(3), 913-924. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.01.027

Bangkok Bank SME. (2021). *After COVID-19, the nutritional supplement market has surged over 20 billion baht*. Retrieved from https://www.bangkokbanksme.com/en/supplement-food-after-growth-covid-19 (in Thai)

Bernaś, E., Jaworska, G., & Lisiewska, Z. (2006). Edible mushrooms as a source of valuable nutritive constituents. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 5*(1), 5-20.

Chiu, K., Lam, A., & Pang, P. (1995). Cardiovascular active substances from the straw mushroom, *Volvariella volvacea*. *Phytotherapy research, 9*(2), 93-99. https://doi.org/10.1002/ptr.2650090203

Falandysz, J., & Borovička, J. (2013). Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Applied microbiology and biotechnology, 97*, 477-501. https://doi.org/10.1007/s00253-012-4552-8

Farzana, T., Mohajan, S., Saha, T., Hossain, M. N., & Haque, M. Z. (2017). Formulation and nutritional evaluation of a healthy vegetable soup powder supplemented with soy flour, mushroom, and moringa leaf. *Food science & nutrition, 5*(4), 911-920. https://doi.org/10.1002/fsn3.476

Ghaly, I. S., Ahmed, E. S., Booles, H. F., Farag, I. M., & Nada, S. A. (2011). Evaluation of antihyperglycemic action of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and its effect on DNA damage, chromosome aberrations and sperm abnormalities in streptozotocin-induced diabetic rats. *Global Veterinaria, 7*(6), 532-544.

Gu, Y.-H., & Sivam, G. (2006). Cytotoxic effect of oyster mushroom Pleurotus ostreatus on human androgen-independent prostate cancer PC-3 cells. *Journal of medicinal food, 9*(2), 196-204. https://doi.org/10.1089/jmf.2006.9.196

Isai, M., Elanchezhian, R., Sakthivel, M., Chinnakkaruppan, A., Rajamohan, M., Jesudasan, C. N., Thomas, P. A., & Geraldine, P. (2009). Anticataractogenic effect of an extract of the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, in an experimental animal model. *Current Eye Research, 34*(4), 264-273. https://doi.org/10.1080/02713680902774069

Iwalokun, B., Usen, U., Otunba, A., & Olukoya, D. (2007). Comparative phytochemical evaluation, antimicrobial and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus*. *African Journal of Biotechnology, 6*(15), 1732-1739. https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/57767

Jedinak, A., Dudhgaonkar, S., Jiang, J., Sandusky, G., & Sliva, D. (2010). *Pleurotus ostreatus* inhibits colitis-related colon carcinogenesis in mice. *International journal of molecular medicine, 26*(5), 643-650. https://doi.org/10.3892/ijmm_00000509

Jong, S., & Birmingham, J. (1992). Medicinal benefits of the mushroom Ganoderma. *Advances in applied microbiology, 37*, 101-134. https://doi.org/10.1016/S0065-2164(08)70253-3

Jose, N., Ajith, T. A., & Janardhanan, K. K. (2002). Antioxidant, anti-inflammatory, and antitumor activities of culinary-medicinal mushroom *Pleurotus pufmonanus* (Fr.) Quel.(Agaricomycetideae). *International Journal of Medicinal Mushrooms, 4*(4). https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v4.i4.60

Kaleem, M. A., Alam, M. Z., Khan, M., Jaffery, S. H. I., & Rashid, B. (2021). An experimental investigation on accuracy of Hausner Ratio and Carr Index of powders in additive manufacturing processes. *Metal Powder Report, 76*, S50-S54. https://doi.org/10.1016/j.mprp.2020.06.061

M EL-Fakharany, E., M Haroun, B., Ng, T., & M Redwan, E.-R. (2010). Oyster mushroom laccase inhibits hepatitis C virus entry into peripheral blood cells and hepatoma cells. *Protein and peptide letters, 17*(8), 1031-1039. https://doi.org/10.2174/092986610791498948

Manzi, P., & Pizzoferrato, L. (2000). Beta-glucans in edible mushrooms. *Food chemistry, 68*(3), 315-318. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00197-1

Ngai, P. H., Zhao, Z., & Ng, T. (2005). Agrocybin, an antifungal peptide from the edible mushroom *Agrocybe cylindracea. Peptides*, 26(2), 191-196. https://doi.org/10.1016/j.peptides.2004.09.011

Opaliński, I., Chutkowski, M., & Hassanpour, A. (2016). Rheology of moist food powders as affected by moisture content. *Powder Technology, 294*, 315-322. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.02.049

Pak, S., Chen, F., Ma, L., Hu, X., & Ji, J. (2021). Functional perspective of black fungi (Auricularia auricula): Major bioactive components, health benefits and potential mechanisms. *Trends in Food Science & Technology, 114*, 245-261. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.013

PPTV Online. (2022). *Dietary supplements market has grown to nearly 80 billion Thai people willing to pay more than a thousand baht per month*. Retrieved from https://www.pptvhd36.com/news/%E0%B9%80%E0%B8%A8%E0%B8%A3%E0%B8%A9%E0%B8%90%E0%B8%81%E0%B8%B4%E0%B8%88/179358 (in Thai)

Srimuk, W. (2007). *Remarkable mushroom facts*. Retrieved from http://www.dss.go.th/dssweb/st-rticles/files/bsp_12_2550_Mushroom.pdf (in Thai)

United States Pharmacopeial Convention. (2016). *U.S. Pharmacopeia national formulary 2017: USP 40 NF 35 (Vol. 1)*. United States: United States Pharmacopeial Convention.

Zhang, Y., Dai, L., Kong, X., & Chen, L. (2012). Characterization and in vitro antioxidant activities of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus. International journal of biological macromolecules, 51*(3), 259-265. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.05.003

การคัดเลือกโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่
The Selection of Fast Travel Program for Hat Yai International Airport Executives Decisions

เขมณัฏฐ์ อำนวยวรชัย[1] สุฐิต ห่วงสุวรรณ[1]* และสุรเดช อาจสิงห์[1]
Khemmanat Aumnuaworachai[1], Sutit Huangsuwan[1]* and Suradet Artsing[1]
[1]คณะการบิน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Aviation, Eastern Asia University
*Corresponding author: sutit@eau.ac.th
Received: August 30, 2023
Revised: September 19, 2023
Accepted: September 26, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาเกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจที่ใช้ในการคัดเลือกโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ และ (2) จัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ภายใต้หลายเกณฑ์ โดยการวิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงปริมาณ สำหรับกลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิจัย จำนวน 36 คน ซึ่งประกอบด้วย (1) ผู้บริหารเกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสารในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ จำนวน 5 คน และ (2) ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ จำนวน 31 คน โดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ คือ สถิติพรรณนา สถิติอนุมาน และใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ผล การศึกษาพบว่า เกณฑ์หลักที่ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญมี 5 ด้าน คือ ด้านสมรรถนะทางเทคโนโลยี ด้านเทคนิค ด้านความเสี่ยง ด้านการเงิน และด้านผลกระทบทางธุรกิจ และเกณฑ์รองจำนวน 16 เกณฑ์ สำหรับเทคโนโลยีการให้บริการตนเองของโครงการ Fast Travel ที่มีความสำคัญอันดับแรก และควรได้รับการพัฒนาหรือนำมาใช้ก่อน คือ “การเช็คอินด้วยตนเอง” โดยมีน้ำหนักความสำคัญรวมเท่ากับ 0.262

คำสำคัญ: โครงการ Fast Travel การเช็คอินด้วยตนเอง กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

Abstract

This research is a quantitative research. The objectives of this research were: (1) to study the criteria affecting decision making to selection the Fast Travel program for decision making of Hat Yai International airport executive officers and (2) to prioritize the Fast Travel program for decision making of Hat Yai International airport executive officers. The sample was 36 people consisting of (1) 5 executive officers involved in passenger services at Hat Yai International airport selected by using a stratified random sample and (2) 31 passenger service officer experts selected by purposive random sampling. The data were then collected by questionnaires. The data analysis included descriptive statistics, inferential statistics, and Analytic Hierarchy Process--AHP. The research results were found the 5 major criteria used to prioritize five grouped: technological performance, technical, risk, financial, and business impact criteria and 16 minor criteria. The AHP result found that "self check-in" was the most important self-service technology that should be developed or implemented first, in which it had an overall priority weight of 0.262.

Keywords: fast travel program, self check-in, prioritization, analytic hierarchy process, Hat Yai international airport

บทนำ

ในปัจจุบันการเดินทางของมนุษย์เรามีความสะดวกสบายและรวดเร็วมากขึ้น โดยเรามีทางเลือกในการเดินทางที่หลากหลาย ได้แก่ ทางรถยนต์ เรือโดยสาร รถไฟ เครื่องบิน ซึ่งถ้ามนุษย์ต้องการความรวดเร็ว และความสะดวกสบายการเดินทางโดยเครื่องบินเป็นทางเลือกลำดับแรก ดังนั้นการเดินทางด้วยเครื่องบินจึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก จะได้เห็นว่าในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีจำนวนผู้โดยสารที่เดินทางโดยเครื่องบินเป็นจำนวนมาก โดยไตรมาสแรกของปี 2563 ปริมาณการจราจรทางอากาศยังคงเติบโตตามปกติ โดยกลุ่มตลาดนักท่องเที่ยวใหญ่ๆ เช่น จีน อินเดีย เกาหลีใต้ ญี่ปุ่น และรัสเซีย ปรับตัวเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนหน้าจากทั้งเทรนด์การท่องเที่ยวที่นิยมเดินทางแบบอิสระมากขึ้น รวมทั้งคนไทยที่เดินทางออกไปต่างประเทศเพิ่มขึ้น (Airports of Thailand Public Co.,Ltd., 2020) แต่การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ทั่วโลกที่รุนแรงและต่อเนื่องไม่หยุดส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจทั่วโลก และยังส่งผลกระทบด้านระบบการคมนาคมขนส่ง เพราะมีหลายประเทศปิดประเทศเพื่อป้องกันการลุกลาม ทำให้การเดินทางหยุดชะงัก ซึ่งนั่นทำให้ส่งผลกระทบอย่างหนักต่อธุรกิจสายการบิน และวิกฤตโควิด-19 ยังส่งผลกระทบต่อชีวิตของคนทั่วโลก หลายประเทศพยายามลดความเสี่ยงในการติดเชื้อโดยขอความร่วมมือเว้นระยะห่างทางสังคม ทำให้พฤติกรรมของคนทั่วโลกต้องเปลี่ยนแปลงไป เทคโนโลยีสารสนเทศจึงเป็นตัวช่วยสนับสนุนการใช้ชีวิตตามวิถีใหม่ ลดการสัมผัส

สมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (International Air Transport Association--IATA) มีการจัดทำโครงการ Fast Travel ขึ้น เพื่อเป็นแนวทางแก่ท่าอากาศยานและสายการบินที่จะลดจำนวนของผู้โดยสารที่ไปต่อคิวในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสารในจุดต่าง ๆ อีกทั้งเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพ ความสะดวก ลดระยะเวลา ลดต้นทุนและแรงงานในการปฏิบัติงาน รวมทั้งเป็นการลดการสัมผัส สมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศจึงแนะนำให้ท่าอากาศยานและสายการบินใช้เทคโนโลยีการให้บริการตนเอง (Self-Service Technology--SST) เพื่อเพิ่มการอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้โดยสาร โดยมีเป้าหมายที่จะให้สนามบินหรือสายการบินทั่วโลกกว่า 80% ใช้งานในปี

พ.ศ. 2563 ซึ่งโครงการ Fast Travel ที่ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2550 มุ่งเน้นในการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีการให้บริการตนเอง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้โดยสารในเรื่องการเดินทางที่สะดวกรวดเร็วและประหยัดเวลา โดยโครงการ Fast Travel แบ่งออกเป็น 6 ด้าน ได้แก่ (1) การเช็คอินด้วยตนเอง (2) การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง (3) การตรวจสอบเอกสารด้วยตนเอง (4) การเปลี่ยนแปลงการจองเที่ยวบินด้วยตนเอง (5) การขึ้นเครื่องบินด้วยตนเอง และ (6) การติดตามสัมภาระด้วยตนเอง (IATA, 2016)

ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่เป็นท่าอากาศยานที่อยู่ภายใต้การบริหารงานของบริษัทท่าอากาศยานไทยจำกัด (มหาชน) โดยท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ตั้งอยู่ในโซนธุรกิจการค้าทางภาคใต้เป็นเสมือนประตูทางเข้าสำหรับผู้ที่ต้องการติดต่อธุรกิจการค้าหรือท่องเที่ยวทางตอนใต้ของประเทศไทยรวมถึงเป็นเสมือนช่องทางการเดินทางสำหรับชาวมุสลิมในการเดินทางไปแสวงบุญที่ นครเมกกะ และมี 7 สายการบินที่ให้บริการอยู่ (Thailand Airport Hub, 2021) แต่จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการบินและการท่องเที่ยวในประเทศไทยจึงส่งผลกระทบจำนวนผู้โดยสารและจำนวนการขึ้น-ลงของอากาศยานพาณิชย์ในท่าอากาศยานที่อยู่ภายใต้การบริหารงานของบริษัทท่าอากาศยานไทยจำกัด (มหาชน) โดยท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่พบว่า มีจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในปีพ.ศ. 2563 มีจำนวนทั้งสิ้น 2,478,233 คน และจำนวนการขึ้น-ลงของอากาศยานพาณิชย์มีจำนวน 18,250 เที่ยวบิน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในปี พ.ศ.2562 มีอัตราการลดลงร้อยละ 38.48 แม้ว่าจะเกิดปัญหาโควิด-19 ที่ทำให้จำนวนผู้โดยสารลดลงแต่บริษัทท่าอากาศยานไทยจำกัด (มหาชน) ไม่ได้ชะลอแผนการลงทุนพัฒนาท่าอากาศยาน ทั้งนี้เมื่อภายหลังสถานการณ์โควิด-19 จำนวนผู้โดยสารจะฟื้นกลับมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้ท่าอากาศยานมีความพร้อมในการรองรับเที่ยวบินและผู้โดยสารที่จะกลับมาปกติในอนาคต ดังนั้นการพัฒนาท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ยังต้องมีการพัฒนาตามแผนแม่บทเพื่อมุ่งเน้นรักษาระดับการให้บริการ บรรเทาความแออัด (Airports of Thailand Public Co.,Ltd., 2020)

เนื่องจากสมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศได้ผลักดันเทคโนโลยีการให้บริการตนเองของโครงการ Fast Travel เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้โดยสารเพิ่มขึ้นและเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของ IATA ที่ต้องการให้ผู้โดยสาร 80% ได้ใช้เทคโนโลยีบริการด้วยตนเองที่ครบวงจรภายในปี พ.ศ. 2563 แต่ปรากฏว่าจากการศึกษาข้อมูลของ IATA พบว่า ปัญหาหลักคือเวลาที่ท่าอากาศยานต้องใช้ในการติดตั้งระบบ (IATA, 2015) รวมทั้งแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีบริการด้วยตนเองต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้บริหารระดับสูง (Staub & Teber, 2015) นอกจากนี้แล้ว ภายใต้ทรัพยากรที่จำกัด ท่าอากาศยานไม่สามารถที่จะนำเทคโนโลยีการให้บริการตนเองมาพัฒนาหรือใช้งานพร้อมกันได้ จึงจำเป็นต้องจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีการให้บริการตนเองที่ควรได้รับการพัฒนาหรือนำมาใช้ก่อนหรือหลังตามลำดับความสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิจัยการจัดลำดับความสำคัญคัดเลือกโครงการ Fast Travel เพื่อการพัฒนาท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ โดยได้นำกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์มาประยุกต์ใช้ เพื่อวิเคราะห์การจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีการให้บริการตนเองที่ควรได้รับการพัฒนาหรือนำมาใช้ตามลำดับความสำคัญ โดยพิจารณาจากหลายเกณฑ์ ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาเกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจที่ใช้ในการคัดเลือกโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

เพื่อจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ภายใต้หลายเกณฑ์

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. โครงการ Fast Travel

โครงการ Fast Travel เป็นโครงการที่สมาคมการขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศที่จะมีการนำเทคโนโลยีการให้บริการตนเองมาใช้ในอุตสาหกรรมการบิน และสร้างประสบการณ์การเดินทางที่ดีแก่ผู้โดยสารที่มาใช้บริการ โดยมีการแบ่งโครงการออกมาเป็น 6 ด้าน (IATA, 2015) ดังนี้

การเช็คอินด้วยตนเอง (self check-in) ซึ่งการเช็คอินด้วยตนเองนั้นใช้สถานที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับรูปแบบการเช็คอินที่เคาน์เตอร์เช็คอิน ซึ่งสามารถทำได้โดยช่องทางต่อไปนี้ เครื่องอัตโนมัติ คีออสก์ (ตู้ให้บริการทั่วไป) เว็บไซต์และการเช็คอินผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน

การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง (self bags ready-to-Go) เป็นการที่ผู้โดยสารติดแท็กกระเป๋าด้วยตนเอง และทำการโหลดสัมภาระด้วยตนเอง

การตรวจสอบเอกสารด้วยตนเอง (self document check) โดยให้ผู้โดยสารสแกนเอกสารเดินทางด้วยตนเอง (หนังสือเดินทาง บัตรประชน ใบขับขี่ เป็นต้น) และตรวจสอบโดยอัตโนมัติว่าข้อมูลเอกสารการเดินทางมีความสอดคล้องกับปลายทางหรือข้อกำหนดการขนส่ง

การเปลี่ยนแปลงการจองเที่ยวบินด้วยตนเอง (self flight rebooking) ในกรณีที่เกิดการหยุดชะงัก สาเหตุมาจากเที่ยวบินยกเลิกหรือล่าช้า ผู้โดยสารสามารถจะทำการจองเที่ยวบินซ้ำอีกครั้งและรับตัวเลือกการจองใหม่ที่ได้โดยผ่านช่องทางการบริการตนเอง ผ่านตู้คีออสก์ เว็บไซต์ และแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ

การขึ้นเครื่องบินด้วยตนเอง (self boarding) โดยให้ผู้โดยสารสแกนบัตรผ่านขึ้นเครื่องบินของตนเองที่ประตูเพื่อเข้าสู่เครื่องบิน

การติดตามสัมภาระด้วยตนเอง (self Bag recovery) โดยให้ผู้โดยสารตรวจสอบสัมภาระที่สูญหายผ่านการลงทะเบียนโดยใช้ช่องทางการบริการตนเอง ผ่านตู้คีออสก์ เว็บไซต์ และแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ

โดยมี 3 โครงการที่ถือว่ามีความสำคัญที่สุด ได้แก่ (1) การเช็คอินด้วยตนเอง (self check-in) (2) การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง (self bags ready-to-Go) และ (3) การเปลี่ยนแปลงการจองเที่ยวบินด้วยตนเอง (self flight rebooking) แต่การเริ่มต้นโครงการ Fast Travel ยังพบอุปสรรคปัญหาอยู่เนื่องจากกฎระเบียบของสนามบินในบางประเทศ นอกจากนี้การจัดสรรทรัพยากรด้านเวลาในการติดตั้งอุปกรณ์ที่ยังต้องใช้เวลา แต่จากรายงานของ IATA (2015) พบว่าสนามบินมีความเต็มใจที่จะติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการนำเทคโนโลยีการให้บริการตนเองมากขึ้น

2. เกณฑ์ที่ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญสำหรับเทคโนโลยีการให้บริการตนเองของโครงการ Fast Travel

จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองที่ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีการให้บริการตนเองของโครงการ Fast Travel ได้ ดังนี้

เกณฑ์ด้านสมรรถนะทางเทคโนโลยี ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 3 เกณฑ์ คือ (1) ความปลอดภัย (Wonghiriwat & Suthammasapa, 2008; Wongchaipawatt & Theeranuphattana, 2015; Xu et al., 2008; Natarajan et al., 2010; Demirtaş et al., 2014; Komlan et al., 2016; Rajak & Shaw, 2019) (2) ความน่าเชื่อถือ (Demirtaş et al., 2014) และ (3) ความเร็วในการทำงาน (Demirtaş et al., 2014; Rajak & Shaw, 2019; Gures et al., 2018)

เกณฑ์ด้านเทคนิค ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 4 เกณฑ์ คือ (1) ความเข้ากันได้กับระบบเดิมที่มีอยู่ (Wonghiriwat & Suthammasapa, 2008; Zhang et al., 2008; Si et al., 2016; Rajak & Shaw, 2019) (2) ความเชื่อถือได้ (Wongchaipawatt & Theeranuphattana, 2015; Habib et al., 2009; Si et al., 2016) (3) ประสิทธิภาพ (Si et al., 2016) และ (4) ความคงทน (Meade & Presley, 2002; Si et al., 2016; Habib et al., 2009)

เกณฑ์ด้านความเสี่ยง ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 3 เกณฑ์ คือ (1) ความเสี่ยงทางการเงิน (Coldrick et al., 2005; Natarajan et al., 2010; Komlan et al., 2016) (2) ความเสี่ยงทางเทคนิค (Coldrick et al., 2005; Lawson et al., 2006; Shen et al., 2010) และ (3) ปัญหาทางเทคนิค (Wonghiriwat & Suthammasapa,2008; Shen et al., 2010)

เกณฑ์ด้านการเงิน ประกอบด้วยเกณฑ์รองจำนวน 4 เกณฑ์ คือ (1) ราคา (Titichattawong, 2014; Demirtaş et al., 2014; Komlan et al., 2016; Si et al., 2016) (2) แรงจูงใจทางการเงิน (Si et al., 2016) (3) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Wonghiriwat & Suthammasapa, 2008; Titichattawong, 2014; Xu et al., 2008; Si et al., 2016)

และ (4) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Wongchaipawatt & Theeranuphattana, 2015; Si et al., 2016)

เกณฑ์ด้านผลกระทบทางธุรกิจ ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 4 เกณฑ์ คือ (1) ผลประโยชน์ทางกลยุทธ์ของเทคโนโลยีต่อองค์กร (Mohanty et al., 2005; Habib et al., 2009) (2) ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการจากระบบเดิม (Meade & Presley, 2002; Mohanty et al., 2005; Coldrick et al., 2005; Shen et al., 2010; Zhang et al., 2008; Habib et al, 2009) (3) ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการรายใหม่ (Meade & Presley, 2002; Mohanty et al., 2005; Coldrick et al., 2005; Shen et al., 2010; Zhang et al., 2008; Habib et al., 2009) และ (4) การสร้างคุณค่าให้กับผู้ใช้บริการ (Mozaffari et al., 2012; Si et al., 2016)

3. กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process--AHP)

AHP หรือ Analytic Hierarchy Process หรือกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ซึ่งคิดค้นโดย Dr. Thomas L. Saaty เป็นกระบวนการที่ช่วยในการตัดสินใจ สำหรับหลักการ AHP มีหลักการอยู่ 3 ข้อ (Tansirikhongkon, 2014; Aumnuaiworachai et al., 2022) ดังต่อไปนี้

1. หลักการสร้างแผนภูมิลำดับชั้น (hierarchy) AHP เลียนแบบกระบวนการตัดสินใจทางธรรมชาติของมนุษย์โดยการแบ่งองค์ประกอบของปัญหาทั้งมีเป็นรูปธรรมและนามธรรมออกมาเป็นส่วน ๆ แล้วจัดแจงใหม่ให้อยู่ในรูปของแผนภูมิลำดับชั้น

2. หลักการจัดลำดับความสำคัญ (priority) AHP วินิจฉัยเชื่อมโยงปัจจัยต่าง ๆ เข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม ถ้าเป็นปัจจัยที่มีข้อมูลตัวเลขที่อ้างอิงได้น่าเชื่อถือ ก็ใช้ตัวเลขนั้นเปรียบเทียบโดยตรงแล้วคำนวณออกมาในรูปของลำดับความสำคัญ แต่ถ้าปัจจัยนั้นไม่มีข้อมูลตัวเลขอ้างอิงหรือเป็นนามธรรมก็สามารถกำหนดค่าวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นตัวเลขแล้วสังเคราะห์ตัวเลขที่ได้จากการวินิจฉัยนั้นออกมาในรูปลำดับความสำคัญ

3. หลักการความสอดคล้องกันของเหตุผล (consistency) AHP ตรวจสอบตัวเลขที่ได้จากลำดับความสำคัญว่าสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่

สำหรับกระบวนการสร้าง AHP มีกระบวนการทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสร้างแผนภูมิ เป็นการแยกแยะความคิดของมนุษย์ออกเป็นลำดับชั้นจากลำดับชั้นบนสู่ลำดับชั้นล่างในรูปแบบที่เป็น Top Down ลำดับชั้นบนคือเป้าหมายหรือปัญหา เป็นจุดโฟกัส ซึ่งจะมีเพียงแค่ปัจจัยเดียวเท่านั้น ส่วนลำดับชั้นที่ 2 อาจจะมีหลายปัจจัยขึ้นอยู่กับแผนภูมินั้นมีทั้งหมดกี่ลำดับชั้น ถ้าแผนภูมิมีมากกว่า 3 ลำดับชั้น จำนวนปัจจัยในลำดับชั้นควรมีไม่เกิน 3 ปัจจัย แต่ถ้าแผนภูมิมีแค่ 3 ลำดับชั้น จำนวนปัจจัยในลำดับชั้นนี้ก็อาจมีมากถึง 9 ปัจจัย ตั้งแต่ลำดับชั้นที่ 3 ลงมาจะมีจำนวนปัจจัยเท่าไรก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าผู้วิจัยมีข้อมูลหรือประสบการณ์และความชำนาญเพียงพอในการกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ขึ้นมาหรือไม่ ที่สำคัญที่สุด ปัจจัยต่าง ๆ ในลำดับชั้นเดียวกันต้องมีความสำคัญทัดเทียมกัน ถ้าเกิดมีความสำคัญแตกต่างกันมากก็ควรจะแยกแยะเอาปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยกว่าลงไปไว้ในลำดับขั้นที่อยู่ถัดลงไป

2. หลักการจัดลำดับความสำคัญ โดยใช้หลักการ AHP ในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ ดังนี้

2.1 นำปัจจัยมาเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ จนครบทุกคู่ โดยเริ่มต้นจากบนลงล่างของแผนภูมิ จำนวนคู่ที่ต้องใช้เปรียบเทียบเท่ากับ $\frac{n^2-n}{2}$

2.2 กำหนดวลีในการเปรียบเทียบที่เหมาะสมกับลักษณะของปัจจัย

2.3 กำหนดตัวเลข 1-9 แทนวลีในการเปรียบเทียบ สำหรับ AHP กำหนดตัวเลข 1-9 ให้เป็นมาตรวัดเกี่ยวกับการวินิจฉัยเปรียบเทียบสิ่งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม สำหรับมาตรส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบของ AHP เป็น ดังนี้

1	สำคัญเท่ากัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด

2 4 6 และ 8 สำหรับในกรณีประนีประนอมเพื่อลดช่องว่างระหว่างระดับความรู้สึก

2.4 นำค่าเปรียบเทียบของปัจจัยแต่ละคู่มาใส่ไว้ในตารางเปรียบเทียบในรูปของตารางเมตริกซ์ ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

โดยที่ aij คือ สมาชิกในแถวที่ i หลักที่ j ของเมตริกซ์ หมายถึงผลการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัย ai และ aj

2.5 การคำนวณหาค่าลำดับความสำคัญ ลำดับความสำคัญเกิดขึ้นจากการนำผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ของทุกคู่ในตารางเมตริกซ์มาสังเคราะห์

3. หลักการความสอดคล้องกันของเหตุผล โดยจะมีตัวแสดงค่าที่เกี่ยวกับการคำนวณหาความสอดคล้องด้วยกัน 5 ตัว คือ λmax, n, CI, RI, CR โดยใช้ค่า λmax เพื่อคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index--CI) ดังนี้

$$CI = \frac{\lambda_{max} - 1}{n - 1} \quad (2)$$

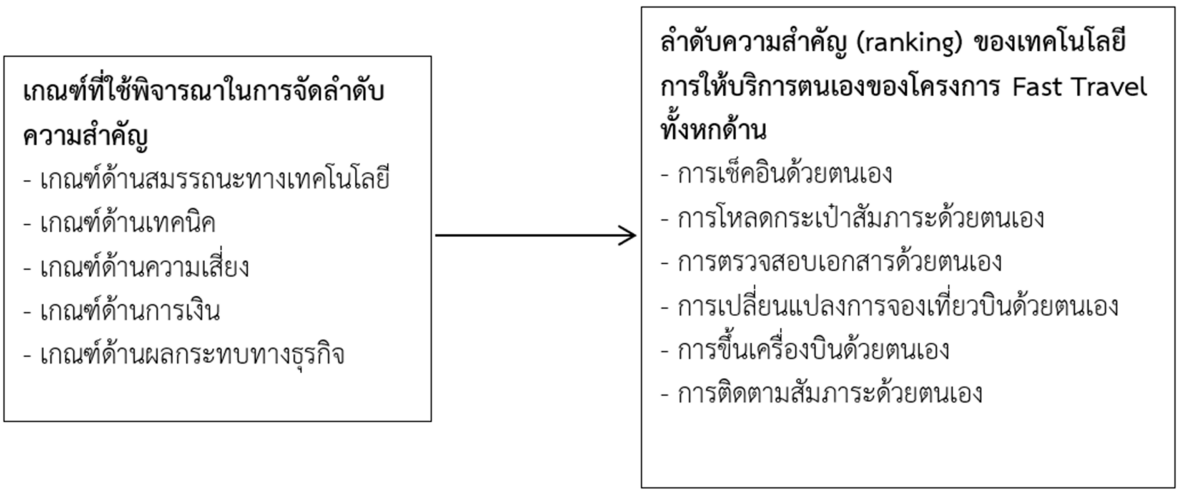
โดยที่ *n* คือ ขนาดของเมตริกซ์ การเปรียบเทียบว่าสมเหตุสมผลเราจะใช้การคำนวณอัตราส่วนความสมเหตุสมผล (Consistency Ratio--CR) ดังนี้

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

โดย *RI* (Random Consistency Index) คือดัชนีความสมเหตุสมผลเชิงสุ่ม

ถ้าค่า CR≤0.10 หรือ 10% ถือว่าการเปรียบเทียบรายคู่นั้นมีความสอดคล้องกันของเหตุผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำผลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามไปทำการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ได้ แต่ถ้าค่า CR>0.10 หรือ 10% จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ ผู้วิจัยจะต้องทำการทบทวนการให้คะแนนเปรียบเทียบปัจจัยและการจัดลำดับความสำคัญในการเปรียบเทียบทีละคู่ใหม่

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

เกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจที่ใช้ในการคัดเลือกโครงการ Fast Travel เพื่อพัฒนาท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ ได้แก่ ด้านสมรรถนะทางเทคโนโลยี ด้านเทคนิค ด้านความเสี่ยง ด้านการเงิน ด้านผลกระทบทางธุรกิจ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process--AHP) สำหรับขอบเขตของการศึกษาเกี่ยวกับโครงการ Fast Travel ประกอบด้วยโครงการ 6 โครงการ ได้แก่ (1) การเช็คอินด้วยตนเอง (2) การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง (3) การตรวจสอบเอกสารด้วยตนเอง (4) การเปลี่ยนแปลงการจองเที่ยวบินด้วยตนเอง (5) การขึ้นเครื่องบินด้วยตนเอง และ (6) การติดตามสัมภาระด้วยตนเอง เกณฑ์ที่ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel โดยประกอบด้วย 5 เกณฑ์หลัก ได้แก่ (1) ด้านสมรรถนะทางเทคโนโลยี (2) ด้านเทคนิค (3) ด้านความเสี่ยง (4) ด้านการเงิน (5) ด้านผลกระทบทางธุรกิจ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ประกอบด้วย ผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ จำนวน 40 คน

กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 36 คน โดยใช้การคำนวนกลุ่มตัวอย่างจากสูตรของทาโร ยามาเน่ (Yamane, 1973) ประกอบด้วย และใช้การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิตามตำแหน่งงาน ซึ่งแบ่งเป็น

ผู้บริหารเกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสารในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ จำนวน 5 คน

ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ จำนวน 31 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยสร้างขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผล โดยมีเครื่องมือ ดังนี้

1. แบบสอบถามเพื่อศึกษาเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมเพื่อใช้ในการตัดสินใจการเลือกโครงการ Fast Travel โดยแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ตอน ประกอบด้วย (1) ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (2) ตอนที่ 2 ข้อคำถามเกี่ยวกับเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel และ (3) ตอนที่ 3 ข้อคำถามเกี่ยวกับระดับความต้องการจำเป็นในการใช้เทคโนโลยีการให้บริการตนเองของโครงการ Fast Travel

2. แบบสอบถามความคิดเห็น ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและความสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของผู้บริหารและผู้เชี่ยวชาญ นำเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองที่ได้มากำหนดกรอบแนวคิดในการสร้างตัวแบบโครงสร้างของแผนภูมิตามลำดับ และนำไปใช้ในการสร้างแบบสอบถาม เพื่อเก็บข้อมูลโดยการเปรียบเทียบเชิงคู่ และจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ตามกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

จัดทำหนังสือส่งออก เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และดำเนินการจัดส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์/ช่องทางออนไลน์

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ ดังนี้

การวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ความถี่ และร้อยละ

การศึกษาเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel และระดับความต้องการจำเป็นในการใช้เทคโนโลยีบริการตนเองของโครงการ Fast Travel ใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สถิติอนุมาน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยมีสูตรการคำนวณ (Forthofer et al., 2007; Angsuchoti, n.d.) ดังนี้

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \qquad (4)$$

โดยมีเกณฑ์การแปลผลช่วงคะแนนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (LaMorte, 2021) ดังนี้

$0.80 \le r \le 1.00$ มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับมากที่สุด

$0.60 \le r \le 0.79$ มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับมาก

$0.40 \le r \le 0.59$ มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับปานกลาง

$0.20 \le r \le 0.39$ มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับน้อย

$0.00 \le r \le 0.19$ มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับน้อยที่สุดหรือไม่สัมพันธ์กัน

$-0.19 \le r \le 0.00$ มีความสัมพันธ์กันทางลบในระดับน้อยที่สุดหรือไม่สัมพันธ์กัน

$-0.39 \le r \le -0.20$ มีความสัมพันธ์กันทางลบในระดับน้อย

$-0.59 \le r \le -0.40$ มีความสัมพันธ์กันทางลบในระดับปานกลาง

$-0.79 \le r \le -0.60$ มีความสัมพันธ์กันทางลบในระดับมาก

$-1.00 \le r \le -0.80$ มีความสัมพันธ์กันทางลบในระดับมากที่สุด

การทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันใช้สถิติทดสอบ t (t-test) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}, \quad df = n - 2 \qquad (5)$$

3. ศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Saaty, 1980; Tansirikhongkon, 2014; Aumnuaiworachai et al., 2022) โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 กำหนดปัญหาหรือเป้าหมายหรือวิสัยทัศน์

3.2 สร้างแผนภูมิลำดับชั้นหรือแบบจำลองของการตัดสินใจ โดยประกอบด้วยเป้าหมายและส่วนประกอบปัจจัยเพื่อเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลมากกว่า

3.3 สร้างเมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสำคัญโดยการเปรียบเทียบทีละคู่ (ขนาด n x n)

3.4 คำนวณน้ำหนักของเกณฑ์การประเมิน

3.5 การตรวจสอบความสมเหตุสมผล

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสารในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ จำนวน 36 คน จำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามเพื่อศึกษาเกณฑ์หลักและเกณฑ์รอง และทำการวิเคราะห์ผลจนได้ข้อสรุป ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีทั้งเพศชายและหญิงเท่ากัน คือ เพศชาย 18 คน และเพศหญิง 18 คน ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 40–49 ปี จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 41.67 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี จำนวน 34 คน คิดเป็นร้อยละ 94.44 และส่วนใหญ่มีอายุการทำงานกับท่าอากาศยานในช่วง 5-10 ปี จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 41.67 ดังแสดงในตาราง 1

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเกณฑ์หลักสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast จำนวน 5 เกณฑ์ ได้แก่ (1) ด้านสมรรถนะทางเทคโนโลยี (2) ด้านเทคนิค (3) ด้านความเสี่ยง (4) ด้านการเงิน และ (5) ด้านผลกระทบทางธุรกิจ และเกณฑ์รองสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel จำนวน 18 เกณฑ์ พบว่า เกณฑ์หลักและเกณฑ์รองสำหรับการจัดลำดับในทุกเกณฑ์อยู่ในระดับเหมาะสมมากและระดับความต้องการจำเป็นในการใช้เทคโนโลยีบริการตนเองของโครงการ Fast Travel จำนวน 6 โครงการ ได้แก่ (1) การเช็คอินด้วยตนเอง (2) การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง (3) การตรวจสอบเอกสารด้วยตนเอง (4) การเปลี่ยนแปลงการจองเที่ยวบินด้วยตนเอง (5) การขึ้นเครื่องบินด้วยตนเอง และ (6) การติดตามสัมภาระด้วยตนเอง ทั้งผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ มีระดับความต้องการจำเป็นอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด โดยโครงการที่ระดับความต้องการสูงสุด ได้แก่ การเช็คอินด้วยตนเอง

3. ผลการวิเคราะห์ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองสำหรับการจัดลำดับความสำคัญ

ของโครงการ Fast Travel กับระดับความต้องการจำเป็นในการใช้เทคโนโลยีบริการตนเองของโครงการ Fast Travel ดังตาราง 2 พบว่า เกณฑ์หลักและเกณฑ์รองที่มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับน้อยถึงระดับมาก และเมื่อทำการทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันพบว่ามีเกณฑ์หลัก 5 เกณฑ์และเกณฑ์รอง 16 เกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และมีความเหมาะสมจะนำไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel ดังนี้

3.1 เกณฑ์ด้านสมรรถนะทางเทคโนโลยี ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 3 เกณฑ์ คือ (1) ความปลอดภัย (2) ความน่าเชื่อถือ และ (3) ความเร็วในการทำงาน

3.2 เกณฑ์ด้านเทคนิค ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 2 เกณฑ์ คือ (1) ความเข้ากันได้กับระบบเดิมที่มีอยู่ และ (2) ความคงทน

3.3 เกณฑ์ด้านความเสี่ยง ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 3 เกณฑ์ คือ (1) ความเสี่ยงทางการเงิน (2) ความเสี่ยงทางเทคนิค และ (3) ปัญหาทางเทคนิค

3.4 เกณฑ์ด้านการเงิน ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 4 เกณฑ์ คือ (1) ราคา (2) แรงจูงใจทางการเงิน (3) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และ (4) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

3.5 เกณฑ์ด้านผลกระทบทางธุรกิจ ประกอบด้วยเกณฑ์รอง จำนวน 4 เกณฑ์ คือ (1) ผลประโยชน์ทางกลยุทธ์ของเทคโนโลยีต่อองค์กร (2) ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการจากระบบเดิม (3) ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการรายใหม่ และ (4) การสร้างคุณค่าให้กับผู้ใช้บริการ

ตาราง 1

จำนวนและร้อยละผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ จำแนกตาม เพศ อายุ ระดับการศึกษา ตำแหน่งงาน และ ประสบการณ์ในการทำงานของการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 (n = 36)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. เพศ		
ชาย	18	50.00
หญิง	18	50.00
2. อายุ		
ต่ำกว่า 30 ปี	3	8.33
30 – 39 ปี	13	36.11
40 - 49 ปี	15	41.67
50 ปี ขึ้นไป	5	13.89
3. ระดับการศึกษา		
ปริญญาตรี	34	94.44
ปริญญาโท	2	5.56
4. ตำแหน่งงาน		
พนักงานระดับปฏิบัติการ	31	86.11
ผู้บริหารระดับสูง	5	13.89

ตาราง 1 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
5. ประสบการณ์ในการทำงาน		
5–10 ปี	15	41.67
11–15 ปี	7	19.44
16–20 ปี	9	25.00
มากกว่า 20 ปี	5	13.89

ตาราง 2

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel กับระดับความต้องการจำเป็นในการใช้เทคโนโลยีบริการตนเองของโครงการ Fast Travel

เกณฑ์หลักและเกณฑ์รองสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel	r	Sig.	แปลผล
1. เกณฑ์ด้านสมรรถนะทางเทคโนโลยี	0.473**	.004	ปานกลาง
1.1 ความปลอดภัย (security)	0.494**	.002	ปานกลาง
1.2 ความน่าเชื่อถือ (credibility)	0.457**	.005	ปานกลาง
1.3 ความเร็วในการทำงาน (speed of working)	0.412*	.013	ปานกลาง
2. เกณฑ์ด้านเทคนิค	0.369*	.027	น้อย
2.1 ความเข้ากันได้กับระบบเดิมที่มีอยู่ (compatibility)	0.418**	.011	ปานกลาง
2.2 ความเชื่อถือได้ (reliability)	0.273	.107	น้อย
2.3 ประสิทธิภาพ (efficiency)	0.285	.093	น้อย
2.4 ความคงทน (durability)	0.403*	.015	ปานกลาง
3. เกณฑ์ด้านความเสี่ยง	0.518**	.001	ปานกลาง
3.1 ความเสี่ยงทางการเงิน (financial risk)	0.375*	.024	น้อย
3.2 ความเสี่ยงทางเทคนิค (technical risk)	0.500**	.002	ปานกลาง
3.3 ปัญหาทางเทคนิค (technical difficulties)	0.593**	.000	ปานกลาง
4. เกณฑ์ด้านการเงิน	0.659**	.000	มาก
4.1 ราคา (cost)	0.559**	.000	ปานกลาง
4.2 แรงจูงใจทางการเงิน (financial incentives)	0.655**	.000	มาก
4.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (maintenance cost)	0.652**	.000	มาก
4.4 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (operating cost)	0.657**	.000	มาก
5. เกณฑ์ด้านผลกระทบทางธุรกิจ	0.686**	.000	มาก
5.1 ผลประโยชน์ทางกลยุทธ์ของเทคโนโลยีต่อองค์กร (strategic need)	0.671**	.000	มาก
5.2 ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการจากระบบเดิม (effect on existing market share)	0.630**	.000	มาก
5.3 ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการรายใหม่ (new market potential)	0.685**	.000	มาก
5.4 การสร้างคุณค่าให้กับผู้ใช้บริการ (value creation for customers)	0.685**	.000	มาก

* มีนัยสำคัญ .05 ** มีนัยสำคัญ .01

การเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งที่ 2 เป็นการรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามเพื่อศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ และทำการวิเคราะห์ผลจนได้ข้อสรุป ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 52.78 ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 40–49 ปี จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 41.67 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี จำนวน 34 คน คิดเป็นร้อยละ 94.44 และส่วนใหญ่มีอายุการทำงานกับท่าอากาศยานในช่วง 5-10 ปี จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 41.67 ดังแสดงในตาราง 3

2. เกณฑ์หลักที่มีน้ำหนักความสำคัญสูงสุด คือ ด้านเทคนิค โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.303 รองลงมา ได้แก่ ด้านการเงิน โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.247 ดังตาราง 4 ในขณะที่ พบว่า น้ำหนักความสำคัญและลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจรองที่มีค่าน้ำหนักสูงสุด ได้แก่ ความเข้ากันได้กับระบบเดิม และความคงทน โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.152 รองลงมาได้แก่ ราคา โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญ เท่ากับ 0.072 ดังแสดงตาราง 5

3. ค่าน้ำหนักความสำคัญของการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel พบว่า กลุ่มตัวอย่างผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสารในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่เห็นว่าเทคโนโลยีของโครงการ Fast Travel ที่ควรได้รับการพัฒนามากที่สุด คือ การเช็คอินด้วยตนเอง โดยมีน้ำหนักความสำคัญรวมสูงสุด เท่ากับ 0.262 รองลงมาได้แก่ การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญรวมเท่ากับ 0.154 และอันดับที่ 3 ได้แก่ การตรวจสอบเอกสารด้วยตนเอง โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญรวมเท่ากับ 0.133 ดังตาราง 6

ตาราง 3

จำนวนและร้อยละผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ จำแนกตาม เพศ อายุ ระดับการศึกษา ตำแหน่งงาน และ ประสบการณ์ในการทำงานของการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 (n = 36)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. เพศ		
ชาย	19	52.78
หญิง	17	47.22
2. อายุ		
ต่ำกว่า 30 ปี	2	5.56
30 – 39 ปี	14	38.89
40 - 49 ปี	15	41.67
50 ปี ขึ้นไป	5	13.89
3. ระดับการศึกษา		
ปริญญาตรี	34	94.44
ปริญญาโท	2	5.56

ตาราง 3 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
4. ตำแหน่งงาน		
พนักงานระดับปฏิบัติการ	31	86.11
ผู้บริหารระดับสูง	5	13.89
5. ประสบการณ์ในการทำงาน		
5–10 ปี	15	41.67
11–15 ปี	8	22.22
16–20 ปี	8	22.22
มากกว่า 20 ปี	5	13.89

ตาราง 4

น้ำหนักความสำคัญและลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจของการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel ตามกลุ่มตัวอย่างผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสารในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

เกณฑ์การตัดสินใจหลัก	น้ำหนักความสำคัญ	ลำดับความสำคัญ
ด้านสมรรถนะทางเทคโนโลยี	0.131	5
ด้านเทคนิค	0.303	1
ด้านความเสี่ยง	0.146	3
ด้านการเงิน	0.247	2
ด้านผลกระทบทางธุรกิจ	0.173	4

ตาราง 5

น้ำหนักความสำคัญและลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจรองสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel ตามกลุ่มตัวอย่างผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสารในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

เกณฑ์การตัดสินใจรอง	น้ำหนักความสำคัญ	ลำดับความสำคัญ
1. ความปลอดภัย	0.060	5
2. ความน่าเชื่อถือ	0.022	12
3. ความเร็วในการทำงาน	0.048	9
4. ความเข้ากันได้กับระบบเดิมที่มีอยู่	0.152	1
5. ความคงทน	0.152	1
6. ความเสี่ยงทางการเงิน	0.057	6

ตาราง 5 (ต่อ)

เกณฑ์การตัดสินใจรอง	น้ำหนักความสำคัญ	ลำดับความสำคัญ
7. ความเสี่ยงทางเทคนิค	0.060	5
8. ปัญหาทางเทคนิค	0.029	11
9. ราคา	0.072	2
10. แรงจูงใจทางการเงิน	0.066	4
11. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	0.049	8
12. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	0.067	3
13. ผลประโยชน์ทางกลยุทธ์ของเทคโนโลยีต่อองค์กร	0.056	7
14. ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการจากระบบเดิม	0.039	10
15. ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการรายใหม่	0.039	10
16. การสร้างคุณค่าให้กับผู้ใช้บริการ	0.039	10

ตาราง 6

น้ำหนักความสำคัญและลำดับความสำคัญของการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel ตามกลุ่มตัวอย่างผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสารในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

เกณฑ์การตัดสินใจรอง	น้ำหนักความสำคัญรวม	น้ำหนักความสำคัญ					
		การเช็คอินด้วยตนเอง	การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง	การตรวจสอบเอกสารด้วยตนเอง	การเปลี่ยนแปลงเที่ยวบินด้วยตนเอง	การขึ้นเครื่องด้วยตนเอง	การติดตามสัมภาระด้วยตนเอง
1. ความปลอดภัย	0.060	0.343	0.203	0.175	0.133	0.070	0.076
2. ความน่าเชื่อถือ	0.022	0.341	0.189	0.190	0.092	0.099	0.089
3. ความเร็วในการทำงาน	0.048	0.341	0.122	0.147	0.150	0.125	0.115
4. ความเข้ากันได้กับระบบเดิมที่มีอยู่	0.152	0.322	0.142	0.163	0.137	0.125	0.111
5. ความคงทน	0.152	0.337	0.228	0.162	0.101	0.090	0.082
6. ความเสี่ยงทางการเงิน	0.057	0.113	0.119	0.119	0.284	0.271	0.094
7. ความเสี่ยงทางเทคนิค	0.060	0.128	0.237	0.104	0.265	0.136	0.130

ตาราง 6 (ต่อ)

เกณฑ์การตัดสินใจรอง	น้ำหนักความสำคัญรวม	น้ำหนักความสำคัญ					
		การเช็คอินด้วยตนเอง	การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง	การตรวจสอบเอกสารด้วยตนเอง	การเปลี่ยนแปลงเที่ยวบินด้วยตนเอง	การขึ้นเครื่องด้วยตนเอง	การติดตามสัมภาระด้วยตนเอง
8. ปัญหาทางเทคนิค	0.029	0.270	0.101	0.175	0.187	0.129	0.138
9. ราคา	0.072	0.318	0.173	0.153	0.129	0.119	0.108
10. แรงจูงใจทางการเงิน	0.066	0.375	0.179	0.205	0.102	0.084	0.055
11. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	0.049	0.368	0.234	0.156	0.104	0.069	0.069
12. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	0.067	0.411	0.186	0.137	0.113	0.095	0.058
13. ผลประโยชน์ทางกลยุทธ์ของเทคโนโลยีต่อองค์กร	0.056	0.309	0.131	0.186	0.211	0.083	0.080
14. ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการจากระบบเดิม	0.039	0.300	0.229	0.121	0.158	0.114	0.078
15. ศักยภาพในการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการรายใหม่	0.039	0.360	0.253	0.168	0.072	0.083	0.064
16. การสร้างคุณค่าให้กับผู้ใช้บริการ	0.039	0.347	0.203	0.173	0.118	0.102	0.057
น้ำหนักความสำคัญรวม (overall priority weight)		**0.262**	**0.154**	**0.133**	**0.124**	**0.094**	**0.074**
ลำดับความสำคัญ (ranking)		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**

การอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง การจัดลำดับความสำคัญคัดเลือกโครงการ Fast Travel เพื่อการพัฒนาท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. จากผลการวิจัยเกี่ยวกับเกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจที่ใช้ในการคัดเลือกโครงการ Fast Travel เพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ พบว่าผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร ในกระบวนการเดินทางของผู้โดยสาร ณ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่พบว่าเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel ประกอบด้วยเกณฑ์หลัก 5 หลักเกณฑ์และเกณฑ์รอง 16 หลักเกณฑ์ และเมื่อทำการศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองที่ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ Fast Travel พบว่า เกณฑ์หลักที่มีน้ำหนักความสำคัญสูงสุด คือ ด้านเทคนิค ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hanine et al. (2016) ที่ศึกษาวิจัยเรื่อง Application of an integrated multi criteria decision making AHP

TOPSIS methodology for ETL software selection โดยเกณฑ์ด้านเทคนิคการทำงานเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกซอฟต์แวร์ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rajak and Shaw (2019) ที่ศึกษาวิจัยเรื่อง Evaluation and selection of mobile health (mHealth) applications using AHP and fuzzy TOPSIS ได้ใช้เกณฑ์ด้านเทคนิคมาช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้ mHealth และเมื่อพิจารณาถึงลำดับความสำคัญของเกณฑ์รองพบว่า ค่าน้ำหนักที่มีความสำคัญที่สุดมี 2 ประเด็น คือ ความเข้ากันได้กับระบบเดิมที่มีอยู่และความคงทน เนื่องจากเกณฑ์ดังกล่าวที่ทั้งผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสารให้ความสำคัญอาจเนื่องมาจากถ้ามีการนำระบบใหม่มาใช้เลยการปรับตัวของผู้ใช้งานอาจเป็นเรื่องยากและต้นทุนในการวางระบบใหม่อาจจะไม่คุ้มค่า

2. จากผลการคัดเลือกเทคโนโลยีของโครงการ Fast Travel ที่ผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร เห็นว่าควรได้รับการพัฒนามากที่สุด คือ การเช็คอินด้วยตนเอง ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวนี้จะสามารถช่วยแก้ปัญหาให้ผู้โดยสารไม่ต้องรอคิวนาน สามารถควบคุมการเดินทางได้ดีขึ้นและสะดวกสบายยิ่งขึ้น และยังแก้ปัญหาให้กับสนามบินที่จะสามารถลดต้นทุนในการดำเนินงาน ลดพื้นที่แออัด รวมทั้งแก้ปัญหาให้กับสายการบินที่จะสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้ และเทคโนโลยีของโครงการ Fast Travel ที่Travel ที่ผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการให้บริการผู้โดยสาร เห็นว่าควรได้รับการพัฒนารองลงมาได้แก่ การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวนี้จะสามารถช่วยแก้ปัญหาให้ทั้งผู้โดยสารที่ไม่ต้องรอคิวในโหลดสัมภาระ สามารถควบคุมเวลาในการเดินทางได้ รวมทั้งยังทำให้สนามบินและสายการบินลดต้นทุนในการดำเนินงานได้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อคัดเลือกโครงการ Fast Travel มาใช้ในการพัฒนาท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ ภายใต้หลายเกณฑ์ โดยผลการวิจัยพบว่าโครงการที่ควรได้รับการพัฒนาเป็น ดังนี้

อันดับที่ 1 การเช็คอินด้วยตนเอง
อันดับที่ 2 การโหลดกระเป๋าสัมภาระด้วยตนเอง
อันดับที่ 3 การตรวจสอบเอกสารด้วยตนเอง
อันดับที่ 4 การเปลี่ยนแปลงเที่ยวบินด้วยตนเอง
อันดับที่ 5 การขึ้นเครื่องด้วยตนเอง
อันดับที่ 6 การติดตามสัมภาระด้วยตนเอง

ทั้งนี้การคัดเลือกโครงการ Fast Travel เพื่อนำไปใช้ในการบริการในท่าอากาศยานอาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความพร้อมของผู้บริหาร ผู้ปฏิบัติงาน และระบบต่าง ๆ ภายในท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ ซึ่งข้อสรุปดังกล่าวเป็นการแนะนำทางเลือกที่ดีและแนวทางที่เป็นไปได้มากที่สุดเพื่อจะทำให้ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่สามารถรองรับเที่ยวบินและผู้โดยสารและยังเป็นไปตามการพัฒนาตามแผนแม่บทที่ต้องการมุ่งเน้นรักษาระดับการให้บริการ บรรเทาความแออัดภายในท่าอากาศยานได้

2. ข้อเสนอแนะงานวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาท่าอากาศยานอื่น ๆ ที่ยังไม่มีการพัฒนาหรือนำงานเทคโนโลยีการให้บริการตนเองของโครงการ Fast Travel มาใช้งาน

2.2 ควรมีการศึกษาเกณฑ์การตัดสินใจเพิ่มเติมเพื่อช่วยในการคัดเลือกเทคโนโลยีการให้บริการตนเองของโครงการ Fast Travel ในท่าอากาศยานอื่น ๆ

References

Airports of Thailand Public Co.,Ltd. (2020). *Annual report 2020*. Retrieved from https://corporate.airportthai.co.th/wp-content/uploads/2021/01/AnnualReport2020th.pdf (in Thai)

Angsuchoti, S. (n.d.). *Analyzing relationships between variables technique*. Retrieved from https://www.stou.ac.th/offices/ore/info/cae/uploads/pdf/636366560441132172.pdf (in Thai)

Aumnuaiworachai, A., Huangsuwan, S., & Noitonglek, K. (2022). Prioritization of factors affecting safety management efficiency of employee's work at Chiang Mai International Airport. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 16*(3), 92–103. (in Thai)

Coldrick, S., Longhurst, P., Ivey, P., & Hannis, J. (2005). An R&D options selection model for investment decisions. *Technovation, 25*(3), 185–193. doi: 10.1016/s0166-4972(03)00099-3

Demirtaş, N., Özgürler, Ş., Özgürler, M., & Güneri, A. F. (2014). Selecting e-purse smart card technology via Fuzzy AHP and ANP. *Journal of Applied Mathematics, 2014*(4), 1–14. doi: 10.1155/2014/619030.

Forthofer, Ronald N., Lee, Eun Sul., & Hermandez, M. (2007). *Biostatistics: A Guide to Design, Analysis, and Discovery* (2nd ed.). California: Elsevier Academic Press.

Gures, N., Inan, H., & Arslan, S. (2018). Assessing the self-service technology usage of Y-Generation in airline services. *Journal of Air Transport Management, 71*(1), 215–219. doi: 10.1016/j.jairtraman.2018.04.008

Hanine, M., Boutkhoum, O., Tikniouine , A., & Agouti, T. (2016). Application of an integrated multi-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. *SpringerPlus, 5*(263), 1-17.

Habib, M., Khan, R., & Piracha, J. L. (2009). Analytic network process applied to R&D project selection. *2009 International Conference on Information and Communication Technologies, 131*(4), 274–280. doi: 10.1109/icict.2009.5267179

IATA. (2015). *The IATA simplifying the business (StB) fast travel program*. Montreal: Hugh Best.

IATA. (2015). *Overcoming hurdles as Fast Travel moves forward apace*. Retrieved from https://airlines.iata.org/2015/06/03/overcoming-hurdles-fast-travel-moves-forward-apace

IATA. (2016). *Passenger processing: The benefits of fast travel*. Retrieved from https://www.internationalairportreview.com/article/23211/passenger-processing-benefits-fast-travel/

Komlan, G., Koffi, D., & Kingsford, K. M. (2016). MCDM technique to evaluating mobile banking adoption in the togolese banking industry based on the perceived value: perceived benefit and perceived sacrifice factors. *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process, 6*(3), 37-56. doi: 10.5121/ijdkp.2016.6304

Lawson, C. P., Longhurst, P. J., & Ivey, P. C. (2006). The application of a new research and development project selection model in SMEs. *Technovation, 26*(2), 242–250. doi: 10.1016/j.technovation.2004.07.017

Meade, L. M., & Presley, A. (2002). R&D project selection using the analytic network process. *IEEE Transactions on Engineering Management, 49*(1), 59–66. doi: 10.1109/17.985748.

Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K., & Tiwari, M. K. (2005). A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: A case study. *International Journal of Production Research, 43*(24), 5199–5216. doi: 10.1080/00207540500219031

Mozaffari, M. M., Piri, M., & Memarzade, M. (2012). Optimize technology selection using Fuzzy Delphi, Fuzzy AHP, and SIR.VIKOR. *American Journal of Scientific Research, 55*(2012), 23-41. https://bit.ly/41rRcYc

Natarajan, T., Arasu, B. S., & Manickavasagam, S. (2010). Customer's choice amongst Self Service Technology (SST) channels in retail banking: A study using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Internet Banking and Commerce, 15*(2), 1-16. https://bit.ly/41j18Tw

Rajak, M., & Shaw, K. (2019). Evaluation and selection of mobile health (mHealth) applications using AHP and fuzzy TOPSIS. *Technology in Society, 59(*11), 1-7. doi: 10.1016/j.techsoc.2019.101186

Saaty, T. (1980). *The analytical hierarchy process*. McGraw Hill: New York.

Shen, Y.-C., Chang, S.-H., Lin, G. T. R., & Yu, H.-C. (2010). A hybrid selection model for emerging technology. *Technological Forecasting and Social Change, 77*(1), 151–166. doi: 10.1016/j.techfore.2009.05.001

Si, J., Marjanovic-Halburd, L., Nasiri, F., & Bell, S. (2016). Assessment of building-integrated green technologies: A review and case study on applications of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method. *Sustainable Cities and Society, 27*(1), 106–115. doi: 10.1016/j.scs.2016.06.013

Staub, S., & Teber, S. (2015). Turkish air passenger characteristics and approach to self service applications provided by Turkish air transport corporations. *Social and Behavioral Sciences, 195* (2015), 32–41. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.168

Tansirikhongkon, V. (2014). *AHP Advanced decision making for organizational advancement and public well-being*. Bangkok: Chulalongkorn University Book Center. (in Thai)

Thailand Airport Hub. (2021). *Hat Yai Airport*. Retrieved from http://hatyai.thailandairportshub.com/th/category-view/airport-information (in Thai)

Titichattawong, R. (2014). *Prioritizing key importance factor for machine selection by analytic hierarchy process: A case study of jewelry factory* (Master's thesis). Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani. (in Thai)

Wongchaipawatt, P., & Theeranuphattana, A. (2015). Selection of cloud computing providers at Chiang Mai University by applying analytical hierarchy process. *AccBA Journal, 1*(3), 427–439. (in Thai)

Wonghiriwat, K., & Suthammasapa, J. (2008). *The application of AHP techniques to priortized of criteria and selected software for Government Housing Bank* (Master's thesis). Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi. (in Thai)

Xu, W. X., Xu, L., Liu, X. M., & Jones, J. D. (2008). A new approach to decision-making with key constraint and its application in enterprise information systems. *Enterprise Information Systems, 2*(3), 287–308. doi: 10.1080/17517570802302341.

Yamane, T. (1973). *Statistics: An introductory analysis* (3rd ed.). New York: Harper and Row Publications.

Zhang, J., Daim, T. U., Choi, B., & Phan, K. (2008). A multiple perspective model for technology assessment. *Journal of Technology Management in China, 3*(3), 264–278. doi: 10.1108/17468770810916177

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

เลขที่ 200 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ : 0-2577-1028 ต่อ 377, 378 โทรสาร : 0-2577-1053

www.eau.ac.th E-mail: eauheritage_sci@eau.ac.th

http://eauheritage.eau.ac.th/