



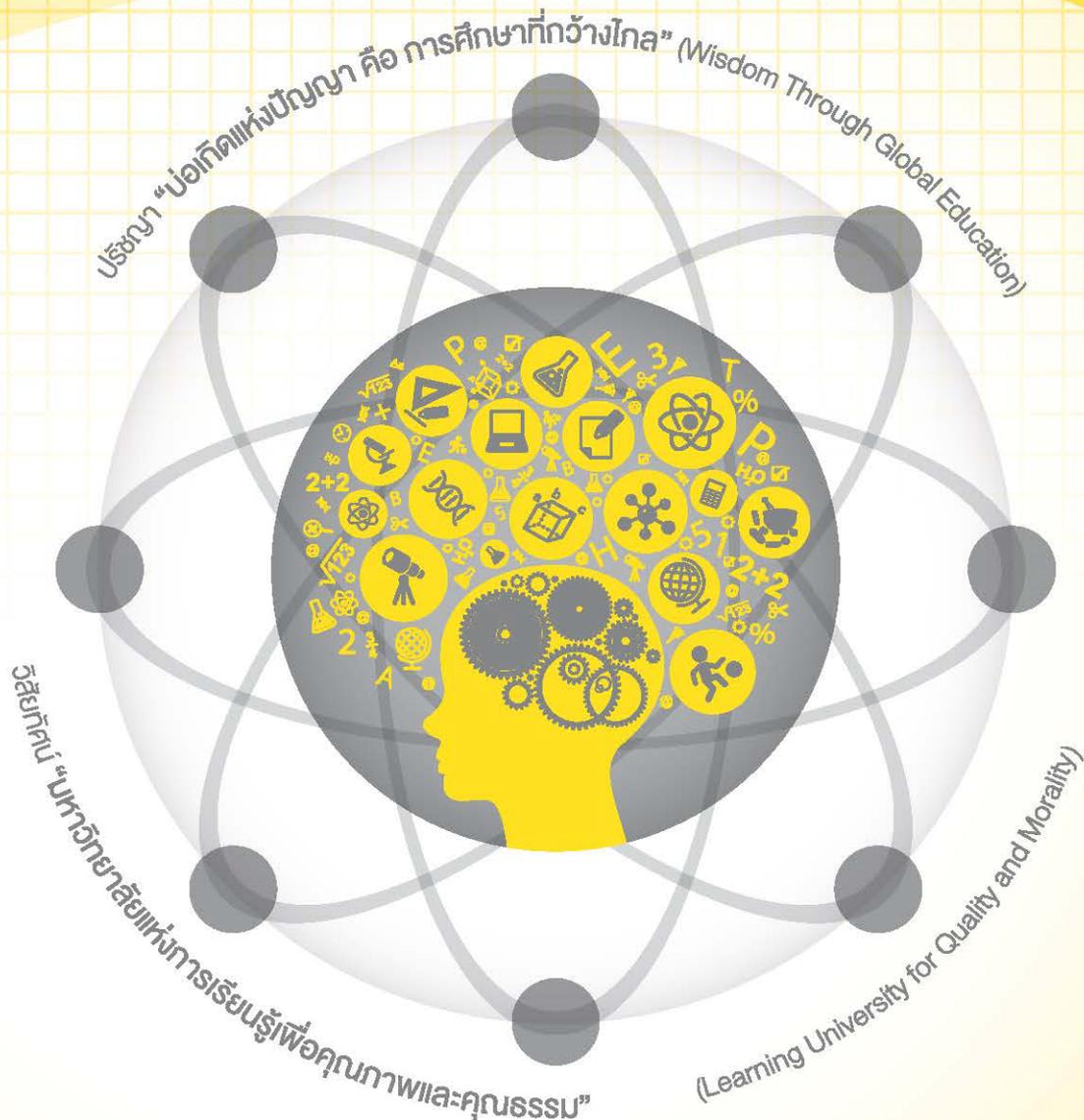
วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย  
EAU Heritage Journal

# ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Science and Technology

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม 2568 Vol. 19 No. 2 May-August 2025

ISSN 3027-7221 (Online)



## นโยบายการจัดพิมพ์

วารสาร EAU Heritage เป็นวารสารราย 4 เดือน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียจัดพิมพ์ขึ้นเพื่อเผยแพร่ความรู้ในสาขาวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษา ค้นคว้า และเปิดโอกาสให้นักศึกษา นักวิจัย คณาจารย์ ตลอดจนนักวิชาการทั่วไป ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานให้เป็นที่รู้จักต่อสาธารณชน และได้แลกเปลี่ยนความรู้ในวิทยาการด้านต่าง ๆ

## บทความที่เสนอเพื่อตีพิมพ์

บทความที่เสนอเพื่อพิจารณาต้องเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัยทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ เรื่องที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ ผ่านกระบวนการพิจารณา กลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาของบทความ เป็นการประเมิน Double Blind Review ที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อและสังกัดของกันและกัน และต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างพิจารณาในวารสารอื่น ๆ (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง) บทความที่ได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ และทำการปรับแก้เรียบร้อยแล้ว จึงจะได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ลงในวารสารฯ

## การเตรียมต้นฉบับ

ต้นฉบับที่เสนอเพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ ต้องมีรูปแบบดังต่อไปนี้

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

## การอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

ในกรณีที่ผู้เขียนต้องการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลในเรื่องให้ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนามปี (APA) โดยระบุชื่อผู้แต่ง ปีพิมพ์ และเลขหน้าที่ข้อมูลปรากฏอยู่ (ชื่อ นามสกุล, ปีพิมพ์, เลขหน้า) ตัวอย่างเช่น (รัชชชัย สันติวงษ์, 2540, น. 142)

(Fuchs, 2004, p. 21)

ส่วนการเขียนรายการอ้างอิงท้ายเล่ม ให้ใช้ระบบการอ้างอิงแบบ APA Style (6<sup>th</sup> edition) ตัวอย่างการเขียนรายการอ้างอิง มีดังนี้

### 1. หนังสือ

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

สำนักพิมพ์หรือหน่วยงานที่พิมพ์.

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

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

### 2. ชื่อบทในหนังสือรายงานการประชุม

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

สุไร พงษ์ทองเจริญ. (2539). สารสำคัญเกี่ยวกับการเรียนการสอนภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษา. ใน *เอกสารการสอนชุดวิชาการสอนภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 2, หน่วยที่ 9). นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

### 3. วารสาร

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

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

### 4. หนังสือพิมพ์

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

### 5. วิทยานิพนธ์

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

### 6. สารสนเทศจากอินเทอร์เน็ต

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

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

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

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

## สถานที่ติดต่อ

กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาคาร ชวน ชวนิชย์ ชั้น 4 ห้อง C423

200 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.รังสิต

อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: 0-2577-1028 ต่อ 378

e-mail address: [EAUHeritage\\_sci@EAU.ac.th](mailto:EAUHeritage_sci@EAU.ac.th),

[EAU\\_Heritage@EAU.ac.th](mailto:EAU_Heritage@EAU.ac.th)



วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

EAU Heritage Journal

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Science and Technology

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม 2568 Vol. 19 No. 2 May-August 2025

ISSN 3027-7221 (Online)

#### ความเป็นมา

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

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

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

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

#### วัตถุประสงค์

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

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

**ขอบเขตเนื้อหาการตีพิมพ์**

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

**ประเภทบทความที่รับ**

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

**กำหนดการเผยแพร่**

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

**การจัดพิมพ์**

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

**นโยบายการประเมินบทความ  
โดยผู้ทรงคุณวุฒิ**

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

โดยบทความจากบุคลากรภายใน จะได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด ส่วนบทความจากบุคลากรภายนอก จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด หรือจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกกร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

**ลิขสิทธิ์**

ข้อความภายในบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งหมด รวมถึงรูปภาพประกอบ ตาราง เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย การนำเนื้อหา ข้อความหรือข้อคิดเห็น รูปภาพ ตาราง ของบทความไปจัดพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบต่าง ๆ ต้องได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการวารสารอย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษร

ข้อความที่ปรากฏในบทความในวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย และคณาจารย์ บุคลากร ท่านอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยแต่อย่างใด

**แหล่งผลิต** กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

**เจ้าของ** มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

ที่ปรึกษา ดร.โชติรัส ชวนิชย์

อธิการบดี มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

บรรณาธิการ ดร.กัญจน์นิชา โภคอุดม

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

กองบรรณาธิการ ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุตินา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ พันเอกหญิง ดร.สุวิมล เสนีย์วงศ์ ณ อยุธยา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ แก้วปาน

มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร.นุจรี ไชยมงคล

มหาวิทยาลัยบูรพา

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญใจ ศรีสถิตนรากร

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชุตินาสกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิสา ชายเกลี้ยง

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.เพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญญพัฒน์ ไชยเมล์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร.วีระชาติ ตั้งจิรภัทร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งตะวัน สุภาพผล

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร เดชะศิลารักษ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภฉัตร ธารีลาภ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาดา สุขศิลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภา ไช้สกลาม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาจารย์อุบลรัตน์ ชนะโรค

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

ผู้ช่วยบรรณาธิการ ดร.จรุงรัตน์ พันธุ์สุวรรณ

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

นางสาวนริศรา ทุมมณี

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย



## จรรยาบรรณการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

### บทบาทและหน้าที่ของผู้เขียน

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

### บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่ตนรับผิดชอบ
2. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนและผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลใด ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
3. บรรณาธิการต้องตัดสินใจคัดเลือกบทความมาตีพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการประเมินบทความแล้ว โดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหา กับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
4. บรรณาธิการต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่อื่นมาแล้ว
5. บรรณาธิการต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ เพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ โดยต้องหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยนั้น ๆ ก่อน
6. บรรณาธิการต้องไม่มีประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน ผู้ประเมินบทความ และทีมบริหาร
7. บรรณาธิการต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่เชื่อถือได้เพื่อให้แน่ใจว่าบทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารไม่มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น
8. หากตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่นในกระบวนการประเมินบทความ บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้เขียนหลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจงประกอบการ “ตอบรับ” หรือ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ

## จรรยาบรรณการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

### บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ประเมินบทความต้องรักษาความลับและไม่เปิดเผยข้อมูลบางส่วนหรือทุกส่วนของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
2. หลังจากได้รับบทความจากกองบรรณาธิการวารสารฯ ผู้ประเมินบทความตระหนักว่าตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนเช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้เขียนเป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ
3. ผู้ประเมินบทความ ควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์และความเข้มข้นของผลงาน ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย
4. ผู้ประเมินต้องระบุผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้เขียนไม่ได้อ้างถึง เข้าไปในการประเมินบทความด้วย นอกจากนี้หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ประเมินต้องชี้แจงให้บรรณาธิการทราบด้วย

### จริยธรรมการวิจัยใน มนุษย์และสัตว์

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



# บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฉบับนี้ เป็นปีที่ 19 ฉบับที่ 2 บทความในฉบับนี้ประกอบด้วยบทความที่ผ่านการประเมินและปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวนทั้งสิ้น 16 บทความ จำแนกเป็นบทความวิชาการจำนวน 3 บทความ และบทความวิจัยจำนวน 13 บทความ

ทั้งนี้ขอยกตัวอย่าง 2 บทความแรกในแต่ละประเภทบทความดังนี้ บทความวิชาการ: 1) การส่งเสริมสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงตามวิถีชุมชน 2) การรับมือกับกลโกงในโลกไซเบอร์ บทความวิจัย: 1) การแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนไลน์ และ 2) การออกแบบและสร้างถึงน้ำหมักชีวภาพควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

พร้อมกันนี้ดิฉันขอแจ้งเรื่องการปรับเปลี่ยนรูปแบบการอ้างอิงจากรูปแบบ APA 6th ed เป็นรูปแบบ APA 7th ed โดยจะเริ่มใช้กับบทความในวารสาร ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 ซึ่งปัจจุบันอยู่ระหว่างการเปิดรับบทความของฉบับดังกล่าว ผู้เขียนที่มีความประสงค์จะส่งบทความสามารถศึกษาตัวอย่างและดาวน์โหลดคู่มือการเขียนการอ้างอิงตามมาตรฐาน APA 7th ed ได้จากหน้าเว็บไซต์ของวารสาร

สุดท้ายนี้ หวังว่าผู้อ่านทุกท่านจะได้รับความรู้และประโยชน์จากบทความต่าง ๆ ในวารสารฉบับนี้ และหากท่านมีข้อเสนอแนะอันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและปรับปรุงวารสารฯ ให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้นไป กองบรรณาธิการขอน้อมรับด้วยความยินดี ขอขอบคุณค่ะ

ดร.กัญจน์ฉนิชา โภคอุดม

บรรณาธิการวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

# สารบัญ

## Academic Articles

- 1 ■ การส่งเสริมสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงตามวิถีชุมชน  
Health Promotion among Patients with Diabetes Mellitus and Hypertension  
based on Community Living Lifestyle  
อุทัยวรรณ พงษ์บริบูรณ์ พัชฌณ มาสกุล อพีรียา คำแฝง และนพดล รุ่งแก้ว
- 14 ■ การรับมือกับกลโกงในโลกไซเบอร์  
Dealing with Cyber Scams  
สุปราณี วงษ์แสงจันทร์ ประภาพร กุลลิมรัตน์ชัย และพิมล จงวรรณท์
- 27 ■ ผลของเมลาโทนินต่อโรคอัลไซเมอร์  
Effect of Melatonin on Alzheimer's Disease  
ปัทมา ปานมาก และอรุณณี วงศ์ป๋นดีด

## Research Articles

- 38 ■ การแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี  
A Recommendation for Designing Tamarind Packaging by using Content-Based  
Ontology Techniques  
ฐิณภรณ์ นิชัยวิทย์ ทิสนันท์ ตรีนันทรัตน์ ยุภา คำตะพล และประยูร ไชยบุตร
- 54 ■ การออกแบบและสร้างถังหมักชีวภาพควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง  
Design and Construction of Bio-fermentation Bin Controlled by  
the Internet of Things Technology  
ลัดดาวัลย์ จำปา นันทวัน ทัดถมาศ และรัฐพงษ์ ทองปาน

## สารบัญ

- 67 ■ การประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพร่วมกับการเรียนรู้เครื่องเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว  
An Application of Image Processing and Machine Learning for Rice Varieties Classification  
*ปิยะนารถ บุญระมาตร และเจษฎา ตัณฑนุช*
- 86 ■ การออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ  
Design and Development of Semi-Automatic Frying Machine with Temperature Control System  
*กันยารัตน์ พูลเพียร นันทิกา ปริญาพล และนัศพัชฌัน ชินปัญช์ธนะ*
- 100 ■ การพัฒนาระบบติดตามสถานะสินค้าในกระบวนการขนส่งจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สู่คลังสินค้า  
Product Tracking System Development for Transportation Process from Automobile Parts Factory to The Warehouse  
*วิมุติพันธ์ พลมัน และบัญชา วัฒนนะ*
- 121 ■ การพัฒนาแบบจำลองพลังงานเพื่อประเมินการใช้พลังงานและการลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ กรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่  
Development of Energy Models to Assess Energy Use and Reduce Carbon Dioxide Emissions for a Case Study in a Large Residential Building  
*สุรศักดิ์ จันทร์ฉาย ณีภรณ์ นาคกร ศุภรัชชัย วรรัตน์ และประยุทธ์ ฤทธิเดช*
- 142 ■ การติดตามเป้าหมายพรางตัวโดยใช้การผสมผสานกล้องถ่ายภาพความร้อนและกล้องภาพสีจริง  
Camouflaged Target Tracking using a Thermal Imaging and a True Color Camera Fusion  
*วิระพัฒน์ ชูสินวรสกุล ประสาทพร วงษ์คำข้าง พงศกร บำรุงไทย และชำนาญ เพชรโชติ*
- 157 ■ การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมการผลิตหมูแดดเดียวด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง  
Enhancing the Production Control Efficiency of Sun-Dried Pork using the Internet of Things  
*สันติ วงศ์ใหญ่ วีระชัย สว่างทุกข์ วรินทร์ อริยวุฒิกุล และธนวรรกฤต โอฬารธนพร*

- 170 ■ การระบุสายพันธุ์แคคตัสด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับเทคนิคตรวจจับวัตถุ  
Automatic Cactus Species Identification using Deep Learning Model  
and Object Detection Techniques  
จักรินทร์ สันติรัตน์ภักดี และนิชาภัทร ตุลาธาร
- 191 ■ ประสิทธิภาพของสบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสาบเสือ  
ต่อการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่นอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา  
The Effectiveness of Glycerin Soap with Siam Weed Leaf Extract  
to Reduce Acne among Adolescents in Mueang District, Songkhla Province  
เยาวลักษณ์ เตียนนวน คันธมาตร์ กาญจนภูมิ ธีรยุทธ์ ศรียาเทพ และสายซัช ณัดอักษร
- 208 ■ ระเบียบวิธีการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับเครื่องตัดหลอดพลาสติกใส่หมอนบรรเทา  
การเกิดแผลกดทับด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ  
A Methodology of Engineering Design for a Plastic Straw Cutting Machine for  
Pillow Filling to Relieve Pressure Ulcer by QFD  
ทศพร อัครรังษี วรรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์ และทณงศักดิ์ คงสินธุ์
- 225 ■ การประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมในการเตรียมรับมืออุทกภัย กรณีศึกษาบ้านธารปราสาท  
ต.ธารปราสาท อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา  
Application of Engineering Tool in Flood Preparedness: A Case Study of  
Ban Than Prasat Village, Than Prasart Subdistrict, Amphoe Non Sung,  
Nakhon Ratchasima  
รชนีกร พลปัทพี ธนาคาร ศรีมะเริง ธรรมศ วัฒนวงศ์วิสุทธิ และพรศิริ จงกล
- 241 ■ อิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการเกิดมลพิษไอเสียของ  
เตาเผาเครื่องฟันแอสฟัลต์  
Influence of Fuel Pressure on Combustion Efficiency and Exhaust Pollution of  
Asphalt Distributor  
วรชัย ชัยสิงห์เหนือ ฐณพล เวียงทอง กวิน เลิศเลาะห์กุล ประเสริฐ วิโรจน์ช้วน  
ณทพร จินดาประเสริฐ และปฏิภาณ ถิ่นพระบาท



# การส่งเสริมสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงตามวิถีชุมชน

## Health Promotion among Patients with Diabetes Mellitus and Hypertension based on Community Living Lifestyle

อุทัยวรรณ พงษ์บริบูรณ์<sup>1\*</sup> พัทชมณ มาสกุล<sup>1</sup> อพีริยา คำแฝง<sup>1</sup> และนพดล รังแก้ว<sup>2</sup>  
Uthaiwan Pongboriboon<sup>1\*</sup>, Patchamol Masakul<sup>1</sup>, Aperiya Kumfang<sup>1</sup>  
and Noppadon Rangkaew<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

<sup>1</sup>School of Nursing, Eastern Asia University

<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

<sup>2</sup>Instructor Eastern Asia University

\*Corresponding author: uthaiwan.pongboriboon@gmail.com

Received: February 17, 2025

Revised: April 4, 2025

Accepted: April 11, 2025

### บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงในแต่ละปี เกิดความสูญเสียทั้งในด้านชีวิตและเศรษฐกิจในการที่รัฐต้องใช้งบประมาณจำนวนมากเพื่อดูแลผู้ป่วย จากช่วงที่มีการระบาดของโควิด-19 ที่ผ่านมา วิถีชุมชนมีส่วนร่วมในการดูแลสุขภาพของคนในชุมชนมากขึ้น เกิดกระบวนการในการดูแลสุขภาพนอกเหนือจากการดูแลด้วยการแพทย์แผนปัจจุบัน การดูแลสุขภาพตามวิถีชุมชน มีความแตกต่างกันไปในแต่ละชุมชน ท้องถิ่น และภูมิภาค มีความหลากหลายทางค่านิยม ความเชื่อ วัฒนธรรม และภูมิปัญญา การดูแลและส่งเสริมสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง ประกอบด้วย กลไกหลักคือการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพและการดูแลรักษาโดยแพทย์ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพจะเป็นไปตามแนวคิดและทฤษฎีพฤติกรรมสุขภาพ ประกอบด้วย การรับประทานอาหาร การจัดการความเครียด และการออกกำลังกาย การแพทย์ตามวิถีชุมชนตามการส่งเสริมและดำเนินการของกระทรวงสาธารณสุขแบ่งออกเป็น การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้าน การดูแลสุขภาพด้วยวิถีชุมชน แบ่งออกเป็น 2 ประเด็น คือ ด้านการบริโภค และด้านการปฏิบัติตน ผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง ควรรับประทานอาหารและยาที่มีส่วนประกอบของสมุนไพร ควรออกกำลังกายและการจัดการความเครียดตามแนวทางภูมิปัญญาไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้าน ตามหลักธรรมานามัย ด้านกายานามัย ด้านจิตตานามัย และด้านชีวิตานามัย ให้แพร่หลายมากขึ้น

คำสำคัญ: วิถีชุมชน เบาหวาน ความดันโลหิตสูง

## Abstract

The increase in the number of diabetes and hypertension patients each year has led to significant losses in lives and economic burdens due to patient care expenses, resulting in economic losses as the government has to use a large budget. During the COVID-19 outbreak, community-based health care played a greater role in supporting public health in local communities, creating a process for health care beyond modern medicine. Community-based health care varies in each community, locality, and region, influenced by diverse values, beliefs, cultures, and wisdom. The main mechanisms for promoting the health of diabetes and hypertension patients involve behavioral health changes and medical care. Health behavior changes follow health behavior theories and concepts, including diet, stress management, and exercise. Traditional and community-based health practices, as supported by the Ministry of Public Health, can be categorized into alternative medicine, Thai traditional medicine, and folk medicine. Community-based health promotion consists of two main aspects: dietary practices and self-care behaviors. Diabetes and hypertension patients should consume food and medicine containing herbs, exercise, and manage stress according to Thai wisdom, local wisdom, alternative medicine, Thai traditional medicine, and folk medicine. To promote the principles of Dhammanami in the areas of physical well-being, mental well-being, and life well-being more widely.

**Keywords:** community-based, diabetes, hypertension



## บทนำ

การเจ็บป่วยด้วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังในปัจจุบันของประเทศไทย พบว่า โรคความดันโลหิตสูง และโรคเบาหวาน เป็นโรคที่ส่งผลให้ประชาชนไทยมีอาการเจ็บป่วยและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Srivaniachakorn, 2017) ดังข้อมูลตามระบบ Health Data Center กระทรวงสาธารณสุข (ดังภาพ 1) และพบอีกว่า สถิติการตายจากโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง มีอัตราการตายต่อประชากร 100,000 คนเพิ่มขึ้น (ดังภาพ 2) (Division of Non-Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health, 2024) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอันตรายจากโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงอยู่ใกล้ชิดกับประชาชนไทยและสร้างความสูญเสียให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การดูแลสุขภาพจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรังทั้งจากโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงดังกล่าว ได้ส่งผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจของประเทศ ก่อให้เกิดความสูญเสียใน

ด้านเศรษฐกิจจากการที่รัฐต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการรักษาพยาบาล ดังนั้นแนวคิดในการป้องกันและส่งเสริมสุขภาพก่อนที่จะเข้าสู่การรักษาจึงเป็นเป้าหมายสำคัญในการดูแลสุขภาพ และจากช่วงที่มีการระบาดของโรคโควิด-19 ที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าวิถีชุมชนได้เข้ามามีส่วนร่วมในการดูแลสุขภาพของคนในชุมชนมากขึ้น และได้สร้างกระบวนการในการดูแลสุขภาพให้เกิดขึ้นกับชุมชนนอกเหนือจากการดูแลด้วยการแพทย์แผนปัจจุบัน ซึ่งการดูแลด้วยวิถีชุมชนได้ถูกนำเข้ามามีส่วนร่วมในการดูแลทั้งในด้านการรักษา ป้องกัน และส่งเสริมสุขภาพ วิถีชุมชนที่เกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพประกอบด้วยความเชื่อ ภูมิปัญญาไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น การแพทย์ทางเลือก และการแพทย์แผนไทยและพื้นบ้าน ซึ่งยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ในยุทธศาสตร์การพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพคนครอบคลุมการสร้างความรู้รอบรู้ด้านสุขภาพ การป้องกัน และควบคุมปัจจัยเสี่ยงที่คุกคามสุขภาพ การสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการมีสุขภาพที่ดี

ดี และการส่งเสริมให้ชุมชนเป็นฐานในการสร้างสุขภาพที่ดีในทุกพื้นที่ ได้ส่งผลให้เกิดการมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับการขับเคลื่อนการมีสุขภาพที่ดีของชุมชน

สำหรับการดูแลสุขภาพของประชาชนไทยด้วยวิถีชุมชน ได้มีมาอย่างยาวนาน ซึ่งในปัจจุบันได้ถูกนำไปใช้ในการรักษาเป็นทางเลือกร่วมกับการรักษาแบบสมัยใหม่ให้กับผู้ป่วย (Chanprasit, Lirtmunlikaporn, Kaewthummanukul, Jongrungrotsakul & Sawasdisingha, 2020) และได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการดูแลและส่งเสริมสุขภาพประชาชน ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่ส่งผลต่อสุขภาพของผู้ป่วย โดยเฉพาะกับกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานและความดันโลหิตสูง ซึ่งเป็นการเจ็บป่วยในกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่สามารถพบได้ในทุกชุมชน แต่อย่างไรก็ตามลักษณะของแนวทางการดูแลสุขภาพตามวิถีชุมชน จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละชุมชน ท้องถิ่น และภูมิภาค มีความหลากหลายทางค่านิยม ความเชื่อ วัฒนธรรม และภูมิปัญญา เมื่อนำแนวทางของวิถีชุมชนดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับแนวทางการจัดการตนเองที่ส่งผลต่อพฤติกรรมสุขภาพในด้านต่าง ๆ เช่น การรับประทานอาหาร การออกกำลังกาย การจัดการความเครียด เพื่อจะนำไปสู่การมีสุขภาพที่ดี จึงส่งผลให้เกิดเป็นกระบวนการดูแลสุขภาพของผู้ป่วยเบาหวานและความดันโลหิตสูงที่มีความสอดคล้องกับวิถีชุมชน

การนำเสนอบทความวิชาการในเรื่องนี้ สืบเนื่องจากการปฏิบัติงาน Faculty practice ร่วมกับทีมพยาบาลในคลินิกผู้ป่วยนอก NCDs โรงพยาบาลคลองหลวงพบว่า มีผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงจำนวนมากที่มีมารักษาเดิมจึงมีแนวคิดและวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ป่วยเบาหวานและความดันโลหิตสูงเห็นความสำคัญของการส่งเสริมสุขภาพตามวิถีชุมชนในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ป่วย ซึ่งจะนำไปสู่การมีสุขภาพที่ดี ความเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นได้รับการดูแลอย่างเหมาะสมลดการใช้ยา และสอดคล้องกับวิถีชีวิตของประชาชนไทย ตลอดจนนำไปสู่การลดภาระทางเศรษฐกิจให้กับระดับครอบครัว และระดับประเทศ

โรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงมีสาเหตุและอาการโดยทั่วไปพอสังเขปได้ ดังนี้

## โรคเบาหวาน

โรคเบาหวาน เป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของร่างกาย ที่มีการผลิตฮอร์โมนอินซูลินไม่เพียงพอ หรือเกิด

จากการดื้อต่อฤทธิ์อินซูลิน ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ ค่าปกติของระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหาร 6 ชั่วโมง ควรอยู่ระหว่าง 70-110 mg.% แต่ถ้าพบว่า มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 126 mg.% ในการเจาะเลือดอย่างน้อย 2 ครั้ง ให้วินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวาน (Metropolitan Health and Wellness Institution, Department of Health, Ministry of Public Health, 2019) การมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นระยะเวลานาน จะนำไปสู่การเกิดโรคแทรกซ้อนในอวัยวะต่าง ๆ เช่น ตา ไต หรือระบบหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น โรคเบาหวานมีอาการที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วย ประกอบด้วยอาการตาพร่ามัว หิวบ่อย รับประทานอาหารมากขึ้น หิวน้ำบ่อย ตื่นน้ำมากขึ้น น้ำหนักลดโดยไม่รู้สาเหตุ สมรรถภาพทางเพศลดลง ปัสสาวะบ่อย มีอาการชาปลายมือ-เท้า คันตามผิวหนัง และเมื่อเป็นแผลจะหายช้า (Choosri & Suwankhong, 2021)

## โรคความดันโลหิตสูง

โรคความดันโลหิตสูง เป็นโรคเรื้อรัง โดยผู้ป่วยจะมีภาวะของความดันช่วงบนมีค่าตั้งแต่ 90-140 mm.Hg. ขึ้นไป หรือภาวะความดันช่วงล่างมีค่าตั้งแต่ 90 mm.Hg. ขึ้นไป Metropolitan Health and Wellness Institution, Department of Health, Ministry of Public Health, 2019) โรคความดันโลหิตสูงเกิดจากการที่ผู้ป่วยมีพฤติกรรมและแบบแผนการดำเนินชีวิตที่ไม่เหมาะสม ไม่สามารถรักษาให้หายขาดหากไม่สามารถควบคุมความดันโลหิตให้อยู่ในระดับที่กำหนดและมีความดันโลหิตสูงมากขึ้น จะทำให้มีภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงตามมาได้ เป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญของโรคหลอดเลือดหัวใจและโรคหลอดเลือดสมอง โดยมีการทำลายอวัยวะต่าง ๆ ไปทีละน้อยอย่างช้า ๆ จนทำให้ผู้ป่วยเกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้น โดยจะมีการทำลายอวัยวะที่สำคัญของร่างกาย ได้แก่ หัวใจ สมอง ไต ตา และหลอดเลือด เป็นต้น แม้ว่าโรคความดันโลหิตสูงจะเป็นโรคเรื้อรัง รักษาไม่หายขาด แต่สามารถป้องกันและควบคุมโรคไม่ให้ความดันโลหิตสูงมากขึ้นหรือเกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้นได้ หากผู้ป่วยได้รับการดูแลรักษาและมีพฤติกรรมจัดการตนเองที่ถูกต้องเหมาะสม (Sangmanee, 2017)

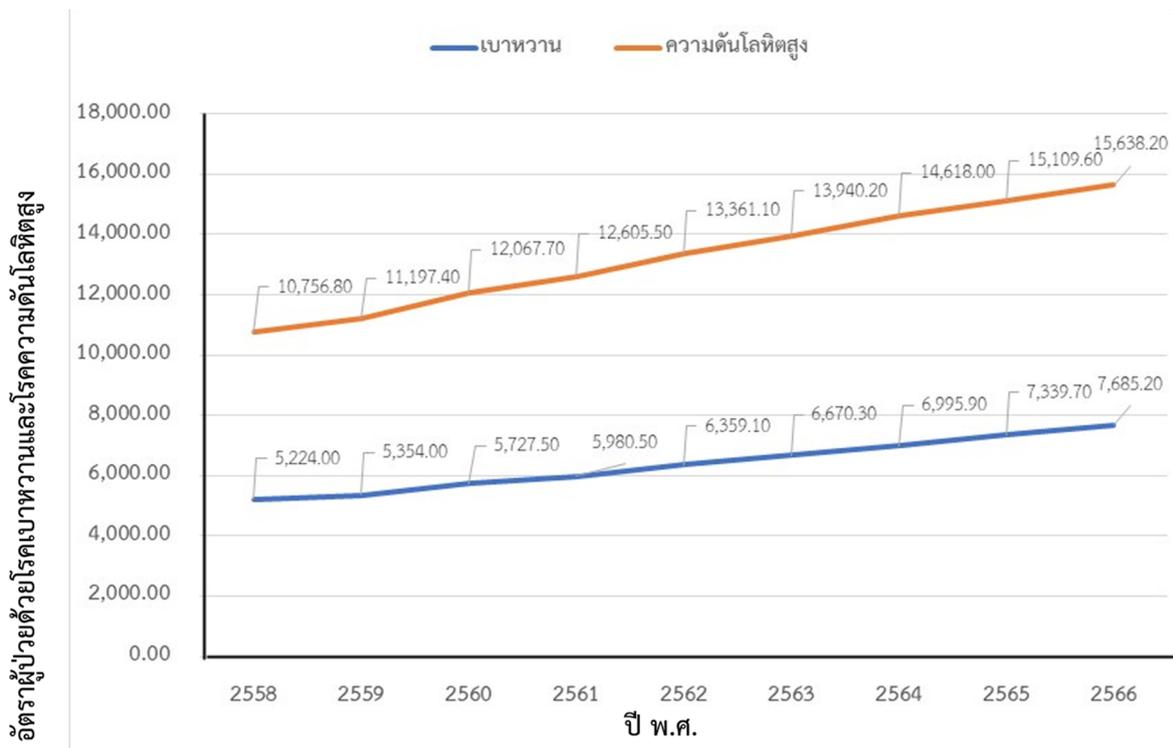
จากรายละเอียดของโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงพอสังเขป สถานการณ์ของโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงของประเทศไทยเป็นดังนี้

## สถานการณ์โรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง

จากรายงานการสำรวจสุขภาพคนไทย พบว่า ความชุกของโรคเบาหวานในกลุ่มประชาชนไทย อายุ 15 ปีขึ้นไป เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 6.9 ในปี พ.ศ. 2551-2552 เป็นร้อยละ 8.9 ในปี พ.ศ. 2557-2558 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9.5 ในปี พ.ศ. 2562-2563 สอดคล้องกับความชุกของโรคความดันโลหิตสูงในกลุ่มประชาชนไทย อายุ 15 ปีขึ้นไป ซึ่งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 21.4 ในปี 2551-2552 เป็นร้อยละ 24.7 ในปี พ.ศ. 2557-2558 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25.4 ในปี พ.ศ. 2562-2563 (Division of Non-Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health, 2023) จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 โรคมีการเพิ่มความชุกของโรคอย่างต่อเนื่องจากผลของการสำรวจสุขภาพคนไทยในช่วงที่ผ่านมา (ดังภาพ 2)

จากความชุกของผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง เมื่อพิจารณาในด้านอัตราผู้ป่วยด้วยโรค

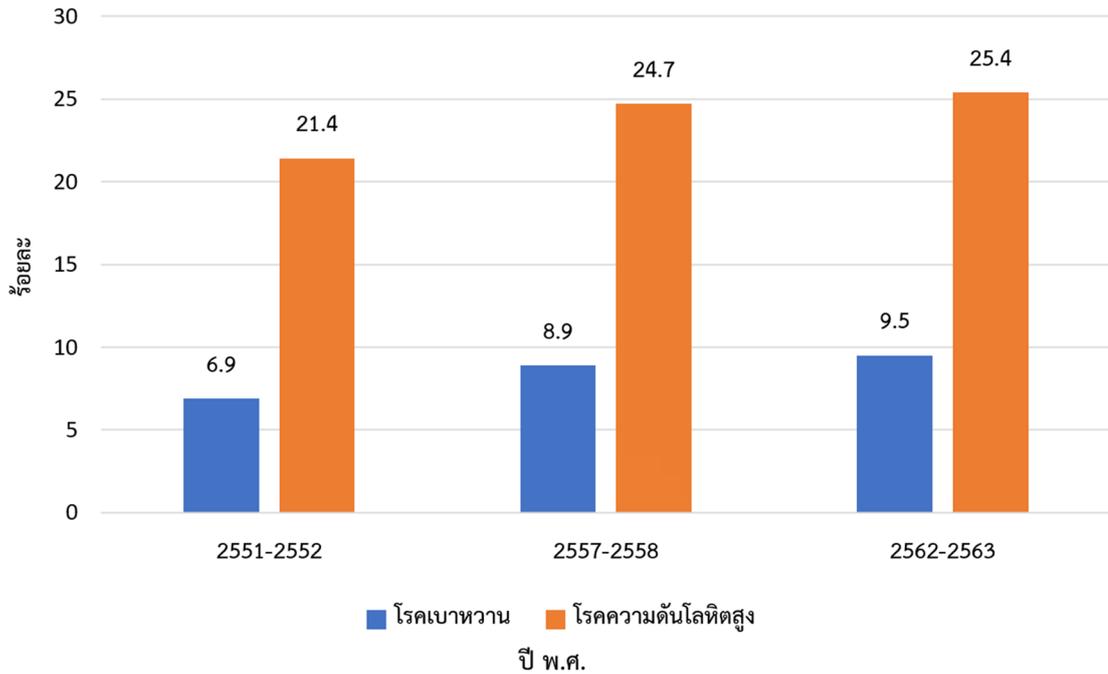
เบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง ปี พ.ศ. 2558–2566 จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 โรคดังกล่าวมีอัตราผู้ป่วยเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยจากข้อมูลของกองโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ที่ได้นำเสนอไว้ในรายงาน การสำรวจสุขภาพคนไทย พบว่า อัตราผู้ป่วยโรคเบาหวานต่อประชากร 100,000 คนในปี พ.ศ. 2558 คือ 5,224.00 คน และเพิ่มเป็น 6,359.10 คน ในปี พ.ศ. 2562 และในปี พ.ศ. 2566 เพิ่มอัตราผู้ป่วยโรคเบาหวานเป็น 7,685.20 คน ส่วนโรคความดันโลหิตสูงพบว่า ในปี พ.ศ. 2558 มีอัตราผู้ป่วย 10,756.80 คน และเพิ่มขึ้นเป็น 13,361.10 คนในปี พ.ศ. 2562 และเพิ่มขึ้นเป็น 15,638.20 คน ในปี พ.ศ. 2566 (Division of Non-Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health, 2023) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี (ดังภาพ 2)



ภาพ 1 อัตราผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง ปี พ.ศ. 2558 – 2566 ต่อประชากร 100,000 คน

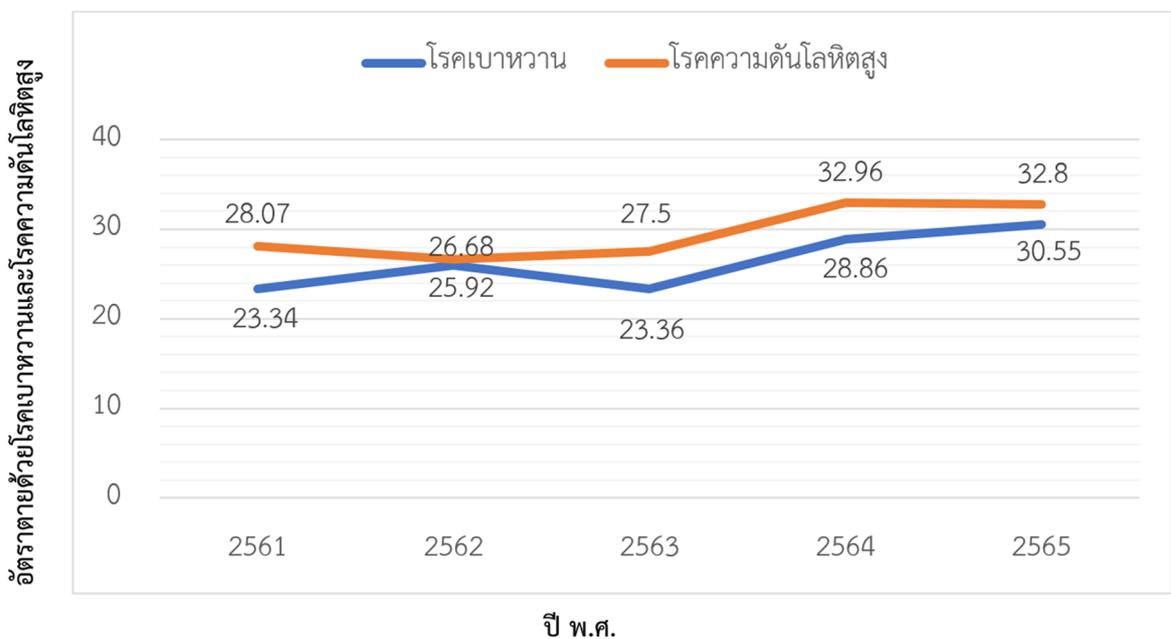
Note. From *Guidelines for community health care using traditional Thai medicine, indigenous medicine and alternative medicine*, by Division of Non-Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health, 2023, Copyright 2023 by Ministry of Public Health

จำนวนร้อยละความชุกของผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง



ภาพ 2 แผนภูมิความชุกของผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงในประชาชนไทยอายุ 15 ปีขึ้นไป ระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2551- 2552 ปี พ.ศ. 2557-2558 และปี พ.ศ. 2562-2563

Note. From Guidelines for community health care using traditional Thai medicine, indigenous medicine and alternative medicine, by Division of Non-Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health, 2023, Copyright 2023 by Ministry of Public Health



ภาพ 3 อัตราตายด้วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง ปี พ.ศ. 2561 – 2565 ต่อประชากร 100,000 คน

Note. From Guidelines for community health care using traditional Thai medicine, indigenous medicine and alternative medicine, by Division of Non-Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health, 2023, Copyright 2023 by Ministry of Public Health

จากสถานการณ์ที่เกิดขึ้นทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้ดำเนินการต่าง ๆ เพื่อการดูแลและส่งเสริมสุขภาพของผู้ป่วย ทั้งในด้านนโยบายการส่งเสริม และรณรงค์ต่าง ๆ เพื่อสร้าง การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพในการดูแลตนเองเพื่อให้ ผู้ป่วยสามารถใช้ชีวิตอยู่ร่วมกับโรคเบาหวานและโรคความดัน โลหิตสูงได้อย่างมีความสุข

### การดูแลและส่งเสริมสุขภาพผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรค ความดันโลหิตสูง

การดูแลและส่งเสริมสุขภาพผู้ป่วยโรคเบาหวาน และโรคความดันโลหิตสูง โดยถ้าผู้ป่วยโรคเบาหวานนั้น ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ จะส่งผลกระทบต่อ ให้เกิดภาวะแทรกซ้อนตามมาทั้งกับตา ไต และเท้า ส่วน โรคความดันโลหิตสูง ถ้าผู้ป่วยอยู่ในภาวะความดันโลหิต สูงเป็นระยะเวลานาน และไม่ได้รับการดูแลรักษา จะส่งผล ให้ความรุนแรงของโรคจะเพิ่มมากขึ้น เกิดโรคแทรกซ้อน อื่น ๆ ตามมาได้ สำหรับภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน และโรคความดันโลหิตสูงจะมีทั้งแบบเฉียบพลัน (acute complications) เช่น น้ำตาลในเลือดต่ำ ความดันโลหิตสูง วิกฤต เป็นต้น และภาวะแทรกซ้อนแบบเรื้อรัง (chronic complications) เช่น หัวใจโตหรือหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง ไตเสื่อม เบาหวานขึ้นจอประสาทตา หลอด เลือดแดงตีบ มีแผลที่เท้า เป็นต้น (Chinnawong, 2017) ทั้งนี้ยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ใน ยุทธศาสตร์การพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพคนครอบคลุม การสร้างความรอบรู้ด้านสุขภาพ การป้องกัน และควบคุม ปัจจัยเสี่ยงที่คุกคามสุขภาพ การสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อ ต่อการมีสุขภาพที่ดี และการส่งเสริมให้ชุมชนเป็นฐานใน การสร้างสุขภาพที่ดีในทุกพื้นที่ ทำให้การดูแลผู้ป่วยที่ ครอบคลุมทุกมิติในภาวะความเจ็บป่วยของโรคและการ ส่งเสริมให้ผู้ป่วย ผู้ดูแล มีความรอบรู้ด้านสุขภาพ และสามารถเข้าถึงระบบบริการการแพทย์ฉุกเฉินเมื่อเกิดภาวะ แทรกซ้อนเสี่ยงสูง การมีระบบบริการที่นำเทคโนโลยีมา ประยุกต์ใช้เพื่อการสื่อสารที่เหมาะสม อีกทั้งทุกคนที่ เกี่ยวข้องในการดูแลสุขภาพไม่ว่าจะเป็นตัวผู้ป่วย ผู้ดูแล อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ผู้นำชุมชน

ทีมสุขภาพชุมชนและทีมกู้ชีพในท้องถิ่น จำเป็นจะต้องมี ความรู้และทักษะในเรื่องเฝ้าระวังการป้องกันโรคและช่วย เหลือผู้ป่วยเบื้องต้น (Sarachai & Chatpaengta, 2024)

การดูแลและส่งเสริมสุขภาพทั้งในส่วนของผู้ป่วย โรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง จะประกอบด้วย กลไกหลักคือการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพควบคู่ไป กับการดูแลรักษาโดยแพทย์ (Sirisuwan, 2018) การ ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพนั้นจะเป็นไปตามแนวคิด และทฤษฎีพฤติกรรมสุขภาพ (health belief model) ที่ ประกอบไปด้วย (1) การรับรู้ความเสี่ยงต่อการเกิดโรค (2) ความรุนแรงของโรคที่อาจเกิดขึ้น (3) การรับรู้ประโยชน์ของ พฤติกรรมสุขภาพที่ได้รับการแนะนำ (4) การรับรู้ปัญหา และอุปสรรคในการปฏิบัติตามพฤติกรรมสุขภาพที่ได้รับ การแนะนำ (5) สิ่งกระตุ้นเตือนให้แสดงพฤติกรรมสุขภาพ และ (6) การรับรู้ต่อสมรรถนะแห่งตนในการปฏิบัติตาม พฤติกรรมสุขภาพ (Janz, Champion & Strecher, 2002) โดยพฤติกรรมสุขภาพจะเริ่มตั้งแต่การรับประทานอาหาร การจัดการความเครียด จนถึงการออกกำลังกาย คือ

การรับประทานอาหาร จะเป็นการเลือกรับประทาน อาหาร ตามหลักโภชนบัญญัติ 9 ประการ ประกอบด้วย (1) รับประทานอาหารครบ 5 หมู่ และมีความหลากหลาย (2) รับประทานข้าวสลับกับอาหารประเภทแป้ง และเลือกข้าว กลี้อแทนข้าวขาว (3) รับประทานผักและผลไม้เป็นประจำ (4) รับประทานปลา เนื้อสัตว์ไม่ติดมัน ไข่ และถั่วเมล็ดแห้ง เป็นประจำ (5) ดื่มนมให้เหมาะสมตามวัย (6) รับประทาน อาหารที่มีไขมันแต่พอควร (7) หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหาร รสหวานจัด และเค็มจัด (8) รับประทานอาหารที่ สะอาด สุก และ (9) งดหรือลดเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ (Service Network, Muang Tak District Public Health Coordination Committee, 2018)

การจัดการความเครียด เป็นการควบคุมอารมณ์ หรือจัดการความเครียดให้ได้อย่างเหมาะสม เมื่ออารมณ์ ดี จิตใจก็จะดี ต้องรู้จักการสร้างความสุขให้ตนเอง โดยทำ กิจกรรมที่ชอบ หลีกเลี่ยงสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความเครียด (Health Education Division, Department of Health Service Support, Ministry of Public Health, 2023)

การออกกำลังกาย เป็นการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับสุขภาพ สมรรถนะทางกาย และวิถีชีวิต ซึ่งถ้าเป็นการออกกำลังกายระดับปานกลาง อย่างน้อยสัปดาห์ละ 5 วัน วันละ 30 นาที หรืออย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 50 นาที หรืออย่างน้อยสัปดาห์ละ 150 นาที ถ้าเป็นการออกกำลังกายที่หนักถึงหนักมาก ควรออกกำลังกายอย่างน้อยสัปดาห์ละ 75 นาที ทั้งนี้เพื่อให้ร่างกายเกิดความแข็งแรง เพิ่มภูมิต้านทานโรค (Health Education Division, Department of Health Service Support, Ministry of Public Health, 2023)

ทั้งนี้ การดูแลและส่งเสริมสุขภาพจะต้องเป็นการบูรณาการทั้งในด้านความรู้ ความเชื่อ พฤติกรรมสุขภาพ และการดูแลรักษาที่สอดคล้องกับวิถีชีวิต ซึ่งวิถีชุมชนจะเป็นกลไกที่จะช่วยให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงสามารถดูแลสุขภาพของตนเองได้เป็นอย่างดี โดยครอบคลุมตั้งแต่การรับรู้ความเสี่ยง ความรุนแรง ประโยชน์จากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม ปัญหาและอุปสรรคจากการปฏิบัติ การกระตุ้นเตือนและการปฏิบัติ จนสามารถช่วยให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพตามแนวคิดและทฤษฎีพฤติกรรมสุขภาพ (Janz, Campion & Strecher, 2002; Mumanajit & Nuim, 2016; Jaisue, Kumsiririk & Jantakot, 2021) ดังที่เคยเกิดขึ้นในช่วงการแพร่ระบาดของโควิด-19 เพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อน ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ วิถีชุมชนจึงมีความสำคัญและใกล้ชิดกับผู้ป่วย และอาจกล่าวได้ว่าการดูแลสุขภาพในสถานการณ์เศรษฐกิจปัจจุบันนั้น ไม่อาจหลีกเลี่ยงวิถีชุมชนได้

### วิถีชุมชนกับการดูแลส่งเสริมสุขภาพ

วิถีชุมชนที่เกี่ยวข้องกับการดูแลส่งเสริมสุขภาพ ประกอบด้วย ความเชื่อ ภูมิปัญญาไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้าน (Mumanajit & Nuim, 2016) ซึ่งหากพิจารณาในเชิงการแพทย์และตามแนวทางการส่งเสริมและดำเนินการของกระทรวงสาธารณสุขแล้วจะแบ่งออกเป็น (1) การแพทย์ทางเลือก (2) การแพทย์แผนไทย และ (3) การแพทย์พื้น

บ้าน โดยมีการให้ความหมายไว้อย่างหลากหลาย สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) การแพทย์ทางเลือก หมายถึง วิธีการป้องกันและดูแลรักษาตนเองให้หายจากอาการเจ็บป่วย โดยไม่ใช้วิธีการของแพทย์แผนปัจจุบัน (conventional medicine) หรืออาจใช้การรักษาด้วยวิธีการของแพทย์แผนปัจจุบันเป็นส่วนน้อย ทั้งนี้ แพทย์ทางเลือกไม่ใช่ทั้งแพทย์แผนไทย และแพทย์พื้นบ้าน แต่เป็นการผสมผสานศาสตร์ต่าง ๆ ในการรักษาเข้าด้วยกัน โดยเป็นการพิจารณาถึงทุกองค์ประกอบของร่างกาย ได้แก่ ร่างกาย จิตใจ สังคม และจิตวิญญาณ มิได้พิจารณาเฉพาะโรคที่เป็น หรือเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย แต่จะพิจารณาจากปฏิสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างร่างกาย จิตใจ สังคม จิตวิญญาณ และสภาพแวดล้อม ซึ่งไม่สามารถแยกออกจากกันได้ (Kulsomboon & Adthasit, 2007) การแพทย์ทางเลือกเป็นแนวทางการรักษาที่มีความหลากหลายและเก่าแก่สืบทอดกันมาอย่างยาวนาน และเป็นแนวทางการรักษาที่ไม่ใช่ “การแพทย์ทางเลือก” หรือทางที่คนส่วนใหญ่เลือกใช้ แต่เมื่อใดก็ตามการรักษาแบบทางเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งกลายเป็นที่นิยมและยอมรับ การรักษาดังกล่าวจะกลายเป็นแพทย์ทางเลือกเช่นกัน (Division of Complementary and Alternative Medicine, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health, 2023)

2) การแพทย์แผนไทย หมายถึง กระบวนการทางการแพทย์เกี่ยวกับการตรวจวินิจฉัย บำบัด รักษา หรือป้องกันโรค หรือการส่งเสริมและฟื้นฟูสุขภาพของมนุษย์ การฝังเข็ม การนวดไทย รวมถึงการเตรียมการผลิตภัณฑ์แผนไทย และการประดิษฐ์อุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ โดยอาศัยความรู้หรือตำราที่ถ่ายทอดและพัฒนาสืบทอดกันมา การแพทย์แผนไทยเป็นการดูแลสุขภาพแบบองค์รวม (holistic health care) สร้างความสมดุล กลมกลืนระหว่างร่างกาย จิตใจ สังคม จิตวิญญาณ ปัญญา และสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ระดับบุคคล ครอบครัว ชุมชน สังคมและสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมทั้งการส่งเสริมสุขภาพ การป้องกันโรค การรักษาพยาบาลและการฟื้นฟูสุขภาพ มุ่งเน้นให้เกิดการดูแลสุขภาพของตนเอง โดยสอดคล้องกับขนบธรรมเนียมประเพณี

วัฒนธรรมและวิถีชีวิตแบบไทยตามบริบทของชุมชน (Division of Complementary and Alternative Medicine, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health, 2023, National Health Commission Office, 2023, Thai Traditional Medicine Profession Act B.E. 2556, 2013)

3) การแพทย์พื้นบ้าน หมายถึง ภูมิปัญญาการรักษาโรคของท้องถิ่นและชาติพันธุ์ ที่มีฐานคิดและแบบแผนการปฏิบัติที่ผสมผสานระหว่างอำนาจเหนือธรรมชาติ ศาสนา และประสบการณ์จากการปฏิบัติจริงที่สะสมสืบทอดและใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น โดยหมอพื้นบ้านจะมีบทบาทสำคัญในการรักษาโรค (Kulsomboon & Adthasit, 2007) ส่วนองค์ความรู้ด้านการแพทย์พื้นบ้านไทย ได้แก่ สมุนไพรพื้นบ้านและอาหารท้องถิ่น ภูมิปัญญาหมอพื้นบ้านในการดูแลสุขภาพแม่และเด็ก (หมอดำแย) การผสมผสานการใช้ประโยชน์การดูแลแม่และเด็กร่วมกับระบบสุขภาพปฐมภูมิ ภูมิปัญญาหมอพื้นบ้านและการพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้เพื่อการพัฒนาศักยภาพหมอกระดุกพื้นบ้านในชุมชน ภูมิปัญญาพื้นบ้านในการรักษาสัตว์ปีก กัด ภูมิปัญญาการแพทย์พื้นบ้านกับการดูแลสุขภาพผู้ป่วยเบาหวาน ผู้ป่วยอัมพฤกษ์ อัมพาต ผู้ป่วยติดเตียง ผู้ป่วยมะเร็ง ภูมิปัญญาการแพทย์พื้นบ้านในการส่งเสริมดูแลผู้สูงอายุแบบพหุผล (Division of Complementary and Alternative Medicine, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health, 2023, National Health Commission Office, 2023)

การใช้วิถีชุมชนในการดูแลสุขภาพของผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงได้มีการศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นไว้อย่างหลากหลาย ซึ่งพบว่าสามารถช่วยให้ผู้ป่วยมีสุขภาพที่ดีขึ้นและสามารถดูแลตนเองให้สามารถดำรงชีวิตได้อย่างมีความสุขได้ ดังเช่นการศึกษาของ Sangmanee (2017); Chanprasit, Lirtmunlikaporn, Kaewthummanukul, Jongrungrotsakul and Sawasdisingha (2020); Choosri and Suwankhong (2021) เป็นต้น โดยผลการศึกษาต่างพบว่า การดูแลสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงด้วยวิถีชุมชนสามารถช่วยได้เป็นอย่างดี

จากแนวทางต่าง ๆ ในการดูแลส่งเสริมสุขภาพด้วยวิถีชุมชน เมื่อพิจารณาในภาพรวมของแต่ละแนวทาง ทั้งในส่วนของการดูแลสุขภาพและการแพทย์ โดยเมื่อนำแนวทางเหล่านี้ไปใช้ในการดำเนินงาน อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลักในการส่งเสริมสุขภาพด้วยวิถีชุมชน ประกอบด้วย (1) ประเด็นด้านการบริโภค และ (2) ประเด็นด้านการปฏิบัติตน ซึ่งทั้ง 2 ประเด็นนี้จะเป็นการบูรณาการวิถีชุมชนในมิติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งในด้านความเชื่อ ภูมิปัญญาไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้านเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีรายละเอียดพอสังเขป ดังนี้

1) ประเด็นด้านการบริโภค การดูแลส่งเสริมสุขภาพด้วยวิถีชุมชนผ่านการบริโภคหรืออาจหมายถึงการใช้วิธีการใด ๆ ในการนำเข้าสู่ร่างกายของผู้ป่วย ซึ่งประเด็นนี้จะเกี่ยวข้องกับการรับประทานอาหารและยา

2) ประเด็นด้านการปฏิบัติตน เป็นกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติตนในการดำรงชีวิตของผู้ป่วย ทั้งในด้านการออกกำลังกายและการจัดการความเครียด

ทั้ง 2 ประเด็นข้างต้นเป็นการดูแลและส่งเสริมสุขภาพของผู้ป่วยด้วยวิถีชุมชน ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับผู้ป่วยด้วยโรคต่าง ๆ ซึ่งสิ่งสำคัญคือผู้ป่วยนั้นจะต้องดำเนินการต่าง ๆ ภายใต้การดูแลของแพทย์ตามแนวทางที่เลือกใช้ในการรักษา รวมทั้งได้รับการสนับสนุนจากสมาชิกในชุมชนและหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการขับเคลื่อนด้วยวิถีชุมชนดังกล่าว

### การใช้วิถีชุมชนในการดูแลส่งเสริมสุขภาพผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง

การใช้วิถีชุมชนในการดูแลส่งเสริมสุขภาพผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง โดยพิจารณาจำแนกตามประเด็นในการดูแล สามารถนำเสนอเป็นตัวอย่างได้ ดังนี้

การบริโภค ผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงควรมีการรับประทานอาหารและยาที่มีส่วนประกอบของสมุนไพร ตามแนวทางภูมิปัญญาไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้าน

ซึ่งสามารถหาได้ในแต่ละชุมชน แต่ละท้องถิ่น โดยมีสมุนไพรที่มีสรรพคุณสำหรับการดูแลผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง (Division of Complementary and Alternative Medicine, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health, 2019, 2023; Hill Area and Community Development Foundation, 2019)

การบริโภคนี้ยังมีแนวทางการรับประทานอาหารที่เหมาะสมในแต่ละชุมชนอีก เช่น ชุมชนทางภาคอีสานจะมีวิธีการในการรับประทานอาหาร คือ “กินตามครู อยู่ตามฮีต” เป็นการรับประทานอาหารตามหลักโภชนาการที่เหมาะสมตามแบบดั้งเดิมที่บ้านภาคอีสาน (Jaisue, Kumsiruk & Jantakot, 2021)

การปฏิบัติตน ผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง ควรมีการออกกำลังกายและการจัดการความเครียดตามแนวทางของภูมิปัญญาไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้านตามหลักธรรมานามัย (Division of Complementary and Alternative Medicine, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health, 2009, 2023) เช่น การปฏิบัติตามหลักกายานามัย เป็นการดูแลสุขภาพตามหลักธรรมานามัย ช่วยสมดุลของธาตุทั้ง 4 คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ ในร่างกาย โดยการออกกำลังกาย หรือการบริหารกายแบบไทยด้วยท่าฤๅษีดัดตน โยคะ การกดจุด การกดจุดสะท้อนเท้าเพื่อช่วยในการไหลเวียนโลหิต

จิตตานามัย เป็นการส่งเสริมและดูแลสุขภาพทางใจผ่านการทำสมาธิ สวดมนต์ และภาวนา การสนทนาธรรมช่วยให้ผ่อนคลาย ลดความตึงเครียด เช่น การทำพิธีสูขวัญ เพื่อให้ผู้ที่เจ็บป่วยมีกำลังใจ เกิดศรัทธาความเชื่อและเสริมสร้างความสุขกาย สุขใจ เช่น

ลำผีฟ้า ผีฟ้าเป็นคติความเชื่อของชาวอีสาน มีบทบาทต่อสังคมส่วนรวม ก่อให้เกิดความสามัคคีสงบสุขในสังคม และเสริมพลังจิตให้สามารถต่อสู้กับความเจ็บป่วยได้ การลำผีฟ้าเป็นพิธีกรรมที่เชื่อว่าเป็นผีจากบรรพบุรุษที่

พวกตนให้ความเคารพสักการะ ช่วยปิดเป่าความทุกข์ ความเดือดร้อนให้หมดไป ในหนึ่งปีจะจัดพิธีเลี้ยงผีฟ้า เพื่อให้ผู้ป่วยที่เคยรักษาด้วยผีฟ้าได้ร่วมกันแสดงความเคารพ เช่น ไหว้ให้มีสุขภาพแข็งแรงอยู่เย็นเป็นสุขทั้งครอบครัวและชุมชน

การร่ายรำมโนราห์ เป็นการแสดงของผู้ที่ได้รับการฝึกฝนมาอย่างดี จนทำให้มีร่างกายแข็งแรง บางท่าในการรำมโนราห์จะคล้ายกับท่าฤๅษีดัดตน การรำมโนราห์นอกจากจะส่งเสริมให้ร่างกายแข็งแรงแล้วยังเป็นวัฒนธรรมที่ควรอนุรักษ์สืบทอดต่อไปให้คนในชุมชนได้ศึกษาและชื่นชม

ชีวิตานามัย การดำเนินชีวิตด้วยทางสายกลาง ประกอบการงานและประพฤติปฏิบัติในทางที่ชอบ มีความพอเพียงและพอประมาณ

การปฏิบัติตนนี้ ตามแนวทางของวิถีชุมชนในภาคต่าง ๆ ยังการกำหนดไว้ เช่น “บ่อยู่ บ่เซา บ่เจ็บ บ่ป่วย” คือ การเคลื่อนไหวร่างกาย การทำกิจวัตรประจำวันด้วยตนเองโดยไม่หยุดอยู่นิ่ง เป็นการออกกำลังกายเพื่อส่งเสริมไม่ให้เกิดการเจ็บป่วย (Jaisue, Kumsiruk & Jantakot, 2021)

ทั้งนี้ การบริโภคและการปฏิบัติตน จะเป็นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพ เป็นการดูแลและส่งเสริมสุขภาพที่ประชาชนทั่วไปสามารถนำไปใช้เพื่อการสร้างสุขภาพที่ดี ซึ่งไม่แตกต่างจากกระบวนการดูแลสุขภาพตามแนวทางการแพทย์แผนปัจจุบันที่ส่งเสริมและจัดการในการดูแลสุขภาพด้วยการออกกำลังกายที่เหมาะสม การรับประทานอาหารที่มีประโยชน์และเหมาะสมตามสภาพของร่างกายผู้ป่วย ร่วมกับการใช้ยาในการรักษาโรค นอกจากนี้ในการรักษาอาการป่วยด้วยสมุนไพรในบางชุมชน ต้องมีพิธีกรรมร่วมด้วย เช่น การมีคาถากำกัทยา การกำหนดวันและเวลาที่เหมาะสมในการเก็บยา ตลอดจนข้อห้ามต่าง ๆ เป็นต้น วิถีชุมชนจึงเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่ผู้ป่วยหรือผู้ดูแล ตลอดจนชุมชนสามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างพฤติกรรมสุขภาพที่ดี นอกเหนือไปจากการรักษาด้วยการแพทย์แผนปัจจุบัน

## ตาราง 1

ตัวอย่างสมุนไพรที่มีสรรพคุณสำหรับการดูแลผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง

สมุนไพร	สรรพคุณ
กานพลู	การอมกานพลู ที่มีสารช่วยลดอาการหงุดหงิดและความอยากสูบบุหรี่
กระเทียม	การใช้กระเทียมเป็นส่วนประกอบในอาหารเพื่อลดน้ำตาลในเลือด และลดความดันโลหิต
กระเจี๊ยบแดง	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคความดันโลหิตสูง
ขมิ้นชัน	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคความดันโลหิตสูง
หอมหัวใหญ่	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคความดันโลหิตสูง
มะเขือพวง	การนำมะเขือพวงมาประกอบอาหาร จะมีส่วนช่วยในการลดความดันโลหิต
มะนาว	การใช้น้ำมันหอมระเหยที่มีส่วนผสมของมะนาว จะช่วยลดความดันโลหิตสูง
มะระขี้นก	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคเบาหวาน
มะขามป้อม	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคความดันโลหิตสูง
ตำลึง	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคเบาหวาน
ถั่วแระ	มีสรรพคุณในการช่วยลดคลอเลสเตอรอลและน้ำตาลในเลือด
ถั่วเหลือง	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคความดันโลหิตสูง
ใบหม่อน	มีสรรพคุณช่วยลดน้ำตาลในเลือด ลดอาการโรคเบาหวาน ลดความดันเลือด
โรสแมรี่	การใช้น้ำมันหอมระเหยที่มีส่วนผสมของโรสแมรี่จะช่วยผ่อนคลายความตึงเครียด และบำรุงประสาท
รากสามสิบ	การใช้สารสกัดจากรากสามสิบ สามารถช่วยลดความดันโลหิตให้กับผู้ป่วยได้ การใช้ประโยชน์โดยตรงจากรากสามสิบ เช่น การนำมาแช่ดื่ม
ลูกยอ	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดโรคเบาหวาน
ผักชี	มีสรรพคุณช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด
ผักชีฝรั่ง	มีสรรพคุณช่วยลดระดับความดันโลหิต
ขิง	มีสรรพคุณช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด โดยเฉพาะกับผู้ป่วยโรคเบาหวาน
จิงจูฉ่ำ	มีสรรพคุณช่วยปรับสมดุลความดันโลหิต
เนื้อปลา	มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงในการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจและไขมันในเลือดสูง
หัวปลี	มีสรรพคุณช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด
พริกไทยดำ	มีสรรพคุณช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด
ใบกุยช่าย	มีสรรพคุณช่วยลดระดับความดันโลหิตและระดับน้ำตาลในเลือด

## บทสรุป

การนำวิถีชุมชนมาใช้ในการดูแลส่งเสริมสุขภาพผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง จะมีส่วนช่วยสนับสนุน และเป็นทางเลือกในการดูแลส่งเสริมสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงที่เพิ่มมากขึ้น

อย่างต่อเนื่อง การดูแลและส่งเสริมสุขภาพทั้งในส่วนของผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง จะประกอบด้วย กลไกหลักคือการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพควบคู่ไปกับการดูแลรักษาโดยแพทย์ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพนั้นจะเป็นไปตามแนวคิดและทฤษฎีพฤติกรรมสุขภาพ

โดยพฤติกรรมสุขภาพจะเริ่มตั้งแต่การรับประทานอาหาร การจัดการความเครียด จนถึงการออกกำลังกาย ส่วนวิถีชุมชนในการดูแลสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงจะประกอบไปด้วยความเชื่อ ภูมิปัญญาไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้าน โดยในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเด็นหลัก ประกอบด้วย (1) ประเด็นด้านการบริโภค และ (2) ประเด็นด้านการปฏิบัติตน ซึ่งทั้ง 2 ประเด็นนี้จะเป็นการบูรณาการวิถีชุมชนในมิติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการดูแลสุขภาพ การบริโภคเป็นการรับประทานอาหารและยาที่มีส่วนประกอบของสมุนไพร ส่วนการปฏิบัติตนเป็นการออกกำลังกายและการจัดการความเครียด ตามแนวทางภูมิปัญญาไทย ภูมิปัญญา

ท้องถิ่น การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้าน ซึ่งสามารถพบได้ในแต่ละชุมชน แต่ละท้องถิ่น

### ข้อเสนอแนะ

การนำวิถีชุมชนมาใช้ในการดูแลสุขภาพสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง ควรได้รับการส่งเสริมให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของชุมชนให้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และขยายผลไปสู่การดูแลในโรคอื่น ๆ ด้วย ตลอดจนขยายผลสู่การดำเนินงานในระดับนโยบาย และการวิจัยต่อไป



### References

- Chanprasit, C., Lirtmunlikaporn, S., Kaewthummanukul, T., Jongrungrotsakul, W., & Sawasdisingha, P. (2020). Lanna local wisdom in promoting the elderly well-being: A pilot study. *Nursing Journal*, 47(1), 185-197. Retrieved from <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/cmunursing/article/view/240744> (in Thai)
- Chinnawong, T. (2017). Case management for clients with diabetes mellitus and hypertension in a community. *Songklanagarind Journal of Nursing*, 37(1), 148-157. Retrieved from <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/nur-psu/article/view/80934> (in Thai)
- Choosri, P., & Suwankhong, D. (2021). Thai food wisdom reducing risk of diabetes. *Journal of Health Science*, 30(6), 1148-1152. Retrieved from <https://thaidj.org/index.php/JHS/article/view/11573> (in Thai)
- Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health. (2019). Knowledge market on Thai traditional medicine, indigenous medicine and alternative medicine. *16th National Herbal Fair* (pp. 1-12). Bangkok: Grand Point. (in Thai)
- Division of Complementary and Alternative Medicine, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health. (2023). *Guidelines for community health care using traditional Thai medicine, indigenous medicine and alternative medicine*. Pathum Thani: V Indy Design. (in Thai)

- Division of Complementary and Alternative Medicine, Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health. (2009). *Public guide to health care with traditional Thai Medicine*. Bangkok: The War Veterans Organization of Thailand. (in Thai)
- Division of Non-Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health. (2024). *Number and mortality rate of 5 non-communicable diseases, 2018-2022*. Retrieved from <https://www.ddc.moph.go.th/dncd/news.php?news>. (in Thai)
- Division of Non-Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health. (2023). *Annual report 2023, Division of Non-Communicable Diseases*. Bangkok: Aksorn Graphic and Design. (in Thai)
- Health Education Division, Department of Health Service Support, Ministry of Public Health. (2023). *Health care guide based on the 3A, 2S principles for health leaders*. Nonthaburi: Health Education Division Printing House. (in Thai)
- Hill Area and Community Development Foundation. (2019). *Back of the mountain kitchen: The value of traditional food from 15 ethnic groups*. Chiang Mai: Wanida Karnpim. (in Thai)
- Jaisue, D., Kumsiriruk, N., & Jantakot, A. (2021). The experiences of applying Isan local wisdom selfcare among the elderly in a community in Wapi Pathum, Maha Sarakham province. *Medical Journal of Srisaket Surin Buriram Hospitals*, 36(2), 251-264. Retrieved from <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/MJSSBH/article/view/252827> (in Thai)
- Janz, K. N., Champion, V. L., & Strecher, V. J. (2002). The health belief model. In K. Glanz, F. M. Lewis and K. Rimerb (Eds.), *Health behavior and health education theory, research, and practice* (pp. 1-9). San Francisco: Jossey-Bass.
- Kulsomboon, S., & Adthasit, R. (2007). Status and direction of research on indigenous wisdom for health. *Journal of Thai Traditional & Alternative Medicine*, 5(1), 50-61. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JTTAM/article/view/190844/133428> (in Thai)
- Metropolitan Health and Wellness Institution, Department of Health, Ministry of Public Health. (2019). *Guidelines for empowering diabetic and hypertensive patients*. Nonthaburi: Thansumrit 249. (in Thai)
- Mumanajit, W., & Nuim, B. (2016). Restoration and inheritance Thai traditional medical knowledge and indigenous medicine in Chon Buri province. *Academic Journal of Humanities and Social Sciences Burapha University*, 24(46), 147-170. Retrieved from <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/husojournal/article/view/68660/55912> (in Thai)
- National Health Commission Office. (2023). *The National Health Security Act, B.E. 2565 (3rd ed.)*. Bangkok: Pimsiripattana. (in Thai)

- Sangmanee, R. (2017). Using local wisdom with self-care behavior of hypertension patients in the three southern border provinces. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 9(2), 1-13. Retrieved from <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/jhri/article/view/75-86> (in Thai)
- Sarachai, P., & Chatpaengta, D. (2024). Model of care and surveillance of risk complications in patients with diabetes and high blood pressure in the Kamalasai subdistrict municipality, Kamalasai district, Kalasin province. *Journal of Environmental Education Medical and Health*, 9(2), 446-457. Retrieved from <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/hej/article/view/275200> (in Thai)
- Service Network, Muang Tak District Public Health Coordination Committee. (2018). *Guide to diabetes and hypertension care and behavior modification through the Motivation Interview (MI) process*. Tak: Tak Provincial Public Health Office. (in Thai)
- Sirisuwan, P. (2018). Effects of health promotion programs for prevention new case of diabetes mellitus in a diabetes risk group in Singkok sub-district, RoiEt province. *Journal of Boromarajonani College of Nursing, Surin*, 8(1), 45-58. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/bcnsurin/article/view/166945> (in Thai)
- Srivanichakorn, S. (2017). Morbidity and mortality situation of non-communicable diseases (diabetes type 2 and cardiovascular diseases) in Thailand during 2010-2014. *Disease Control Journal*. 43(4), 379-390. <https://doi.org/10.14456/dcj.2017.4> (in Thai)
- Thai Traditional Medicine Profession Act B.E. 2556. (2013, 9 January). *Royal Gazette*. No. 130 Section 10 A. pp. 1-23. (in Thai)



# การรับมือกับกลโกงในโลกไซเบอร์

## Dealing with Cyber Scams

สุปราณี วงษ์แสงจันทร์<sup>1</sup> ประภาพร กุลลิ้มรัตน์ชัย<sup>1</sup> และพิมล จงวรนนท์<sup>2</sup>  
Supranee Vongsaengjun<sup>1</sup>, Prapaporn Kullimratchai<sup>1</sup> and Phimol Chongvoranond<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

<sup>1</sup>School of Information Technology, Eastern Asia University

<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

<sup>2</sup>Instructor Eastern Asia University

Received: November 26, 2024

Revised: February 27, 2025

Accepted: March 5, 2025

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันภัยออนไลน์และกลโกงในโลกไซเบอร์เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบกลโกงอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินของบุคคลในวงกว้างและมีมูลค่าความเสียหายสูง บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับกลโกงในโลกไซเบอร์ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ (1) การหลอกลวงโดยใช้รูปแบบของ Social Engineering (2) การข่มขู่ (3) การควบคุมโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ และ (4) กลโกงในรูปแบบอื่น ๆ รวมถึงกรณีตัวอย่าง แนวทางป้องกัน การรับมือจากกลโกงและภัยออนไลน์ เพื่อส่งเสริมให้บุคคลมีความรู้และความตระหนักรู้ในการป้องกัน และสามารถจัดการกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างทันที่

**คำสำคัญ:** การหลอกลวงทางไซเบอร์ อาชญากรรมทางไซเบอร์ ภัยออนไลน์

## Abstract

Nowadays, online threats and cyber scams are continuously occurring, with scam patterns being regularly modified. This causes widespread damage to individuals' property and results in high-value losses. This article aims to present information about cyber scams, which can be categorized into four types: (1) Scams using social engineering techniques, (2) Threatening, (3) Remote access scams, and (4) Other forms of scams, including case studies. It also provides prevention guidelines and response methods to scams and online threats to promote awareness and understanding among individuals so they can immediately manage potential situations.

**Keywords:** cyber scam, cybercrime, online threats



## บทนำ

กลโกงและภัยคุกคามที่เกิดขึ้นในโลกออนไลน์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดคดีความและมูลค่าความเสียหายที่เกิดจากภัยออนไลน์อย่างมหาศาล การขาดความตระหนักรู้และความเข้าใจต่ออันตรายเหล่านี้ อาจนำไปสู่ผลกระทบที่ร้ายแรงต่อบุคคลและองค์กร จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาและพัฒนามาตรการป้องกันอย่างเข้มงวดเพื่อลดความเสี่ยงและสร้างความปลอดภัยในสังคมดิจิทัล จากรายงานของสำนักงานตำรวจแห่งชาติ พบสถิติการแจ้งความออนไลน์ ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2565–วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2567 ในประเทศไทยมีการแจ้งความผ่านเว็บไซต์ของศูนย์ปราบปรามอาชญากรรมทางเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ โดยขออายัดบัญชี 148,585 เคส จำนวน 236,038 บัญชี ยอดเงิน 15,025,476,040 บาท สามารถอายัดเงินได้ทัน 2,243,617,705 บาท คิดเป็นร้อยละ 14.93 มีสถิติการแจ้งความออนไลน์ทั้งสิ้น 427,979 เรื่อง มีมูลค่าความเสียหายรวม 59,138,627,839 บาท โดยสรุปจำนวนคดีความออนไลน์ 15 อันดับ ดังภาพ 1

จากสถิติการแจ้งความออนไลน์ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2565–2567 มีมูลค่าความเสียหายรวม 74,893,134,395 บาท เฉลี่ย 77 ล้านบาทต่อวัน ซึ่งประเภทคดีออนไลน์ที่มีการแจ้งความมากที่สุด 5 อันดับแรก มีมูลค่าความเสียหายถึง 56,452,637,652 บาท ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจ สถาบันการเงิน และภาคประชาชนที่ได้รับความเสียหายในวงกว้าง มีรายละเอียดดังภาพ 2

จากการศึกษาปัญหาอาชญากรรมทางเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในชุมชนจังหวัดราชบุรี (Wingworn, 2023) พบปัญหาการถูกหลอกลวงซึ่งแบ่งได้เป็น 5 ลักษณะ คือ (1) ปัญหาการหลอกลวงโดยแก๊งคอลเซ็นเตอร์ (2) ปัญหาการหลอ

ลวงโดยการขายสินค้าออนไลน์ (3) ปัญหาการถูกแอบบัญชีโซเชียล (4) ปัญหาการถูกหลอกลวงเพื่อนำเอาเอกสารและข้อมูลส่วนบุคคลไปใช้เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการกระทำ ความผิด และ (5) ปัญหาการชักชวนให้เปิดบัญชีเงินฝาก และมีค่าตอบแทนให้ โดยสามารถแบ่งปัญหาอาชญากรรมทางเทคโนโลยีออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ (1) ปัญหาความรู้เท่าทันต่อกลอุบายของอาชญากรรมทางเทคโนโลยีที่เข้ามาหลอกลวงให้มีการโอนไปซึ่งทรัพย์สิน/ข้อมูล/เอกสารสำคัญ (2) ปัญหาการไม่รู้กฎหมายเกี่ยวกับสิทธิในกระบวนการยุติธรรม เนื่องจากอาชญากรรมมักจะทำตัวเป็นตำรวจ หรือผู้มีอำนาจในการดำเนินการทางกฎหมาย และข่มขู่ให้เหยื่อกลัวว่าจะถูกดำเนินคดีหากไม่ทำตาม และ (3) ปัญหาขาดความรู้ในการป้องกันตนเองจากอาชญากรรมทางเทคโนโลยี และแนวทางในการดำเนินการเมื่อตกเป็นเหยื่อ

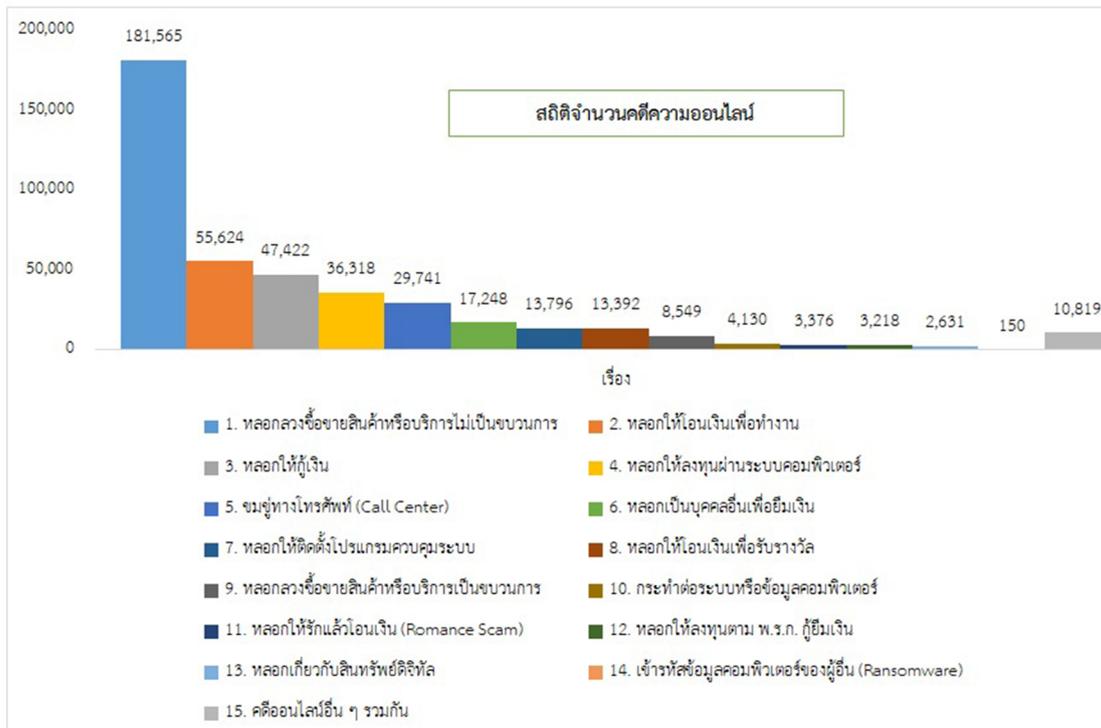
อีกทั้งผู้สูงอายุยังคงเป็นเหยื่อของการหลอกลวงทางไซเบอร์ในหลายรูปแบบ (Sarmart & Lerdtomornsakul, 2023) อาทิ (1) การหลอกลวงให้ลงทุนโดยมีผลตอบแทนสูงเป็นสิ่งจูงใจ (2) การหลอกลวงทางโทรศัพท์แบบเป็นกระบวนการหรือแก๊งคอลเซ็นเตอร์ โดยทำให้ตกใจกลัวหรือทำให้เกิดความโลภ หรือหลอกว่าเป็นคนรู้จัก (3) การหลอกลวงซื้อสินค้าออนไลน์ โดยสร้างโปรไฟล์ให้ดูมีความน่าเชื่อถือ เป็นสินค้ามีราคาไม่สูงหรือราคาต่ำกว่าท้องตลาด และ (4) การหลอกลวงให้รักทางออนไลน์ โดยใช้จิตวิทยาเพื่อให้หลงรัก ที่นำไปสู่การหลอกลวงทรัพย์สินเงินทอง

นอกจากนี้ ในต่างประเทศยังพบภัยคุกคามจากอาชญากรรมทางไซเบอร์และการหลอกลวงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีรูปแบบกลโกงประเภทใหม่ ๆ ที่พยายามเจาะจงเป้าหมายให้ถึงเหยื่อโดยตรง (Zhu et al., 2023) ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจและภาคประชาชน มีผู้ตกเป็นเหยื่อและหลงเชื่อ

เป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละประเทศยังคงพยายามหาวิธีการป้องกันและการรับมือกับปัญหาดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง เช่น การพัฒนาโมเดลการแจ้งเตือนการหลอกลวงด้วยการจำแนกประเภทข้อความ การใช้ข้อมูลและอัลกอริทึมการเรียนรู้เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกนำมาใช้ในการป้องกันภัยออนไลน์ที่เกิดขึ้น การสร้างแพลตฟอร์มและการนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้า

ช่วยวิเคราะห์และป้องกันภัยออนไลน์ในอนาคต เป็นต้น

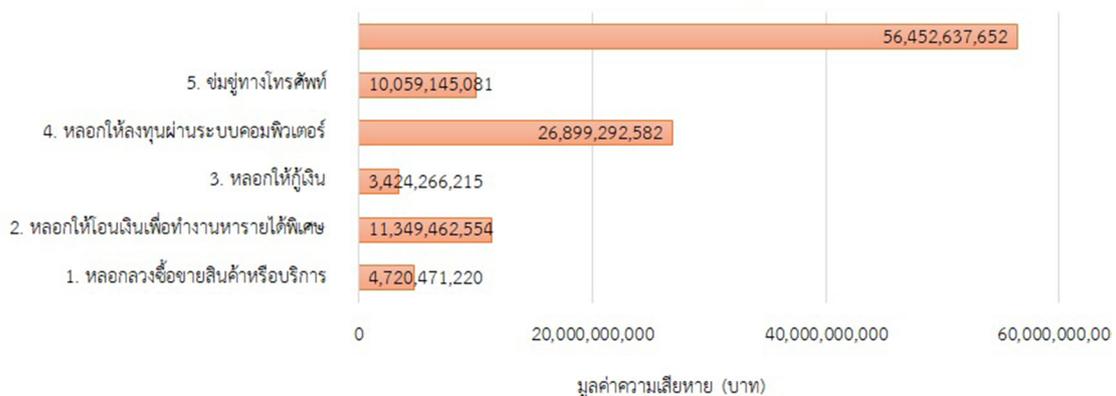
ดังนั้น บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกรณีตัวอย่างของกลโกงในโลกไซเบอร์ วิธีการรับมือ และแนวทางในการป้องกัน เพื่อให้มีภูมิคุ้มกันและรู้เท่าทันภัยออนไลน์ที่อาจเกิดขึ้นได้



ภาพ 1 สถิติคดีความออนไลน์ ข้อมูล ณ วันที่ 3 มีนาคม 2567

Note. From “Revealing online crime report statistics: Thais lost a total of over 59 billion baht,” by Prachachat Online, 2024, retrieved from <https://www.prachachat.net/ict/news-1514260>

### 5 ประเภทคดียอดออนไลน์ที่มีสถิติการแจ้งความมากที่สุด



ภาพ 2 มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากคดียอดออนไลน์ 5 ประเภทที่มีความแจ้งความมากที่สุด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565 – 2567

Note. From “The government reveals online crime report statistics, showing damages exceeding 70 billion baht from 2022 to 2024,” by Radio Station for Safety and Traffic, 2024, retrieved from <https://today.line.me/th/v2/article/3NW25jv>

## กลโกงในโลกไซเบอร์

จากการรวบรวมข้อมูลภัยคุกคามในโลกไซเบอร์ที่เกิดขึ้นและมีการแจ้งเตือนในประเทศไทย ในที่นี้ ผู้เขียนขอกล่าวถึงภัยคุกคามที่เกิดจากการหลอกลวงที่เป็นส่วนหนึ่งของกลวิธีทางวิศวกรรมสังคม (social engineering influence tactics) (Boonmee, 2023) ซึ่งเป็นรูปแบบของการปฏิบัติการทางจิตวิทยาผ่านการหลอกลวงให้เหยื่อหลงเชื่อเพื่อให้ได้ผลประโยชน์ตามที่ผู้โจมตีต้องการ และแรนซัมแวร์ (ransomware) หรือมัลแวร์เรียกค่าไถ่ (Boonmee & Chavanich, 2021) ซึ่งใช้เทคนิคขั้นสูงขึ้นในการสร้างความเสียหายตั้งแต่ระดับบุคคลไปจนถึงองค์กรขนาดใหญ่ เพื่อสร้างผลตอบแทนให้แก่แฮกเกอร์ ดังนี้

การหลอกลวง เช่น การหลอกลวงทางอินเทอร์เน็ต (phishing) (Immigration Bureau, 2024) หลอกให้ซื้อขายสินค้าหรือบริการทั้งเป็นขบวนการและไม่เป็นขบวนการ หลอกเรียกเก็บเงินค่าสินค้าปลายทางโดยไม่มีการส่งสินค้า การลงโพสต์ขายสินค้าทางออนไลน์เพื่อหลอกเงินแต่ไม่จัดส่งสินค้า การส่ง QR Code เพื่อหลอกให้โอนเงิน การหลอกว่าได้รับรางวัล หลอกให้โอนเงินเพื่อรับรางวัล/ทำงาน/หารายได้จากการทำกิจกรรมพิเศษ หลอกลวงเกี่ยวกับการจ้างงานที่ไม่จริง (job scam) หลอกให้ไปทำงานต่างประเทศ/โฆษณาชวนไปทำงานต่างประเทศ หลอกให้ลงทุน/หลอกให้เงินกู้ในรูปแบบต่าง ๆ หลอกเกี่ยวกับสินทรัพย์ดิจิทัล หลอกด้วย SMS ปลอม/เฟซบุ๊กปลอม/เว็บไซต์ปลอม (AIS AUNJAI CYBER, 2024) การแอบอ้างว่าเป็นเพื่อนหรือคนรู้จักเพื่อขอยืมเงินผ่านเครือข่ายสังคมออนไลน์ หลอกให้ทำบุญ หลอกด้วยเสน่ห์ (romance scam) (Aborisode, Ocheja & Okuneye, 2024) หลอกให้รักแล้วลงทุน หลอกให้รักแล้วโอนเงิน/ยืมเงิน หลอกลวงให้ถ่ายภาพไปปล่อย หลอกลวงเพื่อเอาข้อมูลส่วนตัว (phishing scam) (Drew & Webster, 2024) หลอกลวงและข่มขู่ให้เกิดความกลัว การหลอกลวงทางโทรศัพท์เป็นขบวนการ (แก๊งคอลเซ็นเตอร์)

การควบคุมโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ อาทิ การหลอกให้ติดตั้งโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสาร โดยกดลิงก์หรือดาวน์โหลดโปรแกรม/แอปพลิเคชันเพื่อควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกล (remote access scam) เพื่อกระทำการต่อระบบหรือข้อมูล คอมพิวเตอร์ การเข้ารหัสข้อมูลคอมพิวเตอร์ของผู้อื่น การเรียกค่าไถ่ทางคอมพิวเตอร์ (Ransomware)

การฉ้อโกงในรูปแบบอื่น ๆ อาทิ แชร์ลูกโซ่ การพนันออนไลน์ การยินยอมให้ผู้อื่นใช้บัญชีธนาคาร (บัญชีม้า) ข่าวปลอม (fake news) เป็นต้น

## การจัดกลุ่มประเภทของกลโกงในโลกไซเบอร์

จากการศึกษาการหลอกลวงในโลกไซเบอร์ที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนในวงกว้างทั้งในและต่างประเทศ เพื่อสะท้อนให้ตระหนักถึงกลโกงและภัยคุกคามที่ใกล้ตัว ผู้เขียนจึงขอสรุปประเด็นรูปแบบกลโกงในโลกไซเบอร์ ออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้ (1) การหลอกลวงโดยใช้รูปแบบของ Social Engineering (2) การข่มขู่เพื่อให้เกิดความกลัว (3) การควบคุมโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ และ (4) การฉ้อโกงในรูปแบบอื่น ๆ ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 1 พร้อมยกตัวอย่างกลโกงและแนวทางป้องกัน จากคดีความและปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1. การหลอกลวงโดยใช้รูปแบบของ Social Engineering

#### 1.1 หลอกลวงซื้อ/ขายสินค้าหรือบริการออนไลน์

ในบริบทของผู้บริโภค: มีฉ้อโกงที่ทำการเปิดเพจขายสินค้าและใช้ชื่อที่ใกล้เคียงกับเพจจริง รวมถึงใช้ชื่อเพจอื่น ๆ ที่มีการขึ้นไปในลักษณะแอบอ้างเป็นตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ในราคาถูก โดยหลอกขายผลิตภัณฑ์ภายใต้แบรนด์ดังแต่ไม่มีการจัดส่งสินค้าจริง (Royal Thai Police Office, 2023)

มีแนวทางป้องกัน ดังนี้ (1) ตรวจสอบเพจ Facebook ให้แน่ใจก่อนซื้อ โดยดูที่ตัวเลือก “เกี่ยวกับ” “ความโปร่งใส” เพื่อดูว่าเพจเปิดมานานเท่าใด ผู้จัดการเพจอยู่ประเทศไทยหรือไม่ (2) สังเกตช่องกวดโลกมีเครื่องหมาย “โกรธ” จำนวนมากหรือไม่ (3) นำชื่อเพจนั้นไปค้นหาใน Facebook ว่ามีเพจอื่นอีกหรือไม่ เพื่อเปรียบเทียบดูว่าเพจใดจริงหรือปลอม (4) สินค้าที่มีราคาถูกกว่าตลาดมาก ๆ ให้ตั้งข้อสังเกตไว้ว่าอาจหลอกลวง และ (5) บัญชีรับโอนเงินควรเป็นบัญชีชื่อร้าน หากเป็นบัญชีบุคคลธรรมดาให้สงสัยว่าหลอกลวง

ในบริบทของผู้ประกอบการ: เหตุการณ์มีฉ้อโกงติดต่อร้านอาหารผ่านแอปพลิเคชัน หลอกสั่งข้าวกล่องจำนวนมากเพื่อนำไปจัดเลี้ยงและโอนเงินค่ามัดจำให้จำนวนหนึ่ง จากนั้นมีฉ้อโกงโทรศัพท์แจ้งว่าต้องการสั่งอาหารเพิ่มและจะจ่ายเงินเพิ่มให้ภายหลัง และส่ง QR Code มาให้โดยอ้างว่าเป็นการแอดไลน์เท่านั้น เมื่อร้านสแกน QR Code แล้ว จะได้รับการแฝงลิงก์ดาวน์โหลดมัลแวร์แบบอัตโนมัติเพื่อมีฉ้อโกงจะควบคุมเครื่องโทรศัพท์เพื่อถอนเงินหรือติดตามการทำงาน (Royal Thai Police Office, 2023)

มีแนวทางป้องกัน ดังนี้ (1) ตรวจสอบให้แน่ใจว่าคู่บัญชีที่ทำธุรกรรมนั้นได้ทำการซื้อขายสินค้ากันจริงหรือไม่ (2) ติดตั้งโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันที่สามารถระบุได้ว่าเป็นลิงก์ปลอม (3) หากสแกนแล้วปรากฏลิงก์แปลก

ปลอมหรือไม่น่าเชื่อถือ ไม่ควรกดเข้าไป (4) หลังจากสแกนแล้วหากเข้าเว็บแปลกปลอมให้รีบออกทันที และ (5) หาก

มีการติดตั้งแอปพลิเคชันที่เป็นอันตรายลงไป ให้มีสติ ปิดเครื่อง ตัดสัญญาณอินเทอร์เน็ตและมือถือทันที

**ตาราง 1**

*การสังเคราะห์ข้อมูลกลโกงในโลกไซเบอร์*

ประเภทภัยออนไลน์	Royal Thai Police Office (2024)	Bank of Thailand (2023)	Radio Station for Safety and Traffic (2024)	Thairath Online (2023)	Thaipost (2023)	Prachachat Online (2024)	Matchon Online (2023)	AIS Aunjai Cyber (2024)	Aborisade & Ocheja & Okuneye (2024)	Drew & Webster (2024)	Wang & Topalli (2024)	Zhu et al. (2023)
1. การหลอกลวงโดยใช้รูปแบบของ Social Engineering	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
1.1 หลอกลวงซื้อ/ขายสินค้าหรือบริการออนไลน์ เช่น การหลอกลวงเรียกเก็บเงิน เช่น เก็บค่าสินค้าปลายทางทั้งที่ไม่ได้มีการส่งสินค้า หรือการลงโพสต์ขายสินค้าออนไลน์เพื่อหลอกเอาเงินแต่ไม่จัดส่งสินค้า เป็นต้น	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
1.2 การหลอกลวงเกี่ยวกับการจ้าง เช่น หลอกจ้างงานที่ไม่มีอยู่จริง (job scam) หลอกให้โอนเงินเพื่อทำงาน หลอกให้ทำงานเสริมออนไลน์ โฆษณาชวนไปทำงานต่างประเทศ เป็นต้น	✓	✓					✓	✓				✓
1.3 การหลอกให้ลงทุน/ หลอกให้กู้เงิน เช่น เงินกู้ออนไลน์ หลอกให้กู้เงินแต่ไม่ได้เงิน หลอกลงทุนในรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น	✓	✓	✓				✓	✓				✓
1.4 การหลอกให้โอนเงินด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การส่ง QR Code การปลอม SMS การปลอมบัญชีเครือข่ายสังคมออนไลน์ แล้วหลอกยืมเงิน การแอบอ้างเป็นคนรู้จัก หลอกว่าได้รับรางวัล หลอกให้ทำบุญ เป็นต้น							✓	✓				✓
1.5 การหลอกด้วยเสน่ห์ (romance scam) เช่น หลอกให้รักแล้วลงทุน หลอกให้รักแล้วโอนเงิน/ยืมเงิน หลอกลงทุนให้ถ่ายภาพโป๊เปลือย เป็นต้น								✓	✓	✓	✓	✓
2. การข่มขู่เพื่อให้เกิดความกลัว เช่น การข่มขู่ทางโทรศัพท์ (คอลเซ็นเตอร์) ในรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
3. การควบคุมโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ เช่น การหลอกให้กดลิงก์หรือดาวน์โหลดโปรแกรม/แอปพลิเคชัน เพื่อควบคุมคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสารจากระยะไกล (remote access scam) การเรียกค่าไถ่ทางคอมพิวเตอร์ (Ransomware) เพื่อกระทำการต่อระบบหรือข้อมูลในคอมพิวเตอร์ เป็นต้น	✓	✓				✓		✓				
4. กลโกงในรูปแบบอื่น ๆ เช่น แชร่ลูกโซ่ การพนันออนไลน์ บัญชีม้า (ยินยอมให้ผู้อื่นใช้บัญชีธนาคาร) ข่าวปลอม (Fake News) เป็นต้น	✓	✓						✓				

1.2 การหลอกลวงด้วยเสน่ห์ (romance scam) มีจฉาชีพติดต่อพูดคุยกับผู้เสียหายทาง Facebook และ เว็บไซต์หาคู่ (Royal Thai Police Office, 2023) จากนั้น อ้างว่าอยากจะมาอยู่ประเทศไทยมาใช้ชีวิตคู่กับผู้เสียหาย จะส่งทรัพย์สินมีค่ามาให้โดยให้ผู้เสียหายโอนเงินเพื่อชำระภาษี และได้เงินจากผู้เสียหายรอบแรก เมื่อมีจฉาชีพสามารถสร้างความเชื่อถือให้กับผู้เสียหายได้แล้วจะหลอกให้ผู้เสียหายเปิดบัญชีเพื่อลงทุนทำธุรกิจร่วมกัน (Anesa, 2020) จากนั้นมีจฉาชีพจะไปหลอกผู้เสียหายคนที่สองและให้โอนเงินเข้าบัญชีผู้เสียหายคนแรก สุดท้ายมีจฉาชีพให้ผู้เสียหายคนแรกซื้อเหรียญคริปโตให้ บัญชีผู้เสียหายคนแรกจึงกลายเป็นบัญชีม้า (ใช้บัญชีผู้อื่นรับโอนเงินจากผู้กระทำผิด) (The Thai Bankers Association, 2024) โดยมีจฉาชีพมักใช้รูปโปรไฟล์ชาวต่างชาติหน้าตาดีหรือมีประวัติการทำงานที่ดีและมั่นคง ซึ่งข้อมูลและรูปเหล่านี้ได้มาจากหลายแหล่งในอินเทอร์เน็ต มีจฉาชีพที่ใช้กลโกงลักษณะนี้มักมีการหลอกให้โอนเงินโดยใช้ช่องทางต่าง ๆ

มีแนวทางป้องกัน ดังนี้ (1) ตรวจสอบตัวตนของคนในโลกโซเชียลโดยการโทรพูดคุยผ่าน messenger หรือ โทรศัพท์ปกติ เพื่อสังเกตสำเนียงการใช้ภาษาพูดว่าเป็นบุคคลที่กล่าวอ้างหรือไม่ (2) ถ้ามีการชักชวนให้เปิดบัญชีเพื่อลงทุนหรือเทรดเงินคริปโต หลังจากสร้างความเชื่อมั่นในระยะเวลาไม่นาน ให้ปฏิเสธและปิดกั้นการสนทนา (3) ควรเรียนรู้และกระทำการลงทุนหรือเทรดเงินคริปโตด้วยตนเอง และ (4) ควรมีสติทุกครั้งเมื่อมีการทำธุรกรรมใด ๆ กับบุคคลที่ไม่รู้จัก

## 2. การข่มขู่เพื่อให้เกิดความกลัว

2.1 คอลเซ็นเตอร์หลอกลวงดูเงินในบัญชี มีจฉาชีพจะใช้หลักจิตวิทยาในการโน้มน้าวให้เชื่อ โดยแอบอ้างเป็นเจ้าของหน้าที่ของหน่วยงานรัฐหรือองค์กรต่าง ๆ (Tuncharoen & Assawaboonmee 2023) เพื่อให้ผู้รับสารทำตามอุบายที่วางไว้ภายในเวลาที่จำกัด หรือล่อด้วยผลตอบแทนที่ต้องรีบตัดสินใจ เพื่อกระตุ้นให้เหยื่อรีบทำตาม โดยขาดการคิดให้รอบคอบ หนึ่งในวิธีการที่มีจฉาชีพนิยมใช้คือการหลอกขอข้อมูลและให้ติดตั้งแอปพลิเคชันปลอม จากนั้นจะเข้าควบคุมโทรศัพท์มือถือของเหยื่อจากระยะไกล แล้วทำการ

โอนเงินของเหยื่อออกมาอย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องเห็นหน้าหรือเจอตัวกัน รูปแบบการหลอกลวงดูเงินในบัญชีมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้ (1) ติดต่อเข้ามาหาเหยื่อโดยอ้างเป็นหน่วยงานรัฐหรือองค์กรต่าง ๆ เช่น กรมสรรพากร กรมที่ดิน กรมบัญชีกลาง กรมบังคับคดี การไฟฟ้า การประปา สถาบันการเงิน สำนักงานตำรวจ สายการบิน ศูนย์บัตรเครดิต เป็นต้น (2) มีจฉาชีพมักจะบอก ชื่อ หรือข้อมูลเบื้องต้นของเหยื่อได้ถูกต้อง เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและทำให้เกิดการหลงเชื่อ (3) จากนั้นมีจฉาชีพจะหลอกขอข้อมูลที่จำเป็นอื่น ๆ เพิ่มเติม โดยให้เหยื่อเพิ่มเพื่อนใน LINE เพื่อแชตคุยส่วนตัว (4) อาจจะมีการส่งลิงก์ให้คลิกหรือส่งไฟล์ให้เหยื่อดาวน์โหลด เพื่อติดตั้งแอปพลิเคชันที่มีจฉาชีพเตรียมไว้สำหรับการเข้าควบคุมอุปกรณ์มือถือ โดยแอปพลิเคชันที่ให้ติดตั้งจะเป็นแอปพลิเคชันปลอมที่ใช้ชื่อตามหน่วยงานที่นำมาแอบอ้าง (5) หลังจากเหยื่อติดตั้งแอปพลิเคชันตามคำกล่าวอ้างแล้ว มีจฉาชีพจะหลอกให้กรอกข้อมูลต่าง ๆ เพิ่มเติม รวมถึงสแกนใบหน้าเพื่อยืนยันตัวตน ซึ่งข้อมูลที่ให้ไปหรือกดส่งไปในขั้นตอนนี้จะเป็นเหมือนการอนุญาตให้มีจฉาชีพสวมรอยเข้ามาทำธุรกรรมในนามเหยื่อได้ทันที (6) โทรศัพท์มือถือของเหยื่อจะถูกล็อก มีจฉาชีพจะโอนเงินในบัญชีของเหยื่อออกไปยังบัญชีม้าทันที และ (7) มีจฉาชีพจะนำข้อมูลส่วนตัวของเหยื่อมาเก็บไว้เพื่อหลอกลวงในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป

มีแนวทางป้องกัน ดังนี้ หากไม่มั่นใจว่าเป็นหน่วยงานจริงติดต่อมาหรือไม่ ให้สอบถามไปที่เบอร์สายด่วนของหน่วยงานนั้นโดยตรง ซึ่งโดยปกติแล้วหน่วยงานหรือองค์กรต่าง ๆ หากมีเรื่องสำคัญที่เกี่ยวข้องกับลูกค้า ประชาชน จะมีการประกาศแจ้งเป็นทางการบนเว็บไซต์หรือโซเชียลมีเดียของหน่วยงานนั้น ๆ ล่วงหน้า (Siam Commercial Bank, 2023) และจะมีระยะเวลาให้เตรียมตัวหรือดำเนินการอย่างน้อยเป็นหลักเดือนขึ้นไป จะไม่มีบริการติดต่อเข้ามาเสนอให้บริการโดยแชตคุยเป็นการส่วนตัวเด็ดขาด ในกรณีที่เกิดเป็นเหยื่อของมีจฉาชีพ ให้รีบติดต่อธนาคารเจ้าของบัญชีเพื่ออายัดบัญชีให้เร็วที่สุด และดำเนินการแจ้งความออนไลน์ผ่าน <https://thaipoliceonline.go.th/> ตามขั้นตอน

2.2 การข่มขู่ทางโทรศัพท์ เหตุการณ์หลอกลวงนักศึกษาเกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (Thaipbs,

2024) โดยแก๊งคอลเซ็นเตอร์อ้างตัวเป็นเจ้าของหน้าที่ตำรวจ และพบหมายเลขบัตรประชาชนของผู้เสียหายเกี่ยวข้องกับคดีต่าง ๆ เช่น การติดตั้งอินเทอร์เน็ตบ้านแล้วไม่จ่ายเงิน พัวพันกับเว็บพนันออนไลน์ เป็นต้น จากนั้นมีจฉอาชีพเหล่านี้จะใช้กลวิธีทางจิตวิทยาในการสื่อสารและเจรจาจากผู้เสียหายเพื่อล่อลวงให้ไปยังสถานที่เงียบ ๆ ตามลำพัง โดยอ้างว่ามีการดำเนินคดีที่เกี่ยวข้องกับผู้เสียหาย และต้องการพูดคุยเพื่อแก้ไขปัญหา เมื่อผู้เสียหายตกเป็นเหยื่อและไปยังสถานที่ที่ถูกนัดหมาย มีจฉอาชีพจะเริ่มบอกให้ผู้เสียหายโอนเงินเพื่อเป็นค่าดำเนินคดี หรือขอให้ผู้เสียหายไปหาลอกลงผู้ปกครองด้วยการอ้างว่าถูกทำร้ายร่างกายหรือถูกจับตัว เพื่อให้ผู้ปกครองโอนเงินให้ โดยโอนเงินเข้าบัญชีของผู้เสียหายก่อนแล้วจึงโอนเงินไปยังบัญชีม้าอีกทอดหนึ่งเพื่อป้องกันการติดตามตัว

มีแนวทางป้องกัน ดังนี้ ในกรณีที่มีสายโทรเข้าในลักษณะที่น่าสงสัย ควรเดินทางไปยังสถานีตำรวจที่ใกล้ที่สุด เนื่องจากเจ้าหน้าที่ตำรวจในทุกสถานีสามารถตรวจสอบได้ว่าท่านมีหมายจับหรือมีคดีจริงหรือไม่ และควรระมัดระวังในการกรอกข้อมูลบนสื่อสังคมออนไลน์ การให้ข้อมูลส่วนบุคคลทางออนไลน์ที่ต้องส่งสำเนาบัตรประชาชนทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เบอร์ติดต่อ รวมทั้งการสแกนใบหน้า

3. การควบคุมโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ กรณีการแสกข้อมูลโรงพยาบาลเพชรบูรณ์ที่ถูกโจมตีในลักษณะของแรนซัมแวร์หรือมัลแวร์เรียกค่าไถ่ในปี 2564 ทำให้ข้อมูลผู้ป่วยจำนวน 16 ล้านคนถูกขโมยและมีการขายในตลาดมืด (Thaipbs, 2024) โดยสาเหตุของการถูกแสกอาจมาจากช่องโหว่ในระบบคอมพิวเตอร์ หรือเกิดจากความผิดพลาดของบุคลากรที่เผลอกดลิงก์ที่เป็นอันตราย เหตุการณ์นี้ไม่ใช่ครั้งแรกที่กระทรวงสาธารณสุขถูกโจมตี เนื่องจากในปี 2563 โรงพยาบาลสระบุรีเคยถูกแสกข้อมูลด้วยวิธีเดียวกัน โดยถูกเรียกค่าไถ่เป็นเงินจำนวน 200,000 บิตคอยน์ (63,000 ล้านบาทไทย) ข้อมูลที่ถูกแสกในกรณีนี้ไม่ได้เป็นข้อมูลทุกอย่างจากระบบเซิร์ฟเวอร์ แต่เป็นข้อมูลบางส่วนในกระบวนการรักษาที่ถูกดึงออกมาเพื่อการวิเคราะห์

มีแนวทางป้องกัน ดังนี้ (1) ไม่กดลิงก์ที่น่าเชื่อถือ (2) ไม่ควรกรอกข้อมูลส่วนตัวทางออนไลน์ในเว็บไซท์ที่ไม่รู้จัก

รวมถึงเว็บไซท์ที่ไม่มีความน่าเชื่อถือ (3) ในการใช้คอมพิวเตอร์สาธารณะ ไม่ควรใช้เว็บไซท์ที่ต้องล็อกอินโดยใช้ข้อมูลส่วนตัว เช่น การล็อกอินเข้าเครือข่ายสังคมออนไลน์หรือเว็บไซท์ของธนาคารเพื่อทำธุรกรรมทางการเงิน (4) ควรตั้งค่าการแจ้งเตือนกับบัญชีธนาคารและบัตรเครดิต เพื่อให้ทราบการเคลื่อนไหวหากมีการทำธุรกรรม และ (5) ไม่เข้าเว็บไซท์หรือดาวน์โหลดแอปพลิเคชันแปลกหรือถูกแนะนำจากคนที่ไม่รู้จัก

4. กลโกงในรูปแบบอื่น ๆ เช่น แชร้ลูกโซ่ เป็นกลโกงที่มีการพัฒนาให้ซับซ้อนยิ่งขึ้นตามยุคสมัย โดยการระดมทุนจากสมาชิกที่ตกเป็นเหยื่อ จูงใจด้วยผลตอบแทนที่สูงและมักอ้างว่าจะนำไปลงทุนในธุรกิจที่มีกำไรดีแต่ไม่นำเงินไปลงทุนจริง เพียงต้องการหาสมาชิกใหม่ให้ได้จำนวนมากเพื่อนำเงินจากเหยื่อรายใหม่มาจ่ายให้รายเก่า ซึ่งจะทำแบบนี้เป็นทอด ๆ กันเป็นลูกโซ่ เมื่อถึงจุดที่ธุรกิจหมุนเงินไม่ทันจะเริ่มเลื่อนการจ่ายผลตอบแทน สุดท้ายวงแชร์ลูกโซ่ก็จะถึงจุดจบตัวอย่างเช่น แชร้แม่ขม้อย แชร้ชาร์เตอร์ แชร้เสมาฟ้าคราม แชร้บลิสเซอร์ แชร้ลูกโซ่ยูฟ่า แชร้แม่มณี คดี Forex-3D (PPTV Online, 2024) คดีบีบีเอสและบอสตราเครือข่ายดีไอคอน โครงการสุขภาพเครือข่ายหมอบุญ เป็นต้น

มีแนวทางป้องกัน ดังนี้ เมื่อตัดสินใจลงทุนควรดูข้อมูลจากบริษัทที่มีการรับรองอย่างถูกต้องภายใต้การกำกับของตลาดหลักทรัพย์ฯ ธนาคารแห่งประเทศไทย (ธปท.) สำนักงานคณะกรรมการกำกับหลักทรัพย์และตลาดหลักทรัพย์ (ก.ล.ต.) หรือ สำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจประกันภัย (คปภ.) ซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลอย่างเป็นทางการจะมีความปลอดภัยในระดับหนึ่ง หากมีการแนะนำการลงทุนที่ไม่ถูกต้องนักลงทุนสามารถร้องเรียนไปยังหน่วยงานที่กำกับดูแลได้ หากได้รับการชักชวนลงทุนโดยมีข้อเสนอที่ดีเกินความเป็นจริงให้ตั้งข้อสังเกตว่าอาจเป็นการหลอกลวง นอกจากนี้หากมีข้อสงสัยว่าการลงทุนนั้น ๆ เข้าข่ายว่าจะเป็นแชร์ลูกโซ่หรือผิดกฎหมายหรือไม่ สามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ (1) สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค โทร. 1166 (2) กรมสอบสวนคดีพิเศษ (DSI) โทร. 1202 (3) กรมพัฒนาธุรกิจการค้า โทร.1570

(4) ศูนย์คุ้มครองผู้ใช้บริการทางการเงิน ธนาคารแห่งประเทศไทย โทร. 1213 (5) ศูนย์รับแจ้งการเงินนอกระบบ สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง โทร. 1359 และ (6) สำนักงานคณะกรรมการกำกับหลักทรัพย์และตลาดหลักทรัพย์ (ก.ล.ต.) โทร. 1207

### การรับมือจากกลโกงและภัยออนไลน์

การลดโอกาสการเกิดปัญหาอาชญากรรมทางคอมพิวเตอร์มีมาตรการที่หลากหลาย แนวทางหนึ่งที่สามารถดำเนินการเพื่อให้ตนเองปลอดภัยจากการหลอกลวงทางไซเบอร์ จากการใช้คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน รวมถึง Mobile Banking Application (Krungsri GURU, 2024; Northern Trust, 2024) ควรยึดแนวปฏิบัติดังต่อไปนี้ (1) ไม่เก็บข้อมูลส่วนตัวในสมาร์ตโฟน เพราะหากสูญหายข้อมูลอาจตกไปอยู่ในมือมิจฉาชีพได้ (2) ไม่ใช้รหัสล็อกหน้าจอโทรศัพท์เดียวกับรหัสเข้า Mobile Banking Application เพื่อให้มิจฉาชีพเข้าถึงข้อมูลได้ยากขึ้น (3) จำกัดวงเงินในการใช้งาน Mobile Banking Application เพื่อลดมูลค่าความเสียหายหากถูกโอนเงินออกจากบัญชี (4) ควรลงชื่อออกจากบัญชีหรือปิดแอปพลิเคชันทุกครั้งเมื่อทำธุรกรรมเสร็จ เพื่อป้องกันการเข้าถึงจากบุคคลอื่น (5) เปิดรับการแจ้งเตือนผ่าน SMS และ e-mail เสมอ (6) ตรวจสอบข้อมูลธุรกรรมเป็นประจำว่าเป็นของตนเองหรือไม่ (7) ตรวจสอบข้อมูลการใช้สิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลแอปพลิเคชันต่าง ๆ ในสมาร์ตโฟนไม่ให้เกินขอบเขตการใช้งาน (8) ควรตรวจสอบแอปพลิเคชันที่น่าเชื่อถือก่อนการติดตั้ง (9) อัปเดตอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และสมาร์ตโฟนอย่างต่อเนื่อง (10) ใช้ซอฟต์แวร์ป้องกันไวรัสและมัลแวร์บนคอมพิวเตอร์และสมาร์ตโฟน (11) เคาร่ครัดกับการตั้งรหัสผ่านที่ดี (12) สร้างระบบเครือข่ายภายในบ้านให้รัดกุม (13) สำรองข้อมูลบนคอมพิวเตอร์และสมาร์ตโฟนอย่างสม่ำเสมอ (14) พุดคุยและแลกเปลี่ยนในเรื่องของความปลอดภัยทางอินเทอร์เน็ตภายในครอบครัว (15) เข้าใจและป้องกันการถูกขโมยข้อมูลประจำตัว (16) รู้ว่าควรทำอย่างไรหากตกเป็นเหยื่อจากภัยออนไลน์ และ (17) ตั้งสติและดูแลรักษาข้อมูลส่วนตัวของตนเองตลอดเวลา

นอกจากนี้ คณะทำงานสร้างเสริมภูมิคุ้มกันภัยอาชญากรรมทางเทคโนโลยี สำนักงานตำรวจแห่งชาติ จัดทำแอปพลิเคชันไซเบอร์วัคซีน (Cyber vaccinated) ซึ่งเป็นระบบประเมินภูมิคุ้มกันภัยทางไซเบอร์ รวบรวมสื่อความรู้เพื่อป้องกันตนเองจากภัยออนไลน์ โดยมีการแบ่งหมวดหมู่ตามประเภทกลโกงออนไลน์ ระบุเรื่องที่พบบ่อย วิธีการของคนร้าย วิธีการสังเกต รวมถึงวิธีการป้องกัน (Royal Thai Police Office, 2024) การติดตั้งแอปพลิเคชัน Whoscall ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่มีฟังก์ชัน Caller ID & Blocker ช่วยระบุเบอร์โทรศัพท์ที่ไม่รู้จัก เพื่อช่วยตัดสินใจในการรับสายหรือเลือกที่จะบล็อกสายมิจฉาชีพ

หากได้รับการชักชวนเพื่อลงทุน ควรตรวจสอบความน่าเชื่อถือในเบื้องต้นของผู้ชักชวนลงทุน ผ่านช่องทางของสำนักงานคณะกรรมการกำกับหลักทรัพย์และตลาดหลักทรัพย์ (ก.ล.ต.) ดังนี้ (1) เว็บไซต์ [market.sec.or.th/LicenseCheck](http://market.sec.or.th/LicenseCheck) เพื่อค้นหารายชื่อผู้ให้บริการในตลาดทุนที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ ก.ล.ต. รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้รับอนุญาต (2) แอปพลิเคชัน SEC Check First ช่วยในการกรองข้อมูลผู้ที่ได้รับหรือไม่ได้รับอนุญาตจาก ก.ล.ต. โดยใส่ชื่อหลักทรัพย์ ผลิตภัณฑ์การลงทุน หรือผู้ให้บริการ และ (3) โทรตรวจสอบเรื่องหลอกลวงทุนในตลาดทุนกับสายด่วน ก.ล.ต. (SEC Help Center) โทร. 1207 กด 22 อย่างไรก็ตาม หากเกิดปัญหาขึ้นแล้ว สามารถแจ้งความผ่านระบบบนเว็บไซต์ [www.thaipoliceonline.com](http://www.thaipoliceonline.com) หรือสายด่วน 1441

ในต่างประเทศตระหนักถึงภัยออนไลน์ที่เกิดขึ้น โดยกำหนดมาตรการรับมือ (Bank of Thailand, 2023) ดังต่อไปนี้ อาทิ ประเทศอังกฤษมีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่ทันสมัยมาช่วยธนาคารเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อยับยั้งการโจรกรรมได้อย่างทันทั่วทั้งที่ โดย AI จะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมทางการเงินของลูกค้า เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวที่เข้าข่ายผิดปกติ เช่น โอนเงินไปยังบัญชีที่อาจเป็นธุรกิจหรือบุคคลปลอมหรือผิดกฎหมาย AI จะตรวจสอบข้อมูลการทำธุรกรรมแบบบัญชีต่อบัญชี (account-to-account) และช่วยวิเคราะห์ข้อมูลสำคัญ เช่น ชื่อบัญชี จำนวนเงิน ประวัติการทำธุรกรรมของผู้โอนและผู้รับ รวมถึง

ความเป็นไปได้ที่บัญชีผู้รับเงินอาจเกี่ยวข้องกับการโจรกรรม อีกทั้งยังสามารถสืบค้นข้อมูลการกระทำความผิดของเจ้าของบัญชี ช่วยทำให้หลายธนาคารสามารถระงับธุรกรรมต้องสงสัยได้แบบเรียลไทม์ (real-time) ก่อนเกิดความเสียหาย ประเทศออสเตรเลียจัดทำแพลตฟอร์ม Fraud Reporting Exchange ช่วยธนาคารรับเรื่องร้องเรียน สื่อสาร ติดตาม และระงับการทำธุรกรรมที่เป็นการฉ้อโกงระหว่างธนาคารสมาชิกแบบเรียลไทม์ เพื่อช่วยลดขั้นตอนระหว่างธนาคาร ผู้รับโทรศัพท์ และตอบอีเมล รวมทั้งมีการจัดตั้งศูนย์ต่อต้านการหลอกลวงแห่งชาติ (National Anti-Scam Centre) เพื่อประสานงานกับรัฐบาล หน่วยงานผู้บังคับใช้กฎหมาย และภาคเอกชน เพื่อแก้ไขปัญหาอย่างรอบด้าน ครอบคลุม การปรับแก้กฎหมายและเกณฑ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ใหม่ ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป

อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยโดยคณะกรรมการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรมออนไลน์ทางเทคโนโลยี ได้มีการหารือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กระทรวงการต่างประเทศ กระทรวงมหาดไทย กระทรวงกลาโหม ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำนักงานตำรวจแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ธนาคารแห่งประเทศไทย (ธปท.) สมาคมธนาคารไทย สำนักงานป้องกันและปราบปรามการฟอกเงิน (ปปง.) กรมสอบสวนคดีพิเศษ (DSI) สำนักงานคณะกรรมการกำกับหลักทรัพย์และตลาดหลักทรัพย์ (ก.ล.ต.) และคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค (สคบ.) โดยกำหนดมาตรการในการแก้ไขปัญหาอาชญากรรมออนไลน์ ดังนี้

1. บูรณาการข้อมูล โดยใช้ศูนย์ปฏิบัติการแก้ไขปัญหาอาชญากรรมออนไลน์ (Anti Online Scam Operation Center: AOC) ในการเชื่อมโยงข้อมูลของทุกหน่วยงาน ซึ่งทุกหน่วยงานจะต้องส่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลบัญชีม้า ชิมม้า ข้อมูล URL/Line ของเว็บพนัน หรือข้อมูลอื่น ๆ ที่ศูนย์ AOC ร้องขอ รวมทั้งพัฒนาระบบบูรณาการข้อมูลให้มีความมั่นคงปลอดภัย และไม่ขัดต่อกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

2. กำหนดมาตรการแก้ไขปัญหบัญชีย้าย โดยนำบัญชีย้ายออกจากกระบบอย่างเร่งด่วน และป้องกันการเกิดบัญชีย้ายเข้าสู่ระบบ โดยกำกับการเปิดบัญชีออนไลน์ การเปิดบัญชีหลายบัญชี และต้องมีมาตรการตรวจสอบก่อนอนุมัติเปิดบัญชี

3. จัดการเสาโทรคมนาคม สายสัญญาณอินเทอร์เน็ต และสายโทรศัพท์ ที่มีผิดกฎหมายตามแนวชายแดนประเทศเพื่อนบ้าน โดยร่วมกับหน่วยงานภาครัฐเพื่อปิดกั้น และจับกุมผู้กระทำความผิด

4. จับกุมปราบปรามชาวต่างชาติที่อยู่ในประเทศไทย ที่มีพฤติกรรมผิดกฎหมาย โดยเฉพาะการชักชวนหลอกลวงคนไทยไปทำงานเป็นแก๊งคอลเซ็นเตอร์ในประเทศเพื่อนบ้าน ทั้งนี้ให้ความสำคัญกับจังหวัดที่มีพรมแดนติดกับประเทศเพื่อนบ้าน

5. จับกุมปราบปรามอาชญากรรมออนไลน์ โดยดำเนินการจัดทำแผนปฏิบัติการปราบปรามแก๊งคอลเซ็นเตอร์ และอาชญากรรมออนไลน์ บูรณาการแผนร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และดำเนินการสืบสวน สอบสวน และขยายผลการเอาผิดกับเจ้าหน้าที่ที่ร่วมการกระทำความผิดอาชญากรรมออนไลน์

6. การแก้ไขกฎหมาย กฎระเบียบ เกี่ยวกับการแก้ปัญหาย่อยออนไลน์ อาทิ (1) กฎหมายหรือกฎระเบียบที่เกี่ยวกับการบริการเก็บเงินปลายทางสำหรับพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (COD) เพื่อจัดปัญหาการหลอกลวงขายสินค้าออนไลน์ (2) ระเบียบการกำกับดูแลสินทรัพย์ดิจิทัลของผู้ประกอบธุรกิจ P2P และประกาศใช้เพื่อตัดช่องทางทางการเงินไปเป็นสกุลเงินดิจิทัลออกจากบัญชีย้าย (3) กฎระเบียบเกี่ยวกับการใช้บริการข้อความสั้น (SMS) ในการส่งข้อความหรือส่งลิงก์หลอกลวง (4) กฎหมายเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาคืนเงินให้แก่ผู้เสียหาย และ (5) ปรับปรุงแก้ไขกฎหมาย กฎระเบียบ ที่เกี่ยวข้องกับการซื้อขายข้อมูลส่วนบุคคล

7. จัดตั้งห้องปฏิบัติการปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับ AOC (AOC Data Lab) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบข้อมูล รวมทั้งกำหนดนโยบายการแก้ไขและป้องกันอาชญากรรมออนไลน์

## มาตรการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรมทางเทคโนโลยี พ.ศ. 2566

พระราชกำหนดมาตรการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรมทางเทคโนโลยี พ.ศ. 2566 (Royal Thai Police Office, 2023; Pokudom, 2020) ระบุมาตรการและบทลงโทษในการรับมืออาชญากรรมทางเทคโนโลยี ดังนี้

- กำหนดให้ผู้เสียหายสามารถติดต่อธนาคารเพื่อระงับธุรกรรมของบัญชีต้องสงสัยชั่วคราวได้โดยตรงทันที จากนั้นจึงไปร้องทุกข์ต่อพนักงานสอบสวน
- กรณีธนาคารพบธุรกรรมต้องสงสัย สามารถระงับธุรกรรมชั่วคราว แล้วส่งให้เจ้าหน้าที่ตำรวจตรวจสอบ
- ผู้เสียหายสามารถร้องทุกข์ที่สถานีตำรวจ หรือที่กองบัญชาการตำรวจสืบสวนสอบสวนอาชญากรรมทาง

เทคโนโลยี และพนักงานสอบสวนผู้รับคำร้องทุกข์เป็นพนักงานสอบสวนผู้รับผิดชอบ โดยผู้เสียหายต้องแจ้งความร้องทุกข์ภายใน 72 ชั่วโมง และพนักงานสอบสวนจะรวบรวมพยานหลักฐานแจ้งกลับไปยังธนาคารของบัญชีนั้นภายใน 7 วัน เพื่อยืนยันการระงับธุรกรรมของบัญชีนั้น

4. ให้อำนาจเจ้าหน้าที่ตำรวจกรมสอบสวนคดีพิเศษ (DSI) และ สำนักงานป้องกันและปราบปรามการฟอกเงิน (ปปง.) มีอำนาจนำข้อมูลต้องสงสัยไปใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เป็นความผิดตาม พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562

การกำหนดฐานความผิดและบทลงโทษสำหรับอาชญากรรมทางเทคโนโลยี ดังตาราง 2

### ตาราง 2

ฐานความผิดและบทลงโทษตามมาตรการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรมทางเทคโนโลยี พ.ศ. 2566

ฐานความผิด	อัตราโทษ
เปิดหรือยินยอมให้บุคคลอื่นใช้บัญชีเงินฝาก (บัญชีม้าหรือซิมม้า) โดยรู้หรือควรรู้ว่าจะนำไปใช้ในการกระทำความผิด	จำคุกไม่เกิน 3 ปี ปรับไม่เกิน 300,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ
เป็นธุระ จัดหา โฆษณา หรือกระทำให้มีการซื้อ ขายบัญชี (บัญชีม้าหรือซิมม้า) เพื่อใช้ในการกระทำความผิด	จำคุกตั้งแต่ 2 ถึง 5 ปี ปรับตั้งแต่ 200,000 ถึง 500,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ
เป็นธุระ จัดหา โฆษณา หรือกระทำให้มีการซื้อ ขายหมายเลขโทรศัพท์ซึ่งลงทะเบียนในนามบุคคลอื่นแล้ว แต่ไม่สามารถระบุตัวผู้ใช้จริงได้ (คนจัดหาบัญชีม้า)	จำคุกตั้งแต่ 2 ถึง 5 ปี ปรับตั้งแต่ 200,000 ถึง 500,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

## สรุป

ภัยคุกคามในโลกไซเบอร์จากอดีตจนถึงปัจจุบันทั้งในและต่างประเทศยังคงเกิดขึ้นและทวีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งมีจฉฉาซัพหรือแอสกเกอร์ยังพยายามพัฒนารูปแบบกลโกงใหม่ ๆ และสร้างความเดือดร้อนแก่ประชาชน แม้แต่ผู้ที่มีความรู้และองค์การขนาดใหญ่ก็ยังคงตกเป็นเหยื่อจากภัยออนไลน์ ซึ่งในบทความนี้ได้จัดกลุ่มกลโกงในโลกไซเบอร์ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) การหลอกลวงโดยใช้รูปแบบของ Social Engineering (2) การข่มขู่เพื่อให้เกิดความกลัว (3) การควบคุมโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ และ (4) การฉ้อโกงอื่น ๆ ซึ่งทุกคนควรศึกษาทำความเข้าใจในแต่ละประเด็น เพื่อช่วยลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นและสามารถให้คำแนะนำกับผู้ตกเป็นเหยื่อจากภัยออนไลน์ในแต่ละประเภทได้

ทุกหน่วยงาน/องค์กรมีความจำเป็นต้องจัดทำนโยบายจัดทำระบบ และการดำเนินงานตามพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล โดยการกำหนดนโยบายการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล การให้สิทธิแก่เจ้าของข้อมูลเพื่อตรวจสอบ แก้ไข หรือลบข้อมูลที่ร้องขอได้ การจัดทำระบบการรักษาความปลอดภัยและการโอนย้ายข้อมูล การตรวจประเมินมาตรฐานการรักษาข้อมูล เป็นต้น อีกทั้งยังต้อง

ติดตามภัยออนไลน์ที่มีการพัฒนารูปแบบการหลอกลวงใหม่ ๆ ตลอดเวลา อาทิ ภัยคุกคามจากปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และเทคโนโลยีใหม่ ๆ อาทิ Deepfake Scams AI-Generated Phishing และ Voice Cloning Fraud เป็นต้น

รวมทั้งการส่งเสริมให้ภาคประชาชนมีความรู้เท่าทันการหลอกลวงทางไซเบอร์และตระหนักถึงภัยออนไลน์ที่อาจเกิดขึ้น โดยมีแนวทางการดำเนินการ ดังนี้

1. ประเมินตนเองเพื่อให้รู้ว่ามีความเสี่ยงต่อการถูกหลอกลวงในโลกไซเบอร์มากน้อยเพียงใด
2. สร้างภูมิคุ้มกันโดยการติดตามข่าวสารจากสื่อความรู้ในการเสริมสร้างภูมิคุ้มกันป้องกันภัยอาชญากรรมทางเทคโนโลยีที่ผู้เขียนได้รวบรวมไว้
3. การรับมือ/แก้ปัญหาในกรณีที่ตกเป็นเหยื่อจากภัยออนไลน์ให้ดำเนินการตามประเด็นที่ได้นำเสนอไว้ในบทความข้างต้น

อย่างไรก็ตาม หากยึดถือแนวปฏิบัติและข้อแนะนำจากบทความนี้อาจช่วยบรรเทาปัญหาและลดความเสี่ยงจากการตกเป็นเหยื่อของมิจฉาชีพในรูปแบบต่าง ๆ พร้อมสามารถรับมือกับภัยออนไลน์ที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างมีสติ



## References

- Aborisade, R. A., Ocheja, A., & Okuneye, B. A. (2024). Emotional and financial costs of online dating scam: A phenomenological narrative of the experiences of victims of Nigerian romance fraudsters. *Journal of Economic Criminology*, 3, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.jeconc.2023.100044>
- AIS Aunjai Cyber. (2024). *A compilation of 22 scams used by fraudsters to deceive victims online, along with ways to handle them*. Retrieved from <https://sustainability.ais.co.th/th/update/aunjai-cyber/795/> (in Thai)
- Anesa, P. (2020). Lovextortion: Persuasion strategies in romance cybercrime. *Discourse, Context & Media*, 35, 100398. <https://doi.org/10.1016/j.dcm.2020.100398>
- Bank of Thailand. (2023). *Gathering criminals: Global online financial threats*. Retrieved from [https://www.bot.or.th/th/research-and-publications/articles-and-publications/bot-magazine/Phrasiam-66-3/globaltrend\\_financialfraud.html](https://www.bot.or.th/th/research-and-publications/articles-and-publications/bot-magazine/Phrasiam-66-3/globaltrend_financialfraud.html) (in Thai)

- Boonmee, S. (2023). The threat of call center gangs evolving from economic crime to cybercrime. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 17(2), 19-26. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/261423/178478> (in Thai)
- Boonmee, S., & Chavanich, S. (2021). Ransomware from individual threats to corporate disasters. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 15(1), 1–10. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/245408/168485> (in Thai)
- Drew, J. M., & Webster, J. (2024). The victimology of online fraud: A focus on romance fraud victimisation. *Journal of Economic Criminology*, 3, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.jeconc.2024.100053>
- Immigration Bureau. (2024). *18 scams used by fraudsters to deceive victims online*. Retrieved from [https://www.immigration.go.th/?avada\\_portfolio=18-กลโกงมิจฉาชีพใช้หลอกล](https://www.immigration.go.th/?avada_portfolio=18-กลโกงมิจฉาชีพใช้หลอกล) (in Thai)
- Krungsri GURU. (2024). *It's time to get back at scammers and protect yourself! With 3 super cool methods*. Retrieved from <https://www.krungsri.com/th/plearn-plearn/revenge-criminal-scammer-lost-money>. (in Thai)
- Matichon Online. (2023). *Revealing one year of online fraud statistics: Complaints surge! 250,000 cases, losing over 32 billion baht*. Retrieved from [https://www.matichon.co.th/economy/news\\_3906313](https://www.matichon.co.th/economy/news_3906313) (in Thai)
- Northern Trust. (2024). *Reduce your risk significantly by adopting some basic best practices*. Retrieved from <https://www.northerntrust.com/united-states/institute/articles/10-steps-to-reduce-your-risk-of-cyber-fraud>
- Pokudom, N. (2020). Data privacy in the digital age. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 14(2), 59–69. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/240997/166063> (in Thai)
- PPTV Online. (2024). *Revisiting the famous “fraud” case! In Thailand, losses amounting to tens of billions - sentences totaling hundreds of years!*. Retrieved from <https://www.pptvhd36.com/news/สังคม/234851> (in Thai)
- Prachachat Online. (2024). *Revealing online crime report statistics: Thais lost a total of over 59 billion baht*. Retrieved from <https://www.prachachat.net/ict/news-1514260> (in Thai)
- Radio Station for Safety and Traffic. (2024). *The government reveals online crime report statistics, showing damages exceeding 70 billion baht from 2022 to 2024*. Retrieved from <https://today.line.me/th/v2/article/3NW25jv> (in Thai)
- Royal Thai Police Office. (2024). *Knowledge media database for enhancing immunity against technology-related crimes*. Retrieved from <https://24hicarecenter.com/cybevaccinated> (in Thai)
- Royal Thai Police Office. (2023). *Press release document*. Retrieved from <https://pctpr.police.go.th/blog/?p=21> (in Thai)

- Sarmart, T., & Lerdtomornsakul, U. (2023). Cyber victimization of the elderly. *Thai Interdisciplinary and Sustainability Review*, 12(2), 1-13. Retrieved from <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/JIRGS/article/view/268349/180646> (in Thai)
- Siam Commercial Bank. (2023). *Siam Commercial Bank launched the website “Game Over Scammers” a hub for content on preventing modern-day fraudsters, along with the “Nong Aeh The Series” to raise financial awareness among Thais*. Retrieved from <https://www.scb.co.th/th/about-us/news/nov-2566/fraud-fighter.html> (in Thai)
- Thaipbs. (2024). *Scammers’ trick: Using children to deceive parents into transferring money as “ransom” resulting in millions lost*. Retrieved from <https://www.thaipbs.or.th/news/content/345203> (in Thai)
- Thaipbs. (2021). *Revisiting the case of the hospital - the Permanent Secretary’s office has previously been “hacked”*. Retrieved from <https://www.thaipbs.or.th/news/content/307681> (in Thai)
- Thaipost. (2023). *Summary of online crime statistics: nearly 400,000 cases, losses in the tens of billions, with the highest number of scams involving product sales*. Retrieved from <https://www.thaipost.net/criminality-news/510188/> (in Thai)
- Thairath Online. (2023). *Thailand ranks 6th in money transfer scams, according to the Bank of Thailand. Statistics show that 1 in 5 people worldwide have fallen victim*. Retrieved from [https://thairath.co.th/money/personal\\_finance/banking\\_bond/2745867](https://thairath.co.th/money/personal_finance/banking_bond/2745867) (in Thai)
- The Thai Bankers Association. (2024). *Get to know “mule accounts” the dangerous accounts with extraordinary penalties*. Retrieved from <https://www.tba.or.th/> (in Thai)
- Tuncharoen, T., & Assawaboonmee, S. (2023). *Call Center Scammer Problems*. *Journal of Digital Communications*, 7(1), 131–150. Retrieved from [https://so04.tci-thaijo.org/index.php/NBTC\\_Journal/article/view/259898/179645](https://so04.tci-thaijo.org/index.php/NBTC_Journal/article/view/259898/179645) (in Thai)
- Wang, F., & Topalli, V. (2024). The cyber-industrialization of catfishing and romance fraud. *Computers in Human Behavior*, 154, 108133. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.108133>
- Wingworn, Y. (2023). Preventing cybercrime in communities in order to develop the communities into digital citizens. *Journal of MCU Nakhondhat*, 10(10), 1–11. Retrieved from <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/JMND/article/view/272687/180403> (in Thai)
- Zhu, C., Zhang, C., Wang, R., Tian, J., Hu, R., Zhao, J., Ke, Y., & Liu, N. (2023). Building of safer urban hubs: Insights from a comparative study on cyber telecom scams and early warning design. *Urban Governance*, 3(3), 200-210. <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2023.05.004>



# ผลของเมลาโทนินต่อโรคอัลไซเมอร์

## Effect of Melatonin on Alzheimer's disease

ปัทมา ปานมาก<sup>1\*</sup> และอรุณณี วงศ์ปันดี<sup>1</sup>

Pattama Panmak<sup>1\*</sup> and Arunnee Wongpandeed<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

<sup>1</sup>School of Nursing, Eastern Asia University

\*Corresponding author: pattama@eau.ac.th

Received: February 28, 2025

Revised: July 25, 2025

Accepted: July 31, 2025

### บทคัดย่อ

โรคอัลไซเมอร์เป็นสาเหตุที่พบบ่อยที่สุดของภาวะสมองเสื่อม ซึ่งโรคนี้เป็นโรคของความเสื่อมทางระบบประสาทและสมองที่ยังไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ โดยโรคนี้มีความสัมพันธ์กับอายุที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะแสดงอาการบกพร่องทางเรียนรู้และความจำ ซึ่งมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการวินิจฉัยโรคนี้ในระยะแรกนั้นทำได้ยาก ทำให้ผู้ป่วยส่วนใหญ่มักถูกพบในระยะที่มี อาการแสดงออกของโรคอย่างชัดเจนแล้ว โรคอัลไซเมอร์นั้นมีโปรตีนสำคัญที่พบได้ในสมองของผู้ป่วย ได้แก่ amyloid plaques และ Neurofibrillary Tangles: NFT ซึ่งเป็นตัวการทำให้เซลล์สมองถูกทำลาย เกิดพยาธิสภาพของโรคอัลไซเมอร์ เมลาโทนินเป็นฮอร์โมนที่ถูกสร้างขึ้นจากต่อมไพเนียลภายในสมอง ระดับของเมลาโทนิน ที่ลดลงนั้นจะพบได้ในคนวัยชราและผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ จากหลักฐานการศึกษาในอดีตพบว่าเมลาโทนินนั้นสามารถช่วยลดความบกพร่องทางการเรียนรู้และความจำรวมถึงสามารถลดการเกิด amyloid plaques และ Neurofibrillary Tangles: NFT ทั้งในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลองอีกด้วย ดังนั้นจากความสัมพันธ์ดังกล่าวฮอร์โมนเมลาโทนิน อาจจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการรักษาโรคอัลไซเมอร์ต่อไปในอนาคต

**คำสำคัญ:** โรคอัลไซเมอร์ เมลาโทนิน

## Abstract

Alzheimer's Disease: AD is the most common cause of dementia, a progressive neurodegenerative disease for which there is currently no cure. The disease is strongly associated with increasing age and presents with progressively worsening cognitive and memory impairments. Due to the early stages of the disease difficulty in diagnosing, lead to worse symptoms in the majority of AD patients. Two hallmark pathologies required for AD are amyloid plaques and neurofibrillary tangles. These peptides contribute to neurotoxicity and play a central role in AD pathology. Melatonin is the hormone that mainly secreted by pineal gland in the brain. The reduced levels of melatonin are found in elderly people and AD patients. Previous studies documented melatonin improves cognition deficit. Furthermore, melatonin attenuates amyloid plaques and Neurofibrillary Tangles: NFT both in vivo and in vitro. Therefore, these evidence from the previous studies suggests that melatonin may be the new choice of treatment medicine in the future for AD.

**Keywords:** Alzheimer's disease, melatonin



## บทนำ

อาการหลงลืมเพียงเล็กน้อยตามช่วงอายุวัยที่เพิ่มมากขึ้นอาจเป็นเรื่องปกติที่สามารถพบเจอได้ทั่วไป แต่เมื่อใดที่อาการหลงลืมเหล่านี้เพิ่มระดับความรุนแรงมากขึ้นจนกระทั่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของชีวิตประจำวันแล้วนั้นเป็นสิ่งที่น่ากังวลใจเป็นอย่างยิ่ง เพราะนั่นอาจนำไปสู่จุดเริ่มต้นของภาวะสมองเสื่อมที่เรียกว่าโรคอัลไซเมอร์ โรคอัลไซเมอร์นั้นเป็นสาเหตุที่ถูกรับรู้มากที่สุดของภาวะสมองเสื่อมที่ยังไม่มีวิธีการรักษาให้หายขาด โดยจะแสดงอาการบกพร่องทางเรียนรู้และความจำรวมถึงความสามารถในการดำรงชีวิตประจำวัน จนนำไปสู่สาเหตุของการเสียชีวิตได้ (Kumar et al., 2024) จากรายงานของกระทรวงสาธารณสุขในประเทศไทยพบว่า มีผู้ป่วยราว 600,000 ราย และคาดการณ์แนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีผู้ป่วยใหม่ประมาณ 100,000 รายต่อปี ปี 2573 แนวโน้มของผู้ป่วยอัลไซเมอร์เพิ่มสูงขึ้นเป็น 1,177,000 ราย (Panmak, 2018) ปัญหานี้ไม่ได้เกิดขึ้นกับประเทศไทยเพียงเท่านั้นในประเทศที่พัฒนาแล้วอย่าง เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ก็พบว่ามีรายงานการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ป่วยอัลไซเมอร์เช่นกัน โดยในปี พ.ศ. 2568 มีรายงานพบผู้ป่วยอัลไซเมอร์ประมาณ 7,200,000 คน (Alzheimer's Association, 2025) จากข้อมูลจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคอัลไซเมอร์ในปัจจุบันนั้นมีจำนวนไม่น้อยกว่าจำนวนผู้ป่วยที่เสียชีวิตด้วยโรคหัวใจ และที่น่าเป็นห่วง

มากที่สุด คือ การรักษาโรคอัลไซเมอร์นั้นยังไม่มียารักษาให้หายขาดได้ มีเพียงการรักษาแบบประคับประคองเพื่อบรรเทาอาการและชะลอความเสื่อมถอยของสมองที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย ยิ่งไปกว่านั้นโรคนี้มิได้ส่งผลกระทบต่อแค่ตัวผู้ป่วยและครอบครัวเพียงเท่านั้นแต่ยังส่งผลกระทบต่อสังคมและเศรษฐกิจอีกด้วย เนื่องจากผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับการดูแลในระยะยาวดังนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายทั้งทางตรง คือ ค่ารักษาพยาบาลและค่าใช้จ่ายทางอ้อม คือ ค่าเสียโอกาสในการทำงาน ดังนั้นการศึกษาวิจัยเรื่องการรักษาโรคอัลไซเมอร์จึงไม่ได้เป็นประโยชน์ในทางการแพทย์แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้นแต่ยังช่วยลดปัญหาทางเศรษฐกิจและสังคมได้อีกด้วย

เมลาโทนิ (Melatonin) เป็นฮอร์โมนที่ร่างกายผลิตขึ้นจากต่อมไพเนียล (Pineal Gland) ในสมอง โดยหน้าที่หลักของฮอร์โมน เมลาโทนิ (Melatonin) นั้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการควบคุมการนอนหลับพักผ่อน นอกจากนี้แล้วฮอร์โมนเมลาโทนิยังมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เพิ่มประสิทธิภาพให้กับการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายอีกด้วย ในปัจจุบันพบหลักฐานสำคัญแสดงถึงความสัมพันธ์กันระหว่างฮอร์โมนเมลาโทนิกับโรคอัลไซเมอร์ โดยพบว่าในผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ นั้นจะมีระดับของฮอร์โมนเมลาโทนิลดลงทั้งในน้ำไขสันหลัง (cerebrospinal fluid) และในพลาสมา (Plasma) เมื่อ

เทียบกับคนปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า ระดับของเมลาโทนิบ์ยังไม่แสดงตามวัฏจักรประจำวัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์นั้นไม่สามารถนอนหลับได้เหมือนคนปกติ ดังนั้นในบทความนี้จึงขอเสนอหลักฐานงานวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของฮอร์โมนเมลาโทนิบ์ต่อโรคอัลไซเมอร์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานและเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการรักษาโรคอัลไซเมอร์ในอนาคตต่อไป

## โรคอัลไซเมอร์คืออะไร

โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) คือ หนึ่งในภาวะสมองเสื่อมที่พบได้บ่อยที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของภาวะสมองเสื่อมทั้งหมด โดยโรคนี้ถูกวินิจฉัยขึ้นเป็นครั้งแรกโดยจิตแพทย์ชาวเยอรมันชื่อ Alois Alzheimer อาการสำคัญของโรคที่พบในผู้ป่วย คือ การเริ่มสูญเสียความทรงจำที่สั้นโดยจะสูญเสียความทรงจำระยะสั้น (short-term memory loss) โดยไม่พบความผิดปกติอื่นทางร่างกาย จากนั้นอาการของโรคจะเริ่มมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่า มีปัญหาในเรื่องของภาษา การรับรู้เวลาและสถานที่ นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ป่วยมักเริ่มมีอาการหลงทางบ่อย พบการเปลี่ยนแปลงทางด้านอารมณ์เริ่มไม่สนใจดูแลตัวเอง มีพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เริ่มถอยห่างจากครอบครัวและสังคม และค่อย ๆ สูญเสียหน้าที่การทำงานของร่างกาย จนกระทั่งเสียชีวิตลงในที่สุด สาเหตุที่แท้จริงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์นั้นยังไม่ทราบแน่ชัด แต่จากรายงานพบว่า ประมาณร้อยละ 70 ของความเสี่ยง ที่จะเกิดโรคมมาจากพันธุกรรมซึ่งเกิดจากยีนหลายตัวเป็นตัวกำหนด นอกจากนี้ยังพบสาเหตุอื่น ๆ ที่เชื่อว่าอาจเป็นปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดโรค เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน การกระทบกระเทือนทางสมอง และภาวะซึมเศร้า (Burns & Iliffe, 2009)

## พยาธิสภาพของโรค

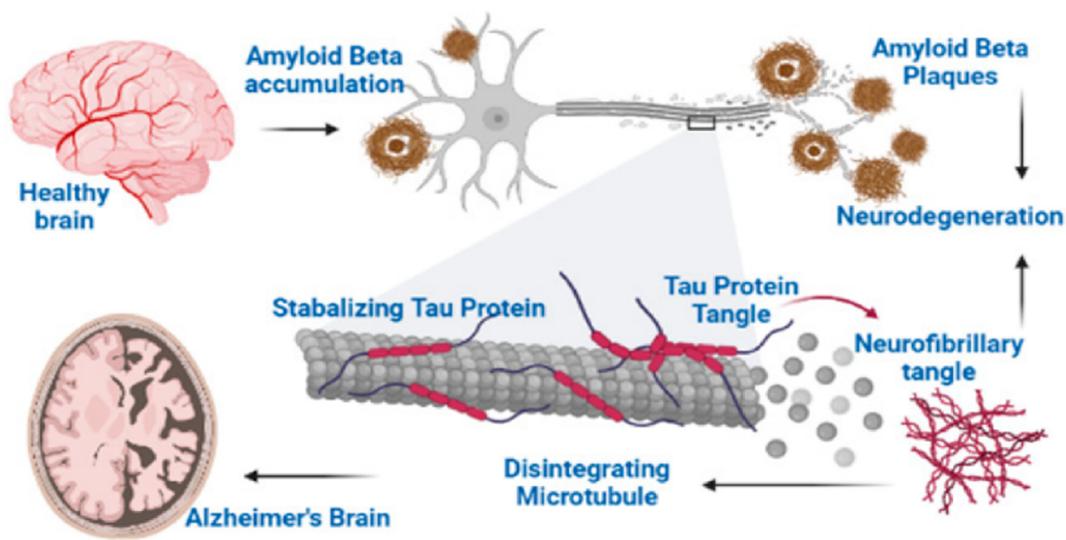
ในสมองของผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์นั้นถูกตรวจพบว่า มีการตายของเซลล์ประสาท ซึ่งส่งผลทำให้สารสื่อประสาท (neurotransmitter) นั้นลดลง สารสื่อประสาทตัวสำคัญได้แก่ อะเซทิลโคลีน (acetylcholine) และซีโรโทนิน (serotonin) สารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการทำงานของสมองส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมความรู้สึกตื่นตัว การหลับตื่น อารมณ์และความจำ ผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์พบความผิดปกติดังต่อไปนี้

1. พบ Amyloid plaques หรือ Neuritic plaques ซึ่งเป็นกลุ่มแผ่นโปรตีนที่เกิดจากการรวมตัวกันของ โปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  เป็นองค์ประกอบหลักที่อยู่รอบตัวเซลล์ประสาทที่มีความเสื่อม (dystrophic neuritis) ซึ่งกลุ่มแผ่นโปรตีนเหล่านี้จะรวมตัวอยู่ในเนื้อสมองนอกตัวเซลล์ประสาท แผ่นโปรตีนหรือ plaques นั้นถูกสร้างมาจากสายเปปไทด์เล็กๆ โดยสายเปปไทด์เหล่านี้ที่ถูกเรียกว่า Amyloid Beta: A $\beta$  นั้น เป็นส่วนหนึ่งของโปรตีนที่มีชื่อว่า Amyloid Precursor Protein: APP ซึ่งโปรตีนนี้จะถูกตัดด้วยเอนไซม์ gamma secretase และ beta secretase ซึ่งเอนไซม์กลุ่มนี้จะเข้ามาตัด Amyloid Precursor Protein: APP ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  กลุ่มโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  นี้จะรวมตัวกันจนเกิดแผ่นโปรตีน (plaques) ที่ทำให้เกิดจากตายของเซลล์ประสาทที่อยู่โดยรอบ ในระยะแรกของโรคนั้นจะพบ Amyloid plaques ใน Hippocampus และ Entorhinal cortex ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับความจำ และในระยะหลังของโรคนั้นจะพบ Amyloid plaques ได้ที่ตำแหน่งของ Prefrontal cortex ซึ่งเป็นสมองที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการคิดและเหตุผล (Hooper, 2005)

2. พบ Neurofibrillary Tangle: NFT ที่เกิดจากการรวมตัวกันของเส้นใยฝอย (fibril) ของโปรตีน Tau โดย NTF นั้นจะพบในตัวเซลล์ประสาทนอกนิวเคลียส ซึ่งหน้าที่ของโปรตีน Tau ในภาวะปกติ จะทำหน้าที่รัดไมโครทิวบูล (Microtubule) ไว้ ทำให้เกิดความคงตัว นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวนำสารอาหารและโมเลกุลต่าง ๆ จากตัวเซลล์ประสาทไปยังส่วนของแอกซอน (Axon) ได้ แต่ในโรคอัลไซเมอร์นั้นพบว่าเกิดกระบวนการ hyperphosphorylation ของโปรตีน Tau ซึ่งโปรตีน Tau ที่ถูกเติมหมู่ฟอสเฟตให้เป็นจำนวนมากนั้นจะหลุดออกมาจากสายไมโครทิวบูล (Microtubule) แล้วเกิดจากการรวมตัวกันเป็นร่างแห NFT นำไปสู่การตายของเซลล์ประสาทตามมา (Hernández & Avila, 2007) (ภาพ 1)

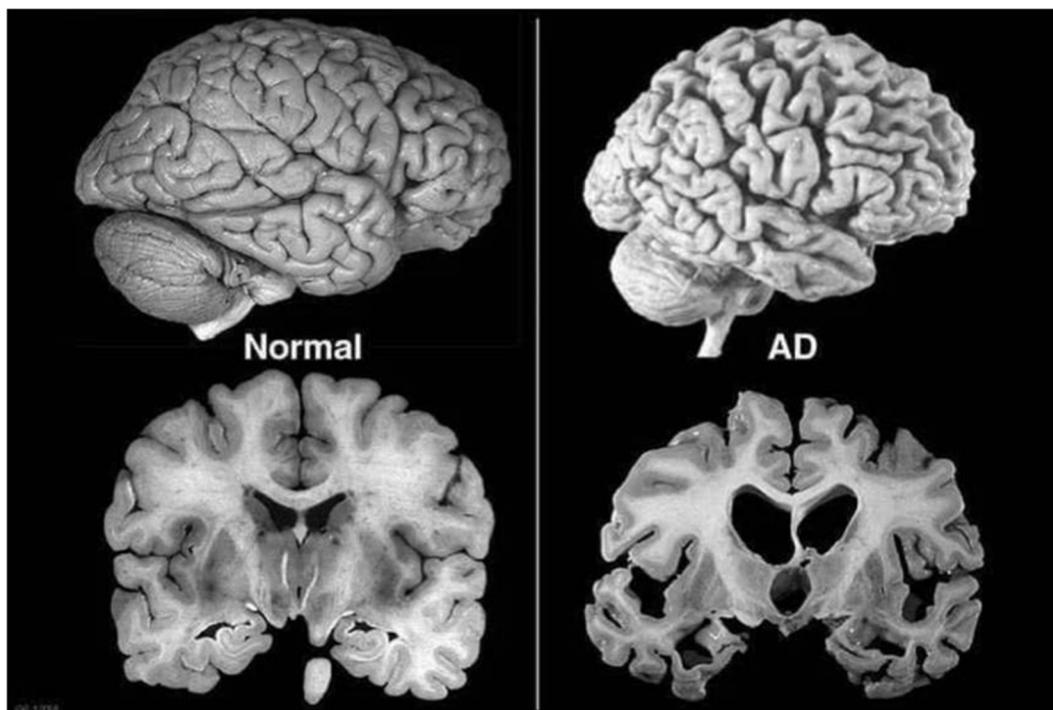
นอกจากการสะสมของโปรตีน Amyloid plaques และการสะสมของ Neurofibrillary Tangle ที่สามารถการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้ว ยังพบว่า มีปัจจัยอื่น เช่น ROS: Reactive Oxygen Species และ neuroinflammation ที่สามารถก่อให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ได้เช่นกันซึ่งในบทความนี้จะยังไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียด

3. เมื่อตรวจดูด้วยตาเปล่าจะพบการลดลงของขนาดสมองเนื่องจากการฝ่อลีบเมื่อเทียบกับขนาดของสมองของคนปกติ (ภาพ 2)



ภาพ 1 กลุ่มโปรตีนสำคัญที่พบในโรคอัลไซเมอร์ (A $\beta$  and NFTs)

Note. From “Alzheimer’s Disease as a Major Public Health Concern: Role of Dietary Saponins in Mitigating Neurodegenerative Disorders and Their Underlying Mechanisms,” by A. A. Abduljawad, M. A. Elawad, M. E. M. Elkhalifa, A. Ahmed, A. A. E. Hamdoon, L. H. M. Salim, M. Ashraf, M. Ayaz, S. S. U. Hassan, and S. Bungau, 2022, *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(20), pp. 6804. Copyright by MDPI



ภาพ 2 รูปเปรียบเทียบขนาดของสมองของคนปกติ (ชาย) และสมองของผู้ป่วยอัลไซเมอร์ (ขวา)

Note. From “Resting state fMRI and improved deep learning algorithm for earlier detection of Alzheimer’s Disease,” by H. Guo and Y. Zhang, 2020. in *IEEE Access*, 8, 115383-115392. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003424>. Copyright by IEEE

## การดำเนินไปของโรค

อาการของโรคอัลไซเมอร์นั้นจะค่อยเป็นค่อยไป เกี่ยวข้องกับความจำและการรับรู้ คือสมองเริ่มมีความเสื่อมจนกระทั่งมีความเสื่อมระดับรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ (Mekha, Teeyasuksaet & Osathanunkul, 2024) โดยสามารถแบ่งเป็น 4 ระยะ ดังนี้

### 1. ระยะก่อนสมองเสื่อม (pre dementia)

ในระยะนี้หากเกิดขึ้นกับผู้สูงอายุอาจทำให้เกิดความสับสนระหว่างอาการที่เกิดจากความชราภาพ โดยจะพบความบกพร่องทางการเรียนรู้ของผู้ป่วยเพียงเล็กน้อย (mild cognitive impairment) พบปัญหาในการจดจำข้อมูลที่เพิ่งเรียนรู้มาได้ไม่นาน ไม่สามารถรับข้อมูลใหม่ ๆ ได้ ถึงแม้ว่าผู้ป่วยจะยังสามารถใช้ชีวิตประจำวันได้ตามปกติ สามารถตัดสินใจทำในสิ่งต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง ยกเว้นเรื่องที่มีความยุ่งยากซับซ้อนก็ตาม ในระยะดังกล่าวนี้ยังคงเป็นที่ปัญหาที่ถกเถียงกันว่าควรจะต้องให้ได้รับการวินิจฉัยแยกออกไปหรือจัดรวมเป็นระยะแรกของโรคอัลไซเมอร์

### 2. สมองเสื่อมระยะแรก (early dementia)

เป็นระยะที่มีการสูญเสียความจำระยะสั้นและความจำที่เพิ่งได้มาใหม่ เช่น ผู้ป่วยอาจมีอาการหลงลืมที่เก็บกุญแจ ลืมว่ารับประทานยาไปแล้ว มีการถามคำถามหรือพูดซ้ำ ๆ ในขณะที่ความทรงจำระยะยาว เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเฉพาะตัวผู้ป่วย ได้แก่ ความจำเชิงเหตุการณ์ ความรู้ทั่วไปและความจำปริยาย (ความจำของร่างกายว่าทำสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างไร เช่น การใช้ช้อนและส้อมในการรับประทานอาหาร) จะได้รับผลกระทบน้อยกว่าความจำระยะสั้นหรือความรู้ใหม่ ในเรื่องของการใช้ภาษาจะพบความผิดปกติ ได้แก่ ผู้ป่วยจะรวบคำพูดให้สั้น การพูดหรือใช้คำศัพท์นั้นไม่คล่องแคล่วเหมือนแต่ก่อน ผู้ป่วยในระยะนี้เริ่มใช้ชีวิตไม่ปกติเหมือนเช่นเดิม ความคิดสร้างสรรค์ลดลง การตัดสินใจช้าลง

### 3. สมองเสื่อมปานกลาง (moderate dementia)

ในระยะนี้ความผิดปกติของสมองจะพบได้ชัดเจนขึ้น ผู้ป่วยนั้นจะไม่สามารถทำกิจวัตรประจำวันได้ด้วยตนเอง มีปัญหาทางการพูดอย่างชัดเจน เนื่องจากผู้ป่วยไม่สามารถนึกหาคำศัพท์ที่จะใช้ในการพูดได้ (inability to recall vocabulary) ส่งผลให้เลือกใช้คำศัพท์ผิด หรือใช้คำอื่นมาแทน (paraphasia) พบความบกพร่องของทักษะการอ่านและการเขียนมากขึ้นเรื่อย ๆ การทำงานประสาน

กันของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคลื่อนไหวลดลง นำไปสู่ภาวะเสี่ยงต่อการพลัดตกหกล้มและเกิดอุบัติเหตุได้ง่ายขึ้น ในระยะนี้ยังพบว่า ความจำระยะยาวเริ่มมีความบกพร่อง โดยผู้ป่วยจะจำชื่อและหน้าตาของเพื่อนหรือแม้แต่คนในครอบครัวไม่ได้ ผู้ป่วยจะมีอารมณ์หงุดหงิด โมโหง่าย วิตกกังวล สับสน อารมณ์แปรปรวน มีอาการหลงผิด เห็นภาพหลอน โดยเฉพาะช่วงเวลาพระอาทิตย์ตกดินจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไป (sundowning) เช่น ในช่วงเวลาตอนเย็นหรือกลางคืนผู้ป่วยจะเดินออกจากบ้านไปโดยไม่มีจุดหมาย และไม่สามารถกลับบ้านเองได้

### 4. สมองเสื่อมระยะสุดท้าย (advanced dementia)

ในระยะสุดท้ายนี้ผู้ป่วยจะไม่สามารถดูแลตนเองได้ต้องพึ่งพาผู้ดูแลตลอดเวลา เนื่องจากความทรงจำระยะสั้น ความทรงจำระยะยาว ความรู้ทั่วไปรวมถึงความจำปริยาย ได้สูญเสียไป ทักษะการใช้ภาษาของผู้ป่วยได้ลดลงเป็นอย่างมาก แม้แต่การพูดเพียงวลีง่าย ๆ หรือคำเดียว ๆ จนกระทั่งไม่สามารถพูดได้เลย (Forstl & Kurz, 1999; Frank, 1994) แม้ว่าผู้ป่วยจะมีการสูญเสียความสามารถทางการใช้ภาษาพูด แต่ผู้ป่วยยังสามารถเข้าใจและตอบสนองกลับมาด้วยการแสดงอารมณ์ได้ ในระยะนี้ผู้ป่วยมักจะแสดงสีหน้าสภาวะไร้อารมณ์มากกว่าอารมณ์ก้าวร้าว มีการลดลงของมวลกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว ทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้จนนำไปสู่สาเหตุทำให้ผู้ป่วยติดเตียง (bedridden) รวมถึงสาเหตุชักนำของการเสียชีวิตส่วนใหญ่ของผู้ป่วยอัลไซเมอร์จึงมักมาจากปัจจัยอื่น เช่น ภาวะปอดติดเชื้อ การติดเชื้อจากแผล กัดทับ เป็นต้น

## เมลาโทนิคืออะไร

เมลาโทนิ (Melatonin) คือ ฮอร์โมนที่ร่างกายสร้างขึ้นจากต่อมไพเนียลในสมอง (pineal gland) (Hardeland et al., 2011; Tordjman et al., 2017) ฮอร์โมนนี้เป็นฮอร์โมนเกี่ยวข้องกับการควบคุมการนอนหลับโดยระดับเมลาโทนิจะกระตุ้นให้อวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายเกิดกระบวนการเผาผลาญ ซึ่งสารนี้จะหลั่งในช่วงพระอาทิตย์ตกดินสู่ระดับสูงที่สุดในช่วงเวลากลางคืน และลดลงในช่วงเช้า (Pimsarn, limlikidaksorn & Buachsantia, 2023) ระดับฮอร์โมนที่สูงขึ้นนั้นจะมีผลทำให้เกิดความรู้สึกง่วงนอน ซึ่งเป็นกลไกทางธรรมชาติที่ร่างกายสร้างขึ้นมาเพื่อควบคุมให้นอนหลับ เพื่อให้ร่างกายได้พักผ่อน ฟันฟู ซ่อมแซม

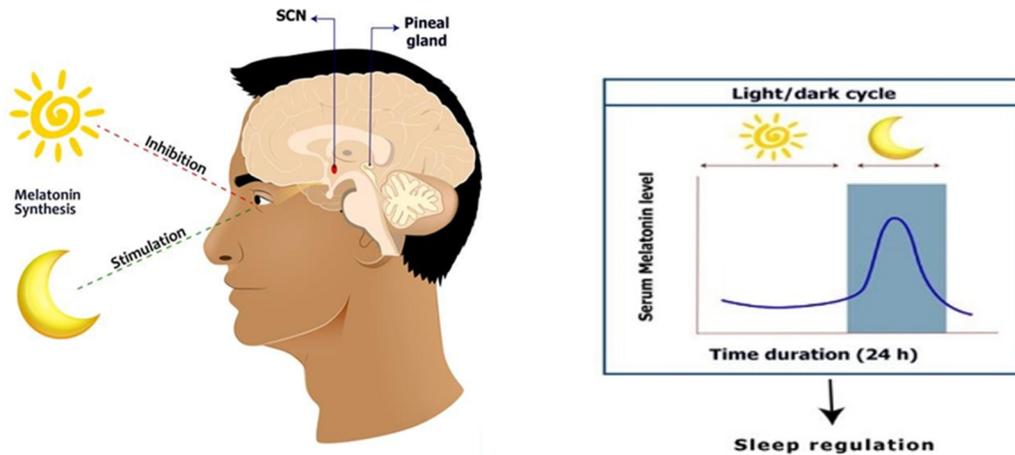
ส่วนต่าง ๆ ที่สีกหรือ นอกจากคุณสมบัติของเมลาโทนินที่ เกี่ยวข้องกับกระบวนการการนอนหลับของสิ่งมีชีวิตแล้วนั้น ยังพบคุณสมบัติอื่น ๆ ที่น่าสนใจของฮอร์โมนเมลาโทนิน ได้แก่ คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ในการต้าน การอักเสบ ฤทธิ์ในการต้าน และการตายของเซลล์ อีก ด้วย (Esposito & Cuzzocrea, 2010; Hardeland & Pandi-Perumal, 2005)

### ผลของเมลาโทนินต่อการเรียนรู้และความจำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น ระดับการเรียนรู้และความจำนั้นจะมีระดับลดลง จากการ ศึกษาผลของเมลาโทนินที่มีต่อการเรียนรู้และความจำในหนูทดลองที่มีอายุราว 2 ปี ซึ่งเทียบเท่ากับผู้สูงอายุ 60-70 ปี นั้น พบว่า หนูแกะนั้นเมื่อนำมาทดสอบการเรียนรู้และความจำ (cognitive training) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Morris water maze ผลที่ได้พบว่า การเรียนรู้และความจำของ หนูแกะนั้นช้ากว่าหนูที่เป็นหนูกลุ่มวัยรุ่น และเมื่อนำเมลาโทนิน ผสมน้ำให้หนูแก่งิน ปรากฏว่าหนูแก่งั้นสามารถพัฒนาการ เรียนรู้และความจำได้ใกล้เคียงกับกลุ่มหนูวัยรุ่น (Mukda, Panmanee, Boontem & Govitrapong, 2016) นอกจากนี้ เมื่อนำหนูที่ถูกทำให้มีอาการผิดปกติทางสมองเสมือนเป็น โรคอัลไซเมอร์ที่มีการเรียนรู้และความจำลดลงเมื่อเทียบกับ หนูกลุ่มปกติที่อายุเท่ากันมาฉีดสารเมลาโทนินเข้าทางชั้น ผิวหนังก็พบว่า เมลาโทนินนั้นสามารถป้องกันอาการเสื่อม ถอยของการเรียนรู้และความจำได้ (Panmak, Nopparat, Permpoonpattana, Namyen & Govitrapong, 2021) เช่นเดียวกันกับการทดลองโดยใช้เครื่องมือ Y-maze ใน หนูทดลองที่ถูกทำให้เกิดพยาธิสภาพของโรคอัลไซเมอร์ โดยใช้ streptozocin นั้นก็พบว่าเมื่อให้สารเมลาโทนิน แล้วสามารถช่วยในเรื่องปัญหาการเรียนรู้และความจำของ หนูทดลองได้เช่นกัน (Andrade et al., 2023) จากการ ศึกษาในมนุษย์โดยใช้แบบประเมินสภาพสมองเบื้องต้น Mini-Mental State Examination (MMSE) ยังชี้ให้เห็น ถึงการรักษาด้วยเมลาโทนินโดยใช้ระยะเวลาานานกว่า 12 สัปดาห์ ช่วยให้การทำงานของสมองในเรื่องการเรียนรู้และ ความจำในผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์นั้นดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ที่อยู่ในระยะเริ่มแรก (Sumsuzzman et al., 2021)

### ผลของเมลาโทนินต่อความเป็นพิษของโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$

การสะสมของสายโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  ในสมองนั้นเกิดขึ้นจากกระบวนการ amyloidogenic pathway ในการตัดสายโปรตีน Amyloid Precursor Protein: APP ที่เกิดความไม่สมดุลกันระหว่างการสร้าง และการกำจัดโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  การสะสมของ โปรตีนนี้จะถูกพบในผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์และนำไปสู่การ ตายของเซลล์สมองทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการเรียนรู้และ ความจำซึ่งเป็นหนึ่งในอาการที่ถูกพบในผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ ดังนั้นหากสามารถลดจำนวนโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  ที่ เกิดขึ้นมากเกินไปจนรวมตัวกันเป็นแผ่นโปรตีน (plaques) ได้ น่าจะเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดโรคได้ มีหลักฐานงานวิจัยจำนวนมากที่สนับสนุนว่า เมลาโทนินนั้นสามารถลดระดับปริมาณของโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  ลงได้ ทั้งในหลอดทดลอง Panmak, Nopparat, Permpoonpattana, Namyen and Govitrapong (2021); Shukla, Govitrapong, Boontem, Reiter and Satayavivad (2017); Matsubara et al. (2003); Lahiri, Chen, Ge, Bondy and Sharman (2004) และ สัตว์ทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Panmak, Nopparat, Permpoonpattana, Namyen and Govitrapong (2021); Lahiri, 1999; Song & Lahiri, 1997; Zhang, Wang, Wang, Wang and Wang (2004); Olivieri et al. (2001) เมลาโทนินนั้น สามารถเปลี่ยนแปลงระดับของ เอนไซม์ (enzyme) ที่ใช้ในกระบวนการตัดสายโปรตีน Amyloid Precursor Protein: APP โดยลดระดับเอนไซม์ Bace1 และ PS1 ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการสร้างโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  และเพิ่มเอนไซม์ ADAM10 ซึ่งเป็น เอนไซม์ที่เมื่อตัดสายโปรตีน Amyloid Precursor Protein: APP แล้วไม่ทำให้เกิดโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  ขึ้น โดย เมลาโทนินนั้น ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับ โปรตีน Amyloid Precursor Protein: APP แต่อย่างใด Panmak, Nopparat, Permpoonpattana, Namyen and Govitrapong (2021); Shukla, Govitrapong, Boontem, Reiter and Satayavivad (2017) จากรายงานการวิจัย เหล่านี้ยังเป็นหลักฐานสนับสนุนถึงผลของเมลาโทนินที่มีฤทธิ์ ในการป้องกันการสะสมของโปรตีน Amyloid Beta: A $\beta$  ที่เป็นตัวทำลายเซลล์สมองทำให้เกิดการเสื่อมจนนำไปสู่ การตายของเนื้อสมองในที่สุด



ภาพ 3 การสังเคราะห์ฮอร์โมนเมลาโทนินและระดับของฮอร์โมนเมลาโทนินในช่วงกลางวันและกลางคืน

Note. From “Timing is everything: Circadian rhythms and their role in the control of sleep,” by S. R. Pandi-Perumal, D. P. Cardinali, N. F. W. Zaki, R. Karthikeyan, D. W. Spence, R. J. Reiter and G. M. Brown, 2022, *Frontiers in neuroendocrinology*, 66, 100978 Copyright by Elsevier

### ผลของเมลาโทนินต่อกระบวนการ hyperphosphorylation ของโปรตีน Tau

การสะสมของเส้นใย Neurofibrillary Tangle: NFT ของโปรตีน Tau นั้นถือว่ามีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการตายของเซลล์ประสาทซึ่งมีความผิดปกติที่มักถูกพบได้ในโรคที่เกี่ยวข้องกับความเสื่อมของระบบประสาทและสมอง รวมถึงโรคอัลไซเมอร์ด้วยเช่นกัน ดังนั้นการยับยั้งการเกิดกระบวนการ hyperphosphorylation ของโปรตีน Tau นั้น จึงเป็นอีกหนึ่งเป้าหมายในการรักษาโรคอัลไซเมอร์ด้วยเช่นกัน จากหลักฐานงานวิจัยศึกษาความสัมพันธ์ของเมลาโทนินต่อกระบวนการเกิด hyperphosphorylation ของโปรตีน Tau นั้นพบว่า เมลาโทนินสามารถยับยั้งการเกิดกระบวนการนี้ได้โดยการยับยั้งโปรตีนที่มีชื่อว่า GSK3 $\beta$  ซึ่งโปรตีนนี้เป็นโปรตีนตัวสำคัญที่ทำให้เกิด hyperphosphorylation ของโปรตีน Tau (Hardeland et al., 2011; Panmak, Nopparat, Permpoonpattana, Namyen & Govitrapong, 2021) โดยทำให้โปรตีน Tau นั้นหลุดออกจากสายไมโครทิวบูล (microtubule) แล้วจับตัวกันเป็นร่างแห NFT ทำให้เกิดการตายของเซลล์ประสาทตามมา การที่เมลาโทนินสามารถยับยั้งปริมาณโปรตีน GSK3 $\beta$  นี้ได้ ส่งผลให้การเกิด hyperphosphorylation ของโปรตีน Tau นั้นลดลงซึ่งยับยั้งการตายของเซลล์ประสาทได้นั่นเอง

### บทสรุป

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าโรคอัลไซเมอร์นั้นมีการปัจจัยเกิดที่สมองและเป็นโรคที่ยังไม่สามารถหาวิธีการรักษาให้หายขาดได้ ความเสื่อมของสมองที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะใช้กระบวนการยาวนานกินเวลาเป็น 10 ปีก่อนที่จะปรากฏอาการผิดปกติให้เห็น การวินิจฉัยในระยะเริ่มแรกของโรคอาจทำได้ยากเนื่องจากลักษณะอาการอาจจะยังไม่ชัดเจนส่งผลให้ผู้ป่วยส่วนใหญ่ถูกวินิจฉัยโรคได้ในระยะที่มีการแสดงออกของโรคที่ชัดเจนไปแล้วและนำไปสู่ปัญหาการพึ่งพาการดูแลจากผู้ดูแลในระยะยาวตามมา ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านเศรษฐกิจ ความเครียดภายในครอบครัว ในปัจจุบันการรักษาโรคอัลไซเมอร์นั้นจะเป็นเพียงยาที่รักษาตามอาการของโรคเพียงเท่านั้น ยังไม่มียาตัวใดที่สามารถรักษาโรคให้หายขาดได้ ดังนั้นการศึกษาวินิจฉัยเพื่อหาวิธีการรักษาโรคให้ตรงจุดนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมาก จากหลักฐานข้อมูลงานวิจัยที่ได้ทำการทดลองทั้งในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลองพบว่าเมลาโทนินนั้นสามารถลดปริมาณ 2 โปรตีนสำคัญที่พบได้ในโรคอัลไซเมอร์ (hallmarks of Alzheimer’s disease) ซึ่งได้แก่ amyloid plaques และ neurofibrillary tangles ในสมอง ซึ่งโปรตีนทั้งสองตัวนี้เป็นตัวการสำคัญในการทำให้เกิดความเสื่อมไปจนถึงเกิดการตายของเซลล์ประสาท จำนวนเซลล์ประสาทในสมอง

ที่ลดลงนั้นโดยเฉพาะในตำแหน่งที่มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการเรียนรู้และความจำ ซึ่งได้แก่สมองส่วนเปลือกสมอง (cortex) และสมองส่วนฮิปโปแคมปัส (hippocampus) ย่อมทำให้เกิดความบกพร่องต่อการทำหน้าที่ของสมองส่วนดังกล่าว จากงานวิจัยจำนวนมากมีผลการศึกษาไปในทิศทางเดียวกันถึงผลของเมลาโทนินที่สามารถช่วยลดความเสื่อมถอยของระดับการเรียนรู้และความจำ ยิ่งเป็นตัวชี้วัดถึงคุณสมบัติของเมลาโทนินต่อการรักษาโรคอัลไซเมอร์

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวฮอร์โมนเมลาโทนินอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการรักษาโรคอัลไซเมอร์ แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังคงต้องมีการศึกษาวิจัยค้นคว้าเพิ่มเติมในเรื่องของข้อจำกัดในการใช้เมลาโทนิน เช่น การดูดซึมในร่างกายของมนุษย์ รวมถึงขนาดที่เหมาะสมกับการใช้ในด้านการรักษาโรค รวมไปถึงผลข้างเคียงของเมลาโทนิน เพื่อที่จะสามารถนำเมลาโทนินไปใช้ในทางคลินิกในการรักษาโรคอัลไซเมอร์ได้อย่างปลอดภัยในอนาคต



## References

- Abduljawad, A. A., Elawad, M. A., Elkhalifa, M. E. M., Ahmed, A., Hamdoon, A. A. E., Salim, L. H. M., Ashraf, M., Ayaz, M., Hassan, S. S. U., & Bungau, S. (2022). Alzheimer's Disease as a Major Public Health Concern: Role of Dietary Saponins in Mitigating Neurodegenerative Disorders and Their Underlying Mechanisms. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *27*(20), 6804. <https://doi.org/10.3390/molecules27206804>
- Alzheimer's Association. (2025). *Alzheimer's disease facts and figures*. Retrieved from <https://www.alz.org/alzheimers-dementia/facts-figures>
- Andrade, M. K., Souza, L. C., Azevedo, E. M., Bail, E. L., Zanata, S. M., Andreatini, R., & Vital, M. A. B. F. (2023). Melatonin reduces  $\beta$ -amyloid accumulation and improves short-term memory in streptozotocin-induced sporadic Alzheimer's disease model. *IBRO Neuroscience Reports*, *14*, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.ibneur.2023.01.005>
- Burns, A., & Iliffe, S. (2009). Alzheimer's disease. *BMJ (Clinical Research ed.)*, *338*, b158. <https://doi.org/10.1136/bmj.b158>
- Esposito, E., & Cuzzocrea, S. (2010). Antiinflammatory activity of melatonin in central nervous system. *Current Neuropharmacology*, *8*(3), 228–242. <https://doi.org/10.2174/157015910792246155>
- Förstl, H., & Kurz, A. (1999). Clinical features of Alzheimer's disease. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, *249*(6), 288–290. <https://doi.org/10.1007/s004060050101>
- Frank, E. M. (1994). Effect of Alzheimer's disease on communication function. *Journal of the South Carolina Medical Association (1975)*, *90*(9), 417–423. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/7967534/>

- Guo, H., & Zhang, Y. (2020). Resting state fMRI and improved deep learning algorithm for earlier detection of Alzheimer's Disease. *in IEEE Access*, *8*, 115383-115392.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003424>.
- Hardeland, R., & Pandi-Perumal, S. R. (2005). Melatonin, a potent agent in antioxidative defense: actions as a natural food constituent, gastrointestinal factor, drug and prodrug. *Nutrition & Metabolism*, *2*, 22. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-2-22>
- Hardeland, R., Cardinali, D. P., Srinivasan, V., Spence, D. W., Brown, G. M., & Pandi-Perumal, S. R. (2011). Melatonin--a pleiotropic, orchestrating regulator molecule. *Progress in neurobiology*, *93*(3), 350–384. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2010.12.004>
- Hernández, F., & Avila, J. T. (2007). Tauopathies. *Cellular and molecular life sciences: CMLS*, *64*(17), 2219–2233. <https://doi.org/10.1007/s00018-007-7220-x>
- Hooper, N. M. (2005). Roles of proteolysis and lipid rafts in the processing of the amyloid precursor protein and prion protein. *Biochemical Society Transactions*, *33*(Pt 2), 335–338.  
<https://doi.org/10.1042/BST0330335>
- Kumar, A., Sidhu, J., Lui, F., & Tsao, J. W. (2024). Alzheimer Disease. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499922/>
- Lahiri, D. K. (1999). Melatonin affects the metabolism of the beta-amyloid precursor protein in different cell types. *Journal of Pineal Research*, *26*(3), 137–146.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-079x.1999.tb00575.x>
- Lahiri, D. K., Chen, D., Ge, Y. W., Bondy, S. C., & Sharman, E. H. (2004). Dietary supplementation with melatonin reduces levels of amyloid beta-peptides in the murine cerebral cortex. *Journal of Pineal Research*, *36*(4), 224–231. <https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2004.00121.x>
- Matsubara, E., Bryant-Thomas, T., Pacheco Quinto, J., Henry, T. L., Poeggeler, B., Herbert, D., Cruz-Sanchez, F., Chyan, Y. J., Smith, M. A., Perry, G., Shoji, M., Abe, K., Leone, A., Grundke-Ikbal, I., Wilson, G. L., Ghiso, J., Williams, C., Refolo, L. M., Pappolla, M. A., Chain, D. G. & Neria, E. (2003). Melatonin increases survival and inhibits oxidative and amyloid pathology in a transgenic model of Alzheimer's disease. *Journal of Neurochemistry*, *85*(5), 1101–1108.  
<https://doi.org/10.1046/j.1471-4159.2003.01654.x>
- Mekha, P., Teeyasuksaet, N., & Osathanunkul, K. (2024). Comparison of Performance Using Neural Networks with Various Learning Configurations for Image Classification of Alzheimer's Disease in Humans. *Maejo Information Technology and Innovation Journal*, *10*(4), 163-180. Retrieved from <https://mitij.mju.ac.th/ARTICLE/R67049.pdf>. (in Thai)

- Mongkalig, M., & Thaipisuttikul, P. (2023). Prevalence of hyperhomocysteinemia in Alzheimer's disease and vascular dementia at outpatient unit in Ramathibodi hospital: Retrospective study. *Journal of the Psychiatric Association of Thailand*, 68(1), 115-125. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JPAT/article/view/260795> (in Thai)
- Mukda, S., Panmanee, J., Boontem, P., & Govitrapong, P. (2016). Melatonin administration reverses the alteration of amyloid precursor protein-cleaving secretases expression in aged mouse hippocampus. *Neuroscience letters*, 621, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.04.013>
- Olivieri, G., Hess, C., Savaskan, E., Ly, C., Meier, F., Baysang, G., Brockhaus, M., & Müller-Spahn, F. (2001). Melatonin protects SHSY5Y neuroblastoma cells from cobalt-induced oxidative stress, neurotoxicity and increased beta-amyloid secretion. *Journal of pineal research*, 31(4), 320–325. <https://doi.org/10.1034/j.1600-079x.2001.310406.x>
- Pandi-Perumal, S. R., Cardinali, D. P., Zaki, N. F. W., Karthikeyan, R., Spence, D. W., Reiter, R. J., & Brown, G. M. (2022). Timing is everything: Circadian rhythms and their role in the control of sleep. *Frontiers in neuroendocrinology*, 66, 100978. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2022.100978>
- Panmak, P. (2018). Effect of Exercise on Alzheimer's Disease. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 12(3), 25-32. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/157513> (in Thai)
- Panmak, P., Nopparat, C., Permpoonpattana, K., Namyen, J., & Govitrapong, P. (2021). Melatonin protects against methamphetamine-induced Alzheimer's disease-like pathological changes in rat hippocampus. *Neurochemistry International*, 148, 105121. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2021.105121>
- Pimsarn, N., limlikidaksorn, C., & Buachsantia, N. (2023). Understanding melatonin : health benefits and effects. *Journal of MCU Nakhondhat*, 10(7), 246–254. retrieved from <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/JMND/article/view/270749>. (in Thai)
- Shukla, M., Govitrapong, P., Boontem, P., Reiter, R. J., & Satayavivad, J. (2017). Mechanisms of Melatonin in Alleviating Alzheimer's Disease. *Current Neuropharmacology*, 15(7), 1010–1031. <https://doi.org/10.2174/1570159X15666170313123454>
- Song, W., & Lahiri, D. K. (1997). Melatonin alters the metabolism of the beta-amyloid precursor protein in the neuroendocrine cell line PC12. *Journal of molecular neuroscience: MN*, 9(2), 75–92. <https://doi.org/10.1007/BF02736852>

- Sumsuzzman, D. M., Choi, J., Jin, Y., & Hong, Y. (2021). Neurocognitive effects of melatonin treatment in healthy adults and individuals with Alzheimer's disease and insomnia: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 127, 459–473. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.04.034>
- Tordjman, S., Chokron, S., Delorme, R., Charrier, A., Bellissant, E., Jaafari, N., & Fougrou, C. (2017). Melatonin: Pharmacology, functions and therapeutic benefits. *Current Neuropharmacology*, 15(3), 434–443. <https://doi.org/10.2174/1570159X14666161228122115>
- Wu, Y. H., & Swaab, D. F. (2005). The human pineal gland and melatonin in aging and Alzheimer's disease. *Journal of pineal research*, 38(3), 145–152. <https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2004.00196>.
- Zhang, Y. C., Wang, Z. F., Wang, Q., Wang, Y. P., & Wang, J. Z. (2004). Melatonin attenuates beta-amyloid-induced inhibition of neurofilament expression. *Acta Pharmacologica Sinica*, 25(4), 447–451. retrieved from <http://www.chinaphar.com/article/view/8055/8643>



# การแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้ เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี

## A Recommendation for Designing Tamarind Packaging by using Content-Based Ontology Techniques

ธัญลักษณ์ นิชยิววิทย์<sup>1</sup> ทศนันท์ ตรีนันทรรัตน์<sup>2</sup> ยูภา คำตะพล<sup>2\*</sup> และประยูร ไชยบุตร<sup>1</sup>  
Thinaphan Nithiyuwit<sup>2</sup>, Tassanan Threenuntharath<sup>2</sup>, Yupa Kumtapol<sup>2\*</sup> and Prayoon Chaibuth<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์  
<sup>1</sup>Major of Information Technology, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University  
<sup>2</sup>สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์  
<sup>2</sup>Major of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University

\*Corresponding author: yupa.k@pcru.ac.th

Received: October 24, 2024

Revised: December 11, 2024

Accepted: December 17, 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อสร้างออนโทโลยีในการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป (2) เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมและเว็บแอปพลิเคชันการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี และ (3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม และความพึงพอใจผู้ใช้ต่อเว็บแอปพลิเคชันแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป การดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) สสำรวจพฤติกรรมความชอบของผู้บริโภค จำนวน 384 คน ต่อบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป และสังเคราะห์ความรู้จากทฤษฎีการใช้สีและองค์ประกอบการออกแบบเพื่อสร้างฐานความรู้ออนโทโลยี (2) พัฒนาอัลกอริทึมการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยีด้วยภาษาไพธอน และเชื่อมต่อกับเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วยภาษาพีเอชพี เอชทีเอ็มแอล ซีเอสเอส เอแจค และเจควีรี โดยอัลกอริทึมถูกนำมาใช้ผ่านเรสฟูลเอพีไอ ที่พัฒนาด้วยไลบรารีฟราค และ (3) ประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์การแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ได้จากอัลกอริทึม เทียบวัดกับการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ 30 คน และวิเคราะห์ผลด้วยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ฐานความรู้ออนโทโลยี มีจำนวนทั้งหมด 26 คลาส แบ่งเป็น 3 ชั้นความรู้ เว็บแอปพลิเคชันประกอบด้วยฟังก์ชันการรับข้อมูลรูปภาพ และคำอธิบายของผลิตภัณฑ์ เพื่อสร้างองค์ความรู้การออกแบบบรรจุภัณฑ์เชิงความหมาย และการแนะนำด้วยการจัดอันดับรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับสินค้า และอัลกอริทึมสามารถแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ คิดเป็น 85.18% และผู้ใช้พึงพอใจต่อเว็บแอปพลิเคชันอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X}=3.52$   $SD=0.646$ )

**คำสำคัญ:** การแนะนำเชิงเนื้อหา ออนโทโลยี การออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป

## Abstract

This research aimed to (1) create a semantic knowledge base using ontology to recommend designs for processed tamarind packaging, (2) develop an algorithm and web application for recommending tamarind packaging designs using content-based recommendation techniques based on ontology, and (3) evaluate the algorithm's performance and user satisfaction with the packaging design recommendation web application. The research is divided into three phases: (1) a survey of 384 consumers' preferences regarding processed tamarind packaging and synthesizing knowledge from color theory and design principles to build the ontology knowledge base; (2) the development of a content-based recommendation algorithm on ontology using Python, connected to a web application developed with PHP, HTML, CSS, Ajax, and jQuery with the algorithm implemented through a RESTful API developed with the Flask library; and (3) an evaluation of the algorithm's performance by comparing the packaging design recommendations with those from experts and assessing the satisfaction of 30 users, with results analyzed through means and standard deviations. The results found that the ontology knowledge consists of a total of 26 classes, divided into 3 levels of knowledge. The web application consists of functions for receiving product images and descriptions to create meaningful packaging design knowledge. It also provides recommendations by ranking packaging designs that are suitable for the product. The algorithm can recommend packaging designs accurately according to expert suggestions, achieving an accuracy rate of 85.18%. User satisfaction with the web application is rated at a high level ( $\bar{X}=3.52$   $SD=0.646$ ).

**Keywords:** content-based recommendation, Ontology, Processed Tamarind Packaging Design



## บทนำ

มะขามหวาน เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นที่รู้จักในด้านรสชาติหวานและเนื้อเนียนละเอียด สภาพภูมิอากาศและดินที่เหมาะสมทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสูง เป็นที่ต้องการทั้งในและต่างประเทศ มะขามหวานมีบทบาทสำคัญในการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและเป็นสินค้าส่งออกที่ช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจท้องถิ่น การแปรรูปมะขามหวาน เช่น มะขามแก้ว มะขามแช่อิ่ม และมะขามเคลือบน้ำตาล ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ มะขามแช่อิ่มเป็นวิธินิยมอาหารที่ช่วยให้เก็บผลผลิตได้นาน ช่วยแก้ปัญหาผลผลิตล้นตลาด และสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้ ฐานลูกค้ารวมถึงคนไทยในต่างประเทศซึ่งเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ หากการแปรรูปตรงกับความต้องการ

ของตลาด จะช่วยเพิ่มรายได้และสร้างธุรกิจที่ยั่งยืน (Anusonpanichakul & Thirathamason, 2023) โดยที่การออกแบบบรรจุภัณฑ์มีความสำคัญอย่างมาก เพราะส่งผลโดยตรงต่อการเลือกซื้อและพฤติกรรมการบริโภคของลูกค้า โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้ง บรรจุภัณฑ์ที่มีข้อมูลชัดเจน เช่น วันที่ผลิต วันหมดอายุ และเครื่องหมายรับรองความปลอดภัยจาก ออย. สามารถสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคได้อย่างดี ซึ่งผู้บริโภคทุกเพศวัยมักให้ความสำคัญกับการเลือกสินค้าที่ปลอดภัยและมีคุณภาพ นอกจากความครบถ้วนของข้อมูลแล้ว การออกแบบบรรจุภัณฑ์ยังมีบทบาทสำคัญในการดึงดูดความสนใจ กราฟิกที่สวยงามและเหมาะสมช่วยให้สินค้าดูมีคุณภาพและเสริมความมั่นใจให้กับผู้บริโภค อีกทั้งยังสามารถสะท้อนถึงเอกลักษณ์และ

ภาพลักษณ์ของแบรนด์ได้อย่างดี รวมทั้งการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ครบถ้วนและน่าสนใจจะช่วยเพิ่มยอดขาย และทำให้การตลาดมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Khong Im, 2024)

การออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผลไม้แปรรูปนั้นเผชิญกับปัญหาและความท้าทายมากมาย เช่น การสร้างความดึงดูดใจและการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ข้อจำกัดที่มาจากซอฟต์แวร์กราฟิกและทักษะของผู้ประกอบการในการใช้งานโปรแกรมกราฟิกทั่วไปอาจมีฟังก์ชันการทำงานที่ไม่เพียงพอและอาจเป็นอุปสรรคสำคัญในการสร้างรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ทันสมัยและดึงดูดลูกค้า การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI: Artificial Intelligence) ในกระบวนการออกแบบอาจช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าวได้ และสามารถลดระยะเวลาในการออกแบบและทดสอบ (Piotrowski, 2024) รวมทั้ง AI สามารถพัฒนาแนวคิดใหม่ ๆ วิเคราะห์ข้อมูลจากผู้บริโภคและปรับแต่งกราฟิก ซึ่งส่งผลให้ประหยัดเวลาและยกระดับคุณภาพบรรจุภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกจะช่วยสกัดข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อสร้างรูปแบบการออกแบบที่ทันสมัยและมีคุณภาพสูง (Zhang, 2024) ในการพัฒนาระบบแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์อันชาญฉลาดนั้น จะต้องใช้ฐานข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมความชอบของผู้บริโภคที่สอดคล้องกับองค์ความรู้จากทฤษฎีการใช้สีและองค์ประกอบการออกแบบวัตถุต่าง ๆ เพื่อให้การออกแบบมีความเหมาะสมและสวยงามในระบบการออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบอัตโนมัติในงานวิจัยของ Lambrix et al. (2024) ได้นำเสนอการใช้ออนโทโลยี (Ontology) ในการเข้าถึงและรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบและสินค้าจากฐานข้อมูลที่มีความหลากหลาย และมีรูปแบบข้อมูลและการเข้าถึงที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยของ Tan et al. (2024) ได้นำเสนอการใช้ออนโทโลยี (Ontology) เป็นเครื่องมือสำคัญในเทคโนโลยี Semantic Web ซึ่งเป็นแนวทางในการปรับปรุงการรวมข้อมูล โดยออนโทโลยี (Ontology) จะให้คำศัพท์และกรอบการทำงานที่มีมาตรฐานสำหรับการแทนข้อมูล ซึ่งภาษาของออนโทโลยี (Ontology) ใน Semantic Web เช่น RDFS และ OWL จะช่วยให้การแทนแนวคิดและคำอธิบายทางความหมายเป็นรูปแบบที่อ่านได้โดยเครื่องจักร

ได้อย่างชัดเจน และภาษากรกฎเช่น SWRL สามารถใช้ในการประเมินและอนุมานตามข้อกำหนดได้

การพัฒนาเทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหา (CBR: Content-Based Recommendation) เพื่อบูรณาการบนฐานความรู้เชิงความหมายด้วยออนโทโลยี (Ontology) เป็นการสร้างความแตกต่างอย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบอัตโนมัติ โดยอัลกอริทึมที่ปรับปรุงใหม่ที่น่าเสนอในบทความนี้จะสามารถเข้าถึงและอนุมานความรู้จากออนโทโลยี ตามเป้าหมายการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามและมีความเหมาะสมกับตัวสินค้าและข้อความโฆษณาบนบรรจุภัณฑ์ จากนั้นนำเข้าสู่ขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึม CBR เพื่อคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญกับคุณลักษณะของบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ เพื่อให้ผลลัพธ์การแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่ดี ซึ่งอัลกอริทึมที่ปรับปรุงใหม่นี้สามารถให้ความแม่นยำของผลลัพธ์ในการแนะนำเทียบเท่ากับการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์โดยผู้เชี่ยวชาญ การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อต่อเชื่อมกับอัลกอริทึมและโมเดลการแนะนำที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้ผู้ใช้งานหลากหลายทักษะในชุมชนท้องถิ่นสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวกสบาย และใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมได้อย่างแพร่หลาย

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างฐานความรู้เชิงความหมายด้วยออนโทโลยี (Ontology) ในการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป
2. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมและเว็บแอปพลิเคชันการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี (Ontology)
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม และความพึงพอใจผู้ใช้ต่อเว็บแอปพลิเคชันแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทบทวนแนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

### 1. แนวคิดการออกแบบบรรจุภัณฑ์

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพเกี่ยวข้องกับหลายองค์ประกอบที่มีผลต่อการรับรู้ของผู้บริโภคและการสร้างเอกลักษณ์ของแบรนด์ องค์ประกอบสำคัญ คือ การเลือกใช้สี ซึ่งสามารถกระตุ้นอารมณ์และความรู้สึกของผู้บริโภคได้ การเลือกโทนสีที่กลมกลืนและสมดุลช่วยดึงดูดความสนใจไปยังองค์ประกอบสำคัญ เช่น ชื่อสินค้าหรือโลโก้ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความแตกต่างทางวัฒนธรรมที่ทำให้ความหมายของสีต่างกันในแต่ละพื้นที่ ในด้านตัวอักษร การเลือกฟอนต์มีบทบาทสำคัญในการสะท้อนบุคลิกของแบรนด์ ฟอนต์ควรชัดเจนและสอดคล้องกับแบรนด์ ข้อความควรอ่านได้ง่ายแม้ในระยะไกล การใช้ภาพและกราฟิกที่สอดคล้องกับเอกลักษณ์แบรนด์ เช่น ไอคอนหรือสัญลักษณ์ ช่วยเพิ่มความน่าสนใจและประสิทธิภาพในการสื่อสาร (Appinio, 2024) สำหรับการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแช่อิ่มสดมักพบปัญหาถุงบวมและแตกระหว่างการขนส่ง ซึ่งเกิดจากการหมักของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติในสภาพอุณหภูมิสูง ในงานวิจัยของ Inphrom et al. (2024) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาจากการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบเติม พัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ใหม่ที่มีมาตรฐานเพิ่มความน่าสนใจ และออกแบบฉลากที่แสดงข้อมูลสินค้าชัดเจน โดยเน้นความสะดวกในการใช้งาน และการใช้หลักการวิศวกรรมคันเซ (Kansei Engineering) ช่วยระบุโครงสร้างและคุณลักษณะเชิงกายภาพของบรรจุภัณฑ์ใหม่ผลลัพธ์ที่ได้ คือ บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยปกป้องผลิตภัณฑ์จากปัจจัยภายนอก พร้อมตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในเชิงคุณภาพและการใช้งาน

### 2. แนวคิดการออกแบบออนโทโลยีเพื่อการรวมข้อมูล

ออนโทโลยี (Ontology) เป็นคำศัพท์ทางปรัชญาที่ถูกบัญญัติขึ้นใน ปี 1613 โดย Rudolf Gockel และ

Jacob Lorhard หมายถึง การศึกษาการดำรงอยู่ในด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) ออนโทโลยี (Ontology) ถูกนิยามว่าเป็นกรอบที่กำหนดคำศัพท์พื้นฐานและความสัมพันธ์ในโดเมนหนึ่ง ๆ ซึ่งช่วยส่งเสริมความสามารถในการทำงานร่วมกันระหว่างระบบสารสนเทศและตัวแทน (agents) ออนโทโลยี (Ontology) มักถูกใช้ในการรวมฐานข้อมูลเพื่อสร้างความเข้ากันได้และความเข้าใจร่วมกันระหว่างข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ โดยเริ่มจากการกำหนดขอบเขตและเนื้อหาของข้อมูลที่ต้องการรวม ซึ่งอาจใช้ผู้เชี่ยวชาญในการระบุแนวคิดและความสัมพันธ์ที่สำคัญ หลังจากนั้นจะสร้างออนโทโลยี (Ontology) ที่เหมาะสม รวมถึงคำจำกัดความและความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนถัดไป คือ การแมปข้อมูลไปยังออนโทโลยี (Ontology) เพื่อให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลมีประสิทธิภาพ สุดท้ายจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสกัดข้อมูลที่มีความหมายจากฐานข้อมูลที่รวมกัน การใช้แนวทางออนโทโลยี (Ontology) ช่วยให้การจัดการข้อมูลในยุคที่ข้อมูลมีความหลากหลายเป็นไปได้ อย่างมีประสิทธิภาพและราบรื่นมากขึ้น (Tecuci, 2016)

การพัฒนาออนโทโลยี จำแนกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) แบบล่างขึ้นบน: เริ่มต้นด้วยข้อมูลหรือตัวอย่างเฉพาะ แล้วค่อยทำงานจากบนลงล่างเพื่อสรุปแนวคิดทั่วไป (2) แบบบนลงล่าง: เริ่มต้นด้วยหมวดหมู่ทั่วไปหรือแนวคิดนามธรรม แล้วทำงานจากล่างขึ้นบนเพื่อกำหนดอินสแตนซ์หรือหมวดหมู่ย่อยเฉพาะ และ (3) แนวทางแบบผสมผสาน: โดยผสมผสานทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน โดยเริ่มจากหมวดหมู่ทั่วไปแล้วปรับแต่งด้วยข้อมูลเฉพาะไปเรื่อย ๆ วิธีนี้ช่วยให้เกิดความสมดุลระหว่างโครงสร้างและความยืดหยุ่น

ทั้งนี้ การรวมข้อมูลจากหลายแหล่งสามารถทำได้ โดยการสร้างแบบจำลองออนโทโลยี (Ontology) ซึ่งช่วยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในรูปแบบกราฟความรู้ (knowledge graph) สำหรับข้อมูลที่กระจายอยู่ในแหล่งต่าง ๆ นอกจากนี้ การใช้เทคนิคการถ่วงน้ำหนักแบบจับคู่ช่วยประเมินความเกี่ยวข้องของความต้องการที่สัมพันธ์กัน ทำให้สามารถแยกแยะคุณลักษณะที่เป็นมาตรฐานและความต้องการของลูกค้าที่ซ่อนอยู่ได้อย่างแม่นยำ และรวมข้อมูลเหล่านี้เข้าด้วยกันอย่างมีประสิทธิภาพ (Jiang et al., 2024)

### 3. แนวคิดและอัลกอริทึมการแนะนำเชิงเนื้อหา

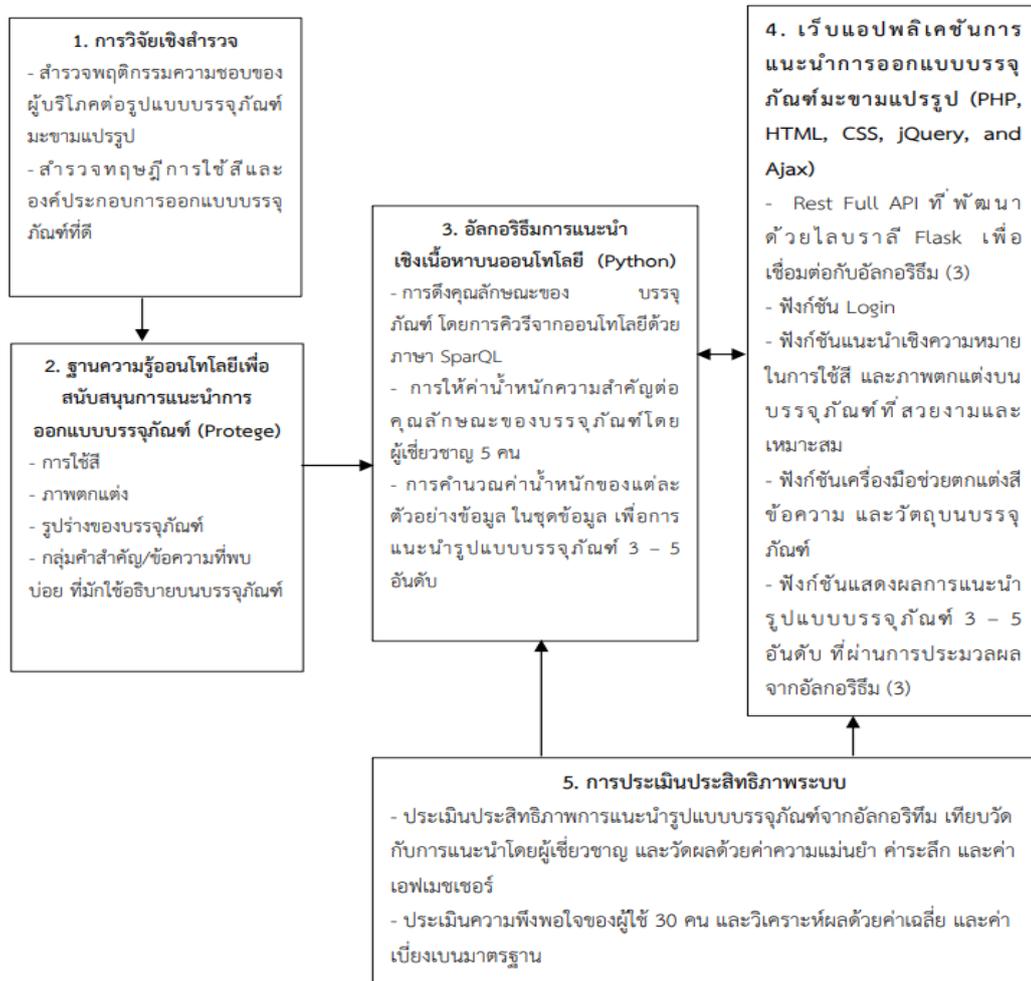
การแนะนำเชิงเนื้อหา (CBF: Content-Based Recommendation) มุ่งเน้นการให้คำแนะนำโดยอิงจากกิจกรรมและความชอบของผู้ใช้ โดยการวิเคราะห์คำสำคัญและคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับรายการในฐานข้อมูล โปรไฟล์ของผู้ใช้ถูกพัฒนาจากการมีปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ ซึ่งช่วยให้ระบบจัดประเภทสินค้าที่ไม่ได้เห็นว่าเป็นที่เกี่ยวข้องหรือไม่ การกรองตามเนื้อหา มักใช้เทคนิคหลักสองอย่าง ได้แก่ วิธีเวกเตอร์สเปซที่จัดอันดับสินค้าตามข้อมูลของผู้ใช้และคุณลักษณะของรายการ โดยใช้การคำนวณผลจุด และวิธีการจำแนกประเภทที่ใช้ต้นไม้การตัดสินใจเพื่อประเมินความชอบของผู้ใช้ตามคุณลักษณะของรายการ การกำหนดคุณลักษณะเป็นงานที่ใช้เวลามากและต้องการการปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถอธิบายคุณสมบัติของรายการได้อย่างถูกต้อง ในขณะเดียวกันการสร้างโปรไฟล์ผู้ใช้จะรวบรวมข้อมูลจากการมีปฏิสัมพันธ์ของผู้ใช้เพื่อสร้างโปรไฟล์ที่มีโครงสร้าง โดยมีการให้ความสำคัญตามความถี่ของคุณลักษณะ (Redfield Expertise, 2023)

### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Treenuntharath et al. (2024) สำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพที่เขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยพัฒนาเว็บเซมานติกด้วยออนโทโลยี (Ontology) และการกรองเนื้อหาเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยว ผลการวิจัยพบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่เดินทางเพื่อพักผ่อน แต่มีปัญหาด้านร่างกายและทักษะเทคโนโลยี เว็บเซมานติกแนะนำการท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมี F-measure เท่ากับ 94.7% และความพึงพอใจของผู้ใช้ในระดับสูง Putra et al. (2024) พัฒนาระบบแนะนำแล็ปท็อปด้วยระบบสนทนา (CRS) ที่ผสานการกรองออนโทโลยี (Ontology) กับการกรองร่วมมือ (CF) เพื่อช่วยผู้ใช้เลือกแล็ปท็อปตามความต้องการและข้อมูลจากผู้ใช้ที่คล้ายกัน ระบบนี้มีความถูกต้องในการแนะนำถึง 93.33% ทำให้ผู้ใช้เลือกแล็ปท็อปได้ง่ายและมั่นใจมากขึ้น และ Lambrix et al. (2024) เสนอทฤษฎี

วัสดุออกแบบ (materials design ontology) เพื่อรวมและจัดการข้อมูลจากฐานข้อมูลวัสดุที่หลากหลาย โดยใช้วิธีการจากแบบจำลองหัวข้อ ผลการวิจัยแสดงการประยุกต์ใช้ระบบในการรวมข้อมูลวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยของ Kumyaito et al. (2023) สรุปว่า ฐานความรู้ออนโทโลยี (Ontology) และฐานกฎการอนุมาน ช่วยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างศาสตร์ความรู้และคำสำคัญในเนื้อหา ทำให้สามารถสกัดและเชื่อมโยงองค์ความรู้จากหลายแพลตฟอร์มและฐานข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรองรับการเชื่อมต่อกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องได้ดียิ่งขึ้น ในขณะที่ Nithiyuwith et al. (2024) พัฒนาออนโทโลยีบนสื่อ VR เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ โดยทำให้ข้อมูลท่องเที่ยวจัดเรียงเป็นหมวดหมู่และรองรับกิจกรรมการท่องเที่ยวแบบโต้ตอบ การใช้ออนโทโลยี (Ontology) ยังช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการค้นหาและขยายคำค้นให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็ว ด้วยการอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลในรูปแบบโหนดลำดับชั้น นอกจากนี้ Siharad et al. (2023) ได้พัฒนาระบบแนะนำด้วย อัลกอริทึมการกรองเชิงเนื้อหา (content-based filtering) โดยวิเคราะห์ความถี่ของคำสำคัญในรีวิวและสร้างโปรไฟล์ผู้ใช้ ระบบยังใช้ข้อมูลการเช็คอินเพื่อนับจำนวนการเข้าชมและปรับน้ำหนักคำแนะนำตามความจุของสถานที่ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถแนะนำสถานที่ได้อย่างแม่นยำและสอดคล้องกับความต้องการของนักท่องเที่ยว รวมถึงสามารถนำไปต่อยอดในบริบทอื่นที่ใช้ข้อมูลสลายเปิดหรือข้อมูลไร้โครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ Wang et al. (2024) พัฒนาระบบแนะนำแบบคลาสสิก โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง และทำการประเมินประสิทธิภาพในการทำนายผลลัพธ์ของคำแนะนำด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ความแม่นยำ ความหลากหลาย และความเป็นธรรม

## กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

### วิธีดำเนินการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยที่กำหนดไว้ สามารถระบุวิธีการดำเนินงานวิจัยได้อย่างสอดคล้อง ดังนี้

1. การสร้างฐานความรู้เชิงความหมายด้วยออนโทโลยี (Ontology) ในการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป

สำรวจพฤติกรรมความชอบของผู้บริโภค จำนวนทั้งหมด 384 คน ซึ่งเป็นลูกค้าประจำที่ซื้อผลิตภัณฑ์มะขามแปรรูปในร้านค้าออนไลน์และการซื้อผ่านหน้าร้านโดยตรง โดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยไม่ทราบจำนวนประชากร และใช้การสุ่มเลือกแบบสะดวก เพื่อรวบรวมความคิดเห็นต่อบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยการสำรวจด้วยแบบสอบถามที่เน้นรวบรวมข้อมูลรูปลักษณะ สี วัสดุ ขนาด และคำอธิบาย/โฆษณา ที่ผู้บริโภคต้องการให้ปรากฏบนบรรจุภัณฑ์ จากนั้นทำการสังเคราะห์ความรู้จากทฤษฎี

การใช้สีและองค์ประกอบการออกแบบ รวมถึงวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของการออกแบบที่ทำให้บรรจุภัณฑ์ดูน่าสนใจ โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและการสังเคราะห์จะถูกนำมาสร้างฐานความรู้เชิงความหมายในรูปแบบออนโทโลยี (Ontology) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสี องค์ประกอบการออกแบบ และความชอบของผู้บริโภคด้วยโปรแกรม Protégé

2. การพัฒนาอัลกอริทึมและเว็บแอปพลิเคชันการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป

การพัฒนาอัลกอริทึมการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี (Ontology) ใน Python ประกอบด้วยขั้นตอนการดึงคุณลักษณะของบรรจุภัณฑ์จากออนโทโลยี (Ontology) ผ่าน SPARQL และการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญจากผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าอาหารเกษตรแปรรูปเพื่อคำนวณค่าน้ำหนักใน

ชุดข้อมูล เพื่อแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม จากนั้นจะมีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้ PHP HTML CSS jQuery และ Ajax เชื่อมต่อกับอัลกอริทึมผ่าน RESTful API โดยใช้ Flask ซึ่งจะรวมฟังก์ชันการ Login การแนะนำการใช้สีและการตกแต่งภาพ รวมถึงเครื่องมือสำหรับตกแต่งสีข้อความ และวัตถุในบรรจุภัณฑ์ และแสดงผลการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ 3-5 อันดับ เพื่อให้ผู้ใช้เลือกบรรจุภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมและความพึงพอใจผู้ใช้

3.1 ประเมินประสิทธิภาพของความถูกต้องในการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์แต่ละอันดับจากอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น เพื่อเทียบวัดกับการแนะนำ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวนทั้งหมด 3 คน ซึ่งเลือกมาจากผู้เชี่ยวชาญในข้อ 2 โดยจะวัดผลด้วยค่าความแม่นยำ (accuracy)

3.2 ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ 30 คน ซึ่งเป็นการคัดเลือกแบบเจาะจงจากตัวแทนผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน และผู้บริโภครายได้ทดลองใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน Al Pack จำนวน 27 คน และวิเคราะห์ผลด้วยค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้เกณฑ์การแปลความหมายจากค่าเฉลี่ย ดังนี้ 4.50-5.00: พึงพอใจมากที่สุด 3.50-4.49: พึงพอใจมาก 2.50-3.49: พึงพอใจปานกลาง 1.50-2.49: พึงพอใจน้อย และ 1.00-1.49: พึงพอใจน้อยที่สุด

## ผลการวิจัย

1. ผลการสร้างฐานความรู้เชิงความหมายด้วยออนโทโลยี (Ontology) ในการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูปสรุปในแต่ละส่วนย่อยได้ ดังนี้

1.1 ก่อนการสร้างฐานความรู้เชิงความหมายด้วยออนโทโลยี (Ontology) สำหรับการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป บทความนี้ได้สำรวจและวิเคราะห์พฤติกรรมความชอบของผู้บริโภคจำนวน 384 คน พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการบรรจุภัณฑ์ที่มีสีสดใส รูปทรงกลม ภาพตกแต่งที่นิยม คือ ภาพผลไม้สดและภาพธรรมชาติ วัสดุที่ชอบใช้คือพลาสติก และผู้บริโภคให้ความสำคัญกับพอนต์ที่อ่านง่ายเพื่อสื่อสารข้อความอย่างชัดเจน การใช้ภาพที่สื่อถึงผลิตภัณฑ์ช่วยเพิ่มความน่าสนใจ นอกจากนี้การใช้สีตามหลักการออกแบบ เช่น การจับคู่สีและการสร้างสมดุลด้วยสีเข้มและอ่อน รวมถึงการแสดงผลข้อมูลที่สำคัญอย่างส่วนผสมและข้อมูลโภชนาการ ช่วยให้ผู้ใช้บริโภคตัดสินใจได้ง่ายขึ้นและเพิ่มความพึงพอใจในการเลือกซื้อ

1.2 โครงสร้างออนโทโลยี (Ontology) ในการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป สามารถออกแบบได้ ดังนี้

จากภาพ 2 พบว่า ออนโทโลยี (Ontology) สำหรับการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป ประกอบด้วยคลาสความรู้ จำนวนทั้งหมด 26 คลาส แบ่งออกเป็น 3 ลำดับชั้น โดยใช้แนวทางการสร้างออนโทโลยี (Ontology) จากล่างขึ้นบน (bottom-up) บนรากฐานของเนื้อหาข้อมูลที่วิเคราะห์และสรุปผลได้จากแบบสอบถามสำหรับผู้บริโภค จำนวน 384 คน ซึ่งแต่ละคลาสถูกออกแบบเพื่อให้ครอบคลุมทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและตกแต่งบรรจุภัณฑ์ โดยตัวอย่างของคลาสความรู้ที่สำคัญประกอบด้วย (1) คลาสสี (color) เกี่ยวข้องกับการเลือกและใช้สีที่เหมาะสมในบรรจุภัณฑ์ (2) คลาสรูปร่าง (shape) แสดงถึงลักษณะและการออกแบบรูปทรงของบรรจุภัณฑ์ (3) คลาสบรรจุภัณฑ์ (package) เกี่ยวข้องกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับมะขามแปรรูป (4) คลาสลูกค้า (customer) มุ่งเน้นถึงการออกแบบบรรจุภัณฑ์โดยคำนึงถึงกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย (5) คลาสวัสดุ (material) เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ (6) คลาสรูปลักษณะสินค้า (product) เกี่ยวข้องกับลักษณะของสินค้าที่จะถูกแสดงออกบนบรรจุภัณฑ์

การเข้าถึงองค์ความรู้เชิงความหมายเพื่อแนะนำการตกแต่งบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป สามารถใช้ภาษา SPARQL ในการคิวรี ด้วยคำสั่งดังตาราง 1

2. ผลการพัฒนาอัลกอริทึมและเว็บแอปพลิเคชันการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี (Ontology) ดังนี้

2.1 ผลการพัฒนาอัลกอริทึมการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี (Ontology) Recommendation Ontology for packaging design: RecOnto\_PackagingDesign)

ชุดโค้ดของอัลกอริทึมและเว็บแอปพลิเคชันการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี (Ontology) แสดงได้ ดังนี้

จากภาพ 3-4 แสดงว่า อัลกอริทึมการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูปโดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี (Ontology) (RecOnto\_PackagingDesign) มีหลักการทำงาน ในแต่ละบรรทัด ดังนี้

1. รับข้อมูลรูปภาพ (p\_img) และคำอธิบายของผลิตภัณฑ์ (p\_desc)
2. เรียกฟังก์ชัน detection\_color(p\_img) เพื่อหาสีที่เด่นในภาพผลิตภัณฑ์
3. เรียกฟังก์ชัน cuttext(p\_desc) เพื่อดึง/ตัดคำสำคัญจากคำอธิบายผลิตภัณฑ์
4. เรียกฟังก์ชัน semantic\_rule\_searching (mostcolor\_product keywords\_product) เพื่อค้นหากฎเชิงความหมายตามสีที่ตรวจจับและคำที่ถูกตัดออกมาได้
5. คำนวณสูตรหาค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักความสำคัญที่ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสำหรับองค์ประกอบสี รูปภาพ และรูปร่าง
6. ฟังก์ชัน semantic\_rule\_searching ใช้ในการดึงข้อมูลเชิงความหมายเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โดยการค้นหาสีและคำสำคัญที่เกี่ยวข้อง ผ่านการสอบถามข้อมูลด้วย SPARQL
7. วนซ้ำใน Packaging styles dataset เพื่อนำค่าเฉลี่ยของน้ำหนักความสำคัญในองค์ประกอบสี รูปภาพ และรูปร่างที่ได้โดยผู้เชี่ยวชาญ คูณกับจำนวนค่าสำคัญการออกแบบที่ดี ซึ่งแนะนำจากออนโทโลยี ทั้งนี้การประมวลผลด้วยวิธีนี้ จะเป็นการให้ค่าน้ำหนักมากที่สุดกับรายการตัวอย่างข้อมูลรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ที่มีค่า (values) ในคุณลักษณะ (features) ตรง/สอดคล้องกับสินค้าที่นำเข้า (input) มาจากการประมวลผลข้อ 1
8. ฟังก์ชัน Ranking\_weight จะถูกเรียกใช้เพื่อจัดอันดับตัวอย่างรูปแบบบรรจุภัณฑ์ใน Packaging styles

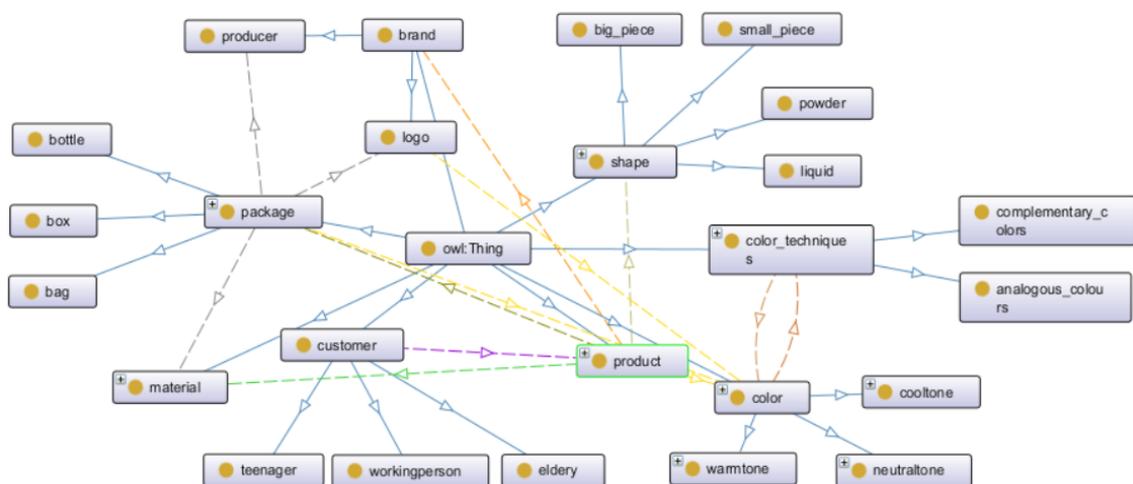
dataset โดยจะเลือกเฉพาะ 3 รูปแบบที่มีคะแนนสูงสุดเพื่อการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับสินค้า

9. ข้อมูลใน recommended\_package\_styles\_3\_orders จะถูกแปลงเป็นรูปแบบ JSON ด้วยฟังก์ชัน JSONFormat ทำให้ข้อมูลสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลข้ามภาษา Python กับ PHP ได้ โดยผลลัพธ์จะถูกเก็บในตัวแปร output เพื่อสามารถเรียกใช้งานได้นบนแอปพลิเคชัน

2.2 ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป โดยใช้เทคนิคการแนะนำเชิงเนื้อหาบนออนโทโลยี (Ontology) ดังนี้

จากภาพ 5 เว็บแอปพลิเคชัน AI Pack เป็นเครื่องมือช่วยออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับสินค้าของตนเองได้ง่ายขึ้น โดยผู้ใช้งานจะเริ่มด้วยการป้อนข้อมูลสินค้าต่าง ๆ เช่น ชื่อประเภท รายละเอียด และอาจอัปโหลดภาพของสินค้า จากนั้นระบบ AI จะประมวลผลและนำเสนอตัวเลือกการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่หลากหลาย ที่เหมาะสมกับรูปแบบของสินค้าที่จะนำมาบรรจุ

จากภาพ 6 แอปพลิเคชันจะรับข้อมูลรูปภาพและคำอธิบายของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาสีที่เด่นในภาพผลิตภัณฑ์ และสกัดคำสำคัญจากคำอธิบายผลิตภัณฑ์ เพื่อค้นหาองค์ประกอบสี รูปภาพ และรูปร่าง เพื่อจัดอันดับรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีคะแนนสูงสุด เพื่อการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับสินค้า โดยจะแสดงผลจากคำแนะนำบนแอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวกสบาย

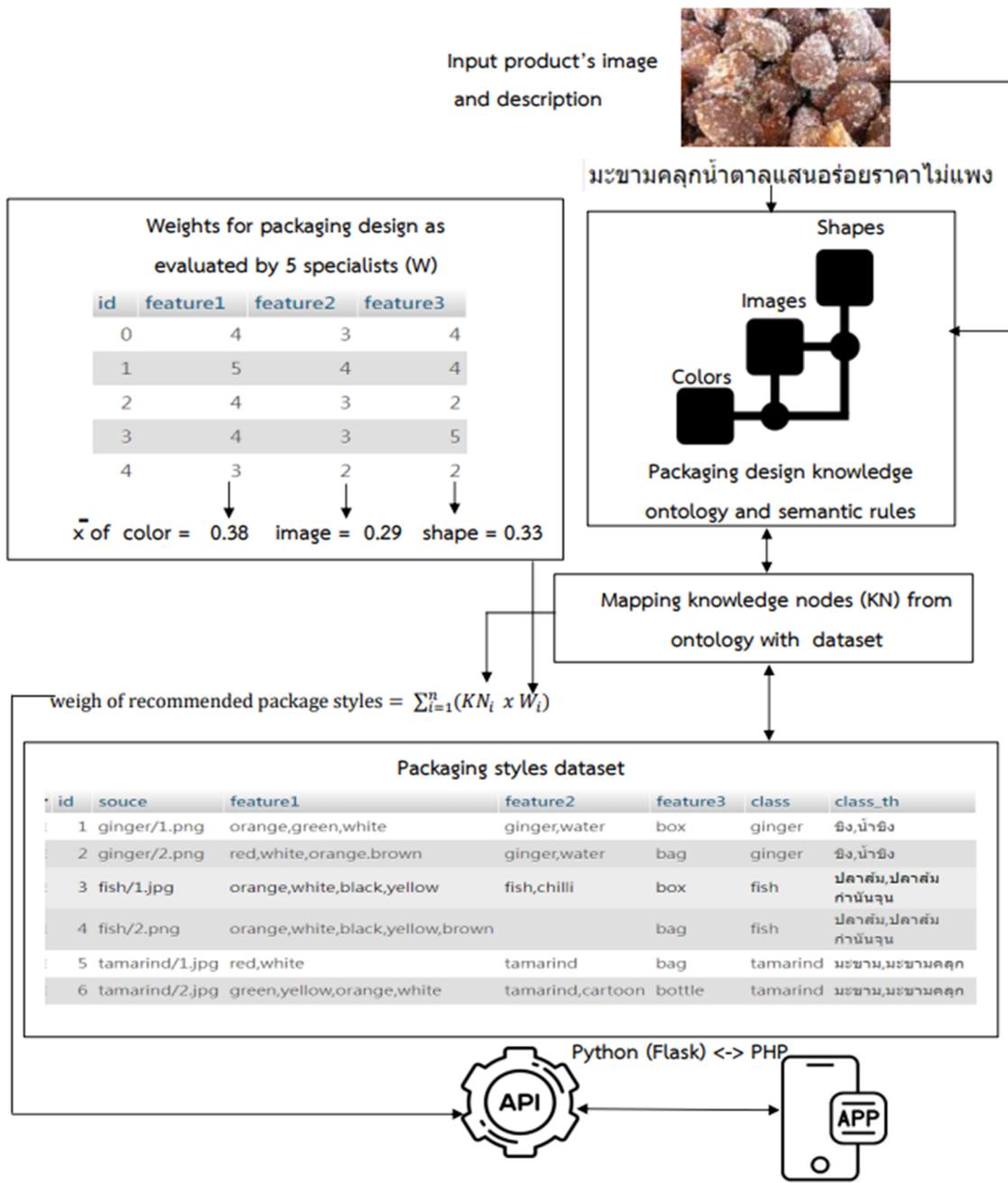


ภาพ 2 โครงสร้างออนโทโลยีในการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป

ตาราง 1

ตัวอย่างคำสั่ง SPARQL เพื่อคิวรีองค์ความรู้ในออนโทโลยี (Ontology) เพื่อแนะนำสีต้น รูปภาพและข้อมูลเพื่อการตกแต่งบรรจุภัณฑ์ให้สวยงาม

คำสั่ง SPARQL	คลาสความรู้ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งคำสั่ง SPARQL ได้เข้าถึง	ผลลัพธ์ที่ได้จากการคิวรีด้วยคำสั่ง SPARQL
<pre>SELECT DISTINCT ?a ?b ?c ?d ?e WHERE{ ?a node:produced_from ?b. ?a node:produced_from ?c. ?a node:has_identity ?d. ?d node:input_package ?e FILTER(?c=node:%s    ?c=node:%s    ?c=node:%s    ?c=node:%s) }</pre>	product material shape	<p>แสดงรายการวัตถุดิบที่ใช้ผลิตสินค้า นั้น ๆ เช่น “มะขามคลุก” ทำจาก “มะขาม” “น้ำตาล” และ “พริกป่น” และรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการบรรจุ “มะขามคลุก” คือ “ถุง” “กล่อง” และ “ขวดโหล”</p> <p><b>ตัวอย่างผลลัพธ์</b></p> <p><a href="#">sugar</a> <a href="#">cayenne_pepper</a> <a href="#">tamarind</a> } แสดงรายการวัตถุดิบ</p> <p><a href="#">bag</a> <a href="#">box</a> <a href="#">bottle</a> } แสดงรูปแบบบรรจุภัณฑ์</p>
<pre>SELECT ?bg WHERE { ?x rdfs:subClassOf ?y. ?a ?x ?b. ?b node:code_color ?bg FILTER(?a=node:%s) }</pre>	color color_techniques cooltone warmtone neutraltone	แสดงสีพื้นหลังที่เหมาะสมกับสีโดยรวมของภาพสินค้า รวมทั้งแสดงสีในกลุ่มเดียวกัน และสีจับคู่ ที่สามารถใช้ตกแต่งบนบรรจุภัณฑ์ได้อย่างสวยงามและเป็นไปตามหลักทฤษฎีสี
<pre>SELECT DISTINCT ?a ?b ?c ?d ?e  WHERE { ?a rdfs:subClassOf node:color. ?b rdf:type ?a.?c rdf:type ?a.?a node:matched_color ?d. ?e rdf:type ?d. FILTER(?b=node:%s &amp;&amp; ?c !=node:%s ) }</pre>		<p><b>ตัวอย่างผลลัพธ์</b></p> <p> ภาพมะขาม มีสีเด่น คือ “สีน้ำตาล”</p> <p> แสดงรายการสีที่แนะนำเพื่อใช้ตกแต่งร่วมกับ “สีน้ำตาล” ของภาพมะขาม</p>



ภาพ 3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมอัลกอริทึม RecOnto\_PackagingDesign

Algorithm : RecOnto_PackagingDesign	
บรรทัดที่	คำสั่งการประมวลผลของโปรแกรม
1.	Input product's image (p_img) and description (p_desc)
2.	mostcolor_product = detection_color(p_img)
3.	keywords_product = cuttext(p_desc)
4.	KN = semantic_rule_searching(mostcolor_product, keywords_product)
5.	$\text{average color score} = \frac{1}{n} \sum_{w=1}^n color_w$ $\text{average image score} = \frac{1}{n} \sum_{w=1}^n image_w$ $\text{average shape score} = \frac{1}{n} \sum_{w=1}^n shape_w$
6.	semantic_rule_searching(mostcolor_product, keywords_product) : keyword1 = SPARQL_query(mostcolor_product) keyword2 = SPARQL_query(keywords_product) KN.append(keyword1, keyword2) Return KN
7.	while Loop in class = 'Product_type' : if colors, images, and shapes == KN : weigh of recommended package styles [package_id] += (number of color (KNs) x average color score) + number of image (KNs) x average image score) + number of shape (KNs) x average shape score) Return weigh of recommended package styles
8.	recommended_package_styles_3_orders = Ranking_weight(weigh of recommended package styles, 3)
9.	output= JSONFormat(recommended_package_styles_3_orders)

ภาพ 4 ชุดโค้ดของอัลกอริทึม RecOnto\_PackagingDesign

3. ผลการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม และความพึงพอใจผู้ใช้ต่อเว็บแอปพลิเคชันแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป

3.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม RecOnto\_PackagingDesign

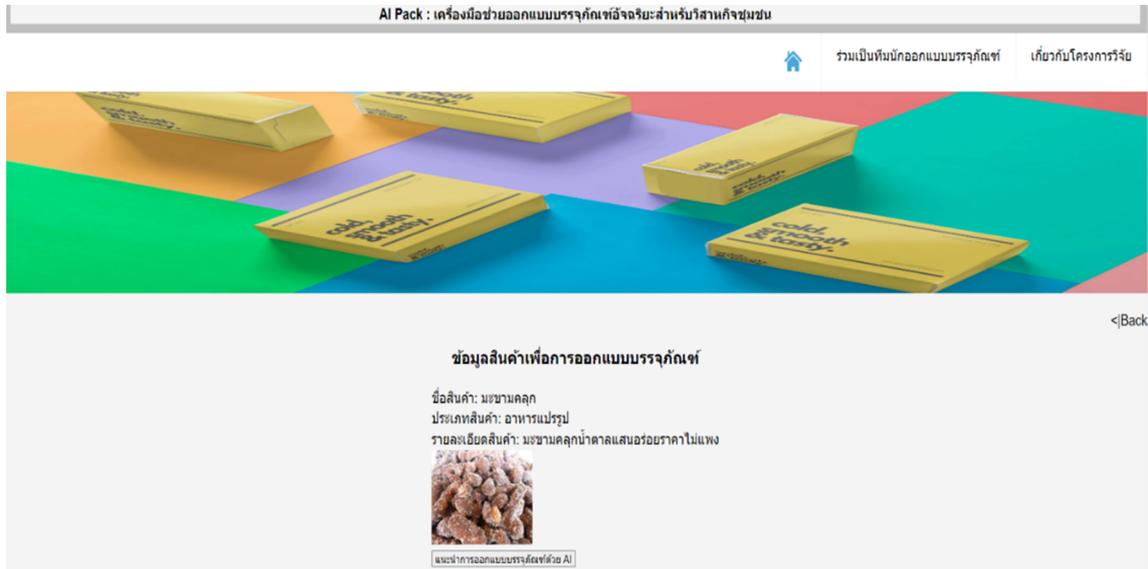
จากตาราง 2 สรุปได้ว่า ในภาพรวม ค่าเฉลี่ยร้อยละ ความถูกต้องในการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 คน โดยอัลกอริทึม RecOnto\_PackagingDesign เท่ากับ 85.18 % โดย

สามารถแนะนำอันดับของบรรจุภัณฑ์มะขามคลุก และมะขามแช่อิ่ม ถูกต้องตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ คิดเป็น 100% ส่วนบรรจุภัณฑ์มะขามกวน แนะนำอันดับได้ถูกต้อง 55.53% เนื่องจากมีผู้เชี่ยวชาญ 2 คน มีความคิดเห็นว่า ควรแนะนำบรรจุภัณฑ์อันดับ 1 เปลี่ยนเป็นอันดับ 2 และอันดับ 2 เปลี่ยนเป็นอันดับ 1

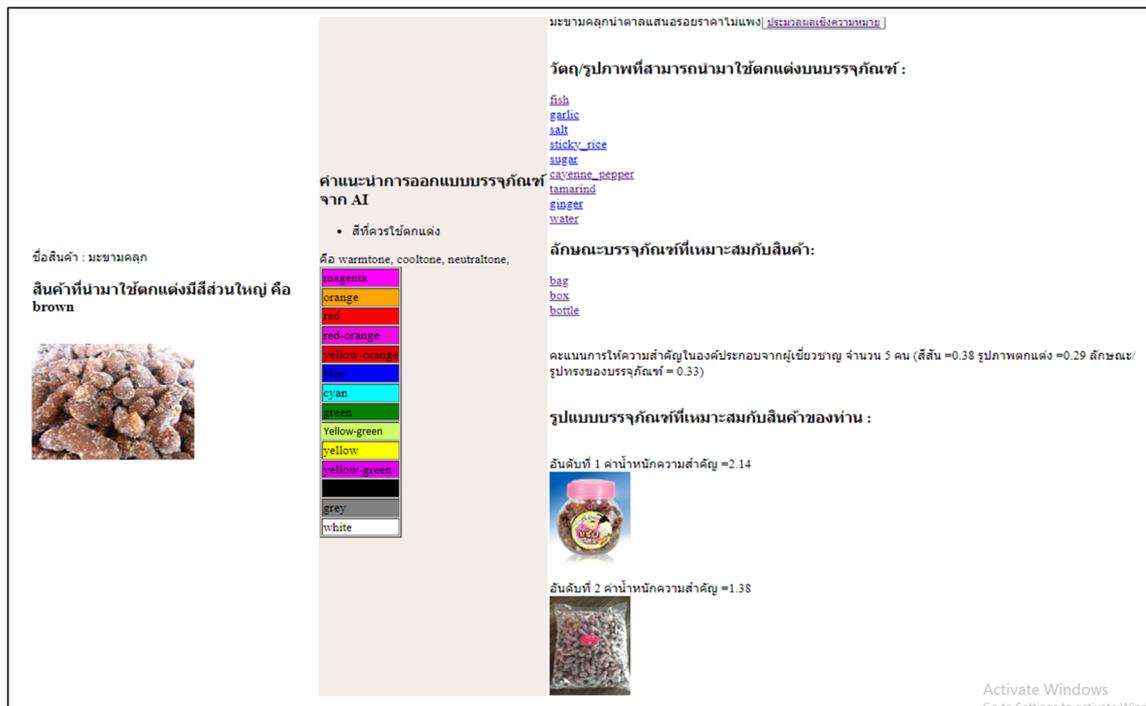
3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ จำนวน 30 คน ต่อเว็บแอปพลิเคชันแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป สรุปได้ดังนี้

จากตาราง 3 พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อเว็บแอปพลิเคชันแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูปในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X}=3.52$   $SD=0.646$ ) หากพิจารณาเป็นรายข้อ สามารถเรียงลำดับข้อที่ผู้ใช้พึงพอใจ

ค่าเฉลี่ยสูงสุดถึงต่ำสุด ได้แก่ (1) ความพึงพอใจต่อการนำไปใช้งาน (2) ความแม่นยำในการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ (3) ความง่ายในการใช้งาน (4) ความรวดเร็วในการประมวลผล และ (5) การออกแบบหน้าจ่อ



ภาพ 5 หน้าแรกของเว็บแอปพลิเคชัน (AI Pack)



ภาพ 6 หน้าจอแสดงผลการแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป

ตาราง 2

ผลการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม RecOnto\_PackagingDesign

คุณลักษณะของสินค้าที่ใช้ทดสอบ	องค์ประกอบบนบรรจุภัณฑ์ ที่ผู้เชี่ยวชาญคาดหวังให้มี	ร้อยละความถูกต้องในการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ที่สอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (3 คน)		
 <p>ประเภทสินค้า: มะขามคลุก สีเด่นของสินค้า: สีน้ำตาล คำอธิบาย: มะขามคลุกน้ำตาล แสนอร่อยราคาไม่แพง</p>	<p>- บรรจุภัณฑ์รูปแบบขวดโหล แบบถุง และแบบซอง</p> <p>- สีตกแต่งบรรจุภัณฑ์ สามารถใช้สีชมพู เขียว แดง ส้ม และโทนสีตรงข้าม หรือ โทนสีใกล้เคียงกับสีเด่นของ สินค้า</p> <p>- รูปภาพที่ใช้ตกแต่ง เช่น รูป มะขาม ผงน้ำตาล และพริก ป่น เป็นต้น</p>	อันดับ 1	100%	อันดับที่ 1 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 2.14 
		อันดับ 2	100%	อันดับที่ 2 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 1.85 
		อันดับ 3	100%	อันดับที่ 3 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 1.38 
เฉลี่ยรวม			100%	
 <p>ประเภทสินค้า: มะขามแช่อิ่ม สีเด่นของสินค้า: สีส้ม คำอธิบาย: มะขามแช่อิ่ม หวาน น้ำ รสชาติเปรี้ยวอมหวาน</p>	<p>- บรรจุภัณฑ์รูปแบบขวดโหล และแบบถุง</p> <p>- สีตกแต่งบรรจุภัณฑ์ สามารถใช้สีขาว เขียว แดง น้ำเงิน และโทนสีตรงข้าม หรือโทนสีใกล้เคียงกับสีเด่น ของสินค้า</p> <p>- รูปภาพที่ใช้ตกแต่ง เช่น รูปมะขาม พริก เกลือ น้ำตาล และน้ำผึ้ง เป็นต้น</p>	อันดับ 1	100%	อันดับที่ 1 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 1.14 
		อันดับ 2	100%	อันดับที่ 2 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 1.09 
		อันดับ 3	100%	อันดับที่ 3 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 1.05 
เฉลี่ยรวม			100%	
 <p>ประเภทสินค้า: มะขามหวาน สีเด่นของสินค้า: สีส้ม คำอธิบาย: มะขามหวาน หวาน ละมุน กลมกล่อมทุกคำ เนื้อนุ่ม หอมหวาน รสชาติเข้มข้นจาก มะขามแท้ ๆ</p>	<p>- บรรจุภัณฑ์รูปแบบขวดโหล แบบถุง และกล่อง</p> <p>- สีตกแต่งบรรจุภัณฑ์ สามารถใช้สีขาว เขียว แดง น้ำเงิน และโทนสีตรงข้าม หรือโทนสีใกล้เคียงกับสีเด่น ของสินค้า</p> <p>- รูปภาพที่ใช้ตกแต่ง เช่น รูปมะขาม มะพร้าว ผึ้ง  เป็นต้น</p>	อันดับ 1	33.3%	อันดับที่ 1 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 1.76 
		อันดับ 2	33.3%	อันดับที่ 2 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 1.38 
		อันดับ 3	100%	อันดับที่ 3 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ = 0.71 
เฉลี่ยรวม			55.53%	
เฉลี่ยร้อยละความถูกต้องในการแนะนำในภาพรวม			85.18%	

### ตาราง 3

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ ต่อเว็บแอปพลิเคชันแนะนำการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป

รายการประเมิน	ความพึงพอใจต่อเว็บแอปพลิเคชัน		แปลผล	อันดับ
	$\bar{X}$	SD		
1. ความง่ายในการใช้งาน	3.68	0.785	มาก	3
2. ความรวดเร็วในการประมวลผล	3.08	0.545	ปานกลาง	4
3. ความแม่นยำในการแนะนำรูปแบบบรรจุภัณฑ์	3.85	0.425	มาก	2
4. การออกแบบหน้าจอ	3.05	0.854	ปานกลาง	5
5. ความพึงพอใจต่อการนำไปใช้งาน	3.95	0.621	มาก	1
<b>เฉลี่ยในภาพรวม</b>	<b>3.52</b>	<b>0.646</b>	<b>มาก</b>	

### การอภิปรายผล

ผลจากการสำรวจความชอบของผู้บริโภค และการศึกษาทบทวนเอกสารและตำราที่เกี่ยวข้อง สามารถนำมาสร้างออนโทโลยี (Ontology) ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป ประกอบด้วย 26 คลาส แบ่งออกเป็น 3 ลำดับชั้น ซึ่งแต่ละคลาสถูกออกแบบเพื่อให้ครอบคลุมทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์ อาทิ คลาสสี คลาสรูปร่างบรรจุภัณฑ์ คลาสลูกค้ำ คลาสสวิตดูติบ และคลาสรูปลักษณะสินค้า เป็นต้น โดยฐานความรู้ที่มีโครงสร้างองค์ประกอบที่ครบถ้วน จะสนับสนุนการใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพอัตโนมัติ และช่วยแยกคุณสมบัติที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ออกมา เช่น วัสดุ โครงสร้าง สี ข้อมูล ฯลฯ ซึ่งทำให้การออกแบบและปรับปรุงบรรจุภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang and Zhang (2024) ได้ผสานรวมเทคโนโลยี Computer-Aided Design: CAD เข้ากับอัลกอริทึมทางปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์แนวใหม่ ที่มีรูปแบบที่น่าสนใจและสามารถดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคได้มากขึ้น ในส่วนการเข้าถึงองค์ความรู้เชิงความหมายเพื่อแนะนำการตกแต่งบรรจุภัณฑ์มะขามแปรรูป ได้ใช้ภาษา SPARQL ในการคิวรีซึ่งช่วยให้สามารถรวมข้อมูลจากหลายแหล่งที่แตกต่างกัน ซึ่ง SPARQL เรียกค้นและจัดการข้อมูลในรูปแบบ RDF โดยช่วยให้สามารถค้นหาข้อมูลที่ซับซ้อนและหลากหลายได้

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gallina et al. (2024) ที่เสนอการใช้เทคโนโลยี Semantic Web และการจับคู่กราฟ RDF ในออนโทโลยี (Ontology) ช่วยให้เหตุผลเชิงความหมายและการเรียกค้นข้อมูลในการตรวจสอบความสอดคล้องของผลิตภัณฑ์กับกฎหมายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำเพิ่มมากยิ่งขึ้น

อัลกอริทึม RecOnto\_PackagingDesign ที่พัฒนาขึ้น มีจุดเด่นที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพผลิตภัณฑ์และคำอธิบาย โดยใช้เทคนิคการตรวจจับสีเพื่อระบุคุณลักษณะสำคัญ ซึ่งช่วยให้คำแนะนำบรรจุภัณฑ์มีความเหมาะสมและดึงดูดความสนใจ ผู้ใช้งานสามารถรับข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ได้อย่างรวดเร็วและเชื่อถือได้ ผ่านการค้นหาความสัมพันธ์เชิงความหมาย และมีความแตกต่างจากอัลกอริทึมการแนะนำด้วย Content-Based Filtering ที่มีกึ่งจากข้อมูลพื้นฐาน เช่น คำอธิบายของผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียว โดยไม่พิจารณาความสัมพันธ์เชิงลึกและไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลภาพหรือสีได้โดยตรง และข้อดีของอัลกอริทึม RecOnto\_PackagingDesign คือ การใช้ข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญในการคำนวณคะแนนและการจัดอันดับ ทำให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น รวมถึงสามารถปรับตัวตามข้อมูลใหม่ ๆ และความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็ว

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรพัฒนาฐานข้อมูลรูปแบบบรรจุภัณฑ์ให้หลากหลายและมีการปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอ เพื่อรองรับการแนะนำที่เหมาะสมกับเทรนด์การออกแบบใหม่ ๆ และลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

2. ควรพัฒนาอินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่ายและตอบสนองได้รวดเร็ว โดยให้ความสำคัญกับประสบการณ์ของผู้ใช้ เพื่อเพิ่มความพึงพอใจและการใช้งาน

3. ควรมีการพัฒนาฟังก์ชันเพื่อรองรับกลุ่มผู้ใช้ที่หลากหลาย เช่น ผู้ผลิต นักออกแบบ และผู้บริโภค เพื่อให้การแนะนำมีความหลากหลายและตอบโจทย์ความต้องการที่ต่างกัน และการนำอัลกอริทึม RecOnto\_PackagingDesign มาทำงานบนคลาวด์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว



## References

- Anusonpanichakul, T., & Thirathamason, S. (2023). Factors affecting purchase decision tamarind product of street tamarind shop in Phetchabun Province. *Lampang Rajabhat University Journal*, 12(1), 1–11. Retrieved from <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JLPRU/article/view/254685> (in Thai)
- Appinio. (2024). *What is packaging design? Process, examples, trends*. Retrieved from <https://www.appinio.com/en/blog/market-research/packaging-design>.
- Gallina, B., Dibowski, H., & Schweizer, M. (2024). An Ontology-based representation for shaping product evolution in regulated industries. In A. Achilleos, L. Fuentes, & G. A. Papadopoulos, (Eds), *Reuse and Software Quality. ICSR 2024. Lecture Notes in Computer Science* (pp.92-102). Switzerland: Springer.
- Inpromme, M., Maneesaeng, T., & Sirisan, P. (2024). Development of tamarind briquette packaging using Kansei Engineering Techniques for community enterprises. *PSRU Journal of Industrial Technology and Engineering*, 6(2), 194–216. Retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/article/view/252020> (in Thai)
- Jiang, Z., Sun, B., Zhu, S., Yan, W., Wang, Y., & Zhang, H. (2024). A knowledge graph – based requirement identification model for products remanufacturing design. *Journal of Engineering Design*, 2024, 1–24. <https://doi.org/10.1080/09544828.2024.2339163>
- Khong Im, J. (2024). Appearance of packaging affecting consumption behavior of dried fruit among youth in Nonthaburi Province. *Journal of Management Science Review*, 26(2), 124-134. Retrieved from <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/msaru/article/view/278795/185126> (in Thai)
- Kumyaito, N., Tamee, K., & Sittijuk, P. (2023). Artificial Intelligence Platform on semantic knowledge base for recommending elderly with chronic diseases care. *EAU Heritage Journal Science and Technology (Online)*, 17(2), 120–137. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/259516> (in Thai)
- Lambrix, P., Armiento, R., Li, H., Hartig, O., Abd Nikooie Pour, M., & Li, Y. (2024). The materials design ontology. *Semantic Web*, 15(2), 481-515. <https://doi.org/10.3233/SW-233340>.

- Nithiyuwit, T., Treenuntharath, T., & Kumtapol, Y. (2024). The development of semantic virtual reality media for promoting health tourism in Khaokho District, Phetchabun Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology (Online)*, 18(1), 90–106. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/262266> (in Thai).
- Piotrowski, N. (2024). Machine learning approach to packaging compatibility testing in the new product development process. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35(3), 963-975. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02090-8>
- Putra, A. D. A., & Baizal, Z. K. A. (2024). Laptop recommender system using the hybrid of Ontology-based and collaborative filtering. *Sinkron: Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 8(2), 892-901. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v9i2.13370>
- Redfield Expertise. (2023). *Content-based filtering and how does it work?*. Retrieved from <https://redfield.ai/content-based-recommendation>.
- 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 (Online)*, 17(2), 176–188. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/261625> (in Thai)
- Tan, H., Kebede, R., Moscatti, A., & Johansson, P. (2024). Semantic interoperability using Ontologies and standards for building product properties. In *12 th Linked Data in Architecture and Construction Workshop, Bochum, Germany, June 13-14, 2024* (pp. 23-35). Bochum, Germany: CEUR-WS.
- Treenuntharath, T., Nithiyuwit, T., & Kumtapol, Y. (2024). The development of the elderly's semantic web for supporting the healthy tourism planning in Khao Kho District, Phetchabun Province by using Ontology and content-based filtering technique. *Recent Science and Technology*, 16(1), 211–228. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/article/view/255012> (in Thai)
- Tecuci, G. (2016). Knowledge engineering: Building cognitive assistants for evidence-based reasoning. *In Knowledge Engineering* (pp. 174-201). UK: Cambridge University Press.
- Wang, Y., & Zhang, S. (2024). Optimization of emotional experience in interactive packaging design using Artificial Intelligence. *Computer-Aided Design & Applications*, 21(S7), 2024, 284-299. Retrieved from [https://cad-journal.net/files/vol\\_21/CAD\\_21\(S7\)\\_2024\\_284-299.pdf](https://cad-journal.net/files/vol_21/CAD_21(S7)_2024_284-299.pdf)
- Zhang, M. (2024). Innovative application and effect evaluation of CAD and deep learning in brand packaging design. *Computer-Aided Design & Applications*, 22(S1), 2025, 164-177. Retrieved from [https://cad-journal.net/files/vol\\_22/CAD\\_22\(S1\)\\_2025\\_164-177.pdf](https://cad-journal.net/files/vol_22/CAD_22(S1)_2025_164-177.pdf)



# การออกแบบและสร้างถังหมักชีวภาพควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

## Design and Construction of Bio-fermentation Bin Controlled by the Internet of Things Technology

ลัดดาวัลย์ จำปา<sup>1\*</sup>, นันทวัน หัตถมาศ<sup>2</sup> และนัฐพงษ์ ทองปาน<sup>3</sup>

Laddawan Champa<sup>1\*</sup>, Nanthawan Hardthamas<sup>2</sup> and Natthapong Thongpan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

<sup>1</sup>Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial of Technology,  
Kanchanaburi Rajabhat University

<sup>2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีสมัยใหม่และการจัดการพืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

<sup>2</sup>Department of Modern Technology for Plant Management, Faculty of Science and Technology,  
Kanchanaburi Rajabhat University

<sup>3</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติและหุ่นยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

<sup>3</sup>Department of Automation and Robotics Technology, Faculty of Industrial Technology,  
Kanchanaburi Rajabhat University

\*Corresponding author: laddawan.ch@kru.ac.th

Received: October 25, 2024

Revised: December 2, 2024

Accepted: December 11, 2024

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบประสิทธิภาพในการหมักน้ำหมักชีวภาพโดยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อช่วยควบคุม ตรวจสอบกระบวนการหมัก ตรวจสอบวัดและควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหมัก เช่น อุณหภูมิภายในถังหมัก ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก ค่าน้ำหนักของส่วนผสมระบบโซลาร์เซลล์ และระยะเวลาการกวน รวมถึงการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพการหมักน้ำหมักชีวภาพด้วยวิธีการดั้งเดิม ครบ 14 วัน ยังคงมีเศษอาหารขนาดเล็กที่ยังย่อยไม่หมด และเส้นใยสีขาวเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่บนเศษวัสดุกระจายตัวอยู่บนผิวน้ำ ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มยีสต์ที่ต้องการออกซิเจน ส่วนปริมาณไนโตรเจน: โปแทสเซียม: ฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.53: 1.17: 0.08 โดยน้ำหนัก ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพของถังน้ำหมักชีวภาพพบว่าการกวนส่วนผสมต่อเนื่อง 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที ไม่พบเศษอาหาร และเส้นใยสีขาวบนผิวน้ำ แสดงให้เห็นว่าการกวนส่วนผสมอย่างต่อเนื่องจะช่วยในเรื่องการย่อยเศษอาหาร และลดการเจริญเติบโตของกลุ่มยีสต์ได้ ระยะเวลาการหมัก 10 วัน มีปริมาณไนโตรเจน: โปแทสเซียม: ฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.79: 1.16: 0.06 โดยน้ำหนัก ซึ่งธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพมีค่าตรงตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

**คำสำคัญ:** ถังน้ำหมักชีวภาพ ขยะอินทรีย์ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

## Abstract

The objective of this research was to design, create, and test the efficiency of fermenting bio-liquid using Internet of Things (IoT) technology to control and monitor the fermentation process. This includes measuring and controlling various factors that affect fermentation efficiency, such as the temperature inside the fermentation bin, the pH level of the bio-fermentation, the weight of the ingredients, solar energy systems, and stirring duration. Additionally, real-time alerts were implemented. After 14 days of testing the fermentation efficiency using traditional methods, small food scraps remained undigested, and white fibers indicative of microorganisms were distributed on the water surface, primarily consisting of oxygen-demanding yeast. The ratio of nitrogen: potassium: phosphorus is 0.53%: 1.17%: 0.08% by weight and did not differ statistically. In contrast, results from testing the bio-fermentation bin showed that continuous stirring for 15 minutes followed by a 45-minute rest period resulted in no food scraps or white fibers on the water surface. This indicates that continuous stirring aids in breaking down food scraps and reduces yeast growth. The fermentation period lasted 10 days, resulting in nitrogen, potassium, and phosphorus ratios of 0.79%, 1.16%, and 0.06% by weight, respectively. The nutrient content in the bio-fermentation met organic fertilizer standards.

**Keywords:** bio fermentation bin, organic waste, Internet of Things



## บทนำ

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ระบุว่า โลกมีการทิ้งขยะอาหารประมาณ 1 ใน 3 หรือมากกว่าร้อยละ 30 ของปริมาณอาหารที่ผลิตเพื่อการบริโภคในแต่ละวัน รวมถึงปริมาณขยะอาหารทั่วโลกที่สูงถึง 1,300 ล้านตันต่อปี สำหรับประเทศไทยขยะมีปริมาณรวม 28 ล้านตันต่อปี โดยครึ่งหนึ่งเป็นขยะอาหารที่เกิดจากการบริโภคและกระบวนการผลิตอาหาร หากไม่มีการจัดการที่ถูกต้อง ขยะอาหารเหล่านี้จะก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากการสะสมของสารอินทรีย์และการปล่อยก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนมีศักยภาพในการทำลายชั้นบรรยากาศมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า ขยะอาหารที่เน่าเสียคิดเป็นร้อยละ 8-10 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก ซึ่งองค์การพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (UNDP) ได้กำหนดให้การลดขยะอาหารเป็นหนึ่งในเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ที่ต้องบรรลุภายในปี ค.ศ. 2030

จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566 โดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยมากถึง 26.95 ล้านตัน สามารถจัดการขยะได้ถูกต้องเพียง 10.17 ล้านตัน และนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียง 9.31 ล้านตัน ยังมีขยะตกค้างสะสมอีก 27.62 ล้านตัน โดยในจังหวัดกาญจนบุรี มีขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นวันละ 698 ตัน สามารถจัดการขยะมูลฝอยได้ถูกต้องเพียงวันละ 204 ตัน และนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียงวันละ 317 ตัน ในทางกลับกันในปี 2566 ยังคงมีขยะมูลฝอยตกค้างเป็นจำนวนมากถึง 126,518 ตัน มากเป็นลำดับที่ 16 ของประเทศ (Pollution Control Department, 2023) สาเหตุที่การจัดการปัญหาขยะยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณขยะ ข้อจำกัดด้านงบประมาณ บุคลากร สถานที่ และสมรรถนะขององค์กร รวมถึงปัญหาการนำนโยบายไปปฏิบัติ การประชาสัมพันธ์ การบังคับใช้กฎหมาย และการขาดการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม

จากสภาพปัญหาในการจัดการขยะอินทรีย์ หรือ ขยะครัวเรือน เช่น เศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้ ในพื้นที่ต่าง ๆ ที่มีปริมาณการตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากนั้น ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เข้ามาช่วยในการลดปัญหาขยะ ในครัวเรือน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว และ ช่วยเสริมสร้างระบบนิเวศที่ยั่งยืน Tadsuan and Taeakul (2024) ได้นำเซนเซอร์วัดความชื้นดินควบคุมแผงปล่อยน้ำ เมื่อความชื้นปุ๋ยต่ำกว่า 60% และควบคุมการหยุดจ่ายน้ำ เมื่อความชื้นสูงมากกว่า 70% และได้มีการใช้ Line notify แจ้งสถานะการทำงานของระบบ Vijuksungsih et al. (2016) ได้นำระบบการตั้งเวลาควบคุมการทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ เป็นการช่วยกำหนดความถี่/ระยะเวลาในการกวนผสมอินทรีย์วัตถุภายในถังน้ำหมักชีวภาพซึ่งจะช่วยทำให้ระยะเวลา การหมักเสร็จสมบูรณ์ได้เร็วขึ้น Phakul et al. (2023) ได้นำเซนเซอร์นับความเร็วรอบมอเตอร์ (วัดและส่งค่าจำนวน รอบของมอเตอร์) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (วัดค่าอุณหภูมิในกอง หมักปุ๋ย) เซนเซอร์วัดค่าพีเอช (วัดค่าพีเอชของปุ๋ย) และไทมเมอร์ (ส่งวันที่และเวลาไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์) และแสดงค่า ผ่านหน้าจอแอลซีดี ทั้งนี้พบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ใช้ระยะเวลา 37 วัน Soralump et al. (2019) ได้ออกแบบถังหมักปุ๋ย ขนาดเล็กเป็นถึงสองชั้น ชั้นในเป็นตะกร้าผนังพรุน ด้านล่าง เจาะรูระบายน้ำหมัก ด้านข้างของถังเจาะติดตั้งพัดลมระบาย อากาศ และฝาด้านบนเจาะรูระบายอากาศ Bumroogsalee (2011) ได้นำใบกวนประเภท Pitched-blade turbine ที่มีความเอียง 30 องศา จำนวน 7 ชั้น พร้อมด้ามหมุน ออกแบบการป้อนเป็นแบบ semi-continuous รองรับ ปริมาณเศษขยะอาหารวันละ 1,200 กรัม ผสมกับเศษ ใบไม้แห้ง 800 กรัม รวมเป็น 2,000 กรัม ระยะเวลาการ หมักประมาณ 24 วัน แต่งานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวอ้างข้างต้นยังไม่ตอบโจทย์การกำจัดขยะในครัวเรือนเท่าที่ควร เนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณของวัตถุดิบ ขนาด ของถัง ระยะเวลา พลังงานที่ใช้ ความทันสมัยของการนำ เทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อตอบโจทย์ของแต่ละครัวเรือน คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างถังน้ำหมัก ชีวภาพที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยสามารถคำนวณปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

ตามกรรมวิธีต่าง ๆ ได้ และสามารถตรวจวัด ควบคุมสภาพ แวดล้อมภายในถังน้ำหมักแบบเรียลไทม์ มีการใช้เซนเซอร์ เพื่อตรวจค่าพารามิเตอร์ เช่น อุณหภูมิเพื่อควบคุมสภาวะ ที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ความชื้นเพื่อ รักษาระดับความชื้นที่เหมาะสมในการหมัก ค่าความเป็น กรด-ด่างเพื่อตรวจสอบความสมดุลภายในถังน้ำหมัก โดย ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปยังระบบคลาวด์เพื่อทำการประมวล ผลและแสดงผ่านแอปพลิเคชันไลน์ จะเห็นได้ว่าการนำ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้ในการทำน้ำ หมักชีวภาพนั้นไม่เพียงแต่ช่วยจัดการปัญหาขยะอินทรีย์ ในครัวเรือนอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังช่วยลดระยะเวลา ของการหมักลง แต่ยังคงประสิทธิภาพของน้ำหมักได้ด้วย

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างถังน้ำหมักชีวภาพควบคุม ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับกำจัดขยะ อินทรีย์ในครัวเรือน
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการหมักของน้ำหมัก ชีวภาพควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สำหรับกำจัดขยะอินทรีย์ในครัวเรือน

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการขยะอินทรีย์

การจัดการขยะอินทรีย์ เป็นการจัดการขยะที่ สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ เช่น เศษอาหาร ผัก ผลไม้ ใบไม้ หรือวัสดุจากพืช ซึ่งเป็นส่วนประกอบของขยะ ที่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หลายวิธี แทนที่จะ ทิ้งไปแบบไร้ประโยชน์ การจัดการขยะอินทรีย์มุ่งเน้นไป ที่การจัดการเพื่อลดการเกิดขยะ ลดการปล่อยก๊าซมีเทน จากการฝังกลบ และนำไปสร้างคุณค่าใหม่ แนวคิดสำคัญ เกี่ยวกับขยะอินทรีย์ มีดังนี้

1. การย่อยสลายตามธรรมชาติ (natural decomposition) ขยะอินทรีย์สามารถย่อยสลายได้เอง ตามธรรมชาติ หากได้รับสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งการย่อย

สลายนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในดินหรือระบบการหมัก ช่วยสร้างสารอาหารให้กับดินและสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ได้

2. การทำปุ๋ยหมัก (composting) ขยะอินทรีย์ส่วนใหญ่สามารถนำไปทำปุ๋ยหมักได้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนเศษอาหารและพืชผักให้กลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในสวนหรือการเกษตร ช่วยเพิ่มคุณภาพดินและลดการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมักช่วยนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์และลดปริมาณขยะที่ต้องนำไปกำจัด

3. การผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas production) ขยะอินทรีย์บางส่วนสามารถนำไปใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) และก๊าซที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรม

4. การหมักน้ำหมักชีวภาพ (bio fermentation) ขยะอินทรีย์บางชนิด เช่น เศษผลไม้หรือผักสามารถนำไปหมักเป็นน้ำหมักชีวภาพเพื่อใช้เป็นปุ๋ย หรือน้ำยาทำความสะอาดที่ปลอดภัยได้ การใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากขยะอินทรีย์ช่วยลดการใช้สารเคมีและสร้างระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในครัวเรือน

5. การลดปริมาณขยะอินทรีย์ (waste minimization) แนวคิดนี้เน้นการลดการเกิดขยะอินทรีย์ตั้งแต่แรก โดยการวางแผนการซื้ออาหารให้เหมาะสม เลือกใช้วัตถุดิบที่สามารถใช้ได้ทั้งหมด และการจัดการกับอาหารเหลือเพื่อลดปริมาณขยะที่ต้องกำจัด

นอกจากนี้หลักในการจัดการขยะอินทรีย์เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีมุ่งเน้นในการลด ปรับปรุง และนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด โดยมีหลักการที่สำคัญ ดังนี้ Phaengthip (2020)

1. การลดการเกิดขยะ (reduce) เป็นการลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากแหล่งต้นทาง เช่น ลดการทิ้งอาหารที่ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การเลือกซื้อสินค้าในปริมาณที่เหมาะสม

2. การใช้ซ้ำ (reuse) เป็นการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ เช่น การนำเศษอาหารที่ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคไปทำปุ๋ยคอกหรือใช้เป็นอาหารสัตว์

3. การรีไซเคิล (recycle) เป็นการนำขยะอินทรีย์ผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น การทำปุ๋ยคอกโพสท์ หรือการนำขยะอินทรีย์มาใช้เป็นพลังงานชีวมวล

4. การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) เป็นการใช้อินทรีย์ และกระบวนการทางชีวภาพในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ เช่น การหมักเศษอาหาร หรือใบไม้ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

5. การฝังกลบขยะ (landfill) สำหรับกรณีที่ไม่สามารถรีไซเคิล หรือใช้ประโยชน์จากอินทรีย์ได้

6. การใช้เทคโนโลยีในการจัดการขยะ (technology) เช่น เครื่องย่อยเศษอาหาร หรือเทคโนโลยีการทำปุ๋ยคอกโพสท์อัตโนมัติ

7. การส่งเสริมความรู้และการสร้างความตระหนัก (awareness) เป็นการให้ความรู้แก่ประชาชนเกี่ยวกับการจัดการขยะอินทรีย์ เช่น การแยกขยะในครัวเรือน การทำปุ๋ยหมัก และการนำขยะอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์

จะเห็นได้ว่าหลักการการจัดการขยะอินทรีย์ในแต่ละวิธีจะช่วยลดการสะสมของขยะในพื้นที่ฝังกลบ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดต้นทุน และส่งเสริมการรีไซเคิล ในขณะที่เดียวกันก็สามารถนำขยะกลับมาใช้ใหม่ เพื่อให้เกิดความยั่งยืนและประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

การประยุกต์ใช้ Internet of Things--IoT ในการจัดการขยะในครัวเรือนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โดยมีการใช้เทคโนโลยีเพื่อจัดการขยะ ดังนี้ Gunaseelan et al. (2023)

1. เซนเซอร์อัจฉริยะ มีการนำเซนเซอร์มาติดตั้งในถังขยะเพื่อระบุระดับขยะที่อยู่ในถัง ซึ่งทำให้ทราบได้ว่าถังเต็มเมื่อไรและต้องการการกำจัดขยะเมื่อใด ข้อมูลเหล่านี้สามารถส่งไปยังแอปพลิเคชันหรือระบบควบคุมได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้การเก็บขยะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการใช้พลังงานและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บขยะ

2. การบริหารจัดการด้วยข้อมูล เทคโนโลยี IoT ช่วยในการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณขยะที่ถูกทิ้งในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงการใช้ทรัพยากรและลดขยะที่เกิดขึ้น ตัวอย่าง

เช่น การใช้ระบบ Orbisk ที่ติดตั้งในครัวเรือนช่วยตรวจสอบปริมาณและประเภทของขยะอาหาร เพื่อให้เจ้าของบ้านสามารถจัดการการใช้วัสดุได้ดียิ่งขึ้น

3. การรีไซเคิลอัจฉริยะ ถึงขยะอัจฉริยะที่ใช้ IoT ยังสามารถแยกประเภทขยะรีไซเคิลและขยะที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งช่วยให้ครัวเรือนรีไซเคิลขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดปริมาณขยะที่ส่งไปยังหลุมฝังกลบและช่วยในการจัดการขยะที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างเหมาะสม

4. การใช้พลังงานจากขยะ ในบางระบบ IoT ยังสามารถช่วยแปลงขยะให้เป็นพลังงาน โดยเชื่อมโยงกับระบบกำจัดขยะในครัวเรือนเพื่อผลิตพลังงานสำหรับใช้ในบ้าน ทำให้ลดการใช้พลังงานจากแหล่งฟอสซิล

ด้วยการประยุกต์ใช้ IoT ในการจัดการขยะครัวเรือน ไม่เพียงแต่จะช่วยให้ครัวเรือนลดปริมาณขยะ แต่ยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มความสะอาดภายในการจัดการขยะ

การกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยเทคโนโลยี Internet of Things--IoT เป็นแนวคิดที่นำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะอินทรีย์ โดย IoT ช่วยให้การกำจัดและการจัดการขยะมีความอัจฉริยะมากขึ้น สาเหตุที่จำเป็นต้องใช้ IoT ในการกำจัดขยะอินทรีย์นั้นมีหลายปัจจัยสำคัญ ดังนี้

#### 1. การตรวจสอบและจัดการขยะอย่างเรียลไทม์

IoT สามารถช่วยติดตามและตรวจสอบปริมาณขยะในถังขยะหรือพื้นที่จัดเก็บได้แบบเรียลไทม์ โดยผ่านการประมวลผลบนคลาวด์ส่งผลให้มีการประมวลผลที่มีความเร็วสูง การได้มาซึ่งข้อมูลที่หลากหลายและเวลาตามจริง (Thumkanon, Asavasaksakul, Pokudom & Pokudom, 2017) สามารถเข้าถึงศักยภาพที่ผ่านเซนเซอร์ที่ตรวจจับปริมาณหรือสภาพขยะอินทรีย์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ หรือปริมาณการย่อยสลาย ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังศูนย์ควบคุม เพื่อให้สามารถจัดการขยะได้ทันทั่วทั้งที่ลดปัญหาถังขยะล้นหรือขยะที่ถูกเก็บรวบรวมไม่เหมาะสม

#### 2. การเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บขยะ

IoT ช่วยให้ระบบการเก็บขยะสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผ่านการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ

โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งในถังขยะ เมื่อถังขยะเต็มระบบจะแจ้งเตือนให้รถขนขยะเข้ามาเก็บในเวลาที่เหมาะสม ไม่จำเป็นต้องเสียเวลาขับรถไปยังจุดที่ขยะยังไม่เต็ม ซึ่งช่วยลดการใช้น้ำมันและลดมลพิษจากรถขนขยะได้

#### 3. การลดการสูญเสียทรัพยากร

ด้วยการใช้ IoT ในการติดตามการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการนำขยะอินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น ปรับสภาพแวดล้อมในการหมักขยะเพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ หรือควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

#### 4. การบริหารจัดการข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และคาดการณ์

การใช้ IoT ทำให้เราสามารถรวบรวมข้อมูลปริมาณและประเภทของขยะอินทรีย์ในแต่ละพื้นที่ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดขยะ และช่วยในการคาดการณ์การผลิตขยะในอนาคต ทำให้สามารถวางแผนการจัดการขยะได้ดียิ่งขึ้น

#### 5. การควบคุมกระบวนการรีไซเคิลและหมักปุ๋ย

ระบบ IoT สามารถใช้ในการควบคุมการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ในกระบวนการหมักปุ๋ยหรือการผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างแม่นยำ เช่น การตรวจวัดปริมาณอากาศ ความชื้น หรืออุณหภูมิ เพื่อปรับสภาพให้เหมาะสมที่สุดสำหรับการย่อยสลาย ข้อมูลเหล่านี้ช่วยปรับปรุงกระบวนการให้ได้ผลผลิตสูงสุดและลดของเสียที่ไม่ได้ใช้ เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก เตรียมความพร้อมพลังงานทางเลือกในการจัดการพลังงานสำหรับประชาชน ชุมชน และท้องถิ่น (Sombatyotha, Saentrong & Kudthalang, 2024)

#### 6. การประหยัดทรัพยากรและพลังงาน

การใช้ IoT ช่วยให้การจัดการขยะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น เช่น ลดการขับรถขนขยะบ่อยครั้ง ลดการใช้พลังงานในกระบวนการรีไซเคิลและย่อยสลาย และสามารถนำพลังงานจากขยะอินทรีย์มาใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

## 7. การสร้างระบบเมืองอัจฉริยะ

ในระบบเมืองอัจฉริยะ การจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญ การใช้ IoT ในการจัดการขยะอินทรีย์เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน ช่วยลดปริมาณขยะและมลพิษในเมือง รวมถึงเพิ่มความสะอาดและคุณภาพชีวิตของประชากร

การนำ IoT มาใช้ในกระบวนการจัดการขยะอินทรีย์ช่วยสร้างระบบการจัดการที่ทันสมัย มีประสิทธิภาพ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาระบบที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มาสร้างเป็นอุปกรณ์ช่วยในการสร้างถังน้ำหมักชีวภาพเพื่อกำจัดขยะอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีดังกล่าวได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้น มีต้นทุนต่ำสามารถจัดหาได้ง่าย

Phakul et al. (2013) ได้พัฒนาเครื่องหมักปุ๋ยแบบหมุนอัตโนมัติ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมักปุ๋ยแบบหมุนอัตโนมัติ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 4.11 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่า 20.05 ปุ๋ยหมักที่ได้ใช้ระยะเวลาเป็นปุ๋ยเพียง 27 วัน โดยมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1.96 โดยน้ำหนัก คาร์บอนร้อยละ 39.30 โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.57 โดยน้ำหนัก โพแทสเซียมร้อยละ 12.11 โดยน้ำหนัก มีค่าพีเอช 7.12 และมีอุณหภูมิในกองหมัก 6.16 องศาเซลเซียส ซึ่งธาตุอาหารในกองหมักมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

Vijksungsith et al. (2016) ได้พัฒนาถังหมักชีวภาพแบบกวนผสมอัตโนมัติ ใช้ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร และชุดอุปกรณ์ช่วยผสมที่ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือระบบตั้งเวลา และชุดควบคุมภาระงาน ทำให้สามารถกำหนดความถี่ หรือระยะเวลาในการกวนผสมอินทรีย์วัตถุภายในถังได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้ระยะเวลาการหมักเสร็จสมบูรณ์ได้เร็วขึ้น มีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลต์ (ขนาด 1 แรงม้า) เป็นต้นกำลังของระบบการก

วนผสมโดยส่งกำลังผ่านเฟืองโซ่และเกียร์ทด (1:20) ไปยังชุดใบกวนที่ติดตั้งบนฝาถัง อุปกรณ์กวนผสมใช้ใบกวนสแตนเลสทรงกระบอกตัน โดยเอียงทำมุมกับแกนเพลลา 90 องศา ช่วงล่างรองรับเป็นเหล็กฉากเพื่อรองรับน้ำหนักตัวถังและน้ำหนักขาตั้งที่เชื่อมต่อกับคานที่ยึดติดเพลลา ถึงกวนใช้ถังไฟเบอร์มีฝาปิดขนาดความจุ 200 ลิตร ทรงกระบอก มีก๊อกเปิด-ปิดถ่ายน้ำหมักชีวภาพโดยมีการติดตั้งตะแกรงกรองไว้ภายใน ระยะเวลาการหมักประมาณ 3 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ซึ่งปริมาณน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักด้วยถังหมักชีวภาพแบบกวนผสมอัตโนมัติเพิ่มขึ้นร้อยละ 20-30

Munsawaeng and Vachirasricirikul (2023) ได้ออกแบบและพัฒนาถังหมักปุ๋ยพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้กระบวนการหมักแบบธรรมชาติมีการเติมอากาศด้วยปั๊มภายในถังให้หมุนเวียน มอเตอร์และปั๊มเติมอากาศทำงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ระยะเวลาในการทำงานของมอเตอร์และปั๊มเติมอากาศ ครั้งละ 1 นาที จำนวน 10 ครั้ง ใน 1 วัน จากการทดสอบการทำงานถังหมักปุ๋ย สามารถใช้งานได้ตามเวลาที่ตั้งไว้ ได้ปุ๋ยภายใน 24 ชั่วโมงหลังการหมักลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

Kanong and Keawmanee (2022) ได้สร้างถังหมักอย่างง่ายสำหรับครัวเรือนเพื่อหมักมูลฝอยอินทรีย์จากเศษอาหาร ระยะเวลาการหมัก 30 วัน พบว่า วัสดุหมักมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.80 ค่าความชื้นเท่ากับ 71.46% และค่าคาร์บอนทั้งหมดต่อไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 14.43 และยังพบว่า ค่าความชื้นสุดท้ายภายในถังหมักมีค่าสูง เนื่องจากอุณหภูมิในการหมักที่ต่ำจึงเกิดการระคายความชื้นออกสู่ภายนอกถังหมักน้อย ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ได้จึงต้องนำมาผึ่งลมก่อนนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมัก หรือวัสดุปรับปรุงดิน

### กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบ และสร้างถังน้ำหมักชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับกำจัดขยะอินทรีย์ มีขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

1. ควบคุมความเร็วของถังน้ำหมักชีวภาพ
2. ตั้งระยะเวลาในการทำงานของมอเตอร์กวน

3. สามารถวัดปริมาณวัตถุติบ และผสมได้ปริมาณสูงสุด 20 ลิตร
4. ตั้งระยะเวลาในการส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชันไลน์
5. เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ สามารถตั้งค่าข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่าย และการเชื่อมต่อ Line Notify
6. วัตถุติบที่นำมาใช้เป็นขยะอินทรีย์จากครัวเรือน เช่น เศษอาหาร ผัก ผลไม้
7. รองรับพลังงานไฟฟ้า และพลังงานสำรองโซลาร์เซลล์

### สมมติฐานการวิจัย

การใช้เทคโนโลยี IoT สำหรับการควบคุมและปรับสภาพแวดล้อมในถังหมักแบบอัตโนมัติ เช่น การระบายอากาศ การเพิ่มหรือลดน้ำ และการปรับอุณหภูมิ สามารถลดระยะเวลาการหมักชีวภาพให้สั้นลงเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม

การติดตั้งเซนเซอร์และระบบ IoT ในถังน้ำหมักชีวภาพสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ โดยการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น, pH และระดับออกซิเจนในเวลาจริง ส่งผลให้สามารถปรับปรุงกระบวนการหมักให้เกิดประโยชน์สูงสุด

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากการออกแบบโปรแกรมควบคุม การออกแบบหน้าจอแสดงผลควบคุม การสร้างถังน้ำหมัก การทดสอบถังน้ำหมักและการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับถังน้ำหมักชีวภาพที่ควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มีรายละเอียด ดังนี้

#### 1. การออกแบบโปรแกรมควบคุม

ดำเนินการออกแบบระบบโปรแกรมของถังน้ำหมักชีวภาพ โดยคำนึงถึงความปลอดภัย เคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้งานง่าย และต้นทุนในการสร้างถังน้ำหมักชีวภาพต่ำ ชุมชนสามารถเข้าถึงได้ โดยภายในถังน้ำหมักชีวภาพ ดังภาพ 1

#### 2. การออกแบบหน้าจอแสดงผลควบคุม

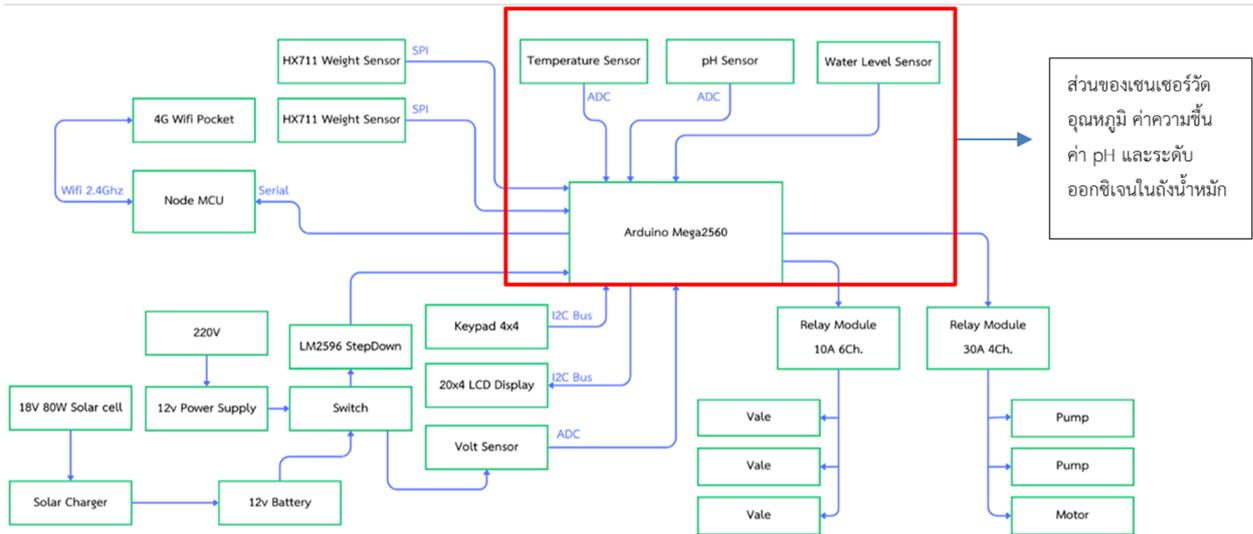
ดำเนินการออกแบบระบบแสดงผลการควบคุม โดยใช้จอแสดงผลเป็น LCD ขนาด 20x4 (20 ตัวอักษร 4 บรรทัด) ทำการออกแบบตามแผนผังการทำงาน เพื่อให้ถึงน้ำหมักชีวภาพสามารถควบคุมได้ตามที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบหน้าจอแสดงผลเพื่อให้สามารถทราบถึงการตั้งค่าของถังน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้เป็นปุ่มกด เข้าไปตั้งค่าการทำงานดังภาพ 2

หน้าจอแสดงผลเริ่มต้นเพื่อตั้งค่าเมนูหลัก ประกอบด้วย 8 เมนู ดังนี้

1. Set PH Read Time การตั้งค่าระยะเวลาในการอ่านค่า PH
2. Set Stirrer Time การตั้งค่าระยะเวลาในการทำงานของมอเตอร์กวน
3. Set Report Time การตั้งค่าระยะเวลาในการส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชันไลน์
4. Set Network การตั้งค่าข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่าย
5. Set Load Cell 1 การตั้งค่าโหลดเซลล์ของกรวยเติมวัตถุติบ
6. Set Load Cell 2 การตั้งค่าโหลดเซลล์ของถังหมักชีวภาพ
7. Set Zero Tare 1 การตั้งค่าโหลดเซลล์ของกรวยเติมวัตถุติบเป็น 0
8. Set Zero Tare 2 การตั้งค่าโหลดเซลล์ของถังหมักเป็น 0

ในแต่ละเมนูจะมีโหมดย่อยในการตั้งค่าระบบของถังน้ำหมักชีวภาพ ดังนี้

1. จากภาพ 3 เมื่อเข้าเมนู Set PH Time ระบบจะทำการอ่านค่าความเป็นกรดต่างของน้ำหมักชีวภาพภายในถังหมัก ทุก 15 นาที ตามที่ตั้งค่าไว้
2. จากภาพ 4 การตั้งค่าระยะเวลามอเตอร์กวน โดยมอเตอร์จะทำการกวนทุก 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที วนลูบจนกว่าจะได้สถานะน้ำหมักที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน
3. ภาพ 5 การตั้งค่า Set Report Time เป็นการตั้งค่าการส่งข้อมูลเข้าเพื่อทำการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ ทุก ๆ 2 ชั่วโมง



ภาพ 1 แผนผังอุปกรณ์ควบคุมถึงน้ำหมักชีวภาพ



ภาพ 2 การแสดงผลเริ่มต้นการทำงาน



ภาพ 3 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งค่าระยะเวลาการอ่านค่า PH



ภาพ 4 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งระยะเวลามอเตอร์กววน



ภาพ 5 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งค่าระยะเวลาการส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชันไลน์

4. ภาพ 6 Set Network การตั้งค่าข้อมูลการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีการกรอกชื่อ Wi-Fi ที่ต้องการเชื่อมต่อ การกรอกรหัสผ่าน Wi-Fi และการกรอก Line Token สำหรับการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน
5. ภาพ 7 Set Load Cell 1 เป็นการวัดปริมาณน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำน้ำหมักชีวภาพตามกรรมวิธีที่เหมาะสม
6. ภาพ 8 Set Load Cell 2 เป็นเมนูสำหรับการแสดงปริมาณค่าน้ำหนักของถังหมักชีวภาพ
7. ภาพ 9 Set Zero Tare 1 การตั้งค่าน้ำหนักกรณีที่ต้องการปรับเทียบค่าใหม่โดยจะมีการตั้งค่าเป็น 0

### 3. การสร้างถังน้ำหมักชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ในการออกแบบถังน้ำหมักชีวภาพนี้ ได้เลือกใช้วัสดุสแตนเลส 304 เป็นวัสดุหลักสำหรับตัวเครื่อง เนื่องจากมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนและไม่เกิดสนิมเมื่อใช้งานในระยะยาว ตัวถังหมักถูกออกแบบให้สามารถถอดออกเพื่อทำความสะอาดได้ง่ายและมีน้ำหนัก

เขา ระบบควบคุมภายในถังหมักใช้มอเตอร์ DC ประเภท BLDC พร้อมชุดควบคุมความเร็วเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ในส่วนของระบบปั๊มน้ำใช้ปั๊ม DC แบบหอยโข่ง ซึ่งติดตั้ง ในตำแหน่งที่สะดวกต่อการบำรุงรักษา ท่อเชื่อมต่อภายใน ระบบทำจากวัสดุ PVC เพื่อความทนทานและง่ายต่อการ ติดตั้ง การควบคุมการไหลของของเหลวใช้มอเตอร์วาล์ว โดยตัวเรือนวาล์วทำจากสแตนเลสเพื่อป้องกันการกัดกร่อน และสนิม สำหรับการวัดน้ำหนักของถังน้ำหมักชีวภาพใช้ Load Cell เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีความแม่นยำสูง การ ควบคุมระบบทั้งหมดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถ เชื่อมต่อและตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องผ่าน ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยส่วนควบคุมทั้งหมดได้รับการ ติดตั้งในตู้กันน้ำเพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพ แวดล้อมภายนอก ดังภาพ 10



ภาพ 7 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การวัดน้ำหนักของ วัสดุดิบ



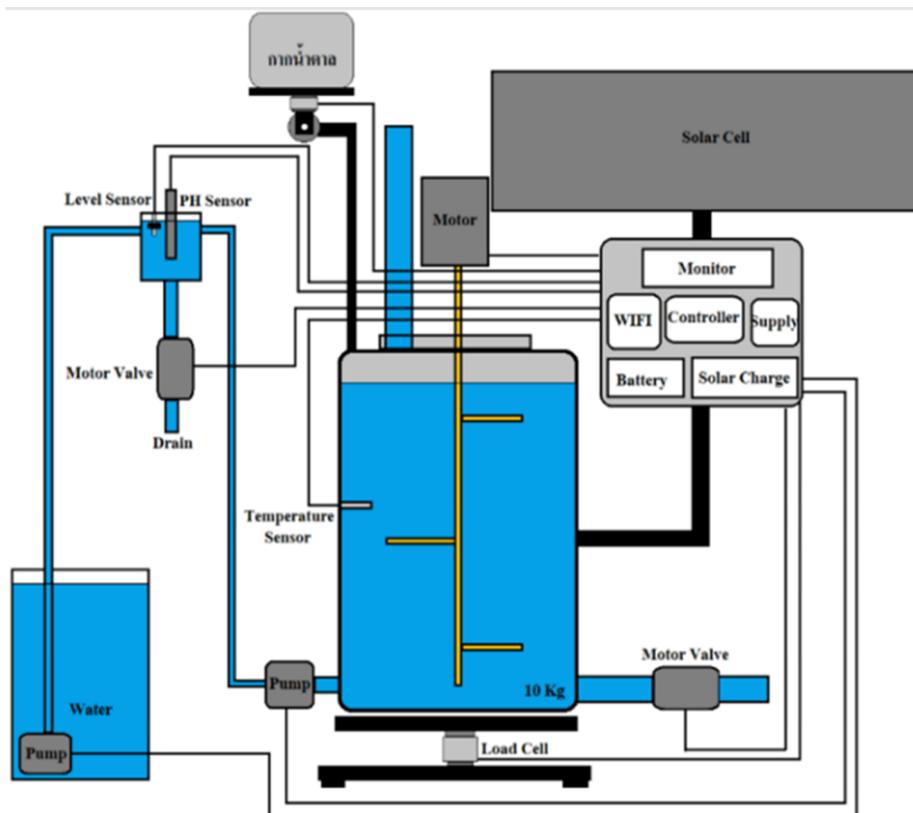
ภาพ 8 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การวัดค่าน้ำหนัก ของถังน้ำหมักชีวภาพ



ภาพ 6 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งค่าเครือข่าย



ภาพ 9 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การรีเซ็ตค่าเป็นศูนย์



ภาพ 10 การออกแบบโครงสร้างของถังน้ำหมักชีวภาพ

#### 4. การทดสอบประสิทธิภาพการหมักและการเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อสร้างถังน้ำหมักชีวภาพเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้มีการทดสอบการทำงานของเครื่องมือ ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบในการทำน้ำหมักชีวภาพ โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก ประกอบด้วย เศษผัก (ผัก กวางตุ้ง กะหล่ำปลี และผักกาดขาว) เศษอาหาร (ข้าว เส้น ก๋วยเตี๋ยว เลือด เต้าหู้ เศษเนื้อสัตว์ ถั่วงอก ผักชี มะเขือ) กากน้ำตาล และ พด.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ระยะเวลาการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร เป็นเวลา 14 วัน สูตรน้ำหมักชีวภาพที่ใช้เป็นกรรมวิธีอ้างอิง ดัดแปลงจากสูตรน้ำหมักชีวภาพจากผักและผลไม้ที่ใช้เวลาหมัก 7 วัน (Land Development Department, 2015) การกำหนดชุดกรรมวิธีแบ่งออกเป็น 5 กรรมวิธี ดังนี้

**กรรมวิธีที่ 1** การหมักเศษผัก ร้อยละ 100 โดย ปริมาตร (เศษผัก 20 ลิตร: กากน้ำตาล 5 ลิตร: พด.2 12.50 กรัม: น้ำ 5 ลิตร) ปริมาตรรวม 30 ลิตร ไม่รวม พด.2

**กรรมวิธีที่ 2** การหมักเศษอาหาร ร้อยละ 25 โดย ปริมาตร (เศษอาหาร 5 ลิตร: กากน้ำตาล 1.25 ลิตร: พด.2 3.13 กรัม: น้ำ 1.25 ลิตร) ปริมาตรรวม 7.50 ลิตร ไม่รวม พด.2

**กรรมวิธีที่ 3** การหมักเศษอาหาร ร้อยละ 50 โดย ปริมาตร (เศษอาหาร 10 ลิตร: กากน้ำตาล 2.50 ลิตร: พด.2 6.25 กรัม: น้ำ 2.50 ลิตร) ปริมาตรรวม 15 ลิตร ไม่รวม พด.2

**กรรมวิธีที่ 4** การหมักเศษอาหาร ร้อยละ 75 โดย ปริมาตร (เศษอาหาร 15 ลิตร: กากน้ำตาล 3.75 ลิตร: พด.2 9.38 กรัม: น้ำ 3.75 ลิตร) ปริมาตรรวม 22.50 ลิตร ไม่รวม พด.2

**กรรมวิธีที่ 5** การหมักเศษอาหาร ร้อยละ 100 โดย ปริมาตร (เศษอาหาร 20 ลิตร: กากน้ำตาล 5 ลิตร: พด.2 12.50 กรัม: น้ำ 5 ลิตร) ปริมาตรรวม 30 ลิตร ไม่รวม พด.2

หมักทิ้งไว้ในร่มเป็นเวลา 14 วัน ระหว่างการหมักเปิดฝาภาวนคลุกเคล้าส่วนผสมทุก ๆ 3 วัน กวนนาน ประมาณ 5 วินาที เมื่อหมักครบ 7 วัน และ 14 วัน นำน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการกรองมาบันทึกผลการทดลองโดยพิจารณาจาก สี และกลิ่นของน้ำหมัก ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าของแข็ง

ที่ละลายน้ำได้ (TDS) และค่าความเป็นกรด-ด่าง และเมื่อหมักครบ 14 วัน ทำการสุ่มตัวอย่างที่ผ่านการกรอง ปริมาตร 200 มิลลิตรต่อตัวอย่างส่งตรวจยังห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 17025 เพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม การวิเคราะห์ผล โดยนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมสำเร็จรูป รายงานผลในรูปของค่าร้อยละ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. เมื่อได้สูตรน้ำหมักที่มีธาตุอาหารหลักเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแล้วนั้น ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบและนำไปทดสอบการทำงานของถังน้ำหมักชีวภาพที่สร้างขึ้น โดยเริ่มจากการนำเศษผัก กากน้ำตาล พด.2 และน้ำ เติมน้ำลงในถังหมักให้ครบตามปริมาณที่กำหนดโดยจะมีการแสดงค่าน้ำหนักของส่วนผสมผ่านหน้าจอแสดงผลบริเวณถังน้ำหมัก ในการทดสอบประสิทธิภาพของถังน้ำหมัก ดำเนินการทดสอบ 14 วัน ระหว่างการหมักนั้น ภายในถังหมักจะมีมอเตอร์กวนในถังหมัก มีการหมุนของใบพัดทุก ๆ 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที โดยการทดสอบประสิทธิภาพของถังหมักนี้ จะมีกระบวนการและขั้นตอนเหมือนกับการหมักโดยวิธีการดั้งเดิม แต่การสูบน้ำหมักชีวภาพจะนำส่งตรวจไปยังห้องปฏิบัติการเมื่อระยะเวลาหมักครบ 5 วัน 10 วัน และ 14 วัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพการทำงานของถังน้ำหมัก

#### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การออกแบบและสร้างถังน้ำหมักชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับกำจัดขยะอินทรีย์ประกอบด้วย ตัวถังสแตนเลส 304 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ตัวถังมีฝาปิด มีก๊อกเปิด-ปิดถ่ายน้ำหมักชีวภาพโดยมีการติดตั้งตะแกรงกรองไว้ภายใน ตัวถังถอดทำความสะอาดได้ ชุดควบคุมการหมุน ประกอบด้วย มอเตอร์กระแสตรงแบบ BLDC อัตรารอบ 1:133 ส่วนชุดควบคุมการทำงาน มีการออกแบบวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงาน ประกอบด้วย วงจรควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมัก วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์กวน วงจรแสดงผลค่า PH ค่าน้ำหนักของส่วนผสม มีระบบการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิ และค่า PH ของน้ำหมักชีวภาพผ่านไลน์แอปพลิเคชัน

ผลการออกแบบและสร้างถังน้ำหมักชีวภาพ ตัวถังหมักรองรับน้ำหนัก 10 กิโลกรัม มีฝาปิด-เปิดได้ ด้านล่างมีมอเตอร์กวนภายในถึงใช้ DC motor แบบ BLDC พร้อมชุดควบคุมความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phakul et al. (2023) ที่มีการใช้มอเตอร์รอบช้า 30 รอบ/นาที ในการผลิตน้ำหมักชีวภาพแบบกวนผสมอัตโนมัติ มีการหมุนของใบพัด 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที มอเตอร์ไฟฟ้า AC 220 โวลต์ ถูกควบคุมด้วยบอร์ด Arduino Mega 2560 ที่เขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino IDE สำหรับการควบคุมของถังน้ำหมักชีวภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phuisaengpan and Soemphol (2023) ที่มีการเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า AC 220 โวลต์ ควบคุมด้วย Arduino Mega ADK เพื่อพัฒนาเครื่องกวนสารด้วยระบบควบคุมวงลูปปิด นอกจากนี้ถังน้ำหมักชีวภาพได้เชื่อมต่อเครือข่ายโดยการปล่อยสัญญาณ Wi-Fi เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปตั้งค่าผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่สามารถกรอกชื่อ Wi-Fi ที่ต้องการให้เครื่องเชื่อมต่อ การกรอกรหัสผ่าน การกรอก Line Token สำหรับการให้มีการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify

การหมักโดยวิธีการดั้งเดิมใช้วิธีการหมักเศษอาหารในถังหมักขนาด 30 ลิตร ด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 25 50 75 และ 100 มีผลให้เกิดช่องว่างในถังหมักแตกต่างกัน 5 ระดับ เช่นกัน คือร้อยละ 75 50 25 และ 0 เป็นเวลา 14 วัน แม้จะมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ หากพิจารณาภาพรวมพบว่า น้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารที่ใช้วัตถุดิบหมักร้อยละ 50 ซึ่งมีปริมาณช่องว่างในถังหมักร้อยละ 50 เป็นสภาวะที่มีช่องว่างการหมักที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ชนิด สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยที่พระราชบัญญัติปุ๋ยปี พ.ศ.2548 กำหนด

ไว้ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่มีปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 0.53 และร้อยละ 1.12 โดยน้ำหนักตามลำดับ หากต้องการน้ำหมักที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสสูง น้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารที่ใช้วัตถุดิบหมักร้อยละ 25 ซึ่งมีปริมาณช่องว่างในถังร้อยละ 75 เป็นสภาวะที่มีช่องว่างการหมักเหมาะสมที่สุด ซึ่งมีธาตุฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.06 โดยน้ำหนัก

ประสิทธิภาพการหมักของน้ำหมักชีวภาพ โดยเริ่มทำการเติมวัสดุหมักที่ได้จากการศึกษาสูตรน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับเป็นทางเลือกสภาวะการหมักของเครื่องหมักชีวภาพ ประกอบด้วย เศษอาหาร 10 กิโลกรัม กากน้ำตาล 2.5 ลิตร สารเร่ง พด.2 6.25 กรัม น้ำ 15 ลิตร (จากปริมาตรถัง 30 ลิตร) ใช้ความเร็วรอบในการกวน 30 รอบต่อนาที การหมุนของใบพัด 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.79 โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.06 โดยน้ำหนักโพแทสเซียม ร้อยละ 1.16 โดยน้ำหนัก ธาตุอาหารในน้ำหมักมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (Royal Gazette, 2014) ซึ่งผลการทดลองในระยะหมัก 10 วัน มีค่าใกล้เคียงกับระยะการหมักด้วยวิธีดั้งเดิม

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเพิ่มแถบสีแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักชีวภาพ
2. ควรมีการศึกษาอัตราการใช้น้ำหมักชีวภาพให้เหมาะสมกับพืชแต่ละกลุ่ม ร่วมกับการศึกษาแนวทางการเพิ่มอากาศในถังหมัก เพื่อให้สามารถหมักได้มากขึ้นในแต่ละครั้ง



## References

- Bumroongsalee, W. (2011). Household composter. *Proceeding of the 21th Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference (TICHe 2011)* (pp. 1-5). Songkla: Songkla University. (in Thai)
- Gunaseelan J, Sundaram S, Mariyappan B. A. (2023). Design and implementation using an innovative deep-learning algorithm for garbage segregation. *Sensors*, 23(18), 7963. <https://doi.org/10.3390/s23187963>

- Kanong, P., & Keawmanee, J. (2022). Composting of household organic waste using self-assemble simple composting bin. *Proceeding of the 7th National Science and Technology Conference* (pp. 1586-1591). Suratthani: Suratthani Rajabhat University. (in Thai)
- Kullimratchai, P. (2016). Internet of Things: Current technology trends for future. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 10(1), 29–36. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/48908> (in Thai)
- Land Development Department. (2015). *Knowledge set on the production of biological fermentation water*. Retrieved from <https://www.ldd.go.th/publication/>(in Thai)
- Mookkaiah, S. S., Thangavelu, G., Hebbar, R., Nipun, H., & Hargovind, S. (2022). Design and development of smart Internet of Things–based solid waste management system using computer vision. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 64871–64885. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20428-2>
- Munsawaeng, R. (2023). Design and development of solar powered compost bin. *RMUTL Journal of Socially Engaged Scholarship*, 7(1), 75-81. Retrieved from <https://so07.tci-thaijo.org/index.php/JsesRMUTL/article/view/2617> (in Thai)
- Phakul, P., Phiphithirankarn, P., & Yabosdee, P. (2023). The development of automatic rotary composter. *Proceeding of the 10th National and the 8th International Conference on Research and Innovation: Research and Innovation Development for Developing Sustainable Communities* (pp. 507-517). Khon kaen: Northeastern University. (in Thai)
- Phaengthip, T. (2020). Organic waste management for sustainable development. *Thai Journal of Environment Science*, 9(2), 43-59.
- Phuisaengpan, P., & Soemphol, C. (2023). The operation controlling of agitator using closed loop control . *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 17(2), 69–81. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/258334> (in Thai)
- Pollution Control Department. (2023). *Solid waste management situation*. Retrieved from <https://www.pcd.go.th/publication/14100/> (in Thai)
- Royal Gazette Organic Fertilizers Standards B.E. 2557. (2014, 6 October). *Royal Gazette*. Vol 31, Special Section 29 D, p. 4. (in Thai)
- Sombatyotha, C., Saentrong, T., & Kudthalang, N. (2024). Biogas from wastewater treatment of Rajabhat Mahasarakham University water supply system, Maha Sarakham Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 18(1), 194–205. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/266364> (in Thai)

- Soralump, C, Ubonrat, P., & Meesukanulul, S. (2019). Design of Small Household Composter for Municipal Organic Waste. *Kasetsart Engineering Journal*, 32(108), 63-70. Retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kuengj/article/view/223399/163967> (in Thai)
- Tadsuan, S. & Taeakul, P. (2024). Design and Construction of Compost Production System Controlled by the Internet of Things. *The Journal of Industrial Technology*, 20(1), 16-31. Retrieved from [https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jit\\_journal/article/view/256434/172053](https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jit_journal/article/view/256434/172053) (in Thai)
- Thumkanon, C., Asavasaksakul, S., Pokudom, N., & Pokudom, K. (2017). Cloud Computing: Infrastructure for the Internet of Things. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 11(1), 30–37. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/84518> (in Thai)
- Vijuksungsith, P., Sukcharoen, A., Varasan, J., Benjawan, L., & Boonprasert, R. (2016). *Automatic stirred bioreactor*. Nakhon Pathom: Central Laboratory and Greenhouse Complex. (in Thai)



# การประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพร่วมกับการเรียนรู้เครื่องเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว

## An Application of Image Processing and Machine Learning for Rice Varieties Classification

ปิยะนารถ บุญระมาตร<sup>1</sup> และเจษฎา ตันธนุช<sup>1\*</sup>

Piyanart Boonramart<sup>1</sup> and Jessada Tanthanuch<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาคณิตศาสตร์และภูมิสารสนเทศ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>1</sup>School of Mathematical Sciences and Geoinformatics, Institute of Science,

Suranaree University of Technology

\*Corresponding author: jessada@g.sut.ac.th

Received: November 8, 2024

Revised: December 12, 2024

Accepted: December 18, 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจำแนกพันธุ์ข้าวจากภาพของเมล็ดข้าวสาร 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ข้าวคาราก้าตาก หอมมะลิ ยิปซาลา บาสมาทิ และอาโบริโอ โดยการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพร่วมกับการเรียนรู้เครื่อง การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการประมวลผลภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวนของภาพเมล็ดข้าวสารสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่บันทึกในรูปแบบแฟ้มเจเพ็กซึ่งเป็นภาพสีความละเอียด 250x250 จุดภาพ จำนวนสายพันธุ์ละ 15,000 ภาพ นำภาพที่ถูกลดสัญญาณรบกวนแล้วทั้งหมดมาประมวลผลภาพเพื่อใช้ในการจำแนก ด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน 7 วิธี ได้แก่ การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่ การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล การตรวจหาเส้น การตรวจหาลายผิว การเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองลาปลาซ การเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยการพราเกาส์เซียน และการปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน จากนั้นทำการสกัดคุณลักษณะด้านรูปร่าง 21 ชนิด และคุณลักษณะด้านลายผิวอีก 11 ชนิด แล้วนำไปจำแนกด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่อง 6 วิธี ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ นาอิวเฟส เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดเค โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และเกรเดียนท์บูตทรี ทั้งนี้ใช้วิธีการฝึกเพื่อการจำแนกเป็นการตรวจสอบไขว้โคฟโพลต์เมื่อเคมีค่าเท่ากับ 10 สำหรับทุกวิธีการเรียนรู้เครื่อง ผลการวิจัยพบว่าการใช้การประมวลผลภาพการตรวจหาขอบด้วยวิธีโซเบลร่วมกับการจำแนกด้วยเทคนิคการเรียนรู้เครื่องซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีประสิทธิภาพในการจำแนกสูงที่สุด โดยการจำแนกมีความถูกต้องร้อยละ 98.68 ค่าความแม่นยำร้อยละ 98.67 ค่าความไวร้อยละ 98.67 ค่าเอฟ-หนึ่ง สกอร์ร้อยละ 98.67 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮนเท่ากับ 98.35 โดยใช้เวลาในการจำแนก 136.21 วินาที

**คำสำคัญ:** การประมวลผลภาพ การเรียนรู้เครื่อง การจำแนกพันธุ์ข้าว

## Abstract

This research aims to compare the efficiency of techniques for classifying rice varieties from images of milled rice grains. Five rice varieties were considered: Karacadag, Jasmine, Ipsala, Basmati, and Arborio. Image processing combined with machine learning methods were applied. The procedure started with image processing to reduce noise from the images of rice grains of various varieties, which were color JPEG format images with a resolution of 250x250 pixels, with a total of 15,000 images per variety. All noise-reduced images were then processed for classification using seven different techniques: Canny edge detection, Sobel edge detection, ridge detection, texture detection, image enhancement with Laplacian filters, image enhancement with Gaussian blur, and histogram equalization. Features, including 21 shape features and 11 texture features, were extracted and classified using six machine learning techniques: decision trees, Naïve Bayes, k-Nearest Neighbors, Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machines (SVMs), and gradient boosted trees. Training was conducted with K-fold cross-validation with  $K=10$  for all machine learning techniques. The research findings showed that using image processing with Sobel edge detection combined with classification using SVMs was the most effective method, with classification accuracies of 98.68%, precision of 98.67%, recall of 98.67%, F1-score of 98.67%, and a Cohen's kappa coefficient of 98.35%. The classification process took 136.21 seconds.

**Keywords:** image processing, machine learning, rice variety classification



## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวได้เป็นอันดับต้น ๆ ของโลก โดยเพียงแค่สองเดือนแรกของปี พ.ศ. 2567 (มกราคมและกุมภาพันธ์) ประเทศไทยมีการส่งออกข้าวเป็นปริมาณถึง 1,747,966 ตัน คิดเป็นมูลค่า 39,401.09 ล้านบาท (1,126.4 ล้านเหรียญสหรัฐ ฯ) โดยเป็นปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 24.4 และมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 55.1 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันในปี 2566 ที่มีการส่งออกปริมาณ 1,405,337 ตัน มูลค่า 25,408.07 ล้านบาท (754.06 ล้านเหรียญสหรัฐ ฯ) ทั้งนี้ประเทศไทยส่งออกข้าวสารหลากหลายชนิดและมีราคาที่แตกต่างกัน เช่น สำหรับการส่งออกในช่วงปีต้น พ.ศ. 2567 ข้าวหอมมะลิไทยชนิดพิเศษ เก็บเกี่ยวในปี 2565/2566 ราคาประมาณตันละ 910-926 เหรียญสหรัฐ ฯ ข้าวหอมมะลิไทยชนิดพิเศษ เก็บเกี่ยวในปี 2566/2567 ราคาประมาณตันละ 868-889 เหรียญสหรัฐ ฯ ข้าวหอมไทย ราคาประมาณตันละ 817-831 เหรียญสหรัฐ ฯ และ ข้าวสาร 100% ชั้นสอง ราคาประมาณ

ตันละ 592-622 เหรียญสหรัฐ ฯ (Thai Rice Exporters Association, 2024) จะเห็นได้ว่า ข้าวสารต่างประเภทกันก็มีราคาที่แตกต่างกันมาก ดังนั้นการจำแนกประเภทของข้าวสารมีความจำเป็นยิ่งเพื่อใช้ในการวางมาตรฐานสำหรับการจัดจำหน่ายและการส่งออก การพัฒนาขั้นตอนวิธีที่ทำให้เกิดการจำแนกข้าวสารได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งทางด้านความเร็วในการจำแนกและการจำแนกด้วยความถูกต้องแม่นยำ จะเป็นการช่วยให้ยกระดับมาตรฐานการค้าและการเกี่ยวกับการจัดจำหน่ายข้าวสารให้สูงขึ้น

ที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายชิ้นที่มีการใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เพื่อช่วยในงานที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพันธุ์ข้าว เช่น Aki Güllü and Uçar (2015) จำแนกพันธุ์ข้าวจากรูปถ่ายภาพเมล็ดข้าวสาร 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์บาลโด (Baldo) ข้าวพันธุ์ออสมันซิค (Osmancik) ข้าวพันธุ์ยาเซมิน (Yasemin) และกลุ่มของเมล็ดข้าวหัก (broken) โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ (image processing) ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้

เครื่อง (machine learning techniques) 13 เทคนิค พบว่าสามารถจำแนกได้แม่นยำสูงสุดที่ร้อยละ 90.5 และในปีถัดมา Zareiforoush et al. (2016) ได้ใช้วิธีการรับรู้ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (computer vision) เพื่อสกัดและคัดเลือกรูปร่างลักษณะ (feature extraction and feature selection) ของเมล็ดข้าวสารที่ได้จากกรรมวิธีในการสีข้าว 4 ประเภทได้แก่ เมล็ดข้าวสารคุณภาพดีที่ได้จากกระบวนการสีที่ดี (high-processed sound grains) เมล็ดข้าวสารหักได้จากกระบวนการสีที่ดี (high-processed broken grains) เมล็ดข้าวสารคุณภาพดีที่ได้จากกระบวนการสีที่คุณภาพไม่ดี (low-processed sound grains) เมล็ดข้าวสารหักได้จากกระบวนการสีที่คุณภาพไม่ดี (low-processed broken grains) แล้วใช้วิธีเมทาฮิวริสติก (metaheuristic method) 4 ชนิดช่วยในการจำแนก วิธีเมทาฮิวริสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Network: ANN) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) ต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Trees: DT) และ เครือข่ายเบส (Bayesian Network) ซึ่งวิธีโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ให้ผลการจำแนกที่มีความถูกต้องสูงที่สุดถึงร้อยละ 98.72 ในปีถัดมา Rexce and Usha Kingsly Devi (2017) ใช้ระบบการรับรู้ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ร่วมกับการประมวลผลภาพและวิธีการแบ่งส่วนภาพ (segmentation method) สกัดคุณลักษณะของภาพได้ 57 อย่าง แล้วใช้วิธีเมทาฮิวริสติกทั้ง 4 ชนิดเหมือนกับ Zareiforoush et al. (2016) ในการจำแนกเมล็ดข้าวพบว่าวิธีที่สามารถจำแนกข้าวสารโดยที่มีความถูกต้องสูงที่สุด คือ วิธีโครงข่ายประสาทประดิษฐ์เช่นกัน และมีความถูกต้องในการจำแนก ร้อยละ 92.307% ในช่วงหลังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดคุณลักษณะและใช้เทคนิคการเรียนรู้เครื่อง (machine learning) เช่น Tanwong, Suksawang and Punsawad (2019) ได้ใช้การเรียนรู้ของเครื่องมาพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพของฟีนโพลีของเมล็ดข้าวเพื่อจำแนกตามเกณฑ์การแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิกายใต้พระราชบัญญัติการส่งออกสินค้าเกษตร โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทประดิษฐ์แบบคอนโวลูชัน โดยให้ค่าความถูกต้องสูงถึงร้อยละ 90.70 นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Cinar และ Köklü หลายชิ้น (Cinar & Köklü, 2019; Cinar & Köklü, 2021; Cinar, Köklü & Taspinar, 2021; Cinar & Köklü, 2022) ซึ่งได้ทำวิจัยกับข้าวสารหลากหลายสายพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ออสมันซิค (Osmancik) คามีโอ (Cameo) คารากาดาก (Karacadag) หอมมะลิ

(Jasmine) ยิปซาลา (Ipsala) บาสมาติ (Basmati) และอาโบริโอ (Arborio) โดยในงานทั้งหมดที่นักวิจัยเหล่านั้นได้ทำมีความสามารถในการจำแนกเมล็ดข้าวสารถูกต้องสูงถึงร้อยละ 99.91 และงานวิจัยของ Abuelewa and Abu-Naser (2024) ได้ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ResNetV2 ทำให้มีความสามารถในการจำแนกเมล็ดข้าวสารแบบเดียวกันถูกต้องสูงถึงร้อยละ 99.96

งานข้างต้นที่กล่าวมาเป็นแรงบันดาลใจในการทำวิจัยนี้ แต่อย่างไรก็ตามงานดังกล่าวมักเน้นไปที่การประยุกต์ใช้เทคนิคต่าง ๆ ของปัญญาประดิษฐ์ที่หลากหลายในการจำแนกข้าว งานวิจัยนี้ต้องการใช้การประมวลผลภาพเพื่อลดความซับซ้อนของภาพเมล็ดข้าวสารก่อนนำไปใช้เทคนิคการเรียนรู้เครื่องแบบต่าง ๆ ทำการจำแนก จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจำแนกโดยพิจารณาทั้งในด้านของความถูกต้องในการจำแนกและระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ที่นำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปสามารถเลือกขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมกับความต้องการได้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

ต้องการประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เครื่องร่วมกับการประมวลผลภาพเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าวจากภาพของเมล็ดข้าวสาร 5 สายพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ข้าวคารากาดาก หอมมะลิ ยิปซาลา บาสมาติ และอาโบริโอ

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ในการจำแนกพันธุ์ข้าวจากภาพของเมล็ดข้าวสาร

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### การประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) คือ การจัดการและวิเคราะห์ภาพดิจิทัลโดยใช้เทคนิคหรืออัลกอริทึมต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลภาพ ปรับปรุงคุณภาพ สกัดคุณสมบัติ และการดำเนินการอื่นทางดิจิทัลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ การประมวลผลภาพดิจิทัลที่น่าสนใจเช่น การตรวจหาขอบภาพ การตรวจหาเส้น การตรวจหาลายนิ้ว การค้นคืนภาพ การกำหนดตำแหน่ง และการจัดเรียงภาพ และการปรับปรุงเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพดิจิทัล (Kullimratchai, 2014; Chunwitthayathira, 2014) การประมวลผลภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาคัดเลือกจากขั้นตอนวิธีที่ไม่ต้องใช้ความสามารถในการประมวลผลสูงมากนักแต่สามารถสกัดจุดเด่นของภาพ

ออกมาได้ง่ายในหลากหลายรูปแบบ ทั้งนี้จะมีประโยชน์หากในอนาคตต้องการนำผลที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้จริงในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือและเครื่องประมวลผลที่มีราคาสูง

#### การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีการโซเบล

การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีการโซเบล (Sobel edge detection) เป็นวิธีที่ใช้ในการจับขอบภาพโดยมีหลักการทำงานโดยการใช้เมทริกซ์เคอร์เนล (kernel matrix) ขนาด  $3 \times 3$  จำนวน 2 เมทริกซ์ มาใช้ในการคำนวณค่าเกรเดียนต์ของความเข้ม (intensity) ของแต่ละจุดภาพ (pixel) ในภาพดิจิทัล โดยเมทริกซ์เคอร์เนล  $G_x$  และ  $G_y$  (แสดงดังภาพ 1) ถูกออกแบบมาเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในทิศทางแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ (Gonzalez & Woods, 1992)

#### การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีการแคนนี่

การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีการแคนนี่ (Canny edge detection) เป็นหนึ่งในเทคนิคการตรวจขอบภาพโดยมีวิธีดำเนินการหลัก 4 ขั้นตอน ประกอบไปด้วย การกำจัดสัญญาณรบกวนภายในภาพด้วยตัวกรองเกาส์เซียน การหาการไล่ระดับสีของภาพ โดยหาทั้งขนาดและทิศทางของการไล่ระดับสี การพิจารณาขอบที่เป็นไปได้ โดยกำจัดจุดภาพที่ถูกพิจารณาว่าไม่ใช่ส่วนหนึ่งของขอบ และคำนวณหาฮิสเทอรีซิส (hysteresis) เพื่อระบุขอบ (Reddy et al., 2016)

#### การตรวจหาสัน

การตรวจหาสัน (ridge detection) เป็นเทคนิคในการประมวลผลภาพที่มุ่งหาแนวเส้นโดยการพิจารณาสมมาตร (symmetry) ของความเข้มทั้งสองฝั่งของแนวเส้นเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วสัน (ridge) จะเป็นจุดภาพที่มีความเข้มสูงสุดเมื่อเทียบกับความเข้มทั้งสองฝั่ง การตรวจหาสันมุ่งเน้นการหาแนวยาวของสันด้วยสมมาตรคล้ายแนวสันเขาในทางภูมิศาสตร์ แต่การตรวจหาขอบมักจะเป็นการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงความเข้มของจุดภาพที่เป็นขอบเขตของวัตถุเป็นหลัก (Shokouh et al., 2021)

#### การตรวจหาลายผิว

การตรวจหาลายผิว (texture detection) เป็นกระบวนการประมวลผลลักษณะเฉพาะของพื้นผิวที่ปรากฏในภาพดิจิทัล โดยทั่วไปแล้วจะมีการใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการสกัดคุณลักษณะพื้นผิว เช่น Gray Level Co-occurrence

Matrix: GLCM Local Binary Patterns: LBP และ Statistical Features รวมถึง Gabor filter ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันคลื่นร่วมกับการกรองความถี่แบนด์พาส (Bandpass Filter) มาตรวจหาลักษณะเฉพาะของพื้นผิว (Armi & Fekri-Ershad, 2019)

#### การเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองลาปลาซ

การเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองลาปลาซ (image enhancement with Laplacian filter) เป็นเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการประมวลผลภาพเพื่อเพิ่มความคมชัดและเน้นรายละเอียดของภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอย่างรวดเร็ว เช่น ขอบหรือเส้นในภาพ โดยการใช้ตัวกรอง Laplacian ซึ่งเป็นการหาค่าของอนุพันธ์อันดับสองของภาพ ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจจับขอบของภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องแยกการตรวจจับขอบในแนวนอนและแนวตั้งเหมือนกับตัวกรองอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่ปรากฏในการตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีการโซเบล (NV5 Geospatial Software, 2023)

#### การเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยการพัวเกาส์เซียน

การเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยการพัวเกาส์เซียน (image enhancement with Gaussian blur) เป็นการใช้ตัวกรองเกาส์ (Gaussian filter) มาทำการพัว (blur) ซึ่งช่วยในการลดสัญญาณรบกวนบางชนิดที่ปรากฏในภาพ เพราะเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงความเข้มอย่างรวดเร็วของจุดภาพที่อยู่ติดกันโดยที่ยังรักษาโครงสร้างทั่วไปของภาพไว้ ทำให้เมื่อพิจารณาด้วยสายตาจะเห็นเป็นภาพที่มีความนุ่มนวลมากขึ้น (Jameel & Mohamed Shanavas, 2015)

#### การปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน

ฮิสโทแกรม (Histogram) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแสดงการกระจายของจำนวนจุดภาพที่มีความเข้มแตกต่างกัน การปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน (histogram equalization) เป็นเทคนิคการประมวลผลภาพที่มีเป้าหมายคือ ปรับให้จำนวนของจุดภาพในแต่ละค่าความเข้มมีจำนวนใกล้เคียงกัน การดำเนินการนี้ช่วยให้ภาพที่มีความคมชัดต่ำหรือมีปัญหาจำนวนจุดภาพที่มีความเข้มแตกต่างกันมีการกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอให้กลับมีความคมชัดและรายละเอียดที่ชัดเจนยิ่งขึ้นช่วยให้สามารถมองเห็นลักษณะเฉพาะของภาพได้ดีขึ้น (Patel et al., 2013)

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ และ } G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

ภาพ 1 เมทริกซ์เคอร์เนล (Kernel Matrix) ขนาด 3x3 จำนวน 2 เมทริกซ์

## วิธีการเรียนรู้เครื่อง

วิธีการเรียนรู้เครื่อง (machine learning methods) เป็นชุดขั้นตอนวิธีที่ใช้เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้จากข้อมูลและทำการคาดการณ์หรือการตัดสินใจ โดยแบ่งวิธีการเรียนรู้เครื่องเป็น 4 ประเภทเบื้องต้นได้แก่ (1) การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) (2) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning) (3) การเรียนรู้แบบกึ่งมีผู้สอน (semi-supervised learning) และ (4) การเรียนรู้แบบเสริมแรง (reinforcement learning) ตัวอย่างวิธีการเรียนรู้เครื่องที่น่าสนใจและเป็นที่ยอมรับในการจำแนกได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ นาอ็ฟเบส เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และเกรเดียนต์บูตทรี

### ต้นไม้ตัดสินใจ

ต้นไม้ตัดสินใจ (decision trees) เป็นแบบจำลองที่เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน เหมาะสำหรับการจำแนกประเภท โดยแบบจำลองนี้มีลักษณะเป็นกราฟรูปต้นไม้ โดยเริ่มจากการรวบรวมบัพ (node) การตัดสินใจที่มีการแสดงคุณลักษณะของข้อมูลที่สัมพันธ์กับตัวแปร แล้วเชื่อมต่อด้วยเส้นเชื่อม (edge) ต่าง ๆ ที่บอกน้ำหนักหรือค่าที่ใช้ในการเลือกบัพถัดไป ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดที่บัพใบ (leaf node) ซึ่งเป็นกลุ่มหรือคำตอบที่เราต้องการทำนาย (Siharad & Sookprasert, 2024)

### นาอ็ฟเบส

แบบจำลองนาอ็ฟเบส (Naïve Bayes) เป็นหนึ่งในแบบจำลองการจำแนกประเภทที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มหรือเหตุการณ์โดยอิงจากทฤษฎีบทความน่าจะเป็นของ Bayes มาช่วยในการคำนวณว่าจะเกิดเหตุการณ์นั้นหรือไม่ สำหรับการจำแนกประเภทหลายกลุ่มนั้น สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ (Farid et al, 2014)

$$P(c_i | x) = \frac{p(c_i) p(x | c_i)}{p(x)} \quad (1)$$

โดย  $P(c_i | x)$  คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลที่มีคุณลักษณะ  $c_i$  จะมีคลาส  $x$

$P(x | c_i)$  คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลที่มีคลาส  $x$

จะมีคุณลักษณะ  $c_i$

$P(c_i)$  คือ ความน่าจะเป็นของคลาส  $c_i$

$P(x)$  คือ จำนวนคุณลักษณะทั้งหมด

## เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

แบบจำลองเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (nearest neighbors) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการทำนายและการประมาณค่า ซึ่งมักพบในการจำแนกประเภท (classification) และการถดถอย (regression) โดยเป็นวิธีที่เป็นไปได้ทั้งการเรียนรู้แบบมีผู้สอนหรือแบบไม่มีผู้สอนขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน แบบจำลองนี้ทำงานโดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ต้องการทำนายกับชุดข้อมูลที่มีอยู่ โดยพิจารณาข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด (neighbors) ในเชิงระยะทาง (distance) ความคล้ายคลึงกันระหว่างข้อมูลจะถูกวัดโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง (distance metric) เช่น Euclidean distance Manhattan distance Minkowski distance หรือ Hamming distance สำหรับการตัดสินใจจะพิจารณาว่าหากข้อมูลที่สนใจอยู่ใกล้กับข้อมูลใดมากที่สุด ระบบจะให้คำตอบเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากข้อมูลเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด โดยอาจใช้วิธีการลงคะแนนเสียง (voting) สำหรับการจำแนกประเภท หรือเฉลี่ยค่าของเพื่อนบ้านสำหรับการถดถอย (Sinsomboonthong, 2017)

## โครงข่ายประสาทประดิษฐ์

โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (artificial neural network) เป็นแบบจำลองที่เลียนแบบมาจากโครงข่ายประสาทที่ช่วยจดจำการเรียนรู้ที่ซับซ้อนของสัตว์ โดยข้อมูลนำเข้า (input data) แสดงถึง โยประสาทที่รวบรวมข้อมูลจากเซลล์ประสาทต้นทาง และนำค่าข้อมูลเข้ามาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละเส้นทางของข้อมูลเข้า ผลที่ได้นั้นจะถูกนำเข้าสู่เซลล์ประสาทสำหรับรวมค่าข้อมูลเข้าผ่านทางฟังก์ชันการรวมกัน ทำให้ข้อมูลเข้าเกิดการตอบสนองกับฟังก์ชันส่งผ่าน (transfer function) เพื่อเกิดผลลัพธ์เป็นข้อมูลนำออก (output data) ของเซลล์ประสาทที่เชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทอื่น ๆ (Sinsomboonthong, 2017)

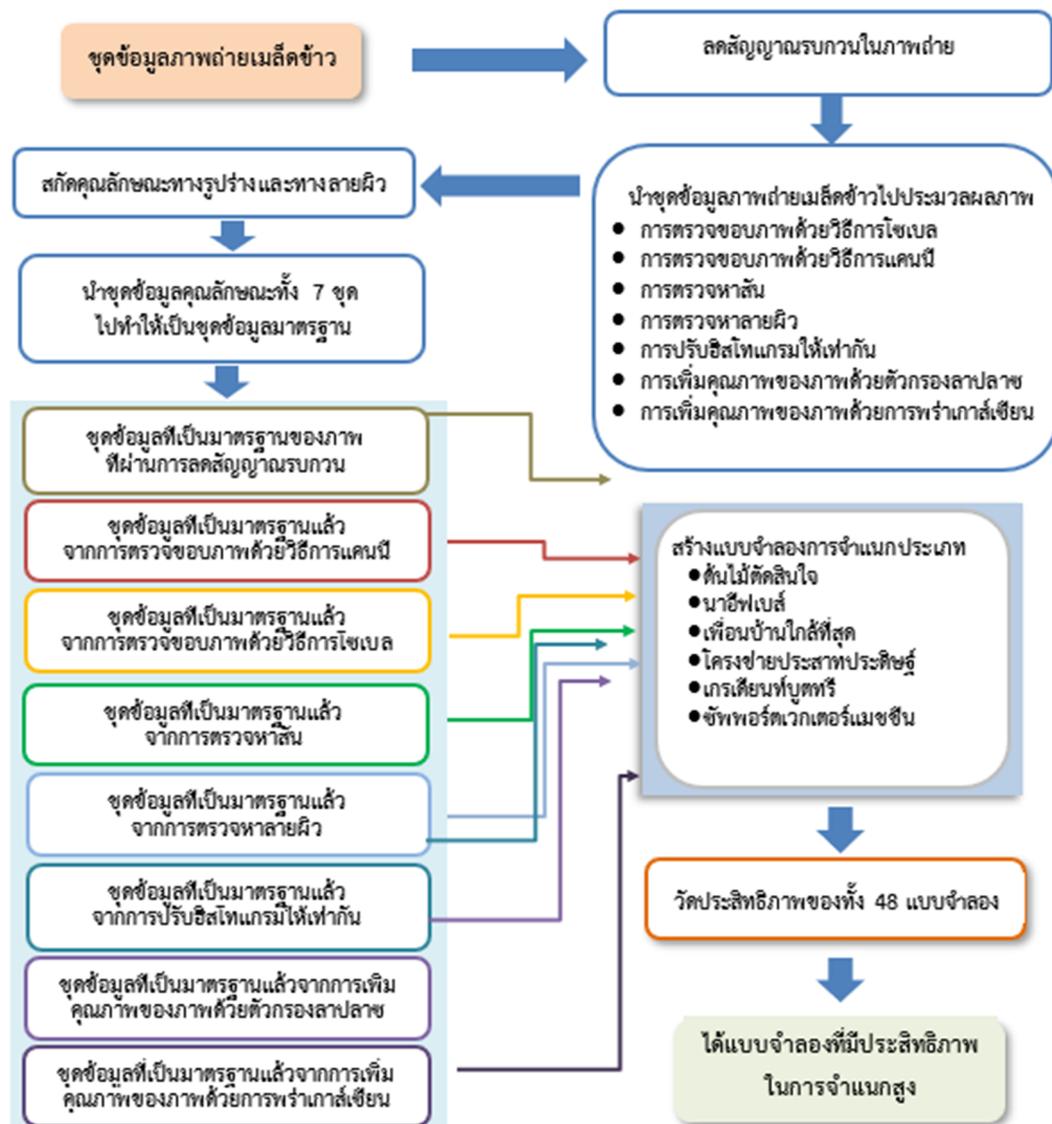
### ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน

ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (support vector machine) เป็นหนึ่งในขั้นตอนการเรียนรู้โดยอาศัยการสร้างเส้นแบ่ง ขึ้นมาแบ่งกลุ่มข้อมูลออกจากกัน โดยมีจุดมุ่งหมายในการหาเส้นแบ่งที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นไปได้ สำหรับการจำแนกประเภทที่มีหลายกลุ่มกับซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน นั้นมีวิธีการมากมาย โดยหนึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมคือ วิธี One-vs-All มีหลักการ คือ ข้อมูลหลายชุดจะถูกสร้างขึ้น แต่ละชุดจะมีกลุ่มที่สนใจจำแนกประเภทกับกลุ่มที่เหลือ เช่น แบ่งกลุ่ม A กับกลุ่มอื่นทั้งหมดที่ไม่ใช่กลุ่ม A แบ่งกลุ่ม B กับกลุ่มอื่นทั้งหมดที่ไม่ใช่กลุ่ม B เป็นต้น โดยในการทำนายผล จะเลือกจากกลุ่มที่ได้คะแนนสูงสุดจากการสร้างแบบจำลองทั้งหมด (Microsoft, 2024)

### เกรเดียนท์บูตทรี

เกรเดียนท์บูตทรี (gradient boosted trees) เป็นการเรียนรู้เครื่องสำหรับการจำแนกประเภทและการถดถอยที่ผลิตแบบจำลองการเรียนรู้ที่แกร่งจากการรวมกันของแบบจำลองการเรียนรู้ที่อ่อน โดยทั่วไปเป็นแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ โดยต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นจะเชื่อมต่อกัน โดยแต่ละต้นจะพยายามลดข้อผิดพลาดหรือสิ่งตกค้างของต้นไม้ต้นก่อนหน้า แบบจำลองตัวสุดท้ายจะใช้ผลลัพธ์ของแต่ละขั้นตอนเพื่อเกิดแบบจำลองการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำสูง (Natekin & Knoll, 2013)

### กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

## สมมติฐานการวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เครื่องร่วมกับการประมวลผลภาพเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าวจากภาพของเมล็ดข้าวสาร 5 สายพันธุ์ มีประสิทธิภาพในการจำแนกถูกต้องมากกว่าร้อยละ 85

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาเองภายในภาษา Python รุ่น 3.1.11 ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 11 บนเครื่อง HP Probook 440 G8 Notebook PC ที่ใช้หน่วยประมวลผล 11th Intel(R) Core(TM) i5-1135G7 @ 2.40GHz หน่วยความจำ 8GB

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ได้แก่

### ค่าความถูกต้อง (accuracy)

ค่าความถูกต้องเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดภาพรวมความถูกต้องในการทำนาย โดยสูตรคำนวณอัตราร้อยละค่าความถูกต้อง (percentage accuracy) คือ (Grandini et al., 2020)

$$\text{percentage accuracy} = \frac{T_p + T_n}{T_p + T_n + F_p + F_n} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $T_p$  สิ่งที่ทำนายว่า “จริง” และมีค่าเป็น “จริง”

$T_n$  สิ่งที่ทำนายว่า “ไม่จริง” และมีค่าเป็น “ไม่จริง”

$F_p$  สิ่งที่ทำนายว่า “จริง” และมีค่าเป็น “ไม่จริง”

$F_n$  สิ่งที่ทำนายว่า “ไม่จริง” และมีค่าเป็น “จริง”

### ค่าความแม่นยำ (precision)

ค่าความแม่นยำเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราส่วนของการทำนายสิ่งที่ต้องการได้ถูกต้องกับการทำนายสิ่งต้องการทั้งหมด (รวมทั้งการทำนายถูกและผิด) สูตรคำนวณอัตราร้อยละค่าความแม่นยำ (percentage precision)

คือ (Grandini et al., 2020)

$$\text{percentage precision} = \frac{T_p}{T_p + F_p} \times 100 \quad (3)$$

### ค่าความไว (recall)

ค่าความไวเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราส่วนของการทำนายสิ่งที่ต้องการได้ถูกต้องกับจำนวนของสิ่งที่ต้องการทำนายทั้งหมด ค่าความไวจะมีความสำคัญมากในกรณีที่เราคิดว่าสิ่งที่เราคาดการณ์ผิดพลาดไปมีความหมายยิ่ง เช่น หากทำนายว่าไม่เกิดไฟไหม้แต่เกิดไฟไหม้ขึ้นมา มีความเสียหายมากกว่าทำนายว่าเกิดไฟไหม้แต่ไม่เกิดเหตุขึ้น สูตรคำนวณอัตราร้อยละค่าความไว (percentage recall) คือ (Kumyaito, Tamee & Sittijuk, 2023)

$$\text{percentage recall} = \frac{T_p}{T_p + F_n} \times 100 \quad (4)$$

### ค่า F1-Score

ค่า F1-Score หรือบางครั้งอาจเรียกว่า ค่า F-Measure เป็นค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic mean) ของค่าความแม่นยำและค่าความไว สูตรคำนวณอัตราร้อยละค่า F1-Score (percentage F1-Score) คือ (Grandini et al., 2020)

$$\text{percentage F1-Score} = \frac{2 \times \text{perc. of precision} \times \text{perc. of recall}}{\text{perc. of precision} + \text{perc. of recall}} \quad (5)$$

หมายเหตุ *perc.* ในที่นี้หมายถึง *percentage*

### ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Cohen Kappa's Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาหรือบางครั้งอาจเรียกว่าค่าแคปปาเป็นวิธีที่ใช้ในการวัดความสอดคล้องระหว่างค่าที่ทำนายจากสองผู้ประเมิน (หรือมากกว่า) เหมาะสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกประเภท (classification) สำหรับอัตราร้อยละค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (percentage of Cohen Kappa's coefficient) มีค่าตั้งแต่ -100 ไปจนถึง 100 โดยมีความหมายว่า หากค่าดังกล่าวมีค่าใกล้ -100 แสดงว่าค่าที่ทำนายจากสองผู้ประเมินไม่สอดคล้องกัน หากค่าดังกล่าวมีค่าใกล้ 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายจากสองผู้ประเมินสอดคล้องโดยบังเอิญ แต่หากค่าดังกล่าว

เข้าใกล้ 100 แสดงว่าค่าที่ทำนายทั้งคู่มีความสอดคล้องกัน สูตรคำนวณอัตราร้อยละค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ

$$\text{percentage } \kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ  $P_o$  คือ ความสัมพันธ์จากการทำนายที่เกิดขึ้นจริง (observed agreement) และ  $P_e$  คือ ความสัมพันธ์จากการทำนายที่คาดหวัง (expected agreement) และ  $\kappa$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Cohen, 1960)

### ข้อมูลในการทำวิจัย

ข้อมูลในการทำวิจัยเป็นรูปภาพของเมล็ดข้าวสาร 5 สายพันธุ์ จำนวนสายพันธุ์ละ 15,000 ภาพ รวม 75,000 ภาพ โดยเป็นภาพข้าวสารเมล็ดเดี่ยวพื้นหลังสีดำที่บันทึกในรูปแบบ JPEG สี ความละเอียด 250x250 จุดภาพ (pixels) โดยเป็นข้อมูลสาธารณะสามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://www.muratkoklu.com>

### วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ภายในภาษา Python เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่ปรากฏในภาพถ่ายเมล็ดข้าวสาร
2. ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ภายในภาษา Python เพื่อประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสารด้วยการตรวจหาขอบ

ภาพด้วยวิธีแค่นี้ การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล การตรวจหาสัน การตรวจหาลายผิว การปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน เพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองลาปลาซ และเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยการพรีแอกเนสเซียน

3. ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ภายในภาษา Python เพื่อสร้างตัวแบบเทคนิคการเรียนรู้เครื่อง 6 เทคนิค ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ นาอ์ฟเบส เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ เกรเดียนท์บูตทรี และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

4. ทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาค่าเคที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบไขว้เคโพลด์ โดยพิจารณาจากค่าเคเท่ากับ 5 10 15 และ 20 ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เครื่องที่ไม่ใช้เวลาสูงนักได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจและนาอ์ฟเบส

5. ทำการฝึกเทคนิคการเรียนรู้เครื่องทั้ง 6 เทคนิคด้วยภาพที่มีการลดสัญญาณรบกวนและภาพที่ผ่านการประมวลผลภาพแบบต่าง ๆ ทั้ง 7 วิธี (รวมตัวแบบที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว 48 ตัวแบบ) เพื่อการจำแนกพันธุ์ข้าวจากภาพถ่ายเมล็ดข้าวสารโดยใช้วิธีการฝึกแบบการตรวจสอบไขว้เคโพลด์เมื่อเคมีค่าเท่ากับ 10 สำหรับทุกวิธีการเรียนรู้เครื่อง โดยมีการตั้งพารามิเตอร์สำหรับเทคนิคการเรียนรู้เครื่องทั้ง 6 ดังตาราง 1

6. ทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนกพันธุ์ข้าวของตัวแบบการจำแนกทั้ง 48 ตัวแบบ



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

ภาพ 3 ตัวอย่างภาพเมล็ดข้าวสารที่ใช้ในงานวิจัย (ก) คาราก้าตาก (ข) หอมมะลิ (ค) ยิปชالا (ง) บาสมาติ (จ) อาโบริโอ

## ตาราง 1

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเทคนิคการเรียนรู้เครื่อง

การเรียนรู้เครื่อง	พารามิเตอร์	
ต้นไม้ตัดสินใจ	criterion	Gain ratio
	confidence	0.3
	maximal depth	10
นาอิวเบสส์	Laplace correction	
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	K	5
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	epochs	10
	batch_size	32
	verbose	1
	number of trees	50
เกรเดียนท์บูตทรี	maximal depth	5
	learning rate	0.1
	svm type	C-SVC
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	kernel	linear

### ผลการวิจัย

#### ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวนที่ปรากฏในภาพเมล็ดข้าวสาร

ผลการวิจัยในส่วนนี้ทำให้ได้ภาพที่มีพื้นหลังสีดำสนิท ช่วยให้การฝึกตัวแบบเพื่อการจำแนกมีประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น ดังภาพ 4

#### ส่วนที่ 2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

2.1 ผลการประมวลผลภาพด้วยการตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่ ดังภาพ 5

2.2 ผลการประมวลผลภาพด้วยวิธีโซเบล ดังภาพ 6

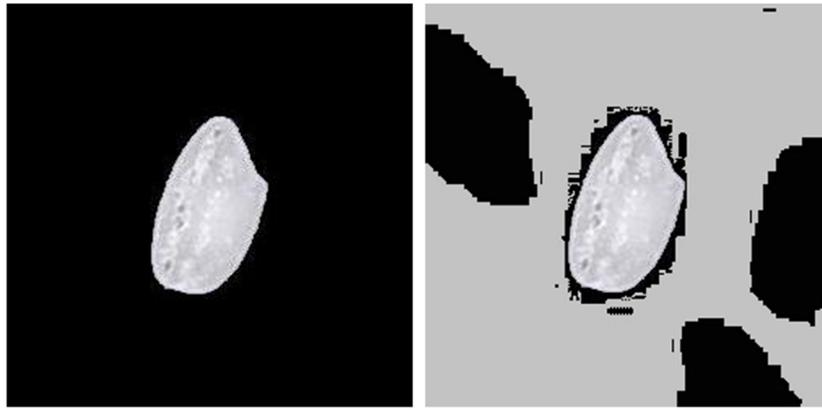
2.3 ผลการประมวลผลภาพด้วยการตรวจหาสันดังภาพ 7

2.4 ผลการประมวลผลภาพด้วยการตรวจหาลายผิว ดังภาพ 8

2.5 ผลการประมวลผลภาพด้วยการปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน ดังภาพ 9

2.6 ผลการประมวลผลภาพด้วยการเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองลาปลาซ ดังภาพ 10

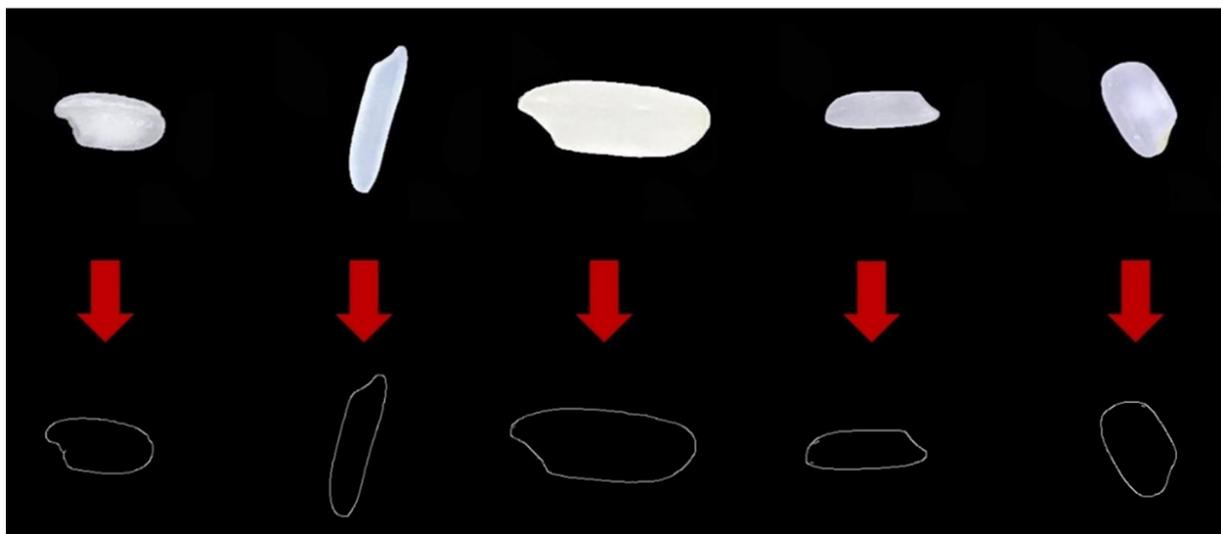
2.7 ผลการประมวลผลภาพด้วยการเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยการพรา้เกาส์เซียน ดังภาพ 11



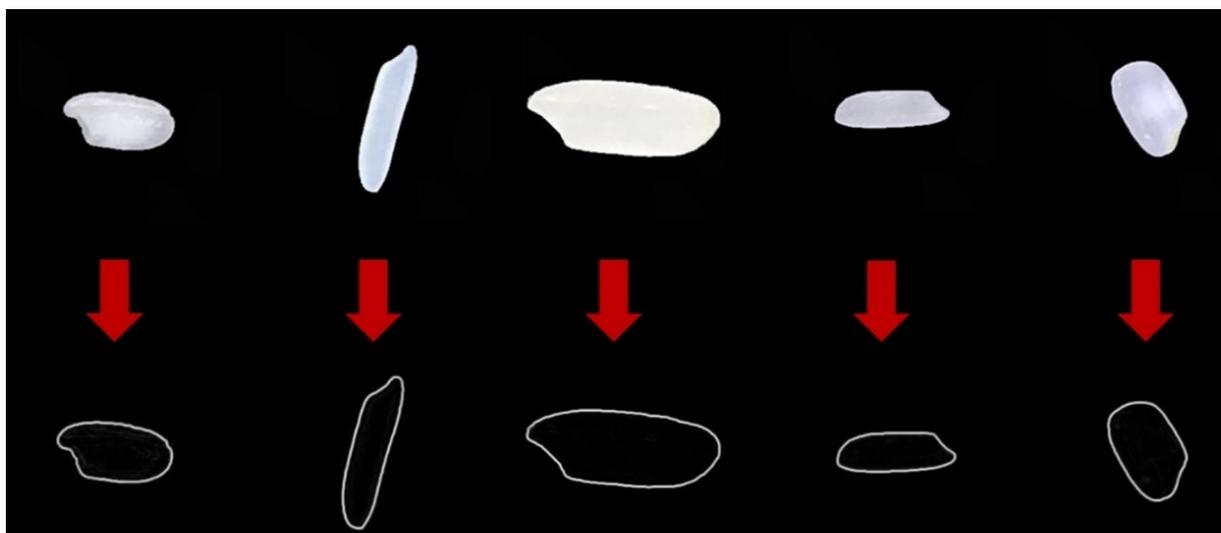
(ก)

(ข)

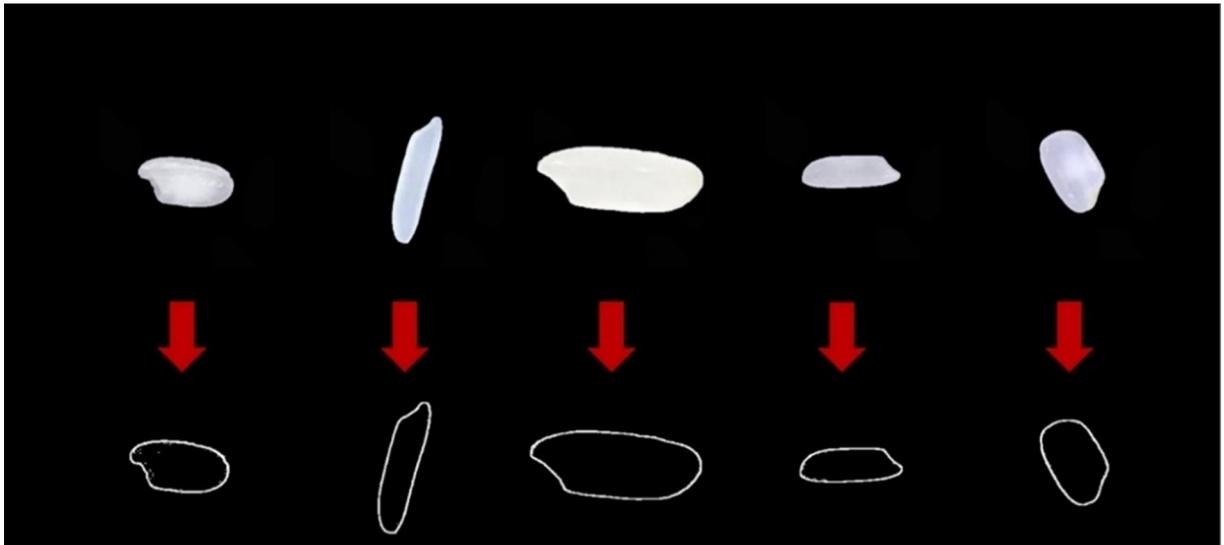
ภาพ 4 ตัวอย่างภาพเมล็ดข้าวสาร (ก) ภาพเมล็ดข้าวสารต้นฉบับ (ข) การตรวจพบสัญญาณรบกวนที่ภาพพื้นหลัง



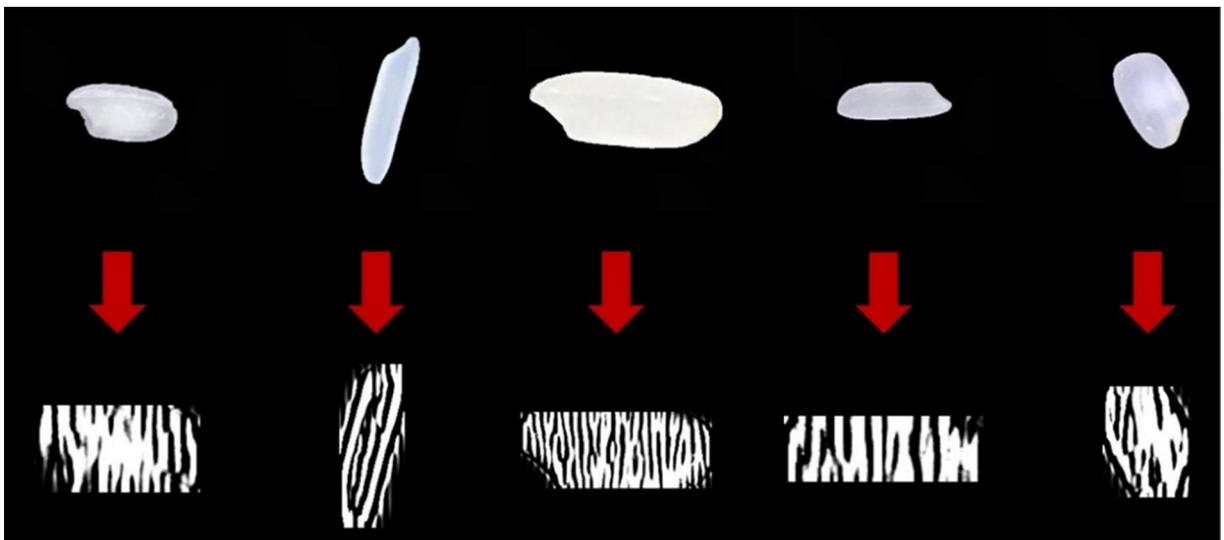
ภาพ 5 การประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสารด้วยการตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่



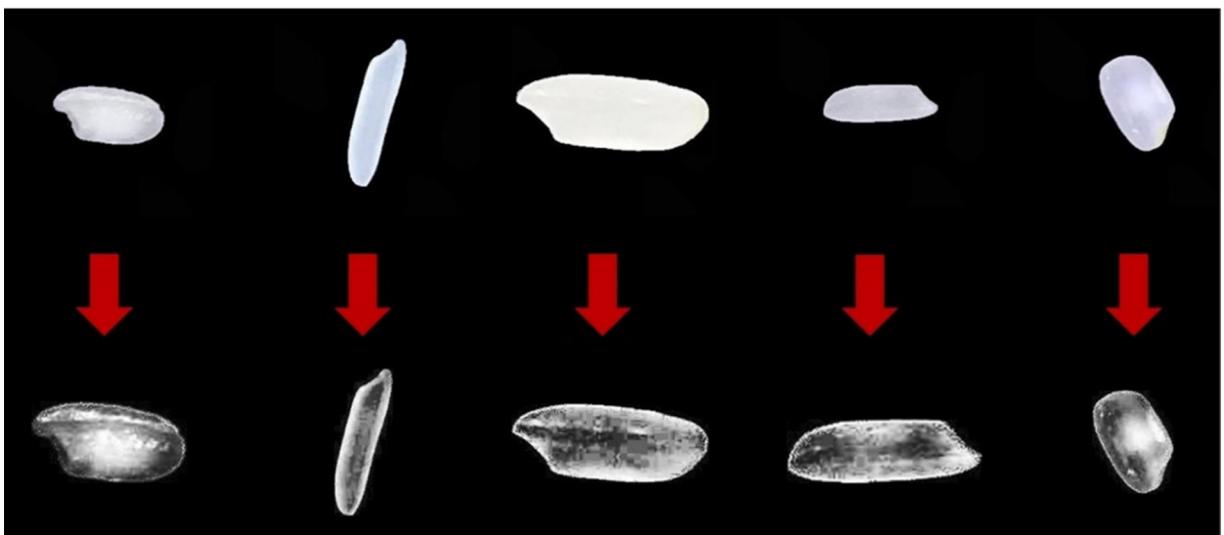
ภาพ 6 การประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสารด้วยการตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล



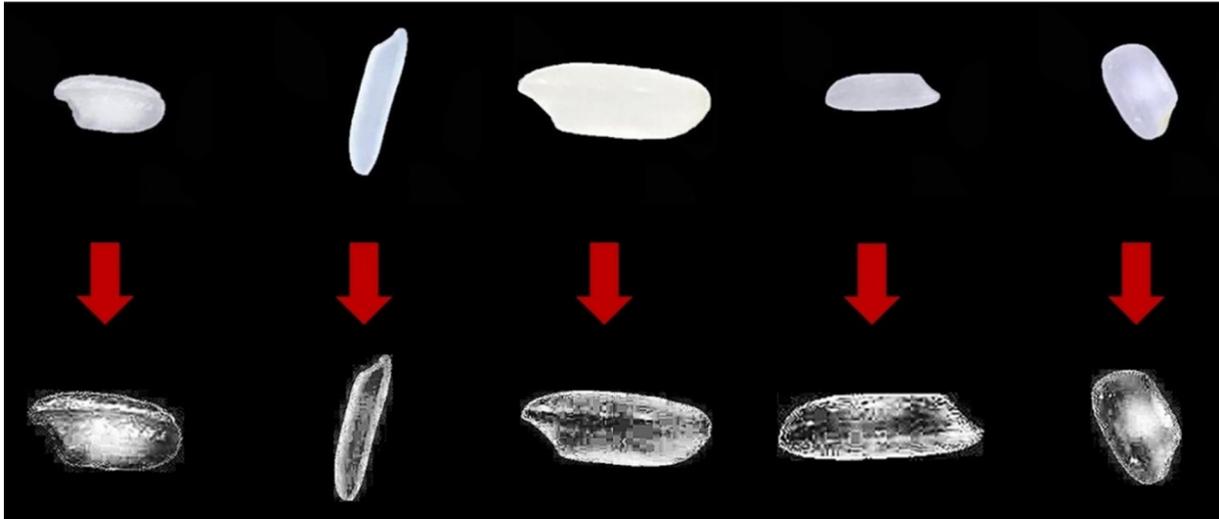
ภาพ 7 การประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสารด้วยการตรวจหาเส้น



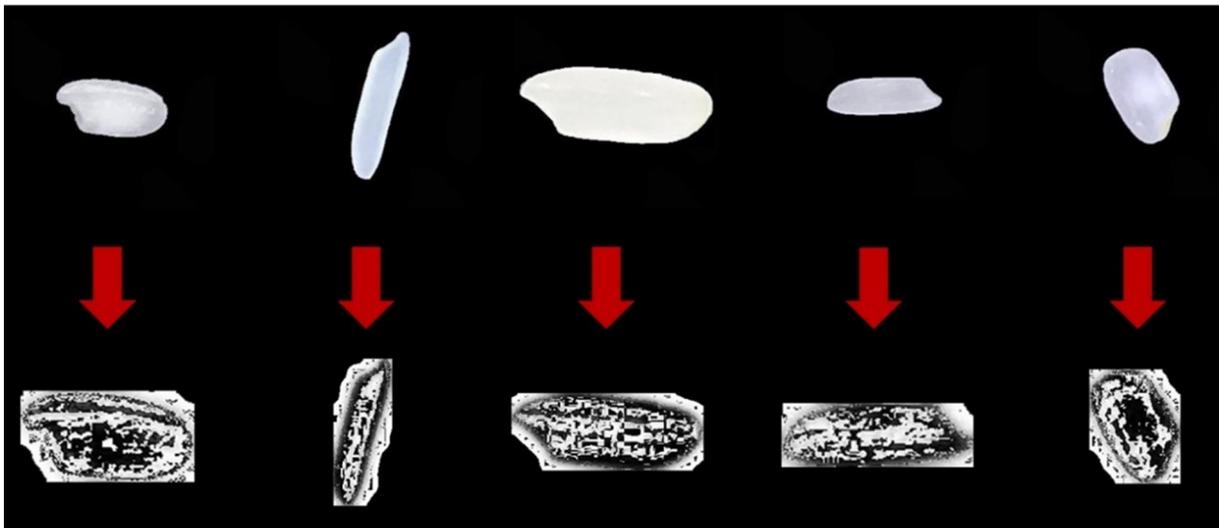
ภาพ 8 การประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสารด้วยการตรวจหาลายผิว



ภาพ 9 การประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสารด้วยการปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน



ภาพ 10 การประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสารด้วยการเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองลาปลาซ



ภาพ 11 การประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสารด้วยการเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองพรั้าเกาส์เซียน

### ส่วนที่ 3 การหาค่าเคที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบไขว้เคโฟลด์

ผลการวิจัยในส่วนนี้ต้องการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาค่าเคที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบไขว้เคโฟลด์ โดยพิจารณาทั้งในด้านความถูกต้องและเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ทั้งนี้ ต้องการพิจารณาค่าเคที่ทำให้ได้ค่าความถูกต้องสูงแต่ต้องไม่ใช้เวลาสูงเกินไป เพราะแบบจำลองการเรียนรู้เครื่องเพื่อการจำแนกประเภทบางเทคนิคใช้เวลาในการประมวลผลมาก การทดลองจะดำเนินการเบื้องต้นด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่องที่ใช้เวลาในการประมวลผลไม่ได้สูงมากได้แก่ขั้นตอนวิธีต้นไม้ตัดสินใจและนาอิวเบสทำการจำแนกประเภทจากภาพถ่ายเมล็ดข้าวที่มีการลดสัญญาณ

รบกวนในตาราง 2

จากตาราง 2 พบว่า เมื่อเพิ่มค่าเคจะให้ความถูกต้องในการจำแนกประเภทจากภาพถ่ายเมล็ดข้าวที่มีการลดสัญญาณรบกวนในภาพสูงขึ้นทั้งสองวิธีการเรียนรู้เครื่อง แต่ก็ใช้เวลาในการจำแนกมากขึ้นตามมา ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเคเพิ่มจาก 5 เป็น 10 ความถูกต้องในการจำแนกของเทคนิคการเรียนรู้เครื่องทั้งสองวิธี เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนที่มากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ค่าเคเพิ่มจาก 10 เป็น 15 และ จาก 15 เป็น 20 แต่เวลาที่ใช้ในการจำแนกเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมในการดำเนินการวิจัยจะเลือกค่าเคเท่ากับ 10 ในการตรวจสอบไขว้เคโฟลด์

#### ส่วนที่ 4 ขั้นตอนการจำแนกภาพ

ในการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าวจากภาพของเมล็ดข้าวสารโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เครื่อง 6 เทคนิคได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ นาอ็ฟเบิ้ล เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ เกรเดียนท์บูตทรี และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน รวมกับภาพที่ไม่ผ่านการประมวลผลภาพและผ่านการประมวลผลภาพ 7 วิธี ได้แก่

การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่ การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล การตรวจหาสัน การตรวจหาลายผิว การปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน การเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองลาปลาซ และการเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยการพรา่กาส์เซียน ได้ผลลัพธ์ในการจำแนกดังแสดงในตาราง 3-ตาราง 10

#### ตาราง 2

การหาค่า เค ที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการเรียนรู้เครื่องต้นไม้ตัดสินใจและนาอ็ฟเบิ้ล

การเรียนรู้เครื่อง	เค	ความถูกต้อง	เวลา(วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	5	94.61%	11.86
	<b>10</b>	<b>95.06%</b>	<b>25.64</b>
	15	95.07%	39.24
	20	95.20%	61.86
นาอ็ฟเบิ้ล	5	88.38%	3.78
	<b>10</b>	<b>89.41%</b>	<b>4.61</b>
	15	89.74%	5.47
	20	89.98%	5.95

#### ตาราง 3

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่าง ๆ ที่จำแนกประเภทจากภาพถ่ายเมล็ดข้าวที่มีการลดสัญญาณรบกวนในภาพ

แบบจำลองการจำแนกประเภท	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความไว	F1-Score	สัมประสิทธิ์แคปปา	เวลา (วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	95.09%	95.09%	95.09%	95.09%	93.86%	35.14
นาอ็ฟเบิ้ล	89.41%	89.47%	89.41%	89.37%	86.76%	<b>4.29</b>
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	95.09%	95.11%	95.09%	95.08%	93.86%	10.14
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	<b>97.65%</b>	<b>97.65%</b>	<b>97.65%</b>	<b>97.65%</b>	<b>97.06%</b>	456.78
เกรเดียนท์บูตทรี	97.20%	97.20%	97.20%	97.20%	96.50%	3256.41
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	97.51%	97.51%	97.51%	97.51%	96.89%	141.10

ตาราง 4

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่าง ๆ ร่วมกับการประมวลผลภาพการตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่

แบบจำลองการจำแนกประเภท	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความไว	F1-Score	สัมประสิทธิ์ แคปปา	เวลา (วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	95.15%	95.15%	95.15%	95.14%	93.93%	168.97
นาอิวเบส	88.13%	88.04%	88.13%	87.94%	85.16%	<b>3.68</b>
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	96.92%	96.93%	96.92%	96.92%	96.15%	32.05
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	<b>97.72%</b>	<b>97.72%</b>	<b>97.72%</b>	<b>97.72%</b>	<b>97.15%</b>	738.87
เกรเดียนท์บูตทรี	97.15%	97.15%	97.15%	97.15%	96.44%	5886.94
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	97.61%	97.61%	97.61%	97.61%	97.02%	413.03

ตาราง 5

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่าง ๆ ร่วมกับการประมวลผลภาพการตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล

แบบจำลองการจำแนกประเภท	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความไว	F1-Score	สัมประสิทธิ์ แคปปา	เวลา (วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	95.55%	95.55%	95.55%	95.54%	94.44%	60.29
นาอิวเบส	84.76%	84.85%	84.76%	84.40%	80.95%	<b>4.91</b>
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	96.30%	96.32%	96.30%	96.29%	95.37%	13.15
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	98.56%	98.56%	98.56%	98.56%	98.20%	722.48
เกรเดียนท์บูตทรี	97.76%	97.76%	97.75%	97.75%	97.20%	9168.98
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	<b>98.68%</b>	<b>98.68%</b>	<b>98.68%</b>	<b>98.68%</b>	<b>98.35%</b>	136.21

ตาราง 6

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่าง ๆ ร่วมกับการประมวลผลภาพการตรวจหาเส้น

แบบจำลองการจำแนกประเภท	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความไว	F1-Score	สัมประสิทธิ์ แคปปา	เวลา (วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	94.79%	94.78%	94.78%	94.78%	93.48%	35.72
นาอิวเบส	88.81%	88.73%	88.81%	88.69%	86.01%	<b>5.24</b>
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	95.52%	95.53%	95.52%	95.52%	94.40%	11.21
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	<b>97.26%</b>	<b>97.26%</b>	<b>97.26%</b>	<b>97.26%</b>	<b>96.57%</b>	740.49
เกรเดียนท์บูตทรี	96.81%	96.81%	96.81%	96.81%	96.01%	2639.67
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	96.45%	96.45%	96.44%	96.44%	95.56%	207.60

## ตาราง 7

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่าง ๆ ร่วมกับการประมวลผลภาพการตรวจหาลายนิ้ว

แบบจำลองการจำแนกประเภท	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความไว	F1-Score	สัมประสิทธิ์ แคปปา	เวลา (วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	92.94%	92.93%	92.93%	92.93%	91.17%	42.02
นาอิวเบสส์	85.53%	85.50%	85.53%	85.41%	81.92%	<b>4.16</b>
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	94.39%	94.45%	94.39%	94.37%	92.98%	9.64
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	<b>96.95%</b>	<b>96.96%</b>	<b>96.95%</b>	<b>96.94%</b>	<b>96.18%</b>	692.81
เกรเดียนท์บูตทรี	96.24%	96.24%	96.24%	96.23%	95.30%	4845.29
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	95.42%	95.42%	95.42%	95.41%	94.28%	276.62

## ตาราง 8

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่าง ๆ ร่วมกับการประมวลผลภาพการปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน

แบบจำลองการจำแนกประเภท	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความไว	F1-Score	สัมประสิทธิ์ แคปปา	เวลา (วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	93.47%	93.46%	93.46%	93.45%	91.83%	60.40
นาอิวเบสส์	87.04%	87.10%	87.04%	86.98%	83.80%	<b>4.25</b>
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	95.47%	95.65%	95.57%	95.57%	93.22%	9.77
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	<b>98.06%</b>	<b>98.06%</b>	<b>98.06%</b>	<b>98.06%</b>	<b>97.57%</b>	507.44
เกรเดียนท์บูตทรี	96.79%	96.79%	96.79%	96.79%	95.99%	4869.08
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	96.12%	96.12%	96.12%	96.12%	95.16%	258.16

## ตาราง 9

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่าง ๆ ร่วมกับการประมวลผลภาพการเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรอง  
ลาปลาซ

แบบจำลองการจำแนกประเภท	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความไว	F1-Score	สัมประสิทธิ์ แคปปา	เวลา (วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	93.74%	93.74%	93.73%	93.73%	92.18%	60.86
นาอิวเบสส์	87.39%	87.44%	87.39%	87.32%	84.23%	<b>4.21</b>
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	95.25%	95.32%	95.25%	95.24%	94.06%	9.25
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	<b>97.47%</b>	<b>97.47%</b>	<b>97.47%</b>	<b>97.47%</b>	<b>96.84%</b>	402.98
เกรเดียนท์บูตทรี	96.88%	96.88%	96.88%	96.87%	96.10%	5177.58
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	95.65%	95.66%	95.70%	95.65%	94.56%	256.39

ตาราง 10

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่าง ๆ ร่วมกับการประมวลผลภาพการเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยการพรว์เกาหลีเซียน

แบบจำลองการจำแนกประเภท	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความไว	F1-Score	สัมประสิทธิ์แคปปา	เวลา (วินาที)
ต้นไม้ตัดสินใจ	93.53%	93.51%	93.52%	93.52%	91.92%	49.53
นาอิวเบส	85.63%	85.94%	85.63%	85.63%	82.03%	<b>3.99</b>
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด	82.54%	82.91%	82.54%	82.65%	78.17%	9.45
โครงข่ายประสาทประดิษฐ์	89.77%	89.79%	89.77%	89.69%	87.21%	448.66
เกรเดียนท์บูตทรี	96.83%	96.82%	96.82%	96.82%	96.03%	4992.54
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	<b>97.03%</b>	<b>97.03%</b>	<b>97.03%</b>	<b>97.03%</b>	<b>96.29%</b>	213.79

หมายเหตุ: ข้อความที่เป็น ตัวหนา แสดงถึงค่าที่สูงที่สุดของความถูกต้อง (accuracy) ความแม่นยำ (precision) ความไว (recall) ค่า F1-score และสัมประสิทธิ์แคปปา พร้อมกับเวลาที่ใช้ในการจำแนกที่เร็วที่สุด (วินาที)

การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้วัดประสิทธิภาพของหลายแบบจำลองในการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพร่วมกับวิธีการเรียนรู้เครื่องเพื่อจำแนกประเภทพันธุ์ข้าวจากภาพถ่ายขนาด 250x250 พิกเซล ของเมล็ดข้าว 5 ชนิด พบว่า แบบจำลองการจำแนกประเภทที่ให้ผลประสิทธิภาพดีที่สุด คือ การใช้การประมวลผลภาพแบบการตรวจจับขอบด้วยวิธีการโซเบลร่วมกับเทคนิคการจำแนกประเภทซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน โดยให้ค่าความถูกต้องถึงร้อยละ 98.68 ค่าความแม่นยำร้อยละ 98.67 ค่าความไวร้อยละ 98.67 ค่าเอฟ-หนึ่ง สกอร์ร้อยละ 98.67 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา ร้อยละ 98.35 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Zareiforoush et al. (2016) ที่ให้ค่าความถูกต้อง ร้อยละ 98.72 ในการจำแนกประเภทพันธุ์ข้าว 4 ชนิด และงานวิจัยของ Cinar and Köklü (2022) ที่ได้ค่าความถูกต้องถึงร้อยละ 99.91 ในการจำแนกประเภทพันธุ์ข้าว 5 ชนิด โดยใช้จำนวนคุณลักษณะที่มากกว่าในการจำแนก (106 คุณลักษณะเทียบกับ 32 คุณลักษณะในงานวิจัยนี้) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าคุณลักษณะหลักในการจำแนกพันธุ์ข้าวจากภาพถ่ายคือรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร ทั้งนี้หากต้องการให้ความแม่นยำในการจำแนกสูงขึ้นการปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองอาจช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนก

ประเภทพันธุ์ข้าวได้

อย่างไรก็ตามแม้ว่าแบบจำลองการจำแนกประเภทด้วยเทคนิคดังกล่าวจะให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านการใช้เวลาในการประมวล ซึ่งใช้เวลาสูงถึง 136.21 วินาที ในขณะที่แบบจำลองที่มีการใช้เทคนิคการจำแนกประเภทแบบเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดร่วมกับการประมวลผลภาพไม่ว่าจะเป็นการตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล การตรวจหาเส้น การตรวจหาลายผิว การปรับฮิสโทแกรมให้เท่ากัน และการเพิ่มคุณภาพของภาพด้วยตัวกรองลาปลาซ ให้ความแม่นยำในการจำแนกต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ใช้เวลาน้อยกว่ามาก เพียงประมาณ 9.25 ถึง 13.15 วินาทีเท่านั้น ทั้งนี้ในการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมเพื่อดำเนินการจำแนกขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการพิจารณาว่าสนใจประสิทธิภาพหรือเวลาเป็นหลัก

ข้อเสนอแนะ

ในการเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกประเภทของเมล็ดข้าวในอนาคต อาจเลือกใช้วิธีการประมวลผลภาพอื่นที่เกี่ยวข้องกับรูปร่างหรือการใช้การประมวลผลภาพหลายเทคนิครวมกัน ร่วมกับการปรับแต่งพารามิเตอร์ของวิธีการเรียนรู้เครื่องอย่างละเอียดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทั้งในด้าน

ความแม่นยำในการจำแนกและความรวดเร็วในการประมวลผล และหากได้ข้อมูลที่เป็นภาพถ่ายของเมล็ดข้าวสารของสายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศไทย การทำการวิจัย

ในลักษณะนี้เพิ่มเติมอาจจะมีประโยชน์กับท้องถิ่นมากขึ้น  
ในอนาคต



## References

- Abueleiwa, M. H., & Abu-Naser, S. S. (2024). Classification of rice using deep learning. *International Journal of Academic Information Systems Research (IJAIRS)*, 8(4), 26–36. Retrieved from <http://ijeais.org/wp-content/uploads/2024/4/IJAISR240404.pdf>
- Aki, O., Güllü, A., & Uçar, E. (2015). Classification of rice grains using image processing and machine learning techniques. *Proceeding of International Scientific Conference* (pp. 352-354). Gabrovo: Technical University of Gabrovo.
- Armi, L., & Fekri-Ershad, S. (2019). Texture image analysis and texture classification methods - A Review. *International Online Journal of Image Processing and Pattern Recognition*, 2(1), 1-29. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/1904.06554#:~:text=This%20article%20has%20been%20compiled,vector%20machines%2C%20and%20so%20on.>
- Chunwitthayathira, S. (2014). Image registration and arrangement techniques. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 6(2), 24–29. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/25719> (in Thai)
- Cinar, I., & Köklü, M. (2019). Classification of rice varieties using artificial intelligence methods. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering (IJISAE)*, 7(3), 188–194. <https://doi.org/10.18201/ijisae.2019355381>
- Cinar, I., & Köklü, M. (2021). Determination of effective and specific physical features of rice varieties by computer vision in exterior quality inspection. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences (SJAFS)*, 35(3), 229-243. <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2021.252>
- Cinar, I., Köklü, M., & Taspınar, Y. S. (2021). Classification of Rice Varieties with Deep Learning Methods. *Computer and Electronics in Agriculture*, 187, 16285. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106285>
- Cinar, I., & Köklü, M. (2022). Identification of rice varieties using machine learning algorithms. *Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi)*, 28(2), 307-325. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.862482>
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, 20(1), 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>

- Farid, D., Rahman, M. & Al-Mamun, M. (2014). Efficient and scalable multi-class classification using naïve Bayes tree. *Proceeding of 2014 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV 2014)* (pp. 1-4). Dhaka: IEEE.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (1992). *Digital image processing*. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Grandini, M., Bagli, E., & Visani, G. (2020). Metrics for multi-class classification: An overview. *arXiv, 2008, 05756v1*, Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2008.05756>.
- Jameel, S. A., & Mohamed Shanavas, A. R. (2015). Implementation of improved gaussian filter algorithm for retinal fundus images. *International Journal of Computer Applications, 132*(8), 1-4. <https://doi.org/10.5120/ijca2015907489>.
- Kullimratchai, P. (2014). Image retrieval fundamentals. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 7*(2), 40–46. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/25546> (in Thai)
- Kumyaito, N., Tamee, K., & Sittijuk, P. (2023). Artificial intelligence platform on semantic knowledge base for recommending elderly with chronic diseases care. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(2), 120–137. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/259516> (in Thai)
- Microsoft. (2024). *One-vs-All Multiclass*. *Azure machine learning*. Retrieved from <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/component-reference/one-vs-all-multiclass?view=azureml-api-2>.
- Natekin, A., & Knoll, A. (2013). Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in Neurorobotics, 7*, 21. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2013.00021>
- NV5 Geospatial Software. (2023). *Apply laplacian filters*. Retrieved from <https://www.nv5geospatialsoftware.com/docs/LaplacianFilters.html>.
- Patel, O., Maravi, Y. P. S., & Sharma, S. (2013). A comparative study of histogram equalization based image enhancement techniques for brightness preservation and contrast enhancement. *Signal & Image Processing: An International Journal, 4*, 11-25. <https://doi.org/10.5121/sipij.2013.4502>.
- Reddy, R. P. K., Nagaraju, C., & Reddy, I. R. (2016). Canny scale edge detection. *International Journal of Engineering Trends and Technology, x*(y), 1-4. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-ICGTETM-N3/ICGTETM-P121>
- Rexce, J., & Usha Kingsly Devi, K. (2017). Classification of milled rice using image processing. *International Journal of Scientific & Engineering Research, 8*(2), 10-14.

- Siharad, D., & Sookprasert, A. (2024). Improving performance of using machine learning techniques and application for perceiving tourists' hotel staying behaviors. *EAU Heritage Journal Science and Technology (Online)*, 18(1), 161–175. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/264174> (in Thai)
- Sinsomboonthong, S. (2017). *Data mining 1: Discovering knowledge in data* (2nd ed.). Bangkok: Chamchuree Products Co., ltd. (in Thai)
- Shokouh, G. S., Baptiste, M., Xu, B., & Montesinos, P. (2021). Ridge detection by image filtering techniques: A review and an objective analysis. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 31, 551-570. <https://doi.org/10.1134/S1054661821030226>
- Tanwong, K., Suksawang, P., & Punsawad, Y. (2019). Development of rice grain phenotype quality verification Ssystem using machine learning. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 13(1), 76–94. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/177478> (in Thai)
- Thai Rice Exporters Association. (2024). *F.O.B. Prices*. Retrieved from <http://www.thairiceexporters.or.th/> (in Thai)
- Zareiforoush, H., Minaei, S., Alizadeh, M. R., & Banaka, A. (2016). Qualitative classification of milled rice grains using computer vision and metaheuristic techniques. *Journal of Food Science Technology*, 53(1), 118-131. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1947-4>



# การออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ Design and Development of Semi-Automatic Frying Machine with Temperature Control System

กันยารัตน์ พูลเพียร<sup>1\*</sup>, นันทิกา ปริญาพล<sup>1</sup> และนัทพ์ชาณัน ชินปัญชธนะ<sup>1</sup>  
Kanyarat Punpain<sup>1\*</sup>, Nantika Prinyapol<sup>1</sup> and Nutchanun Chinpanthana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต  
<sup>1</sup>College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University

\*Corresponding author: kanyarat.pun@dpu.ac.th

Received: November 14, 2024

Revised: January 16, 2025

Accepted: January 22, 2025

## บทคัดย่อ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดอาหารแบบกึ่งอัตโนมัตินี้มุ่งเน้นเพื่อเพิ่มความสะอาดและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถประหยัดเวลาในการทอด ควบคุมพลังงานความร้อนได้ดี และป้องกันน้ำมันกระเด็น เครื่องทอดนี้สามารถควบคุมการทำงานด้วยอุณหภูมิได้เมื่ออุณหภูมิถึงระดับที่ต้องการ กระจกมีความร้อนกระจายทั่วถึงจะสั่งการให้มอเตอร์หมุน ควบคุมตะแกรงอาหาร สำหรับการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการทอดทอดมัน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด ประกอบด้วยอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 100°C 160°C และ 180°C จากผลการทดลองที่ 1 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม ทอดมันมีลักษณะไม่แข็งเกินไป นุ่มด้านใน และลดความเสี่ยงที่ผลิตภัณฑ์จะไหม้จากความชื้นของสีที่มากเกินไป ด้วยระยะเวลาการทอดเฉลี่ย 33.5 วินาที ทำให้มีค่าสีเฉลี่ยของสีทอดมันเป็น rgba (149.75 87 75 28.75 255) จากการทดลองจะเห็นว่าการพัฒนาหม้อทอดกึ่งอัตโนมัตินี้ช่วยเพิ่มการควบคุมคุณภาพและเพิ่มกำลังการผลิต ประหยัดค่าใช้จ่าย โดยที่เครื่องทอดแบบกึ่งอัตโนมัติมีความคุ้มทุนมากกว่าการทอดแบบเดิมมากถึง 52,902.39 บาท เปรียบเทียบต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่าพบว่าเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติมีค่าเปรียบเทียบกับต้นทุนต่อปีต่ำกว่า ดังนั้นการลงทุนในเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติเป็นตัวเลือกที่คุ้มทุนมากกว่าในระยะยาว รวมทั้งลดกระบวนการทอดที่ซ้ำซ้อน จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมได้ดี

**คำสำคัญ:** เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ควบคุมอุณหภูมิ พัฒนาเครื่องทอด

## Abstract

The design and development of this semi-automatic frying machine focus on improving convenience and efficiency in use, allowing users to save time during frying, control temperature effectively, and prevent oil splattering. The machine can control operation based on temperature, and when the temperature reaches the desired level, the pan ensures even heat distribution and activates the motor to control the food basket. To determine the appropriate temperature and frying time for fried fish cakes, the experiment was conducted in two sets, each with three temperature levels: 100°C, 160°C, and 180°C. The results of the first experiment showed that 160°C was the ideal temperature, producing fish cakes that were not too hard, had a soft interior, and minimized the risk of excessive browning. The average frying time was 33.5 seconds, with the average color value of the fried fish cakes being rgba (149.75, 87, 75, 28.75, 255). The results indicate that the development of the semi-automatic frying machine helps improve quality control, increases production capacity, and reduces costs. The semi-automatic fryer is more cost-effective compared to traditional frying methods, with an annual equivalent cost (EAC) of just 4,627.62 baht/year, resulting in a return on investment of 52,902.39 baht. Investing in the semi-automatic frying machine is a more economical choice in the long run, reducing redundant frying processes, making it suitable for industrial use.

**Keywords:** semi-automatic frying machine, temperature control, development of frying machine



## บทนำ

เทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อเครื่องมืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงอุปกรณ์สำหรับการทอดอาหาร ที่เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่นิยมใช้กันมายาวนาน เพื่อเปลี่ยนแปลงรูปแบบของอาหารด้วยรูปแบบการทำลายจุลินทรีย์ เอนไซม์ และทำให้ผิวของอาหารมีเนื้อสัมผัสที่กรอบนอกหรือกรอบทั้งชิ้น ส่งผลต่อกลิ่น รสชาติ และลักษณะปรากฏที่ชวนให้น่ารับประทาน เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำจะระเหยกลายเป็นไอ อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส ความชื้นและความแตกต่างของความดันไอน้ำจะทำการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวอาหาร ระยะเวลาที่ใช้ในการทอดอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีการทอด ความหนาของชิ้นอาหาร และความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภค สำหรับวิธีการทอด แบบถ่ายเทความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารมี 2 ประเภท (1) การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) เป็นการทอดอาหารที่มีปริมาณน้ำมัน

เพียงเล็กน้อย (2) การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) เป็นการนำความร้อนจากน้ำมันไปสู่ภายในอาหาร โดยให้อาหารสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 160-200 องศาเซลเซียส จนความร้อนไปถึงจุดกึ่งกลางของอาหาร มีอุณหภูมิเพียงพอที่จะทำให้ลายจุลินทรีย์ วิธีการทอดแบบนี้ทำให้ผิวของอาหารทั้งหมดได้รับความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลต่อสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสี รสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัสของอาหาร (Saguy & Dana, 2003) กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมพยายามที่จะนำเครื่องจักรเข้ามาใช้ควบคู่กับการทำงานแต่ยังมีข้อจำกัดของเครื่องทอดแบบดั้งเดิม เช่น ใช้เวลาทอดนาน ควบคุมอุณหภูมิและเวลาได้ยาก อาหารอาจไหม้หรือสุกไม่สม่ำเสมอ ใช้แรงงานคนมาก ต้องมีคนคอยควบคุมดูแลการทอด น้ำมันทอดเสื่อมสภาพเร็ว ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อย เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย น้ำมันร้อนอาจกระเด็นใส่คนทอด

การพัฒนาเครื่องทอดสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหารมีความจำเป็น เนื่องจากทำให้ (1) ประหยัดเวลาสามารถทอดอาหารได้โดยไม่ต้องควบคุม ดูแล ผู้ใช้สามารถ

ทำอย่างอื่นเมื่อเครื่องทอดกำลังทำงาน (2) ประหยัดแรงงาน เครื่องทอดอัตโนมัติสามารถทอดอาหารได้ด้วยแรงงานคนที่ลดลง เหมาะสำหรับโรงงานที่มีพนักงานน้อย (3) การทอดอาหารได้ด้วยระยะเวลาคงที่และมีผลที่ได้มีความสม่ำเสมอ เครื่องทอดอัตโนมัติสามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาได้อย่างแม่นยำ อาหารทอดได้สุกเหลืองกรอบ โดยไม่ต้องกังวลว่าจะไหม้หรือสุกไม่สม่ำเสมอ และ (4)ปลอดภัย เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติมีระบบตัดไฟอัตโนมัติ ป้องกันอุบัติเหตุจากการทอดอาหาร ดังนั้นจะเห็นว่าการสร้างเครื่องทอดสำหรับผู้ประกอบการเป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็น อีกทั้งยังลดต้นทุนการผลิต ประหยัดค่าแรงงานรวมทั้งค่าน้ำมัน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สามารถผลิตอาหารได้รวดเร็วมากขึ้น และยังเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อาหารทอดได้มาตรฐาน สุกเหลืองกรอบ นำมารับประทาน

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อพัฒนาระบบเครื่องทอดที่ควบคุมอุณหภูมิได้
3. เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

### แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยจำนวนมากที่พยายามศึกษาปัจจัยและสภาวะการผลิตเพื่อพัฒนาระบบเครื่องทอดให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารและโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การเพิ่มคุณภาพของการทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอด (Krengkrat, 2020) พบว่า เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันและสีของแคบหมูมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น จากการทดสอบการทำงานของเครื่องทอดด้วยการทอดซ้ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส จำนวน 40 ครั้ง (Tangsantaskul, 2011) ได้นำเสนอระบบทอดแบบพ่นฝอยเป็นนวัตกรรมที่ทันสมัยในการฉีดพ่นละอองน้ำมันร้อนที่มีแรงดันสูงลงในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทอด โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำมันทอดอย่างสม่ำเสมอเสมือนมีการทอดอยู่ตลอดเวลา จากงานวิจัยพบว่า การทอดแบบพ่นฝอยสามารถลดปริมาณการดูดซึมน้ำมันทอดในผลิตภัณฑ์อาหารได้มากกว่าร้อยละ 60 (Chongkol, 2018) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดหอมเจียวให้มีคุณภาพเพื่อลดการใช้แรงงานและลด

ต้นทุนในการทอดหอมเจียว สำหรับใช้ในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม พบว่า เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิในการทอด 170 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบของใบกวน 45 รอบต่อนาที มีความสามารถในการทอดหอมเจียว 3 กิโลกรัมด้วยเวลา 28.4 นาที สามารถใช้น้ำมันทอดซ้ำได้ถึง 6 ครั้ง นักวิจัยบางกลุ่ม (Siriwongwilachit, 2019) พยายามศึกษาอัตราการขยายตัวและความแข็งต่อเนื้อสัมผัส เพื่อสร้างความสัมพันธ์และสามารถนำไปสู่รูปแบบการทอด จะเห็นว่าโรงงานอุตสาหกรรมอาหารพยายามออกแบบและพัฒนาเครื่องทอด เพื่อให้ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และแม่นยำขึ้น ป้องกันอาหารไหม้ มีระบบกรองน้ำมันอัตโนมัติ ทำให้น้ำมันทอดอยู่ได้นานขึ้นโดยไม่ต้องเปลี่ยนบ่อย อีกทั้งมีระบบหมุนเวียนน้ำมันเพื่อช่วยให้ น้ำมันร้อนทั่วถึง ทอดอาหารได้สม่ำเสมอ สิ่งที่ต้องคำนึงมากที่สุด คือ มีระบบล้างทำความสะอาดอัตโนมัติ ทำความสะอาดเครื่องทอดได้ง่าย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำงานวิจัยข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทอดแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เพื่อให้กระบวนการทอดมีคุณภาพ อำนวยความสะดวก มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ได้การออกแบบโครงสร้างการทำงานของเครื่องทอดที่สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิรวมทั้งการไหลเวียนของน้ำมันได้อัตโนมัติ โดยเริ่มจากออกแบบการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และตัวโครงสร้างให้ตอบรับกับผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดลองการทำงานของเครื่อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์อาหาร คือ ทอดมัน เนื่องจากเป็นอาหารที่มีรสชาติอร่อย รับประทานง่าย และได้รับความนิยมในการบริโภค แต่การทอดส่วนใหญ่ยังขาดส่วนสำคัญของการทอดทอดมัน อาทิ การรักษาอุณหภูมิของน้ำมันในการทอด รูปทรง และขนาดของทอดมันที่ยังมีขนาดแตกต่างกัน และปัญหาต่าง ๆ ในการทอดที่ยังไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติที่ช่วยให้การทอดให้ได้มาตรฐานสูงสุด ด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิและการไหลเวียนของน้ำมันที่แม่นยำ ทำให้ทอดมันทุกชิ้นมีความกรอบนอกนุ่มในเหมือนกันทุกครั้ง นอกจากนี้ยังสามารถผลิตทอดมันได้หลากหลายรูปแบบ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และตอบสนองความต้องการของตลาดได้

อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น การทำงานของเครื่องง่ายและรวดเร็วสามารถทำได้ในปริมาณที่มาก และมีการเปลี่ยนรูปแบบแม่พิมพ์ได้ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทอดที่มีประสิทธิภาพ โดยแผนการดำเนินการ ข้อมูลเชิงเทคนิค รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วย (1) กำหนดค่าเบื้องต้นของระบบการทอด (define system configuration) (2) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทอด (design and development of semi-automatic frying machine) และ (3) ผลการทดลอง (experiment results) ขั้นตอนการพัฒนาทั้ง 3 ส่วน ดังแสดงในภาพ 1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความกรอบนอกนุ่มในเหมือนกันทุกครั้ง นอกจากนี้ยังสามารถผลิตทอดมันได้หลากหลายรูปแบบ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และตอบสนองความต้องการของตลาดได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น การทำงานของเครื่องง่ายและรวดเร็วสามารถทำได้ในปริมาณที่มาก และมีการเปลี่ยนรูปแบบแม่พิมพ์ได้ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทอดที่มีประสิทธิภาพ โดยแผนการดำเนินการ ข้อมูลเชิงเทคนิค รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วย (1) กำหนดค่าเบื้องต้นของระบบการทอด (define system configuration) (2) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทอด (design and development of semi-automatic frying machine) และ (3) ผลการทดลอง (experiment results) ขั้นตอนการพัฒนาทั้ง 3 ส่วน ดังแสดงในภาพ 1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### กำหนดค่าเบื้องต้นของระบบการทอด

ระบบการทอดอาหารในการทดลองนี้เป็นระบบทอดที่มีการให้ความร้อนโดยตรงแบบต่อเนื่อง และเลือกใช้แหล่งความร้อนในรูปแบบเตาอินดักชัน (induction cooker) ทำงานด้วยการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่ก้นหม้อโดยตรง ทำให้เกิดความสูญเสียความร้อนน้อยกว่าเตาแก๊ส และนอกจากนั้นเตาอินดักชันสามารถปรับอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ ทำให้เป็นทางเลือกที่เหมาะสมกับการควบคุมอุณหภูมิที่มีความละเอียด ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบการทอดมี ดังนี้

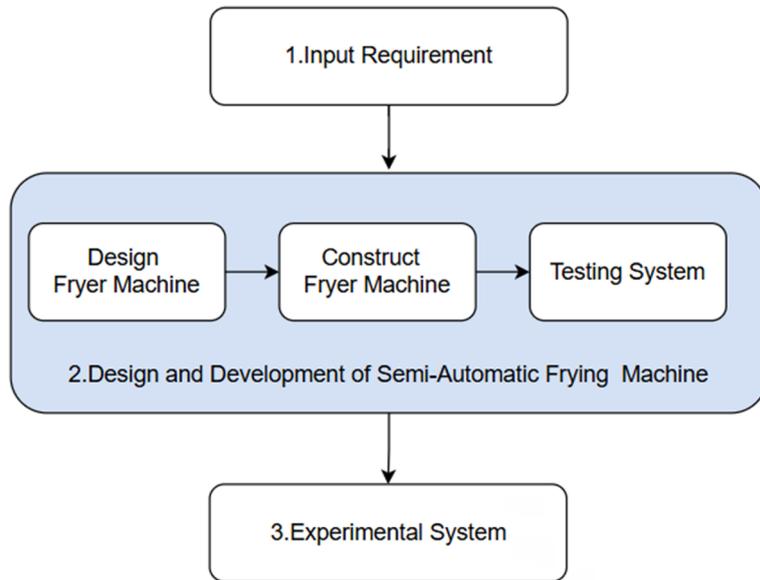
1. ควบคุมแหล่งให้พลังงานความร้อน อุณหภูมิ สำหรับการทอดเป็นสิ่งที่ต้องควบคุม (Pedreschi, 2005;

Capar, 2017) เนื่องจากมีผลต่อคุณภาพของอาหาร เพราะการทอดที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้อาหารมีการดูดซับน้ำมันเพิ่ม และถ้ามีการใช้อุณหภูมิที่สูงจนเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งและสีเปลี่ยนนอกเปลี่ยนไป อาจจะไม่สุก รวมทั้งรสชาติของอาหารไม่ดีเท่าที่ควร (Kita & Lisińska, 2007) โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการทอดจะอยู่ระหว่าง 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส โดยจะขึ้นอยู่กับอาหารที่นำมาทอด

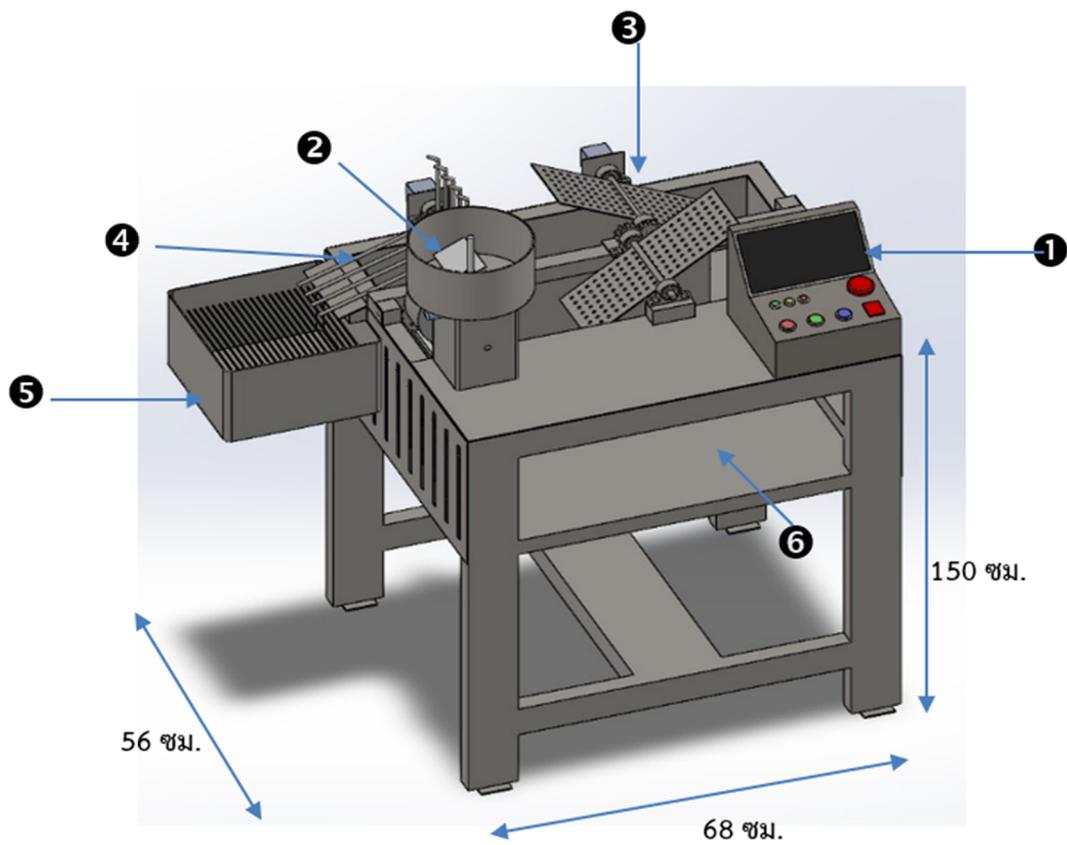
2. กำหนดระยะเวลาทอด จะสัมพันธ์กันกับอุณหภูมิและประเภท รวมทั้งขนาดของอาหารที่นำมาทอด สิ่งที่สำคัญ คือ รูปลักษณะอาหารที่มีผลต่อระยะเวลาในการทอดเช่นกัน ถ้ามีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงจะมีแนวโน้มดูดซับน้ำมันได้มากกว่าอาหารที่มีพื้นที่ผิวปริมาตรน้อย ซึ่งจะมีผลต่อการพองและความพรุนของอาหาร

3. กำหนดสูตรมาตรฐานของทอดมัน 1,000 กรัม มีส่วนผสม ดังแสดงในตาราง 1 เป็นทอดมันที่ได้คัดเลือกแล้วว่า มีความเหนียวของเนื้อทอดมันกำลังดี คือ ไม่เหนียวหรือว่าและจนเกินไป เพราะถ้าเหนียวทำให้อาหารติดกับแม่พิมพ์ และถ้าเนื้อละเอียดเกินไปทำให้อาหารไม่จับตัวเป็นรูปทรงที่ต้องการ

4. กำหนดประเภทน้ำมันและปริมาณน้ำมันสำหรับทอด เนื่องจากน้ำมันแต่ละประเภทจะมีจุดเกิดควัน (smoke point) ในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกประเภทน้ำมันในการทดลองนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเลือกจากระดับอุณหภูมิที่สูง ที่ทำให้น้ำมันเริ่มกลายเป็นควัน คือ น้ำมันปาล์ม เพราะมีจุดเกิดควันสูง จำนวน 10 ลิตร เหมาะสำหรับการทอดอาหารที่ต้องใช้ความร้อนสูง โดยไม่ทำให้น้ำมันไหม้หรือมีกลิ่นเหม็น ปริมาณน้ำมันสำหรับการทอด ใช้น้ำมันครึ่งหนึ่งของหม้อทอดประมาณ 10 ลิตร เป็นปริมาณที่น้ำมันไม่กระเด็นขณะที่เปิดเคลื่อนที่และเปิดทอดสามารถเคลื่อนตัวได้ดี



ภาพ 1 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ



ภาพ 2 โครงสร้างต้นแบบเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ

## ตาราง 1

### สูตรมาตรฐานของทอดมันปลา

วัตถุดิบ	ร้อยละ
เนื้อปลากราย	65
พริกแกง	10
ถั่วฝักยาว	15
เครื่องปรุงอื่น ๆ	10
รวม	100

### การพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ



ภาพ 3 การประกอบและการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ

วัสดุที่ใช้สำหรับการพัฒนาเครื่องทอด และอุปกรณ์ เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) เป็นแผ่น Metal Sheet แบบ SUS304 ขึ้นรูปโดยการพับและการเจาะยึด ด้วยสกรู ตัวโครงเครื่องทอดมีลักษณะแนวตั้ง ประกอบด้วย เต้าอีนดักชั้น จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 2,200 วัตต์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการทอด ตัวหม้อทอด ตั้งอยู่ด้านบนของตัวเครื่องด้วยการนำไมโครคอนโทรเลอร์ อย่างบอร์ด Arduino มาช่วยในการควบคุมและแสดงผล ใช้เซนเซอร์ RTD PT100 สำหรับการวัดอุณหภูมิของน้ำมัน ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม และมีการใช้ มอเตอร์สเตปขนาด 24 โวลต์ สำหรับควบคุมชุดอัดทอดมัน ลงตัวบล็อก และควบคุมใบพัดพลิกตัวทอดมัน ซึ่งติดตั้งอยู่ บริเวณกลางหม้อทอด ใต้หม้อทอดจะมีเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อ

ใช้เป็นฐานวางเต้าอีนดักชั้น โดยเมื่อวางเต้าอีนดักชั้นลงแล้ว หน้าเต้าจะอยู่ห่างจากก้นหม้อทอดไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ซึ่งทำหน้าที่ให้ความร้อนกับน้ำมันในหม้อทอดได้เร็วขึ้น และทั่วถึงจากด้านล่างตัวเครื่อง และได้ว่าจะมีหัวคั่นโยก สำหรับปล่อยน้ำมันทอดที่ทอดแล้วออกมา สำหรับการ พัฒนาได้มีการปรับและแก้ไขรวมทั้งทำการทดลองควบคุม กันไปเพื่อให้มีความเหมาะสม จึงทำให้การติดตั้งเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ ชั่วคราวเพื่อทำการติดตั้งและทดลอง การทำงานจนเสร็จสมบูรณ์ตามกระบวนการแล้วจึงจัดวาง ในตำแหน่งที่เหมาะสมต่อไป

โครงสร้างของการพัฒนาหม้อทอด ดังแสดงใน ภาพ 2 เบื้องต้นโครงสร้างหม้อทอดมีลักษณะทรงสี่เหลี่ยม พื้นผ้า ขนาดกว้าง 56 เซนติเมตร ยาว 68 เซนติเมตร และ

ความสูงจากฐานล้อจนถึงด้ามจับ 151 เซนติเมตร การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ มีส่วนประกอบหลักของเครื่อง ประกอบด้วย หมายเลข 1 ชุดคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ควบคุมเครื่อง ทอดกึ่งอัตโนมัติ หมายเลข 2 หม้อแลกเปลี่ยนทอดมัน ทำหน้าที่บรรจุทอดมันแล้วอัดลงสู่บล็อกทอดมัน หมายเลข 3 ชุดอัดทอดมันลงบล็อก ทำหน้าที่นำทอดมันจากการอัดลงสู่กระทะทอด หมายเลข 4 ใบพัดพลิกตัวทอดมัน ทำหน้าที่พลิกตัวทอดมัน หมายเลข 5 กังหันลำเลียงทอดมัน ทำหน้าที่นำตัวขึ้นทอดมันที่ทำการทอดจนสุกแล้วขึ้นไปพักยังจุดพักตัวขึ้นทอดมัน และหมายเลข 6 ถาดพักทอดมันไว้สักครู่ เพื่อให้น้ำมันสะเด็ดลงไปให้หมด เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนทำการเสิร์ฟให้กับผู้บริโภค จากภาพ 3 ได้ทำการประกอบและติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ และได้ทำการทดลองความต่อเนื่องของอุปกรณ์เบื้องต้น

วัสดุุดิบและอุปกรณ์ในการทดลอง

- เนื้อทอดมัน จำนวน 2 กิโลกรัม
- น้ำมันปาล์ม จำนวน 10 ลิตร
- เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ
- นาฬิกาจับเวลา Oppo band
- เครื่องตรวจจับอุณหภูมิ

### วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

โดยทั่วไปการตัดสินใจการลงทุน เพื่อสร้างเครื่องจักรที่เป็นสินทรัพย์ ควรมีการวางแผนทางการเงินเพื่อประมาณต้นทุนเริ่มต้น ต้นทุนการดำเนินงาน และต้นทุนทางการเงินในปัจจุบันจะมีมูลค่าเท่าใดในอนาคต โดยอิงจากอัตราดอกเบี้ยที่คาดหวัง และประมาณการรายได้ที่จะได้รับจากการใช้เครื่องทอดใหม่ (Sarker, 1994) ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบข้อแตกต่าง สำหรับการสร้างเครื่องทอดกับการใช้การทอดแบบเดิม คือ การทอดด้วยเตาทอดปกติ เพื่อหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน ด้วยอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 1.8 ต่อปี (อัตราธนาคารแห่งประเทศไทย) และเปรียบเทียบกับมูลค่าเงินในอนาคต คือ มูลค่าของเงินที่ได้รับ ณ วันครบกำหนดในอนาคต ว่าเงินที่ได้ลงทุน หรือเงินฝากมีมูลค่าเท่าใดในอนาคต ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ตามระยะเวลาหรืออัตราผลตอบแทน เป็นหนึ่งในสูตรคำนวณทางการเงินที่จะช่วยให้ประเมินหามูลค่าในอนาคตได้อย่างง่าย สามารถคำนวณดังสมการ ดังนี้

$$\text{ผลรวมของเงินในอนาคต} = -\text{ราคาเครื่อง}-\text{ค่าบำรุงรักษาต่อปี} * \left(\frac{P}{A}, i, n\right) + \text{มูลค่าซาก} * \left(\frac{P}{FV}, i, n\right) \quad (1)$$

โดยกำหนดให้  $P$  แทนมูลค่าหรือผลรวมของเงินในช่วงเวลาที่กำหนดให้เป็นปัจจุบัน หรือที่เวลา  $t = 0$   $FV$  แทนมูลค่าเงินในอนาคต หรือผลรวมของเงินในอนาคต (future value) และ  $A$  แทน มูลค่าของเงินรายเดือนหรือรายปี ที่มีค่าสม่ำเสมอเท่ากัน ค่า  $i$  แทน อัตราดอกเบี้ย หรืออัตราดอกเบี้ยต่อช่วงเวลา หน่วย ร้อยละต่อปี โดย  $n$  แทน จำนวนช่วงเวลาสำหรับการวิเคราะห์ หน่วย ปี เดือน หรือวัน

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมของเงินในอนาคตด้วยการทอดแบบเดิม} \\ &= -5,321.39 - 10,200 * (7.926) + 2,500 * (0.8715) \\ &= -84,090.84 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมของเงินในอนาคตด้วยเครื่องทอด} \\ &= -35,000 - 500 * (9.0889) + 10,000 * (0.8356) \\ &= -31,188.45 \text{ บาท} \end{aligned}$$

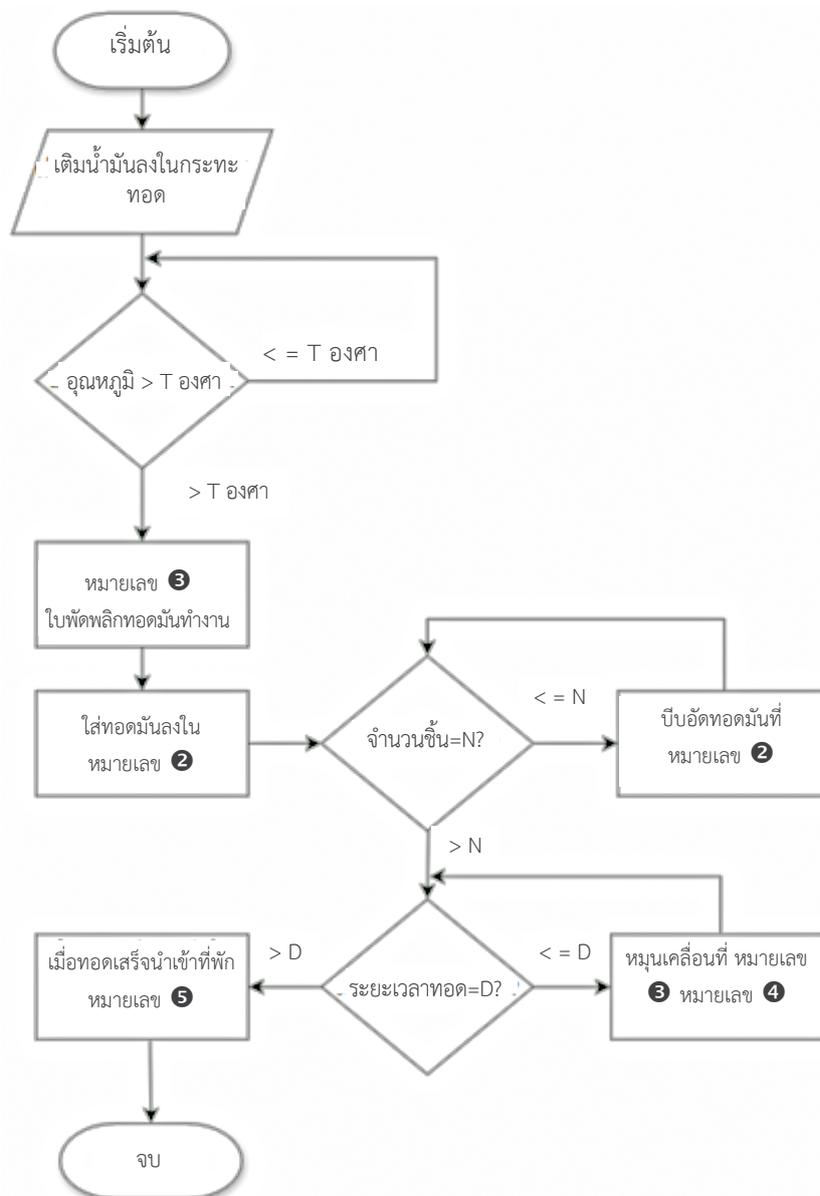
จากตาราง 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตามหลักทางเศรษฐศาสตร์ของการทอดรูปแบบเดิมกับการสร้างเครื่องทอดที่มีความคุ้มทุนหรือไม่ โดยวิเคราะห์จากผลรวมของเงินในอนาคต จากการคำนวณการทอดแบบเดิม มีอายุการใช้งาน 8 ปี เมื่อครบอายุการใช้งานมูลค่าของการทอดแบบเดิมจะมีมูลค่าอยู่ที่ -84,090.84 บาท ต่างจากการทอดด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ที่เมื่อครบอายุการใช้งาน 10 ปี มูลค่าของเครื่องในอนาคตจะมีมูลค่าอยู่ที่ -31,188.45 บาท จากการคำนวณจะเห็นว่าการสร้างเครื่องทอดแบบกึ่งอัตโนมัติมีความคุ้มทุนมากกว่าการทอดแบบเดิม ซึ่งจะมีการลงทุนที่คุ้มค่ามากกว่าถึง 52,902.39 บาท เนื่องจากค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของค่าบำรุงรักษา และค่าพลังงานต่อปี ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เกิดจากพลังงานหรือความร้อนที่ใช้ในการทอด รูปแบบเดิมใช้ความร้อนจากแก๊ส ความร้อนที่ได้จะกระจายตัวไปยังอุปกรณ์โดยรอบอย่างทั่วถึง ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทอดเสื่อมสภาพได้ง่าย อายุการใช้งานสั้นลง เครื่องทอด พลังงานหรือความร้อนที่ใช้ในการทอดได้รับจากเตาอินดักชั่น ทำให้ความร้อนไม่กระจายไปยังอุปกรณ์โดยรอบ อายุการใช้งานอุปกรณ์จึงใช้งานได้นานกว่ารูปแบบเดิม

จากตาราง 2 ราคาอุปกรณ์และเครื่องจักรของการทอดแบบเดิมจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติซึ่งประกอบไปด้วย กระทะ เต่าแก๊ส ถังแก๊ส และอุปกรณ์ช่วยทอด เป็นต้น ค่าบำรุงรักษาต่อปี เครื่องทอดแบบใหม่มีการดูแลรักษาเพียงชุดซีลตามจตุรรอยต่อ ต่างจากการทอดแบบเดิมที่มีค่าบำรุงรักษาต่อปีสูง เนื่องจากจะต้องมีการเติมแก๊สทุกอาทิตย์ (Thongprasertchai, 2023) และอุปกรณ์ในการทอดมีอายุการใช้งานที่จำกัด ในด้านของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเตาอินดักชัน ที่มีกำลัง 2,200 วัตต์ มีอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 8.8 บาทต่อชั่วโมงต่อเครื่องเท่านั้น (Metropolitan Electricity Authority, Provincial Electricity Authority, 2021)

ตาราง 2

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการทอดแบบเดิมและเครื่องทอด

วัตถุดิบ	การทอดแบบเดิม (บาท)	เครื่องทอด (บาท)
ราคาอุปกรณ์และเครื่องจักร	5,321.39	35,000
ค่าบำรุงรักษาต่อปี	10,200	500
มูลค่าซาก	2,500	10,000
อายุ (ปี)	8	10



ภาพ 4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ

มูลค่าซากที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติวัสดุที่สร้าง คือ เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ทำให้ราคาซื้อสูง (Recyclenow Team, 2018) นอกจากนี้การซื้อเครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานต่างกัน จำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง รวมถึงต้นทุนโอกาสและผลตอบแทนที่ได้จากการใช้งาน เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงมีการคำนวณต้นทุนทั้งหมด หรือ ต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งาน (Total Cost of Ownership: TCO) มีสมการดังต่อไปนี้

$$TCO = \text{ราคาซื้อ} + \frac{\text{ต้นทุนดำเนินงาน} - \text{มูลค่าซาก}}{(1+r)^n} \quad (2)$$

และเปรียบเทียบต้นทุนรายปี หรือต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่า (Equivalent Annual Cost: EAC) (Siri, 2015) จากสมการ

$$EAC = \frac{TCO \times r}{1 - (1+r)^{-n}} \quad (3)$$

เมื่อนำค่าจากตาราง 2 และกำหนดอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 6.5 % (ค่าเฉลี่ยอัตราดอกเบี้ยธนาคารแห่งประเทศไทย) ผลการคำนวณค่า *TCO* และ *EAC* สำหรับการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าความต่างของการทอดแบบเดิมและเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ มีดังนี้

การทอดแบบเดิม: ได้ค่า *TCO* เป็น 65,916.07 บาท และมีค่า *EAC* เป็น 10,825.88 บาท

เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ: ได้ค่า *TCO* เป็น 33,267.15 บาท และมีค่า *EAC* เป็น 4,627.62 บาท

เปรียบเทียบจากผลลัพธ์ เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติมี *EAC* ต่ำกว่า (4,627.62 บาท/ปี) เมื่อเทียบกับการทอดแบบเดิม (10,825.88 บาท/ปี) ซึ่งหมายความว่าการลงทุนในเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติเป็นตัวเลือกที่คุ้มทุนมากกว่าในระยะยาว แม้ต้นทุนเริ่มต้นจะสูงกว่า แต่ค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่า

### การทำงานของเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ

การทำงานของเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ เริ่มจากการให้ความร้อนผ่านเตาอินดักชันจำนวน 2 เครื่อง เริ่มต้น เติมน้ำมัน

ลงในกระทะ จากนั้นกดปุ่มเลือกจำนวนชิ้น (N) ที่ต้องการ เครื่องตรวจจับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จากภาพ 4 กำหนดให้ค่าอุณหภูมิ (T) มีค่าเป็น 100 องศาเซลเซียส เครื่องทำการส่งคำสั่งไปที่ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านไปยังชุดอัดทอดมันลงบล็อก และใบพัดด้านในหม้อใส่ทอดมันจะหมุนกวาดทอดมัน เพื่อให้ทอดมันอัดลงไปยังบล็อก เพื่อบีบอัดขึ้นรูปตามจำนวนชิ้นที่กำหนดไว้ (N) ชุดบล็อกทำการหมุน 1 รอบใช้ระยะเวลาประมาณ 15 วินาที แล้วรอเวลาที่ทอดมันลอยขึ้น ซึ่งตัวทอดมันจะค่อย ๆ เคลื่อนที่ออกตามแรงใบพัด แล้วทำซ้ำกระบวนการ เมื่อลอยไปถึงชุดตัก จะตักตามที่ระยะเวลาที่กำหนดไว้ (D) โดยเริ่มนับเวลาจากชิ้นที่ตกลงกระทะ ดังแสดงขั้นตอนการทำงานในภาพ 4

### การวิเคราะห์ด้วยการวัดค่าของสี

ผลที่ได้จากการทอดมีความแตกต่างทั้งด้านรสชาติและความอ่อนแข็งซึ่งโดยทั่วไป จะเป็นการเปรียบเทียบในเชิงค่าของสีสามารถวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดสีอัตโนมัติ (Lovibond RT Series Reflectance Tintometer Lovibond Amesbury UK) (Capar, 2017; Tan, 1985) การวัดค่าของสีและจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าซ้ำ 5 ครั้ง สำหรับการทดลองนี้ได้มีการเปรียบเทียบค่าของสีในเชิงการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย (image processing) เพื่อเป็นการบอกความสุกดิบของเนื้อทอดมัน ในรูปแบบ RGBA (Red: สีแดง Green: สีเขียว Blue: สีน้ำเงิน Alpha: อัลฟา) เป็นค่าตัวเลขแทนค่าสี (Lilley, 1993; David, 1991) หรือเรียกว่าค่าความเข้มของสีแดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) และความโปร่งใสของสี (A)

### ผลการทดลอง

การวัดและประเมินผลการทำงานเป็นขั้นตอนสุดท้าย เพื่อทำการตรวจสอบการทำงานของเครื่องว่ามีประสิทธิภาพมากหรือน้อยเพียงใดเมื่อนำมาใช้ใช้งานจริงสำหรับเนื้อทอดมันและน้ำมันที่นำมาใช้ถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการทดลองส่งการทำงานทั้งหมดของเครื่อง เริ่มจากการกดปุ่มเปิดแผงควบคุมการทำงานที่ออกแบบพิเศษให้เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยจะมีไฟสีแดงขึ้นมาแสดงสถานะ

เครื่องพร้อมเริ่มใช้งาน ในขั้นตอนแรกเทน้ำมันปาล์มลงหม้อทอด หลังจากนั้นปรับอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ เมื่อปรับอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ แล้วรอให้อุณหภูมิเหมาะสมจึงเริ่มใส่เนื้อทอดมันลงไป เพื่อรออัดลงบล็อกพอน้ำมันร้อนได้ที่ตามต้องการจึงเปิดชุดใบพัดกวน เพื่อให้ใบพัดกวนหมุนไปหน้าและหมุนกลับ กำหนดระยะเวลาและอุณหภูมิ เมื่อถึงเวลาที่กำหนด ตัวชิ้นทอดมันจะเคลื่อนไปยังตะแกรง ถาดพักทอดตามทาง แล้วยกขึ้นตะแกรงพัก ได้ทดสอบการทำงานหม้อทอด 2 ชุดการทดลอง ด้วยอุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 100 160 และ 180 องศาเซลเซียส โดยมีการวัด

ค่าผลทอดมันด้วยสีในรูปแบบ RGBA (Red: สีแดง Green: สีเขียว Blue: สีน้ำเงิน Alpha: อัลฟา) เป็นค่าตัวเลขแทนค่าสี (Lilley, 1993; David, 1991) หรือเรียกว่าค่าความเข้มของสีแดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) และความโปร่งใสของสี (A) โดยที่ R=255 แทนสีแดงสว่าง rgba (255 0 0 100) G=255 แทนสีเขียวสว่าง rgba (0 255 0 100) B=255 แทนสีน้ำเงินสว่าง rgba (0 0 255 100) A=0 แทนสีขาว A=255 แทนสีดำ

#### ตาราง 4

แสดงผลการทอดด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ชุดทดลองที่ 1

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ค่าสี RGBA ของทอดมัน
100	1	50	rgba(232,189,148,255)
	2	53	rgba(214,153,77,255)
	3	55	rgba(191,120,33,255)
	4	59	rgba(202,130,44,255)
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>54.25</b>	<b>rgba(209.75,148,75.5,255)</b>
160	1	30	rgba(140,71,1,255)
	2	33	rgba(148,84,28,255)
	3	35	rgba(159,114,73,255)
	4	37	rgba(133,72,20,255)
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>33.75</b>	<b>rgba(145,85.25,30.5,255)</b>
180	1	24	rgba(108,62,2,255)
	2	26	rgba(83,35,0,255)
	3	21	rgba(124,81,34,255)
	4	23	rgba(114,71,20,255)
<b>ค่าเฉลี่ย</b>		<b>23.5</b>	<b>rgba(107.25,62.25,14,255)</b>



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพ 5 ภาพตัวอย่างทอดมันผ่านกระบวนการทอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติชุดที่ 1 (ก) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ข) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ค) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

สำหรับชุดการทดลองที่ 1 แสดงผลการทดลองในตาราง 4 แสดงตัวอย่างภาพทอดมันที่ผ่านการทอดซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ละเอียดสามารถเปรียบเทียบสีของวัตถุได้อย่างแม่นยำ จึงนำมาใช้วิเคราะห์ความแตกต่างของสีทอดมันที่ผ่านการทอด ดังแสดงผลการทดลองในตาราง 4 โดยจากเวลาที่ใช้ในการจับเป็นวินาทีหลังจากเตามีความร้อนประมาณ 100 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ดังแสดงภาพตัวอย่างการทอดชุดที่ 1 ในภาพ 5 (ก) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สีของทอดมันที่วัดได้มีค่าเป็น rgba (171 96 7 255) ภาพ 5 (ข) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สีของทอดมันมีค่าเป็น rgba (133 72 20 255) ภาพ 5 (ค) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส สีของทอดมันมีค่าเป็น rgba (108 62 2 255) สำหรับผลการทดลองจะเห็นว่าหลังจากอุณหภูมิที่ตั้งไว้ใช้ระยะเวลาในการทอดอีกเพียงไม่ถึงนาทีที่ตัวทอดมันก็จะเริ่มสุกและมีสีที่เหมาะสม แต่ในขณะที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสอาจจะมีสีที่เข้มกว่าและค่อนข้างแห้งเกินไป

สำหรับชุดการทดลองที่ 2 แสดงผลการทดลองในตาราง 5 แสดงตัวอย่างภาพทอดมันที่ผ่านการทอดด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ภาพ 6 ก แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สีของทอดมันที่วัดได้มีค่าเป็น rgba (171 96 7 255) ภาพ 6 ข แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สีของทอดมันมีค่าเป็น rgba (142 89 27 255) ภาพ 6 ค แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส สีของทอดมันมีค่าเป็น rgba (107 52 32 255) จะเห็นว่า เครื่องทอดมันสามารถใช้ระยะเวลาในการทอดได้ใกล้เคียงกับการทอดในชุดที่ 1 คือ 54.25 วินาที และ 54 วินาที ด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สำหรับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนระยะเวลา 33.75 วินาที และ 33.5 วินาที ด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สำหรับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนระยะเวลา 23.5 วินาที และ 24.25 วินาที ด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งผลของทอดมันที่ได้มีลักษณะสีที่ไม่เข้มและไม่แข็งจนเกินไป นุ่มด้านใน คือ ใช้ระยะเวลาเพียง 33.5 วินาทีเท่านั้น ด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

ตาราง 5

แสดงผลการทอดด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ชุดทดลองที่ 2

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ค่าสี RGBA ของทอดมัน
100	1	58	rgba(171,96,7,255)
	2	55	rgba(193,126,56,255)
	3	50	rgba(171,96,7,255)
	4	53	rgba(204, 144, 88,255)
ค่าเฉลี่ย		54	rgba(184.75,115.5,39.5,255)
160	1	35	rgba(142,89,27,255)
	2	30	rgba(168,115,62,255)
	3	33	rgba(150,86,26,255)
	4	36	rgba(139,61,0,255)
ค่าเฉลี่ย		33.5	rgba(149.75,87.75,28.75,255)
180	1	20	rgba(94,50,28,255)
	2	22	rgba(70,19,5,255)
	3	29	rgba(111,51,12,255)
	4	26	rgba(107,52,32,255)
ค่าเฉลี่ย		24.25	rgba(209.75,148,75.5,255)



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพ 6 ภาพตัวอย่างทอดมันผ่านกระบวนการทอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติชุดที่ 2 (ก) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ข) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ค) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

## สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบการหาค่าอุณหภูมิที่มีเหมาะสมในการใช้งานเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ คือ เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในกระบวนการปฏิบัติงานในอุตสาหกรรม ด้วยการทำงานที่รวดเร็วและลดการพึ่งพาแรงงานคนในกระบวนการทอดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน โดยที่เครื่องทอดแบบกึ่งอัตโนมัติมีความคุ้มค่ามากกว่าการทอดแบบเดิมมากถึง 52,902.39 บาท จากการหาค่าในอนาคต เปรียบเทียบต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งาน (TCO) และต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่า (EAC) พบว่า เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติมี EAC ต่ำกว่า (4,627.62 บาท/ปี) เมื่อเทียบกับเครื่องทอดแบบเดิม (10,825.88 บาท/ปี) ซึ่งหมายความว่า การลงทุนในเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติเป็นตัวเลือกที่คุ้มค่ามากกว่าในระยะยาว แม้ต้นทุนเริ่มต้นจะสูงกว่า แต่ค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่า และยังพบว่า ผลจากการทดลองที่มีการกำหนดอุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่อความเข้มของสีทอดมัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่เพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทอดจะลดลงจากเดิมแต่มีข้อจำกัดของเตาอินดักชัน คือ เมื่อ

ทำความร้อนถึงระดับหนึ่งเตาอินดักชันระบบจะทำการตัดการทำงานมีผลให้ต้องใช้เวลาในการทำอุณหภูมิ และสีของน้ำมันจะเข้มขึ้น ซึ่งในความเข้มของสี หมายความว่า ยิ่งสีของทอดมันมีความเข้มของสีมากมีค่าเฉลี่ยของสี (ชุดการทดลองที่ 2) อยู่ที่ rgba (209.75 148 75 5 255) อาจจะทำให้ตัวทอดมันมีโอกาสไหม้ได้ จากค่าความเข้มของสีที่ได้จากการทดสอบ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทอด คือ 160 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทอด ประมาณ 33.5 วินาทีต่อชิ้น ซึ่งทำให้สามารถกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ทอดมันไม่แข็งจนเกินไป นุ่มด้านใน และใน 1 นาทีจะมีทอดมันลงสู่เตาทอดจำนวน 4 ชิ้น จะมีทอดมันลงสู่เตาทอดจำนวน 4 ชิ้น มีค่าเฉลี่ยของสี (ชุดการทดลองที่ 2) อยู่ที่ rgba (149.75 87 75 28.75 255)

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ อาจารย์วุฒิชัย บุษย์ ที่เป็นผู้ให้คำแนะนำและการพัฒนาออกแบบเครื่องต้นแบบและกลุ่มนักศึกษาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ที่ช่วยทำการทดลอง ให้งานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



## References

- Capar, T. D., & Yalcin, H. (2017). Effects of pre-drying on the quality of frying oil and potato slices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 9(3), 255–264. <https://doi.org/10.3920/QAS2015.0691>
- Chongkol, S., Chaowarit, I., & Sirichai, T. (2017). Design and development of Shallot frying machine. *Frontiers in Engineering Innovation Research*, 15(2), 51–57. retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt/article/view/241990> (in Thai)
- Commercial Banks. Bank of Thailand. (2024). *Daily interest rates of Commercial Banks. Bank of Thailand*. Retrieved from <https://www.bot.or.th/en/statistics/interest-rate.html> (in Thai)
- Thongprasertchai Co., Ltd. (2023). *Evaporation rate of LPG cooking gas*. Retrieved from <https://www.tpsc.co.th> (in Thai)
- Kita, A., Lisińska, G., & Gołubowska, G. (2007). The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry*, 102(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.038>

- Krengkrat, P., & Sriwattana, P. D. S. (2020). Optimum puffing condition of reduced fat pork rind using microwave vacuum oven. *Science Essence Journal*, 36(2), 71–89. Retrieved from <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/sej/article/view/12438> (in Thai)
- Metropolitan Electricity Authority, Provincial Electricity Authority. (2021). *How can I calculate my electricity bill myself?*. Retrieved from <https://www.pea.co.th> (in Thai)
- Pedreschi, F., & Moyano, P. (2005). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT - Food Science and Technology*, 38(6), 599–604. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.008>
- Recyclenow Team. (2018). *Metal purchase price*. Retrieved from <https://www.recyclenow.in.th> (in Thai)
- Saguy, S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep-fat frying: Engineering, nutrition, health, and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56(2–3), 143–152. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00243-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00243-1)
- Sarker, B. R., & Pan, H. (1994). Effects of inflation and the time value of money on order quantity and allowable shortage. *International Journal of Production Economics*, 34(1), 65–72. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)90047-7)
- Siri, P. (2015). The financial analysis of worthiness in investing on bag-making machine: A case study of Siam City Cement Public Company Limited. *Business and Management Innovation Conference at the National and International Levels* (pp. 1763–1768). Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University (in Thai)
- Siriwongwilaichat, P. (2019). The effect of pre-frying treatments and frying methods on textural and sensory properties of crispy fried dehusked mung bean. *Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology*, 11(21), 141–152. retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/swujournal/article/view/200234> (in Thai)
- Tan, Y., Ong, S., Berger, K., Oon, H., & Poh, B. (1985). A study of the cause of rapid color development of heated refined palm oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 62(5), 999–1006. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02935701>
- Tangsantaskul, J. (2011). *The study of processing factors and conditions for the development of spray frying system*. Bangkok: Silpakorn University, Bangkok. (in Thai)



# การพัฒนาาระบบติดตามสถานะสินค้าในกระบวนการขนส่ง จากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สู่คลังสินค้า

## Product Tracking System Development for Transportation Process from Automobile Parts Factory to The Warehouse

วิมุตติพันธ์ พลมัน<sup>1</sup> และบัญชา วัฒนนะ<sup>2\*</sup>

Wimuttiphun Ponmun<sup>1</sup> and Buncha Wattana<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

<sup>1</sup>Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University,

<sup>2</sup>หน่วยวิจัยวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

<sup>2</sup>Electrical and Computer Engineering Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasarakham University

\*Corresponding author: buncha.w@msu.ac.th

Received: November 25, 2024

Revised: December 20, 2024

Accepted: December 26, 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลและติดตามสถานะการขนส่งสินค้า ที่ช่วยแก้ปัญหาทางด้านข้อมูลให้สามารถติดตามและสอบกลับสินค้าในกระบวนการได้ และ (2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพและข้อจำกัดของระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าที่ได้มีการพัฒนาขึ้น โดยมีการเก็บข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นจากกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากความเกี่ยวข้องกับกระบวนการและประสบการณ์ทำงาน ดำเนินการพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) พัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ด้วยสถาปัตยกรรมแบบ Single Page Application: SPA ร่วมกับสถาปัตยกรรมแบบ Serverless มีการทดสอบระบบด้วยการทดสอบฟังก์ชัน (functional test) เพื่อตรวจสอบความสามารถของระบบ และทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (performance test) โดยการทำให้ Load test Capacity test Stress test และ Availability test ซึ่งมีการประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ Throughput (req/sec) Response time (ms) Resource usage โดยนำมาวิเคราะห์หากรณีที่เลวร้ายที่สุดของระบบด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ผลการวิจัยพบว่า จากการทดสอบฟังก์ชันโดยประเมินความคาดหวังต่อระบบ 15 หัวข้อใน 7 ฟังก์ชัน ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตาม 15 หัวข้อประเมิน ซึ่งคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) จึงสามารถแก้ปัญหาทางด้านข้อมูล ติดตามและสอบกลับสินค้าในกระบวนการขนส่งได้จริง ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหาทางด้านข้อมูลในกระบวนการได้มากกว่า 36,521.22 บาทต่อปี และช่วยลดเวลาสินค้ารอคอยการขนส่งจากระบบเดิมลง 190.41 นาทีต่อรายการ หรือคิดเป็นร้อยละ 5.98 ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการดีขึ้น นอกจากนี้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้โหลดการทำงานปัจจุบัน จากการทดสอบประสิทธิภาพซึ่งรองรับการขยายขนาดของระบบได้ 800% ก่อนจะได้รับผลกระทบเรื่องประสิทธิภาพของระบบ

**คำสำคัญ:** การจัดการข้อมูล กระบวนการขนส่งสินค้า เว็บแอปพลิเคชัน ประสิทธิภาพของระบบ

## Abstract

This research aimed to develop a web application with the objectives of (1) designing and developing a system for recording and tracking the status of product shipments to address data-related issues, enabling tracking and traceability within the process, and (2) evaluating the system's performance and limitations. Data collection involved identifying issues from a purposively selected sample group based on relevance to the process and work experience. The system was developed following the Software Development Life Cycle (SDLC) as a Single Page Application (SPA) with a serverless architecture. Functional tests were conducted to verify system capabilities, while performance tests, including Load, Capacity, Stress, and Availability tests, were carried out to assess system performance across three metrics: Throughput (req/sec), Response Time (ms), and Resource Usage. Performance was analyzed under worst-case scenarios using the 90th and 95th percentiles. Results indicated that the system met the expectations in all 15 evaluation criteria across 7 functions, achieving 100% compliance, and demonstrated its effectiveness in resolving data management issues. The developed system reduced data-related costs by over 36,521.22 baht annually and minimized shipment waiting time by 190.41 minutes per shipment, equivalent to a 5.98% reduction. Furthermore, the system exhibited efficient performance under current loads, supporting scalability up to 800% before experiencing any performance degradation, thereby enhancing the overall efficiency of the shipment process.

**Keywords:** data management, transportation process, web application, system performance



## บทนำ

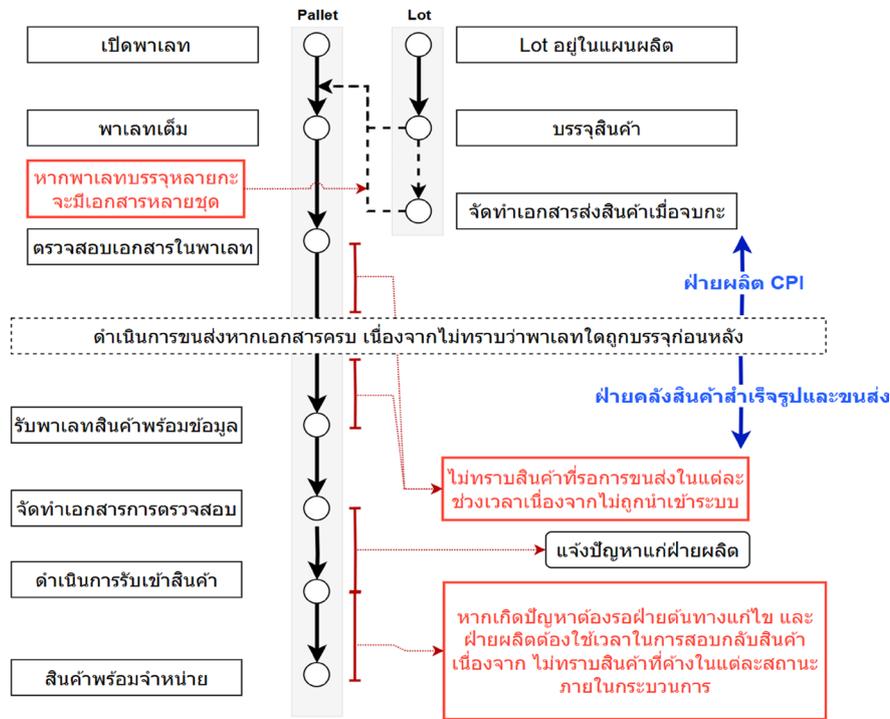
โลกในศตวรรษที่ 21 เกิดการเปลี่ยนแปลงจากศตวรรษก่อนหน้าเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม ซึ่งอดีตขับเคลื่อนด้วยมนุษย์เป็นหลักถูกแทนที่ด้วยการประยุกต์ใช้นวัตกรรมและข้อมูล (Phanthali, 2020) ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างองค์กรที่มีการประยุกต์และไม่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ดังนั้นองค์กรจึงต้องปรับตัวโดยการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ในธุรกิจ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในตลาด (Ferràs-Hernández et al., 2017) โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีการแข่งขันภายในตลาดรุนแรง การนำข้อมูลที่เกิดขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการทำงานเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันจึงเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งส่งผลต่อความอยู่รอดของธุรกิจ ในอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูง

จากการศึกษากระบวนการขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ พบว่ากระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

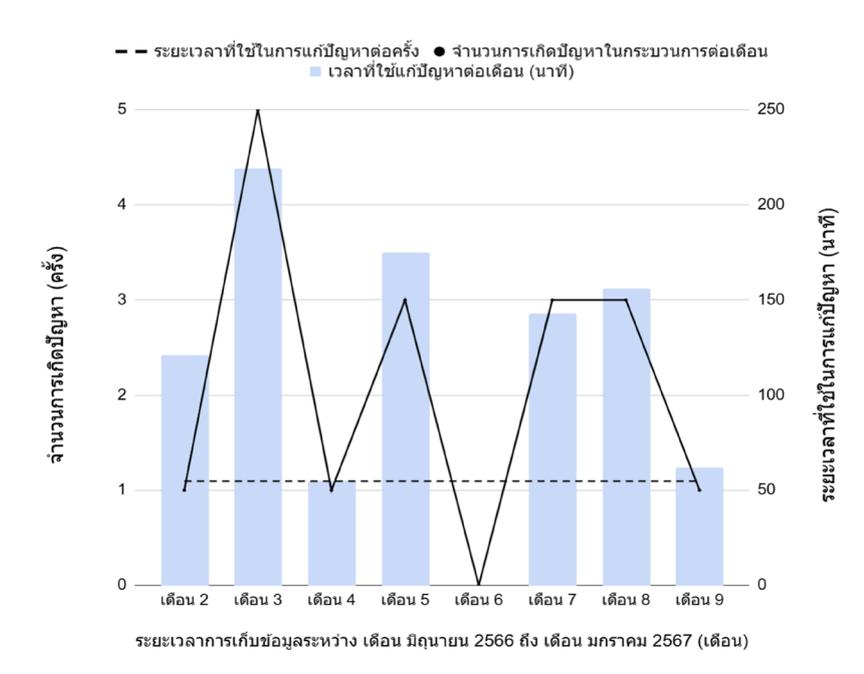
สู่คลังสินค้า ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างสองหน่วยงาน คือ ฝ่ายผลิต ทำหน้าที่ผลิตและขนส่งสินค้าเข้าสู่คลัง และฝ่ายคลังสินค้าทำหน้าที่ตรวจสอบรับเข้าและจัดเก็บสินค้าเพื่อการจำหน่าย พบปัญหาได้แก่ การไม่สามารถติดตามสินค้าในกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงได้ และการสอกลับสินค้าในกระบวนการทำได้ยาก จากการบันทึกข้อมูลในปัจจุบันไม่สอดคล้องกับการทำงานที่เกิดขึ้นจริง และมีเอกสารที่ใช้ในกระบวนการมากเกินไป ดังแสดงในภาพ 1 ซึ่งปัญหาข้างต้นมีต้นเหตุจากไม่มีการวางโครงสร้างในการสร้าง จัดเก็บ และจัดการข้อมูลระหว่างหน่วยงานอย่างเป็นระบบ ทำให้เกิดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลตามมา ซึ่งส่งผลถึงโอกาสเกิดความผิดพลาดในการขนส่งสินค้าจากข้อมูลที่ไม่เป็นระบบเพิ่มขึ้นสามารถสรุปจำนวนและเวลาที่ใช้ในการแก้ไขดังแสดงในภาพ 2 เมื่อเกิดปัญหาในกระบวนการขนส่งจะไม่สามารถรับเข้าสินค้าได้จนกว่าปัญหาจะถูกแก้ไข ซึ่งใช้เวลาในการแก้ไขเฉลี่ย 54.76 นาทีต่อปัญหา และเกิดปัญหาเฉลี่ย 2.1 ปัญหาต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนที่ใช้จัดการปัญหา 50,567.84 บาทต่อปี อีกทั้ง

ยังมีค่าเสียโอกาสจากสินค้าที่พร้อมจำหน่ายได้ช้าลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ของธุรกิจ และในอนาคตจำนวนและความหลากหลายของสินค้าที่ผ่านกระบวนการขนส่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดและมีต้นทุนใน

กระบวนการสูงขึ้นตามมา จึงต้องมีการจัดการกระบวนการและข้อมูลภายในกระบวนการขนส่งอย่างเป็นระบบ เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดเพิ่มขึ้นในอนาคตและลดต้นทุนดังกล่าว



ภาพ 1 กระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า



ภาพ 2 กราฟแสดงจำนวนการเกิดปัญหาและระยะเวลาการแก้ไขปัญหาในกระบวนการขนส่งสินค้า

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในปัจจุบันพบว่า มีหลายเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาและสร้างมาตรฐานในการจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบได้ เช่น ในงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบสื่อสารด้านโลจิสติกส์การผลิตด้วยยูทิลิตี้วีร์คสเปซ เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างหน่วยงานให้ทราบสถานะของสินค้า โดยมีกรอกและส่งข้อมูลผ่านยูทิลิตี้วีร์คสเปซ พบว่า ระบบช่วยในการสื่อสารข้อมูลระหว่างฝ่ายและบุคลากรที่เกี่ยวข้องมีระดับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด (Athikulrat et al., 2023) แต่มีข้อสังเกตที่ระบบอาจเกิดข้อผิดพลาดจากข้อมูลที่ไม่ถูกต้องถูกนำเข้าระบบ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ไม่สามารถกำหนดการตรวจสอบที่ซับซ้อนได้ นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบบริหารจัดการข้อมูลผู้ขาย กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อช่วยแก้ปัญหาในการบันทึกข้อมูล และบันทึกข้อมูลไว้อย่างเป็นระบบ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า ระบบที่พัฒนาในรูปแบบดังกล่าว มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องครบถ้วนสมบูรณ์ และผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานอยู่ในระดับดีมาก (Somsar, 2018) และงานวิจัยที่ทำการออกแบบระบบเก็บและประมวลผลข้อมูลลูกค้าที่ซื้อรถยนต์ใหม่ เพื่อแก้ปัญหาข้อมูลล่าช้า ข้อมูลไม่ครบถ้วน ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า ได้รับข้อมูลเร็วขึ้นจากเดิมใช้เวลาเฉลี่ย 108 วันเหลือ 0 วัน ข้อมูลครบถ้วนมากขึ้น ลดต้นทุนการดำเนินงานจาก 1,440,000 บาทต่อปี เหลือ 55,000 บาทต่อปี โดยมีค่าพัฒนาระบบ 450,000 บาทในปีแรก (Pranee, 2018) และงานวิจัยที่พัฒนาระบบการจัดการในโรงพยาบาล (hospital management system) เพื่อจัดการการดำเนินงานตั้งแต่การลงทะเบียนผู้ป่วย จัดลำดับการรักษา จนถึงการจัดการชำระเงินไว้ภายในระบบเดียวกัน โดยพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถช่วยลดภาระค่าใช้จ่าย และความยุ่งยากจากระบบเดิมได้จริง (Babu et al., 2023) และงานวิจัยที่พัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อช่วยวางแผนกำลังการผลิตในอุตสาหกรรมแผงวงจรรวม เนื่องจากระบบเดิมใช้ไฟล์เอ็กซ์เซลกระจาย จัดกระจ่าย ทำให้ต้องใช้เวลานานในการรวบรวมข้อมูลและคำนวณแผนการผลิต หลังจากพัฒนาระบบใหม่ พบว่า เวลาการทำงานลดลงจาก 5 ชั่วโมงเหลือเพียง 15 นาที ซึ่งลดเวลาทำงานได้ถึง 95%

และข้อมูลที่ได้มีความถูกต้อง 100% (Leelaprute et al., 2018) และงานวิจัยที่พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์สำนักงาน โดยแก้ไขปัญหาความผิดพลาดจากการจัดบันทึกข้อมูลในสมุดรายงานและความล่าช้าในการตรวจสอบสต็อกวัสดุ ก่อนการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันระยะเวลาในการเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์อยู่ระหว่าง 5.8 ถึง 12.3 นาทีต่อครั้ง ซึ่งเฉลี่ยใช้เวลาทั้งวันประมาณ 87 ถึง 184.5 นาที หลังจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า เวลาในการเบิกจ่ายลดลงเหลือ 3 นาทีต่อครั้ง หรือ 45 นาทีต่อวัน ลดลง 48.28% นอกจากนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้กระดาษสมุดบันทึกได้ 1,680 บาทต่อปี (Orsuwan et al., 2023)

จากการศึกษาวิจัยพบว่า การใช้เว็บแอปพลิเคชันในการสร้างระบบจัดการข้อมูลสามารถสร้างระบบที่มีความยืดหยุ่น เทคโนโลยีไม่ซับซ้อนต่อการใช้งาน และสามารถจัดการข้อมูลได้ครบถ้วนจริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลและติดตามสถานะการขนส่งสินค้าในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งช่วยสร้างมาตรฐานการบันทึกข้อมูลและใช้ข้อมูลในการวางแผนการขนส่ง รวมถึงการตรวจสอบสถานะสินค้าได้ ทั้งนี้ การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันให้มีประสิทธิภาพจะช่วยให้ผู้ใช้ทำงานได้อย่างราบรื่น โดยใช้หลักการวงจรถ่วงซอฟต์แวร์ (SDLC) เพื่อให้ขั้นตอนการพัฒนาดำเนินอย่างเป็นระบบ (Al-Ahmad et al., 2020) และต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเพื่อให้ทราบข้อจำกัดของระบบที่พัฒนาขึ้นและหาแนวทางป้องกันปัญหาที่อาจทำให้ระบบทำงานผิดพลาดจนระบบล้มเหลว ซึ่งสามารถสรุปความแตกต่างของงานวิจัยก่อนหน้ากับงานวิจัยได้ดังตาราง 1

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ออกแบบและพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลและติดตามสถานะการขนส่งสินค้า เพื่อแก้ปัญหาทางด้านข้อมูลให้สามารถติดตามและสอบถามสินค้า ในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้าได้
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและข้อจำกัดของระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าที่ได้มีการพัฒนาขึ้น

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ข้อมูล (data) คือ ค่าของข้อเท็จจริง (fact) ที่สะท้อนคุณสมบัติหรือปริมาณสิ่งที่อยู่ในโลกจริง ซึ่งที่ถูกจัดเก็บไว้ในรูปแบบที่สามารถสื่อสารได้ง่ายขึ้น เช่น รูปภาพ ตัวเลข ตัวอักษร เป็นต้น (Jain, 2023) โดยวงจรชีวิตของข้อมูล (data life cycle) จะเริ่มตั้งแต่การสร้างและจัดเก็บจนถึงจัดการข้อมูลที่ไม่ใช้งาน (Wing, 2019) เพื่อให้ข้อมูลสามารถสะท้อนข้อเท็จจริงได้ ข้อมูลนั้น ๆ จำเป็นต้องมีความถูกต้อง คุณภาพ และความน่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการวงจรชีวิตข้อมูลอย่างเป็นระบบในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อสร้างข้อมูลที่มีคุณภาพ

2. เว็บแอปพลิเคชัน (web application) หมายถึงโปรแกรมที่สามารถเข้าถึงและทำงานผ่านอินเทอร์เน็ตเบราว์เซอร์ (internet browser) โดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ รองรับการใช้งานได้ทุกอุปกรณ์และระบบปฏิบัติการ

การเนื่องจากทำงานบนเบราว์เซอร์ ระบบเว็บแอปพลิเคชันประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ Web-Server ทำหน้าที่ประมวลผลหลัก และ Client-server ที่แสดงผลและรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน (Ambore, 2021; Jutamaneeroj, 2021) โดยโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันแบ่งได้เป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ Progressive Web Apps: PWA Static Site Generation: SSG Server-Side Rendering: SSR และ Single Page Application: SPA โดยเปรียบเทียบความแตกต่างได้ดังตาราง 2 และสามารถแบ่งสถาปัตยกรรมของ Web-Server เป็น Monolithic Microservices และ Serverless โดยเปรียบเทียบความแตกต่างได้ดังตาราง 3 (Andersson, 2023) ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมจึงควรคำนึงถึงประสิทธิภาพ ต้นทุน และขีดความสามารถของระบบ

### ตาราง 1

สรุปความแตกต่างของการวิจัย

หัวข้อ	Athikulrat	Babu	Leelaprute	Pranee	Orsuwan	Somsar	การวิจัยนี้
ในอุตสาหกรรมการผลิต	/	X	X	X	X	/	/
แก้ปัญหาด้านข้อมูล	/	X	/	/	/	/	/
พัฒนาระบบการทำงาน	/	/	/	/	/	/	/
รูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน	X	/	/	/	/	/	/
ใช้หลักการ SDLC	X	X	X	X	/	/	/
มีการทดสอบประสิทธิภาพ	X	X	X	X	X	X	/

### ตาราง 2

การเปรียบเทียบความแตกต่างของสถาปัตยกรรมเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งตามภาพรวมการทำงานของระบบ

หัวข้อ	SSG	SSR	SPA	PWA
สามารถทำงานแบบออฟไลน์	X	X	X	/
สามารถแสดงผลข้อมูลที่อัปเดตแบบ Real time	X	X	/	X
สามารถโหลดครั้งแรกได้อย่างรวดเร็ว	/	/	X	/
ประสิทธิภาพการทำงานหลังโหลดสูง	/	X	/	/
สามารถใช้งาน API ร่วมกับแอปพลิเคชันจากมือถือ	X	X	/	/
ความซับซ้อนในการพัฒนาน้อย	/	X	/	X
ต้นทุนในการพัฒนา	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	สูง

### ตาราง 3

การเปรียบเทียบความแตกต่างของสถาปัตยกรรมเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งตามโครงสร้างฝั่งเซิร์ฟเวอร์

หัวข้อ	Monolithic	Serverless	Microservices
สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันแยกเป็นอิสระจากส่วนอื่น	X	X	/
มีความยืดหยุ่นในการขยายระบบ	X	/	/
ระยะเวลาในการพัฒนาต่ำ	X	/	/
มีความง่ายและสะดวกในการบำรุงรักษา	/	/	X
ขนาดของระบบที่เหมาะสม	เล็ก	กลาง-ใหญ่	กลาง-ใหญ่

3. วงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Life Cycle: SDLC) คือ ขั้นตอนการพัฒนากระบวนการอย่างมีระเบียบ ตั้งแต่เริ่มวางแผนจนถึงการดูแลรักษา เพื่อให้การพัฒนาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Hossain, 2023) โดยประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนได้แก่ (1) การวางแผนการพัฒนาซอฟต์แวร์ (planning) เป็นขั้นตอนที่ทำการศึกษาระบบการทำงาน สรุปรวปัญหาและความต้องการเพื่อใช้ในการวางแผนการพัฒนาระบบ (2) การวิเคราะห์โครงการ (analysis) เป็นขั้นตอนที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ปัญหา และความต้องการที่รวบรวมมา เพื่อหาขีดความสามารถที่ระบบต้องทำได้ในการแก้ไขปัญหา (3) การออกแบบระบบ (design) จะเป็นการออกแบบรายละเอียดซอฟต์แวร์ ฐานข้อมูล และโครงสร้างของระบบ ตามการวิเคราะห์ปัญหาและความต้องการ (4) การพัฒนาซอฟต์แวร์ (development) เป็นขั้นตอนการสร้างซอฟต์แวร์ตามแบบที่กำหนด (5) การทดสอบและนำไปใช้งาน (testing and integration) หลังจากพัฒนาระบบเสร็จจำเป็นต้องทดสอบระบบเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการทดลองด้านต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง (6) การบำรุงรักษาซอฟต์แวร์ (maintenance) เมื่อระบบผ่านการใช้งานไปสักระยะ อาจจะพบข้อผิดพลาดของระบบเพิ่มเติม หากสามารถแก้ไขได้จะดำเนินการแก้ไขระบบเดิม แต่หากไม่สามารถแก้ไขระบบเดิมเพื่อแก้ไขปัญหาก็จำเป็นต้องพัฒนาซอฟต์แวร์เพิ่มเติมตามวงจรพัฒนาระบบอีกครั้ง

4. การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ สามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ การทดสอบฟังก์ชัน (functional test) เพื่อทดสอบขีดความสามารถที่ระบบทำได้ การทดสอบความปลอดภัย (security test) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบเว็บในการป้องกันการเข้าถึงที่ไม่พึงประสงค์จากผู้ใช้ที่ไม่ได้รับอนุญาต การทดสอบการใช้งาน (usability test) เพื่อตรวจสอบการใช้งานระบบจากมุมมองผู้ใช้งาน การทดสอบประสิทธิภาพ (performance test) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบกรณีต่าง ๆ ซึ่งเป็นการทดสอบที่สำคัญในการป้องกันการล้มเหลวของ

ระบบเมื่อเจอกับสถานการณ์ที่ไม่คาดถึง การทดสอบความเข้ากันได้ (compatibility test) เพื่อตรวจสอบว่าระบบสามารถเข้าถึงและใช้งานได้จากต่างอุปกรณ์หรือไม่ และการทดสอบโครงสร้าง (structural test) เพื่อทดสอบการไหลของข้อมูลภายในระบบซึ่งจะทำให้เห็นปัญหาจุดที่อาจทำให้ระบบประสิทธิภาพลดลง (Al-Ahmad et al., 2020)

#### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยตามหลักวงจรการพัฒนาระบบโดยมีรายละเอียด ข้อมูล เครื่องมือ และวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

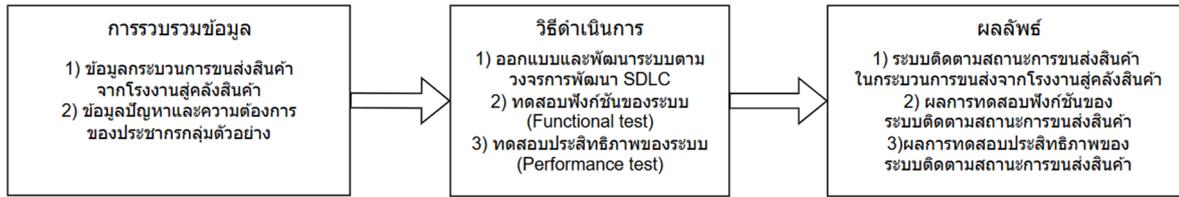
#### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย คือ พนักงานที่ปฏิบัติงานในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า 5 ตำแหน่ง จำนวนทั้งหมด 12 คน โดยใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเป้าหมายทุกระดับ ตั้งแต่ระดับผู้ควบคุมกระบวนการ ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่นำข้อมูลไปใช้งาน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการและปัญหาที่เกิดโดยตรง ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่บรรจุสินค้า 6 คน หัวหน้าหน่วยบรรจุสินค้า 2 คน เจ้าหน้าที่ขนส่ง 2 คน เจ้าหน้าที่ธุรการฝ่ายผลิต 1 คน เจ้าหน้าที่ธุรการฝ่ายคลังสินค้า 1 คน

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบด้วย (1) ระบบติดตามสถานะสินค้าในกระบวนการขนส่งจากโรงงานสู่คลังสินค้า (2) K6 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพระบบ (3) matplotlib ไลบรารีใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ (4) Docker เป็นเครื่องมือที่ใช้จำลองสภาพแวดล้อมการทำงานจริง (5) NumPy ไลบรารี เป็นเครื่องมือใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (6) pandas ไลบรารี ใช้ในการจัดการข้อมูลที่มีโครงสร้าง เช่น ข้อมูลในรูปแบบดาตาเฟรม (data frame)

## กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 3 กรอบแนวคิดการวิจัย

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการดังกล่าว ที่ปฏิบัติงานมาไม่น้อยกว่า 1 ปี จำนวน 12 คน โดยแบ่งตามระดับการศึกษาได้เป็น จบการศึกษาระดับอุดมศึกษาจำนวน 3 คน ระดับมัธยมศึกษาจำนวน 8 คน และระดับประถมศึกษาจำนวน 1 คน โดยสอบถามด้วยคำถามปลายเปิดเพื่อสอบถามถึงปัญหาที่พบเจอในการทำงานปัจจุบันโดยตรง เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 15 ถึง 23 มกราคม 2567 และทำการรวบรวมข้อมูลปัญหาทางด้านข้อมูล ที่เคยเกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สู่คลังสินค้านำย้อนหลังระหว่างเดือนมิถุนายน 2566 ถึง เดือนมกราคม 2567 เป็นระยะเวลา 8 เดือน

### สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบติดตามสถานะสินค้า ทางผู้วิจัยได้นำเอาหลักการทางสถิติมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ การหาค่าเฉลี่ย เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยรวม การหาค่าขอบเขตความผิดพลาด เพื่อแสดงการกระจายตัวของข้อมูลรอบค่าเฉลี่ย การหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 และ 95 เพื่อแสดงถึงความเสถียรและค่าที่เลวร้ายที่สุดที่อาจเป็นไปได้ ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบกรณีเลวร้ายที่สุดที่ผู้ใช้งานต้องเผชิญ

### การออกแบบและพัฒนาระบบ

โดยงานวิจัยได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) ได้ดังภาพ 4 และมีขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** การวางแผนการพัฒนาซอฟต์แวร์ (planning) จะเริ่มจากศึกษากระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้าเพื่อทำความเข้าใจการทำงาน จากนั้นทำการสัมภาษณ์พนักงานในกระบวนการโดยตรงในรูปแบบคำถามปลายเปิด เพื่อรับทราบปัญหาที่เกิดขึ้นใน

กระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตาราง 3 โดยมีผู้เกี่ยวข้องกับกระบวนการได้แก่ User 1 คือ เจ้าหน้าที่บรรจุสินค้า User 2 คือ หัวหน้าหน่วยบรรจุสินค้า User 3 คือ เจ้าหน้าที่ขนส่ง User 4 คือ เจ้าหน้าที่ธุรการฝ่ายผลิต และ User 5 คือ เจ้าหน้าที่ธุรการฝ่ายคลังสินค้า จากนั้นทำการสอบถามข้อมูลปัญหาที่เคยเกิดขึ้นในกระบวนการย้อนหลังระหว่าง เดือนมิถุนายน 2566 ถึง เดือนมกราคม 2567 เป็นระยะเวลา 8 เดือน ซึ่งสามารถสรุปปัญหาที่พบได้ดังตาราง 4

**ขั้นตอนที่ 2** การวิเคราะห์โครงการ (analysis) จากตาราง 4 พบว่า เจ้าหน้าที่ทุกตำแหน่งต้องเผชิญกับปัญหาข้อมูลที่ซับซ้อน มีปริมาณมาก และขาดความชัดเจนทำให้มีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดในการทำงาน และเจ้าหน้าที่มากกว่าครึ่งต้องรับภาระงานเพิ่มขึ้นจากการจัดการข้อมูล นอกจากนี้เจ้าหน้าที่ 2 ใน 5 ตำแหน่งไม่ได้รับข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต้องใช้ จากตาราง 5 ยังพบปัญหาข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกับการขนส่งจริงและรูปแบบข้อมูลที่ทำให้กระบวนการทำงานล้มเหลว ดังนั้น ระบบที่พัฒนาควรเพิ่มฟังก์ชันการบันทึกข้อมูลที่จำเป็น ลดความซับซ้อนในการจัดการข้อมูล และสร้างโครงสร้างข้อมูลที่ชัดเจน โดยเฉพาะในส่วนของตรวจสอบข้อมูล ซึ่งต้องเพิ่มการตรวจสอบข้อมูลก่อนถูกนำเข้าระบบด้วย

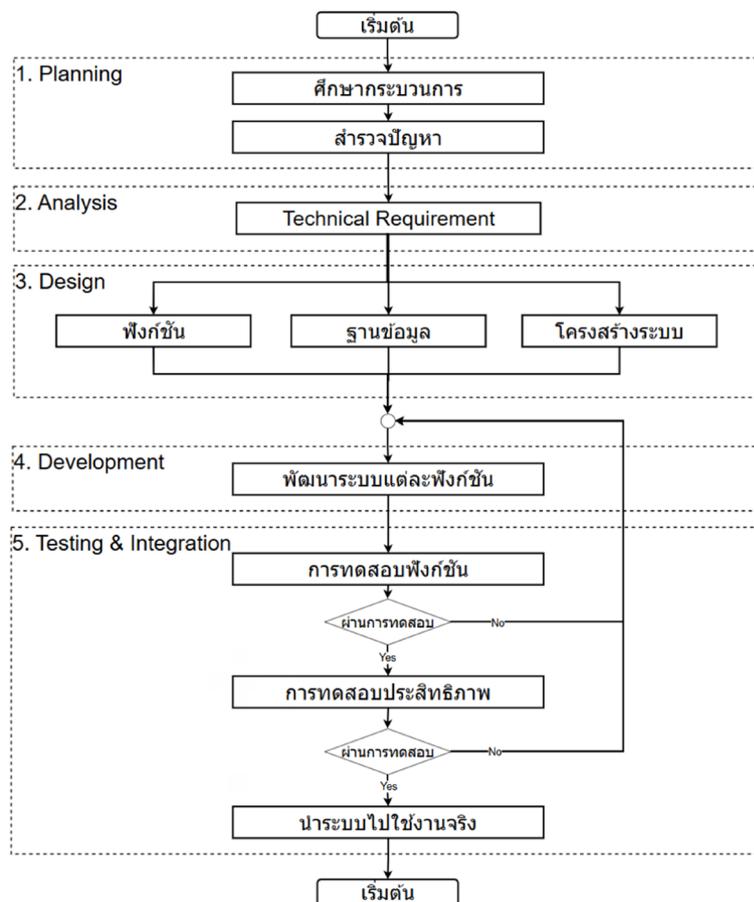
**ขั้นตอนที่ 3** การออกแบบระบบ (design) จากข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์จึงทำการออกแบบระบบ 3 ส่วน ได้แก่

1) ฟังก์ชันการทำงานในระบบติดตามสถานะสินค้า เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอระบบบันทึกข้อมูลและติดตามสินค้า โดยระบบสามารถแบ่งออกเป็น ส่วนตามฟังก์ชันการทำงานได้เป็น 7 ฟังก์ชัน ประกอบด้วย (1) ฟังก์ชันนำข้อมูลเข้าระบบ คือ ฟังก์ชันที่ผู้ใช้งานข้อมูลที่จำเป็น ตัวอย่างเช่น ข้อมูลแผนการบรรจุสินค้าเข้าสู่ระบบ เพื่อให้มีข้อมูลพื้นฐานในการทำงาน (2) ฟังก์ชันบันทึกข้อมูลบรรจุสินค้า คือ ฟังก์ชันสำหรับบันทึกข้อมูลการบรรจุสินค้า โดยเจ้าหน้าที่จะสแกนบาร์โค้ดคลังสินค้า

และพาเลทที่สินค้าถูกบรรจุอยู่ เพื่อให้สามารถติดตามสินค้าในแต่ละพาเลทได้ ซึ่งมีการเก็บประวัติที่ใช้ในการสอกลับสินค้าได้ (3) ฟังก์ชันจัดการข้อมูล คือ ฟังก์ชันสำหรับตรวจสอบและแก้ไขข้อมูลบรรจุสินค้า หากพบข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลเจ้าหน้าที่สามารถส่งคำร้องขอแก้ไขผ่านระบบเพื่อให้หัวหน้าทำการอนุมัติได้ (4) ฟังก์ชันจัดการกระบวนการขนส่ง คือ ฟังก์ชันที่นำข้อมูลพาเลทสินค้าซึ่งพร้อมขนส่งมาจัดลำดับโดยหัวหน้าหน่วย ทำให้สามารถวางแผนการขนส่งได้อย่างเป็นระบบ และลดความเสี่ยงที่จะเกิดพาเลทสินค้าตกหล่น โดยมีการบันทึกประวัติการจัดลำดับทำให้สอกลับการขนส่งได้ (5) ฟังก์ชันส่งต่อข้อมูลและรายงาน คือ ฟังก์ชันที่ช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบข้อมูลสินค้าที่จะถูกขนส่งในแต่ละรอบและดึงข้อมูลมาใช้งานได้ ซึ่งช่วยให้เจ้าหน้าที่ธุรการคลังสินค้าสามารถเตรียมรับเข้าสินค้าล่วงหน้า รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตสามารถนำข้อมูลไปใช้ต่อกับระบบภายในฝ่าย (6) ฟังก์ชันยืนยันการรับเข้าสินค้า จะถูกใช้งานโดยเจ้าหน้าที่ธุรการคลังสินค้าที่ใช้ในการยืนยันการรับเข้าเมื่อสินค้าถูกขนส่ง

ถึงคลัง โดยบันทึกประวัติการขนส่งและตรวจสอบความถูกต้องของสินค้า จากนั้นจะทำการยืนยันในระบบเพื่อยืนยันการรับเข้าและสิ้นสุดกระบวนการขนส่ง (7) ฟังก์ชันมอนิเตอร์กระบวนการ เป็นฟังก์ชันที่รวบรวมประวัติการทำงานทั้งกระบวนการ ตั้งแต่การบรรจุจนถึงการยืนยันรับเข้าสินค้า ซึ่งจะสามารถตรวจสอบรายการสินค้าที่มีปัญหาว่าบรรจุครบหรือไม่ หรือเกิดการสูญหายในกระบวนการใด จากฟังก์ชันการทำงานที่ได้มีการออกแบบสามารถนำมาจัดทำเป็นแผนภาพยูสเคส (use case diagram) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับฟังก์ชันการทำงานของระบบได้ตามที่แสดงในภาพ 5

2) ฐานข้อมูลระบบติดตามสถานะสินค้า เพื่อให้ระบบสามารถติดตามสถานะสินค้าได้ทั้งในระดับกล่องสินค้า ระดับพาเลทสินค้า ระดับล็อตการผลิต และระดับรอบการขนส่ง ซึ่งกระบวนการทำงานเดิมไม่รองรับทางผู้วิจัยจึงทำการออกแบบฐานข้อมูลใหม่ซึ่งมีโครงสร้างของฐานข้อมูลดังภาพ 6



ภาพ 4 การออกแบบและพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์

ตาราง 4

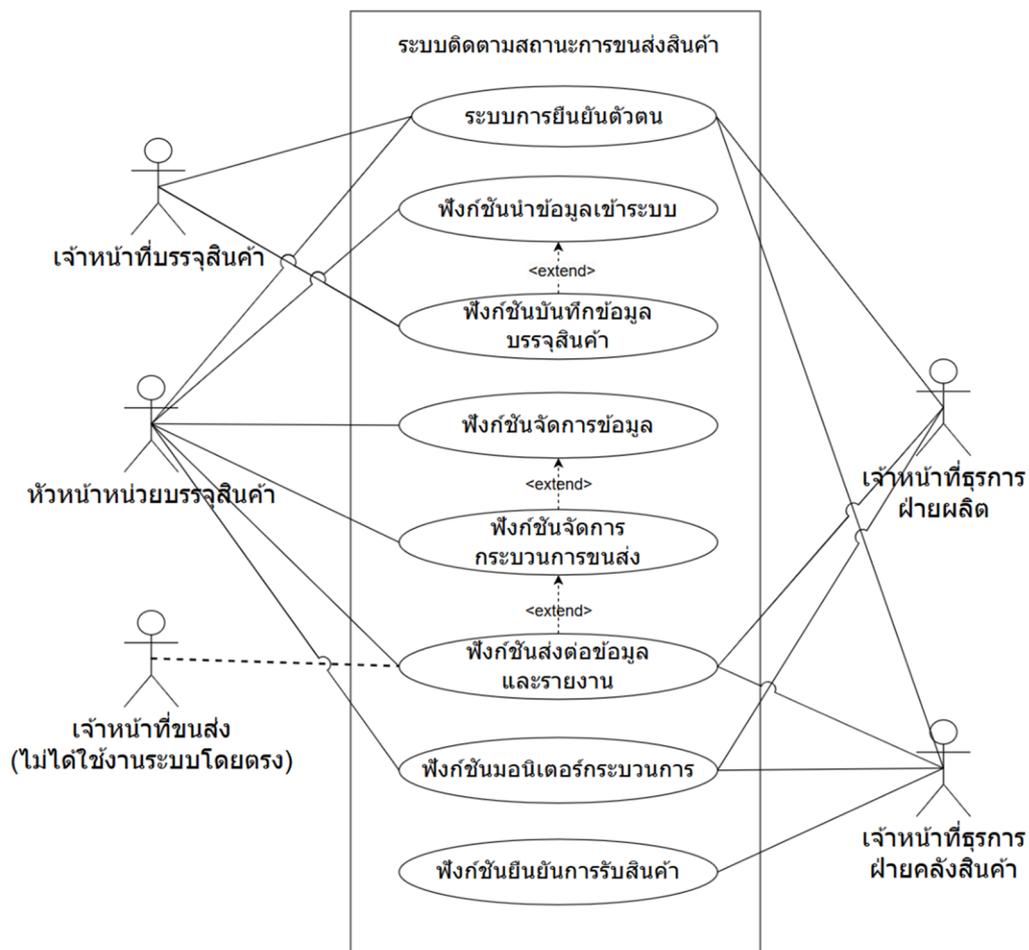
ตารางสรุปปัญหาจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า

หัวข้อปัญหา	User 1	User 2	User 3	User 4	User 5
ข้อมูลที่ซับซ้อนและไม่ชัดเจนทำให้เกิดการทำงานผิดพลาด	/	/	/	/	/
ข้อมูลที่ซับซ้อนและไม่ชัดเจนทำให้ภาระงานเพิ่มขึ้น		/		/	/
ไม่ได้รับข้อมูลที่ต้องการใช้งาน				/	/

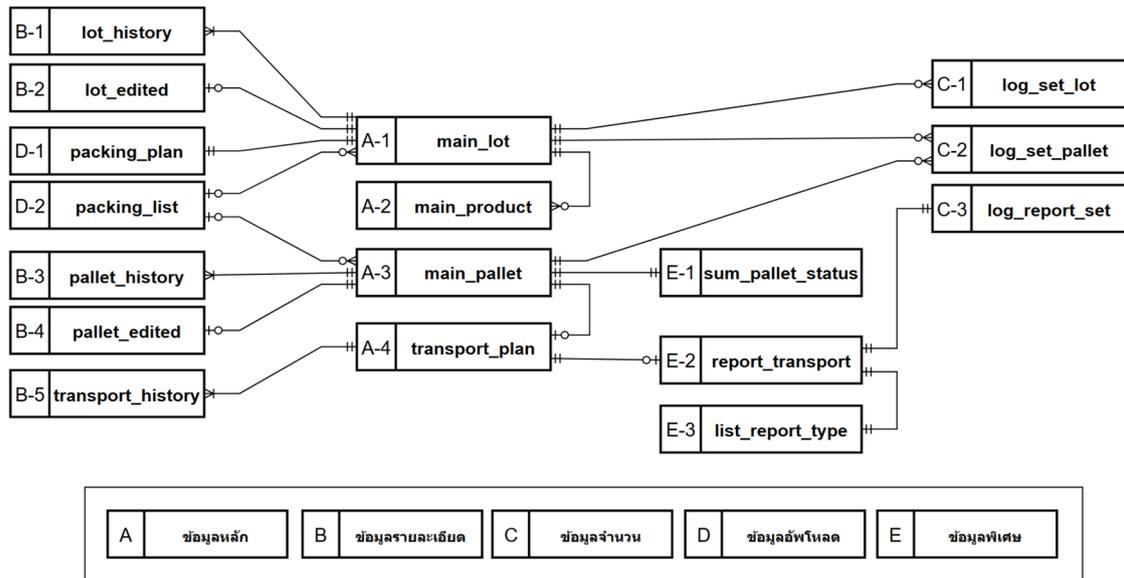
ตาราง 5

ตารางสรุปปัญหาด้านข้อมูลในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า ระยะเวลา 8 เดือนย้อนหลัง

หัวข้อปัญหา	จำนวนที่เกิด (ครั้ง)
ข้อมูลถูกส่งไม่ตรงกับจำนวนที่สินค้าที่ขนส่งจริง	7
ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่ไม่ถูกต้องทำให้ไม่สามารถใช้งานได้	6
เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานล้มเหลวทำให้กระทบกระบวนการ	3
ข้อมูลสินค้าที่ถูกยกเลิกไม่ถูกนำออกจากการดำเนินงาน	1



ภาพ 5 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้า



ภาพ 6 โครงสร้างฐานข้อมูลระบบติดตามสถานะสินค้า

จากภาพ 6 จะสามารถแบ่งประเภทของตารางเก็บข้อมูลในระบบได้เป็น 5 กลุ่มตาราง ได้แก่ (A) ตารางข้อมูลหลัก ทำหน้าที่เป็นตารางที่ใช้เข้าถึงข้อมูลอื่น ๆ (B) ตารางข้อมูลรายละเอียด ทำหน้าที่เก็บข้อมูลรายละเอียดที่ไม่เกี่ยวข้องกับข้อมูลในระดับอื่น ๆ เช่น ข้อมูลการแก้ไข และข้อมูลบันทึกประวัติ (C) ตารางข้อมูลจำนวน ทำหน้าที่เก็บจำนวนสินค้าที่อยู่ในแต่ละระดับ เพราะเป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบจำนวนสินค้าจึงแยกออกมาเก็บเป็นตารางเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการ (D) ตารางข้อมูลอัปเดต คือ ตารางที่เก็บข้อมูลที่มาจากการอัปเดตเข้าระบบจากผู้ใช้งาน ได้แก่ ข้อมูลแผนการบรรจุ และข้อมูลรายละเอียดการบรรจุ (E) ตารางข้อมูลพิเศษ คือ ตารางซึ่งไม่ได้จัดอยู่ในสี่กลุ่มแรกและสร้างขึ้นมาเพื่อจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น ตารางที่เก็บรวบรวมสถานะของในแต่ละพาเลทล่าสุดไว้ เพื่อลดเวลาในการค้นหาข้อมูลช่วยให้ระบบทำงานได้รวดเร็วขึ้น เป็นต้น

3) โครงสร้างระบบติดตามสถานะสินค้า (system structure) จากตาราง 2 และตาราง 3 เมื่อมาวิเคราะห์ข้อจำกัดของระบบที่ถูกพัฒนาเพื่อใช้งานในกระบวนการผลิตจะต้องมีความมั่นคงสูง คือ เมื่อมีส่วนใดของระบบล้มเหลวส่วนอื่นต้องไม่ได้รับผลกระทบ สามารถเปลี่ยนไปใช้ฐานข้อมูลแบบคลาวด์ได้ในอนาคต ประมวลผลได้รวดเร็วในขณะโปรแกรมทำงาน รองรับการผลิตข้อมูลจำนวนมาก ส่งข้อมูลไปยังระบบอื่นได้ และใช้ต้นทุนการพัฒนาไม่สูง จากข้อกำหนด

ดังกล่าวจึงเลือกสถาปัตยกรรมของระบบเป็นแบบ Single Page Application: SPA เนื่องจากต้องการลดภาระการประมวลผลของฝั่งเซิร์ฟเวอร์และใช้เวลาในการประมวลผลต่ำ นอกจากนี้ยังใช้ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาไม่สูงมากนัก ในฝั่งของเซิร์ฟเวอร์เลือกสถาปัตยกรรมแบบ Serverless Architecture เพื่อแยกส่วนของการประมวลผลออกเป็นส่วนย่อย หากส่วนใดส่วนหนึ่งในการประมวลผลล้มเหลวจะไม่กระทบต่อการประมวลผลของส่วนอื่น นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนไปใช้ฐานข้อมูลระบบคลาวด์ได้ในอนาคต จึงสามารถสรุปโครงสร้างของระบบได้ดังภาพ 7 นอกจากนี้ระบบมีการจัดการสิทธิ์การเข้าถึง (access control) ตามบทบาทและหน้าที่ของผู้ใช้งานซึ่งความเกี่ยวข้องระหว่างผู้ใช้และฟังก์ชันดังภาพ 5 โดยตรวจสอบสิทธิ์ก่อนแสดงผลบนฝั่ง Client-side ทำให้ผู้ใช้เห็นเฉพาะฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องและสามารถใช้งานได้เท่านั้น นอกจากนี้ ระบบใช้ SSL Protocol เพื่อเข้ารหัสข้อมูล (encryption) และ JWT สำหรับยืนยันตัวตน (authentication) และตรวจสอบสิทธิ์การเข้าถึง (authorization) ระหว่าง Client-side และ Server-side เพื่อป้องกันการดักฟังข้อมูลและการปลอมตัวเป็น Client-side จึงสามารถสรุปการป้องกันจากผู้ไม่หวังดีได้ดังภาพ 8

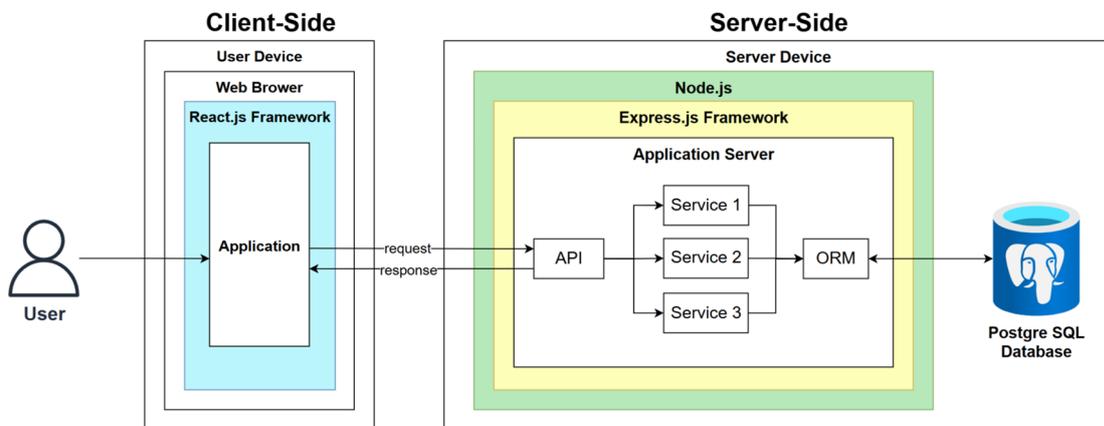
**ขั้นตอนที่ 4** การพัฒนาซอฟต์แวร์ (development) ดำเนินการพัฒนาาระบบทั้ง 7 ฟังก์ชันตามแผนภายใต้โครงสร้างของระบบที่ออกแบบไว้ เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างครบถ้วนและตอบสนองต่อความต้องการได้

**ขั้นตอนที่ 5** การทดสอบและนำไปใช้งาน (testing & integration) ในงานวิจัยได้ทำการทดสอบฟังก์ชัน (functional test) เพื่อตรวจสอบว่าระบบทำงานได้ตามการออกแบบ และการทดสอบประสิทธิภาพ (performance test) เพื่อตรวจสอบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในภาวะต่าง ๆ ที่กำหนด

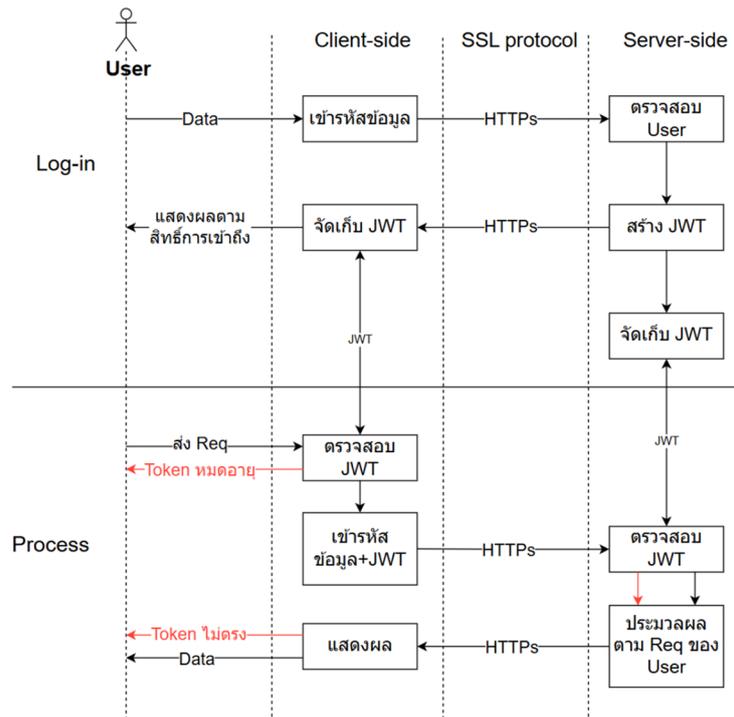
1) การทดสอบฟังก์ชัน ทำการตรวจสอบระบบที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบกับขอบเขตความสามารถที่ระบบควรทำได้เพื่อแก้ปัญหาที่ตั้งไว้ โดยผู้พัฒนาร่วมกับหัวหน้าหน่วยงานทำการตรวจสอบผ่านรายการตรวจสอบ (checklist)

2) การทดสอบประสิทธิภาพ ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (performance test) ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ได้แก่ Load test เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบในสถานการณ์ที่สนใจ Capacity test เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบภายใต้เงื่อนไขการใช้งานจริง Stress test เพื่อหาจุดสูงสุดที่ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก่อนระบบล้มเหลว และ Availability test ทดสอบความผิดปกติในการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพเมื่อระบบทำงานต่อเนื่อง (Patil, 2012) โดยเมื่อเปรียบเทียบเครื่องมือที่ใช้ทดสอบระบบที่เป็นที่นิยมได้แก่ jMeter และ K6 พบว่า K6 มีประสิทธิภาพโดยรวม ความง่ายในการใช้งาน และใช้ทรัพยากรน้อยกว่า jMeter (Chandrasekhar,

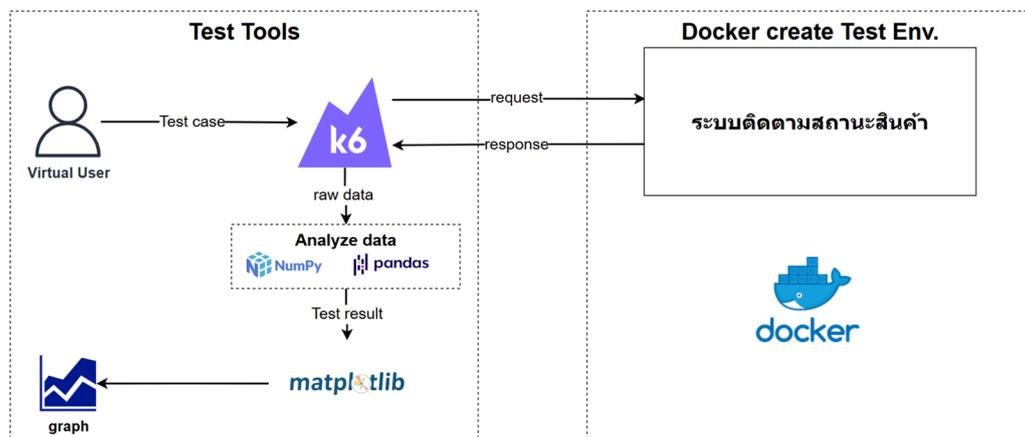
2021) จึงเลือกใช้เครื่องมือ K6 ทำการทดสอบ ใช้ Numpy โลบรารี Pandas โลบรารี และ matplotlib โลบรารี ในการวิเคราะห์และแสดงผลการทดสอบในรูปแบบกราฟ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลและมีเครื่องมือช่วยในการคำนวณข้อมูลซึ่งง่ายต่อการใช้งาน และเนื่องจากขณะทดสอบได้ทำการทดสอบบนอุปกรณ์ที่มีสเปกแตกต่างจากสเปกของเซิร์ฟเวอร์ จึงต้องมีการกำหนดสภาพแวดล้อมการทดสอบ (test environment) ด้วย Docker เพราะเป็นเครื่องมือที่สามารถกำหนดการตั้งค่าต่าง ๆ ได้ง่ายผ่านไฟล์ .yaml เพียงไฟล์เดียว ทั้งยังเป็นเครื่องมือที่ใช้การติดตั้งโปรแกรมบนเซิร์ฟเวอร์จริงในขั้นต่อไป จึงเหมาะสมในการใช้ทำการกำหนดสภาพแวดล้อมการทดสอบให้เหมือนกับสภาพแวดล้อมจริง อ้างอิงจาก สเปกของเซิร์ฟเวอร์จริง คือ CPU 8 core 8 tread RAM 16 GB และ memory 100 GB จึงสามารถสรุปเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพได้ดังภาพ 9 โดยการทดสอบในแต่ละสถานการณ์จะประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ Throughput (req/sec) หรือจำนวนคำขอที่ระบบสามารถตอบสนองได้ Response time (ms) หรือเวลาที่รอระหว่างเซิร์ฟเวอร์ประมวลผล Resource Usage หรือทรัพยากรที่ระบบใช้ในการประมวลผลได้แก่ CPU (%) และ RAM (MB) (Jugo, 2014) ซึ่งได้มีการวัดหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 90 และ 95 เพื่อหากรณีที่เลวร้ายที่สุดที่เกิดขึ้นได้



ภาพ 7 โครงสร้างระบบติดตามสถานะสินค้า (system structure)



ภาพ 8 การเข้ารหัสข้อมูลและจำกัดสิทธิ์การใช้งานของระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้า



ภาพ 9 การทดสอบประสิทธิภาพ (performance test)

### ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบฟังก์ชัน (functional test) ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบฟังก์ชันการใช้งานระบบ โดยตรวจสอบขีดความสามารถของระบบที่คาดหวังกับระบบจริงที่ได้มีการพัฒนา โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 2 รูปแบบย่อย คือ ประเมินความสามารถ และประเมินความถูกต้อง โดยการประเมินความสมารถมีค่าตอบเป็นสามารถทำได้

หรือไม่ จะถูกทดลองใช้งานและประเมินโดยหัวหน้าฝ่ายงานที่เกี่ยวข้องร่วมกับผู้พัฒนาระบบ เช่น การประเมินฟังก์ชันมอนิเตอร์กระบวนการ ในหัวข้อ “สามารถตรวจสอบสถานะของสินค้าในกระบวนการได้” จากภาพ 10 ซึ่งประวัติของสินค้าตั้งแต่ถูกนำแผนเข้าระบบ ถูกบรรจุจนถึงรายละเอียดการแก้ไขยอดสินค้า ถูกแสดงออกมาในรูปแบบแยกสถานะ โดยมีข้อมูลผู้ดำเนินการและเวลา

ที่ลงบันทึกในแต่ละครั้ง เพื่อใช้ตรวจสอบสถานะของสินค้า ในกระบวนการได้จริงและง่ายต่อการตรวจสอบที่มาของสินค้า จึงถูกประเมินโดยหัวหน้าผู้ดูแลเป็น “ผ่าน” การประเมินความถูกต้องจะมีตอบเป็นทำงานถูกหรือผิด ซึ่งทำการทดสอบโดยใส่อินพุตที่ทำให้ผลลัพธ์ถูกต้องจำนวน 3 ครั้ง และใส่อินพุตที่ทำให้ผลลัพธ์ผิดจำนวน 3 ครั้งเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ เช่น การประเมินฟังก์ชันบันทึกข้อมูลบรรจุสินค้า ในหัวข้อ “ตรวจจับสินค้าที่ไม่ตรงกับล็อตผลิตและแจ้งเตือนได้ถูกต้อง” จากตาราง 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถตรวจจับสินค้าที่ไม่ถูกล็อตการผลิตได้ถูกต้องทุกครั้ง จึงประเมินเป็น “ผ่าน” เมื่อประเมินทั้ง 7 ฟังก์ชัน รวมทั้งหมด 15 หัวข้อ พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดทั้งหมด 15 หัวข้อ ซึ่งคิดเป็น 100% โดยรายละเอียดการทดสอบฟังก์ชันแสดงดังตาราง 7

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพ (performance test) ได้ทำการทดสอบหลายประเภท ได้แก่ Load test Capacity test Stress test และ Availability test และได้ประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ Throughput (req/sec) Response time (ms) และ Resource Usage ซึ่งรวมถึงการใช้ CPU (%) และ RAM (MB) (Jugo, 2014) ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

1) เมื่อทดสอบด้วยการทำ Load Test ตามค่าเฉลี่ยที่ถูกใช้งานจริงเป็นเวลา 10 นาที ผลการทดสอบแสดงดังภาพ 11 เมื่อระบบมีโหลดสูงสุด 12 req/sec จากกราฟที่ 1 พบว่า Throughput (avg.) มีค่า 10.93 req/sec จากกราฟที่ 2 Response Time P(95) มีค่า 31.18 ms และ Resource Usage จากกราฟที่ 3 ใช้ CPU (avg.) ในการประมวลผลที่ 2.97% และ จากกราฟที่ 4 ใช้ RAM (avg.) ที่ 44.34 MB

Plan					
12/9/2567 13:12:49	สถานะ: inplan	User ID: 0003			
Packing					
2/12/2567 23:34:31	สถานะ: packed	User ID: 0000	รอบ: 1	จำนวน (ชุด): 0	
Finish					
2/12/2567 23:34:31	สถานะ: packed	User ID: 0000	รอบ: 1	จำนวน (ชุด): 0	
Edited					
13/9/2567 14:32:37	สถานะ: editedReq	User ID: 0000	รอบ: 1	จำนวน (ชุด): 0	
13/9/2567 14:32:50	สถานะ: editedReq	User ID: 0000	รอบ: 2		
13/9/2567 14:46:38	สถานะ: editedApprove	User ID: 0000	รอบ: 1	จำนวน (ชุด): 0	
13/9/2567 14:46:40	สถานะ: editedApprove	User ID: 0000	รอบ: 2		

ภาพ 10 หน้าต่างแสดงการติดตามสถานะของสินค้าในล็อตเป้าหมาย ของฟังก์ชันมอนิเตอร์กระบวนการ

ตาราง 6

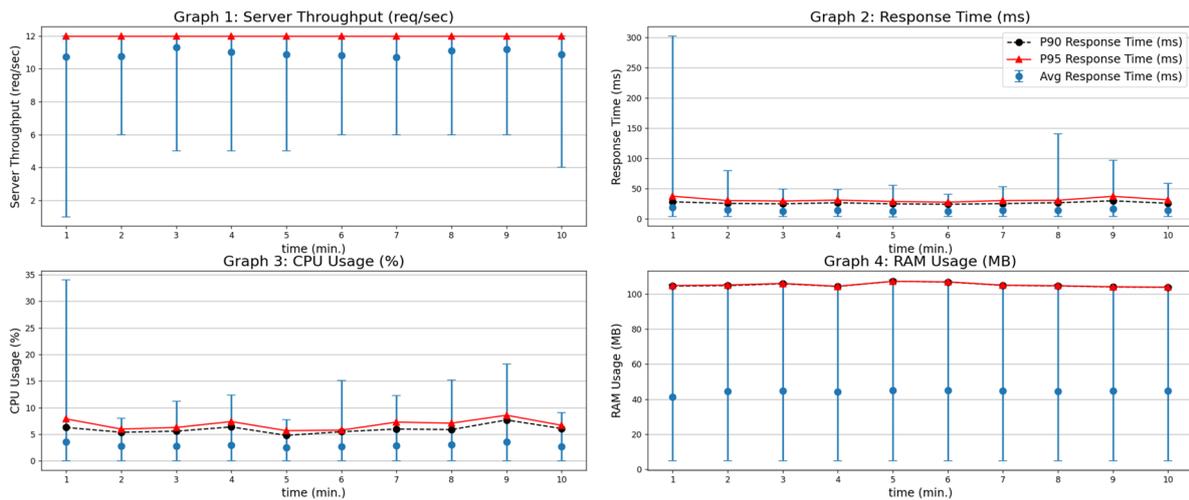
การทดสอบตรวจจับสินค้าที่ไม่ตรงล็อตผลิต ของฟังก์ชันบันทึกข้อมูลบรรจุสินค้า

ครั้ง	ข้อมูลอินพุต	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผลลัพธ์
1	ถูกล็อต	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
2	ผิดล็อต	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด
3	ถูกล็อต	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
4	ผิดล็อต	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด
5	ถูกล็อต	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
6	ผิดล็อต	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด

ตาราง 7

สรุปผลการทดสอบฟังก์ชัน (Functional Test) ระบบติดตามสถานะสินค้า

ลำดับ	ฟังก์ชัน	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผลการทดสอบ
1	ฟังก์ชันนำข้อมูลเข้าระบบ	อัปโหลดข้อมูลที่เกี่ยวข้องในรูปแบบ Excel เข้าระบบได้ถูกต้อง ตรวจจับรายการซ้ำและไม่ถูกต้องที่ถูกอัปโหลดเข้าระบบได้	ผ่าน
2	ฟังก์ชันบันทึกข้อมูลบรรจุสินค้า	อ่านบาร์โค้ดกล่องสินค้าได้ถูกต้อง ตรวจจับสินค้าที่ไม่ตรงกับล็อตผลิตและแจ้งเตือนได้ถูกต้อง	ผ่าน
3	ฟังก์ชันจัดการข้อมูล	ตรวจสอบประวัติการบรรจุสินค้าและการแก้ไขได้ ตรวจสอบยอดการบรรจุรายวันได้	ผ่าน
4	ฟังก์ชันจัดการกระบวนการขนส่ง	ตรวจสอบรายการพาเลทที่ไม่ถูกจัดในแผนการขนส่งได้ เรียงลำดับพาเลทที่บรรจุเสร็จก่อนหลังเพื่อช่วยจัดลำดับได้	ผ่าน
5	ฟังก์ชันส่งต่อข้อมูลและรายงาน	ตรวจสอบสินค้าที่รอการขนส่งในแต่ละพาเลทได้ ตรวจสอบสินค้าในแต่ละรอบการขนส่งได้	ผ่าน
6	ฟังก์ชันยืนยันการรับสินค้า	สามารถบันทึกประวัติรายการสินค้าที่ถูกรับเข้าสำเร็จ สามารถบันทึกปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งเข้าระบบได้	ผ่าน
7	ฟังก์ชันมอนิเตอร์กระบวนการ	สามารถตรวจสอบสถานะของสินค้าในกระบวนการได้ สามารถติดตามสถานะแต่ละพาเลทในกระบวนการได้ สามารถติดตามสถานะแต่ละรอบการขนส่งได้	ผ่าน



ภาพ 11 ผลการทดสอบ Load test ที่ 100% ของ Peak load เป็นเวลา 10 นาที

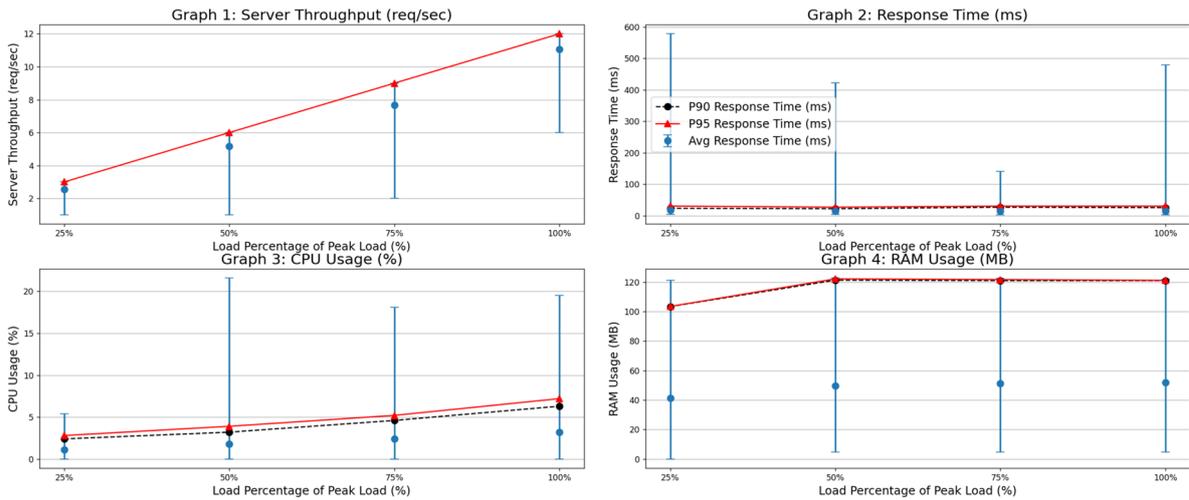
2) เมื่อทดสอบด้วย Capacity Test โดยกำหนดจำนวนโหนดในระดับที่ต่างกันจากน้อยไปจนถึง peak load โดยใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาทีต่อระดับ ได้ผลการทดสอบดังภาพ 12 ในกราฟแกน X คือ จำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากตั้งแต่ 25% 50% 75% และ 100% ของ peak load และแกน Y คือ หัวข้อประเมินแต่ละด้าน จากกราฟที่ 1 และ 2 พบว่า ระบบสามารถตอบสนองคำขอของผู้ใช้งานได้ทันเวลาเมื่อโหนดเพิ่มขึ้น โดยมี response time คงที่จากค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ 95 ในกราฟที่ 2 พบว่า response time ส่วนใหญ่ ไม่เกิน 30.34 ms และจากกราฟที่ 3 และ 4 มีการใช้ CPU สูงสุดที่ 3.2% และ RAM เพียง 121.7 MB

3) เมื่อทดสอบด้วย Stress Test ที่ 100% 125% 150% 200% 400% 800% และ 1000% ของ peak load โดยใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาทีต่อระดับ ได้ผลการทดสอบดังภาพ 13 จากกราฟที่ 1 และ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโหนด ระบบจะใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมากขึ้นในการรักษา response time ให้คงที่ แต่จากกราฟที่ 2 3 และ 4 พบว่า เมื่อโหนดเพิ่มขึ้นถึง 800% ของ peak load ระบบจะไม่สามารถรักษา response time ให้คงที่ได้ เนื่องจากมีทรัพยากรไม่เพียงพอในบางช่วงเวลา ดังนั้นจุดที่ระบบจะเริ่มช้าและได้รับผลกระทบด้านประสิทธิภาพคือที่ 800% ของ peak load ปัจจุบัน หรือ เป็นจำนวน 96 req/sec

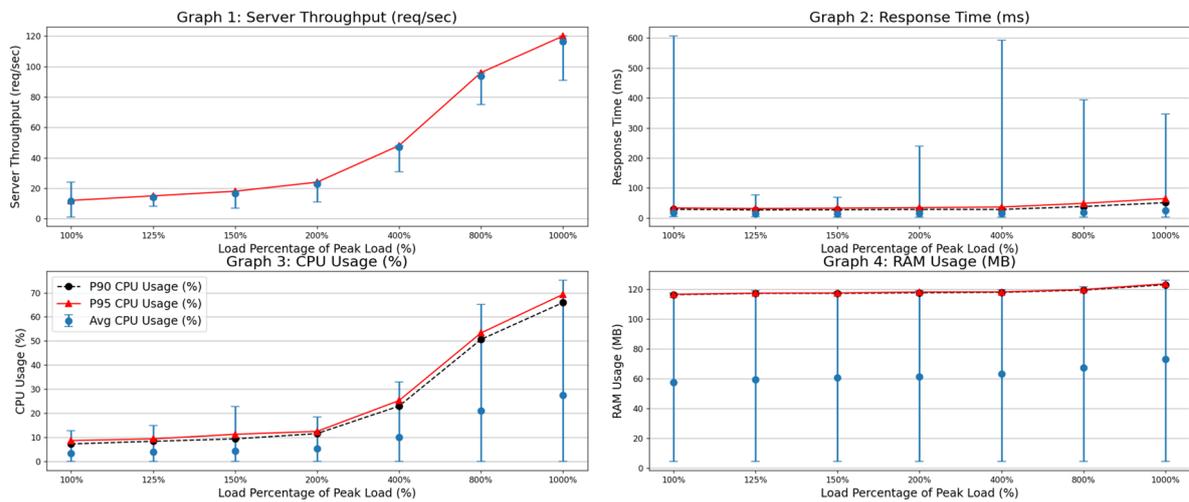
4) เมื่อทดสอบด้วย Availability Test หรือ Strength Test จากกราฟที่ 1 และ 2 พบว่า หลังจากระบบทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 120 นาที ที่ peak load ระบบสามารถรักษา

Throughput และ Response time ให้คงที่ได้ แต่จากกราฟที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่า มีการเพิ่มขึ้นของทรัพยากรที่ใช้ในการประมวลผลเล็กน้อย โดยใช้ CPU เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 0.06 ต่อนาทีและ RAM เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 0.12 ต่อนาที จากการทำงานปกติ ซึ่งไม่กระทบการทำงานโดยรวมของระบบเนื่องจากในการทำงานจริงจะไม่ทำงานที่ peak load ตลอดเวลา ดังที่แสดงในภาพ 14

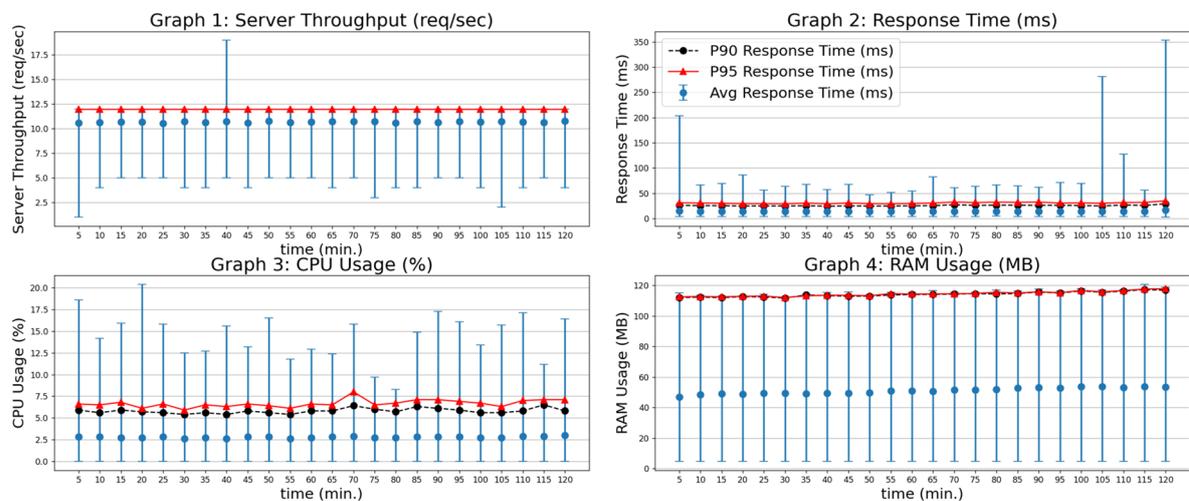
3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดการสินค้าในกระบวนการขนส่ง ระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ โดยหากสามารถจัดการกระบวนการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ สินค้าที่บรรจุเสร็จสิ้นจะมีเวลารอการขนส่งที่ต่ำ นับจากบรรจุเสร็จสิ้นจนถึงถูกขนส่งไปที่คลังสินค้า ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาที่สินค้ารอการขนส่ง จำนวน 100 รายการจากทั้งสองระบบ จากนั้นนำมาสร้างเป็นกราฟระฆังคว่ำ (bell curve) เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยและการกระจายตัวของเวลารอการขนส่งในแต่ละรายการระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ได้ดังภาพ 15 พบว่า การขนส่งในระบบเดิมสินค้าที่บรรจุเสร็จจะต้องรอการขนส่งเป็นเวลาเฉลี่ย 3186.68 นาที หรือ 2.21 วัน แต่ในส่วนกราฟการขนส่งในระบบใหม่มีเวลาเฉลี่ยที่สินค้ารอขนส่งอยู่ที่ 2996.27 นาที หรือ 2.08 วัน ซึ่งสินค้ามีเวลาการรอขนส่งลดลงจากระบบเดิม 190.41 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 5.98 หากเปรียบเทียบการกระจายตัวของเวลาที่ใช้จะพบว่าระบบเดิม มีช่วงการกระจายตัวที่กว้างกว่าระบบใหม่ ประมาณร้อยละ 38 กล่าวคือ การคาดการณ์ว่าสินค้าที่บรรจุเสร็จสิ้นจะถูกขนส่งในอีกกี่วันทำได้ยากตามไปด้วย



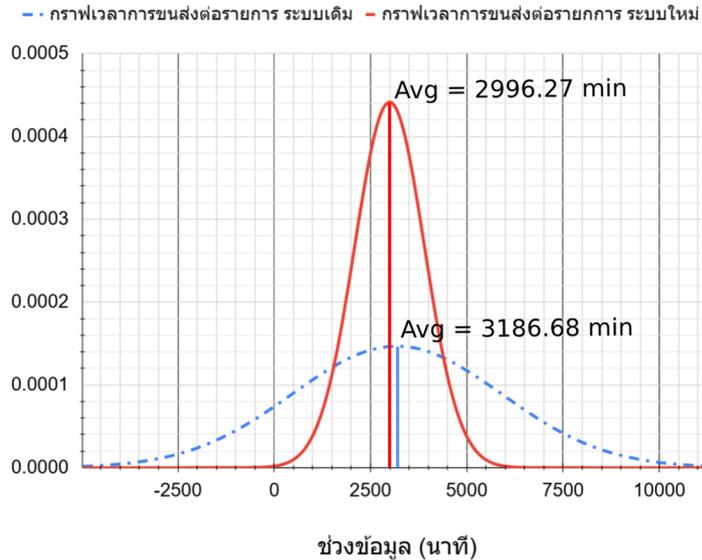
ภาพ 12 ผลการทดสอบ Capacity test ที่ 25% 50% 75% 100% ของ Peak load



ภาพ 13 ผลการทดสอบ Stress test ที่ 100% 125% 150% 200% 400% 800% 1000% ของ Peak load



ภาพ 14 ผลการทดสอบ Availability test ที่ 100% ของ Peak load เป็นเวลา 120 นาที



ภาพ 15 กราฟ Bell Curve เปรียบเทียบการกระจายตัวของสินค้าที่รอการขนส่ง ระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่

### การอภิปรายผล

ผลการวิจัยและพัฒนาาระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สู่คลังสินค้าสามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. ระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยเลือกใช้สถาปัตยกรรมแบบ Single Page Application: SPA ในการออกแบบโดยภาพรวม และเลือกใช้สถาปัตยกรรมแบบ Serverless ในการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันส่วนการประมวลผล สามารถทำงานได้ตามความคาดหวังในทุกข้อที่ทดสอบ จำนวน 15 หัวข้อ เช่น การตรวจสอบก่อนบันทึกข้อมูลในฟังก์ชันบันทึกข้อมูลการบรรจุสินค้าหรือการบันทึกประวัติการเปลี่ยนแปลงยอดสินค้าตลอดทั้งกระบวนการในทุกฟังก์ชันจึงสามารถติดตามการแก้ไขเปลี่ยนแปลงของสินค้าได้ตลอดกระบวนการ เป็นต้น นั่นทำให้ระบบสามารถสร้างมาตรฐานการบันทึกข้อมูล จัดระเบียบข้อมูล ติดตามสถานะสินค้า สถานะการผลิต และสถานะการขนส่งได้ในระบบเดียว ดังนั้นระบบที่พัฒนาจึงสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับการส่งต่อข้อมูล จัดการข้อมูลและติดตามสถานะสินค้าในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้าอย่างเป็นระบบได้ตามวัตถุประสงค์

2. จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (performance test) ทั้ง 4 กรณี ประกอบด้วย Load test Capacity test Stress test และ Availability test พบว่าระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถทำงานภายใต้โหลดปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และตอบสนองคำขอได้อย่างรวดเร็วจากผลการทดสอบ Load test และ Capacity test ที่แสดงให้เห็นว่า Response time และใช้ Resource อยู่ในระดับต่ำโดย Throughput สูง นอกจากนี้ระบบสามารถทำงานต่อเนื่องได้อย่างเสถียร และไม่มีผลกระทบต่อผู้ใช้งานจาก Availability test แต่เมื่อระบบทำงานที่โหลดสูงสุดเป็นเวลานานจะทำให้ใช้ Resource มากขึ้นในการประมวลผลนั้นอาจทำให้ความเสถียรลดลง ซึ่งมีการแก้ไข คือ การตั้งค่าการทำงานของเซิร์ฟเวอร์ให้รีสตาร์ทเมื่อใช้ทรัพยากรมากเกินไป 70% เพื่อล้างแคชภายในระบบทำให้แก้ปัญหาเรื่องความหน่วงของระบบเมื่อทำงานต่อเนื่องได้ โดยเมื่อโหลดมากกว่า 800% ของ Peak load ปัจจุบัน ผู้ใช้งานจะเริ่มได้รับผลกระทบเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบจาก Response time ที่เพิ่มมากขึ้นจึงควรมีการพัฒนาเพิ่มเติมเมื่อมีการใช้งานมากเกินไปกว่า 96 req/sec ซึ่งโหลดของระบบจะถูกมอนิเตอร์โดยผู้ดูแลระบบ หากมีโหลดเกินขอบเขตที่ระบบรับได้สามารถให้ผู้ใช้งานส่วนหนึ่งสลับไปใช้งานผ่านเซิร์ฟเวอร์สำรองเพื่อลดโหลดการทำงานของระบบหลัก

ซึ่งช่วยแก้ปัญหาได้เบื้องต้นระหว่างรอการขยายระบบ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้โหลดปัจจุบัน และมีความสามารถรองรับการขยายตัวได้มากถึง 8 เท่าของโหลดปัจจุบัน ก่อนที่ต้องปรับปรุงระบบอีกครั้ง การทดสอบประสิทธิภาพ ทำให้ทราบประสิทธิภาพและข้อจำกัดของระบบจริง จึงสามารถหาแนวทางการป้องกันระบบก่อนเกิดปัญหาได้ตามวัตถุประสงค์

นอกจากฟังก์ชันหลักที่ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาและจัดการข้อมูลภายในกระบวนการแล้ว ยังมีระบบภายในที่ช่วยสนับสนุนการทำงานของระบบหลักให้มีความมั่นคงและน่าเชื่อถือ ซึ่งถูกดูแลโดยผู้ดูแลระบบ คือ ระบบป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในฟังก์ชันหลัก โดยในฟังก์ชันหลักจะมีการป้องกันการนำเข้าข้อมูลที่ไม่ถูกต้องเพื่อป้องกันปัญหาในเบื้องต้น หากเกิดข้อผิดพลาดจากการประมวลผลในฝั่งเซิร์ฟเวอร์ของระบบซึ่งไม่ทำให้เซิร์ฟเวอร์ล้มเหลว จะมีการบันทึกข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นและย้อนกลับธุรกรรมที่ไม่สมบูรณ์ (rollback transaction) เพื่อป้องกันข้อมูลที่ผิดพลาดถูกบันทึกเข้าฐานข้อมูล แต่หากข้อผิดพลาดดังกล่าวทำให้ระบบล้มเหลวจำเป็นต้องให้ผู้ดูแลระบบเข้ามาแทรกแซง โดยสลับไปใช้เซิร์ฟเวอร์สำรองแทนในระหว่างแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหลัก

ผลกระทบที่เกิดจากระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าต่อธุรกิจ โดยการที่ระบบสามารถช่วยในการติดตามสอบถามกลับสินค้าที่มีปัญหาภายในกระบวนการได้ ทำให้ลดเวลาในการแก้ปัญหาด้านข้อมูลจาก 54.76 นาทีต่อปัญหา เหลือเพียง 15 นาทีต่อปัญหา ซึ่งคิดเป็นต้นทุนโดยตรงที่ลดได้มากกว่า 36,521.22 บาทต่อปี หรือ 4 ใน 5 ของระบบเดิม นอกจากนี้ระบบยังช่วยลดเวลาที่สินค้ารอคอยการขนส่งจากระบบเดิมลง 190.41 นาทีต่อรายการ หรือคิดเป็นร้อยละ 5.98 ซึ่งส่งผลให้กระบวนการสามารถจัดส่งสินค้าได้จำนวนรอบที่มากขึ้นในระยะเวลาเท่าเดิม กระบวนการขนส่งจึงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และการที่สามารถคาดการณ์เวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้าได้แม่นยำมากขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของเวลารอการขนส่งสินค้าในกระบวนการใหม่ลดลง ทำให้ฝ่ายคลังสินค้าสามารถวางแผนในการจัดการสินค้าที่จะเข้าสู่คลังได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ใช้ต้นทุนในการบริหารจัดการคลังสินค้าต่ำในทางอ้อม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบติดตามสถานะสินค้าที่พัฒนาขึ้น

เพื่อใช้ตรวจสอบ ติดตาม และจัดการกระบวนการขนส่งระหว่างโรงงานสู่คลังสินค้า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษา อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดกลาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานและลดต้นทุนที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## ข้อเสนอแนะ

หลังจากดำเนินการวิจัยทางผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาระบบในอนาคต ดังนี้

1. ระบบติดตามสถานะสินค้าที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้จัดการกระบวนการขนส่งในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ให้ความสำคัญกับเวลาและประสิทธิภาพในกระบวนการขนส่งได้ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ที่ให้ความสำคัญด้านเวลาการขนส่งเพื่อรักษาความสดใหม่ของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ จึงต้องติดตามสถานะการขนส่งของสินค้าอย่างใกล้ชิดซึ่งสามารถใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในการติดตามและจัดการกระบวนการได้อย่างไรก็ตาม ระบบยังมีข้อจำกัด ที่ต้องกำหนดจุดหมายปลายทางที่ชัดเจน และไม่มีฟังก์ชันคำนวณระยะทางแบบเปลี่ยนแปลงได้ตามปลายทาง ซึ่งอาจไม่เหมาะกับการจัดส่งที่ไม่มีจุดหมายปลายทางที่แน่นอน เนื่องจากฟังก์ชันการคำนวณประสิทธิภาพการขนส่งไม่รองรับการคำนวณเวลาในการขนส่งที่แตกต่างกัน หรือในอุตสาหกรรมด้านโลจิสติกส์ที่มีการขนส่งสินค้าแบบ Door-to-Door ซึ่งจะมีปลายทางการขนส่งเปลี่ยนไปตามลูกค้า เป็นต้น

2. เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณและเวลาในการพัฒนาจึงได้พัฒนาระบบให้ผู้ปฏิบัติงานเป็นคนนำเข้าข้อมูลและใช้เทคโนโลยีซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำในการติดตามสินค้าในอนาคตสามารถพัฒนาระบบโดยการนำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการติดตามพาเลทสินค้าเพื่อให้สามารถตรวจสอบและบันทึกข้อมูลในการขนส่ง รวมถึงการรับสินค้าเข้าคลังแบบอัตโนมัติ และลดข้อผิดพลาดในการกรอกข้อมูลได้ ซึ่งสามารถพัฒนาระบบเดิมต่อไปได้เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำงานร่วมกับระบบ IoT ได้ และสามารถทำการทดสอบระบบหาจุดที่เป็นปัญหาของระบบเพื่อทำการพัฒนาให้ระบบสามารถรองรับโหลดให้มากขึ้นได้

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรทุกท่านจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้มอบความรู้และแนะแนวทางการศึกษาในการทำงาน

วิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาและบุคลากรที่เกี่ยวข้องที่ให้ความอนุเคราะห์ สนับสนุนทุนวิจัย และมอบข้อมูลที่เป็นประโยชน์ จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี



## References

- Al-Ahmad, B., & Debei, K. A. (2020). Survey of testing methods for web applications. *European International Journal of Science and Technology*, 9(12), 1-22. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Bilal\\_Al-Ahmad/publication/348000478\\_Survey\\_of\\_Testing\\_Methods\\_for\\_Web\\_Applications/links/5fec692a92851c13fed40a1c/Survey-of-Testing-Methods-for-Web-Applications.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Bilal_Al-Ahmad/publication/348000478_Survey_of_Testing_Methods_for_Web_Applications/links/5fec692a92851c13fed40a1c/Survey-of-Testing-Methods-for-Web-Applications.pdf)
- Ambore, S. (2021). *Web application development: Full & detailed guide for 2022*. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/web-application-development-full-detailed-guide-2022-sham-ambore/>
- Andersson, M. (2023). *The importance of web application architecture: Understanding factors influencing decision-making and identifying potential improvements for effective web development* (Bachelor's thesis). Karlstad University. Karlstad.
- Athikulrat, K., & Jangruksakul, S. (2023). Design and implementation of industrial logistics communication system with google workspace: A case study hitech Pattana Industry Co., Ltd. *Journal of Professional Routine to Research*, 10, 55-66. Retrieved from <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jpr2r/article/view/263676/178517> (in Thai)
- Babu, A. C., Teja, V. N. C. S., Reddy, A. D., Kumar, E. N., & Srinivas, V. (2023). Web based hospital management system. *2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)* (pp. 1109-1113). Coimbatore, India: IEEE
- Chandrasekhar, A. K., & Chandran, A. S. (2021). Comparative analysis of load testing tools. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 9(6), 758-764. Retrieved from <https://ijcrt.org/papers/IJCRT2106814.pdf>
- Ferràs-Hernández, X., Tarrats-Pons, E., & Arimany-Serrat, N. (2017). Disruption in the automotive industry: A Cambrian moment. *Business Horizons*, 60(6), 855-863. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.07.011>
- Hossain, M. I. (2023). Software Development Life Cycle (SDLC) Methodologies for information systems project management. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 5(5), 6223. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i05.6223>

- Jain, M. (2023). *Understanding data: Definition, importance, and its four key aspects*. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-data-definition-importance-its-four-key-manas-jain/>
- Jugo, I., Kermek, D., & Mestrovic, A. (2014). Analysis and evaluation of web application. *14th International Conference, ICWE 2014, Toulouse, France, July 1-4, 2014, Proceedings* (pp. 40-56). Toulouse, France: Université Paul Sabatier
- Jutamaneeroj, D. (2021). *Development of web application using decision based learning to enhance pre-clinic medical student's evaluate reasoning* (Master's Thesis). Chulalongkorn University. Bangkok (in Thai)
- Leelaprute, P., & Churchart, N. (2018). Development of system and database for capacity planning in integrated circuit manufacturing. *UTK Research Journal*, 12(2), 136–147. Retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/rmutk/article/view/143793/117471> (in Thai)
- Katruksa, S., & Kullimratchai, P. (2024). Application of artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference systems in the electrical power system. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 18(1), 1–19. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/266469> (in Thai)
- Pantupon, T., Chotibhawaris, T., & Buddeejeen, J. (2021). Improvement of nut and screw placement in warehouse with ABC analysis. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 15(3), 201–210. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/249752> (in Thai)
- Orsuwan, P., & Tati, S. (2023). Web application development for efficient and paperless disbursement of office supplies. Case study 9th armoured regiment, 4th infantry division. *Journal of Logistics and Digital Supply Chain*, 1(3), 52-67. Retrieved from <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JLDSC/article/view/1259/1091> (in Thai)
- Patil, S, S., & Joshi, S, D. (2012). Identification of performance improving factors for web application by performance testing. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(8), 433-436. Retrieved from [https://www.ijetae.com/files/Volume2Issue8/IJETAE\\_0812\\_74.pdf](https://www.ijetae.com/files/Volume2Issue8/IJETAE_0812_74.pdf)
- Pengsomboon, W., Thanawasien, S., & Sujarae, A. (2019). Transportation system design for transporting heavy and oversize goods. *EAU Heritage Journal Science and Technology (Online)*, 13(3), 106–118. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/231616> (in Thai)
- Phanthali, P. (2020). Social changes in the 21st century. *Buddhism in Mekong Region Journal*, 3(2), 44-55. Retrieved from <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/bmrj/article/view/251411> (in Thai)

- Piromrit, S., & Tinapron, S. (2014). Data center design for organization functions and scale. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 6(2), 30–38. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/25721> (in Thai)
- Pranee, P. (2018). *A design of customer surveying and data processing system of new car buyers* (Master's Thesis). Chulalongkorn University. Bangkok (in Thai)
- Somsar, P. (2018). *Supplier information management systems Case study auto parts manufacturing company* (Master's Thesis). Burapha University. Chon Buri (in Thai)
- Tangsongjitakul, C., Jairueng, S., Hirunwat, A., & Ruekkasaem, L. (2024). Supplier selection using analytic hierarchy process for installation fire protection system in high-rise building. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 18(2), 152–170. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/268196> (in Thai)
- Wing, J. M. (2019). The data life cycle. *Harvard data science review*, 1(1), 198882622. <https://doi.org/10.1162/99608f92.e26845b4>



# การพัฒนาแบบจำลองพลังงานเพื่อประเมินการใช้พลังงานและการลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ กรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่

## Development of Energy Models to Assess Energy Use and Reduce Carbon Dioxide Emissions for a Case Study in a Large Residential Building

สุรศักดิ์ จันทร์ฉาย<sup>1</sup> ณ์ภูธร<sup>2\*</sup> ศุภรัชชัย วรรัตน์<sup>3</sup> และประยูทธ์ ฤทธิเดช<sup>3</sup>  
Surasak Janchai<sup>1</sup>, Nat Nakkorn<sup>2\*</sup>, Suparatchai Vorarat<sup>3</sup> and Prayuth Rittidatch<sup>3</sup>

<sup>1</sup>บริษัท เอ-เวสต์ พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด ชลบุรี

<sup>1</sup>A-West Property Co., Ltd, Chonburi

<sup>2</sup>การประปาส่วนภูมิภาคสาขาพัทยา (ชั้นพิเศษ) ชลบุรี

<sup>2</sup>Provincial Waterworks Authority, Branch Office Pattaya (Special Level)

<sup>3</sup>วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

<sup>3</sup>College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University

\*Corresponding author E-mail: natnakkorn@gmail.com

Received: November 27, 2024

Revised: January 16, 2025

Accepted: January 23, 2025

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลองพลังงานสามมิติสำหรับอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ผ่านการปรับปรุงมาตรการพลังงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกัน ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการส่งเสริมและสนับสนุนเป้าหมายในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาคอาคาร และการบรรลุเป้าหมายในการพัฒนาที่ยั่งยืน งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากอาคารที่พักอาศัยต้นแบบ 5 ประเภทในประเทศไทย ที่มีพื้นที่ใช้สอยมากกว่า 300 m<sup>2</sup> นำมาสร้างแบบจำลองพลังงานสามมิติด้วยโปรแกรม SketchUp และ OpenStudio พร้อมวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วย EnergyPlus และนำมาตรการพลังงานพลังงานจำนวน 25 รูปแบบ ครอบคลุมทั้งการออกแบบทางกายภาพ เช่น การเลือกใช้กระจกผนังและวัสดุฉนวนกันความร้อน และการจัดการพื้นที่สีเขียวโดยการติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า มาตรการพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ มาตรการกระจก Double IGU with Low-E (4W<sub>4</sub>) + ผนังอิฐมวลเบา AAC (8F<sub>3</sub>) + ฉนวนกันความร้อน PU Foam (13I<sub>3</sub>) + หลังคาไวนิล (17R<sub>2</sub>) + Green Roof 50 cm (25P<sub>5</sub>) สามารถลดการใช้พลังงานและลดการปล่อย CO<sub>2</sub> ได้เฉลี่ยสูงสุดถึงร้อยละ 58 เมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบก่อนการปรับปรุง ในเชิงเศรษฐศาสตร์ การลดการใช้พลังงานและลดการปล่อย CO<sub>2</sub> ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระยะยาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกรณีการปรับใช้มาตรการที่เหมาะสมกับบริบทของอาคาร เช่น การเลือกวัสดุและเทคโนโลยีที่มีต้นทุนเริ่มต้นไม่สูงแต่มีประสิทธิภาพยาวนานในระยะเวลาดำเนินงาน นอกจากนี้ มาตรการดังกล่าวยังช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในอาคาร ลดภาระค่าใช้จ่ายในครัวเรือน และส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัย อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการ เช่น การสร้างแบบจำลองพลังงานอาจขึ้นอยู่กับสมมติฐานด้านพฤติกรรมการใช้งานและลักษณะอาคารที่เก็บข้อมูลมาจากอาคารในประเทศไทย ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมถึงอาคารประเภทอื่น ๆ หรืออาคารในภูมิภาคอื่นที่มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยนี้สามารถช่วยผู้มีส่วนได้ส่วน

เสีย ผู้กำหนดนโยบายด้านพลังงาน และภาคเอกชนที่สนใจเรื่องอาคารประหยัดพลังงาน ในการนำข้อมูลไปใช้สนับสนุนในการตัดสินใจเพื่อออกแบบและปรับปรุงอาคารให้สอดคล้องกับมาตรฐานการใช้พลังงานขั้นสูง (HEPS) และก้าวสู่เป้าหมายการสร้างอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมความยั่งยืนของภาคอาคารในอนาคตได้ต่อไป

**คำสำคัญ:** การจำลองพลังงานในอาคาร อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ หลังคาเขียว ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

## Abstract

This research aims to develop a three-dimensional (3D) energy model for large-scale residential buildings to evaluate energy consumption and reduce carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions by implementing interconnected energy-saving measures. Such efforts are highly significant in supporting and promoting environmental impact mitigation within the building sector and in achieving sustainable development goals. Data from five prototype residential buildings in Thailand, each with a usable area exceeding 300 m<sup>2</sup>, were utilized. A 3D energy model was created using SketchUp and OpenStudio, and energy consumption was analyzed using EnergyPlus. A total of 25 energy measures were incorporated, covering both physical design approaches, such as the selection of glazing and thermal insulation materials, and green space management through the installation of green roofs (Green Roof). The findings indicate that the most effective energy measures, specifically Double IGU with Low-E (4W<sub>4</sub>), AAC wall (8F<sub>3</sub>), PU Foam insulation (13I<sub>3</sub>), vinyl roofing (17R<sub>2</sub>), and a 50-cm green roof (25P<sub>5</sub>), can reduce energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions by an average of up to 58% compared to the baseline prototype buildings. From an economic perspective, these reductions CO<sub>2</sub> substantially lower long-term energy costs, especially when employing measures suited to the specific context of a building, such as materials and technologies with moderate initial costs but long-lasting performance. Furthermore, these measures enhance indoor comfort, decrease household expenditures, and improve the occupants' quality of life. However, there are certain limitations to this study. The energy modelling process relies on assumptions regarding occupant behaviour and building characteristics derived from Thai buildings, which may not apply to other types of buildings or regions with different climatic conditions. Nevertheless, the findings of this research provide valuable insights for stakeholders, energy policymakers, and private sector entities interested in energy-efficient buildings, supporting informed decision-making for designing and retrofitting buildings to meet High Energy Performance Standards (HEPS) and to progress toward Net Zero Energy Buildings, an essential path toward promoting sustainability in the building sector in the future.

**Keywords:** building energy simulation, Net Zero Energy Building, Green Roof, carbon dioxide emission reductions



## บทนำ

ปัจจุบันโลกและประเทศไทยกำลังเผชิญกับการขยายตัวของชุมชนเมือง (urbanization) ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของประชากรจากชนบทสู่เมืองอย่างรวดเร็ว (Bunnag, 2022) ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ได้แก่ การเติบโตทางเศรษฐกิจ ความต้องการเข้าถึงบริการด้าน การศึกษา สาธารณสุข ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและภูมิอากาศ รวมถึงการโยกย้ายถิ่นฐานของประชากรที่แสวงหาโอกาสในการทำงาน และคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นในเมืองใหญ่ (Yangtianzheng & Ying, 2024) ในประเทศไทย การเติบโตของเมืองเช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ ขอนแก่น ชลบุรี และภูเก็ต เป็นตัวอย่างสำคัญของการขยายตัวของชุมชนเมืองที่เห็นได้ชัด ซึ่งส่งผลให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ รวมถึงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย สำนักงาน คอนโดมิเนียม และห้างสรรพสินค้า เพื่อรองรับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การขยายตัวเหล่านี้ทำให้ความต้องการใช้พลังงานของโลกเพิ่มขึ้น โดยสำนักงานพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) รายงานว่า การใช้พลังงานเฉลี่ยต่อประชากรอยู่ที่ 22,000 kWh ต่อปี และคาดว่าในอนาคตประชากรจะเพิ่มสูงขึ้นไปอีก (Sani et al., 2020) และมีสัดส่วนการใช้พลังงานของภาคอาคารคิดเป็นประมาณร้อยละ 25–30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (final energy consumption) และมีการปล่อย CO<sub>2</sub> ประมาณร้อยละ 15–20 ของการปล่อย CO<sub>2</sub> ทั้งหมดในประเทศ (Ministry of Energy, 2020) ภาคการก่อสร้างก็เป็นภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูง โดยในส่วนของภาคอาคารใช้พลังงานมากกว่าภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งในสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา (Bland, Khzouz, Statheros & Gkanas, 2017) ร้อยละ 85 ของพลังงานที่ใช้ในภาคอาคารมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 ของพลังงานทั้งหมด ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก (Behzadi et al., 2022) ในการประชุม COP 28 ณ เมืองดูไบ ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ผู้นำจากกว่า 190 ประเทศได้หารือเกี่ยวกับภัยคุกคามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเน้นย้ำถึงเป้าหมายในการจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้เกิน 1.5 องศาเซลเซียส โดยเรียกร้อง

ให้ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 43 ภายในปี 2030 และร้อยละ 84 ภายในปี 2050 (United Nations Climate Change, 2023)

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ส่งผลให้การลดอุณหภูมิภายในอาคารในช่วงฤดูร้อนเป็นความจำเป็นที่สำคัญสำหรับผู้พักอาศัย การพัฒนาประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่พักอาศัยจึงเป็นสิ่งสำคัญ (Yu, Guo, Wang, & Chang, 2020) การปรับปรุงอาคารเดิมหรือการออกแบบอาคารใหม่เพื่อลดการใช้พลังงานและเข้าสู่เกณฑ์อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (net Zero Energy Building) เป็นเป้าหมายสำคัญในการสร้างสังคมคาร์บอนต่ำในอนาคต โดยมีมาตรการต่าง ๆ ที่สามารถดำเนินการได้ เช่น การใช้กรอบหน้าต่างและกระจก Low-E ที่ลดการถ่ายเทความร้อนจากแสงแดด (Nur-E-Alam et al., 2024) การติดฟิล์มกันความร้อนบนกระจกหน้าต่างและประตูเพื่อลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ (Chi, Gao, Zhang, & He, 2023) การติดตั้งฉนวนกันความร้อนในผนัง หลังคา และพื้นอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศ (Qian, Tang, Wang & Fang, 2017) การใช้ระบบปรับอากาศประสิทธิภาพสูง เช่น ระบบ Variable Refrigerant Flow: VRF (Wang, Lu, Adetola & Louie, 2024) การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟ LED ที่ประหยัดพลังงาน (Al Rashdi et al., 2022) การออกแบบพื้นที่สีเขียวรอบอาคารเพื่อลดความร้อนและเพิ่มความสบาย (Zhong, Schröder & Bekkering, 2024) และการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ปล่อยคาร์บอนต่ำ เช่น วัสดุรีไซเคิลหรือวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ มาตรการเหล่านี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน และส่งเสริมความยั่งยืนในระยะยาว

การประเมินและจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากสามารถช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายด้านพลังงาน สามารถคาดการณ์การใช้พลังงานภายใต้สถานการณ์ที่หลากหลายได้ (Sarmiento et al., 2024) โปรแกรม Energy Plus เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและใช้งานง่ายในการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยสามารถจำลองการใช้พลังงาน

ได้อย่างละเอียด โดยคำนึงถึงปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพภูมิอากาศ โครงสร้างอาคาร ระบบพลังงาน และกิจกรรมภายในอาคาร (Shabunko, Lim & Mathew, 2018) โดยโปรแกรม Energy Plus ถูกพัฒนาโดยกระทรวงพลังงานสหรัฐ ฯ (U.S. Department of Energy) เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองพลังงานภายในอาคารที่ช่วยในการทดลอง และลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างจริง โดยการสร้างแบบจำลองพลังงานที่มีประสิทธิภาพสำหรับอาคารที่พักอาศัยนั้นควรครอบคลุมตัวแปรสำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิภายในภายนอกอาคาร การใช้พลังงาน ความชื้น และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการรวมข้อมูลเหล่านี้ จะช่วยให้สามารถคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคตได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น (Ramirez, Nagarsheth, Ramirez, Henao & Agbossou, 2024)

หลังจากวิกฤตการณ์ Covid-19 ผู้คนในหลายประเทศมีรายได้และความมั่งคั่งเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความต้องการที่พักอาศัยที่มีความสะดวกสบายและพื้นที่กว้างขวางเพื่อให้สอดคล้องกับวิถีชีวิตที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้การใช้พื้นที่ภายในอาคารที่พักอาศัยยังมีการปรับเปลี่ยนวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะการใช้เป็นพื้นที่ทำงานที่บ้าน ห้องออกกำลังกาย ห้องดูหนัง หรือห้องสำหรับไลฟ์สไตล์ของออนไลน์ (Wolday & Böcker, 2023) อีกทั้งปัจจัยทางวัฒนธรรมก็มีบทบาทสำคัญ โดยการมีบ้านขนาดใหญ่ถูกมองว่าเป็นสัญลักษณ์ของความสำเร็จและสถานะทางสังคม ส่งผลให้ในปัจจุบันมีแนวโน้มการสร้างบ้านพักอาศัยขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจในการประเมินการใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่และนำเสนอมาตรการลดการใช้พลังงาน เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานการใช้พลังงานขั้นสูงของเทคโนโลยีปัจจุบัน (High Energy Performance Standard: HEPS) (Ministry of Energy, 2020) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดให้มีการใช้พลังงานในอาคารให้น้อยที่สุด โดยมีเกณฑ์ที่ชัดเจน เช่น ค่าการใช้พลังงานรวม (EUI) OTTV/RTTV SEER หรือ COP ของอุปกรณ์ และการใช้พลังงานหมุนเวียน อย่างไรก็ตาม แบบจำลองพลังงานในปัจจุบันมักขาดข้อมูลที่เพียงพอ เช่น ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้งานในช่วงเวลาต่าง ๆ และคุณสมบัติของวัสดุเฉพาะท้องถิ่น อีกทั้งการจัดการพลังงาน

ยังขาดการใช้ระบบวิเคราะห์และเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การคาดการณ์พลังงานและการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมไม่สะท้อนความเป็นจริง ทำให้งานวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ โดยเน้นการพัฒนาแบบจำลองพลังงานที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และรวมมาตรการปรับปรุงพลังงานที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในระดับท้องถิ่น และลดปัญหาการจัดการข้อมูลพลังงานที่มักถูกละเลย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการประเมินและวางแผนพลังงานในอนาคตอย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลองพลังงานสามมิติสำหรับประเมินการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ โดยเลือกอาคารตัวอย่างจำนวน 5 อาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยมากกว่า 300 m<sup>2</sup> การวิจัยครอบคลุมถึงการประเมินปริมาณการใช้พลังงานในอาคารเหล่านี้ รวมถึงการนำเสนอมาตรการลดการใช้พลังงานและการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

## วัตถุประสงค์การศึกษาวิจัย

1. พัฒนาและสร้างแบบจำลองพลังงานต้นแบบในอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ในรูปแบบสามมิติ
2. ประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารต้นแบบและเสนอแนวทางลดการใช้พลังงาน เพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์การใช้พลังงานขั้นสูง (HEPS)
3. ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบอาคารแบบเชิงรับ (passive design) เป็นหนึ่งในกลยุทธ์ที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร โดยใช้ประโยชน์จากธรรมชาติและสภาพแวดล้อมโดยรอบเพื่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่สะดวกสบายและประหยัดพลังงานมากขึ้น (Uddin, Wei, Chi & Ni, 2019) แนวทางในการออกแบบเชิงรับประกอบด้วย การเลือกรูปแบบของอาคาร การจัดการการระบายอากาศ การติดตั้งอุปกรณ์บังแดด การกำหนดอัตราส่วนหน้าต่างต่อผนัง และ

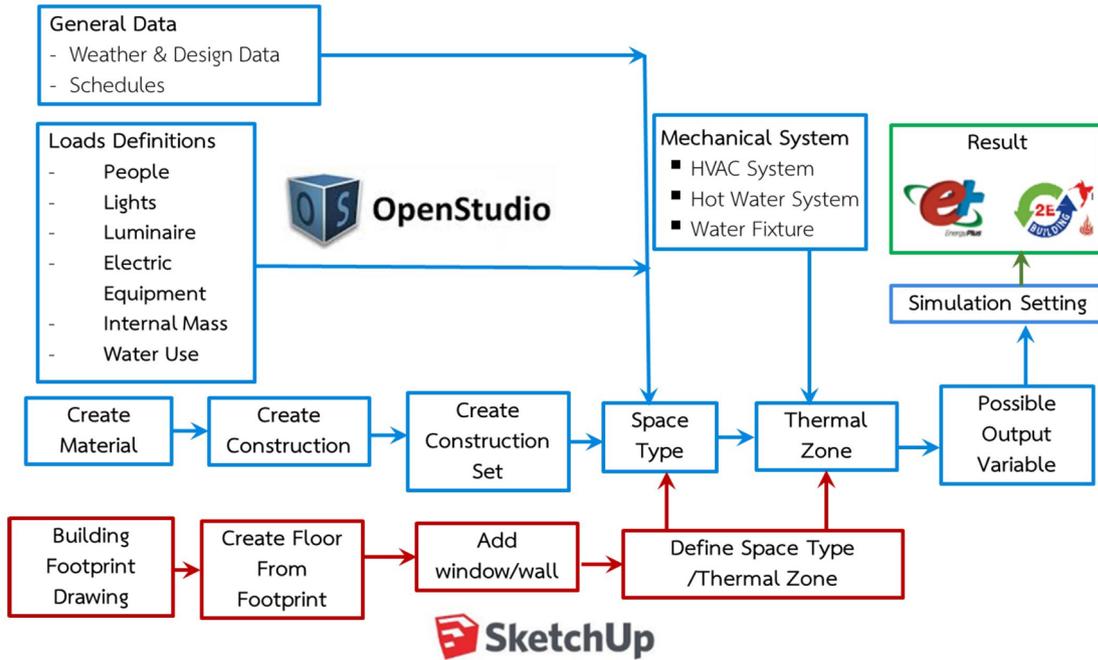
การจัดวางแนวของอาคาร (Altan, Hajibandeh, Tabet Aoul & Deep, 2016) โดยเฉพาะการเลือกรูปทรงและการวางแนวของอาคารมีผลต่อการปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ และสามารถช่วยปรับปรุงอุณหภูมิภายในอาคารได้ (Raof, 2017) การเจาะช่องระบายอากาศก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนภายในอาคารได้ รวมถึงการออกแบบเปลือกอาคาร (façade) (Lapisa, 2019) ซึ่งประกอบด้วยผนังและหลังคาที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคาร (Ziaemehr, Jandaghian, Ge, Lacasse & Moore, 2023) โดยแนวทางในการสร้างแบบจำลองพลังงานต้นแบบสำหรับอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ในรูปแบบสามมิติของงานวิจัยนี้ เริ่มจากการสำรวจรูปแบบอาคารที่พักอาศัยในประเทศไทยที่มีพื้นที่ใช้สอยตั้งแต่ 300 ตารางเมตรขึ้นไปและมี 2 ชั้น จากนั้นเลือกอาคารตัวแทนจำนวน 5 อาคารเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการประเมินการใช้พลังงาน งานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่นในหลายด้าน (Polkhuntod & Chamsa-ard, 2021) เนื่องจากมุ่งเน้นการประเมินการใช้พลังงานของอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ในบริบทของประเทศไทย และมีการวิเคราะห์มาตรการประหยัดพลังงานถึง 25 รูปแบบ อีกทั้งยังใช้ข้อมูลเฉพาะเจาะจง เช่น สภาพภูมิอากาศ ความชื้น อุณหภูมิ และลักษณะการก่อสร้างในประเทศไทย

โดยเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน เช่น สภาพอาคาร แผนผัง ข้อมูลวัสดุ ขนาด และพื้นที่ต่อมา สำรวจข้อมูลการใช้งานอาคาร ได้แก่ ตารางการใช้อาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ หลังจากรวบรวมข้อมูลเหล่านี้แล้ว กำหนดข้อมูลสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย จากฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Weather Data) บนเว็บไซต์ EnergyPlus (U.S. Department of Energy's (DOE), 2023) ขั้นตอนต่อมาเป็นการสร้างแบบจำลองพลังงานต้นแบบของอาคารที่พักอาศัย โดยใช้แบบแปลนของอาคารต้นแบบทั้ง 5 แบบ เพื่อสร้างโมเดลสามมิติในโปรแกรม SketchUp โดยกำหนดขนาดความกว้าง ยาว และสูงของอาคาร พร้อมทั้งกำหนดอัตราส่วนพื้นที่ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio: WWR) เมื่อกรอบอาคารสามมิติเสร็จ

สมบูรณ์แล้ว จะกำหนด Space Type และ Thermal Zone ของห้องภายในอาคารผ่านปลั๊กอิน OpenStudio ตามภาพที่แสดงในภาพ 1 (Ministry of Energy, 2018)

การสร้างแบบจำลองพลังงานของอาคารต้นแบบสามารถทำได้โดยใช้ปลั๊กอิน OpenStudio ร่วมกับโปรแกรม EnergyPlus ซึ่งพัฒนาโดย National Renewable Energy Laboratory ภายใต้กระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Energy's (DOE), 2024) EnergyPlus เป็นหนึ่งในเครื่องมือด้านการจำลองพลังงานอาคาร (Building Energy Simulation: BES) ที่มีความสามารถในการคำนวณภาระความร้อนและกำหนดปริมาณความร้อนและความเย็นที่อาคารต้องการ อีกทั้งยังสามารถประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารได้ โดยมักใช้เพื่อสร้างแบบจำลองพลังงานและเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับอาคารประเภทอื่น ๆ (Ono et al., 2024)

การสร้างแบบจำลองพลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus อ้างอิงทฤษฎีและแนวคิดสำคัญหลายประการที่ช่วยในการวิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานในอาคารและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แนวคิดหลักที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ (1) การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) (Chen, Wang & Xie, 2019) (2) การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (thermal and moisture control) (Wang & Lu, 2022) (3) การจำลองสมรรถนะอาคาร (building performance simulation) (Ahmed, Sezer, Ouf, Wang & Hassan, 2023) (4) การควบคุมการใช้พลังงาน (energy management and control) (Ferahtia et al., 2024) และ (5) การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (energy efficiency) (Mandel & Pató, 2024) จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมดการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารนั้นส่วนใหญ่ตั้งอยู่บนหลักการสมดุลทางความร้อน รวมถึงสมดุลความร้อนที่พื้นผิว สมดุลความร้อนในอากาศ และการจำลองระบบอาคาร โดยการคำนวณสมดุลความร้อนได้แสดงไว้ในสมการ (1) ถึงสมการ (4) (Kampelis et al., 2020)



ภาพ 1 Workflow การทำงานของการสร้างแบบจำลองพลังงานสามมิติ

Note. From BESM building energy simulation program manual, by Ministry of Energy, 2020, Copyright 2018 by Ministry of Energy.

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

โดยที่

$\dot{q}''_{\text{sol}}$  = ปริมาณความร้อนที่พื้นผิวได้รับจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\dot{q}''_{\text{LWR}}$  = ปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสีในช่วงคลื่นยาว ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\dot{q}''_{\text{conv}}$  = ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อน ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\dot{q}''_{\text{ko}}$  = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากพื้นผิว ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

โดยที่  $\dot{q}''_{\text{sol}}$  ได้รับอิทธิพลจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ตำแหน่ง มุมและความเอียงของพื้นผิว วัสดุพื้นผิว และสภาพอากาศ  $\dot{q}''_{\text{LWR}}$  ถูกกำหนดโดยการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างพื้นผิวกับพื้นดิน ท้องฟ้าและอากาศ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned} \dot{q}''_{\text{LWR}} = & \epsilon \sigma F_{\text{gnd}} (T_{\text{gnd}}^4 - T_{\text{surf}}^4) \\ & + \epsilon \sigma F_{\text{sky}} (T_{\text{sky}}^4 - T_{\text{surf}}^4) \\ & + \epsilon \sigma F_{\text{air}} (T_{\text{air}}^4 - T_{\text{surf}}^4) \end{aligned} \quad (2)$$

โดยที่

$\epsilon$  = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของพื้นผิว

$\sigma$  = ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$ )

$F_{\text{gnd}}$  = ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิพื้นผิวพื้นดิน

$F_{\text{sky}}$  = ปัจจัยของพื้นผิวผนังกับอุณหภูมิของท้องฟ้า

$F_{\text{air}}$  = ปัจจัยของพื้นผิวผนังต่ออุณหภูมิอากาศ

$T_{\text{surf}}$  = อุณหภูมิพื้นผิวภายนอก (K)

$T_{\text{gnd}}$  = อุณหภูมิพื้นผิวดิน (K)

$T_{\text{sky}}$  = อุณหภูมิท้องฟ้า (K)

$T_{\text{air}}$  = อุณหภูมิของอากาศ (K)

การคำนวณความร้อนจากการพาความร้อนของแบบจำลองสามารถทำได้ตามสมการที่ 3

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

โดยที่

$h_{c,ext}$  = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอก

$T_{surf}$  = อุณหภูมิพื้นผิว (K)

$T_{air}$  = อุณหภูมิอากาศภายนอก (K)

การคำนวณค่าการนำความร้อนสู่นั่งสามารถหาได้ตามสมการที่ 4

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

โดยที่

$T$  = อุณหภูมิ (K)

$T_o$  = อุณหภูมิขององค์ประกอบภายนอกของอาคาร (K)

$T_i$  = อุณหภูมิขององค์ประกอบภายในของอาคาร (K)

$i$  = องค์ประกอบภายในของอาคาร

$o$  = องค์ประกอบภายนอกของอาคาร

$X, Y$  = ปัจจัยตอบสนอง (W/K)

การลดการใช้พลังงานในอาคารสามารถทำได้โดยผ่านมาตรการต่าง ๆ ที่เน้นการออกแบบและการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการพลังงานที่ดี โดยมีแนวทาง ดังนี้

1) การออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพ ทำได้โดยการกำหนดทิศทางและที่ตั้งของอาคาร การเลือกใช้วัสดุป้องกันความร้อน การออกแบบอัตราส่วนพื้นที่ผนังโปร่งแสง (WWR) พร้อมการใช้กระจกที่สะท้อนแสง UV และมีค่าการนำความร้อนต่ำ (Kishore, Selvam, Didwania & Augenbroe, 2022)

2) การปรับปรุงระบบเครื่องปรับอากาศ โดยการใช้ระบบ HVAC ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมถึงการบำรุงรักษา ระบบ HVAC และการใช้ระบบระบายอากาศแบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เช่น ระบบระบายอากาศแบบ Heat Recovery Ventilation: HRV (Nguyen et al., 2024)

3) การใช้พลังงานสะอาดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล สามารถทำได้โดยการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (solar panels) (Amin Mirjalili, Aslani & Zahedi, 2023) และ การใช้พลังงานจากลม (wind energy) (Hussain, Sharma & Lal, 2024)

4) การปรับปรุงระบบแสงสว่าง โดยการใช้หลอดไฟ LED และระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติ เช่น เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวและระบบเปิด-ปิดไฟตามความเข้มของแสงธรรมชาติ (Lee, Choi, Yoon & Kim, 2023)

5) การปรับปรุงพื้นที่ภายนอกอาคาร โดยการปลูกต้นไม้และสร้างพื้นที่สีเขียว รวมถึงการใช้วัสดุผนังหลังคาและผนังที่สะท้อนแสงเพื่อลดความร้อนสะสม (Sun, 2024)

6) การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงาน โดยการรณรงค์ให้ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งาน ตั้งอุณหภูมิปรับอากาศที่เหมาะสม และเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดพลังงาน

แนวทางในการกำหนดมาตรการพลังงานเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระยะยาว นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานและส่งเสริมความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม แนวทางเหล่านี้ยังสามารถปรับใช้ให้เหมาะสมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั้งในระดับอำเภอและจังหวัดได้ต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้คัดเลือกอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่ใช้สอยตั้งแต่ 300 m<sup>2</sup> ขึ้นไป โดยวิธีการสุ่มคัดเลือกอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุผนังอิฐมวลฉนวนในภูมิภาค (ภาคกลาง) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของอาคารประเภทนี้ โดยคัดเลือกตัวอย่างอาคาร 5 รูปแบบ และทำการเก็บข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามและใช้ Google Map เข้าช่วยในการสำรวจเก็บข้อมูลอีกด้วย จากนั้นนำข้อมูลพื้นฐานมาสร้างแบบจำลองสามมิติในโปรแกรม OpenStudio ตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2010 (Lee & Lim, 2024) ซึ่งครอบคลุมพฤติกรรมการใช้อาคาร การใช้ไฟฟ้าสำหรับแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ (HVAC) จากนั้น ทำการประเมินการใช้พลังงานรายปีของอาคารแต่ละรูปแบบในโปรแกรม EnergyPlus และเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (2554-2573) ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (Ministry of Energy, 2020) ขึ้นตอนถัดไป ทำการปรับปรุงอาคารตามมาตรการพลังงานที่กำหนดเพื่อให้อาคารมีความสามารถในการประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ในโปรแกรม OpenStudio และ EnergyPlus เพื่อให้ผู้กำหนดมาตรการพลังงานและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

สามารถทราบถึงมาตรการหรือทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> สำหรับอาคารแต่ละรูปแบบ และในขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษานำผลการใช้พลังงานภายในอาคารก่อนและหลังการปรับใช้มาตรการพลังงานมาเปรียบเทียบเพื่อประเมินว่ามาตรการใดมีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ได้ดีที่สุดในขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษา นำผลการใช้พลังงานภายในอาคารก่อนและหลังการปรับใช้มาตรการพลังงานมาเปรียบเทียบเพื่อประเมินว่ามาตรการใดมีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ได้ดีที่สุดในขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษา นำผลการใช้พลังงานภายในอาคารก่อนและหลังการปรับใช้มาตรการพลังงานมาเปรียบเทียบเพื่อประเมินว่ามาตรการใดมีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ได้ดีที่สุดในขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษา

- (1) การปรับเปลี่ยนประเภทกระจกภายนอกอาคาร
- (2) การปรับเปลี่ยนประเภทผนังอาคาร
- (3) การติดตั้งฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้าเพดาน
- (4) การปรับเปลี่ยนประเภทหลังคา และ
- (5) การติดตั้งหลังคาเขียว (green roof) โดยรายละเอียดของประเภทวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละมาตรการแสดงไว้ในตาราง 1 ซึ่งมาตรการต่าง ๆ ได้ถูกกำหนดด้วยหมายเลขเฉพาะ เช่น Double IGU (3W<sub>3</sub>) ซึ่งหมายถึงมาตรการที่ 3 ที่ใช้กระจกแบบ Double IGU ในการปรับปรุงอาคาร หลังจากการปรับปรุงตามมาตรการที่กำหนด อาคารต้นแบบทั้ง 5 รูปแบบจะได้รับการประเมินการใช้พลังงานอีกครั้งด้วยโปรแกรม EnergyPlus จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับใช้มาตรการพลังงานเพื่อระบุว่ามาตรการใดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการใช้พลังงานรวมและสามารถเข้าเกณฑ์ระดับการใช้พลังงานขั้นสูง (HPES) การวิเคราะห์และเปรียบเทียบแบบจำลองพลังงานสามมิติที่ผ่านการปรับใช้มาตรการต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังภาพ 2

## ผลการวิจัย

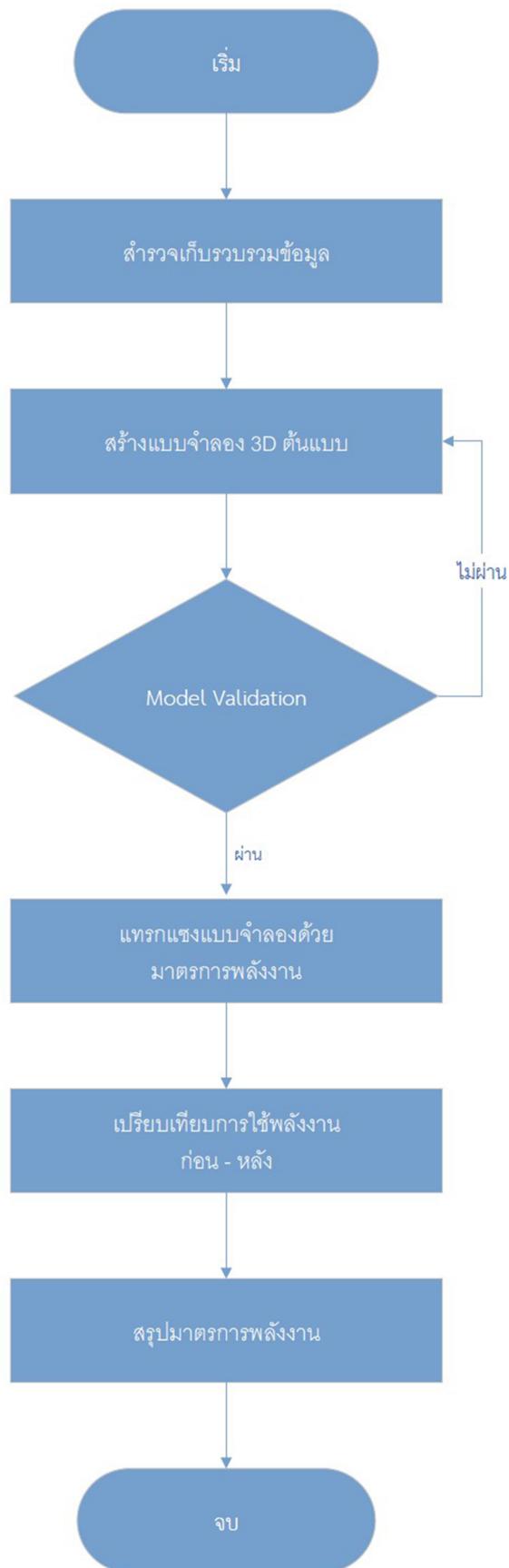
### 1. ผลการเก็บข้อมูล

การศึกษาและวิจัยในการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่โดยใช้รูปแบบอาคาร 3 มิติ ได้เริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูล (ในช่วงเดือน พ.ค. 67 – ก.ค. 67) และวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานจากอาคารทั้งหมด 5 รูปแบบ โดยใช้ข้อกำหนดลักษณะสำคัญในระดับของอาคารเดี่ยว (Lee & Lim, 2024) ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลทางกายภาพและการใช้พลังงาน ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความสูง จำนวนชั้น จำนวนห้อง ขนาดประตู ขนาดหน้าต่าง จำนวนผู้พักอาศัย พฤติกรรมการใช้อาคาร การใช้อุปกรณ์แสงสว่าง การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ (HVAC) และประเภทของวัสดุ ดังนั้นจึงสามารถสรุปรายละเอียดของคุณสมบัติหลัก ๆ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของทั้ง 5 รูปแบบอาคารได้ดังต่อไปนี้ (1) ขนาดของพื้นที่ใช้สอยในแต่ละอาคาร (m<sup>2</sup>) (2) จำนวนชั้นในอาคารมีผลต่อการกระจายของแสงสว่าง

และระบบระบายความร้อน (ชั้น) (3) ประเภทวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังมีผลต่อการป้องกันความร้อนเข้าภายในอาคาร (4) Glazing area (%) มีผลต่อการใช้แสงธรรมชาติและการสูญเสียพลังงานการนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร (5) U-value (W/m<sup>2</sup>C) มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนัง ซึ่งมีผลต่อการเก็บรักษาพลังงานภายในอาคาร (6) Insulation (J/kg.m) มีคุณสมบัติของวัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร (7) Lighting load (W/m) พลังงานที่ใช้ในการให้แสงสว่างในอาคาร (8) Equipment (W/m<sup>2</sup>) พลังงานที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร และ (9) HVAC equipment ค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ (COP) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของอาคารโดยคุณสมบัติหลักเหล่านี้แสดงได้ดังตาราง 2

หลังจากกำหนดคุณสมบัติหลักของอาคารต้นแบบทั้ง 5 รูปแบบแล้ว ได้มีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมาตรการที่สามารถใช้เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ โดยเน้นไปที่การใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามมาตรฐาน HEPS ซึ่งเป็นเกณฑ์ขั้นสูงในปัจจุบัน การเก็บข้อมูลนี้ครอบคลุมคุณสมบัติสำคัญของแต่ละมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงาน โดยมีรายละเอียดการเก็บข้อมูลและคุณสมบัติของแต่ละมาตรการแสดงได้ดังต่อไปนี้

- 1) คุณสมบัติของกระจกที่ใช้ในอาคาร (ตาราง 3)
- 2) คุณสมบัติของผนังที่ใช้ในอาคาร (ตาราง 4)
- 3) คุณสมบัติของประเภทของหลังคา (ตาราง 4)
- 4) คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนที่ติดตั้งภายใต้หลังคาเหนือฝ้าเพดาน (ตาราง 4)
- 5) คุณสมบัติของหลังคาเขียว (green roof) มาตรการหลังคาเขียวที่นำมาใช้เพื่อช่วยควบคุมความร้อนของอาคารผ่านชั้นดินแห้ง (dry soil) ซึ่งมีค่า Conductivity เท่ากับ 0.35 W/m.K ความหนาแน่น (density) เท่ากับ 1,100 kg/m<sup>3</sup> และค่าความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat) เท่ากับ 1,200 J/kg.K โดยมีความสูงของพืชที่ปลูกบนหลังคาตามมาตรการในระดับ 10 15 20 25 และ 30 เซนติเมตรตามลำดับ ทั้งนี้ Green Roof สามารถช่วยลดอุณหภูมิและปรับปรุงการใช้พลังงานในอาคารผ่านการสะสมความเย็นและการระเหยของน้ำ



ภาพ 2 Flow Chart ขั้นตอนการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแบบจำลองพลังงานสามมิติ

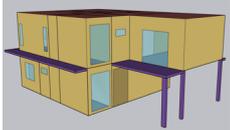
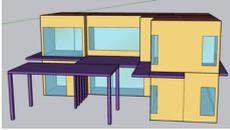
ตาราง 1

ข้อมูลมาตรการทางเลือกเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่

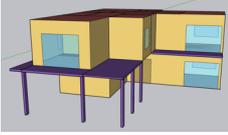
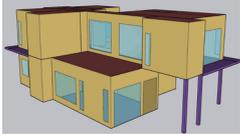
มาตรการพลังงาน	Case I	Case II	Case III	Case IV	Case V
มาตรการเปลี่ยนกระจก	Single (1W <sub>1</sub> )	Laminated (2W <sub>2</sub> )	Double IGU (3W <sub>3</sub> )	Double IGU with Low-E (4W <sub>4</sub> )	Film (5W <sub>5</sub> )
มาตรการเปลี่ยนผนัง	อิฐมอญ (6F <sub>1</sub> )	อิฐมวลเบาCLC (7F <sub>2</sub> )	อิฐมวลเบา AAC (8F <sub>3</sub> )	อิฐบล็อกซีเมนต์ (9F <sub>4</sub> )	คอนกรีตสำเร็จรูป (10F <sub>5</sub> )
มาตรการติดตั้งฉนวนกัน ความร้อน	ใยแก้ว (11I <sub>1</sub> )	ใยหิน (12I <sub>2</sub> )	PU Foam (13I <sub>3</sub> )	PE Foam (14I <sub>4</sub> )	PS Foam (15I <sub>5</sub> )
มาตรการเปลี่ยนหลังคา	หลังคาเหล็ก (16R <sub>1</sub> )	หลังคาไวนิล (17R <sub>2</sub> )	หลังคากระเบื้อง (18R <sub>3</sub> )	หลังคาเอสฟัลต์ (19R <sub>4</sub> )	หลังคาคอนกรีต (20R <sub>5</sub> )
มาตรการติดตั้งหลังคาเขียว	พืช 10 cm (21P <sub>1</sub> )	พืช 15 cm (22P <sub>2</sub> )	พืช 20 cm (23P <sub>3</sub> )	พืช 25 cm (24P <sub>4</sub> )	พืช 30 cm (25P <sub>5</sub> )

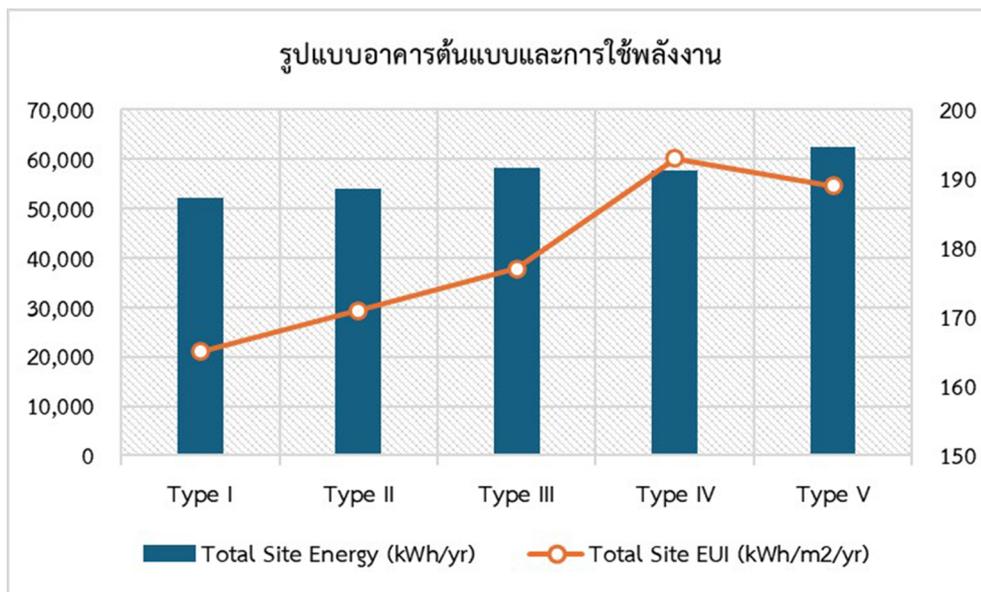
ตาราง 2

ข้อมูลอาคารแต่ละรูปแบบและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

รูปแบบของอาคาร	Type I	Type II	Type III
โมเดลอาคารต้นแบบ			
พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	315	315	330
จำนวนชั้น	2	2	2
ประเภทผนัง	อิฐมอญ	อิฐมอญ	อิฐมอญ
Glazing area (%)	20	25	20
U-value (W/m <sup>2</sup> °C)	5.74	5.74	5.74
Insulation (J/kg.m)	850-1,100	850-1,100	850-1,100
Lighting load (W/m <sup>2</sup> )	8-12	8-12	8-12
Equipment (W/m <sup>2</sup> )	8-12	8-12	8-12
HVAC equipment (COP)	3.0	3.0	3.0

ตาราง 2 (ต่อ)

รูปแบบของอาคาร	Type IV	Type V
โมเดลอาคารต้นแบบ		
พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	300	330
จำนวนชั้น	2	2
ประเภทผนัง	อิฐมวลฉนวน	อิฐมวลฉนวน
Glazing area (%)	20	25
U-value (W/m <sup>2</sup> °C)	5.74	5.74
Insulation (J/kg.m)	850-1,100	850-1,100
Lighting load (W/m <sup>2</sup> )	8-12	8-12
Equipment (W/m <sup>2</sup> )	8-12	8-12
HVAC equipment (COP)	3.2	3.2



ภาพ 3 การใช้พลังงานของอาคารต้นแบบ

ตาราง 3

ข้อมูลคุณสมบัติกระจก

ประเภท	U-value(W/m <sup>2</sup> .K)	SHGC	VLT
Single	5.80	0.56	0.70
Laminated	5.70	0.73	0.71
Double IGU	2.50	0.44	0.62
Double IGU with Low-E	1.80	0.32	0.49
Film	5.60	0.44	0.07

## ตาราง 4

ข้อมูลคุณสมบัติผนัง หลังคา และฉนวนกันความร้อน

ประเภท	Conductivity (W/m.K)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Specific Heat (J/kg.k)
อิฐมวลเบา	0.60	1,600	800
อิฐมวลเบา CLC	0.12	600	1,000
อิฐมวลเบา AAC	0.09	500	900
อิฐบล็อกซีเมนต์	0.50	1,800	840
คอนกรีต	1.40	2,200	840
หลังคาเหล็ก	45.00	7,800	460
หลังคาไวนิล	0.16	1,400	900
หลังคากระเบื้อง	0.80	1,600	800
หลังคาแอสฟัลต์	0.20	1,100	900
หลังคาคอนกรีต	1.40	2,200	840
ใยแก้ว	0.03	10.00	670
ใยหิน	0.03	40.00	800
PU Foam	0.02	30.00	1,000
PE Foam	0.03	25.00	1,800
PS Foam	0.03	10.00	1,200

## 2. ผลการจำลองการใช้พลังงาน

การประเมินการใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ได้ดำเนินการโดยการสร้างแบบจำลองพลังงานของอาคารต้นแบบทั้ง 5 รูปแบบ โดยการนำข้อมูลคุณสมบัติพื้นฐานของแต่ละอาคารไปสร้างแบบจำลองสามมิติในโปรแกรม SketchUp และ OpenStudio จากนั้นทำการวิเคราะห์และประเมินผลการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus ซึ่งให้ผลลัพธ์การใช้พลังงานในแต่ละอาคารตามที่แสดงดังภาพ 3 ซึ่งการใช้พลังงานภายในอาคารของทั้ง 5 รูปแบบอยู่ในเกณฑ์ตามค่าการใช้พลังงานสุทธิจากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภท (Ministry of Energy, 2020) โดยผลการศึกษาพบว่า รูปแบบอาคาร Type V มีการใช้พลังงานต่อปีสูงที่สุดที่ 62,555 kWh/yr รองลงมาคือ อาคาร Type III ซึ่งมีการใช้พลังงานเท่ากับ 58,325 kWh/yr ทั้งนี้แม้ว่าทั้งสองอาคารจะมีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน

แต่เนื่องจากมีอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อผนัง (WWR) ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้รูปแบบอาคาร Type V ใช้พลังงานต่อปีมากกว่ารูปแบบ Type VII ในทางกลับกัน รูปแบบอาคารที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดต่อปีเป็นรูปแบบที่ได้รับการออกแบบด้วยค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสม ทั้งในแง่ของการลดพื้นที่กระจก การใช้ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม และวัสดุก่อสร้างที่มีค่า U-value ต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การใช้พลังงานของอาคารลดลง

## 3. ผลการจำลองตามมาตรการพลังงาน

การนำเทคโนโลยีและวัสดุอุปกรณ์ชนิดใหม่ ๆ เข้ามามีส่วนร่วมในการออกแบบและการก่อสร้างอาคาร รวมถึงการปรับปรุงอาคารเพื่อให้อาคารเหล่านั้นมีความสามารถในการป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคารนั้นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถ

ลดการใช้พลังงานภายในอาคารและส่งผลให้อาคารเหล่านั้นเป็นอาคาร HEPS ซึ่งในการศึกษาและวิจัยนี้มีการนำวัสดุเข้ามาช่วยในการประเมินการใช้พลังงานภายในอาคาร หลังจากการปรับปรุงอาคารด้วยมาตรการต่าง ๆ พบว่าประเภทของวัสดุที่มีความสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้ดีที่สุดเมื่อนำจัดเรียงตามประเภทของวัสดุโดยการให้คะแนนเรียงจากมากไปหาน้อย (คะแนน 5 คือ วัสดุที่มีความสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้มากที่สุด และคะแนน 1 วัสดุที่มีความสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้น้อยที่สุด) ได้ดังตาราง 5

เมื่อได้ผลลัพธ์ของการใช้พลังงานภายในของอาคาร ทั้ง 5 รูปแบบแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การปรับปรุงอาคารต้นแบบทั้ง 5 รูปแบบ โดยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร ตามมาตรการประหยัดพลังงานที่กำหนดไว้ในตาราง 1 ซึ่งประกอบด้วยทั้งหมด 25 มาตรการ การปรับปรุงเหล่านี้มุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร มาตรการเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการพึ่งพาการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ (HVAC) ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมาตรการที่ดำเนินการนี้มีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ช่วยให้สามารถลดภาระการทำงานของระบบ HVAC และส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนในอาคาร ผลการใช้พลังงานของแต่ละมาตรการภายหลังการปรับปรุงแบบจำลองพลังงานสามมิติด้วยโปรแกรม OpenStudio และ EnergyPlus ได้ถูกนำเสนอในตาราง 6 ซึ่งในตารางจะระบุรูปแบบของอาคารแต่ละประเภทพร้อมข้อมูลการใช้พลังงานรวมรายปีตามแต่ละมาตรการ

โดยลำดับของมาตรการพลังงานจะปรากฏหลังข้อมูลการใช้พลังงานรวมรายปี ตัวอย่างเช่น ค่าใช้พลังงานรวมของอาคารประเภทที่ 1 ในช่องที่ 1 มีค่าเท่ากับ 52,056 (1) ซึ่งหมายถึง การใช้พลังงานรวมของอาคารภายใต้การดำเนินการมาตรการที่ (1W<sub>1</sub>) ส่วน (25) หลังข้อมูลการใช้พลังงานรายปีในอาคารจะหมายถึงมาตรการที่ (25P<sub>5</sub>) ตามที่ระบุไว้ในตาราง 1

#### 4. ผลการประเมินการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub>e)

ผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการใช้ไฟฟ้าในอาคารก็เป็นภาคส่วนหนึ่งที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> เนื่องจากระบบการผลิตไฟฟ้าที่มีส่วนมากในปัจจุบันยังพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> จากการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารที่อยู่อาศัยนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สามารถช่วยในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการวางแผนเพื่อการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub>e) ในการศึกษาและวิจัยนี้ ใช้การคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารหน่วยเป็น kWh นำมาคูณกับค่า Emission Factor ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกข้อมูลปี 2024 (TGO) (TGO, 2024) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในกระบวนการผลิตหรือการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วย แสดงได้ดังสมการที่ 5

$$CO_2\ emis = Electricity\ Sum \times EF \quad (5)$$

โดยที่

CO<sub>2</sub>emis = การปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e

Electricity Sum = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด

EF = Emission Factor จาก TGO

## ตาราง 5

จัดลำดับประเภทวัสดุที่มีความสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในอาคาร

ประเภท	มาตรการ	คะแนน
<b>1. กระจก</b>		
1.1 Single	1W <sub>1</sub>	2
1.2 Laminated	2W <sub>2</sub>	1
1.3 Double IGU	3W <sub>3</sub>	4
1.4 Double IGU with Low-E	4W <sub>4</sub>	5
1.5 Film	5W <sub>5</sub>	3
<b>2. ผนัง</b>		
2.1 อิฐมวลเบา	6F <sub>1</sub>	2
2.2 อิฐมวลเบา CLC	7F <sub>2</sub>	4
2.3 อิฐมวลเบา AAC	8F <sub>3</sub>	5
2.4 อิฐบล็อกซีเมนต์	9F <sub>4</sub>	3
2.5 คอนกรีต	10F <sub>5</sub>	1
<b>3. ฉนวนกันความร้อน</b>		
3.1 โยแก้ว	11I <sub>1</sub>	2
3.2 โยหิน	12I <sub>2</sub>	1
3.3 PU Foam	13I <sub>3</sub>	5
3.4 PE Foam	14I <sub>4</sub>	4
3.5 PS Foam	15I <sub>5</sub>	3
<b>4. หลังคา</b>		
4.1 หลังคาเหล็ก	16R <sub>1</sub>	3
4.2 หลังคาไวนิล	17R <sub>2</sub>	5
4.3 หลังคากระเบื้อง	18R <sub>3</sub>	1
4.4 หลังคาแอสฟัลต์	19R <sub>4</sub>	4
4.5 หลังคาคอนกรีต	20R <sub>5</sub>	2
<b>5. Green Roof</b>		
5.1 พืช 10 cm	21P <sub>1</sub>	1
5.2 พืช 15 cm	22P <sub>2</sub>	2
5.3 พืช 20 cm	23P <sub>3</sub>	3
5.4 พืช 25 cm	24P <sub>4</sub>	4
5.5 พืช 30 cm	25P <sub>5</sub>	5

จากตาราง 6 ผลการสรุปการใช้พลังงานของอาคาร แยกตามมาตรการพลังงานที่ได้ผลลัพธ์มาจากการวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม EnergyPlus สามารถนำมาคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e จากมาตรการพลังงานต่าง ๆ ได้ตาม สมการที่ 5 (ค่า EF จาก TGO = 0.5986) โดยสามารถ แสดงผลการลดการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ที่ดีที่สุดของ อาคารแต่ละรูปแบบที่ดำเนินการตามมาตรการพลังงาน เปรียบเทียบกับอาคารต้นแบบเดิม โดยเรียงผลลัพธ์ตาม แต่ละประเภทของวัสดุที่สามารถลดการใช้พลังงานได้สูงสุด ของแต่ละประเภทอาคารแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ประเภทวัสดุกระจก ในมาตรการที่ 4W4 กระจก Double IGU with Low-E สามารถลดการใช้พลังงานได้สูง ที่สุดเมื่อทำการติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย Type V มีการ ใช้พลังงานเท่ากับ 62,555 kWh/yr หลังจากการปรับปรุง มีการใช้พลังงานอยู่ที่ 57,586 kWh/yr ส่งผลให้สามารถ ลดการใช้พลังงานได้ 4,969 kWh/yr คิดเป็นร้อยละ 7.94 และลดการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ได้เท่ากับ 2,974 kgCO<sub>2</sub>e

2. ประเภทวัสดุผนัง ในมาตรการที่ 8F3 ผนังที่ถู กสร้างด้วยอิฐมวลเบา AAC สามารถลดการใช้พลังงานได้สูง ที่สุดเมื่อทำการติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย Type III มีการใช้ พลังงานอยู่ที่ 58,325 kWh/yr หลังจากการปรับปรุงมีการ ใช้พลังงานอยู่ที่ 52,503 kWh/yr ส่งผลให้สามารถลดการ ใช้พลังงานได้ 5,822 kWh/yr คิดเป็นร้อยละ 9.98 และ ลดการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ได้เท่ากับ 3,485 kgCO<sub>2</sub>e

3. ประเภทวัสดุฉนวนกันความร้อน ในมาตรการ ที่ 13I<sub>3</sub> การติดตั้งฉนวนกันความร้อน PU Foam สามารถ ลดการใช้พลังงานได้สูงที่สุดเมื่อทำการติดตั้งในอาคารที่พั กอาศัย Type V มีการใช้พลังงานอยู่ที่ 62,555 kWh/yr หลัง จากการปรับปรุงมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 49,361 kWh/yr ส่ง ผลให้สามารถลดการใช้พลังงานได้ 13,194 kWh/yr คิด เป็นร้อยละ 21.09 และลดการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ได้ เท่ากับ 7,898 kgCO<sub>2</sub>e

4. ประเภทวัสดุหลังคา ในมาตรการที่ 17R2 การ ติดตั้งหลังคาโวนิล สามารถลดการใช้พลังงานได้สูงที่สุด เมื่อทำการติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย Type IV มีการใช้ พลังงานอยู่ที่ 57,819 kWh/yr หลังจากการปรับปรุงมีการ ใช้พลังงานอยู่ที่ 53,617 kWh/yr ส่งผลให้สามารถลดการ ใช้พลังงานได้ 4,202 kWh/yr คิดเป็นร้อยละ 7.27 และ ลดการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ได้เท่ากับ 2,515 kgCO<sub>2</sub>e

5. ประเภทวัสดุ Green Roof ในมาตรการที่ 25P<sub>5</sub> การปลูกต้นไม้หลังคา Green Roof สามารถลดการ ใช้พลังงานได้สูงที่สุดเมื่อทำการติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย Type IV มีการใช้พลังงานอยู่ที่ 57,819 kWh/yr หลังจก การปรับปรุงมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 53,617 kWh/yr ส่ง ผลให้สามารถลดการใช้พลังงานได้ 7,930 kWh/yr คิด เป็นร้อยละ 13.72 และลดการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ได้ เท่ากับ 4,747 kgCO<sub>2</sub>e

จากผลการพัฒนาฐานข้อมูลและแบบจำลอง พลังงานอาคารสามมิติสำหรับอาคารที่พักอาศัยขนาด ใหญ่จำนวน 5 ประเภท แสดงให้เห็นว่ามาตรการต่าง ๆ ที่ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานในแต่ละมาตรการ สามารถส่ง ผลต่อการลดการใช้พลังงานที่แตกต่างกันในแต่ละประเภท อาคาร ซึ่งอาจให้ประสิทธิผลที่สูงกว่าในอาคารประเภท หนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอีกประเภทหนึ่ง ฐานข้อมูลและ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือใน การศึกษาและจัดการพลังงานในอาคารที่พักอาศัย รวมถึง ใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับผู้สนใจในการสร้างแบบจำลองอาคาร สามมิติ นักวิจัย ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และผู้กำหนดนโยบาย ด้านพลังงาน โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถช่วยในการประเมิน การใช้งานของอาคารที่พักอาศัย และสนับสนุนการนำ เสนอมาตรการลดการใช้พลังงานในระดับอำเภอ ระดับ จังหวัด และระดับประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

## สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาและวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและสร้างแบบจำลองพลังงานต้นแบบในอาคารที่พักอาศัยขนาดใหญ่ในรูปแบบอาคารสามมิติ รวมถึงนำเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานและลดการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e เพื่อยกระดับมาตรฐานของอาคารที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่ในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่มีระดับการใช้พลังงานตามเกณฑ์ขั้นสูง (HPES) โดยมีขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลองและการกำหนดมาตรการพลังงานประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ (1) พัฒนาและสร้างแบบจำลองพลังงานของอาคารที่พักอาศัยทั้ง 5 รูปแบบอาคารด้วยโปรแกรม SketchUp และ OpenStudio (2) กำหนดมาตรการพลังงานและแนวทางที่เป็นไปได้ในการนำวัสดุประเภทต่าง ๆ หรือการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการปรับปรุงอาคารเพื่อให้เป็นอาคารที่มีระดับการใช้พลังงานตามเกณฑ์ขั้นสูง (HPES) (3) สรุปและวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ที่ลดลงหลังจากดำเนินการตามมาตรการพลังงาน โดยผลลัพธ์ของแบบจำลองพลังงานที่ได้ผลมาจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EnergyPlus สามารถสรุปรวมทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำวัสดุและอุปกรณ์มาใช้ในอาคารที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่ให้มีความสามารถในการลดการใช้พลังงานได้สูงสุดได้ดังนี้ คือ

- มาตรการ กระจก Double IGU with Low-E (4W<sub>4</sub>) + ผนังอิฐมวลเบา AAC (8F<sub>3</sub>) + ฉนวนกันความร้อน PU Foam (13I<sub>3</sub>) + หลังคาโวนิล (17R<sub>2</sub>) + Green Roof 50 cm (25P<sub>5</sub>)

โดยมาตรการพลังงานเหล่านี้เป็นมาตรการที่สามารถช่วยส่งเสริมการอนุรักษ์การใช้พลังงานและลดการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ได้สูงสุด ส่งผลทำให้อาคารที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่ต้นแบบทั้ง 5 รูปแบบอาคารสามารถพัฒนาให้เป็นอาคารที่มีระดับการใช้พลังงานตามเกณฑ์ขั้นสูง (HPES) ที่สามารถลดการใช้พลังงานจากอาคาร Reference (Ministry of Energy, 2018) อยู่ที่ร้อยละ 35 – 40 แสดงได้ดังตาราง

7 แต่จากมาตรการดังกล่าวไม่สามารถทำให้อาคารมีการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์อาคารที่ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น ด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง Econ (economic building) หรือเกณฑ์อาคารที่มีการใช้พลังงานเป็นศูนย์ ZEB (net Zero Energy Building) ได้ซึ่งมีส่วนการใช้พลังงานที่ลดลงต่อพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับอาคาร Reference Building อยู่ที่ร้อยละ 60 และร้อยละ 70 ขึ้นไปตามลำดับ โดยเกณฑ์พลังงานเป็นศูนย์ ZEB (net Zero Energy Building) ต้องเป็นอาคารที่มีความสมดุลระหว่างพลังงานใช้งานในอาคารและพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือระบบพลังงานในระยะยาว

โดยผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับ Yu et al. (2020) ที่ระบุว่า การออกแบบ Passive Design และการใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารในภูมิภาคที่ร้อนขึ้นได้ อีกทั้งการใช้แบบจำลองพลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus เป็นแนวทางที่คล้ายกับ Shabunko et al. (2018) ที่ทำการพัฒนาการจำลองพลังงานในอาคารเชิงพาณิชย์ในเขตร้อน

ดังนั้นการใช้มาตรการด้านพลังงานและแนวทางที่พัฒนาขึ้นในการศึกษาและวิจัยนี้จะสามารถช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและผู้กำหนดนโยบาย มีฐานข้อมูลที่สำคัญที่สามารถช่วยในการตัดสินใจและดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพในการกำหนดนโยบายทางด้านพลังงานที่ยั่งยืน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) และสามารถเปลี่ยนผ่านไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำได้อย่างสำเร็จได้ต่อไปในอนาคต

ตาราง 6

การใช้พลังงานของอาคารแยกตามมาตรการพลังงาน

มาตรการ	อาคาร Type I (kWh/yr)	อาคาร Type II (kWh/yr)	อาคาร Type III (kWh/yr)	อาคาร Type IV (kWh/yr)	อาคาร Type V (kWh/yr)
1W <sub>1</sub>	52,056	54,117	58,325	57,819	62,555
2W <sub>2</sub>	52,520	55,117	58,864	58,167	62,769
3W <sub>3</sub>	49,992	51,647	56,453	56,014	59,056
4W <sub>4</sub>	49,222	50,317	55,567	55,236	57,586
5W <sub>5</sub>	51,278	53,061	57,636	57,244	61,592
6F <sub>1</sub>	52,056	54,117	58,325	57,819	62,555
7F <sub>2</sub>	48,736	49,772	53,283	54,617	58,775
8F <sub>3</sub>	48,417	49,389	52,503	54,217	58,453
9F <sub>4</sub>	50,797	52,428	58,520	57,728	61,353
10F <sub>5</sub>	52,544	54,531	62,208	60,306	63,414
11I <sub>1</sub>	44,939	46,775	46,258	46,386	49,489
12I <sub>2</sub>	44,953	46,781	46,286	46,389	49,503
13I <sub>3</sub>	44,883	46,703	46,069	46,267	49,361
14I <sub>4</sub>	44,950	46,767	46,297	46,381	49,475
15I <sub>5</sub>	44,945	46,781	46,264	46,389	49,500
16R <sub>1</sub>	52,056	54,117	58,325	57,819	62,555
17R <sub>2</sub>	50,567	52,147	54,617	53,617	58,556
18R <sub>3</sub>	54,544	56,019	60,789	60,506	65,083
19R <sub>4</sub>	51,192	52,758	55,606	54,778	59,569
20R <sub>5</sub>	53,003	54,036	57,514	57,172	61,594
21P <sub>1</sub>	46,336	49,822	50,822	49,897	54,561
22P <sub>2</sub>	46,314	49,800	50,789	49,906	54,517
23P <sub>3</sub>	46,270	49,756	50,719	49,894	54,433
24P <sub>4</sub>	46,235	49,720	50,667	49,903	54,364
25P <sub>5</sub>	46,197	49,681	50,608	49,889	54,294

ตาราง 7

ผลสรุปการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub>e ดำเนินการตามมาตรการที่  $4W_4 + 8F_3 + 13I_3 + 17R_2 + 25P_5$

รูปแบบอาคาร	Total Energy (1) (kWh/yr)	Total Scenario (2) (kWh/yr)	% ผลต่าง [(1)/(2)]	CO <sub>2</sub> e Emission [(2)*0.5986] (kgCO <sub>2</sub> e)
Type I	52,056	34,189	34.32	20,466
Type II	54,117	32,275	40.36	19,320
Type III	58,325	32,469	44.33	19,436
Type IV	57,819	32,861	43.17	16,671
Type V	62,555	32,747	47.65	16,602

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาและวิจัยนี้ หากต้องการทำการวิจัยเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตควรพิจารณาประเด็นดังต่อไปนี้

1) ควรมีการพัฒนาและวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานได้สูงขึ้นเพื่อเข้าเกณฑ์อาคารที่มีระดับการใช้พลังงานจากระบบอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้น Econ หรือเกณฑ์อาคารที่มีการใช้พลังงานเป็นศูนย์ ZEB

2) ควรมีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของอัตราการลงทุนและความคุ้มค่าในการดำเนินการตามมาตรการด้านพลังงานต่าง ๆ

3) ควรมีการศึกษาและสร้างแบบจำลองต้นแบบของอาคารที่พิกอาศัยประเภทอื่น ๆ เช่น บ้านชั้นเดียว ตึกแถว อาคารพาณิชย์ คอนโดมิเนียมและโรงแรม



References

Ahmed, O., Sezer, N., Ouf, M., Wang, L. (Leon), & Hassan, I. G. (2023). State-of-the-art review of occupant behavior modeling and implementation in building performance simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 185*, 113558. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113558>

Al Rashdi, S. A., Sudhir, C. V., Basha, J. S., Saleel, C. A., Soudagar, M. E. M., Yusuf, A. A., & Afzal, A. (2022). A case study on the electrical energy auditing and saving techniques in an educational institution (IMCO, Sohar, Oman). *Case Studies in Thermal Engineering, 31*, 101820. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101820>

Altan, H., Hajibandeh, M., Tabet Aoul, K. A., & Deep, A. (2016). Passive design. In M. Noguchi, (Eds.), *ZEMCH: Toward the delivery of zero energy mass custom homes. Springer Tracts in Civil Engineering* (pp. 209–236). Cham: Springer.

Amin Mirjalili, S. M., Aslani, A., & Zahedi, R. (2023). Towards sustainable commercial-office buildings: Harnessing the power of solar panels, electric vehicles, and smart charging for enhanced energy efficiency and environmental responsibility. *Case Studies in Thermal Engineering, 52*, 103696. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103696>

- Behzadi, A., Holmberg, S., Duwig, C., Haghghat, F., Ooka, R., & Sadrizadeh, S. (2022). Smart design and control of thermal energy storage in low-temperature heating and high-temperature cooling systems: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 166, 112625. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112625>
- Bland, A., Khzouz, M., Statheros, T., & Gkanas, E. (2017). PCMs for residential building applications: A short review focused on disadvantages and proposals for future development. *Buildings*, 7(3), 78. <https://doi.org/10.3390/buildings7030078>
- Bunnag, N. (2022). *Sustainable urbanization*. Retrieved from <https://www.sdgmove.com/2021/07/22/sdg-vocab-37-sustainable-urbanization/>
- Chen, J., Wang, H., & Xie, P. (2019). Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors. *Applied Thermal Engineering*, 158, 113755. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113755>
- Chi, F., Gao, K., Zhang, S., & He, L. (2023). Thermal performance regulation and optimization for rooms of residential buildings via using radiative cooling and solar heating system. *Journal of Cleaner Production*, 430, 139605. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139605>
- Ferahtia, S., Houari, A., Cioara, T., Bouznit, M., Rezk, H., & Djerioui, A. (2024). Recent advances on energy management and control of direct current microgrid for smart cities and industry: A Survey. *Applied Energy*, 368, 123501. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123501>
- Hussain, S., Sharma, S. K., & Lal, S. (2024). Feasible synergy between hybrid solar PV and wind system for energy supply of a green building in Kota (India): A case study using iHOGA. *Energy Conversion and Management*, 315, 118783. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118783>
- 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>
- Kishore, P., Selvam, N., Didwania, S., & Augenbroe, G. (2022). Understanding BIPV performance with respect to WWR for energy efficient buildings. *Energy Reports*, 8, 1073–1083. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.371>
- Lapisa, R. (2019). The effect of building geometric shape and orientation on its energy performance in various climate regions. *International Journal of GEOMATE*, 16(53), 113-119 <https://doi.org/10.21660/2019.53.94984>
- Lee, K., & Lim, H. (2024). Correlation analysis of building parameters according to ASHRAE Standard 90.1. *Journal of Building Engineering*, 82, 108130. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.108130>
- Lee, R., Choi, M., Yoon, J., & Kim, D. (2023). Impacts of lighting and plug load variations on residential building energy consumption targeting zero energy building goals. *Journal of Building Engineering*, 75, 106962. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106962>

- Mandel, T., & Pató, Z. (2024). Towards effective implementation of the energy efficiency first principle: a theory-based classification and analysis of policy instruments. *Energy Research & Social Science*, 115, 103613. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103613>
- Ministry of Energy. (2018). *BESM building energy simulation program manual*. Bangkok: Ministry of Energy (in Thai)
- Ministry of Energy. (2020). *Energy efficiency plan*. Bangkok: Ministry of Energy. (in Thai)
- Nguyen, A. T., Pham, D. H., Oo, B. L., Santamouris, M., Ahn, Y., & Lim, B. T. H. (2024). Modelling building HVAC control strategies using a deep reinforcement learning approach. *Energy and Buildings*, 310, 114065. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114065>
- Nur-E-Alam, M., Vasiliev, M., Yap, B. K., Islam, M. A., Fouad, Y., & Kiong, T. S. (2024). Design, fabrication, and physical properties analysis of laminated Low-E coated glass for retrofit window solutions. *Energy and Buildings*, 318, 114427. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114427>
- Ono, E., Tekler, Z. D., Lam, K. P., Jin, Y., Yan, D., & Chong, A. (2024). Evaluating the sensitivity and robustness of occupancy models for building energy simulation during design. *Building and Environment*, 261, 111739. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111739>
- Polkhuntod, A., & Chamsa-ard, W. (2021). *Design of a prototype for zero net energy smart office building*. Phitsanulok: Naresuan University. (in Thai)
- Qian, H., Tang, M., Wang, D., & Fang, J. (2017). Effect of insulation ground on anti-condensation in rural residence. *Procedia Engineering*, 180, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.168>
- Ramirez, J. P. D., Nagarsheth, S. H., Ramirez, C. E. D., Henao, N., & Agbossou, K. (2024). Synthetic dataset generation of energy consumption for residential apartment building in cold weather considering the building's aging. *Data in Brief*, 54, 110445. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110445>
- Raof, B. (2017). The correlation between building shape and building energy performance. *International Journal of Advanced Research*, 5(5), 552–561. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/4145>
- Sani, S. B., Celvakumaran, P., Ramachandramurthy, V. K., Walker, S., Alrazi, B., Ying, Y. J., & Rahman, M. H. A. (2020). Energy storage system policies: Way forward and opportunities for emerging economies. *Journal of Energy Storage*, 32, 101902. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101902>
- Sarmiento, E. M. de M., Ribeiro, I. F., Marciano, P. R. N., Neris, Y. G., Rocha, H. R. de O., Mota, V. F. S., & Villaça, R. da S. (2024). Forecasting energy power consumption using federated learning in edge computing devices. *Internet of Things*, 25, 101050. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101050>
- Shabunko, V., Lim, C. M., & Mathew, S. (2018). EnergyPlus models for the benchmarking of residential buildings in Brunei Darussalam. *Energy and Buildings*, 169, 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.039>
- Sun, Y. (2024). The impact of green buildings on CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from commercial and residential buildings. *Journal of Cleaner Production*, 469, 143168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143168>

- TGO. (2024). *Emission factors*. Retrieved from <https://www.tgo.or.th/2023/index.php/th/> (in Thai)
- U.S. Department of Energy's (DOE). (2023). *Weather data*. Retrieved from <https://energyplus.net/weather>
- U.S. Department of Energy's (DOE). (2024). *EnergyPlus*. Retrieved from <https://energyplus.net/>
- Uddin, M. N., Wei, H. H., Chi, H. L., & Ni, M. (2019). An inquisition of envelope fabric for building energy performance using prominent BIM-BPS tools—A case study in sub-tropical climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 354(1), 012129. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/354/1/012129>
- United Nations Climate Change. (2023). *Summary of global climate action at COP28. Global Climate Action, 1–16*. Retrieved from [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/GCA\\_COP27\\_Summary\\_o](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/GCA_COP27_Summary_o)
- Wang, J., Lu, X., Adetola, V., & Louie, E. (2024). Modeling Variable Refrigerant Flow (VRF) systems in building applications: A comprehensive review. *Energy and Buildings*, 311, 114128. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114128>
- Wang, M., & Lu, Z. (2022). Thermal and moisture coupling performances of poplar fiber inorganic humidity control brick. *Construction and Building Materials*, 348, 128656. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128656>
- Wolday, F., & Böcker, L. (2023). Exploring changes in residential preference during COVID-19: Implications to contemporary urban planning. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(5), 1280–1297. <https://doi.org/10.1177/23998083231164398>
- Yangtianzheng, Z., & Ying, G. (2024). Spatial patterns and trends of inter-city population mobility in China—Based on Baidu migration big data. *Cities*, 151, 105124. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105124>
- Yu, C.-R., Guo, H.-S., Wang, Q.-C., & Chang, R.-D. (2020). Revealing the Impacts of Passive Cooling Techniques on Building Energy Performance: A Residential Case in Hong Kong. *Applied Sciences*, 10(12), 4188. <https://doi.org/10.3390/app10124188>
- Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2024). Implementing biophilic design in architecture through three-dimensional green spaces: Guidelines for building technologies, plant selection, and maintenance. *Journal of Building Engineering*, 92, 109648. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109648>
- Ziaemehr, B., Jandaghian, Z., Ge, H., Lacasse, M., & Moore, T. (2023). Increasing solar reflectivity of building envelope materials to mitigate urban heat islands: State-of-the-art review. *Buildings*, 13(11), 2868. <https://doi.org/10.3390/buildings13112868>



# การติดตามเป้าหมายพรางตัวโดยใช้การผสมผสานกล้องถ่ายภาพความร้อน และกล้องภาพสีจริง

## Camouflaged Target Tracking using a Thermal Imaging and a True Color Camera Fusion

วีระวัฒน์ ชูสินวรสกุล<sup>1</sup> ประสาทพร วงษ์คำซ่าง<sup>1</sup> พงศกร บำรุงไทย<sup>2</sup> และชำนาญ เพชรโชติ<sup>1</sup>

Veerapat Choosinworasakul<sup>1</sup>, Prasatporn Wongkamchang<sup>1</sup>,

Pongsakon Bamrungthai<sup>2</sup> and Chamnan Pedchote<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

<sup>1</sup>Graduate School, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

<sup>2</sup>ภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

Kasetsart University Sriracha Campus

Received: December 4, 2024

Revised: March 3, 2025

Accepted: March 10, 2025

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการติดตามวัตถุที่พรางตัว ด้วยการbinทดสอบติดตามเป้าหมายด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้การผสมผสานข้อมูลจากกล้องภาพสีจริง (RGB) และกล้องถ่ายภาพความร้อน (thermal) ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามเป้าหมายที่มีลักษณะซับซ้อนและกลมกลืนกับสภาพแวดล้อม การใช้กล้อง RGB ช่วยให้รายละเอียดเชิงพื้นที่ที่ชัดเจน ขณะที่กล้องถ่ายภาพความร้อนสามารถตรวจจับการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ ซึ่งมีประโยชน์ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อยหรือเมื่อวัตถุพรางตัว โดยทำการบันทึกและส่งภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์จากกล้องทั้ง 2 ชนิดไปยังสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (ground control station) เพื่อให้ผู้ควบคุมสามารถติดตาม และวิเคราะห์ข้อมูลจากระยะไกลได้ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อัลกอริทึมที่มีพัฒนาการผสมผสานข้อมูลจากทั้งสองแหล่งให้มีความแม่นยำในการติดตามมากขึ้น โดยการใช้อัลกอริทึมในการติดตามเป้าหมาย 4 แบบ คือ Boosting CSR-DCF KCF และ MOSSE ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัลกอริทึม Boosting สามารถระบุตำแหน่งวัตถุได้แม่นยำที่สุด โดยผลการประเมินประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่าค่า Mean Center Location Error: mCLE ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 43.46 และค่า AUC Score สูงสุดเท่ากับ 0.154 นอกจากนี้ ค่า Distance Precision: DP เท่ากับ 0.1085 และ Overlap Precision: OP เท่ากับ 0.0651 ซึ่งมีความแม่นยำที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการติดตามวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพและสม่ำเสมอในการติดตามวัตถุที่พรางตัวในสภาพแวดล้อมที่ยากต่อการมองเห็น

**คำสำคัญ** การประมวลผลภาพ วัตถุซ่อนพราง ระบบติดตามวัตถุ อากาศยานไร้คนขับ

## Abstract

This research presents the development of an algorithm for tracking camouflaged objects through flight tests using an unmanned aerial vehicle (UAV) by fusing data from a true color (RGB) camera and a thermal imaging camera mounted on the UAV to enhance the tracking performance of targets that are complex and blend into the environment. The RGB camera provides clear spatial details, while the thermal camera can detect the thermal radiation emitted by objects, which is useful in low-light conditions or when the object is camouflaged. Real-time video feeds from both camera types are transmitted to a ground control station (GCS), enabling remote monitoring and analysis by operators. The developed algorithm combines data from both sources to achieve tracking accuracy by using four tracking algorithms: Boosting, CSR-DCF, KCF, and MOSSE. Experimental results indicate that the boosting algorithm achieves the highest tracking accuracy, with the performance metrics indicating a lowest Mean Center Location Error (mCLE) of 43.46 and a highest AUC Score of 0.154. Additionally, the Distance Precision (DP) of 0.1085 and Overlap Precision (OP) of 0.154 scores demonstrate improved accuracy, highlighting the effectiveness and consistency of the algorithm in tracking camouflaged objects in challenging environments where visibility is limited.

**Keyword:** image processing, camouflage object, tracking system, unmanned aerial vehicle



## บทนำ

การพรางมีความสำคัญมากในวงการทหาร เสื้อลายพรางมีได้มีจุดมุ่งหมายเพื่อความสวยงามของผู้สวมใส่ แต่มีความหมายตามชื่อ คือ พรางตัวไว้หลบการสังเกตการณ์จากศัตรูในยามสู้รบให้มองเห็นยากขึ้น ไม่โดดเด่นจนเกินไป การสู้รบในอดีต เช่น สงครามเวียดนามมักต่อสู้กันในบริเวณป่าเขา ซึ่งมีต้นไม้อยู่มาก เสื้อลายพรางของทหารในหลายประเทศจึงมักมีโทนสีเขียวเพื่อกลมกลืนกับสภาพแวดล้อม ถ้าเราสามารถพัฒนาการพรางความร้อนจากกล้องอินฟราเรดและนำไปใช้ในสงครามได้จริง ทหารจะสามารถพรางตัวจากการตรวจจับด้วยกล้องอินฟราเรดจากทหารฝ่ายศัตรูและจากอากาศยานบนฟ้า เช่น UAV ที่ใช้กล้องอินฟราเรดตรวจจับความร้อนบริเวณพื้นดินทหารที่มีเทคโนโลยีการพรางความร้อนจากกล้องอินฟราเรดจะได้เปรียบในการรบมาก (Chotsisuparat, 2020) จะเห็นได้ว่า ปัจจุบันการซ่อนพรางมีการพัฒนาที่มากขึ้น มีเทคโนโลยีการพรางความร้อน ระบบ Sensor เองจึงจำเป็นต้องพัฒนาในการตรวจจับโดยอาศัยเทคโนโลยีมีลิติสเปกตรัมในการตรวจจับ

คลื่นรังสีที่ตกกระทบของวัตถุซ่อนพรางเพื่อประสิทธิภาพในการตรวจจับต่อไป การตรวจจับและติดตามเป้าหมายที่พรางตัวเป็นความท้าทายที่สำคัญในงานด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีการตรวจจับ โดยเฉพาะในด้านความปลอดภัย การเฝ้าระวัง และการช่วยเหลือกู้ภัย เนื่องจากเป้าหมายที่พรางตัวมักมีลักษณะที่ผสมกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม ทำให้ระบบตรวจจับที่ใช้กล้องธรรมดาเพียงอย่างเดียวไม่สามารถแยกแยะได้อย่างชัดเจน การผสมผสานข้อมูลจากหลายแหล่ง (multi-modal data fusion) จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองภาพในงานต่าง ๆ เช่น การตรวจจับวัตถุ (Zhang et al., 2023) หนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพในการติดตามเป้าหมายที่พรางตัว คือ การใช้การผสมผสานข้อมูลระหว่างกล้องถ่ายภาพความร้อน (thermal imaging camera หรือ Forward Looking Infrared: FLIR) และกล้องภาพสีจริง (RGB camera หรือ visible camera) ซึ่งทั้งสองประเภทมีข้อได้เปรียบที่ต่างกัน กล้องภาพสีจริงสามารถให้รายละเอียดที่ชัดเจนของสภาพแวดล้อมที่ปรากฏในสีสันทัน และรายละเอียดเชิงพื้นที่ ขณะที่กล้องถ่ายภาพความร้อนสามารถตรวจจับการแผ่รังสีความร้อน

ร้อนของวัตถุต่าง ๆ ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างจากพื้นหลังได้ (Bamrungthai & Wongkamchang, 2018) วัตถุที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับพื้นหลังยากที่จะตรวจจับได้ด้วยภาพอินฟราเรดความร้อน และไม่สามารถตรวจจับผ่านกระจกได้ ดังนั้นในสถานการณ์ที่ท้าทาย เช่น เซอร์แบบใดแบบหนึ่งเพียงอย่างเดียว เช่น กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือกล้องภาพสีจริง ไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้ จึงจำเป็นต้องผสานข้อมูลจากทั้งสองแบบเพื่อสร้างระบบตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ (Mangale & Khambete, 2016) การใช้การผสานข้อมูลหลายรูปแบบในการติดตามเป้าหมายโดยเฉพาะเป้าหมายที่พรางตัวเช่นงานของ Shen et al. (2021) ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับเป้าหมายพรางตัวโดยใช้วิธี CEM นอกจากนี้ยังมีการฝึกโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) ในการวิเคราะห์ภาพแต่ละภาพแยกกัน และค้นหารูปทรงเฉพาะที่ปรากฏ เพื่อตรวจจับและติดตามวัตถุในสถานะที่ซับซ้อน (Kowalski et al., 2021) ในสถานะการมองเห็นที่เชื่อถือได้ในสภาพแสงจำกัดเป็นสิ่งที่ท้าทาย โดยมีงานวิจัยที่เสนอวิธีการที่ใช้การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการรวมภาพที่ได้จากกล้องภาพสีจริง และภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยเน้นที่การสร้างภาพรวมที่มีความคล้ายคลึงกับภาพสีจริง (Red-Green-Blue: RGB) พร้อมทั้งเพิ่มรายละเอียดที่มีข้อมูลสำคัญในบริเวณเป้าหมาย คือ การสร้างภาพที่ดูเป็นธรรมชาติและเข้าใจง่าย ซึ่งให้ข้อมูลมากกว่ากล้อง RGB (Shopovska et al., 2019.) การผสานภาพ (fusion) ระหว่าง Thermal และ RGB เพื่อระบุและติดตามวัตถุที่พรางตัว อีกทั้งยังใช้ Deep Learning และ Correlation Filters เพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบในการตรวจจับการซ่อนพราง แต่ยังคงใช้เวลาประมวลผลที่นาน (Mangale & Khambete, 2016) ยิ่งไปกว่านั้น ในปัจจุบันระบบสามารถปรับให้เหมาะกับการปฏิบัติการทางทหาร โดยใช้ UAV เพื่อติดตามบุคคลที่ซ่อนตัวในป่า แต่ใช้พลังประมวลผลสูง มีข้อจำกัดด้านพลังงาน (Liu et al., 2023) อย่างไรก็ตาม การผสานข้อมูลจากกล้องภาพสีจริงและกล้องถ่ายภาพความร้อนสำหรับการติดตามเป้าหมายที่พรางตัวยังคงมีความท้าทาย เนื่องจากข้อมูลจากกล้องทั้งสองประเภทมีลักษณะข้อมูลที่ต่างกัน และต้องการการออกแบบอัลกอริทึมเฉพาะที่สามารถเรียนรู้คุณสมบัติจากข้อมูลที่หลากหลาย และผสานเข้าด้วยกันได้อย่างเหมาะสม

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการติดตามเป้าหมายที่พรางตัว โดยใช้อัลกอริทึมการประมวลผลภาพ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวติดตามเป้าหมาย โดยอาศัยการประมวลผลข้อมูลจากการผสานข้อมูลระหว่างกล้องถ่ายภาพความร้อน และกล้องภาพสีจริงเพื่อให้ระบบสามารถแยกแยะเป้าหมายจากพื้นหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังประมวลผลที่สูง เพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการทำงานแบบเรียลไทม์เหมาะสำหรับการติดตั้งบน UAV ที่ต้องการติดตามบุคคลที่พรางตัว

## วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานของวิจัยนี้จะเริ่มตั้งแต่การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรวบรวมทฤษฎีต่าง ๆ กำหนดขอบเขตการทำงาน ออกแบบการทดลองและทดสอบโปรแกรมการติดตามวัตถุ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

### 1. การออกแบบการทดลองการบินทดสอบติดตามเป้าหมาย

การบินทดสอบติดตามเป้าหมายนั้นมีขั้นตอนการบินดังภาพ 1 โดยประกอบไปด้วยหลายขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้ เริ่มจากอากาศยานไร้คนขับเริ่มบินขึ้น (take off) จากพื้นดินในลักษณะการบินแนวตั้ง ซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นก่อนเข้าสู่การค้นหาและติดตามเป้าหมาย หลังจากขึ้นบินในระดับความสูงที่กำหนดเท่ากับ 30 เมตร อากาศยานไร้คนขับจะเข้าสู่การบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเพื่อค้นหาพื้นที่เป้าหมาย โดยในขั้นตอนนี้จะทำการสำรวจบริเวณโดยรอบ เพื่อค้นหาเป้าหมายที่ต้องการติดตาม ซึ่งอาจเป็นบุคคลหรือวัตถุที่อยู่ในพื้นที่ซับซ้อน เช่น พื้นที่ป่าหรือสวน

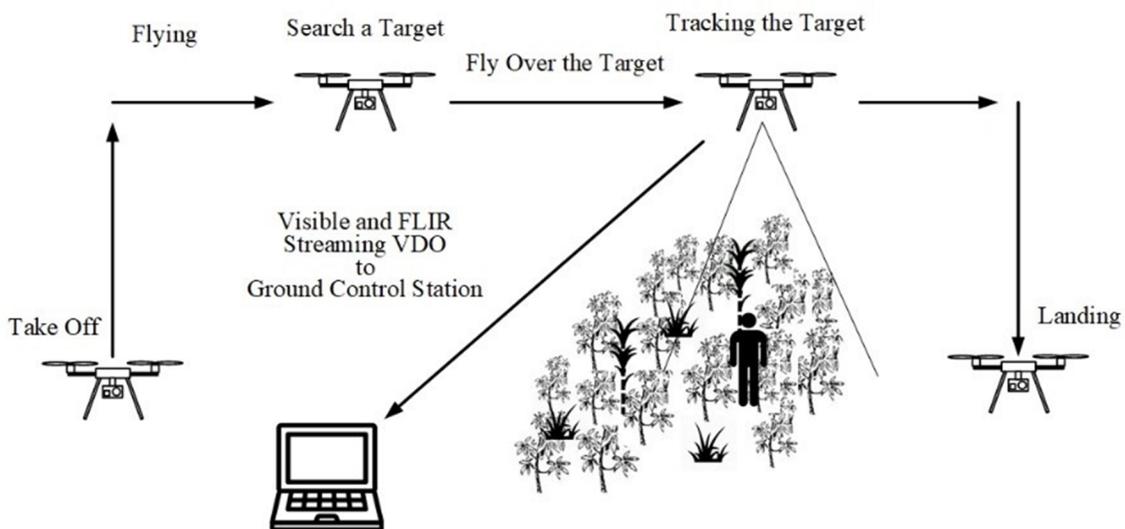
เมื่อบินมาถึงพื้นที่ที่คาดว่าเป้าหมายอาจจะซ่อนอยู่ อากาศยานไร้คนขับจะเข้าสู่ขั้นตอนการค้นหาเป้าหมายอย่างละเอียด (search a target) โดยใช้กล้องทั้งกล้องภาพสีจริงและกล้องถ่ายภาพความร้อน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับเป้าหมาย การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนทำให้สามารถตรวจจับวัตถุที่มีความแตกต่างทางความร้อนจากพื้นหลังได้ง่ายขึ้น เมื่อพบเป้าหมายแล้วอากาศยานไร้คนขับจะทำการบินไปอยู่เหนือเป้าหมาย และติดตามเป้าหมาย (tracking the target) อย่างต่อเนื่อง โดยทำการ

บันทึกและส่งภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์จากกล้องทั้ง 2 ชนิด ไปยังสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (ground control station) เพื่อให้ผู้ควบคุมสามารถติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลจากระยะไกลได้ ภาพที่ได้จากกล้องจะช่วยให้สามารถติดตามการเคลื่อนไหวของเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ เมื่อเสร็จสิ้นภารกิจ อากาศยานไร้คนขับจะทำการบินกลับไปยังจุดลงจอดที่กำหนดไว้ และลดระดับลงเพื่อทำการลงจอด (landing) ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของภารกิจ

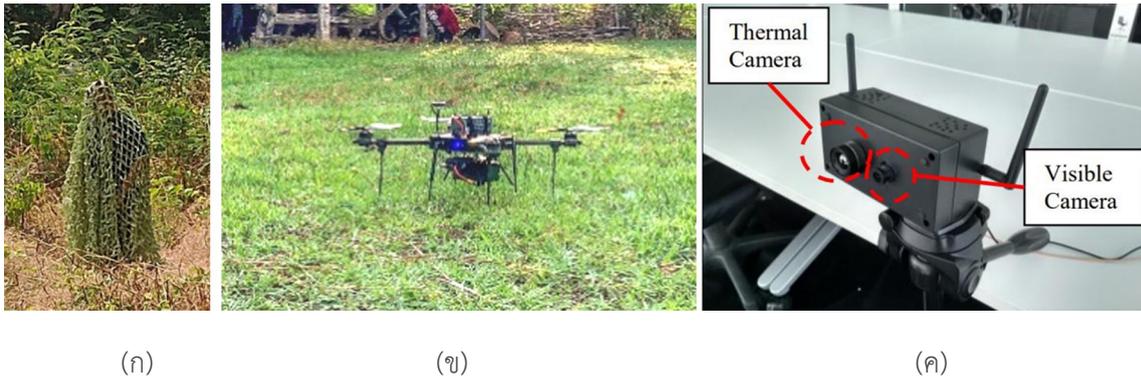
ในการทดลอง มีการเตรียมสถานการณ์จำลองต่าง ๆ ประกอบด้วย เป้าหมายบุคคลที่ปรากฏตัวดังภาพ 2 (ก) เป็นบุคคลที่สวมผ้าคลุมตาข่ายพรางสีเขียวเพื่อให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีต้นไม้ และพุ่มไม้ โดยกำหนดพื้นที่ทดสอบเป็นไร่มันสำปะหลังที่มีต้นมันสำปะหลังสูงประมาณ 1 เมตร ซึ่งทำให้ยากต่อการตรวจจับในภาพที่ถ่ายด้วยกล้อง RGB แต่สามารถตรวจจับได้ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายมนุษย์ ภาพ 2 (ข) เป็นอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการทดลอง เป็นแบบมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัดที่ติดตั้งกล้อง และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการติดตามวัตถุ โดยกล้องที่ติดตั้งนั้นแสดงดังภาพ 2 (ค) เป็นกล้องที่ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพความร้อน ใช้สำหรับตรวจจับการแผ่รังสีความร้อนจากเป้าหมายที่พรางตัว และกล้องภาพสีจริง ใช้สำหรับบันทึกภาพสีจริงของสภาพแวดล้อม ทำให้สามารถตรวจสอบรายละเอียดเชิงพื้นที่ได้อย่างชัดเจน โดยกล้องทั้ง 2 ประเภทนี้ได้เชื่อมต่อเข้ากับระบบส่งสัญญาณภาพ

เพื่อเชื่อมโยงสัญญาณภาพมายังสถานีควบคุมภาคพื้นดิน เพื่อทำการบันทึกและประมวลผลในเวลาจริง

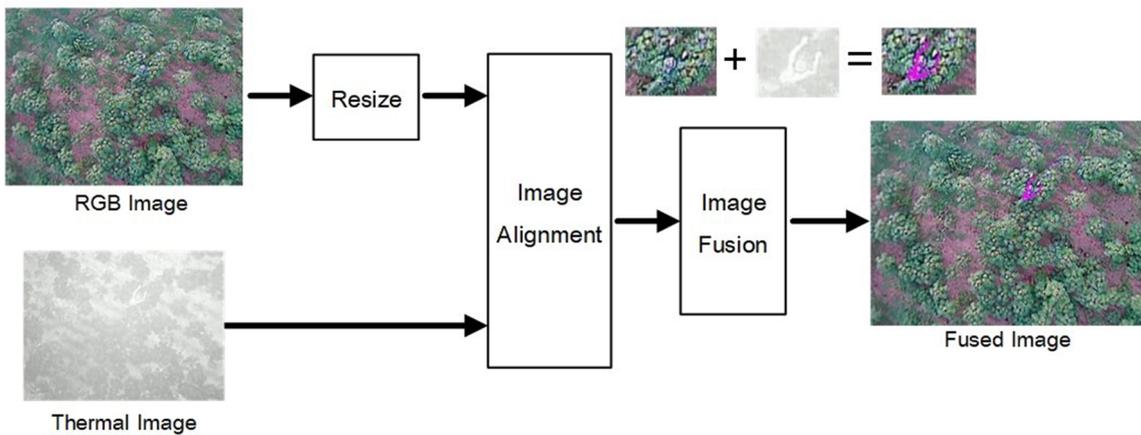
การทดลองในงานวิจัยนี้มีกระบวนการประมวลผลภาพดังภาพ 3 ซึ่งแสดงกระบวนการผสานภาพ (image fusion) ระหว่างภาพ RGB และภาพ Thermal โดยเริ่มจากภาพ RGB และภาพ Thermal ที่ถ่ายจากกล้องที่แตกต่างกัน ภาพ RGB แสดงรายละเอียดที่มองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น ลักษณะของต้นไม้และพื้นผิว ส่วนภาพ Thermal แสดงการกระจายของความร้อนในพื้นที่ ซึ่งแสดงเป็นภาพสีโทนเทาเพื่อบอกความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นแรก ภาพ RGB จะถูกปรับขนาด (resize) ให้เท่ากับภาพ Thermal เพื่อให้ทั้งสองภาพมีขนาดสอดคล้องกัน จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการจัดตำแหน่ง (image alignment) เพื่อให้ตำแหน่งของวัตถุในภาพ RGB และ Thermal ตรงกัน การจัดตำแหน่งนี้มีความสำคัญเนื่องจากหากภาพไม่ตรงกัน การผสานภาพจะไม่แม่นยำและอาจทำให้ข้อมูลสำคัญสูญหายเมื่อจัดตำแหน่งเสร็จสิ้น ภาพ RGB และ Thermal จะถูกผสานเข้าด้วยกันในขั้นตอนการผสานภาพ (image fusion) โดยข้อมูลจากทั้งสองภาพจะถูกรวมเข้าด้วยกัน ทำให้ภาพผลลัพธ์มีทั้งคุณสมบัติของสีจากภาพ RGB และข้อมูลความร้อนจากภาพ Thermal ภาพที่ได้จากการผสานนี้แสดงเป็นภาพ Fused Image ที่มีการเน้นพื้นที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างออกอย่างชัดเจน ทำให้เราสามารถเห็นข้อมูลที่มีรายละเอียดจากทั้งสองภาพในภาพเดียว เช่น วัตถุที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิซึ่งอาจถูกแสดงด้วยสีเขียว เช่น สีชมพู เป็นต้น



ภาพ 1 แผนการบินทดสอบการตรวจจับและติดตามบุคคลที่ซ่อนพราง



ภาพ 2 (ก) บุคคลที่ซ่อนพราง (ข) อากาศยานไร้คนขับแบบมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัดที่ใช้ในการทดลอง (ค) กล้องที่ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนและกล้องภาพสีจริง



ภาพ 3 แผนภาพการผสมภาพระหว่างภาพ RGB และภาพ Thermal

2. การพัฒนาโปรแกรมติดตามเป้าหมายอัตโนมัติ  
 ในปัจจุบันการพัฒนาโปรแกรมติดตามเป้าหมายอัตโนมัตินั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดย Zhang et al. (2021) ได้สรุปผลงานวิจัยเกี่ยวกับการติดตามวัตถุเดี่ยวโดยอัลกอริทึมการติดตามวัตถุถูกแบ่งเป็นสองประเภทหลัก คือ วิธีการโดยใช้ Correlation Filters ตัวอย่างเช่น MOSSE KCF DSST และ ECO ซึ่งใช้ตัวกรองที่คำนวณความคล้ายคลึงกันในโดเมนความถี่ ช่วยให้ทำงานได้รวดเร็วแต่มีปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนของวัตถุ และวิธีการ Deep Learning-based Trackers เช่น SiamFC MDNet และ SiamRPN ที่ใช้ CNN หรือโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ (RNN) เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของวัตถุและสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตาม โครงข่ายเหล่านี้ต้องใช้พลังประมวลผลสูง จึงมีข้อจำกัดสำหรับการทำงานแบบเรียลไทม์

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้งานตัวติดตามเป้าหมายอัตโนมัติประเภท Correlation Filters เนื่องจากจะต้องพัฒนาระบบให้สามารถติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับได้ ซึ่งอุปกรณ์จะต้องมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา จึงได้เลือกใช้อุปกรณ์ประมวลผลเป็น Raspberry Pi 4B ที่มี RAM ขนาด 8 Gb ติดตั้งโปรแกรม Python และ OpenCV Library version 4.1.1 โดยอัลกอริทึมที่เลือกใช้แบบ Correlation Filters จำนวน 4 แบบ โดยทดสอบทีละอัลกอริทึมโดยมีการเรียงลำดับ ดังภาพ 4 ดังนี้ คือ Kernelized Correlation Filters: KCF (Henriques et al., 2015) ซึ่งเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการติดตามวัตถุที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยถูกพัฒนาให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำในการติดตามวัตถุในวิดีโอ ซึ่งเกิดจากการนำ Correlation Filter มาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมาก

ขึ้นผ่านการใช้ Kernel Trick หรือการเปลี่ยนข้อมูลไปยัง Kernel Space เพื่อช่วยในการประมวลผลลักษณะของวัตถุในลักษณะที่ไม่ใช่เชิงเส้น ทำให้สามารถติดตามวัตถุได้แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น แสงหรือรูปร่างของวัตถุ โดยใช้การคำนวณ Cross-Correlation ระหว่างภาพที่มีวัตถุ (target) กับตัวกรองที่ผ่านการฝึกฝนมาในเฟรมก่อนหน้า ผ่าน Fast Fourier Transform: FFT ซึ่งช่วยลดเวลาในการคำนวณ และทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในแบบเรียลไทม์

Bolme et al. (2010) Minimum Output Sum of Squared Error Filter: MOSSE Filter เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ Correlation Filter เพื่อติดตามวัตถุ โดย MOSSE ใช้วิธีการสร้างตัวกรองที่สามารถเรียนรู้จากภาพต้นฉบับและลดความแตกต่างระหว่างภาพที่ติดตามและภาพที่ต้องการติดตามอย่างรวดเร็ว ข้อดี MOSSE มีความเร็วในการประมวลผลสูง สามารถใช้ติดตามวัตถุในแบบเรียลไทม์ได้ดี ข้อจำกัด MOSSE Filter อาจไม่สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างวัตถุที่ซับซ้อนได้ดีเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมที่ซับซ้อนกว่า

Grabner and Bischof (2006) Boosting-based Trackers เป็นวิธีการใช้ข้อมูลที่ถูกรวบรวมมาสร้างตัวกรองที่ทำให้สามารถติดตามวัตถุในเฟรมต่อเนื่องได้ อัลกอริทึมประเภทนี้จะใช้วิธีการเรียนรู้แบบอิงกับตัวอย่างบวกและลบ (positive and negative samples) ของวัตถุที่ต้องการติดตาม เช่น Online Boosting และ AdaBoost ที่สามารถเรียนรู้ลักษณะของวัตถุขณะติดตามไปพร้อม ๆ กับการทำงานข้อดี Boosting-based Trackers คือ มีความสามารถในการปรับปรุงตัวกรองให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของวัตถุและสภาพแวดล้อม ส่วนข้อจำกัดของ Boosting-based Trackers อาจมีปัญหาในการติดตามวัตถุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และลักษณะของวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงมากเกินไป

Lukezic et al. (2018) Discriminative Correlation Filter with Channel and Spatial Reliability: CSR-DCF เป็นอัลกอริทึมการติดตามวัตถุที่พัฒนาต่อยอดจาก

Discriminative Correlation Filter: DCF โดยเพิ่มแนวคิดของความน่าเชื่อถือในมิติของช่องสัญญาณ (channel reliability) และในมิติของพื้นที่ (spatial reliability) เพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความทนทานในการติดตามวัตถุในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อดีของ CSR-DCF คือ มีความแม่นยำในการติดตามสูง ด้วยการประเมินความน่าเชื่อถือในมิติของช่องสัญญาณและพื้นที่ ทำให้ CSR-DCF มีความสามารถในการติดตามวัตถุที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น มีความทนทานในสภาวะแวดล้อมที่ซับซ้อน CSR-DCF สามารถติดตามวัตถุในสถานการณ์ที่พื้นหลังซับซ้อนหรือมีการเปลี่ยนแปลงสูงได้ดี เนื่องจากสามารถโฟกัสไปยังพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับวัตถุจริง ๆ ถึงแม้ CSR-DCF จะเพิ่มกระบวนการประเมินความน่าเชื่อถือซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น แต่ก็ยังสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วเพียงพอสำหรับการติดตามวัตถุในแบบเรียลไทม์ได้ดีเช่นกัน

### 3 การวัดประสิทธิภาพการติดตามเป้าหมายแบบอัตโนมัติ

ในการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการติดตามวัตถุ มีการใช้ตัวชี้วัดหลายประเภทเพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำและความสม่ำเสมอของการติดตามวัตถุ ซึ่งตัวชี้วัดที่สำคัญที่นำมาใช้ในงานวิจัยมี ดังนี้

3.1 Mean Center Location Error: mCLE หรือ Average Euclidean Distance ใช้สำหรับวัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งศูนย์กลางระหว่างกรอบที่ติดตามได้จากอัลกอริทึมและตำแหน่งจริงของวัตถุในภาพ (ground truth) (Wu et al., 2013) โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยของระยะห่างนี้ ซึ่งช่วยแสดงถึงความแม่นยำเชิงตำแหน่งของการติดตามได้อย่างเป็นระบบ

$$mCLE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|C_{tracked,i} - C_{groundtruth,i}\| \quad (1)$$

โดยที่  $N$  คือ จำนวนเฟรมทั้งหมด และ  $C_{tracked,i}$  กับ  $C_{groundtruth,i}$  คือ จุดศูนย์กลางของกรอบการติดตามและ ground truth ตามลำดับ

3.2 Christen et al. (2023) Mean F-Measure: mFe ใช้ในการวัดประสิทธิภาพโดยรวมของการติดตาม ซึ่งคำนวณจาก Precision และ Recall โดย mFe แสดงถึงความสามารถในการตรวจจับและติดตามวัตถุได้อย่างแม่นยำและครอบคลุม สมการของ F-Measure

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

โดยที่ Precision ใช้วัดอัตราความถูกต้องของกรอบการติดตาม และ Recall สำหรับวัดความครอบคลุมของการติดตามวัตถุในทุกเฟรม ค่า mFe จะแสดงถึงความสามารถในการตรวจจับและติดตามวัตถุอย่างแม่นยำและครอบคลุม

3.3 Asha and Narasimhadhan (2016) Distance Precision: DP Score เป็นตัววัดอัตราส่วนของเฟรมที่มีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของกรอบการติดตามและ Ground Truth น้อยกว่าหรือเท่ากับ threshold ที่กำหนด เช่น 20 พิกเซล ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่เน้นด้านความแม่นยำในเชิงระยะทาง

$$DP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta(\|C_{tracked,i} - C_{groundtruth}\| \leq \tau) \quad (3)$$

โดยที่  $\delta(\cdot)$  เป็นฟังก์ชันอินดิเคเตอร์ ซึ่งมีค่าเป็น 1 เมื่อเงื่อนไขเป็นจริง และมีค่าเป็น 0 เมื่อเงื่อนไขเป็นเท็จ

$\tau$  คือ ค่า threshold ของระยะห่างที่ยอมรับได้ กำหนดในหน่วยพิกเซล

3.4 Asha and Narasimhadhan (2016) Overlap Precision: OP เป็นตัวชี้วัดที่วัดอัตราส่วนของเฟรมที่มีค่า IoU ระหว่างกรอบการติดตาม และ ground truth สูงกว่า threshold ที่กำหนด ใช้สำหรับแสดงถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการซ้อนทับกับวัตถุจริงได้อย่างแม่นยำ คำนวณจากสมการ

$$OP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta(IoU_i \geq \theta) \quad (4)$$

โดยที่  $\theta$  คือ threshold ของค่า IoU ที่ยอมรับได้

ค่า IoU คำนวณจากสมการ

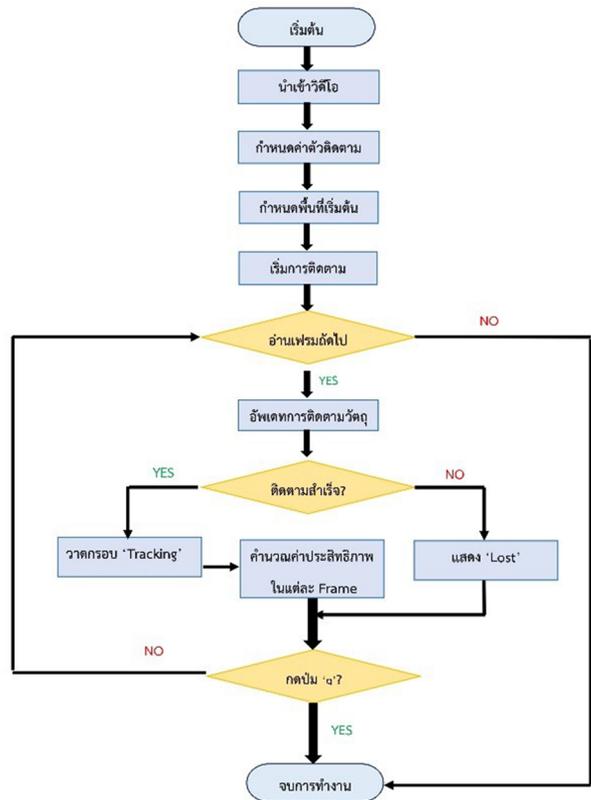
$$IoU = \frac{AreaofOverlap}{AreaofUnion} \quad (5)$$

3.5 Wu et al. (2013) Area Under the Curve: AUC Score หรือ AUC Score เป็นการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ Success Rate Plot ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพโดยรวมของตัวติดตามในแง่ความสม่ำเสมอ และความแม่นยำในระดับ IoU ที่แตกต่างกัน AUC Score ใช้เพื่อวัดความแม่นยำของการซ้อนทับ โดยการคำนวณสามารถประมาณได้ด้วยการหาพื้นที่ใต้กราฟของ Success Rate ในช่วง  $\theta$  ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ดังนี้

$$AUCScore = \int_0^1 S(\theta) d\theta \quad (6)$$

โดยที่  $S(\theta)$  คือ Success Rate ที่ค่า IoU threshold  $\theta$

นอกจากนี้การใช้กราฟ Precision Plot: PP และ Success Rate Plot: SP ช่วยให้เห็นภาพรวมของประสิทธิภาพ ความสามารถ และความทนทานของอัลกอริทึมการติดตามวัตถุ (Wu et al, 2013) โดย Precision Plot ใช้ในการประเมินความแม่นยำตามระยะห่างระหว่างการติดตาม และ ground truth ส่วน Success Rate Plot ใช้ค่า IoU เป็นเกณฑ์ ซึ่งช่วยให้นักวิจัยเห็นภาพรวมของความแม่นยำและความสม่ำเสมอในมิติของการซ้อนทับ



ภาพ 4 แผนภาพแสดงการออกแบบโปรแกรมทดสอบคำนวณค่าประสิทธิภาพ

### ผลการวิจัย

การบันทึกวิดีโอโปรแกรมติดตามเป้าหมายอัตโนมัติ จากอากาศยานไร้คนขับ แสดงผลการทดสอบโปรแกรมดัง ภาพ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพจากกล้อง Thermal ในภาพ 5 (ก) แสดงค่าความร้อนของวัตถุในฉากที่จับภาพได้ กล้อง ชนิดนี้ช่วยในการตรวจจับวัตถุที่ซ่อนตัวหรือพรางตัวใน สภาพแวดล้อมที่แสงปกติไม่สามารถมองเห็นได้เมื่อเปรียบ เทียบกับภาพ 5 (ข) ที่เป็นภาพจากกล้อง RGB ซึ่งแสดง ข้อมูลสีตามที่ตามนุษย์มองเห็นได้ โดยกล้องชนิดนี้เหมาะ สำหรับการตรวจจับรายละเอียดของพื้นผิวและโครงสร้าง ในสภาพแสงปกติ อย่างไรก็ตามการตรวจจับบุคคลที่ซ่อน พรางในสภาพแวดล้อมนี้อาจยังไม่ชัดเจนมากนัก เมื่อนำ ภาพทั้ง 2 ชนิดมาประสาน (fusion) กันจะได้ผลลัพธ์ดัง แสดงในภาพ 5 (ค) โดยจะเห็นว่า มีการรวมจุดเด่นของทั้ง สองแหล่งข้อมูลเข้าด้วยกัน และภาพ 5 (ง) เป็นผลลัพธ์ จากโปรแกรมติดตามเป้าหมายอัตโนมัติที่ใช้ข้อมูลจาก ภาพฟิวชัน (fused image) ในการติดตามบุคคลที่ซ่อน พราง ระบบสามารถตรวจจับเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ และทำการติดตามเป้าหมายอย่างต่อเนื่อง โดยในภาพนี้มีการแสดงกรอบสี่เหลี่ยมรอบเป้าหมายและข้อความแสดง

สถานะ Tracking เพื่อระบุว่าโปรแกรมกำลังติดตามเป้าหมาย ในภาพได้สำเร็จ และแสดงอัตราเฟรม (frame rate) เพื่อ แสดงความเร็วของการประมวลผล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมติดตาม เป้าหมายทั้ง 4 ประเภท คือ CSR-DCF Boosting KCF และMOSSE โดยทำการทดสอบประเภทละจำนวน 5 ครั้ง แสดงในตาราง 1 ถึง ตาราง 4 โดยในตาราง 5 จะแสดง ค่าเฉลี่ยของตัวติดตามวัตถุทั้ง 4 ประเภท ที่สามารถสรุป ประสิทธิภาพของตัวติดตามแต่ละตัว พร้อมด้วยตัวเลข ที่เกี่ยวข้องดังนี้ ค่า Mean Center Location Error: mCLE เป็นตัววัดที่แสดงระยะห่างเฉลี่ยระหว่างตำแหน่ง ที่ตัวติดตามวัตถุคาดการณ์ และตำแหน่งจริงของวัตถุค่า mCLE ที่ต่ำกว่าแสดงว่าตัวติดตามสามารถระบุตำแหน่ง ได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริงมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่า Boosting มีค่า mCLE ต่ำที่สุดที่ 43.46 ซึ่งแสดงถึงความ แม่นยำเชิงตำแหน่งสูงสุด ขณะที่ KCF มีค่า mCLE สูงสุด ที่ 267.35 ซึ่งหมายถึง KCF มีความคลาดเคลื่อนสูง และมีความแม่นยำน้อยกว่าตัวติดตามอื่น ๆ ในด้าน Distance Precision: DP ซึ่งเป็นตัววัดอัตราส่วนของเฟรมที่ตำแหน่ง ที่ติดตามอยู่ภายในระยะที่กำหนดจากตำแหน่งจริง ค่า

DP ที่สูงกว่าสะท้อนถึงความแม่นยำที่ดีขึ้นในการติดตามวัตถุใกล้ตำแหน่งจริง จากผลการทดลอง Boosting มีค่า DP สูงสุดที่ 0.1085 ซึ่งหมายถึงความสามารถในการติดตามวัตถุในระยะใกล้ตำแหน่งจริงได้ดีกว่า ในขณะที่ KCF มีค่า DP ต่ำสุดที่ 0.0883 แสดงถึงความแม่นยำในการติดตามในระยะใกล้ที่ด้อยกว่าตัวติดตามอื่น ๆ ส่วนค่า Overlap Precision: OP เป็นตัววัดอัตราส่วนของเฟรมที่ตัวติดตามวัตถุสามารถครอบคลุมตำแหน่งจริงของวัตถุได้อย่างแม่นยำ โดยคำนวณจากค่า IoU: Intersection over Union ระหว่างกรอบติดตามและกรอบจริง ค่า OP ที่สูงหมายถึงความสามารถในการครอบคลุมวัตถุที่ดีขึ้นจากผลการทดลอง Boosting มีค่า OP สูงสุดที่ 0.0651 ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการครอบคลุมตำแหน่งจริงของวัตถุได้ดีที่สุด ส่วน KCF มีค่า OP ต่ำสุดที่ 0.0507 แสดงถึงความแม่นยำในการครอบคลุมวัตถุที่ต่ำกว่าตัวติดตามอื่น ค่า AUC Score เป็นตัวชี้วัดที่แสดงถึงความสม่ำเสมอ

ของประสิทธิภาพในการติดตามวัตถุ โดยพิจารณาค่า IoU หลายระดับ ค่า AUC Score ที่สูงแสดงถึงความสามารถในการติดตามที่เสถียรและแม่นยำโดยรวม ผลการทดลองพบว่า Boosting มีค่า AUC Score สูงสุดที่ 0.154 ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความสม่ำเสมอในการติดตามที่ดีกว่าตัวติดตามอื่น ๆ ขณะที่ KCF มีค่า AUC ต่ำสุดที่ 0.0923 แสดงถึงความสม่ำเสมอในการติดตามที่ต่ำที่สุด และค่า Mean F-Measure (mFe) เป็นการรวมค่าระหว่าง precision และ recall เพื่อประเมินความแม่นยำในการตรวจจับและติดตามวัตถุค่า mFe ที่สูงบ่งชี้ว่าตัวติดตามสามารถตรวจจับและติดตามวัตถุได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำ ในการทดลองนี้ Boosting มีค่า mFe สูงสุดที่ 0.1202 แสดงถึงความสามารถในการติดตามที่ครอบคลุมและแม่นยำที่สุดในขณะที่ KCF มีค่า mFe ต่ำสุดที่ 0.0892 แสดงว่าความสามารถในการติดตามโดยรวมต่ำกว่าตัวติดตามอื่น ๆ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 5 โปรแกรมการติดตามบุคคลที่ซ่อนพรางแบบอัตโนมัติ (ก) แสดงค่าความร้อนของวัตถุในฉากที่จับภาพได้ (ข) ภาพจากกล้อง RGB ซึ่งแสดงข้อมูลสีตามที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (ค) เมื่อนำภาพจากกล้อง Thermal และกล้อง RGB มาประสาน (fusion) (ง) ผลลัพธ์จากโปรแกรมติดตามเป้าหมายอัตโนมัติที่ใช้ข้อมูลจากภาพฟิวชัน (fused image)

### ตาราง 1

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ CSR-DCF

CSR-DCF	Mean Center Location Error (mCLE)	Distance Precision (DP)	Overlap Precision (OP)	AUC Score	Mean F-Measure (mFe)
ครั้งที่ 1	44.5127	0.0812	0.0487	0.1274	0.0984
ครั้งที่ 2	46.3800	0.0957	0.0621	0.1368	0.1127
ครั้งที่ 3	45.8459	0.0894	0.0579	0.1342	0.1073
ครั้งที่ 4	43.7659	0.0983	0.0635	0.1395	0.1152
ครั้งที่ 5	45.5102	0.0984	0.0643	0.1416	0.1144

### ตาราง 2

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ Boosting

Boosting	Mean Center Location Error (mCLE)	Distance Precision (DP)	Overlap Precision (OP)	AUC Score	Mean F-Measure (mFe)
ครั้งที่ 1	43.2110	0.0974	0.0543	0.1425	0.1098
ครั้งที่ 2	43.5795	0.1103	0.0684	0.1563	0.1224
ครั้งที่ 3	43.3420	0.1068	0.0627	0.1508	0.1187
ครั้งที่ 4	43.6783	0.1135	0.0698	0.1594	0.1251
ครั้งที่ 5	43.5130	0.1145	0.0703	0.1605	0.1250

### ตาราง 3

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ KCF

KCF	Mean Center Location Error (mCLE)	Distance Precision (DP)	Overlap Precision (OP)	AUC Score	Mean F-Measure (mFe)
ครั้งที่ 1	266.1254	0.0798	0.0419	0.0835	0.0807
ครั้งที่ 2	267.8763	0.0912	0.0523	0.0948	0.0916
ครั้งที่ 3	267.3421	0.0874	0.0498	0.0913	0.0875
ครั้งที่ 4	266.9876	0.0905	0.0537	0.0961	0.0934
ครั้งที่ 5	268.4276	0.0926	0.0553	0.0953	0.0928

ตาราง 4

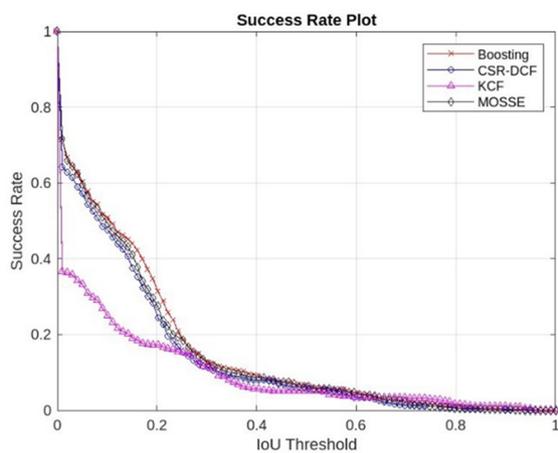
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของ MOSSE

MOSSE	Mean Center Location Error (mCLE)	Distance Precision (DP)	Overlap Precision (OP)	AUC Score	Mean F-Measure (mFe)
ครั้งที่ 1	48.7660	0.0897	0.0518	0.1352	0.1046
ครั้งที่ 2	49.2379	0.1023	0.0654	0.1489	0.1184
ครั้งที่ 3	48.8762	0.0978	0.0609	0.1443	0.1137
ครั้งที่ 4	49.2580	0.1035	0.0667	0.1507	0.1198
ครั้งที่ 5	48.8553	0.1057	0.0662	0.1534	0.1200

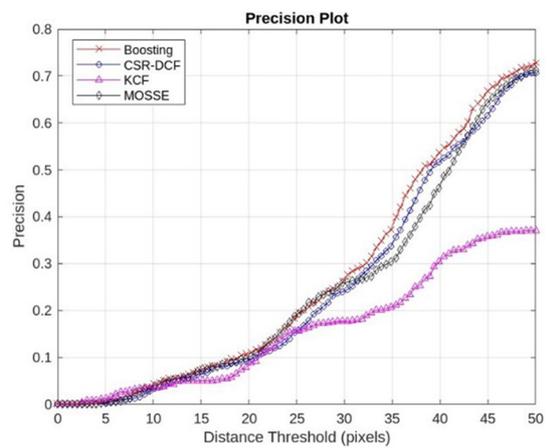
ตาราง 5

ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบประสิทธิภาพของ Tracking Algorithm

Tracking Algorithm	Mean Center Location Error (mCLE)	Distance Precision (DP)	Overlap Precision (OP)	AUC Score	Mean F-Measure (mFe)
CSR-DCF	45.2029	0.0926	0.0593	0.1359	0.1096
Boosting	43.4648	0.1085	0.0651	0.1539	0.1202
KCF	267.3518	0.0883	0.0506	0.0922	0.0892
MOSSE	48.9987	0.0998	0.0622	0.1465	0.1153



(ก)



(ข)

ภาพ 6 (ก) กราฟเปรียบเทียบค่า Success Rate: SR (ข) กราฟเปรียบเทียบค่า Precision Plot: PP

จากกราฟ Success Rate Plot ในภาพ 6(ก) แสดงถึงอัตราความสำเร็จของการติดตามวัตถุเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่งกรอบที่ติดตามกับกรอบจริง (IoU) โดยมีแกน x เป็น IoU Threshold และแกน y เป็น Success Rate ซึ่งแสดงอัตราส่วนของเฟรมที่การติดตามมีค่า IoU สูงกว่าค่า threshold ที่กำหนด จากกราฟจะเห็นได้ว่า ตัวติดตามแบบ Boosting และ CSR-DCF มีค่า Success Rate สูงสุดในช่วงค่า IoU ต่ำ แสดงถึงความแม่นยำในการติดตามในช่วงต้นได้ดี แต่ค่า Success Rate จะลดลงเมื่อค่า IoU Threshold สูงขึ้น ส่วนตัวติดตามแบบ MOSSE มีค่า Success Rate ใกล้เคียงกับ Boosting และ CSR-DCF ในช่วงต้น แต่ลดลงเร็วกว่าเล็กน้อยเมื่อค่า IoU สูงขึ้น ในขณะที่ตัวติดตามแบบ KCF มีค่า Success Rate ต่ำสุดในทุกช่วงของ IoU Threshold แสดงถึงข้อจำกัดในการติดตามวัตถุอย่างแม่นยำเมื่อเทียบกับตัวติดตามอื่น ๆ โดยสรุปจะเห็นว่าตัวติดตามแบบ Boosting และ CSR-DCF มีความแม่นยำในการติดตามวัตถุสูงสุดในช่วงค่า IoU ต่ำ ขณะที่ KCF มีประสิทธิภาพต่ำสุดตลอดช่วงค่า IoU ทั้งหมด

จากกราฟ Precision Plot: PP ดังแสดงในภาพ 6(ข) จะเห็นว่าตัวติดตามวัตถุ 4 ประเภท ได้แก่ Boosting CSR-DCF KCF และ MOSSE โดยมีแกน x เป็น Distance Threshold (pixels) ซึ่งแสดงถึงระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่ติดตามกับตำแหน่งจริงในหน่วยพิกเซล และแกน y เป็น ค่า Precision ซึ่งแสดงอัตราส่วนของเฟรมที่ตำแหน่งที่ติดตามอยู่ภายในระยะห่างที่กำหนดจากตำแหน่งจริง จากกราฟจะเห็นได้ว่า ตัวติดตามแบบ Boosting มีค่า Precision สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวติดตามอื่น ๆ ตลอดช่วงของ Distance Threshold โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 30-50 พิกเซลแสดงให้เห็นว่า Boosting มีความแม่นยำในการติดตามวัตถุในระยะใกล้ตำแหน่งจริงได้ดี ในขณะที่ตัวติดตามแบบ CSR-DCF มีค่า Precision ใกล้เคียงกับ Boosting โดยเฉพาะในช่วง 20-40 พิกเซล แต่ในระยะทางที่มากกว่า 40 พิกเซล ตัวติดตามแบบ Boosting ยังคงมีประสิทธิภาพสูงกว่าเล็กน้อย และตัวติดตามแบบ MOSSE มีประสิทธิภาพที่ดีในช่วงต้น โดยมีค่า Precision ใกล้เคียงกับ CSR-DCF และ Boosting แต่เริ่มมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยในตำแหน่งที่ระยะห่างสูงสุด ส่วนตัวติดตามแบบ KCF มีค่า Precision ต่ำสุดในทุกช่วงของ Distance Threshold

ซึ่งบ่งชี้ถึงข้อจำกัดของ KCF ในการติดตามวัตถุอย่างแม่นยำในระยะใกล้ตำแหน่งจริง

## สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การทดลองนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวติดตาม 4 ชนิด คือ Boosting CSR-DCF KCF และ MOSSE โดยพิจารณาตัวชี้วัดหลายประเภท และเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือค่า Mean Center Location Error: mCLE พบว่า ตัวติดตามแบบ KCF มีประสิทธิภาพในการติดตามในสภาพแวดล้อมไม่ซับซ้อน แต่การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า KCF มีค่า mCLE สูง (267.35) ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำต่ำ ขณะที่ตัวติดตามแบบ Boosting มีค่า mCLE ต่ำสุดที่ 43.46 ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Grabner et al. (2008) ที่ระบุว่า Boosting เหมาะกับการติดตามวัตถุที่เคลื่อนไหว สำหรับค่า Distance Precision: DP จากผลการทดลองชี้ว่า Boosting มีค่า DP สูงสุด (0.1085) ซึ่งบ่งบอกถึงความแม่นยำในการติดตามระยะใกล้ตำแหน่งจริง ขณะที่ KCF มีค่า DP ต่ำ (0.0883) ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Kalal et al. (2012) ที่พบว่า KCF มีข้อจำกัดในการติดตามวัตถุที่มีการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อน สำหรับค่า Overlap Precision: OP ตัวติดตามแบบ CSR-DCF มีค่า OP สูงกว่า KCF เล็กน้อย (0.0593 เทียบกับ 0.0507) อย่างไรก็ตาม Boosting มีค่า OP สูงสุด (0.0651) แสดงถึงความแม่นยำที่ดีกว่าในกรณีวัตถุถูกบดบังบางส่วน และจากการศึกษา Kristan และคณะ, 2015 พบว่า MOSSE มีความเสถียรแต่ใช้ในสภาพแวดล้อมซับซ้อนได้ไม่ดีนัก ซึ่งจากการทดลองนี้ MOSSE มีค่า AUC Score ปานกลาง (0.1465) ในขณะที่ Boosting มีค่า AUC Score สูงสุด (0.154) ซึ่งสะท้อนความสม่ำเสมอในการติดตามเป้าหมายของ Boosting และจากงานวิจัยของ Christen et al. (2023) แสดงถึงความสำคัญของ F-Measure ในการประเมินการติดตามเป้าหมาย ผลการทดลองนี้พบว่า Boosting มีค่า mFe สูงสุด (0.1202) ซึ่งบ่งบอกถึงความครอบคลุมเป้าหมายและความแม่นยำสูงสุด ขณะที่ KCF มีค่า mFe ต่ำสุด (0.0892) แสดงถึงข้อจำกัดในการรักษาความแม่นยำเมื่อวัตถุหรือสภาพแวดล้อมมีความซับซ้อน

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าตัวติดตามวัตถุ Boosting มีประสิทธิภาพในการติดตามวัตถุที่ดีกว่าตัวติดตามอื่น ๆ ในหลายตัวชี้วัด แสดงถึงความสามารถในการติดตามวัตถุที่แม่นยำ สม่าเสมอ และมีความครอบคลุมสูง โดยได้ค่า mCLE เท่ากับ 43.46 DP เท่ากับ 0.1085 OP เท่ากับ 0.0651 AUC Score เท่ากับ 0.154 และ mFe เท่ากับ 0.1202 ส่วน CSR-DCF และ MOSSE มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันแต่ยังด้อยกว่า Boosting เล็กน้อย โดยที่ CSR-DCF มีค่า mCLE เท่ากับ 45.20 DP เท่ากับ 0.0926 OP เท่ากับ 0.0593 AUC Score เท่ากับ 0.136 และ mFe เท่ากับ 0.1096 ขณะที่ MOSSE มีค่า mCLE เท่ากับ 48.99 DP เท่ากับ 0.0999 OP เท่ากับ 0.0622 AUC Score เท่ากับ 0.1465 และ mFe เท่ากับ 0.1153 ในทางกลับกัน KCF มีผลการทดลองที่ต่ำที่สุดในหลายตัวชี้วัด ซึ่งบ่งชี้ถึงความแม่นยำและความเสถียรในการติดตามวัตถุที่ต่ำกว่าตัวติดตามอื่น ๆ โดยได้ค่า mCLE เท่ากับ 267.35 DP เท่ากับ 0.0883 OP เท่ากับ 0.0507 AUC Score เท่ากับ 0.0923 และ mFe เท่ากับ 0.0892

โดยสรุปงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึมประเภท Correlation Filters ที่ใช้มีความสามารถตรวจจับในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนได้ เหมาะสำหรับ UAV Platform ที่ต้องการติดตามบุคคลที่พรางตัว ที่สามารถทำงานแบบ Real-time ได้ดี จากการบินทดสอบในพื้นที่จริง ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ใช้ข้อมูล Dataset OTB-2013

OTB-2015 VOT Challenge Dataset และ KAIST Multispectral Pedestrian Dataset เป็นต้น ในการพัฒนาในอนาคตการผสม Correlation Filter: CF กับ Deep Learning จะยังคงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการเพิ่มความแม่นยำของระบบติดตามวัตถุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ที่เป้าหมายมีการพรางตัวหรือสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง แนวทางที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติม ซึ่งการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ (AI) ร่วมกับ Correlation Filter: CF สามารถยกระดับความแม่นยำในการติดตามวัตถุที่มีการพรางตัวได้โดยอาศัย Deep Learning เป็นเครื่องมือสนับสนุน โดยสามารถประยุกต์ใช้แนวทางต่าง ๆ เช่น การใช้ Convolutional Neural Networks: CNNs หรือ Vision Transformer: ViT เพื่อดึงคุณลักษณะ (feature extraction) ที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมก่อนส่งผ่านไปยัง CF สำหรับการติดตาม นอกจากนี้ Reinforcement Learning (RL) สามารถถูกนำมาใช้เพื่ออัปเดต CF อย่างปรับตัวได้ (adaptive update) ทำให้สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของเป้าหมายและฉากหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้ง การประยุกต์ใช้ Siamese Network และ Attention Mechanism สามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการแยกแยะเป้าหมายจากฉากหลังได้ดีขึ้น ส่งผลให้การติดตามมีความแม่นยำสูงขึ้นในกรณีที่มีการพรางตัวหรือการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเป้าหมายอย่างต่อเนื่อง



## References

- Asha, C. S., & Narasimhadhan, A. V. (2016). Adaptive learning rate for visual tracking using correlation filters. *Procedia Computer Science*, 89, 614-622. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.06.023>
- Bamrunghai, P., & Wongkamchang, P. (2018). Development of a thermal/visible image fusion system for situation awareness. In *2018 5th International Conference on Advanced Informatics: Concept Theory and Applications (ICAICTA)* (pp. 96-100). Krabi: IEEE.
- Bolme, D. S., Beveridge, J. R., Draper, B. A., & Lui, Y. M. (2010). Visual object tracking using adaptive correlation filters. In *2010 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2544-2550). San Francisco: IEEE.

- Chotsisuparat, N. (2020). *The numerical studies of the modified van der pol equation in electrical circuits* (Master's thesis). Srinakharinwirot University. Bangkok. (in Thai)
- Christen, P., Hand, D. J., & Kirielle, N. (2023). A review of the F-measure: its history, properties, criticism, and alternatives. *ACM Computing Surveys*, 56(3), 1-24. Retrieved from <https://bit.ly/4m25kQU>
- Grabner, H., & Bischof, H. (2006). On-line boosting and vision. In *2006 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'06)* (pp. 260-267). New York: IEEE.
- Grabner, H., Grabner, M., & Bischof, H. (2006). Real-time tracking via on-line boosting. In *Proceedings of the British Machine Vision Conference* (p. 6.1-6.10). Edinburgh: BMVA Press
- Henriques, J. F., Caseiro, R., Martins, P., & Batista, J. (2015). High-speed tracking with kernelized correlation filters. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 37(3), 583-596. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2014.2345390>
- Kalal, Z., Matas, J., & Mikolajczyk, K. (2012). Tracking-learning-detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34(7), 1409–1422. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2011.239>
- Kowalski, M. Ł., Pałka, N., Młyńczak, J., Karol, M., Czerwińska, E., Życzkowski, M., Ciurapiński, W., Zawadzki, Z., & Brawata, S. (2021). Detection of inflatable boats and people in thermal infrared with deep learning methods. *Sensors*, 21(16), 5330. <https://doi.org/10.3390/s21165330>
- Kristan, M., Matas, J., Leonardis, A., Felsberg, M., Cehovin, L., Fernandez, G., & Pflugfelder, R. (2015). The visual object tracking vot2015 challenge results. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*. Santiago: IEEE
- Lukežič, A., Vojříř, T., Čehovin, L., Matas, J., & Kristan, M. (2018). Discriminative correlation filter tracker with channel and spatial reliability. *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, 126, 671–688. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.08461>
- Mangale, S., & Khambete, M. (2016). Camouflaged target detection and tracking using thermal infrared and visible spectrum imaging. In *Intelligent Systems Technologies and Applications 2016* (pp. 193-207). Cham: Springer International Publishing.
- Shen, Y., Li, J., Lin, W., Chen, L., Huang, F., & Wang, S. (2021). Camouflaged target detection based on snapshot multispectral imaging. *Remote Sensing*, 13(19), 3949. <https://doi.org/10.3390/rs13193949>
- Shopovska, I., Jovanov, L., & Philips, W. (2019). Deep visible and thermal image fusion for enhanced pedestrian visibility. *Sensors*, 19(17), 3727. <https://doi.org/10.3390/s19173727>
- Wu, Y., Lim, J., & Yang, M. H. (2013). Online object tracking: A benchmark. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 2411-2418). Portland: IEEE

- Zhang, J., Yang, G., Liu, A., & Chen, X. (2023, November). A Data Augmentation Method Based on Multi-Modal Image Fusion for Detection and Segmentation. *In 2023 International Conference on Sensing, Measurement & Data Analytics in the era of Artificial Intelligence (ICSMD)* (pp. 1-5). Xi'an: IEEE.
- Zhang, Y., Wang, T., Liu, K., Zhang, B., & Chen, L. (2021). Recent advances of single-object tracking methods: A brief survey. *Neurocomputing*, 455, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.05.011>
- Mangale, S., & Khambete, M. (2016). Camouflaged target detection and tracking using thermal infrared and visible spectrum imaging. In: J. Corchado Rodriguez, S. Mitra, S. Thampi, & ES. El-Alfy, (Eds), *Intelligent Systems Technologies and Applications 2016. ISTA 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 530* (pp 193–207). Cham: Springer.
- Yang Liu, Cong-Qing Wang, Bin Xu, and Yong-Jun Zhou (2023). Aerial tracking of camouflaged people in woodlands, *Journal of Electronic Imaging*, 32(6), 063018. <https://doi.org/10.1117/1.JEI.32.6.063018>



การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมการผลิตหมูแดดเดียว  
ด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง  
Enhancing the Production Control Efficiency of Sun-Dried Pork  
using the Internet of Things

สันติ วงศ์ใหญ่<sup>1</sup> วีรชัย สว่างทุกซ์<sup>2</sup> วรินทร์ อริยวุฒิกอร์<sup>2\*</sup> และธนวรกฤต โอฬารธนพร<sup>3</sup>  
Santi Wongyai<sup>1</sup>, Weerachai Sawangtuk<sup>2</sup>, Warintorn Ariyawutthikorn<sup>2\*</sup> and Tanaworakit Orantanaporn<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

<sup>1</sup>Industrial Electrical Department, Industrial Technology Faculty, Lampang Rajabhat University

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

<sup>2</sup>Computer Engineering Department, Industrial Technology Faculty, Lampang Rajabhat University

<sup>3</sup>สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

<sup>3</sup>Industrial Arts Department, Industrial Technology Faculty, Lampang Rajabhat University

\*Corresponding author: dream10809@gmail.com

Received: December 4, 2024

Revised: March 4, 2025

Accepted: March 11, 2025

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับการควบคุมการผลิตเนื้อหมูแดดเดียวในธุรกิจผลิตหมูแดดเดียวของชาวบ้านประชารัฐ บ้านกล้วยแพะ จังหวัดลำปาง เพื่อพัฒนาคุณภาพในการผลิตเนื้อหมูแดดเดียว โดยการทำงานของตู้อบหมูแดดเดียวใช้การส่งข้อมูลด้วยโหนดเอ็มซียู ซึ่งได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและรีเลย์เพื่อใช้ควบคุมพัดลมระบายความร้อนภายในตู้อบหมูแดดเดียว ผ่านโพรโทคอล TCP/IP จัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลบนคลาวด์ และสามารถแสดงผลข้อมูลผ่านโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชันได้แบบเรียลไทม์ ผลการวิจัยพบว่า ระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งที่น่ามาประยุกต์ใช้สามารถตรวจวัดอุณหภูมิของกระบวนการผลิตเนื้อหมูแดดเดียว โดยอุณหภูมิภายในตู้อบกรณีตากแดดเท่ากับ 50 °C และทำให้ระยะเวลาในการอบหมูแดดเดียวของตู้อบลดลงเหลืออยู่ที่ 85 นาที ซึ่งเป็นส่วนช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งและเพิ่มปริมาณผลผลิตของกลุ่มธุรกิจได้

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง โหนดเอ็มซียู การควบคุมการผลิตเนื้อหมูแดดเดียว

## Abstract

This research study explores the application of the Internet of Things (IoT) system for controlling the production of sun-dried pork in the community-based sun-dried pork business of Pracharath Village, Ban Kluai Phae, Lampang Province. The primary objective is to enhance the quality and efficiency of the sun-dried pork production process. The operation of the drying chamber utilizes MCU nodes to transmit data, with temperature sensors and relays installed to control the cooling fan inside the drying chamber. The system operates via the TCP/IP protocol, storing data in a cloud database, and enables real-time monitoring through a mobile application. The findings of this study indicate that the IoT-based system successfully monitors and regulates the drying process by accurately measuring temperature fluctuations. The recorded temperature inside the drying chamber under direct sunlight is approximately 50°C, and the IoT-integrated drying system effectively reduces the average drying time by 85 minutes. This optimization contributes to a more efficient drying process, reduced drying time, and an overall increase in production capacity, benefiting the local sun-dried pork business.

**Keywords:** Internet of Things, node MCU, production control of sun-dried pork



## บทนำ

เนื้อหมูเป็นอาหารประเภทเนื้อสัตว์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคมานาน ประเทศไทยมีการบริโภคเนื้อหมูในปี 2563 จำนวน 22.41 ล้านตัว (Department of Livestock Development, 2020) เนื้อหมูนิยมรับประทานปรุงอาหารสดและอีกอย่างหนึ่ง คือ การนึ่งนำเนื้อหมูไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น เพื่อถนอมอาหารและเก็บได้นาน ซึ่งเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ใช้มาตั้งแต่อดีต สามารถบริโภคในเวลาสั้นหรือเก็บไว้ได้นานหลายวัน ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า การทำหมูแดดเดียว (Olarnthanaporn et al., 2020) ซึ่งการทำหมูแดดเดียวใช้การตากด้วยแสงอาทิตย์เป็นวิธีการที่นิยมทำและแพร่หลายในปัจจุบัน และมีการออกแบบเครื่องอบแห้งเนื้อหมูด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Doungporn, 2016; Doungporn et al., 2019) กระบวนการผลิตหมูแดดเดียวด้วยกรรมวิธีดังกล่าวจะต้องมีการติดตามความชื้นและอุณหภูมิในการตากที่จะต้องให้ดำเนินการตรวจวัดด้วยตนเองเป็นระยะ ซึ่งทำให้สูญเสียเวลาในการดำเนินการตรวจเช็ค

อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งเทคโนโลยีการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต สามารถสื่อสารควบคุม หรือรายงานผลซึ่งกันและกันผ่านระบบอินเทอร์เน็ต สามารถเพิ่มและลดจำนวนของทรัพยากรรวมถึงลดเวลาในการตรวจสอบอื่น ๆ และมีบทบาทสำคัญในการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบเรียลไทม์ (real time) ช่วยให้สามารถฝึกฝนทางออนไลน์ได้ ส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลในภาพรวมมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Jaroenlap & Sovajassatakul, 2020) หากมีการนำอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมาเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิตหมูตากแห้งแดดเดียว ในการตรวจวัดอุณหภูมิผ่านแอปพลิเคชัน จะทำให้กระบวนการตรวจสอบมีความแม่นยำและเป็นแบบเรียลไทม์ (real time) และยังช่วยตรวจสอบผลกระทบเชิงลึก การบูรณาการเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เข้ากับรอบการทำงานของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม รวมถึงภาพรวมทั้งหมดในด้านของผลกระทบที่ตามมา ทั้งด้านประสิทธิภาพและผลลัพธ์ทางธุรกิจทั้งหมด (Babu et al., 2023)

จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ ทางที่มิวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง มาควบคุมตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์หมุนแดดเดียว เพื่อลดระยะเวลาการอบหมุนแดดเดียวและประหยัดเวลาในการผลิต อีกทั้งเพื่อพัฒนานวัตกรรมเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานกับธุรกิจผลิตหมูแดดเดียวของชุมชนประชารัฐไทลือ บ้านกล้วยแพะจังหวัดลำปาง ให้ทันต่อความต้องการของตลาดและกลายเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ยั่งยืนต่อไป

จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ IoT ในการควบคุมอุปกรณ์อัตโนมัติ พบว่า เทคโนโลยีดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ระบบโรงเรือนอัจฉริยะ ระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในกระบวนการผลิตอาหารแปรรูป รวมถึงระบบอบแห้งที่สามารถควบคุมได้จากระยะไกล ด้วยเหตุนี้ ทีมวิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนา ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะสำหรับกระบวนการอบหมูแดดเดียว โดยใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้ง เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และทำให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปอย่างแม่นยำและมีมาตรฐาน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนานวัตกรรมที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในชุมชน โดยมุ่งเน้นไปที่ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนประชารัฐไทลือ บ้านกล้วยแพะจังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีศักยภาพในการผลิตหมูแดดเดียว เพื่อจำหน่ายในระดับท้องถิ่นและตลาดที่กว้างขึ้น การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการอบหมูแดดเดียว จะช่วยให้สามารถผลิตสินค้าได้ในปริมาณที่มากขึ้นภายในระยะเวลาที่สั้นลง ตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีมาตรฐานและความยั่งยืน

ทั้งนี้ การพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่สามารถควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งไม่เพียงแต่ช่วยยกระดับคุณภาพการผลิตของชุมชน แต่ยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก โดยการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาปรับใช้กับภูมิปัญญาท้องถิ่น ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของกลุ่มผู้ประกอบการชุมชน ตลอดจนเป็นแนวทางสู่การพัฒนาสินค้าแปรรูปที่สามารถเข้าสู่ตลาดในระดับประเทศและสากลได้ต่อไป

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ในการควบคุมคุณภาพการผลิตหมูแดดเดียว
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในการควบคุมคุณภาพการผลิตหมูแดดเดียว

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### Node MCU

ในรุ่น ESP8266 และ ESP32CAM ได้รับการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง ใช้งานอย่างหลากหลายแอปพลิเคชัน โดยเน้นถึงความหลากหลายและความคุ้มค่าโครงการที่พัฒนาด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ในบริบทของการจัดการน้ำ Node MCU ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมระดับน้ำในถังเก็บน้ำโดยอัตโนมัติ ช่วยป้องกันการล้นเปลี่ยนน้ำผ่านการผสมรวมเซ็นเซอร์และโซลินอยด์วาล์วเพื่อจัดการการไหลของน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Indrianto et al., 2018) ในด้านระบบบ้านอัจฉริยะ Node MCU ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากราคาที่เข้าถึงได้และความง่ายในการเชื่อมต่อกับ Google Assistant ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยคำสั่งเสียงผ่านโปรโตคอล MQTT (Haridasayam & Reddy, 2019) นอกจากนี้ รุ่น ESP32CAM ยังได้รับการสำรวจในฐานะเครื่องมือการเรียนรู้ โดยแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในใช้งานอุปกรณ์ฝึกรูปแบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง พร้อมการผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงบวกจากทั้งผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน บ่งชี้ถึงศักยภาพในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการเรียนรู้บนพื้นฐานอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Umam et al., 2024) นอกจากนี้ความสามารถ WLAN ในตัวของ Node MCU เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับระบบบ้านอัจฉริยะ โดยช่วยให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ เช่น ไฟและประตูโรงรถได้อย่างราบรื่น โดยต้นแบบที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและความซับซ้อนที่ลดลงเมื่อเทียบกับระบบทั่วไป (Rathee et al., 2022) นอกจากนี้ Node MCU ยังมีคุณสมบัติแบบ Open Source และความง่ายในการเชื่อมต่อกับเครือข่าย ทำให้เป็นโซลูชันที่แข็งแกร่งสำหรับระบบบ้านอัจฉริยะ โดยให้ประสิทธิภาพด้านพลังงาน ความปลอดภัย และการใช้งานที่เป็นมิตรต่อผู้ใช้ผ่านการผสมรวมเซ็นเซอร์และการ

ตรวจสอบบนคลาวด์ (Rathour et al., 2023) โดยรวมแล้ว Node MCU มีประสิทธิภาพในเรื่องความสามารถในการปรับตัว ต้นทุนต่ำ และประสิทธิภาพทั้งในด้านการศึกษาและแอปพลิเคชันควบคุมอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งจริง

### ข้อมูลและสารสนเทศ

ข้อมูลและสารสนเทศ หมายถึง ข้อเท็จจริงหรือข่าวสารที่แสดงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตัวเลข ตัวอักษร ภาษา หรือสัญลักษณ์ ซึ่งยังไม่ได้ผ่านการวิเคราะห์หรือประมวลผล ข้อมูลเหล่านี้มีความหมายเฉพาะตัว แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ในทางกลับกัน สารสนเทศคือ ข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลและวิเคราะห์แล้ว ทำให้มีความสัมพันธ์กัน มีความหมาย และมีคุณค่า สามารถนำไปใช้เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์เฉพาะได้ทันทีตั้งนั้น ระบบข้อมูลสารสนเทศจึงเป็นกระบวนการจัดระเบียบข้อมูลให้เป็นหมวดหมู่อย่างมีแบบแผน เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจ การวางแผน และการควบคุมงานของผู้บริหารและบุคคลที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

ในอุตสาหกรรมกำลังเปลี่ยนแปลงภาคส่วนต่าง ๆ โดยการรวมเซนเซอร์อัจฉริยะ โปรโตคอลการสื่อสารข้อมูล และอุปกรณ์ฝังตัวเพื่อสร้างระบบที่เชื่อมต่อกันซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการตัดสินใจ การใช้งานอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรมเป็นสิ่งสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิต พลังงาน การขนส่ง การเกษตร และการดูแลสุขภาพ ซึ่งอำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อความสามารถในการปรับขนาด และประสิทธิภาพต้นทุนผ่านเทคโนโลยี เช่น ข้อมูลขนาดใหญ่ การประมวลผลระบบคลาวด์ และการเรียนรู้ของเครื่อง (Kumar, 2022) สถาปัตยกรรมของระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรมมักเกี่ยวข้องกับการทำงานหลายเลเยอร์ รวมถึงเลเยอร์การรับรู้สำหรับการรวบรวมข้อมูลผ่านเซนเซอร์ เลเยอร์เครือข่ายสำหรับการเชื่อมต่อ เลเยอร์การประมวลผลสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล และเลเยอร์แอปพลิเคชันสำหรับนำเสนอข้อมูลเชิงลึกให้กับผู้ใช้ปลายทาง (Varghese & Shereef, 2024) ในการผลิตอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรมจะช่วยปรับปรุงกระบวนการโดยเปิดใช้งานการแลกเปลี่ยนและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ซึ่ง

สนับสนุนการตัดสินใจและประสิทธิภาพในการดำเนินงาน (Varghese & Shereef, 2024) นอกจากนี้ การผสมรวมเทคโนโลยีบล็อกเชนซึ่งปรับให้เหมาะสมผ่านอัลกอริทึม แม้จะมีความก้าวหน้าเหล่านี้ แต่ประเด็นในเรื่องของความส่วนตัวและความปลอดภัยยังคงมีความสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ และตระหนักถึงศักยภาพของอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรม (Kumar, 2022) อย่างเต็มที่ การใช้เซนเซอร์อัจฉริยะและการทำให้เป็นดิจิทัลในอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรมยังรองรับแอปพลิเคชัน เช่น การตรวจสอบระยะไกลการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์และ Digital Twin ซึ่งมีความสำคัญต่อวิวัฒนาการของอุตสาหกรรม 4.0 (Sailaja, 2022) การใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการบริโภคและทำให้สามารถติดตามการควบคุมคุณภาพอาหารได้แบบทันที (Dadhaneeya, Nema & Arora, 2023) (Kakham, Suchaipron & Mongkon, 2024) พัฒนาระบบลำเลียงและจัดเรียงชิ้นงานอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำและลดต้นทุนแรงงานในสายการผลิต ระบบนี้ใช้เซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมที่เชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถตรวจสอบและควบคุมการทำงานได้แบบเรียลไทม์ ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีความต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Mdpi, 2022) และในการสร้างโรงงานอัจฉริยะ โดยการติดตั้งเซนเซอร์ในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อเชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต การเชื่อมต่อนี้ช่วยให้สามารถเข้าถึงข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทำให้การดำเนินงานมีความโปร่งใสและมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งยังช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความยั่งยืนมากขึ้น โดยรวมแล้วอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรม แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการดำเนินงานด้านอุตสาหกรรม

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในการควบคุมการผลิตหมูแดดเดียว กรณีศึกษาชาวบ้านประจักษ์รัฐไถลือ บ้านกล้วยแพะ จังหวัดลำปาง เปรียบเทียบกับการผลิตหมูแดดเดียวกับวิธีการตากแดดแบบเดิม

## สถานที่ทำวิจัย

ทำการออกแบบเกี่ยวกับต้นแบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ซึ่งได้ทำการทดสอบการทำงานกับธุรกิจผลิตหมูแดดเดียวของกลุ่มชุมชนประชารัฐไทยลือ บ้านกล้วยแพะ จังหวัดลำปาง

## เครื่องมือที่ใช้ทำวิจัย

1. ตู้อบหมูแดดเดียว
2. อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ เช่น Node MCU ds18b20 และ Relay
3. ซอฟต์แวร์ประกอบด้วย แอปพลิเคชันการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ แอปพลิเคชันการแสดงผลการทำงาน และแอปพลิเคชันสำหรับผู้ควบคุมและใช้งาน

## วิธีการทำวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้งานอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งเพื่อควบคุมการผลิตหมูแดดเดียวได้ดำเนินการตามแนวทางทฤษฎีแบบจำลองน้ำตก (waterfall model) (Dudeja & Kharbanda, 2015) ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย (1) การศึกษาความต้องการและความเป็นได้ของระบบ (2) การวิเคราะห์และออกแบบ (3) การติดตั้งระบบ (4) การทดสอบระบบ (5) การบำรุงรักษา แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การศึกษาความต้องการและความเป็นได้ของระบบ จากการลงพื้นที่สำรวจในชุมชน ซึ่งสรุปจากผู้ใช้มีความต้องการระบบบริหารจัดการเพื่อควบคุมตู้อบหมูแดดเดียวทำงานอัตโนมัติ โดยมีฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น ควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมความชื้น ในขณะที่อบหมูแดดเดียวให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาและต้องการแจ้งเตือนอุณหภูมิขณะที่อบหมูแดดเดียวผ่านแอปพลิเคชัน

จากตาราง 1 พบว่า อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยทำหน้าที่แตกต่างกัน โดยแต่ละอุปกรณ์ มีลักษณะการทำงานดังนี้

Node MCU เป็นบอร์ดสำหรับการพัฒนาที่สร้างขึ้นโดยมีชิป Wi-Fi ESP8266 ที่เป็น SoC: System on Chip อยู่ภายใน ตัว Node MCU มี GPIO เชื่อมต่อกับ

อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ซึ่งจะทำงานได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องใช้ Arduino ด้วยคุณสมบัติของบอร์ด Node MCU นี้ทำให้ใช้เป็นระบบโฮมอโตเมชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Walia, Kalra & Mehrotra, 2016) ในงานวิจัยนี้ทำหน้าที่รับค่าที่อ่านมาจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแล้วส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ds18b20 เป็นไอซีดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์แบบโปรแกรมค่าความละเอียด และใช้การอินเทอร์เฟสแบบ 1-Wire ค่าที่อ่านได้ 12-bit ความละเอียด 0.0625 °C ทำหน้าที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในตู้อบขณะที่มีการทำงาน

รีเลย์ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสถานะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ควบคุมพัดลมระบายความร้อน

2. การวิเคราะห์และออกแบบ ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและใช้สถาปัตยกรรมอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง มีองค์ประกอบ ดังนี้

- 2.1. สิ่งต่าง ๆ (things) ใช้ Node MCU รับค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ds18b20 ที่ส่งมาเป็นดิจิทัลแล้วผ่านการประมวลผลในโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นตามเงื่อนไขการทำงาน โดยหากอุณหภูมิภายในตู้อบมีความร้อนถึง 50 องศาเซลเซียส จะทำการสั่งงานในรีเลย์ทำงาน เพื่อควบคุมเปิด-ปิด พัดลมระบายความร้อนให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ซึ่งระหว่างที่อ่านค่าอุณหภูมิทุก 30 วินาที จะทำงานการส่งค่าอุณหภูมิและสถานะรีเลย์

- 2.2 เครือข่าย (networks) ส่วนที่ทำการเชื่อมต่อสิ่งต่าง ๆ ในข้างต้นไปยังระบบคลาวด์ (Cloud)

- 2.3 ระบบคลาวด์ (Cloud) เป็นเซิร์ฟเวอร์ระยะไกลในศูนย์ข้อมูลที่ทำหน้าที่ในการรวมและเก็บข้อมูลในงานนี้เป็นเซิร์ฟเวอร์ของ Blynk

กรอบการทำงานของการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งร่วมกับซอฟต์แวร์ควบคุมเพื่อประยุกต์ใช้กับตู้อบหมูแดดเดียว เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะทำการส่งอุณหภูมิไปยัง Node MCU แล้วส่งข้อมูลที่รวบรวมได้ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายไปยังระบบฐานข้อมูลแบบคลาวด์

(Cloud database) ของซอฟต์แวร์ Blynk เมื่อผู้ใช้ต้องการทราบค่าอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา โดยจะสามารถติดตามได้จากแอปพลิเคชัน Blynk ที่ติดตั้งในโทรศัพท์เคลื่อนที่

3. การติดตั้งระบบ ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ชุดควบคุมของระบบระบายความร้อนและอุปกรณ์กระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สายภายในตู้อบหมูแดดเดียวของชุมชนประชารัฐไทลื้อ บ้านกล้วยแพะ จังหวัดลำปาง (Olarntanaporn et al., 2020)

4. การทดสอบ ความถูกต้องของการอ่านอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ การส่งข้อมูลของตู้อบหมูแดดเดียวไปยังระบบฐานข้อมูลแบบคลาวด์ (Cloud database) เป็นระยะเวลา 1 เดือน ในส่วนของเนื้อหมูแดดเดียวได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะของชิ้นเนื้อหมูแดดเดียวที่อบด้วยตู้อบกับกระบวนการตากแดดตามวิธีดั้งเดิม

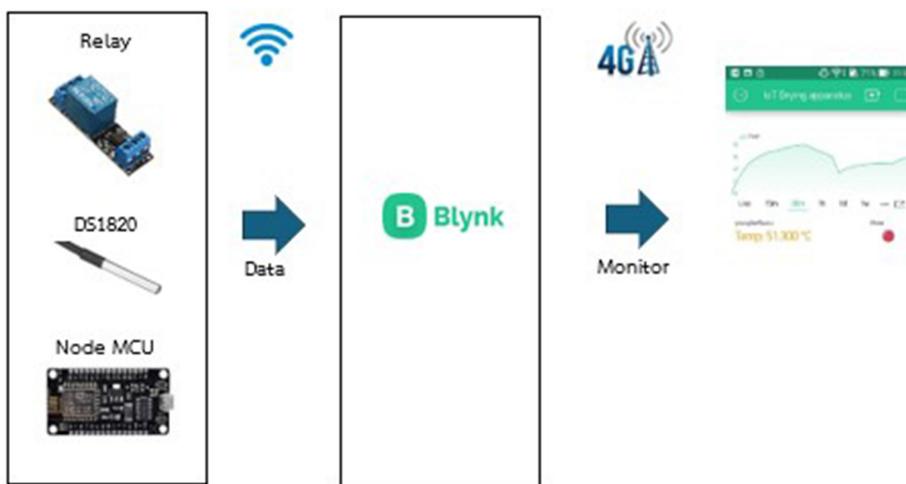
เมื่อดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเสร็จสิ้น ได้ทำการทดสอบการผลิตเนื้อหมูแดดเดียว โดยทำการอบเนื้อหมูจำนวน 1 กิโลกรัม ผลที่ได้พบว่า เนื้อหมู มีลักษณะสีที่เหมือนกันทั้งกระบวนการอบที่ไม่มีชุดควบคุมอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งและมีชุดควบคุมอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ลักษณะของเนื้อหมูแดดเดียวจากกระบวนการผลิตทั้งสองแบบ ดังแสดงภาพ 4

5. การบำรุงรักษา จะมีการทำความสะอาดภายนอกและอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในตู้อบหมูแดดเดียว และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ เช่น ตรวจสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์เครือข่ายกับตู้อบหมูแดดเดียว การอ่านค่าของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ การเชื่อมต่อไปยังแอปพลิเคชัน Blynk

**ตาราง 1**

*อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย*

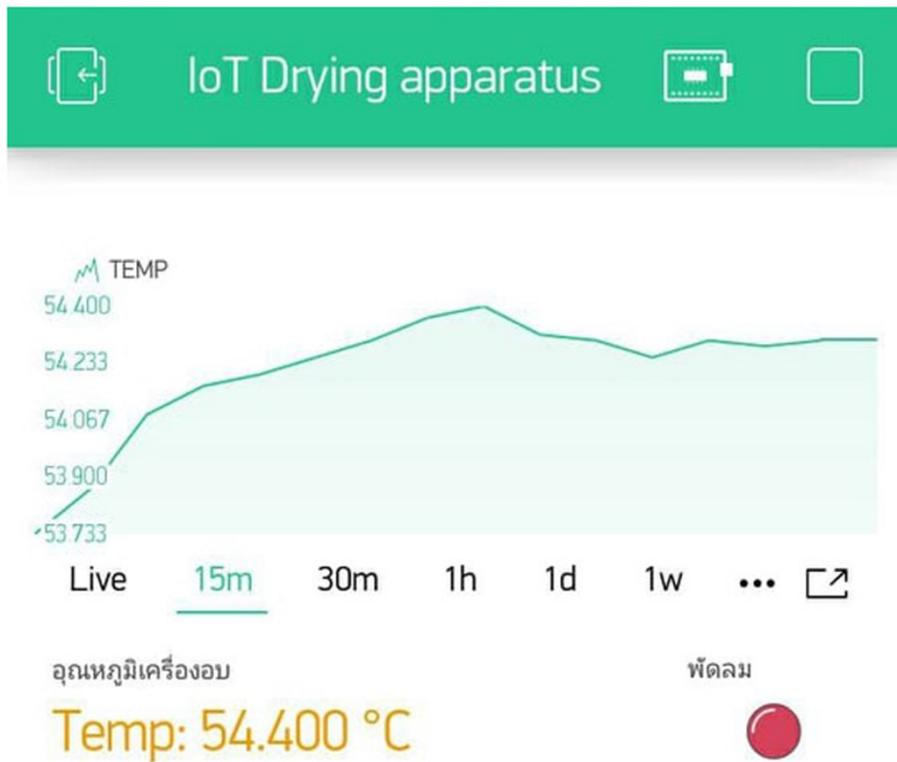
Hardware และ Software	หน้าที่
Node MCU	รับค่าที่อ่านมาจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแล้วส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์ และควบคุมอุณหภูมิการอบให้อยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ds18b20	วัดอุณหภูมิภายในตู้อบ
รีเลย์	ควบคุมการเปิด - ปิด พัดลมระบายความร้อนในขณะที่ยังมีค่าคงที่
แอปพลิเคชัน blynk	แสดงผลอุณหภูมิของตู้อบที่ส่งมายังระบบคลาวด์



ภาพ 1 กรอบการทำงานของการทำงานการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งร่วมกับซอฟต์แวร์ควบคุมเพื่อประยุกต์ใช้กับตู้อบหมูแดดเดียว



ภาพ 2 การติดตั้งวงจรควบคุมของตู้อบหมูแดดเดียว



ภาพ 3 ค่าอุณหภูมิที่แสดงผลในแอปพลิเคชัน Blynk



เนื้อหมูแดดเดียวจากตู้อบไม่มีชุดควบคุม อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง



เนื้อหมูแดดเดียวจากตู้อบมีชุดควบคุม อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

ภาพ 4 ลักษณะของเนื้อหมูแดดเดียวจากกระบวนการผลิตทั้งสองแบบ

### วิธีการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของตู้อบหมูแดดเดียว โดยการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งควบคุมการผลิตหมูแดดเดียว กรณีศึกษาชาวบ้านประชารัฐไทยลีอ บ้านกล้วยแพะ จังหวัดลำปาง มีวิธีการทดสอบการทำงาน ดังนี้

1. ทดสอบการอบหมูแดดเดียวโดยวิธีการอบแบบวิธีดั้งเดิมโดยการตากแดดกลางแจ้ง
2. การวัดความชื้นของหมูแดดเดียว จะทำการวัดและวิเคราะห์ความชื้นที่เกาะติดผิววัสดุ โดยการวัดจะแบบออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้นซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าร้อยละ ดังนี้

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (1)$$

- เมื่อ  $M_w$  = ร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียก  
 $w$  = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น (กิโลกรัม)  
 $d$  = น้ำหนักของวัสดุแห้ง (กิโลกรัม)

แบบที่ 2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้งสามารถหาค่าเป็นร้อยละดังนี้

$$M_d = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $M_d$  = ร้อยละความชื้นแห้งมาตรฐาน

การแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้ทางด้านงานวิจัยเพราะสามารถคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขบวนการอบแห้งได้ง่ายขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของวัสดุคงที่ (Niseng, Suybangdum, Sangkhavasi & Pangklean, 2019)

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยใช้สถิติพรรณนาในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการรับส่งข้อมูลระบบการควบคุมการทำงานของอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ภายในตู้อบหมูแดดเดียวของชุมชนประชารัฐไทยลีอ บ้านกล้วยแพะ จังหวัดลำปาง

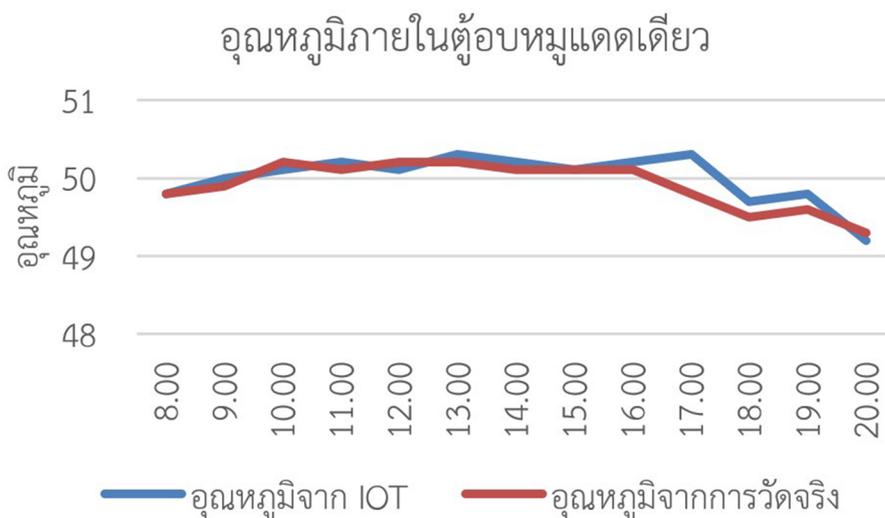
## ผลการวิจัย

การวิจัยประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ตรวจสอบอุณหภูมิตู้อบหมูแดดเดียว กรณีศึกษาชาวบ้านประจักษ์รัฐไทลื้อ บ้านกล้วยแพะ จังหวัดลำปาง ซึ่งมีการอ่านค่าอุณหภูมิภายในตู้อบหมูแดดเดียว เพื่อนำผลที่ได้มาทำการควบคุมการทำงานของตู้อบหมูแดดเดียว อุณหภูมิที่ส่งผ่านระบบสื่อสารเข้ามาในแอปพลิเคชัน Blynk โดยข้อมูลที่ส่งมาประกอบด้วยอุณหภูมิภายในตู้อบหมูแดดเดียว ณ เวลาปัจจุบัน ซึ่งแสดงผลตามภาพ 5 ดังนี้

จากภาพ 5 พบว่า การตรวจวัดอุณหภูมิตู้อบหมูแดดเดียวผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ทำให้เวลาการทำหมูแดดเดียวลดลง 5 นาที เนื่องการปฏิบัติงานของคนผลิตเนื้อหมูแดดเดียวสามารถดำเนินการผลิตเนื้อหมูแดดเดียวได้อย่างต่อเนื่อง ในการตรวจสอบตู้อบหมูแดดเดียวโดยลดการใช้ทรัพยากรด้านแรงงานในการผลิต และหากเทียบกับเวลาในการผลิตหมูแดดเดียวกับวิธีปกติสามารถลดเวลาลงได้ 5 นาทีและลดลง 5 นาที เมื่อเทียบกับการผลิตเนื้อหมูแดดเดียวจากตู้อบที่ใช้แหล่งกำเนิดความร้อนจากฮีตเตอร์ แต่ไม่ได้ควบคุมด้วยระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง และมีส่วนแปรผันกับอุณหภูมิภายนอกในช่วงเวลาหลัง 18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงกลางคืนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงกลางวัน

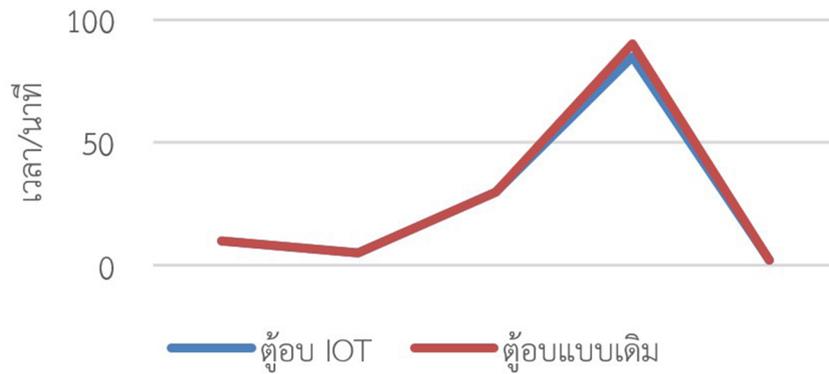
จากกราฟภาพ 6 พบว่า กระบวนการทำหมูแดดเดียว มีกระบวนการทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะใช้เวลาในการทำงานเท่ากัน แต่จะต่างกันในช่วงขั้นตอนการอบหมูแดดเดียวโดยใช้ตู้อบที่ควบคุมด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง จะมีระยะเวลาในการอบที่ 85 นาที แต่การอบแบบเดิมจะใช้เวลาในการอบ 90 นาที

จากกราฟภาพ 7 พบว่า น้ำหนักของเนื้อหมูจำนวน 1 กิโลกรัม เมื่อนำไปอบในตู้อบหมูแดดเดียวซึ่งมีการประยุกต์ใช้ระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ในการควบคุมการทำงานของตู้อบให้เนื้อหมูแดดเดียวมีน้ำหนัก 600 กรัม และควบคุมอุณหภูมิตู้อบหมูแดดเดียวอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส โดยการอบแต่ละช่วงเวลา ตู้อบ IoT สามารถดำเนินการลดความชื้นในเวลาที่ยรวดเร็วกว่าเครื่องเดิม จึงมีผลต่อน้ำหนักของเนื้อหมู ดังกราฟ ที่เวลาเริ่มอบ 09.00 น. จะใช้ระยะเวลา 85 นาที เริ่มอบเวลา 11.00 น. จะใช้ระยะเวลา 85 นาที และเริ่มอบเวลา 13.00 น. จะใช้ระยะเวลา 80 นาที ซึ่งเปรียบเทียบกับกรอบหมูแดดแบบเดิม (Olarntanaporn et al., 2020) ต้องใช้เวลา 90 นาที น้ำหนักหมูแดดเดียวจึงจะเท่ากัน



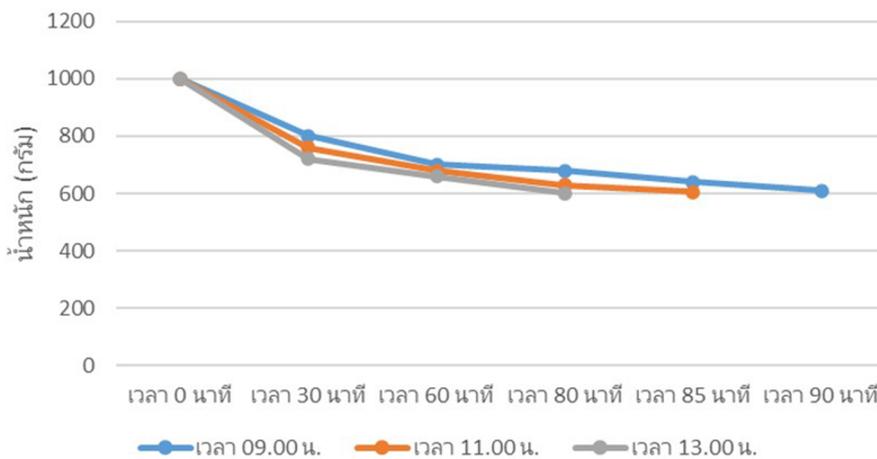
ภาพ 5 กราฟแสดงอุณหภูมิและเวลาการทำงานของตู้อบหมูแดดเดียวผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

## กระบวนการทำหมูแดดเดียว



ภาพ 6 กราฟแสดงระยะเวลาในการผลิตหมูแดดเดียว 1 กิโลกรัม

## น้ำหนักของเนื้อหมูอบควบคุมด้วย IOT



ภาพ 7 น้ำหนักของเนื้อหมูจากการอบในตู้อบที่ประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งควบคุม

### สรุปผลการวิจัย

การวิจัยการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งตรวจสอบอุณหภูมิและควบคุมตู้อบหมูแดดเดียว กรณีศึกษาชาวบ้านประชารัฐไทลื้อ บ้านกล้วยแพะ จังหวัดลำปาง สามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ ดังนี้

1. งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งควบคุมการทำงานของตู้อบหมูแดดเดียว อุปกรณ์จะส่งข้อมูลด้านอุณหภูมิและเวลาภายในตู้อบหมูแดดเดียว เพื่อแสดงให้ผู้ผลิตหมูแดดเดียวทราบผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

2. การผลิตหมูแดดเดียว ภายใต้การแสดงผลด้านอุณหภูมิและเวลาภายในตู้อบหมูแดดเดียว ทำให้ผู้ผลิตหมูแดดเดียวไม่ต้องกังวลในด้านอุณหภูมิภายในตู้อบ สามารถปฏิบัติกิจกรรมอื่นในการผลิตหมูแดดเดียวได้ต่อเนื่อง ทำให้ผลผลิตหมูแดดเดียวมีปริมาณเพิ่มขึ้น

### การอภิปรายผล

ในงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง จะใช้ในการตรวจวัดและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

พบว่า การอบหมูแดดเดียวโดยใช้ตู้อบที่ควบคุมด้วย อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง จะมีระยะเวลาในการอบเฉลี่ยที่ 85 นาที แต่การอบแบบเดิมจะใช้เวลาในการอบ 90 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiewchan and Saokeaw (2017) มีการนำอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ไปบูรณาการ ประยุกต์ใช้ระบบ RFID และอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ให้ กับรถขนถ่านหินลิกไนต์ในเมืองการไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัด ลำปาง ผ่านระบบ Private Cloud Computing ผลการ วิจัยระบบ RFID และอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง สามารถลด ความผิดพลาดการตรวจสอบการจัดการโลจิสติกส์ การนับ จำนวนเที่ยวรถขนถ่านหินลิกไนต์ในหนึ่งวัน และจำนวน

เที่ยวขนถ่านหินลิกไนต์ของรถแต่ละคันในหนึ่งวัน และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Somsong, Kanoungkid and Bandasak (2021) ที่มีการนำอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ไปใช้ในระบบเกี่ยวกับ Smart Farm มีการประยุกต์ใช้ อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับระบบ ฟาร์มไก่ไข่ ซึ่งปัญหาในด้านอุณหภูมิและความชื้น ที่มีผลต่อ การออกผลผลิตและการเจ็บป่วยของไก่ ซึ่งในการควบคุม ระบบเซนเซอร์ต่าง ๆ สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วด้วย การเชื่อมต่อระบบเข้ากับอินเทอร์เน็ตและแอปพลิเคชัน มือถือเพื่อให้ทำการควบคุมการทำงานได้สอดคล้องกัน



## References

- Babu, S., Kumar, P., Devi, B.S., Reddy, K. P., Satish, M., & Prakash, A. (2023). Enhancing efficiency and productivity: IoT in industrial manufacturing. *2023 IEEE 5th International Conference on Cybernetics, Cognition and Machine Learning Applications (ICCCMLA)* (pp. 693-697). Hamburg: IEEE.
- Chiewchan, O., & Saokeaw, A. (2017). An integrated system of RFID (Radio Frequency Identification), IoT (Internet of Things) and cloud computing for logistics management. *Wittayasara: Integration Apply Engineering and Industrial Technology Journal*, *10*(2), 109–119. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/itech/article/view/107099> (in Thai)
- Department of Livestock Development. (2020). *Livestock economics research group*. Retrieved from <https://extension.dld.go.th> (in Thai)
- Doungporn, S. (2016). Study of drying kinetics of pork using a solar dryer. *Journal of Science Faculty, Udon Thani Rajabhat University*, *9*(3), 165-177. retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rmutijo/article/view/73628/59291> (in Thai)
- Doungporn, S., Loykaew, A., Panprom, P., Thaipituk, P. (2019). Drying of golden banana using a solar dryer combined with infrared technology. *Journal of Science, Phetchaburi Rajabhat University*, *16*, 12-24. (in Thai)
- Dudeja, K., & Kharbanda, A. (2015). Object-oriented approach and waterfall model: A review. *International Journal of Research*, *2*(5), 180-184. Retrieved from <https://journals.pen2print.org/index.php/ijr/>
- Haridasam, H., & Reddy, K. R. L. (2019). Controlling appliances through google assistant using Node MCU. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, *6*(6), 147-150. Retrieved from <https://www.jetir.org/papers/JETIRDC06025.pdf>

- Indrianto, I., Sudarto, F., & Novianty, S. J. (2018). Pengontrolan ketinggian air pada bak penampung berbasis Node MCU. *CCIT (Creative Communication and Innovative Technology) Journal*, 11(2), 217-224. <https://doi.org/10.33050/ccit.v11i2.589>
- Jaroenlap, C., & Sovajassatakul, T. (2020). The development of online training modules and internet of things on vehicle air conditioner. *Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST)*, 29(1), 50-59. <https://doi.org/10.14456/nujst.2021.4> (in Thai)
- Kumar, S. (2022). Industrial Internet of Things. In B. Rudra, A. Verma, S. Verma and B. Shrestha (Eds.), *Futuristic research trends and applications of Internet of Things* (p. 20). Florida: CRC Press.
- Mdpi. (2022). Internet of Things in Industry: Research Profiling, Application, Challenges and Opportunities- A Review. *MDPI Energies*, 15(5), 1806. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/5/1806>
- Niseng, S., Suybangdum, P., Sangkhavasi, K., and Pangklean, S. (2019). A study on size of moisture ventilation for chili drying by hybrid energy dryer. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 11(1), 158-168. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/article/view/182221> (in Thai)
- Olanthanaporn, T et al. (2020). Development of a dual-system drying cabinet for sun-dried pork: A case study of Pracharat Tai Lue villagers, Kluay Phae Subdistrict, Lampang Province. *In Proceedings of the 16th Naresuan Research Conference* (pp. 271-280). Phitsanulok: Naresuan University. (in Thai)
- Kakham, P., Suchaipron, S., & Mongkon, C. (2024). Automatic conveying and sorting system using IoT. *Journal of Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University*, 6(1), 27–39. Retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/article/view/252871> (in Thai)
- Rathee, N., Rathee, V., Kumar, S., Das, A., Ivchuk, Y., Liudmyla, C. (2022). An efficient IoT-based novel design for home automation using Node MCU controller. *Mobile Computing and Sustainable Informatics Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2022*, 233-246. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2069-1\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2069-1_17)
- Rathour, N., Kumar, M. V., Kundu, S. S., Gehlot, Y., & Gurung, A. (2023). Sigma home: An IoT-based home automation using Node MCU. *2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)* (pp. 1317-1322). Namakkal: IEEE.
- Sailaja, C. (2022). 4. Industrial internet of things – an overview. *Journal of ISMAC The Journal of IoT in Social, Mobile, Analytics, and Cloud*, 4(4), 257-271. <https://doi.org/10.36548/jismac.2022.4.003>

- Saowaluk, Y. (2017). Mini-greenhouse solar dryer for community use. *In Proceedings of the 4th National Conference* (pp. 1176-1184). Kamphaeng Phet: Research Institute, Kamphaeng Phet Rajabhat University. (in Thai)
- Sokhom, W., Thawadee, N, Thawadee., & Chaikew, N., (2023). Web application development for Follow-up evaluation project implementation School of Information and Communication Technology University of Phayao. *The Journal of Spatial Innovation Development (JSID) Journal*, 4(2), 49-64. Retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jsid/article/view/252498/170772> (in Thai)
- Somsong, K., Kanoungkid, S., & Bandasak, S. (2021). Smart farm and poultry that automatic working with sensor and can control with smartphone. *Rattanakosin Journal of Science and Technology*, 2(3), 167-175. Retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/RJST/article/view/243483> (in Thai)
- Suhdee, N., & Panumas, S. (2016). Red chili drying oven using electric and solar energy. *Proceedings of the 9th National Conference on Industrial Education* (pp. 50-54). Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (in Thai)
- Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, 268, 110730. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730>
- Umam, K., Ibadillah, A. F., Ubaidillah, A., Sukri, H., Rahmawati, D., & Alfitra, R. (2024). Pengembangan trainer Internet of Things (IoT) Sebagai Media Pembelajaran Dengan Menggunakan NodeMCU ESP32CAM. *Jurnal Energy*, 14(1), 53-65. <https://doi.org/10.51747/energy.v14i1.1937>
- Walia, N. K., Kalra, P., & Mehrotra, D. (2016). An IOT by information retrieval approach: Smart lights controlled using WiFi. *2016 6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)* (pp. 708-712). Noida: IEEE.



# การระบุสายพันธุ์แคคตัสด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับเทคนิคตรวจจับวัตถุ Automatic Cactus Species Identification using Deep Learning Model and Object Detection Techniques

จักรินทร์ สันติรัตนภักดี<sup>1\*</sup> และนิชาภัทร ตูลาธาร<sup>1</sup>

Chakkarin Santirattanaphakdi<sup>1\*</sup> and Nichapat Tulathan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

<sup>1</sup>Department of Digital Business Technology, Faculty of Business Administration,  
Vongchavalitkul University

\*Corresponding author: chakkarin\_san@vu.ac.th

Received: December 18, 2024

Revised: February 17, 2025

Accepted: February 25, 2025

## บทคัดย่อ

การระบุสายพันธุ์แคคตัสสำหรับผู้เริ่มต้นนับเป็นเรื่องที่ท้าทาย อันเนื่องมาจากความหลากหลายของสายพันธุ์และความคล้ายคลึงของคุณลักษณะเฉพาะที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการจำแนก การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ (1) เพื่อพัฒนาชุดข้อมูลรูปภาพและคำอธิบายรูปภาพสายพันธุ์แคคตัส (2) เพื่อพัฒนาตัวแบบการระบุสายพันธุ์แคคตัสด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกและเทคนิคตรวจจับวัตถุ และ (3) เพื่อประเมินความถูกต้องการระบุสายพันธุ์แคคตัส การดำเนินงานเริ่มจากการรวบรวมรูปภาพแคคตัส 10 สายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงแคคตัสเชิงพาณิชย์ในจังหวัดนครราชสีมา พร้อมสร้างคำอธิบายรูปภาพในรูปแบบ XML รวมทั้งสิ้น 1,508 รูปภาพ โดยใช้โมเดล MobileNetV2 ที่ได้รับการถ่ายโอนการเรียนรู้มาฝึกฝนบนชุดข้อมูลฝึกฝน และใช้ออปติไมเซอร์เป็น RMSprop พร้อมกำหนดฟังก์ชันการสูญเสียที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของโมเดลตามกระบวนการแพร่กระจายย้อนกลับในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโมเดลให้เหมาะสมกับคุณลักษณะสำคัญของแคคตัสในแต่ละสายพันธุ์ ร่วมกับเทคนิคการตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียวที่ใช้การตรวจจับ และการจำแนกประเภทของวัตถุในภาพที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ผลลัพธ์จากการฝึกฝนโมเดลพบว่า ค่าความถูกต้องเฉลี่ยบนชุดข้อมูลฝึกฝนอยู่ที่ 92.64% และบนชุดข้อมูลตรวจสอบอยู่ที่ 91.05% ซึ่งบ่งชี้ว่า โมเดลสามารถเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มีสัญญาณของการเกิด Overfitting หรือ Underfitting อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับค่าความแม่นยำเฉลี่ยและค่าการเรียกคืนเฉลี่ยในการตรวจจับวัตถุขนาดใหญ่ที่สูงถึง 0.991 และ 0.993 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ยังคงพบข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งยังต้องได้รับการปรับปรุงในอนาคต และเมื่อพิจารณาผลการประเมินในสถานการณ์จริงกับชุดข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน พบว่า ความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 83.33% โดยทำงานได้ดีในกรณีที่มีวัตถุหนึ่งชั้นที่สามารถจำแนกได้เป็นหลายคลาส และในกรณีที่มีหลายวัตถุในคลาสเดียวกัน แต่ความถูกต้องลดลงเมื่อรูปภาพมีวัตถุหลายชนิดจากหลายคลาส

**คำสำคัญ:** การจำแนกรูปภาพ สายพันธุ์แคคตัส การเรียนรู้เชิงลึก การตรวจจับวัตถุ

## Abstract

Identifying cactus species can be challenging for beginners due to the diversity of species and the similarities in distinctive features, which may affect the accuracy of classification. This research aims to 1) develop a dataset of images and image descriptions for cactus species, 2) develop a cactus species identification model using deep learning and object detection techniques, and 3) evaluate the accuracy of cactus species identification. The work involves collecting images of 10 popular cactus species from commercial cactus growers in Nakhon Ratchasima province, along with creating image descriptions in XML format, totaling 1,508 images. The MobileNetV2 model, which has been pre-trained with transfer learning, was used to train on the training dataset. The optimizer used was RMSprop, with an appropriate loss function to improve model accuracy during backpropagation for adjusting the model weights to suit the key features of each cactus species. Additionally, a single-shot object detection technique was employed for fast and efficient object detection and classification. The results from training the model showed an average accuracy of 92.64% on the training dataset and 91.05% on the validation dataset, indicating that the model was able to effectively learn data patterns without significant signs of overfitting or underfitting. The average precision and average recall for large object detection were high, at 0.991 and 0.993, respectively. However, limitations in detecting medium and small objects were observed and require future improvement. When evaluating the model in real-world scenarios with unseen datasets, the average accuracy was 83.33%. The model performed well in cases where a single object could be classified into multiple classes or when multiple objects were in the same class. However, accuracy decreased when images contained multiple objects from different classes.

**Keywords:** image classification, cactus species, deep learning, object detection



## บทนำ

แคคตัส (Cactus) เป็นหนึ่งในไม้ประดับที่ได้รับความนิยมจากทั่วโลกด้วยเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่หลากหลายในแต่ละสายพันธุ์ ตลอดจนคุณสมบัติที่ทนทานต่อสภาพอากาศแห้งแล้งและง่ายต่อการดูแลรักษา จึงเป็นที่แพร่หลายในหลายประเทศ เช่น เม็กซิโก สหรัฐอเมริกา และประเทศในแถบเมดิเตอร์เรเนียน (Anderson, 2001) ในปี 2020 ตลาดแคคตัสมีมูลค่าประมาณ 2.06 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่าจะสูงถึงประมาณ 3.21 พันล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี 2027 โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยประมาณร้อยละ 6.7 ต่อปี (Verified Market Research,

2021) โดยเฉพาะในช่วงที่เกิดการแพร่ระบาดของโควิด-19 ซึ่งได้กระตุ้นความนิยมในการจัดสวนและการปลูกพืชในบ้าน สอดคล้องกับตลาดแคคตัสทั่วโลกที่มีมูลค่า 5.12 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2023 และคาดว่าจะสูงถึง 21.03 พันล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี 2032 โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี (CAGR) ที่ 17% ในช่วงเวลาที่คาดการณ์ไว้ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในอนาคต การเติบโตในตลาดนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตและการเข้าถึงสินค้าออนไลน์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้เพาะพันธุ์แคคตัสและผู้ค้าปลีกสามารถขยายตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Business Research Insights, 2023)

อย่างไรก็ดี ความหลากหลายของสายพันธุ์แคคตัสที่มีมากกว่า 1,500 สายพันธุ์ทั่วโลก (Nobel, 2002) ทำให้การระบุสายพันธุ์สำหรับผู้เริ่มต้นเป็นเรื่องที่ท้าทาย อันเนื่องมาจากคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละสายพันธุ์ เช่น รูปทรงหนาม สีของลำต้น และขนาดที่แตกต่างกัน ตลอดจนการเติบโตในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันยังทำให้คุณลักษณะของสายพันธุ์เดียวกันเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่าการจำแนกสายพันธุ์แคคตัสที่ไม่ถูกต้องอาจส่งผลเสียต่อการเพาะปลูก เนื่องจากแคคตัสแต่ละสายพันธุ์ต้องการการดูแลที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณน้ำ แสงแดด และสภาพดินที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแคคตัส หรืออาจกระทบต่อคุณภาพของผลผลิตได้

จากที่กล่าวมา จึงเป็นที่มาของการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการระบุสายพันธุ์แคคตัส โดยความสำคัญของการจำแนกสายพันธุ์ไม่เพียงแต่ช่วยให้สามารถเลือกซื้อแคคตัสสายพันธุ์ที่ตรงกับความต้องการเท่านั้น แต่ยังช่วยแบ่งปันความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละสายพันธุ์ ทำให้ผู้ที่สนใจสามารถเข้าถึงข้อมูล และสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับพืชชนิดนี้ ดังนั้นการระบุสายพันธุ์แคคตัสด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับเทคนิคตรวจจับวัตถุจะสามารถลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการจำแนกโดยมนุษย์ และประหยัดเวลาในการค้นหาข้อมูล นอกจากนี้ยังเป็นการตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มผู้ชื่นชอบแคคตัสที่กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากในทุกเพศทุกวัย ตลอดจนจนเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางการเกษตรเชิงพาณิชย์ อันจะเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยในอนาคต

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดข้อมูลรูปภาพ และคำอธิบายรูปภาพสายพันธุ์แคคตัส
2. เพื่อพัฒนาตัวแบบการระบุสายพันธุ์แคคตัสด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกและเทคนิคตรวจจับวัตถุ
3. เพื่อประเมินความถูกต้องการระบุสายพันธุ์แคคตัส

### แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1) การเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ถูกพัฒนามาจากการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ที่มุ่งเน้นการสร้างและฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม (neural networks) เพื่อให้สามารถเรียนรู้ข้อมูลผ่านโครงข่ายแต่ละชั้นที่มีความซับซ้อนแบบส่งข้อมูลไปข้างหน้า (forward propagation) โดยข้อมูลจะถูกป้อนเข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียมผ่านหลายเลเยอร์ โดยจะคำนวณผลลัพธ์ขั้นสุดท้าย ร่วมกับการแพร่กระจายย้อนกลับ (backpropagation) เพื่อคำนวณค่าการสูญเสีย (loss) และปรับน้ำหนักของโครงข่ายผ่านกระบวนการ Gradient Descent เพื่อทำให้ค่าการสูญเสียลดลงและทำให้โมเดลสามารถทำนายผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดในการรันถัดไป (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016) อย่างไรก็ตาม การปรับน้ำหนักในโครงข่ายจะทำการเรียนรู้ทีละชั้น โดยแต่ละรอบของการฝึกจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเข้าใจรูปแบบและคุณลักษณะของข้อมูลได้ดีขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำหลายรอบจนกว่าโมเดลจะมีความแม่นยำสูงสุดในการพยากรณ์ผลลัพธ์

2) โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) เป็นเทคนิคสำคัญในสาขาการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้รับการพัฒนาเพื่อประมวลผลข้อมูลที่มีโครงสร้างแบบตาราง จึงถูกนำมาในงานวิเคราะห์ภาพอย่างแพร่หลาย (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016) จากความสามารถในการเรียนรู้คุณลักษณะสำคัญของข้อมูลโดยอัตโนมัติผ่านการสกัดคุณลักษณะ (feature extraction) ซึ่งช่วยลดความยุ่งยากในการพัฒนาโมเดล และยังช่วยเพิ่มความแม่นยำของการประมวลผลภาพ โครงสร้างประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ได้แก่ ชั้นคอนโวลูชัน (Convolution Layer) ซึ่งทำหน้าที่ค้นหาและสกัดคุณลักษณะ เช่น เส้นขอบหรือรูปร่างของวัตถุ จากนั้นชั้นพูลลิง (Pooling Layer) จะทำหน้าที่ลดขนาดของฟังก์ชันคุณลักษณะ (feature map) และเพิ่มความทนทานต่อการแปรผันของข้อมูล เช่น การหมุนหรือเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ ในขั้นสุดท้ายข้อมูลจะถูกแปลงเป็นเวกเตอร์ในชั้นแบนราบ (flattening layer) และนำเข้าสู่ชั้นเชื่อม

ต่อสมบูรณ์ (fully connected layer) เพื่อตัดสินใจที่มีผลลัพธ์เป็นคำตอบตามที่คาดหวัง

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงต้องอาศัยข้อมูลและทรัพยากรจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาโมเดลที่ได้รับการฝึกฝนล่วงหน้า (pre-trained model) เพื่อนำมาใช้พัฒนาโมเดลสำหรับงานเฉพาะทาง ด้วยความสามารถในการถ่ายโอนความรู้ (transfer learning) จากการฝึกฝนบนชุดข้อมูลขนาดใหญ่สามารถนำไปปรับใช้กับงานใหม่ได้ง่าย โดยไม่ต้องสร้างโมเดลใหม่ทั้งหมด ร่วมกับการปรับแต่งโมเดลเพิ่มเติม (fine-tuning) ให้เหมาะสมกับชุดข้อมูลด้วยการปรับค่าน้ำหนักบางส่วนของโมเดลหรือฝึกฝนเฉพาะบางชั้นของโครงข่าย ทำให้สามารถใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพแม้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากชุดข้อมูลเดิม ปัจจุบันมีหลายโมเดลที่ได้รับการฝึกฝนล่วงหน้าที่น่าสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันมาพัฒนาเพื่อจำแนกรูปภาพ ในเบื้องต้นคณะผู้วิจัยได้คัดเลือกโมเดลเพื่อทดสอบกับชุดข้อมูลรูปภาพต่าง ๆ พบว่า ทั้ง 5 โมเดล ประกอบด้วย ResNet34 VGG16 MobileNetV2 DenseNet121 และ SqueezeNet นั้นมีค่าความถูกต้องในการจำแนกข้อมูลที่สูงในระดับใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม แต่ละโมเดลนั้นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ทั้งในด้านความเร็วและขนาดของโมเดล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โมเดล MobileNetV2 เป็นโครงสร้างพื้นฐาน (baseline model) ร่วมกับการตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียว เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการประมวลผลภาพ โดยมีจำนวนพารามิเตอร์ที่น้อยและสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วบนอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด เช่น อุปกรณ์พกพาหรือระบบที่ต้องการการตอบสนองแบบเรียลไทม์ เป็นต้น

3) MobileNetV2 เป็นหนึ่งในโมเดลที่ได้รับการฝึกฝนล่วงหน้าสำหรับการจำแนกรูปภาพที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน (Sandler, Howard, Zhu, Zhmoginov & Chen, 2018) โดยเฉพาะการประมวลผลบนอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรด้วยเทคนิค Depthwise separable convolutions ซึ่งช่วยลดจำนวนพารามิเตอร์และทรัพยากรในการคำนวณ แบ่งเป็นการประมวลผลคุณลักษณะด้วยฟิลเตอร์

ที่แยกกัน และการรวมผลลัพธ์ด้วยฟิลเตอร์ทั่วไป อีกทั้งโมเดลนี้ยังถูกเรียนรู้ล่วงหน้าบนชุดข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น ImageNet ก่อนที่จะนำไปปรับแต่งเพื่อใช้กับข้อมูลเฉพาะด้าน และการเปลี่ยนฟังก์ชันกระตุ้น (activated function) จากเดิมคือ ReLU เป็น ReLU6 ที่ควบคุมค่าเอาต์พุตได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังใช้แนวคิด Linear bottlenecks เพื่อปรับปรุงการไหลของข้อมูลภายในให้สามารถจัดการกระจายพีเจอร์อย่างเหมาะสม จึงสามารถเรียนรู้จากข้อมูลที่มีความซับซ้อนได้ดีขึ้นโดยไม่สูญเสียคุณลักษณะที่สำคัญ

4) การตรวจจับวัตถุ (object detection) เป็นหนึ่งในศาสตร์ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพและคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ซึ่งผสมผสานระหว่างการจำแนกรูปภาพ (image classification) และการระบุตำแหน่งของวัตถุ (localization) ในรูปภาพ (Zhang, Yang, Han, Wang & Gao, 2014) แนวคิดพื้นฐานมาจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกที่เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ในการประมวลผลภาพผ่านชั้นต่าง ๆ ของโครงข่าย เพื่อดึงคุณลักษณะสำคัญตั้งแต่รายละเอียดย่อยจนถึงคุณลักษณะเด่นของวัตถุ เช่น รูปทรง สี และพื้นผิวที่จำเป็นสำหรับการระบุวัตถุ โดยจะให้ผลลัพธ์ในรูปแบบของ Bounding box หรือกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุที่ตรวจพบ พร้อมกับระบุประเภทของวัตถุ (object classes) และคลาสความน่าจะเป็นจากการจำแนก (class probability) ของวัตถุที่ตรวจจับ

การตรวจจับวัตถุแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ โมเดลตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียว (single-stage detectors) ได้แก่ YOLO: You Only Look Once (Redmon, Divvala, Girshick & Farhadi, 2016) และการตรวจจับวัตถุในครั้งเดียว (Single Shot Detector: SSD) (Liu et al., 2016) ที่จะตรวจจับและจำแนกวัตถุในภาพพร้อมกันภายในขั้นตอนเดียว ทำให้มีความเร็วสูงและเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการประมวลผลแบบเรียลไทม์ และโมเดลตรวจจับวัตถุแบบสองขั้นตอน (Two-stage detectors) เช่น R-CNN และ Faster-RCNN (Girshick, 2015) ที่จะตรวจหาพื้นที่ที่น่าสนใจก่อน (region proposal) จากนั้นจึงทำการตรวจจับและจำแนกวัตถุในพื้นที่นั้น อย่างไรก็ตาม

แม้การตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียวอาจมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำเมื่อเทียบกับการตรวจจับวัตถุแบบสองขั้นตอนที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าในการแยกแยะรายละเอียดย่อยของวัตถุ แต่ต้องแลกกับการใช้เวลาและทรัพยากรการประมวลผลมากขึ้น ดังนั้นโมเดลตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียวจึงมักถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้าน

5) ตัวตรวจจับวัตถุแบบหลายกล่องในครั้งเดียว (single shot multi box detector) (Liu et al., 2016) เป็นหนึ่งในโมเดลที่ได้รับการฝึกฝนล่วงหน้าสำหรับการตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียวสำหรับการตรวจจับวัตถุที่มีความสามารถในการระบุตำแหน่งและจำแนกประเภทของวัตถุภายในภาพที่ได้รับความนิยมอย่างสูง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเป็นโครงสร้างพื้นฐานและเป็นตัวดำเนินการตรวจจับวัตถุในภาพแบบขั้นตอนเดียว

การตรวจจับวัตถุในครั้งเดียวใช้เทคนิคตรวจจับแบบหลายกล่อง (multi box) ซึ่งเป็นกลไกที่สามารถคาดการณ์พิกัดของกรอบล้อมรอบวัตถุ (bounding boxes) และคะแนนความน่าจะเป็นของคลาสเป้าหมายได้โดยตรงจากการใช้ Default boxes หรือกล่องสมมุติในหลายอัตราส่วน (aspect ratios) ซึ่งช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการคัดเลือกกล่องเป้าหมาย (anchor boxes) และสามารถปรับปรุงความแม่นยำผ่านการใช้พีเจอร์หลายระดับ (multi-scale feature maps) ที่ได้จากชั้นคอนโวลูชันของโครงข่าย ส่งผลให้การตรวจจับวัตถุนั้นมีความเร็วสูงในการประมวลผล อีกทั้งสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในบริบทที่ต้องการการตอบสนองแบบเรียลไทม์

6) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจจับและจำแนกสายพันธุ์พืช ปัจจุบันมีการนำเสนอผ่านงานวิจัยเป็นจำนวนมาก โดยผสมผสานหลายเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

6.1) การประมวลผลภาพ (image processing) ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะวัตถุจากการแบ่งส่วนภาพ (image segmentation) เช่น การทำธรสโฮลด์ (Thresholding) และอัลกอริทึม Watershed ที่เป็นเทคนิคที่ใช้ใน

การแยกส่วนของภาพออกเป็นส่วน ๆ โดยใช้การคำนวณระยะทางแบบยูคลิด (Euclidian distance) และการจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-Means clustering) เพื่อแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง ร่วมกับการสกัดคุณลักษณะ (feature extraction) เช่น สี รูปร่าง และพื้นผิวในการจำแนกความแตกต่างของพืชแต่ละสายพันธุ์ ตลอดจนการจับคู่คุณลักษณะ (feature matching) โดยใช้อัลกอริทึม เช่น SIFT: Scale-Invariant Feature Transform (Thomkaew & Intakosum, 2023) หรือ SURF: Speeded-Up Robust Features (Wu, Fang, Yu & Yang, 2024) ที่ช่วยระบุชนิดของพืชโดยเปรียบเทียบข้อมูลที่กำหนดไว้ล่วงหน้า จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการจำแนกพันธุ์พืชที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกัน

6.2) การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) โดยใช้แบบจำลองทางสถิติเพื่อเรียนรู้คุณลักษณะของพืชโดยอาศัยชุดข้อมูลตัวอย่าง (Rani, Nikhila, Bhargavi & Sushma, 2024) อัลกอริทึมที่นิยมใช้ ได้แก่ ป่าแบบสุ่ม (Random Forest: RF) จากการรวมผลลัพธ์จากต้นไม้การตัดสินใจ (decision trees) เพื่อเพิ่มความแม่นยำเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด K อันดับ (K-Nearest Neighbors: KNN) ในการคำนวณความคล้ายคลึงของพืชแต่ละภาพกับข้อมูลในฐานข้อมูล และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) (Kaur & Kaur, 2019) ใช้สำหรับจำแนกภาพโดยอาศัยการหาขอบเขตของกลุ่มข้อมูล

6.3) การเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการจำแนกพันธุ์พืช เนื่องจากสามารถเรียนรู้คุณลักษณะจากข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ โดยโมเดลที่ได้รับความนิยม ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Arun, Sharma, Singh & Hazra, 2025) เช่น AlexNet VGG16 ResNet และ EfficientNet ที่สามารถเรียนรู้คุณลักษณะของภาพได้โดยตรง จึงสามารถวิเคราะห์และจดจำคุณลักษณะได้อย่างแม่นยำ ตั้งแต่โครงสร้างที่สามารถเรียนรู้ตั้งแต่ลักษณะทั่วไปจนถึงรายละเอียดเฉพาะของแต่ละสายพันธุ์ นอกจากนี้ การใช้โมเดล Vision in Transformers: ViT ที่สามารถเรียนรู้คุณลักษณะเชิงพื้นที่ของภาพพืชได้อย่างแม่นยำโดยไม่ต้องกำหนดคุณลักษณะล่วงหน้า ตลอดจนโมเดลที่พัฒนาเพิ่มเติม เช่น YOLO (Ariwa, Markus,

Teneke, Adamu & George, 2024) Faster R-CNN (Gong & Zhang, 2023) และตัวตรวจจับวัตถุแบบหลายกล่องในครั้งเดียว (Ali, Keller & Huang, 2023) มักถูกนำมาใช้สำหรับการตรวจจับและจำแนกวัตถุจำนวนมากในภาพ เนื่องจากสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

## วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาตัวแบบการระบุสายพันธุ์แคคตัสด้วยการเรียนรู้เชิงลึกและเทคนิคตรวจจับวัตถุพัฒนาขึ้นด้วยภาษาไพธอน (Python) บน Google Colaboratory งานวิจัยนี้เลือกใช้โมเดล MobileNetV2 ร่วมกับการตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียวในการระบุสายพันธุ์แคคตัสในภาพ มีรายละเอียด ดังนี้

1) การสร้างชุดข้อมูล (create a dataset) ที่มีการกำหนดป้ายกำกับประเภทของวัตถุในแต่ละภาพ รวมถึงขอบเขตของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ เนื่องจากคุณภาพของชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย

1.1) การเก็บรวบรวมข้อมูล (data collecting) รูปภาพแคคตัส 10 สายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงแคคตัสเชิงพาณิชย์ในจังหวัดนครราชสีมาที่คณะผู้วิจัยรวบรวมเองโดยใช้กล้องหลักของโทรศัพท์มือถือความละเอียด 50 ล้านพิกเซล (Megapixels) ที่สามารถเก็บรายละเอียดของวัตถุได้อย่างคมชัด โดยเฉพาะเมื่อต้องการซูมหรือครอบตัดภาพโดยไม่สูญเสียคุณภาพมากนัก ในการถ่ายภาพแคคตัสที่มีระยะห่างจากกล้องประมาณ 10-20 เซนติเมตร ในหลากหลายสภาพแวดล้อม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายสำหรับการวิเคราะห์ผล ประกอบด้วยสายพันธุ์กระบองทอง คามิเน่ แมมดูไว แมมมอกฮุก นีวทอง แมมมอแมว แมมแม่เต่า ยิมโน ลูกกอล์ฟยักษ์ และแอสโตรรวมทั้งสิ้น 1,508 รูปภาพที่แตกต่างกันใน 3 รูปแบบ คือขนาดของวัตถุในภาพ (scale variant) ทิศทางของวัตถุในภาพ (view-point variant) และแสงสว่างในภาพ (illumination) ดังภาพ 1 ตัวอย่างรูปภาพของแคคตัส 10 สายพันธุ์ที่มีความแตกต่างกัน

จากภาพ 1 แคคตัสเป็นพืชที่มีความหลากหลายทางสายพันธุ์ โดยแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะเฉพาะที่ต่างกันในด้านรูปร่าง ขนาด สีต้น และลักษณะของหนาม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการจำแนกประเภทความแตกต่างเหล่านี้ส่งผลต่อการเพาะปลูก วิธีการดูแล และการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ หากแบ่งตามลักษณะการเติบโตหรือชนิดของต้นที่พบบ่อยในกลุ่มแคคตัส (Barthlott & Hunt, 1993) สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะดังนี้ (1) กลุ่มที่มีลักษณะทรงพุ่มหรือกลม (globular cactus) ได้แก่ แอสโตร (Astrophytum) เป็นแคคตัสที่มีลักษณะพิเศษคือไม่มีหนาม แต่มีตุ่มสีขาวกระจายทั่วลำต้น ลักษณะลำต้นเป็นทรงกลมแบน และออกดอกสีเหลืองขนาดใหญ่ที่ยอดของลำต้น เช่นเดียวกับยิมโน (Gymnocalycium) ซึ่งมีลำต้นทรงกลมขนาดใหญ่ สีเขียวเข้ม และมีหนามขนาดใหญ่เรียงตัวรอบตุ่มหนาม การเจริญเติบโตของสายพันธุ์นี้ค่อนข้างช้า แต่สามารถเติบโตจนมีขนาดใหญ่หลายสิบเซนติเมตร และมีดอกสีขาวหรือชมพูบริเวณยอด นอกจากนี้แมมมอกฮุก (owl eye) มีลำต้นทรงกลมรี และมีลักษณะการเรียงตัวของหนามที่คล้ายกับดวงตาของนกฮูก สายพันธุ์นี้มักแตกหน่อเป็นกลุ่มและเติบโตเป็นพุ่มขนาดใหญ่ พร้อมออกดอกสีชมพูอ่อนหรือสีขาวบริเวณยอด ส่วนแมมมอแมว (mammillaria bocasana) มีจุดเด่นที่ขนสีขาวละเอียดปกคลุมทั่วลำต้น และมีหนามสีแดงบางเส้นแซมอยู่ การออกดอกของสายพันธุ์นี้มีลักษณะเป็นสีขาวนวลหรือสีชมพู (2) กลุ่มแคคตัสที่มีลักษณะยาวหรือแหลม (cylindrical cactus) ได้แก่ กระบองทอง (yellow tower) มีลักษณะเด่นคือลำต้นทรงกระบอกตั้งตรง สีเขียวอมเหลือง และปกคลุมด้วยหนามสีเหลืองละเอียด ทำให้ดูนุ่มคล้ายขน เมื่อลำต้นเติบโตเต็มที่อาจสูงถึง 1 เมตร และสามารถออกดอกสีเหลืองบริเวณยอด ส่วนคามิเน่ (Carmenae) มีลักษณะลำต้นขนาดเล็กถึงปานกลาง ปกคลุมด้วยหนามสีขาวหรือสีเหลืองทองหนาแน่น และมีดอกสีชมพูหรือสีขาวบริเวณยอด ลักษณะการแตกหน่อเป็นกลุ่มช่วยให้สามารถขยายพันธุ์ได้ง่าย และ (3) กลุ่มที่มีลักษณะพิเศษหรือชนิดผสม (hybrid or uncommon cactus) ได้แก่ แมมดูไว (mammillaria Duweii) เป็นสายพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก ลำต้นทรงกลมสีเขียวเข้ม มีหนามสีขาวละเอียดและกระจุกตัวแน่นหนา จุดเด่นของสายพันธุ์นี้คือ การออกดอกสีเหลืองอ่อนบริเวณยอด และการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า ทำให้เหมาะสำหรับการปลูกในพื้นที่จำกัด นอกจากนั้นนิ้วทอง (lady finger) มีลำต้นเป็นทรงกระบอกยาวคล้ายนิ้ว

มือ ปกคลุมด้วยหนามสีเหลืองทองหรือสีขาว และมีลักษณะการแตกหน่อที่ง่าย ทำให้เติบโตเป็นกอขนาดใหญ่ได้ ตลอดจนแมมแม่เต่า (mammillaria oly lady) เป็นสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากมีขนสีขาวหนาแน่น และมีหนามสีแดงแซมบางจุด การออกดอกของสายพันธุ์นี้มักเป็นสีชมพูหรือสีแดงบริเวณยอด และสุดท้ายลูกกอล์ฟยักษ์ (mammillaria humboldtii elegans) เป็นแคคตัสที่มีลำต้นทรงกลมขนาดใหญ่ สีเขียวเข้ม และมีหนามขนาดใหญ่เรียงตัวรอบคุ่มหนาม การเจริญเติบโตของสายพันธุ์นี้ค่อนข้างช้า แต่สามารถเติบโตเป็นขนาดใหญ่ได้หลายสิบเซนติเมตร และมักออกดอกสีขาวหรือชมพูบริเวณยอด จะเห็นได้ว่าแคคตัสแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านรูปร่าง สีขน ขนาด และลักษณะของหนาม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการจำแนกสายพันธุ์และการดูแล การทำความเข้าใจความแตกต่างเหล่านี้ช่วยให้สามารถเลือกปลูกแคคตัสให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความต้องการของผู้เลี้ยง รวมถึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์และการพัฒนาเทคนิคการเพาะเลี้ยงแคคตัสในอนาคต

1.2) การประมวลผลข้อมูลล่วงหน้า (data preprocessing) สำหรับการตรวจจับวัตถุจะต้องมีการปรับข้อมูลให้เหมาะสมและพร้อมใช้งานกับโมเดล ซึ่งจะรวมถึงการปรับขนาดภาพ (image resizing) ให้มีขนาด 224x224 พิกเซล เพื่อให้สามารถป้อนเข้าสู่โมเดลที่มีขนาด

อินพุตคงที่ได้ และรวมถึงการปรับรูปแบบข้อมูล (format conversion) ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม เช่น การแปลงภาพเป็นอาร์เรย์ (Array) หรือเทนเซอร์ (Tensor) เพื่อให้สามารถนำเข้าสู่โมเดลได้ก่อนจะทำการปรับค่าพิกเซลของภาพ (normalization) ให้อยู่ในช่วง 0 และ 1 ซึ่งจะช่วยให้โมเดลทำงานได้ดีขึ้น โดยการแบ่งค่าพิกเซลเท่ากับ 255 เพื่อให้ทุกพิกเซลอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และการจัดการกับข้อมูลการระบุตำแหน่ง (bounding box processing) ที่บ่งชี้ตำแหน่งของวัตถุในภาพที่จะต้องได้รับการปรับให้สอดคล้องกับขนาดใหม่ของภาพ

1.3) การแบ่งข้อมูล (data splitting) สำหรับการตรวจจับวัตถุจะต้องพิจารณาทั้งภาพและข้อมูลการระบุตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งแบ่งได้เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน (training dataset) โดยจะมีข้อมูลภาพพร้อมทั้งข้อมูลการระบุตำแหน่งของวัตถุ และป้ายกำกับข้อมูล และชุดข้อมูลตรวจสอบ (validation dataset) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในการตรวจจับวัตถุบนชุดข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน งานวิจัยนี้กำหนดอัตราส่วนชุดข้อมูลฝึกฝน และชุดข้อมูลตรวจสอบเป็น 80:20 คิดเป็น 1,206 และ 302 รูปภาพตามลำดับ ดังตาราง 1

จากตาราง 1 ตัวอย่างรูปภาพของแคคตัส 10 สายพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันใน 3 รูปแบบ คือ ขนาดของวัตถุ ทิศทางของวัตถุ และแสงสว่างในภาพ เมื่อแบ่งออกเป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และชุดข้อมูลตรวจสอบ ดังภาพ 2

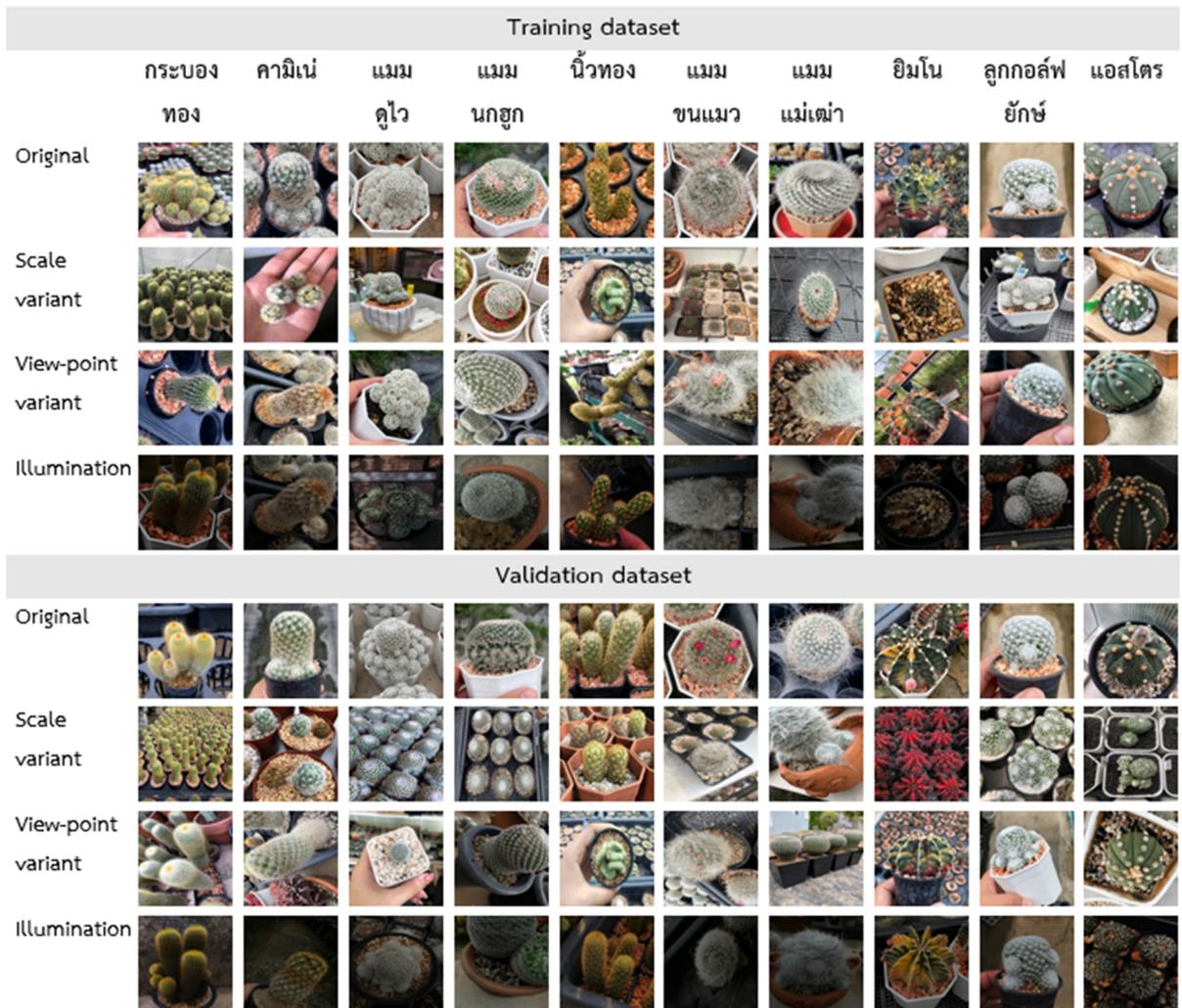


ภาพ 1 ตัวอย่างรูปภาพของแคคตัส 10 สายพันธุ์ที่มีความแตกต่างกัน

ตาราง 1

จำนวนรูปภาพแคคตัสแต่ละสายพันธุ์ เมื่อแบ่งเป็นชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดข้อมูลตรวจสอบ

สายพันธุ์	จำนวนรูปภาพ (ภาพ)	ชุดข้อมูลฝึกฝน (ภาพ)	ชุดข้อมูลตรวจสอบ (ภาพ)
กระบองทอง	130	104	26
คามิเน่	156	125	31
แมมดูไว	169	135	34
แมมนกฮูก	154	123	31
นิ้วทอง	130	104	26
แมมขนแมว	142	114	28
แมมแม่เต่า	140	112	28
ยิมโน	133	106	27
ลูกกอล์ฟยักษ์	174	139	35
แอสโตร	180	144	36
รวม	1,508	1,206	302



ภาพ 2 ตัวอย่างรูปภาพของแคคตัส 10 สายพันธุ์ที่แบ่งออกเป็นชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดข้อมูลตรวจสอบ

2) การกำหนดค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ (model hyperparameter configuration) งานวิจัยนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญดังตารางที่ 2 สำหรับการฝึกฝนโมเดล MobileNetV2 ทำหน้าที่เป็นตัวสกัดคุณลักษณะ (feature extractor) ซึ่งใช้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่ออกแบบมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงในด้านการคำนวณ และลดความซับซ้อนของโมเดล โดยกระบวนการสกัดคุณลักษณะนี้จะช่วยแปลงภาพอินพุตให้อยู่ในรูปแบบของผังคุณลักษณะ (feature maps) ซึ่งเป็นตัวแทนเชิงพื้นที่ของข้อมูลที่สามารนำไปใช้ในการตรวจจับวัตถุได้

ค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่กำหนดประกอบด้วย การกำหนดขนาดภาพ (image size) ที่ 160x160 พิกเซล ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมระหว่างการรักษาความละเอียดของข้อมูลและการใช้ทรัพยากรการประมวลผลอย่างมีประสิทธิภาพ ขนาดของชุดข้อมูล (batch size) ถูกตั้งไว้ที่ 32 เพื่อปรับสมดุลระหว่างความเร็วและความเสถียรในการเรียนรู้ นอกจากนี้ยังมีการตั้งค่าการสับเปลี่ยนลำดับข้อมูล (shuffle buffer size) ที่ 1,000 เพื่อช่วยให้การฝึกฝนโมเดลไม่เกิดการจดจำลำดับข้อมูล การกำหนดอัตราการเรียนรู้ (base learning rate) ที่ 0.0001 ช่วยให้การปรับค่าพารามิเตอร์มีความละเอียด ลดโอกาสเกิดปัญหา Overshoot ที่จุดต่ำสุดของฟังก์ชันการสูญเสีย สำหรับจำนวนรอบการฝึกฝนเบื้องต้น (initial epochs) กำหนดเป็น 20 รอบ เพื่อให้โมเดลได้เรียนรู้คุณสมบัติพื้นฐานก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการปรับแต่ง (fine tune at) ซึ่งเริ่ม

ต้นที่เลเยอร์ที่ 100 ของโมเดล MobileNetV2 โดยเลือกปรับเฉพาะเลเยอร์ชั้นบนสุดที่เกี่ยวข้องกับงานที่ต้องการ ขณะที่เลเยอร์ก่อนหน้านั้นยังคงถูกแช่แข็ง และในขั้นตอนนี้กำหนดรอบการฝึกฝนเพิ่มเติม (fine tune epochs) อีก 10 รอบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนก นอกจากนี้ยังกำหนดขั้นตอนในการประเมินผล (validation steps) ที่ 20 เพื่อช่วยลดเวลาในการตรวจสอบความถูกต้องโดยไม่กระทบคุณภาพของผลลัพธ์โดยรวม

3) การฝึกฝนโมเดล (model training) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการปรับค่าพารามิเตอร์ของโมเดลตามแนวคิดการแพร่กระจายย้อนกลับ ประกอบด้วยค่าน้ำหนัก (weights) และค่าไบแอส (biases) สำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพของโมเดล กระบวนการเริ่มต้นจากการส่งข้อมูลเข้าสู่โมเดลเป็นกลุ่มย่อย (batch) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการฝึกโมเดลด้วยการคำนวณในช่วงของข้อมูลที่มีขนาดเล็ก และการประเมินผลระหว่างการฝึก (evaluation during training) โดยในระหว่างการฝึกฝน โมเดลจะถูกประเมินผลด้วยค่าความถูกต้อง (accuracy) และค่าการสูญเสีย (loss) บนชุดข้อมูลตรวจสอบ เพื่อให้แน่ใจว่าโมเดลสามารถแสดงประสิทธิภาพที่ดีทั้งในชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดตรวจสอบ และช่วยป้องกันปัญหา Overfitting ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เมื่อโมเดลมีประสิทธิภาพสูงมากบนชุดข้อมูลฝึกฝน แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อต้องทำงานกับข้อมูลใหม่ที่ไม่เคยเห็นมาก่อน เมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นแล้วจึงส่งออกโมเดล (model exportation) ที่ผ่านการฝึกฝนแล้วให้อยู่ในรูปแบบไฟล์นามสกุล .tflite เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน

## ตาราง 2

การกำหนดค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ในการฝึกฝนโมเดล MobileNetV2

ไฮเปอร์พารามิเตอร์	ค่า
Image size	160 x 160 pixels
Batch size	32
Shuffle buffer size	1000
Base learning rate	0.0001
Initial epochs	20
Fine tune at	Layer 100 of MobileNetV2
Fine tune epochs	10
Validation step	20

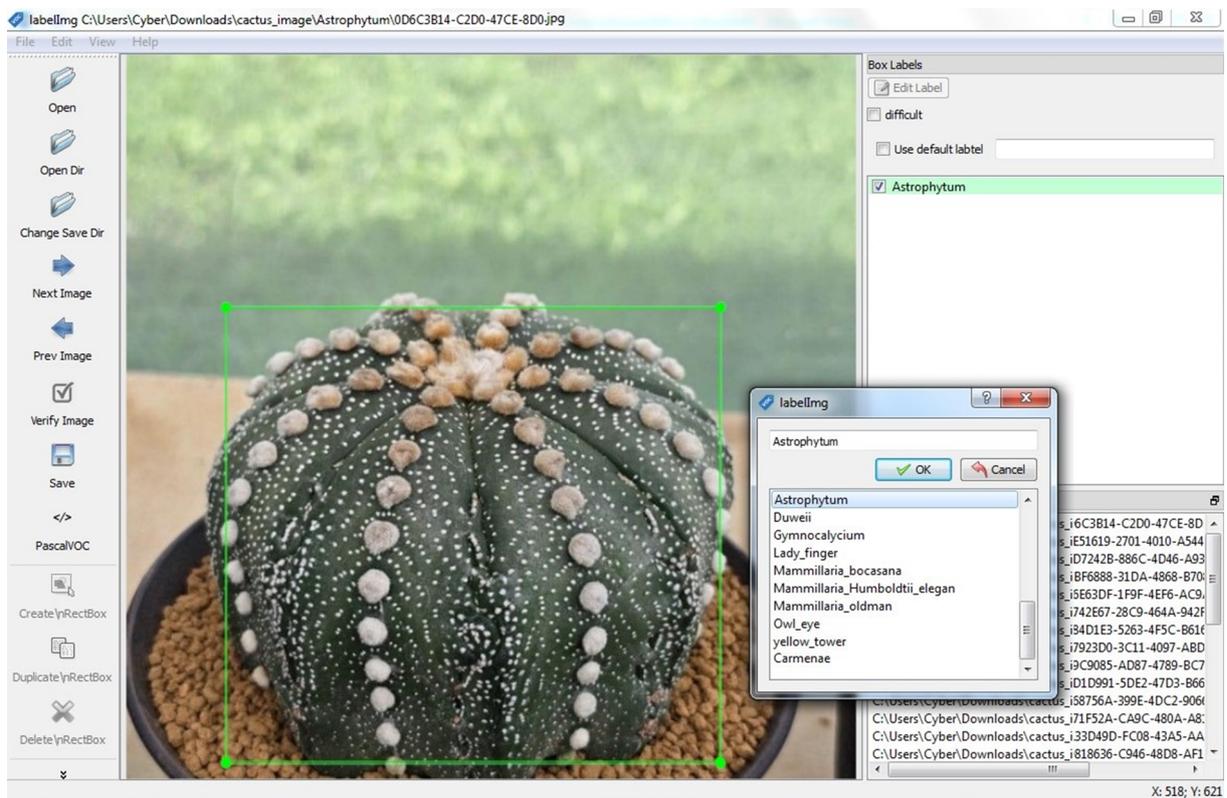
## ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งผลการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนตามวัตถุประสงค์ ประกอบด้วยผลการพัฒนาชุดข้อมูลรูปภาพและคำอธิบายรูปภาพสายพันธุ์แคคตัส ผลการพัฒนาตัวแบบการระบุสายพันธุ์แคคตัสด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกและเทคนิคตรวจจับวัตถุ และผลการประเมินความถูกต้องการระบุสายพันธุ์แคคตัส มีรายละเอียด ดังนี้

1) ผลการพัฒนาชุดข้อมูลรูปภาพและคำอธิบายรูปภาพสายพันธุ์แคคตัส จำนวน 10 สายพันธุ์รวมทั้งสิ้น 1,508 ภาพ ก่อนจะนำมาสร้างคำอธิบายรูปภาพเพื่อกำกับข้อมูลแต่ละภาพด้วยกรอบ Bounding box ด้วยโปรแกรม LabelImg (Konyushkova, Pishchulin & Matuszek, 2018) ประกอบด้วยการกำหนดตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการตรวจจับในภาพในรูปแบบของพิกัด ซึ่งบ่งชี้ถึงตำแหน่งของ

สี่เหลี่ยมที่ครอบคลุมวัตถุ ประกอบด้วยความกว้าง ความสูง และตำแหน่งของ Bounding box รวมถึงชื่อประเภทของวัตถุที่ถูกกำกับและป้ายกำกับที่บ่งบอกถึงสายพันธุ์ของแคคตัสในภาพ ดังภาพ 3

จากภาพ 3 และ 4 งานวิจัยนี้คำนึงถึงความหลากหลายของขนาดวัตถุ มุมมอง และสภาพแสง จึงปรับ Bounding box ให้ตรงกับวัตถุในภาพที่มีแสงน้อยหรือมุกก้องที่แตกต่างไปจากภาพอื่น ๆ เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ได้ดีจากข้อมูลที่ถูกกำกับอย่างถูกต้องในทุกสภาวะ ครอบคลุมพื้นที่ของวัตถุอย่างถูกต้อง ไม่ครอบคลุมพื้นที่เกินความจำเป็นหรือเล็กเกินไปจนทำให้โมเดลเข้าใจข้อมูลผิด จากนั้นจะแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ COCO format แล้วบันทึกข้อมูลคำอธิบายรูปภาพในรูปแบบ XML



ภาพ 3 การกำกับข้อมูลด้วยกรอบ Bounding Box ด้วยโปรแกรม LabelImg

```

▼<annotation>
  <folder>Astrophytum</folder>
  ▼<size>
    <width>637</width>
    <height>637</height>
    <depth>3</depth>
  </size>
  <segmented>0</segmented>
  ▼<object>
    <name>Astrophytum</name>
    <pose>Unspecified</pose>
    <truncated>0</truncated>
    <difficult>0</difficult>
    ▼<bndbox>
      <xmin>87</xmin>
      <ymin>221</ymin>
      <xmax>519</xmax>
      <ymax>623</ymax>
    </bndbox>
  </object>
</annotation>

```

ภาพ 4 ไฟล์ XML ที่เก็บข้อมูลของวัตถุที่ถูกกำกับ

เมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จสิ้น ต้องทำการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลก่อนนำไปใช้งาน โดยสุ่มตรวจสอบรูปภาพจากชุดข้อมูลในสัดส่วนร้อยละ 10 ของจำนวนรูปภาพในแต่ละสายพันธุ์เพื่อตรวจสอบว่ากรอบ Bounding box กำกับแคคตัสในรูปภาพได้อย่างถูกต้องหรือไม่ หากพบว่าไม่ถูกต้องให้ดำเนินการแก้ไขใหม่ พร้อมทั้งชื่อรูปภาพและคำอธิบายรูปภาพแต่ละไฟล์ให้สอดคล้องกัน และเรียกใช้งานผ่าน Google drive เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน

2) ผลการพัฒนาตัวแบบการระบุสายพันธุ์แคคตัสด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกและเทคนิคตรวจจับวัตถุ ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ประกอบด้วยการนำเข้าชุดข้อมูล การฝึกฝนและการปรับแต่งโมเดล การประเมินผล การตรวจจับวัตถุ และการส่งออกโมเดลที่ผ่านการฝึกฝนแล้ว มีรายละเอียด ดังนี้

2.1) การนำเข้าชุดข้อมูล (dataset importing) ประกอบด้วยชุดข้อมูลฝึกฝน และชุดข้อมูลตรวจสอบที่ผ่านการปรับขนาดเป็น 160x160 พิกเซล เพื่อลดภาระในการประมวลผล โดยข้อมูลของภาพและคำอธิบายรูปภาพแต่ละคู่จะได้รับการประมวลผลให้พร้อมสำหรับการนำเข้าสู่โมเดล หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกสับเปลี่ยนและแบ่งออกเป็นชุดขนาดเล็กจำนวน 32 ภาพต่อชุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฝึกฝน และลดความเสี่ยงจากการเกิดปัญหา Overfitting ก่อนจะ

ผ่านตัวสกัดคุณลักษณะ (feature extractor) สำหรับแปลงภาพจากขนาดเดิม คือ 160x160x3 โดย 3 คือ ช่องสีรูปแบบ RGB ประกอบด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กระบวนการนี้ช่วยลดขนาดของข้อมูลในแต่ละภาพลงกลายเป็นบล็อกคุณลักษณะ (feature block) เป็นขนาด 5x5x1280 โดยการลดมิติของภาพผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีบทบาทในการสกัดคุณลักษณะสำคัญจากภาพ โดยยังคงรักษาความสำคัญของข้อมูลไว้ในรูปแบบพีเจอร์ที่มี 1,280 สำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปของการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้จะมีความละเอียดต่ำลง แต่ยังคงแสดงถึงคุณลักษณะสำคัญที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลรูปภาพได้ครบถ้วน

2.2) การฝึกฝนและการปรับแต่งโมเดล (model training and fine-tuning) งานวิจัยนี้ใช้โมเดล MobileNetV2 ที่ได้รับการฝึกฝนล่วงหน้าบนชุดข้อมูล ImageNet เป็นโมเดลฐาน ซึ่งเรียกใช้โดยไม่รวมเลเยอร์การจำแนกประเภทขั้นบนสุด เพื่อให้สามารถใช้เลเยอร์ฐานในการสกัดคุณลักษณะของข้อมูลได้ เมื่อได้เลเยอร์ฐานแล้วจะมีการตรึงเลเยอร์เหล่านี้เพื่อป้องกันไม่ให้พารามิเตอร์ถูกปรับระหว่างการฝึกฝน จากนั้นจะเพิ่มส่วนหัวสำหรับการจำแนกประเภทโดยใช้ GlobalAveragePooling2D เพื่อแปลงคุณลักษณะจากเลเยอร์ฐานเป็นเวกเตอร์ขนาด 1,280 องค์ประกอบ และใช้

Dense layer เพื่อพยากรณ์ประเภทของภาพ โดยกำหนด optimizer เป็น RMSprop: Root Mean Square Propagation ที่เป็นอัลกอริทึมปรับอัตราการเรียนรู้บนชุดข้อมูลที่มีการกระจายตัวไม่แน่นอน โดยแบ่งค่าอัตราการเรียนรู้ด้วยค่าเฉลี่ยของค่าความชันยกกำลังสอง (mean squared gradients) จากค่าความชันในแต่ละรอบ (Iteration) และถ่วงน้ำหนักตามเวลาล่าสุด ดังนั้น RMSprop จะปรับปรุงอัตราการเรียนรู้แบบไดนามิก โดยให้ค่าอัตราการเรียนรู้ค่อยๆ สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่าความชันขนาดใหญ่ ตรงกันข้าม หากค่าความชันมีขนาดเล็กจะให้อัตราการเรียนรู้ที่มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่รุนแรงเกินไป และทำให้การเรียนรู้ของโมเดลเสถียรขึ้นกระบวนการทำงานเริ่มจากคำนวณหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในผลลัพธ์ของโมเดล จากนั้นจึงค่อยๆ คำนวณย้อนกลับไปยังทุกชั้นของโมเดลเพื่อหาทิศทางของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เหมาะสม ฟังก์ชันการสูญเสีย (loss function) กำหนดเป็น BinaryCrossentropy สอดคล้องกับปัญหาการจำแนกประเภทแบบไบนารี และมาตรวัด (metrics) กำหนดเป็นค่าความถูกต้อง (accuracy)

การฝึกฝนโมเดลกำหนด 20 รอบบนชุดข้อมูลฝึกฝน เพื่อให้โมเดลได้เรียนรู้คุณลักษณะพื้นฐานของข้อมูลก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการปรับแต่งเพิ่มเติม (fine-tuning) การเลือกจำนวนรอบการฝึกที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้โมเดลสามารถพัฒนาได้โดยไม่เกิดปัญหา Overfitting หรือ Underfitting โดยในช่วงเริ่มต้นของการฝึกเลเยอร์ทั้งหมดของโมเดล MobileNetV2 จะถูกแช่แข็ง (frozen) และมีการปรับค่าพารามิเตอร์เฉพาะส่วนที่เพิ่มเข้าไปใหม่ซึ่งเป็นขั้นสุดท้ายของโมเดลที่ทำหน้าที่จำแนกประเภท การฝึกฝนในระยะนี้ช่วยให้โมเดลสามารถเรียนรู้คุณลักษณะที่จำเป็นจากชุดข้อมูลฝึกฝน โดยอาศัยการถ่ายโอนความรู้ (transfer learning) จากการฝึกบนชุดข้อมูล ImageNet ดังนั้นการกำหนดจำนวนรอบการฝึกที่ 20 ครั้งช่วยให้โมเดลสามารถปรับค่าเวกเตอร์น้ำหนักในชั้นใหม่ได้อย่างเหมาะสม และหลีกเลี่ยงการเรียนรู้ที่เร็วเกินไปซึ่งอาจนำไปสู่ความไม่เสถียรของโมเดล นอกจากนี้ ยังช่วยให้สามารถสังเกตพฤติกรรมของค่าความแม่นยำและค่าการสูญเสีย ทั้งบนชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดข้อมูลทดสอบ หากโมเดลมีค่าความแม่นยำ

เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และแนวโน้มที่ค่าการสูญเสียลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า ผลการฝึกฝนกำลังดำเนินไปอย่างเหมาะสมในทางตรงกันข้ามหากพบว่า ค่าการสูญเสียของชุดข้อมูลฝึกฝนลดลงมาก แต่ค่าการสูญเสียของชุดข้อมูลทดสอบกลับเพิ่มขึ้น อาจเป็นสัญญาณของการเกิด Overfitting ซึ่งอาจนำไปสู่การพิจารณาใช้เทคนิคหยุดการฝึกก่อนกำหนด (early stopping) หรือการลดอัตราการเรียนรู้ (learning rate scheduling) เพื่อป้องกันการสูญเสียความสามารถในการจำแนกประเภท และไม่ใช่ทรัพยากรในการประมวลผลมากเกินไป หลังจากการฝึกฝนจะมีการประเมินผลเพื่อวัดประสิทธิภาพของโมเดล ประกอบด้วย ค่าความถูกต้อง ค่าการสูญเสียบนชุดข้อมูลฝึกฝน ค่าความถูกต้อง และค่าการสูญเสียบนชุดข้อมูลตรวจสอบตามลำดับ

โมเดล MobileNetV2 ที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้รับการถ่ายโอนการเรียนรู้ (transfer Learning) จากชุดข้อมูล ImageNet โดยนำโครงสร้างของโมเดลที่ได้รับการฝึกฝนล่วงหน้ามาประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลแคตตัส โมเดลถูกฝึกฝนโดยใช้ชุดข้อมูลฝึกอบรมและประเมินผลด้วยการทดสอบแบบไขว้ทับ (K-fold cross validation) แบบ 10 ส่วน เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนจำกัด เนื่องจากช่วยลดอคติที่เกิดจากการแบ่งชุดข้อมูลแบบสุ่มและช่วยให้การประเมินผลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เริ่มจากการแบ่งชุดข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 10 ส่วนที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยแต่ละรอบของการประเมินผล โมเดลจะถูกฝึกฝนด้วย 9 ส่วนของข้อมูล และใช้ส่วนที่เหลืออีก 1 ส่วนเป็นชุดข้อมูลตรวจสอบ กระบวนการนี้จะทำซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนชุดข้อมูลตรวจสอบไปเรื่อยๆ จนครบทุกส่วน หลังจากดำเนินการครบ 10 รอบแล้ว ค่าความแม่นยำที่ได้จากแต่ละรอบจะถูกนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของโมเดลให้การประเมินผลมีความเป็นกลางมากขึ้น เนื่องจากทุกตัวอย่างในชุดข้อมูลจะถูกใช้ทั้งในการฝึกฝนและการตรวจสอบ ส่งผลให้สามารถลดความลำเอียงที่อาจเกิดจากการแบ่งข้อมูลเพียงครั้งเดียว นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาการเกิด Overfitting เพราะโมเดลไม่ได้เรียนรู้จากชุดข้อมูลใดชุดหนึ่งมากเกินไป

ระหว่างกระบวนการฝึกฝนโมเดล มีการใช้เทคนิคการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ (fine-tuning) เพื่อปรับค่า

ถ่วงน้ำหนักของโมเดลให้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของชุดข้อมูล โดยใช้ข้อผิดพลาดเป็น RMSprop ควบคู่กับฟังก์ชันค่าการสูญเสีย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของโมเดลผ่านกระบวนการแพร่กระจายย้อนกลับ (backpropagation) ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานของการเรียนรู้เชิงลึก กระบวนการดังกล่าวช่วยให้โมเดลสามารถเรียนรู้คุณลักษณะที่สำคัญของแต่ละสายพันธุ์แคคตัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลลัพธ์จากการฝึกฝนโมเดล MobileNetV2 สำหรับการจำแนกประเภทแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการที่ต่อเนื่องในแต่ละรอบ ทั้งค่าความถูกต้อง และค่าการสูญเสียบนชุดข้อมูลฝึกฝน ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้และความสามารถในการจำแนกประเภทที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงการฝึกฝน โดยค่าความถูกต้องของชุดข้อมูลฝึกฝนเริ่มต้นที่ 70.51% และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 92.86% ในรอบที่ 20 ขณะที่ค่าการสูญเสียลดลงจาก 0.5643 ในรอบแรกไปที่ 0.1796 ในรอบที่ 20 ซึ่งบ่งชี้ว่า โมเดลสามารถเรียนรู้คุณลักษณะของข้อมูลและลดข้อผิดพลาดจากการจำแนกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับบนชุดข้อมูลตรวจสอบที่พบว่า ค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้นจาก 74.73% ในรอบแรกไปถึง 90.66% ในรอบที่ 20 ในขณะที่ค่าการสูญเสียลดลงจาก 0.5222 ไปที่ 0.1933 ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของโมเดลในการจำแนกประเภทภาพในชุดข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน ดังภาพ 5

อย่างไรก็ดี งานวิจัยนี้ให้ความสำคัญค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (statistical error) ที่ยากจะควบคุมหรือกำจัดให้หมดไป เนื่องจากอยู่นอกเหนือการควบคุม จึงต้องทำการวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ในงานวิจัยนี้เมื่อฝึกฝนโมเดลครบใน 1 รอบจะทำการประเมินอีกจนครบ 3 รอบ แล้วนำผลการประเมินมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนลดน้อยลงจนถึงในระดับที่ยอมรับได้ ดังตาราง 3 เมื่อพิจารณาผลการฝึกฝนโมเดลทั้ง 3 รอบ พบว่า ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของชุดข้อมูลฝึกฝนอยู่ที่ 92.64% และชุดข้อมูลตรวจสอบอยู่ที่ 91.05% ซึ่งบ่งชี้ว่า โมเดลสามารถเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มีสัญญาณของการเกิด Overfitting หรือ Underfitting อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับค่าการสูญเสียเฉลี่ยของชุดข้อมูลฝึกฝนอยู่ที่ 0.1853 และชุดข้อมูลตรวจสอบอยู่ที่ 0.1955 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โมเดลสามารถลดค่าการสูญเสียได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มี ความแตกต่างมากนักระหว่างสองชุดข้อมูล

จากตาราง 3 เมื่อพิจารณาในรายละเอียด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถูกต้องและค่าการสูญเสียที่สอดคล้องกันทั้งสองชุดข้อมูลชี้ให้เห็นว่า โมเดลไม่ได้ประสบปัญหาการเกิดปัญหาการจดจำคุณลักษณะเฉพาะจนเกินไป และลดปัญหาที่โมเดลมีประสิทธิภาพสูงเมื่อทำงานกับชุดข้อมูลฝึกฝน แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อนำไปใช้งานกับข้อมูลจริง (poor real-world performance)

2.3) การประเมินผลการตรวจจับวัตถุ (object detection evaluation) บนชุดข้อมูลตรวจสอบด้วยเมทริกซ์ที่ออกแบบและคำนวณในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในชุดข้อมูล COCO: Common Objects in Context ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินโมเดลสำหรับงานตรวจจับวัตถุ โดยใช้ค่าความแม่นยำเฉลี่ย และค่าการเรียกคืนเฉลี่ย ซึ่งถูกคำนวณในช่วงค่าดัชนี IoU: Intersection over Union ต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของการตรวจจับวัตถุ มีรายละเอียด ดังนี้

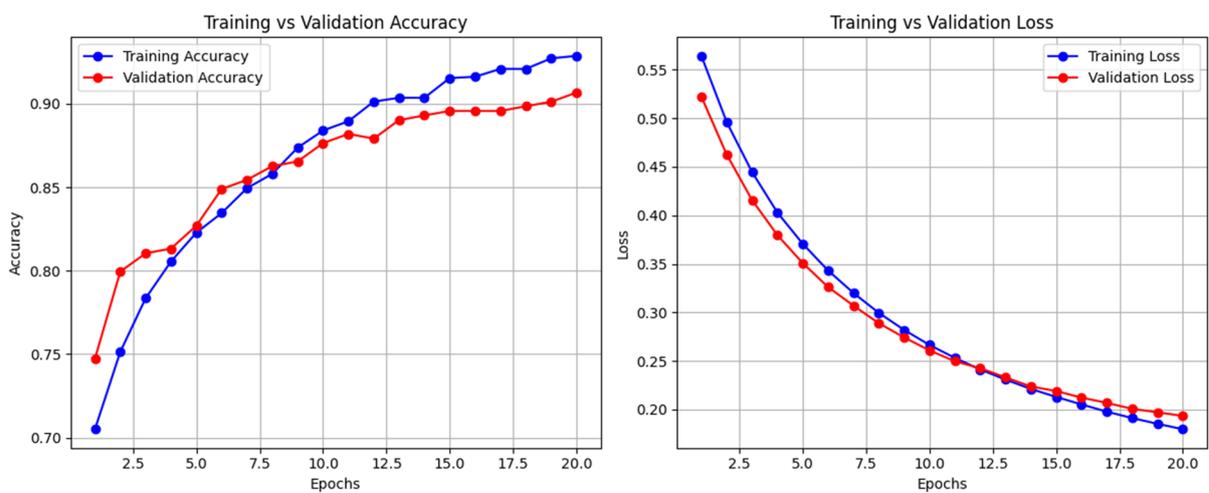
2.3.1) ค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Average Precision: AP) เป็นค่าที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุ โดยคำนวณจากค่าความแม่นยำ (precision) และค่าการเรียกคืน (recall) ที่ระดับต่าง ๆ ของอัตราส่วนพื้นที่ซ้อนทับต่อพื้นที่รวม (Intersection over Union: IoU) โดยค่าความแม่นยำคือค่าที่บอกจำนวนที่โมเดลทำนายเป็นวัตถุว่ามีจำนวนเท่าไรที่ถูกต้อง และค่าการเรียกคืนคือค่าที่บอกความสามารถในการทำนายวัตถุทั้งหมดที่มีในภาพได้ครบถ้วน โดยอัตราส่วนพื้นที่ซ้อนทับต่อพื้นที่รวมคือค่าที่วัดว่าขอบเขตที่โมเดลทำนายมาทับซ้อนกับขอบเขตของวัตถุจริงมากน้อยแค่ไหน จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่า 1 หมายถึงขอบเขตทำนายทับซ้อนกับวัตถุจริง 100% ดังนั้นค่าความแม่นยำเฉลี่ย จะถูกคำนวณจากการวัดความแม่นยำและการเรียกคืนที่ระดับต่าง ๆ ของอัตราส่วนพื้นที่ซ้อนทับต่อพื้นที่รวม

2.3.2) ค่าการเรียกคืนเฉลี่ย (Average Recall: AR) เป็นค่าที่วัดความสามารถในการทำนายวัตถุทุกชิ้นในภาพ ยิ่งค่า AR สูงหมายถึง โมเดลสามารถตรวจจับวัตถุได้ครบถ้วน แบ่งเป็นค่า ARmax1 ARmax10 และ ARmax100 คือค่าการเรียกคืนสูงสุดสำหรับการตรวจจับวัตถุได้สูงสุดจำนวน 1 10 และ 100 ชิ้นตามลำดับ ดังนั้นหากค่า AR สูงจะหมายถึง โมเดลสามารถตรวจจับวัตถุได้

ครบถ้วนหรือเกือบครบถ้วนในภาพ ในทางกลับกันหากค่าค่าการเรียกคืนเฉลี่ยต่ำ หมายถึง โมเดลพลาดการตรวจจับวัตถุจำนวนมากในภาพ และไม่ได้ทำการตรวจจับวัตถุครบถ้วนนั่นเอง

จากตาราง 4 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยในการตรวจจับวัตถุบนชุดข้อมูลตรวจสอบอยู่ในระดับที่สูงมาก โดยเฉพาะในช่วงค่าอัตราส่วนพื้นที่ซ้อนทับต่อพื้นที่รวม (IoU Range) ที่เท่ากับ 0.50 และ 0.75 เท่ากับ 0.991 ซึ่งบ่งชี้ว่าการตรวจจับวัตถุในภาพมีความแม่นยำสูง เมื่อพิจารณา

จากทั้งพื้นที่ (area) ของภาพที่มีวัตถุขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ค่าความแม่นยำเฉลี่ยสำหรับวัตถุขนาดเล็กและขนาดกลาง เท่ากับ  $-1.000$  แสดงถึงข้อจำกัดของโมเดลในการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กและขนาดกลาง อาจเป็นผลมาจากข้อมูลที่ไม่เพียงพอสำหรับฝึกฝนเพื่อการตรวจจับวัตถุหลากหลายขนาด ตลอดจนขนาดของวัตถุอาจเล็กเกินไปเมื่อเทียบกับขนาดภาพ ในขณะที่ค่าความแม่นยำเฉลี่ยสำหรับวัตถุขนาดใหญ่เท่ากับ  $0.988$  ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก



ภาพ 5 ผลลัพธ์จากการฝึกฝนรอบที่ 1 ของโมเดล MobileNetV2 สำหรับการจำแนกประเภทในด้านค่าความถูกต้องและค่าการสูญเสียบนชุดข้อมูลฝึกฝน เปรียบเทียบกับค่าความถูกต้องและค่าการสูญเสียบนชุดข้อมูลตรวจสอบ

### ตาราง 3

ค่าความถูกต้อง ค่าการสูญเสียบนชุดข้อมูลฝึกฝน และค่าความถูกต้อง ค่าการสูญเสียบนชุดข้อมูลตรวจสอบ จากการฝึกฝนโมเดลจำนวน 3 รอบ

การประเมินรอบที่	Training dataset		Validation dataset	
	Accuracy	Loss	Accuracy	Loss
1	0.9286	0.1796	0.9138	0.1910
2	0.9271	0.1852	0.9105	0.1955
3	0.9234	0.1911	0.9073	0.2001
ค่าเฉลี่ย (Average)	0.9264	0.1853	0.9105	0.1955

ตาราง 4

ค่าความแม่นยำเฉลี่ย และค่าการเรียกคืนเฉลี่ยในการตรวจจับวัตถุบนชุดข้อมูลตรวจสอบ

เมตริกซ์	ช่วงค่าอัตราส่วนพื้นที่ ซ้อนทับต่อพื้นที่รวม	พื้นที่	จำนวนกรอบ ตรวจจับสูงสุด	ค่า
ค่าความแม่นยำเฉลี่ย Average Precision: AP	0.50:0.95	วัตถุทั้งหมด (all)	100	0.988
	0.5	วัตถุทั้งหมด (all)	100	0.991
	0.75	วัตถุทั้งหมด (all)	100	0.991
	0.50:0.95	วัตถุขนาดเล็ก (small)	100	-1.000
	0.50:0.95	วัตถุขนาดกลาง (medium)	100	-1.000
	0.50:0.95	วัตถุขนาดใหญ่ (large)	100	0.988
ค่าการเรียกคืนเฉลี่ย Average Recall: AR	0.50:0.95	วัตถุทั้งหมด (all)	1	0.993
	0.50:0.95	วัตถุทั้งหมด (all)	10	0.993
	0.50:0.95	วัตถุทั้งหมด (all)	100	0.993
	0.50:0.95	วัตถุขนาดเล็ก (small)	100	-1.000
	0.50:0.95	วัตถุขนาดกลาง (medium)	100	-1.000
	0.50:0.95	วัตถุขนาดใหญ่ (large)	100	0.993

เช่นเดียวกับค่าการเรียกคืนเฉลี่ยที่สูงถึง 0.993 ในหลายหมวด โดยค่าจำนวนกรอบตรวจจับสูงสุด (MaxDets) เท่ากับ 1 10 และ 100 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตรวจจับวัตถุที่มีการระบุวัตถุถูกต้องในระดับสูง เช่นเดียวกับค่าการเรียกคืนเฉลี่ยสำหรับการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กและขนาดกลางที่เท่ากับ -1.000 ก็แสดงถึงปัญหาเกี่ยวกับค่าความแม่นยำเฉลี่ยในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กและขนาดกลาง ซึ่งยังต้องได้รับการปรับปรุงในอนาคต

2.4) การส่งออกโมเดลที่ผ่านการฝึกฝนแล้ว (exporting the trained model) ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง รวมถึงการแปลงโมเดลให้เหมาะสมกับการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่จัดเก็บและด้านการใช้ทรัพยากร เช่น สมาร์ทโฟน หรืออุปกรณ์ IoT: Internet of Things โดยจะมีไฟล์ที่ประกอบด้วยเมทาดาดา (Metadata) ที่จำเป็นเพื่อให้สามารถใช้งานโมเดลในภายหลังได้อย่างถูกต้อง โดยงานวิจัยนี้บันทึกโมเดลที่ผ่านการฝึกฝนเป็นไฟล์ชื่อ cactus.tflite เพื่อให้สะดวกในการเรียกใช้งานในขั้นตอนต่อไป

3) ผลการประเมินความถูกต้องการระบุสายพันธุ์ แคคตัสด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกและเทคนิคตรวจจับวัตถุ เพื่อเป็นการตรวจสอบความสมบูรณ์ของโมเดล (validation of exported model) ให้มั่นใจว่าโมเดลสามารถใช้งานได้จริงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงนำป ทดสอบผ่าน MediaPipe Studio ซึ่งเป็นเครื่องมือที่พัฒนาโดยกูเกิล เพื่อช่วยทดสอบการตรวจจับและวิเคราะห์วัตถุในภาพ ดังภาพ 6 การกำหนด Model Selection เพื่อเรียกใช้โมเดล cactus.tflite ที่ผ่านการฝึกฝนสำหรับทดสอบกับรูปภาพแคคตัสในสถานการณ์จริงผ่าน MediaPipe Studio ก่อนจะเลือกภาพที่ต้องการทดสอบ จากนั้นจะปรากฏผลการตรวจจับวัตถุ พร้อมแสดงสายพันธุ์ที่มีความน่าจะเป็นสูงสุด และค่าความน่าจะเป็นของสายพันธุ์ที่ตรวจพบในภาพ

การประเมินความถูกต้องของการระบุสายพันธุ์ โดยผู้เชี่ยวชาญกับภาพแคคตัสที่ตัวแบบไม่เคยเห็นมาก่อน (unseen dataset) โดยนำโมเดลที่ผ่านการฝึกฝนมาทดสอบกับรูปภาพจำนวน 300 รูปภาพ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน

ทำการประเมินผลท่านละ 100 รูปภาพผ่าน MediaPipe Studio การประเมินความถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญหลายท่าน จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการประเมินที่อาจเกิดขึ้นจากการพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญเพียงท่านเดียว และสะท้อนถึงความพร้อมของโมเดลต่อการใช้งานในบริษัทที่ผู้ใช้งานแต่ละคนมีแหล่งข้อมูลและเงื่อนไขที่แตกต่างกัน เช่น รูปภาพที่มีความแตกต่างด้านระยะถ่าย มุมมอง แสงสว่าง ตลอดจนพื้นหลัง จะช่วยทดสอบความยืดหยุ่นของโมเดลในการจัดการกับความแปรปรวนของข้อมูล เช่น ภาพถ่ายในระยะที่แตกต่างกัน อาจทำให้รายละเอียดของลำต้นหรือหนามเปลี่ยนไป หรือมุมมองจากด้านบนหรือด้านข้างอาจส่งผลต่อคุณลักษณะเด่นของสายพันธุ์ นอกจากนี้สีภาพแสงที่แตกต่างกัน เช่น แสงธรรมชาติ แสงจากหลอดไฟ หรือการมีเงาในภาพ ยังเป็นปัจจัยที่เพิ่มความซับซ้อนในการจำแนกสายพันธุ์ ดังนั้นหากโมเดลสามารถรักษาความถูกต้องในระดับสูงได้กับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน จะช่วยเพิ่มศักยภาพในการนำไปใช้งานจริง การทดสอบนี้จึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้มั่นใจได้ว่าโมเดลสามารถตอบโจทย์ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน

กำหนดให้ หากผลการระบุสายพันธุ์แคคตัสในภาพถูกต้องทั้งหมด เท่ากับ 1 คะแนน ในทางตรงกันข้าม หากผลการระบุสายพันธุ์แคคตัสในภาพมีบางส่วนไม่ถูกต้องหรือไม่ถูกต้องทั้งหมด เท่ากับ 0 คะแนน เมื่อทำการประเมินแล้วจะนำคะแนนทั้งหมดที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านมาคำนวณเป็นค่าความถูกต้องเฉลี่ย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบดังสมการที่ 1

จากภาพ 7 เมื่อผู้เชี่ยวชาญนำเข้ารูปภาพแคคตัสจำนวน 10 สายพันธุ์ที่ตัวแบบไม่เคยเห็นมาก่อนเข้าสู่ MediaPipe Studio ที่เรียกใช้โมเดล cactus.tflite ที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วนั้น โดยผลลัพธ์จะเป็นกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุที่ตรวจพบ (bounding box) พร้อมกับระบุประเภทของวัตถุและคลาสความน่าจะเป็นจากการจำแนกของวัตถุที่ตรวจจับ ก่อนจะนำไปประเมินความถูกต้องของ

การระบุสายพันธุ์แคคตัสที่ระบุรูปภาพจนครบ 300 รูปภาพ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านทำการประเมินผลท่านละ 100 รูปภาพแบบเป็นอิสระต่อกัน ดังภาพ 8 ตัวอย่างผลลัพธ์จาก MediaPipe Studio ประกอบด้วยกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุที่ตรวจพบ พร้อมกับระบุประเภทของวัตถุและคลาสความน่าจะเป็นจากการจำแนกของวัตถุที่ตรวจจับกับรูปภาพใน 3 ประเภท ได้แก่ (1) Single-object, multiple classes (2) Multiple-objects, one Class และ (3) Multiple-objects, multiple classes

$$Accuracy = \frac{\text{Number of correct predictions}}{\text{Total number of predictions}} \quad (1)$$

โดยที่ *Number of correct predictions* คือ จำนวนตัวอย่างที่โมเดลจำแนกได้ถูกต้อง (ภาพ)

*Total number of predictions* คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพ)

งานวิจัยนี้กำหนดรูปแบบของรูปภาพที่ใช้ในการทดสอบใน 3 ประเภท เพื่อให้ครอบคลุมทุกบริษัทในการตรวจจับวัตถุ ประกอบด้วย (1) Single-object, multiple classes หมายถึง ภาพที่มีวัตถุเพียงหนึ่งชิ้นแต่สามารถจำแนกได้เป็นหลายคลาส (2) Multiple-objects, one class หมายถึง ภาพที่มีวัตถุหลายชิ้นที่กระจายอยู่ในภาพแต่ทั้งหมดเป็นคลาสเดียวกัน และ (3) Multiple-objects, multiple classes หมายถึง ภาพที่มีวัตถุหลายชนิดและทั้งหมดสามารถจำแนกได้เป็นหลายคลาส ดังภาพ 7

## Object Detection

Track and label objects with a bounding box in an image or video based on a defined set of classes, such as a cat, dog, or tree. The default model, EfficientDet-Lite0, was trained based on the [COCO dataset](#) to recognize 80 classes. For more information on labels, performance, etc., see the [documentation](#).

See the [model customization guide](#) for details on how to retrain a pre-built model for object detection with your own data.

Code examples

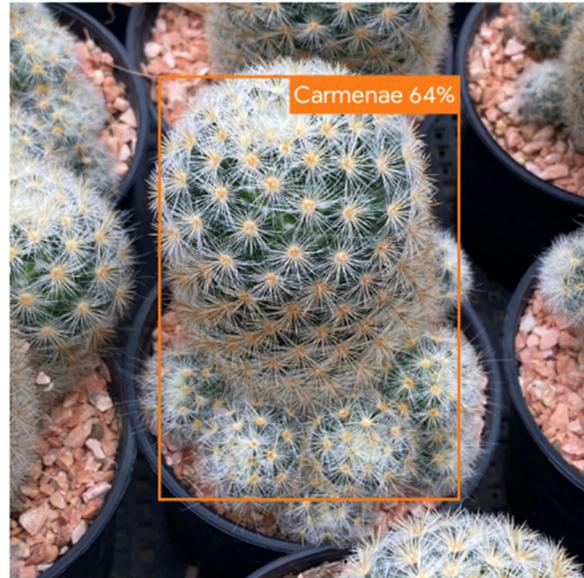
[Android](#) | [iOS](#) | [Python](#) | [Raspberry Pi](#) | [Web](#)

The sample parameters below can be changed. See [documentation](#) for more details

Inference delegate: GPU inference

Model selections: cactus.tflite

Input: 4DC7F98C-95AE-4DDF-81...

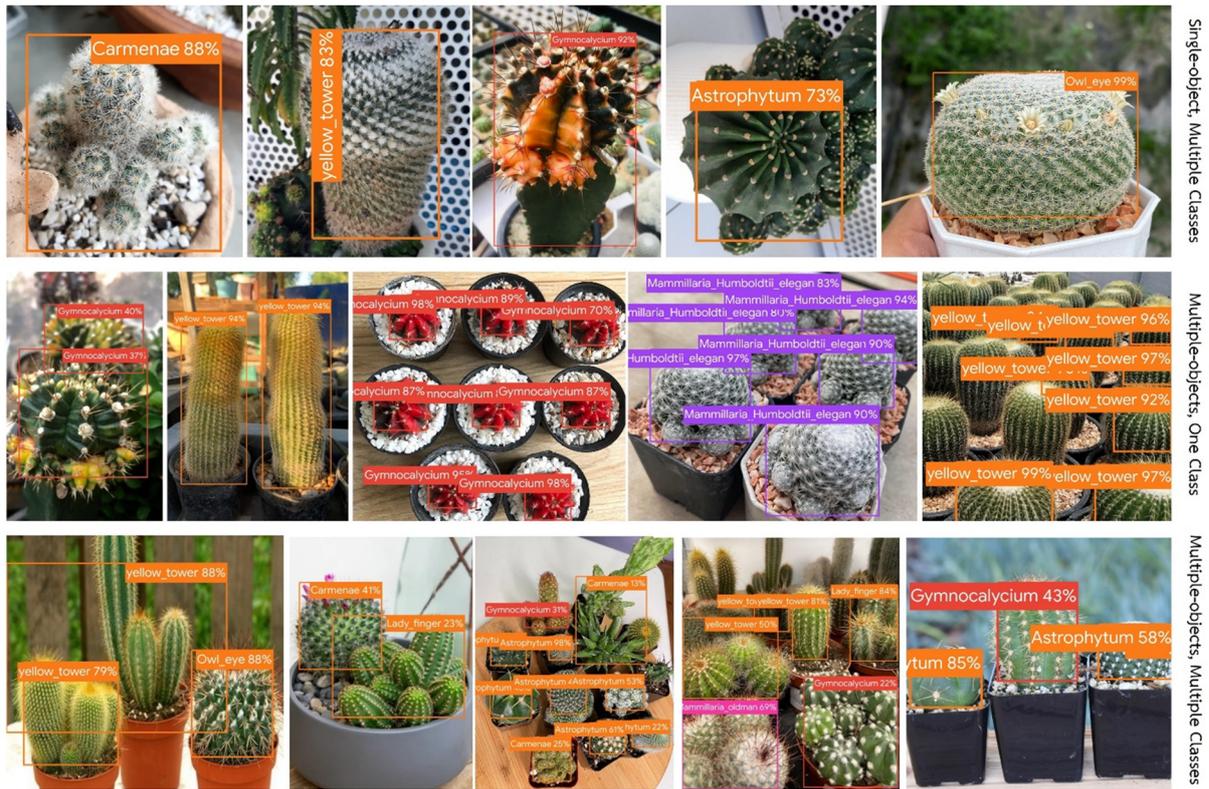


Inference time (ms): 3602

ภาพ 6 โมเดล MobileNetV2 ที่ผ่านการฝึกฝนและบันทึกไฟล์ชื่อ cactus.tflite เมื่อนำมาระบุสายพันธุ์แคคตัสโดยใช้เทคนิคตรวจจับวัตถุผ่าน MediaPipe Studio



ภาพ 7 ตัวอย่างรูปภาพแคคตัสประเภท Single-object, multiple classes, multiple-objects, one class และ multiple-objects, multiple Classes



ภาพ 8 ตัวอย่างผลการตรวจจับและระบุสายพันธุ์แคคตัสจาก MediaPipe Studio กับรูปภาพประเภท Single-object, multiple classes Multiple-objects, one class และ Multiple-objects, multiple classes

### ตาราง 5

ผลการตรวจจับและระบุสายพันธุ์แคคตัสกับรูปภาพประเภท Single-object, multiple classes Multiple-objects, one class และ Multiple-objects, multiple classes

ประเภทรูปภาพ	จำนวน	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ความถูกต้อง (เฉลี่ย)
Single-object, multiple classes	100	91	9	91.00%
Multiple-objects, one class	100	83	17	83.00%
Multiple-objects, multiple classes	100	76	24	76.00%
<b>รวม</b>	<b>300</b>	<b>250</b>	<b>50</b>	<b>83.33%</b>

### การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการตรวจจับและจำแนกสายพันธุ์ของแคคตัส โดยใช้เทคนิคการตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียวที่จะช่วยในการระบุตำแหน่งของแคคตัสในภาพได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ขณะที่โมเดล MobileNet จะช่วยลดการใช้ทรัพยากรในการคำนวณ เนื่องจากมีโครงสร้างมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งเหมาะสำหรับการ

ประมวลผลในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร ดังนั้นจากการผสมผสานระหว่างการเรียนรู้เชิงลึกและการตรวจจับวัตถุจะช่วยให้โมเดลสามารถระบุสายพันธุ์แคคตัสจากภาพถ่ายที่มีความแตกต่างหลากหลายรูปแบบ เช่น ขนาดของวัตถุ ทิศทางของวัตถุ และแสงสว่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาชุดข้อมูลรูปภาพแคคตัส 10 สายพันธุ์ รวม 1,508 ภาพ พร้อมกำกับข้อมูลด้วยกรอบ Bounding box ผ่านโปรแกรม Labelimg และบันทึกคำอธิบายรูปภาพในรูปแบบ XML ผลการฝึกฝนโมเดล พบว่า ค่าความแม่นยำเฉลี่ยบนชุดข้อมูลฝึกฝน และชุดข้อมูลตรวจสอบอยู่ที่ 92.64% และ 91.05% ตามลำดับ อยู่ในระดับดีมาก เช่นเดียวกับค่าการสูญเสียเฉลี่ยบนชุดข้อมูลฝึกฝน และชุดข้อมูลตรวจสอบอยู่ที่ 0.1853 และ 0.1955 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าโมเดลสามารถเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มีสัญญาณของ Overfitting หรือ Underfitting อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้งานกับข้อมูลใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาผลการตรวจจับวัตถุบนชุดข้อมูลตรวจสอบ พบว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย และค่าการเรียกคืนเฉลี่ย ได้สูงถึง 0.991 และ 0.993 ตามลำดับ ในการจำแนกและตรวจจับวัตถุขนาดใหญ่ในภาพได้อย่างถูกต้องในสภาพแสงและมุมมองที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบยังพบข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไปในโมเดลตรวจจับวัตถุที่ต้องทำงานกับข้อมูลที่มีความหลากหลายของขนาดวัตถุ ดังนั้นยังคงต้องได้รับการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต

ผลการประเมินความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญด้วยชุดข้อมูลที่โมเดลไม่เคยเห็นมาก่อน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบในสถานการณ์จริง พบว่า มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 83.33% นอกจากนี้ พบว่า ตัวแบบสามารถทำงานได้ดีในการตรวจจับวัตถุในภาพที่มีเพียงหนึ่งชิ้นแต่สามารถจำแนกได้เป็นหลายคลาส เช่นเดียวกับกรณีที่มีหลายวัตถุ แต่อยู่ในคลาสเดียวกัน แต่ค่าความถูกต้องจะลดลงเมื่อในภาพประกอบด้วยวัตถุหลายชนิดที่สามารถจำแนกได้เป็นหลายคลาส แต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังถือว่ามีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำไปเป็นต้นแบบสำหรับแอปพลิเคชันทางการเกษตรเชิงพาณิชย์ได้

อย่างไรก็ดี คุณลักษณะของแคคตัสแต่ละสายพันธุ์ที่มีความคล้ายคลึงกันนั้นส่งผลโดยตรงต่อความคลาดเคลื่อนในการระบุสายพันธุ์ โดยเฉพาะในกรณีที่มีขนาดและรูปร่างของลำต้น ลักษณะหนาม หรือสีสนที่ใกล้เคียงกัน อาจส่งผลให้โมเดลไม่สามารถเรียนรู้ความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนหากภาพมีความละเอียด

ต่ำหรือมีแสงสว่างที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการจำแนกสายพันธุ์ลดลงอย่างมาก และหากในชุดข้อมูลมีภาพบางสายพันธุ์มากเกินไปในขณะที่สายพันธุ์อื่นมีน้อย อาจทำให้โมเดลมีแนวโน้มจะจดจำคุณลักษณะของสายพันธุ์ที่ปรากฏบ่อยกว่า ดังนั้นการแก้ปัญหาคความคลาดเคลื่อนนี้จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของชุดข้อมูล ตลอดจนการปรับแต่งโมเดลเพื่อให้สามารถเรียนรู้คุณลักษณะเชิงลึกได้ดีขึ้น อันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลและการตรวจจับวัตถุต่อไป

### ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณานำเทคนิคและวิธีการอื่น ๆ เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น เทคนิค Feature Pyramid Network: FPN ที่ช่วยให้โมเดลสามารถเรียนรู้และจำแนกคุณลักษณะที่ซับซ้อนในหลายระดับของภาพได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของวัตถุที่มีขนาดแตกต่างกัน ร่วมกับการนำ Attention Mechanism มาใช้เพื่อกำหนดความสำคัญกับพื้นที่ในภาพที่มีข้อมูลสำคัญ เช่น บริเวณหนามหรือสีสนเฉพาะของแต่ละสายพันธุ์ จะทำให้โมเดลสามารถโฟกัสที่คุณลักษณะสำคัญที่จำเป็นในการจำแนกสายพันธุ์ได้ดีขึ้น นอกจากนี้ควรขยายขอบเขตการวิจัยให้ครอบคลุมแคคตัสสายพันธุ์อื่น ๆ เนื่องจากการศึกษาที่จำกัดเฉพาะบางสายพันธุ์อาจทำให้โมเดลขาดความสามารถในการจำแนกแคคตัสที่มีลักษณะใกล้เคียงกันหรือสายพันธุ์ที่ไม่ได้รวมอยู่ในการฝึกฝน อีกทั้งการเพิ่มจำนวนสายพันธุ์ยังช่วยให้สามารถพัฒนาโมเดลที่มีความสามารถในการจำแนกแคคตัสในระดับสกุล (genus) หรือในระดับชนิด (species) ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น โดยเฉพาะในสายพันธุ์ที่มีความหลากหลายทางสัณฐานวิทยา (morphological diversity) หรือสายพันธุ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น แคคตัสในสกุล Mammillaria ซึ่งมีความหลากหลายของรูปร่าง ขนาด และลักษณะของหนาม การศึกษาที่ครอบคลุมจะช่วยให้โมเดลสามารถเรียนรู้และแยกแยะความแตกต่างของสายพันธุ์ที่คล้ายกันได้ดีขึ้น และเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาระบบการจำแนกสายพันธุ์แคคตัสในสถานการณ์จริงต่อไป



## References

- Ali, M., Keller, C., & Huang, M. (2023). Fruits detection using single shot multibox detector. In *BSCI '23: Proceedings of the 5th ACM International Symposium on Blockchain and Secure Critical Infrastructure* (pp. 140–144). New York: Association for Computing Machinery
- Anderson, E. F. (2001). *The cactus family*. Portland, OR: Timber Press.
- Ariwa, R. N., Markus, C., Teneke, N. G., Adamu, S., & George, F. K. (2024). Plant disease detection using YOLO machine learning approach. *British Journal of Computer, Networking and Information Technology*, 7(2), 115–129. <https://doi.org/10.52589/BJCNIT-EJWGF6D>
- Arun, A., Sharma, S., Singh, B., & Hazra, T. (2025). Identification of plant species using convolutional neural network with transfer learning. *Journal of Phytopathology*, 173(1). e70032. <https://doi.org/10.1111/jph.70032>
- Barthlott, W., & Hunt, D. R. (1993). *Cacti: An illustrated guide to the plants and their cultivation*. Portland, OR: Timber Press.
- Business Research Insights. (2023). *Succulent plant market report* (Market Report No. 100171). Retrieved from <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/succulent-plant-market-100171>
- Girshick, R. (2015). Fast R-CNN. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)* (pp. 1440–1448). Santiago: IEEE
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gong, X., & Zhang, S. (2023). An analysis of plant diseases identification based on deep learning methods. *The Plant Pathology Journal*, 39(4), 320–324. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.02.2023.0034>
- Kaur, S., & Kaur, P. (2019). Plant species identification based on plant leaf using computer vision and machine learning techniques. *Journal of Multimedia Information System*, 6(2), 49–59. <https://doi.org/10.33851/JMIS.2019.6.2.49>
- Konyushkova, K., Pishchulin, L., & Matuszek, C. (2018). Learning intelligent dialogs. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 1–10). UT: IEEE
- Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox detector. In B. Leibe et al. (Eds.), *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV 2016)* (pp. 21–37). Amsterdam: Springer International Publishing.
- Nobel, P. S. (2002). *Cacti: Biology and uses*. CA: University of California Press.

- Rani, A., Nikhila, M., Bhargavi, M., & Sushma, P. (2024). Supervised learning based plant species classification for precise e-agriculture. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 15(5), 405–415. Retrieved from <https://hdl.handle.net/10481/103749>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 779–788). NV: IEEE
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L.-C. (2018). *MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks*. *arXiv*, 1801(04381), 4510-4520. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.04381>
- Thomkaew, J., & Intakosum, S. (2023). Plant species classification using leaf edge feature combination with morphological transformations and SIFT key point. *Journal of Image and Graphics*, 11(1), 91–97. <https://doi.org/10.18178/joig.11.1.91-97>
- Verified Market Research. (2021). *Cactus extract market – Global industry trends and forecast to 2027*. Retrieved from <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/cactus-extract-market/>
- Wu, H., Fang, L., Yu, Q., & Yang, C. (2024). Composite descriptor based on contour and appearance for plant species identification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133(3), 108291. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108291>
- Zhang, X., Yang, Y.-H., Han, Z., Wang, H., & Gao, C. (2014). Object class detection: A survey. *ACM Computing Surveys*, 46(1), Article 10, 1–53. <https://doi.org/10.1145/2522968.2522978>



# ประสิทธิผลของสบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสาบเสือต่อการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่นอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

## The Effectiveness of Glycerin Soap with Siam Weed Leaf Extract to Reduce Acne among Adolescents in Mueang District, Songkhla Province

เยาวลักษณ์ เตียนวน<sup>1\*</sup>, คันธมาทน์ กาญจนภูมิ<sup>1</sup>, ธีรยุทธ์ ศรียาเทพ<sup>1</sup> และสายซัช ถนัดอักษร<sup>2</sup>

Yaowalak Teanuan<sup>1\*</sup>, Kantamaht Kanchanapoom<sup>1</sup>, Teerayut Sreyatap<sup>1</sup>

and Shaychat Thanudakson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

<sup>1</sup>Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University

<sup>2</sup>แพทย์เวชปฏิบัติเสริมสวย แพนคลินิก

<sup>2</sup>Aesthetic Physician, Pan Clinic

\*Corresponding author: yaowalak.te@skru.ac.th

Received: December 19, 2024

Revised: March 5, 2025

Accepted: March 11, 2025

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นงานวิจัยกึ่งทดลอง ศึกษาในกลุ่มเด็ววัดผลแบบอนุกรมเวลา มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิผลของสบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสาบเสือต่อการลดการเกิดสิว และศึกษาผลข้างเคียง รวมถึงประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ผลิตภัณฑ์หลังการทดลอง ทำการศึกษาในกลุ่มวัยรุ่นที่เป็นสิวะระดับรุนแรงน้อย จำนวน 42 คน ติดตามผลการศึกษาโดยประเมินผลจากค่าคะแนนระดับความรุนแรงของสิวะตามเกณฑ์ Global Acne Grading System Scores: GAGS รวมถึงผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลา 1 2 4 8 และ 12 สัปดาห์ และความพึงพอใจของอาสาสมัครเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ผลการศึกษาพบว่า อาสาสมัครอยู่ในช่วงอายุ 18 – 20 ปี มีค่าคะแนนความรุนแรงของสิวะระดับเล็กน้อย 7–18 คะแนน ( $\bar{X} = 14.14 \pm 2.35$ ) หลังใช้สบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสาบเสือ ค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิวะลดลงต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 จากการติดตามผลต่อเนื่อง 12 สัปดาห์ อาสาสมัคร ร้อยละ 95.24 ไม่เกิดผลข้างเคียง และมีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 4.13 \pm 0.55$ ) จึงสรุปได้ว่า สบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสาบเสือมีส่วนช่วยลดระดับความรุนแรงของสิวะในกลุ่มวัยรุ่น สามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวหน้า ต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์วิสาหกิจชุมชน สร้างรายได้ สร้างอาชีพให้คนในชุมชนต่อไปได้

คำสำคัญ: ใบสาบเสือ สบู่กลีเซอริน สิวะ วัยรุ่น

## Abstract

This study was quasi-experimental research with a basic time series design. The objective was to investigate the efficacy and adverse effects of Siam weed glycerin soap in reducing acne, including the satisfaction towards this product. In this study, forty-two teenagers with mild acne were recruited, and the efficacy was evaluated using the Global Acne Grading System Scores (GAGS), while adverse effects were observed at 1, 2, 4, 8, and 12 weeks of the study. The participants' satisfaction was additionally determined at the end of the study. The results revealed that the participants' ages ranged from 18 to 20 years old, and their acne severity was mild, with scores ranging from 7 to 18 ( $\bar{X} = 14.14 \pm 2.35$ ). The mean scores for acne severity significantly decreased after using Siam weed glycerin soap at the 0.01 level. Following a continuous 12-week follow-up period, it was discovered that 95.24 percent of the volunteers had no side effects. The overall satisfaction level of participants with this product was high ( $\bar{X} = 4.13 \pm 0.55$ ). In conclusion, the results implied that glycerin soap with Siam weed leaf extract may help lessen the severity of teenage acne with uncomplicated adverse effects. Therefore, there is a potential to use this soap as a cleansing product for the face, and there is also a potential to grow into a community entrepreneurial product in the future.

**Keywords:** Siam Weed Leaf, glycerin soap, acne, adolescents



## บทนำ

สาบเสือ (Siam weed, Bitter bush) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ (*Chromolaena odorata* (L.) R.M. King & H. Rob.) อยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นวัชพืชที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยเฉพาะทางภาคใต้ พบได้มากทั้งในพื้นที่สวน ไร่ นา และพื้นที่รกร้างข้างทาง แม้สาบเสือจะเป็นวัชพืชที่ก่อให้เกิดปัญหาทางการเกษตร แต่ด้วยประโยชน์ทางยาของพืชชนิดนี้จัดเป็นสมุนไพรท้องถิ่นอีกชนิดหนึ่งที่มีสรรพคุณทางยาหลายขนาน (Faculty of Pharmacy, Silpakorn University, 2017) ตามภูมิปัญญาพื้นบ้านมักนำใบสดมาตำหรือขยี้แล้วพอกลงบนบาดแผลเพื่อรักษาแผลสด สมานแผล และห้ามเลือด ได้เป็นอย่างดี (Phonlam, Saeso, Rittison, Suebrasri & Chansatein, 2022) ซึ่งเมื่อทำการศึกษาค้นคว้าฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของใบสาบเสือพบว่า มีฤทธิ์ในการกระตุ้นกระบวนการแข็งตัวของเลือด จึงสามารถห้ามเลือดได้จริง และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการอักเสบและผิวหนังที่ผิวหนังได้ (Hasnawati & Prawita, 2010) และมี

สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น ซาโปนิน แทนนิน โพลีฟีนอล แทนนิน แอนทราควิโนน สเตียรอยด์ เทอร์ปีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ และอัลคาลอยด์ (Waranusantigul, Thophon, Phaenark, Kangwanrangsan & Hanphakphoom, 2016) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถกำจัดอนุมูลดีพีพีเอช (DPPH) และอนุมูลไนตริกออกไซด์ (Phonlam, Saeso, Rittison, Suebrasri & Chansatein, 2022) เป็นต้น จากข้อมูลฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืชสาบเสือสามารถนำมาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการดูแลสุขภาพได้หลากหลายชนิด โดยพบว่า ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ทำจากใบสาบเสือผลิตและวางจำหน่ายในท้องตลาด ในรูปแบบของ ชาชง แชมพู สบู่เหลว และเจล เป็นต้น แต่ยังไม่มีการศึกษาประสิทธิผลที่แน่ชัด การศึกษาครั้งนี้จึงนำวิธีการสกัดใบสาบเสืออย่างง่าย (Silaket, Pengproh & Boonrung, 2020) มาเป็นส่วนผสมในสบู่ก้อนกลีเซอรินที่ชุมชนสามารถทำได้ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่คนส่วนใหญ่ใช้ในชีวิตประจำวันมีความอ่อนโยนและเพิ่มความชุ่มชื้นต่อผิว เมื่อเติมสารสกัดสมุนไพรใบสาบเสือซึ่งมีฤทธิ์

ทางเภสัชวิทยาช่วยลดการอักเสบและต้านเชื้อแบคทีเรียได้ การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในส่วนของการใช้ผลิตภัณฑ์สบู่อ้างหน้าเพื่อทดสอบผลว่าสามารถช่วยลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่นได้จริงหรือไม่ เพราะสิวเป็นปัญหาหนึ่งที่กวนใจในกลุ่มวัยรุ่นนักเรียนนักศึกษา มักเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น กรรมพันธุ์ ฮอร์โมน การทำความสะอาดที่ไม่ถูกวิธี และการแพ้ยาหรือสารเคมีบางชนิด เป็นต้น (Ibrahim, Nagadi, Idrees, Alghanemi, Essa & Gari, 2019) ส่วนกลไกการเกิดสิวอักเสบเกิดจากการอุดตันของต่อมไขมันในรูขุมขน หากมีการอุดตันก็จะทำให้เกิดสิวดูตัน ซึ่งจะพบเป็นลักษณะตุ่มเม็ดเล็ก ๆ ที่มีลักษณะเป็นไตสีขาว ๆ อยู่ข้างใน หากมีตัวกระตุ้นเพิ่มเติม เช่น เชื้อแบคทีเรีย ก็อาจทำให้เกิดการอักเสบได้ และหากสิวยุบมากขึ้นแล้ว ก็จะกลายเป็นตุ่มหนอง เป็นสิวยาว ๆ แม้สิวะจะเป็นแล้วสามารถหายเองได้แต่อาจมีผลกระทบที่ตามมาหลังการเกิดสิว เช่น แผลเป็นรอยดำ หรือหลุมสิว ซึ่งอาจทำให้สูญเสียความมั่นใจและส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันได้ (Tujinda & Worothai, 2017) ในผู้ที่มีอาการไม่รุนแรงมักจะใช้ยาทาในกลุ่มยาปฏิชีวนะ เช่น คลินดามัยซิน แต่พบว่าในระยะหลังมีแนวโน้มเกิดการดื้อยาของเชื้อเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงอาจเกิดอาการระคายเคืองจากการใช้ยาได้ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการรักษาสิวด้วยยาในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างแพง (Intachan & Chokdeesumrit, 2020) ดังนั้นหากมีผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรในท้องถิ่นที่สามารถช่วยลดการเกิดสิวและช่วยลดผิวพรรณในกลุ่มวัยรุ่นได้ จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ทำความสะอาดผิวหน้าควบคู่กับการดูแลผิวหน้าอย่างถูกวิธี ช่วยลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนและสามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดให้กับคนในชุมชนเพื่อการทำสบู่กลีเซอรินจากสารสกัดใบสบาบเสือใช้ในครัวเรือนและต่อยอดสู่การรวมกลุ่มเป็นวิสาหกิจชุมชน ก่อให้เกิดรายได้ในครัวเรือนเพิ่มขึ้นต่อไปได้

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิผลของสบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาบเสือต่อการช่วยลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่น

2. เพื่อศึกษาผลข้างเคียงและประเมินความพึงพอใจต่อการใช้สบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาบเสือต่อการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่น

### สมมติฐานการวิจัย

1. ภายหลังได้รับสบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาบเสือในกลุ่มวัยรุ่น ค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิวะบริเวณใบหน้าน้อยกว่าก่อนการทดลอง

2. กลุ่มวัยรุ่นส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการใช้สบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาบเสืออยู่ในระดับมากขึ้นไป และหลังการทดลอง 12 สัปดาห์เกิดผลข้างเคียงไม่เกินร้อยละ 5

### กรอบแนวคิดการวิจัย

การศึกษาเรื่องประสิทธิผลของสบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาบเสือต่อการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่นเป็นงานวิจัยกึ่งทดลอง (quasi experimental research) ศึกษากลุ่มเดียววัดผลแบบอนุกรมเวลา (one-group time series design) ทำการศึกษาในเด็กวัยรุ่นอายุ 17–20 ปี ที่อาศัยอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา จำนวน 42 คน ก่อนการทดลองได้รับ การประเมินเป็นสิวะระดับรุนแรงน้อยตามเกณฑ์ The Global Acne Grading System: GAGS (Doshi, Zaheer & Stiller, 1997) จากนั้นให้ความรู้ในการดูแลทำความสะอาดผิวหน้าที่ถูกต้องแก่อาสาสมัครร่วมกับการใช้สบู่กลีเซอรินผสมสารสกัดใบสบาบเสือในการล้างหน้า เช้า-เย็น เป็นระยะเวลา จำนวน 12 สัปดาห์ ประเมินผลโดยทีมผู้วิจัยทำการนับจำนวนของเม็ดสิวะบนใบหน้า และชนิดของสิวะแบ่งตามตำแหน่งในการเกิดสิวะแล้วนำมาคำนวณเป็นคะแนนระดับความรุนแรงของสิวะ ตามเกณฑ์ GAGS score ร่วมกับการประเมินผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 และประเมินผลความพึงพอใจของอาสาสมัครเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 ดังภาพ 1

กลุ่มอาสาสมัครวัยรุ่น อายุ 17-20 ปี  
เป็นสิ่วบริเวณใบหน้าระดับรุนแรงน้อย ตามเกณฑ์  
GAGS Score จำนวน 42 คน ได้รับความรู้ในการดูแล  
ทำความสะอาดผิวหนังที่ถูกต้องร่วมกับการใช้  
สบู่กลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือ  
ระยะเวลา 12 สัปดาห์

#### ประเมินผล

- คะแนนความรุนแรงของสิ่วตามเกณฑ์  
GAGS Score ก่อนและหลังทดลอง  
สัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12
- ผลข้างเคียงหลังใช้ผลิตภัณฑ์  
สัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12
- ความพึงพอใจหลังเสร็จสิ้นการทดลอง

ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ เป็นงานวิจัยกึ่งทดลอง (quasi experimental research) แบบศึกษากลุ่มเดียววัดผลแบบอนุกรมเวลา (one-group time series design) ออกแบบแผนการวิจัยตามหลักการของแม็กซ์ มิน คอน (The Max.-Min.-Con.Principle) ซึ่งได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เลขที่โครงการวิจัย HREC No. 023/ 2566 และอนุมัติรับรองเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2566 มีกระบวนการหรือขั้นตอนในการทำวิจัย 3 ขั้นตอน คือ (1) ขั้นตอนเตรียมการวิจัย (2) ขั้นตอนดำเนินการวิจัย และ (3) ขั้นสรุปผลและรายงานวิจัย ดังนี้

1. ขั้นตอนเตรียมการวิจัย ทบทวนองค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อรวบรวมข้อมูลให้ได้มากที่สุด นำไปสู่การเขียนโครงร่างวิจัยให้มีความสมบูรณ์ ขอคำปรึกษาจากที่ปรึกษาวิจัย นำคำแนะนำของที่ปรึกษาวิจัย มาพัฒนาให้โครงร่างวิจัยมีความสมบูรณ์มากที่สุด และสามารถยื่นขอจริยธรรมในมนุษย์ก่อนที่จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

2. ขั้นตอนดำเนินการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้มีการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 การจัดทำผลิตภัณฑ์สบู่ก่อนกลีเซอรินจากสารสกัดหยาบใบสาบเสือ

1) นำใบสาบเสือบดสไลด์น้ำให้สะอาด ผึ่งลมให้แห้ง หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เติมน้ำตาล ร้อยละ 95 ในอัตราส่วนใบสาบเสือบดต่อเอทานอล ร้อยละ 95 เท่ากับ 1 ต่อ 2

ทำการหมักเป็นเวลา 30 วัน ระหว่างการหมักจะมีการคนน้ำหมักให้เข้ากันทุก 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทำการกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาส่วนใส จากนั้นนำมากรองผ่านเยื่อกรอง (syringe filter) ขนาด 0.45 ไมครอน อีกครั้ง ส่วนใสที่ได้เรียกว่าสารสกัดใบสาบเสือ โดยอ้างถึงวิธีของ Silaket, Pengproh and Boonrung (2020)

2) ละลายกลีเซอรินในหม้อสองชั้น 1 กก. โดยตัดชิ้นส่วนของกลีเซอรินเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อให้ละลายได้ง่ายขึ้น เติมน้ำลงไปในหม้อชั้นล่างแล้วอุ่นด้วยไฟกลางจนกว่ากลีเซอรินจะละลายทั้งหมด

3) ปรับมาเป็นไฟอ่อน เติมน้ำส้มมะขวิด ร้อยละ 1 คนให้เข้ากัน และเนื่องจากสารสกัดใบสาบเสือบดมีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว จึงมีการแต่งกลิ่น เติมน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์จากดอกมะลิ จำนวน 1 มล.

4) เตรียมแม่พิมพ์สบู่ วางบนโต๊ะผิวเรียบ ใช้ขวดสเปรย์ใส่แอลกอฮอล์ฉีดในแม่พิมพ์เบา ๆ ให้ทั่วบริเวณที่จะเทกลีเซอรินลงไป (แอลกอฮอล์จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศที่จะเกิดในสบู่ในขณะที่สบู่กำลังเย็นและแห้ง)

5) ยกหม้อชั้นที่สองขึ้นมาและค่อย ๆ เทสบู่ลงในแม่พิมพ์แต่ละช่อง ขนาด 100 กรัม โดยเทให้ถึงขอบแม่พิมพ์ ใช้สเปรย์แอลกอฮอล์ฉีดสบู่อีกครั้งหลังจากที่เทสบู่ลงในแม่พิมพ์ ในขณะที่สบู่ยังอยู่ในสถานะของเหลวอยู่วิธีนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศในสบู่ด้านเรียบ

6) ทิ้งให้สบู่เย็นตัวในแม่พิมพ์ 1 ชั่วโมง หรือ

จนกว่าจะแข็งตัวทั้งหมด แล้วแกะออกมาจากพิมพ์ นำไป wrap ด้วยพลาสติกใส และนำไปเก็บไว้

7) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสบู่ โดยประยุกต์ตามวิธีของ Chengoh, Lohhem, Sinchai and Muhamad (2021) ก่อนนำไปใช้ในอาสาสมัคร ดังนี้

- ทดสอบความใส โดยตัดสบู่ให้มีขนาดความหนา 0.6 เซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง วางทับบนกระดาษเคลือบพลาสติกที่มีข้อความตัวอักษรหนาขนาด 14 point หยดน้ำกลั่น 20 มล. ลงบนผิวสบู่ ทิ้งไว้ 30 วินาที สังเกตความใสโดยคนสายตาทดสอบสามารถเห็นตัวอักษรได้ชัดทุกตัว ทุกตัวอย่าง

- ทดสอบการเกิดเหื่อ วางก้อนสบู่ขนาด 100 กรัม จำนวน 3 ตัวอย่าง ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ในอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สบู่จะต้องไม่มีเหื่อเกิดขึ้นเลย

- การเกิดฟอง นำสบู่ขนาด 2 ตารางนิ้ว จำนวน 3 ตัวอย่าง วางบนฝ่ามือ หยดน้ำกลั่น 50 มล. ฟอกมือนาน 30 วินาที สบู่ทุกก้อนจะต้องเกิดฟองพอประมาณ

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใช้สบู่จำนวน 1 กรัมละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 50 มล. จำนวน 3 ตัวอย่าง นำกระดาษลิตมัส ไปจุ่มน้ำสบู่ ทิ้งไว้ 5-10 วินาที หลังจากนั้นเอาสีกระดาษลิตมัสที่ได้ไปเทียบกับแถบสีวัดมาตรฐานวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ได้ ต้องอยู่ระหว่าง 8 - 9

2.2 การทดสอบประสิทธิผลของสบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสาบเสือต่อการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่น

1) รับสมัครอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัย โดยระบุคุณสมบัติ (เกณฑ์คัดเข้า – คัดออก) ชัดเจน

2) ทำการตรวจสอบคุณสมบัติและคัดเลือกอาสาสมัครเข้าสู่การวิจัยตามจำนวนที่ระบุไว้

3) แจ้งรายละเอียดโครงการวิจัยและการพิทักษ์

สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย หากรับทราบยินดีให้ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในหนังสือยินยอม

4) ทำการประเมินระดับความรุนแรงของสิบบนใบหน้าของอาสาสมัครแต่ละราย เพื่อเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง

5) ทดสอบการแพ้สบู่ในกลุ่มอาสาสมัคร ก่อนการเข้าร่วมการวิจัย โดยการนำสบู่ทาที่บริเวณหลังใบหูเนื่องจากผิวบริเวณนี้เป็นผิวใกล้เคียงกับผิวหนังและอยู่ใกล้ตำแหน่งใบหน้า ทดสอบวันละ 2 ครั้ง เช้า - เย็น ติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน ถ้าทดลองแล้วไม่เกิดการแพ้ เช่น ไม่คัน ไม่แดง ไม่เป็นผื่น แสดงว่าเบื้องต้นไม่เกิดอาการแพ้

6) ให้ความรู้เรื่องการดูแลทำความสะอาดผิวหนังที่ถูกต้องร่วมกับให้สบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสาบเสือแก่อาสาสมัครแต่ละราย นำไปใช้ล้างหน้าทุกวัน เช้า - เย็น โดยมีแบบบันทึกให้อาสาสมัครบันทึกในแต่ละวัน

7) นัดติดตาม สอบถามอาการข้างเคียง ประเมินผลในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 และประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัครในสัปดาห์ที่ 12 โดยทีมผู้วิจัย

3. สรุปผลและรายงานวิจัย นำผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์เพื่อที่จะสรุปผลของงานวิจัยนี้ว่ามีประสิทธิผลมากน้อยเพียงใด จากนั้นจัดทำรายงานผลการวิจัยและเขียนบทความวิจัยตีพิมพ์ และเผยแพร่ความรู้สู่ชุมชน

## ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ วัยรุ่นที่อยู่ในช่วงอายุ 17-20 ปี ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา และเป็นสิบบริเวณใบหน้าที่มีระดับความรุนแรงน้อย คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้การวิเคราะห์อำนาจการทดสอบ (power analysis) ด้วยโปรแกรม G\*Power Version 3.1.9.4 กำหนดค่าขนาดของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียว เป็นการทดสอบสมมติฐานทางเดียว (one-tailed) กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า Power = 0.95 และค่า Effect

Size = 0.52 อ้างอิงจากการศึกษาของ Jittsomnuk and Nacapunchai (2021) ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 42 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัยแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยพิจารณาคุณสมบัติจากเกณฑ์คัดเข้า-คัดออก ดังนี้

1. เกณฑ์การคัดผู้เข้าร่วมการวิจัยเข้าร่วมโครงการ (inclusion criteria)

1.1 เป็นวัยรุ่นที่มีอายุอยู่ในช่วง 17-20 ปี

1.2 พักอาศัยอยู่ในอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 6 เดือน

1.3 เป็นสิ่วบริเวณใบหน้าในระดับเล็กน้อย (mild acne) ประเมินจากระดับความรุนแรงของสิ่วทั้งชนิดไม่อักเสบและชนิดอักเสบ อ้างอิงจากคะแนน GAGS score มีคะแนนอยู่ในช่วง 1-18 คะแนน

1.4 ผ่านการทดสอบการแพ้สบูกลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบเสื่อแล้วไม่ปรากฏว่ามีอาการแพ้

1.5 ไม่มีโรคประจำตัว

1.6 ไม่มีความผิดปกติเกี่ยวกับฮอร์โมนเพศหรือฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโต (growth hormone)

1.7 ไม่มีประวัติการแพ้ยา สมุนไพร สารเคมี และสารสเตียรอยด์

1.8 ในช่วง 1 เดือนที่ผ่านมา ไม่มีประวัติการใช้ยารักษาสิ่ว ยาฮอร์โมน (รวมถึงยาคุมกำเนิด) และการรักษาสิ่วด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น เลเซอร์ ทรีทเม้น และการกดสิ่ว เป็นต้น

2. เกณฑ์การคัดผู้เข้าร่วมการวิจัยออกจากโครงการ (exclusion criteria)

2.1 เกิดอาการแพ้/ ความผิดปกติที่รุนแรงเป็นอันตรายระหว่างการทดลอง

2.2 ไม่สามารถทำการทดลองได้ต่อเนื่องตามแผนการวิจัย

2.3 ใช้ผลิตภัณฑ์/ยารักษาสิ่วอื่น ๆ ร่วมด้วยระหว่างการทดลอง

2.4 อาสาสมัครต้องการถอนตัวออกจากโครงการระหว่างการวิจัย

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence Index: IOC) ผลการประเมินมีค่า IOC เท่ากับ 1 ประกอบด้วย

1. แบบประเมินคะแนนระดับความรุนแรงของสิ่ว (The Global Acne Grading System: GAGS) ประเมินโดยการนับจำนวนและชนิดของสิ่วแบ่งตามตำแหน่งในการเกิดสิ่วแล้วนำมาคำนวณเป็นคะแนนดังตาราง 1 ตามวิธีของ Doshi, Zaheer and Stiller (1997) ซึ่งผู้วิจัยได้นำเครื่องมือไปตรวจสอบความเชื่อมั่น (reliability) ด้วยวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Alpha Cronbach's Coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.93

Comedones (สิ่วอุดตัน) หมายถึง สิ่วไม่อักเสบที่เกิดจากการอุดตันของรูขุมขน สิ่วหัวขาว เป็นรอยกลมมนสีขาวขุ่น หรืออาจจะเห็นไม่ชัด ไม่มีรูเปิด/สิ่วหัวดำ เป็นตุ่มนูน เม็ดเล็ก ๆ มีรูเปิดอยู่ด้านบน เห็นเป็นจุดสีดำอยู่ตรงกลาง

Papule (ผื่นนูน) หมายถึง สิ่วที่มีลักษณะตุ่มนูนสีแดง ขนาดเล็ก

Pustule (ตุ่มหนอง) หมายถึง สิ่วที่มีลักษณะตุ่มหนอง ซึ่งแบ่งเป็น ชนิดตื้น และชนิดลึก

Nodule (ตุ่มใหญ่) หมายถึง สิ่วที่มีลักษณะก้อนสีแดงที่ขนาดใหญ่ขึ้น โดยอาจพบเป็นหลายหัวสิ่วที่อยู่ติดกัน (ภายในอาจมีหนองปนเลือด)

เกณฑ์การประเมิน นำคะแนนรวมของแต่ละตำแหน่ง การเกิดสิว (local score) คำนวณจากสูตร

$$Local\ score = Factor \times Grade\ (0-4) \quad (1)$$

จากนั้นนำคะแนนของทุกตำแหน่งมารวมกันได้เป็น Global acne grading system: GAGS score ประเมินระดับความรุนแรงของสิวอ้างอิงจากคะแนน GAGS score เป็น 4 ระดับ คือ 1-18 คะแนน เป็นสิวละดับรุนแรงเล็กน้อย (mild acne) 19-30 คะแนน เป็นสิวละดับรุนแรงปานกลาง (moderate acne) 31-38 คะแนน เป็นสิวละดับรุนแรงมาก (severe acne) และมากกว่า 39 คะแนน เป็นสิวละดับรุนแรงมากยิ่งขึ้น (very severe acne) (Alsulaimani, Kokandi, Hamad & Khawandanh, 2020)

2. แบบประเมินผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองในแต่ละสัปดาห์ รวม 12 สัปดาห์ เป็นเครื่องมือที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเองจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตรวจสอบความเชื่อมั่น (reliability) ด้วยวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Alpha Cronbach's Coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.87

## ตาราง 1

เกณฑ์การจัดระดับความรุนแรงของสิว

The Global Acne Grading System: GAGS			
ชนิดของสิว	คะแนน (grade)	ตำแหน่งการเกิดสิว	ตัวคูณ (factor)
ไม่พบสิว	0	หน้าผาก	2
Comedones	1	แก้มด้านซ้าย	2
Papules	2	แก้มด้านขวา	2
Pustules	3	จมูก	1
Nodules	4	คาง	1

3. แบบประเมินความพึงพอใจหลังใช้ผลิตภัณฑ์ สบู่กลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือ ซึ่งผู้วิจัยพัฒนาขึ้น จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตรวจสอบความเชื่อมั่น (reliability) ได้ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.87 ประกอบด้วย 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบประเมิน ประกอบด้วยเพศ และอายุ

ตอนที่ 2 ระดับความพึงพอใจหลังใช้ผลิตภัณฑ์ สบู่กลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือ

แบ่งเป็น 2 ด้านคือ ด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ จำนวน 4 ข้อ และด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 ข้อ กำหนดแบบวัดเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ มากที่สุด (5) มาก (4) ปานกลาง (3) น้อย (2) และน้อยที่สุด (1) แปลผลค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจ เป็น 5 ระดับ คือ ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 แปลผลระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 แปลผลระดับมาก ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 แปลผลระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 แปลผลระดับน้อย และค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 แปลผลระดับน้อยที่สุด

ตอนที่ 3 ข้อคำถามปลายเปิด เพื่อให้ผู้ตอบ แสดงความคิดเห็นในการปรับปรุง/พัฒนาต่อไป

## การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยนัดอาสาสมัครมาเข้าร่วมกิจกรรมให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลทำความสะอาดผิวหนังที่ถูกต้อง ผ่านการจัดกิจกรรมบรรยายร่วมกับสาธิต และให้อาสาสมัครทำการสาธิตย้อนกลับเพื่อการปฏิบัติที่ถูกต้อง ณ อาคาร 73 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และให้สบู่อกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือที่ขนาด 100 กรัม บรรจุใส่กล่องสบู่แบบพกพา มีฝาปิดมิดชิด ให้อาสาสมัครนำไปใช้ล้างหน้าทุกวัน เช้า-เย็น เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยมีแบบบันทึกให้อาสาสมัครบันทึกในแต่ละวัน

2. นัดอาสาสมัครมาติดตามผล ประเมินคะแนนระดับความรุนแรงของสิวและผลข้างเคียง ในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 และประเมินความพึงพอใจต่อการใช้สบู่จากใบสาบเสือในการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่น ทำการศึกษาในสัปดาห์ที่ 12 ดำเนินการโดยทีมผู้วิจัย ณ อาคาร 73 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ทั้งนี้ในระหว่างการทดลอง ทีมผู้วิจัยมีการสร้างกลุ่มไลน์เป็นช่องทางออนไลน์เพื่อใช้สำหรับการติดตาม กระตุ้นอาสาสมัครให้ปฏิบัติตามแนวปฏิบัติของผู้วิจัยอย่างเคร่งครัด หรือสอบถามปัญหาต่าง ๆ ระหว่างการทดลอง รวมทั้งมีการโทรสอบถามรายบุคคลเป็นช่องทางหนึ่งด้วย หากอาสาสมัครเกิดอาการแพ้ที่รุนแรงหรือเกิดอันตรายจากการใช้สบู่อกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือระหว่างการทดลอง เช่น ผื่นบวมแดง ลมพิษ หรือมีอาการผิดปกติในระบบทางเดินหายใจ ให้หยุดใช้ผลิตภัณฑ์ทันที ทั้งนี้สามารถโทรแจ้ง/สอบถาม คณะผู้วิจัยได้ตลอด 24 ชั่วโมง อีกทั้งทางคณะผู้วิจัย มีที่ปรึกษาโครงการวิจัย เป็นแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ความงาม คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินกับอาสาสมัครระหว่างการทดลอง ซึ่งหากอาสาสมัครไม่ยินยอมให้ข้อมูล/ขอถอนตัวออกจากการวิจัย สามารถยกเลิกหรือปฏิเสธได้ตลอดเวลา

## สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติดังนี้

1. สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statics) วิเคราะห์ด้วยการแจกแจงความถี่และร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. สถิติเชิงอนุมาน (inferential statics) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความรุนแรงของสิวโดยใช้ Repeated measured ANOVA กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่  $p < .05$

## ผลการวิจัย

การศึกษาเรื่องประสิทธิผลของสบู่อกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือต่อการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่นอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เป็นการศึกษาวิจัยกึ่งทดลอง ศึกษาในกลุ่มเดียววัดผลแบบอนุกรมเวลา มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาประสิทธิผลของสบู่อกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือต่อการช่วยลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่น และ (2) ศึกษาผลข้างเคียงและประเมินความพึงพอใจต่อการใช้สบู่จากใบสาบเสือในการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่น ทำการศึกษาในกลุ่มวัยรุ่นช่วงอายุ 17-20 ปี ที่อาศัยอยู่ในเขตอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา จำนวน 42 คน ก่อนการทดลองผ่านการประเมินเป็นสิ่วบริเวณใบหน้าระดับรุนแรงน้อย ตามเกณฑ์ GAGS score มีการให้ความรู้ในการดูแลทำความสะอาดผิวหนังที่ถูกต้องร่วมกับการใช้สบู่อกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือในการล้างหน้า เช้า-เย็น เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ประเมินผลโดยการนับจำนวนเม็ดสิ่วบนใบหน้าและชนิดของสิ่วแบ่งตามตำแหน่งในการเกิดสิวแล้วนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนระดับความรุนแรงของสิว และติดตามประเมินผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 หลังการทดลองประเมินผลความพึงพอใจ เมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นการทดลอง พบว่ากลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 88.10 (37) และเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 11.90 (5) อยู่ในช่วงอายุ 18-20 ปี ( $\bar{X} = 19.14 \pm 0.61$ ) มีค่าคะแนนความรุนแรงของสิ่วบนใบหน้าก่อนการทดลองอยู่ในช่วง 7-18 คะแนน ( $\bar{X} = 14.14 \pm 2.35$ )

1. การเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิ่วก่อนและหลังใช้สบู่อกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสาบเสือ ในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 โดยใช้สถิติ repeated measures ANOVA

จากการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way repeated measures ANOVA) เรื่องการกระจายแบบปกติ (normality)

และความแปรปรวนของคะแนนระดับความรุนแรงของสิวในแต่ละช่วงของการวัดซ้ำต้องไม่แตกต่างกัน (homogeneity of variances) โดยประเมินจาก Mauchly's test of sphericity ผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้น พบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และความแปรปรวนในแต่ละช่วงของการวัดไม่แตกต่างกัน เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น แต่เมื่อพิจารณาแยกระหว่างค่าคะแนนความรุนแรงของสิวไม่อักเสบ (comedones) และสิวอักเสบ (papules pustules nodules) พบว่า ความแปรปรวนของตัวแปรดังกล่าว ค่า Mauchly's test of sphericity significant ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นจึงรายงานผลโดยใช้ค่า Greenhouse-Geisser แทน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิว ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 โดยใช้สถิติความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way repeated measures ANOVA) พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิว ก่อนการทดลอง และหลังใช้สบู่ออกซิเจนผสมสารสกัดใบสาบเสือล้างหน้าเป็นประจำทุกวัน เช้า-เย็น วัดผลในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 ลดลงต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิวไม่อักเสบ (comedones) และสิวอักเสบ (papules pustules nodules) พบว่า ทั้งค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิวไม่อักเสบ (comedones) และสิวอักเสบ (papules pustules nodules) ลดลงต่อเนื่อง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ดังตาราง 2-3 และภาพ 2

เมื่อเปรียบเทียบผลต่างค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิวในภาพรวม ระหว่างก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 รายคู่ (pairwise comparison) พบว่า ผลต่างค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิวในภาพรวม ทุกคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ยกเว้น สัปดาห์ที่ 4 กับสัปดาห์ที่ 8 และ สัปดาห์ที่ 8 กับสัปดาห์ที่ 12 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ดังตาราง 4

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของผลต่างค่าเฉลี่ยความรุนแรงของสิวอักเสบ (papules pustules nodules) ระหว่างก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 พบว่า ก่อนทดลอง (baseline) กับหลังทดลองสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 คู่สัปดาห์ที่ 1 กับสัปดาห์ที่ 8 12 คู่สัปดาห์ที่ 2 กับสัปดาห์ที่ 12 และคู่สัปดาห์ที่ 4 กับสัปดาห์ที่ 12 มีค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ดังตาราง 6

เมื่อพิจารณาเฉพาะสิวไม่อักเสบ (comedones) ผลต่างค่าเฉลี่ยความรุนแรงของสิวไม่อักเสบ ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 รายคู่ (pairwise comparison) พบว่า ก่อนทดลอง (Baseline) กับหลังทดลองสัปดาห์ที่ 2 4 8 12 คู่สัปดาห์ที่ 1 กับสัปดาห์ที่ 2 4 8 12 และคู่สัปดาห์ที่ 2 กับสัปดาห์ที่ 4 8 12 มีค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิวลดลงต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ดังตาราง 5

## ตาราง 2

เปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิว ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 ของสิวไม่อักเสบ สิวอักเสบ และภาพรวม

ค่าคะแนน	Baseline	Week 1	Week 2	Week 4	Week 8	Week 12
	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
สิวไม่อักเสบ	6.98(4.49)	6.40(3.76)	4.71(2.86)	2.36(1.59)	2.12(1.53)	2.07(1.66)
สิวอักเสบ	7.64(4.72)	5.29(4.09)	4.36(2.65)	4.29(2.37)	3.24(2.94)	2.50(2.33)
ภาพรวม	14.14(2.35)	11.48(2.67)	9.02(2.95)	6.45(2.62)	4.81(3.25)	3.95(3.14)

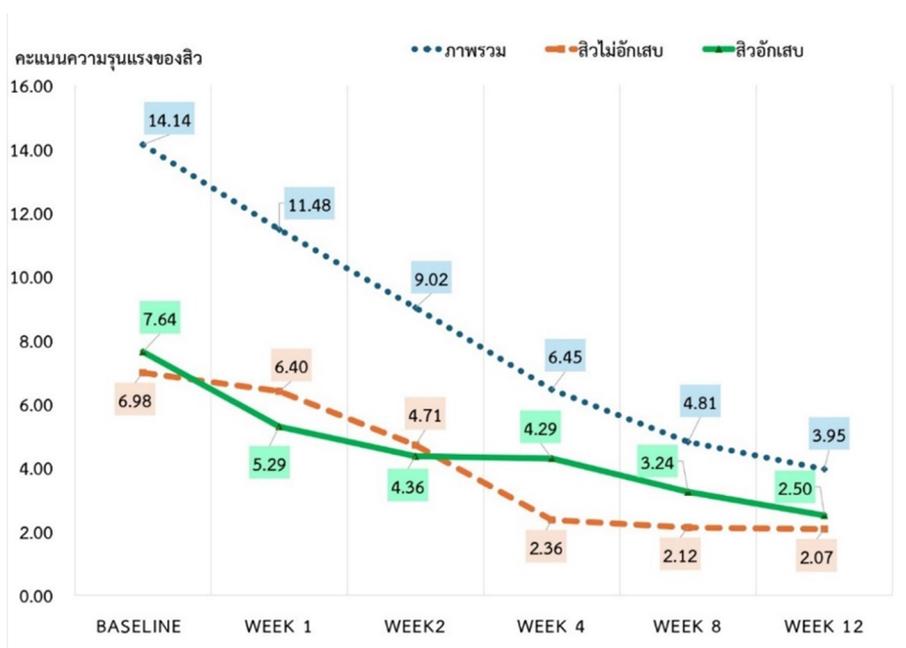
ตาราง 3

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิว ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 ของสิวไม่อักเสบ สิวอักเสบ และภาพรวม

คะแนนความรุนแรงของสิว	SS	df	MS	F	p
<sup>b</sup> สิวไม่อักเสบ	1051.61	2.68	392.29	33.98	.000*
<sup>b</sup> สิวอักเสบ	677.78	3.08	219.78	16.52	.000*
<sup>a</sup> ภาพรวม	3328.48	5	665.70	85.84	.000*

<sup>a</sup>รายงานผลโดยใช้ค่า Greenhouse-Geiser <sup>b</sup>รายงานผลโดยใช้ค่า Sphericity Assumed

SS=Sum of Square df= Degree of Freedom MS= Mean Square \*p<.01



ภาพ 2 เส้นแนวโน้มค่าคะแนนเฉลี่ยความรุนแรงของสิว ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12

ตาราง 4

เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของผลต่างค่าเฉลี่ยความรุนแรงของสิวในภาพรวม ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12

สัปดาห์	Baseline	Week 1	Week 2	Week 4	Week 8	Week 12
Baseline		2.67*	5.12*	7.70*	9.33*	10.19*
Week 1			2.45*	5.02*	6.67*	7.52*
Week 2				2.57*	4.21*	5.07*
Week 4					1.64	2.50*
Week 8						0.86
Week 12						

\*p<.01

ตาราง 5

เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของผลต่างค่าเฉลี่ยความรุนแรงของลิ่วไม่อักเสบ ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12

สัปดาห์	Baseline	Week 1	Week 2	Week 4	Week 8	Week 12
Baseline		0.57	2.26*	4.62*	4.86*	4.91*
Week 1			1.69*	4.05*	4.29*	4.33*
Week 2				2.36*	2.60*	2.64*
Week 4					0.24	0.29
Week 8						0.05
Week 12						

\*p<.01

ตาราง 6

เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของผลต่างค่าเฉลี่ยความรุนแรงของลิ่วอักเสบ ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12

สัปดาห์	Baseline	Week 1	Week 2	Week 4	Week 8	Week 12
Baseline		2.36*	3.29*	3.36*	4.41*	5.14*
Week 1			0.93	1.00	2.05*	2.79*
Week 2				0.07	1.12	1.86*
Week 4					1.05	1.79*
Week 8						0.74
Week 12						

\*p<.01

2. ผลข้างเคียงและระดับความพึงพอใจต่อการใช้ผลิตภัณฑ์สบู่ออกฤทธิ์ผสมสารสกัดใบสาบเสือในการล้างหน้า เข้า-เย็น ติดตามผล จำนวน 12 สัปดาห์

จากการติดตามผลข้างเคียงการใช้สบู่ออกฤทธิ์ผสมสารสกัดใบสาบเสือในอาสาสมัคร 42 ราย พบว่า หลังการทดลองอาสาสมัครจำนวน 40 คนไม่เกิดผลข้างเคียง คิดเป็นร้อยละ 95.24 โดยผลข้างเคียงที่พบ ได้แก่ สัปดาห์ที่ 1 มีผลข้างเคียงใช้แล้วรู้สึกหน้าแห้ง จำนวน 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 14.29 รองลงมา รู้สึกเป็นสิ่วเพิ่มขึ้น จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 9.52 ใช้แล้วรู้สึกผิวเป็นผดผื่นแดง จำนวน 2 ราย และหน้าลอก จำนวน 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 4.76 เท่ากัน ในสัปดาห์ที่ 2 พบผลข้างเคียงหน้าแห้ง จำนวน 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 14.29 รองลงมา

รู้สึกเป็นสิ่วเพิ่มขึ้น จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 11.90 และมีหน้าลอกเป็นขุยเล็กน้อยบริเวณแก้ม จำนวน 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 4.76 สัปดาห์ที่ 4 ผลข้างเคียงค่อย ๆ ลดลง พบปัญหาหลังใช้แล้วหน้าแห้ง จำนวน 3 ราย คิดเป็นร้อยละ 7.14 และพบว่า เป็นสิ่วเพิ่มขึ้นมากกว่าการติดตามผลครั้งล่าสุด จำนวน 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 4.76 พบปัญหาหน้าลอก จำนวน 1 ราย เป็นผดผื่นแดง จำนวน 1 ราย คิดเป็นร้อยละ 2.38 เท่ากัน เมื่อติดตามผลข้างเคียงในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า พบผลข้างเคียงใช้สบู่ออกฤทธิ์แล้วทำให้หน้าแห้ง จำนวน 3 ราย คิดเป็นร้อยละ 7.14 และพบสิ่วเพิ่มขึ้น จำนวน 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 4.76 เมื่อติดตามผลข้างเคียงในสัปดาห์ที่ 12 พบผลข้างเคียง จำนวน 2 ราย คือ หน้าแห้ง จำนวน 1 ราย และหน้าลอก จำนวน 1 ราย คิดเป็นร้อยละ 2.38 เท่ากัน ดังตาราง 7 และภาพ 3

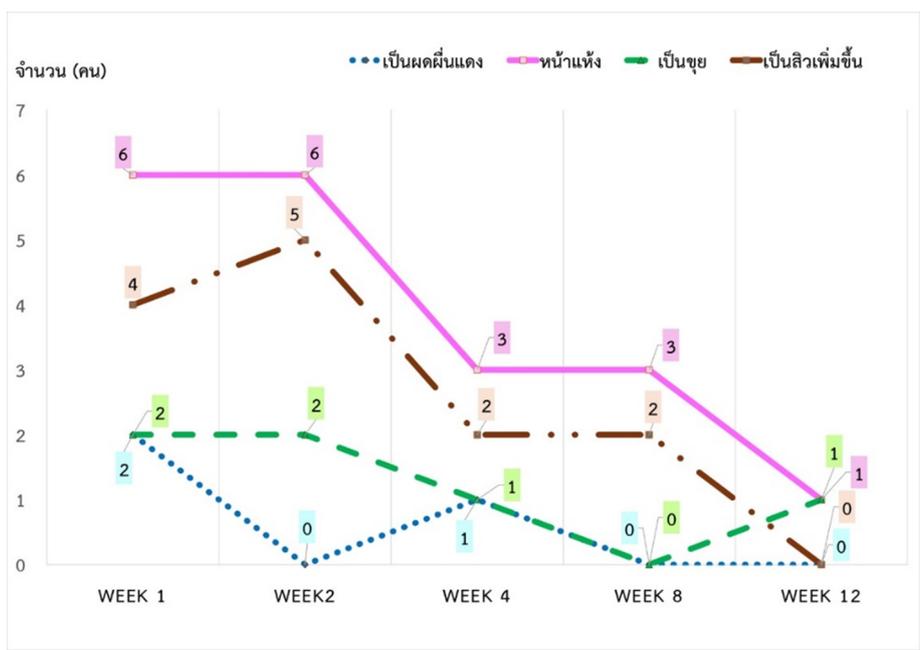
เมื่อวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์สบู่ออกฤทธิ์ผสมสารสกัดใบสาบเสือในการล้างหน้า ติดต่อกันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า โดยภาพรวมมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X}=4.13\pm 0.55$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X}=4.11\pm 0.60$ ) โดยข้อที่มีระดับความพึงพอใจสูงสุดคือ ผลิตภัณฑ์สบู่มีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งาน มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ( $\bar{X}=4.52\pm 0.63$ ) รองลงมา มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มีรูปลักษณ์สวยงาม ( $\bar{X}=4.24\pm 0.73$ ) และผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอม ( $\bar{X}=4.00\pm 0.91$ ) ตามลำดับ ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X}=4.15\pm 0.68$ ) โดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจสูงสุด 3 ลำดับแรก คือ สามารถลดการเกิดสิวได้จริง ( $\bar{X}=4.31\pm 0.72$ ) ไม่ก่อให้เกิดการแพ้ ( $\bar{X}=4.24\pm 1.01$ ) และรู้สึกผิวสะอาด สดชื่น ( $\bar{X}=4.21\pm 0.78$ ) ซึ่งมีค่าระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ดังตาราง 8

**ตาราง 7**

ความถี่และร้อยละที่เกิดผลข้างเคียงจากการใช้ผลิตภัณฑ์สบู่ออกฤทธิ์ผสมสารสกัดใบสาบเสือในการล้างหน้า เข้า-เย็น ติดตามผล จำนวน 12 สัปดาห์ (n = 42)

ผลข้างเคียง	ร้อยละ (จำนวน)									
	Week 1		Week 2		Week 4		Week 8		Week 12	
1. ไม่มี	66.67	(28)	69.05	(29)	83.33	(35)	88.10	(37)	95.24	(40)
2. เป็นผดผื่นแดง	4.76	(2)	0.00	(0)	2.38	(1)	0.00	(0)	0.00	(0)
3. หน้าแห้ง	14.29	(6)	14.29	(6)	7.14	(3)	7.14	(3)	2.38	(1)
4. หน้าลอก	4.76	(2)	4.76	(2)	2.38	(1)	0.00	(0)	2.38	(1)
5. เป็นสิวเพิ่มขึ้น	9.52	(4)	11.90	(5)	4.76	(2)	4.76	(2)	0.00	(0)
<b>รวม</b>	<b>100.00</b>	<b>(42)</b>	<b>100.00</b>	<b>(42)</b>	<b>100.00</b>	<b>(42)</b>	<b>100.00</b>	<b>(42)</b>	<b>100.00</b>	<b>(42)</b>



ภาพ 3 เส้นจำนวนแนวโน้มการเกิดอาการข้างเคียงหลังการทดลอง ในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12

## ตาราง 8

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจผู้ใช้ผลิตภัณฑ์สบู่กลีเซอรีนผสมสารสกัดใบสบาดเลื่อในการล้างหน้า ติดต่อกันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ (n = 42)

รายการ	Mean ± SD.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านคุณลักษณะผลิตภัณฑ์	4.11 ± 0.60	มาก
1. ผลิตภัณฑ์มีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งาน	4.52 ± 0.63	มากที่สุด
2. ผลิตภัณฑ์มีรูปลักษณ์สวยงาม	4.24 ± 0.73	มาก
3. ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอม	4.00 ± 0.91	มาก
4. ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนสวยงาม	3.69 ± 1.02	มาก
ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์	4.15 ± 0.68	มาก
1. สามารถลดการเกิดสิวได้จริง	4.31 ± 0.72	มาก
2. ไม่ก่อให้เกิดการแพ้	4.24 ± 1.01	มาก
3. รู้สึกผิวสะอาด สดชื่น	4.21 ± 0.78	มาก
4. ทำให้ผิวเนียนนุ่ม ชุ่มชื้น	4.12 ± 0.92	มาก
5. ทำให้หน้ากระจ่างใส	3.86 ± 0.87	มาก
ภาพรวม	4.13 ± 0.55	มาก

## การอภิปรายผล

การศึกษาเรื่องประสิทธิผลของสบู่จากใบสบาดเลื่อต่อการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่นน ใช้อาสาสมัครที่เป็นสิ่วระดับรุนแรงน้อย ตามเกณฑ์ GAGS score ช่วงอายุ 17–20 ปี จำนวน 42 คน มีการให้ความรู้ในการดูแลทำความสะอาดผิวหน้าที่ถูกต้องร่วมกับการใช้สบู่กลีเซอรีนผสมสารสกัดใบสบาดเลื่อในการล้างหน้าเป็นประจำต่อเนื่อง เช้า–เย็น วัตถุประสงค์แบบอนุกรมเวลา ก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 2 4 8 และ 12 ประเมินผลจาก (1) คะแนนระดับความรุนแรงของสิ่วตามเกณฑ์ GAGS score (2) ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง และ (3) ความพึงพอใจของอาสาสมัครหลังการทดลอง ซึ่งจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า หลังใช้ผลิตภัณฑ์สบู่กลีเซอรีนผสมสารสกัดใบสบาดเลื่อ ค่าคะแนนระดับความรุนแรงของสิ่วค่อย ๆ ลดลงต่อเนื่อง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะสิ่วอักเสบ (papules pustules nodules) เห็นผลชัดเจนตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ส่วนสิ่วไม่อักเสบ (comedones) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังใช้ต่อเนื่องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากการดูแลทำความสะอาดผิวหน้าที่ถูก

วิธี ช่วยลดคราบสิ่งสกปรกบนใบหน้า โดยเฉพาะการล้างหน้าที่ถูกวิธีจะช่วยทำความสะอาดผิวได้อย่างหมดจด ลดโอกาสการเกิดสิ่วอุดตันและสิ่วอักเสบได้ (Government Pharmaceutical Organization, 2023) จากการทดสอบสบู่กลีเซอรีนที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาดเลื่อ เป็นสบู่ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 8–9 มีความชุ่มชื้นและมีความเป็นด่างเล็กน้อย อีกทั้งมีส่วนผสมของสารสกัดใบสบาดเลื่อที่มีหลักฐานเชิงประจักษ์สามารถลดการอักเสบที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ (Pandith, Zhang, Thongpraditchote, Wongkrajang, Gritsanapan & Baek, 2013) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Silaket, Pengproh and Boonrung (2020) ที่พบว่า น้ำหมักใบสบาดเลื่อที่ใช้เอทานอลร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลาย สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus* และ *Bacillus subtilis* ซึ่งเป็นสูตรเดียวกับที่ใช้ในการศึกษานี้ รวมทั้งการศึกษาของ Femi, Kolawole & Opeyemi (2022) ที่ได้ทำการทบทวนฤทธิ์ทางชีวภาพของสมุนไพรสบาดเลื่อ (*Chromolaena odorata*) พบว่า สารสกัดใบสบาดเลื่อด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ต้านการอักเสบและต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกในกลุ่ม *Bacillus subtilis* *Bacillus cereus* *Staphylococcus*

*aureus* และ *Staphylococcus epidermidis* ได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากสารสำคัญในพืชชนิดนี้ ได้แก่ tannins phlobatannins saponins flavonoids terpenoids alkaloids และ glycosides มีความสามารถในการแทรกซึมผ่านชั้นเปปไทโดไกลแคน (peptidoglycan) ที่มีรูพรุนหนาในผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก นำไปสู่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวได้ โดยเฉพาะสารในกลุ่ม terpenoids ที่มีความไวต่อเชื้อกลุ่มนี้ แม้ว่าจากการศึกษาดังกล่าวไม่มีงานวิจัยที่ระบุถึงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดสิว (*Propionibacterium acnes*) ในสารสกัดใบสบาดิ โดยตรง แต่จากกลไกการออกฤทธิ์ สันนิษฐานได้ว่าสารสำคัญในพืชดังกล่าว มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการเกิดสิวได้ด้วย จึงมีผลให้ค่าคะแนนระดับความรุนแรงของสิวก่อนและหลังการทดลองในสัปดาห์แรก ส่วนสิวก่อนการล้างหน้าด้วยสบูกลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาดิ ช่วยทำความสะอาดใบหน้า ขจัดคราบมัน สิ่งสกปรก ลดการอุดตันของรูขุมขน จึงช่วยลดการเกิดสิวกุดตันใหม่เพิ่มขึ้น และช่วยเร่งการผลัดเซลล์ผิวเพื่อกำจัดสิวกุดตันได้โดยเฉพาะในผู้ที่มีรูขุมขนกว้าง เนื่องจากเซลล์ผิวที่ตายแล้วแต่ไม่ยอมหลุด อาจผสมกับน้ำมันบนผิวและขนเล็ก ๆ ซึ่งในอนาคตอาจก่อให้เกิดเป็นสิวเสี้ยนหรือทำให้ผิวเกิดสิวกุดตันตามรูขุมขนได้ (Institute for Quality and Efficiency in Health Care, 2022) ทำให้จำนวนเม็ดสิวและค่าคะแนนระดับความรุนแรงของสิวก่อนและหลังการล้างหน้าเห็นผลชัดเจนในช่วง 2-4 สัปดาห์แรก จึงสรุปได้ว่า การล้างหน้าอย่างถูกวิธีร่วมกับการใช้สบูกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสบาดิในการล้างหน้าเป็นประจำต่อเนื่อง มีแนวโน้มในการช่วยลดการเกิดสิวกุดตันตามรูขุมขน ส่วนผลข้างเคียงที่เกิดขึ้น พบผลข้างเคียงที่ไม่เป็นอันตราย เช่น พบเป็นผดผื่นแดงบางจุด หน้าแห้ง หน้าลอก หรือเป็นสิวกุดตันเล็กน้อย เป็นต้น เนื่องจากสารสกัดใบสบาดิในเอทานอล ไม่มีความเป็นพิษเฉียบพลัน โดยมีค่า LD50 มากกว่า 20 กรัมต่อน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) (Bhavani, Ramya, Sandhya, Josthna & Naidu, 2022) และปริมาณสารสกัดที่ใช้ไม่ได้เป็นสารสกัดเข้มข้น จึงก่อให้เกิดการระคายเคืองหรือผลข้างเคียงได้น้อย รวมทั้งสบูกลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาดิ มีค่า pH ค่อนข้างต่ำเล็กน้อย อาจส่งผลให้เกิดภาวะหน้าแห้งตึง ลอกเป็นขุย พบผื่นแดงได้ เมื่อผิวหน้าแห้งก็จะไปกระตุ้นให้ผิวผลิตน้ำมันออกมาเพิ่มขึ้นส่ง

ผลให้เกิดความมันบนใบหน้า จึงอาจส่งผลให้เกิดภาวะเป็นสิวกุดตันได้ในบางราย (Tarun, Susan, Suria, Susan & Criton, 2014) ทั้งนี้เนื่องจากผิวหน้าของคนเรามีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ผิวมัน ควรเลือกผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ช่วยลดความมันบนใบหน้า แต่ไม่ทำให้ผิวหน้าแห้งตึงจนเกินไป เพราะอาจจะทำให้ผิวหน้ามันยิ่งขึ้นกว่าเดิม เพราะผิวหน้ามีการสร้างความมันขึ้นมาเพื่อเติมเต็มความชุ่มชื้นผิวที่ขาดหายไป คนผิวแห้ง ควรใช้ผลิตภัณฑ์ล้างหน้าที่มีส่วนผสมของสารบำรุงให้ความชุ่มชื้น และสามารถทำความสะอาดได้อย่างล้ำลึก แต่ไม่ทำให้ผิวแห้ง หลังทำความสะอาดผิวหน้าจะต้องไม่ตึง หรือเกิดเป็นขุย ผิวผสม ควรเลือกผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ผลิตออกมาโดยเฉพาะสำหรับผิวผสม เพราะผู้ที่มีผิวในลักษณะนี้ บางส่วนของใบหน้าจะมีความมันมากกว่าปกติ และในบางส่วนแห้งมากกว่าปกติ (Li et al., 2024) รวมทั้งการเติมน้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะลิลงไป แม้ว่า ส่วนประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์จากดอกมะลิ จะมีสาร linalool benzyl acetate and benzyl benzoate ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ (Nafees, Yousef, Shabana & Sirajudheen, 2016) ปริมาณที่แนะนำให้ใช้สูงสุดได้ไม่เกินร้อยละ 0.7 เนื่องจากเป็นสารก่อภูมิแพ้ผิวหนังที่มีความเสี่ยงในระดับปานกลาง อาจมีผลก่อให้เกิดการแพ้หรือการระคายเคืองในอาสาสมัครบางรายที่ไม่เคยมีประวัติการแพ้มาก่อนได้ (AromaWeb, 2022) ด้านการประเมินผลความพึงพอใจหลังใช้สบูกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสบาดิในการลดการเกิดสิวกุดตันตามรูขุมขน ติดต่อกันครบ 12 สัปดาห์ พบว่า มีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับมาก ทั้งด้านคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ และด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสบูกลีเซอรินผสมสารสกัดใบสบาดิ เป็นกลีเซอรินใส เมื่อผสมสารสกัดจากใบสบาดิ ให้สีเขียวใสแวววาวจากธรรมชาติ โดยไม่ใส่สารแต่งสี มีการแต่งกลิ่นน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์กลิ่นมะลิลงไปเล็กน้อย ทำให้มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสบู่เบื้องต้น ก่อนให้อาสาสมัครใช้จริง ทำให้อาสาสมัครมีความเชื่อมั่นในการใช้ เห็นผลการเปลี่ยนแปลง จึงเกิดความพึงพอใจในระดับมาก แต่ทั้งนี้อาสาสมัครได้เสนอแนะเพิ่มเติมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ควรมีการปรับสีของสบู่ให้ดูน่าใช้ยิ่งขึ้น ควรเพิ่มกลิ่นน้ำมันหอมระเหยให้มากขึ้น และมีหลากหลายกลิ่นให้

เลือก รวมทั้งควรมีบรรจุภัณฑ์ที่โดดเด่นเป็นเอกลักษณ์ของพืชสมุนไพรดังกล่าว เหมาะที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวหน้า เพื่อลดการเกิดสิว ซึ่งมีราคาไม่แพง สามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์วิสาหกิจชุมชน สร้างรายได้สร้างอาชีพให้คนในชุมชนต่อไปได้

### ข้อเสนอแนะ

เพื่อยืนยันผลการวิจัยให้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ดังนี้

1. ควรมีการศึกษากลุ่มเปรียบเทียบระหว่างการใช้สุกศึกษาการล้างหน้าอย่างถูกวิธีร่วมกับการใช้สบู่กลีเซอรินไม่ผสมสารสกัด (soap base) กับการใช้สุกศึกษาการล้างหน้าอย่างถูกวิธีร่วมกับการใช้สบู่กลีเซอรินที่มีส่วนผสมสารสกัดใบสบาดิเพื่อยืนยันผลทางสถิติที่แน่ชัดต่อการลดการเกิดสิวในกลุ่มวัยรุ่น

2. ควรศึกษา chemical stability ของสารสกัดใบสบาดิหรือสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เพื่อทราบประสิทธิภาพการลดสิวยังคงอยู่ และประสิทธิภาพทางชีวภาพของสบู่กลีเซอรินผสมสารสกัดใบสบาดิต่อการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดสิว *Propionibacterium acnes* (*P. acne*)

3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเจลล้างหน้าที่มีส่วนผสมของสารสกัดใบสบาดิ เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค และให้มีความจำเพาะต่อผิวของบุคคลมากขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในการสนับสนุนทุนวิจัย จำนวน 25,000 บาท และสำเร็จจุล่งด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูง



### References

- Alsulaimani, H., Kokandi, A., Khawandanh, S., & Hamad, R. (2020). Severity of Acne Vulgaris: Comparison of Two Assessment Methods. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 13, 711–716. <https://doi.org/10.2147/CCID.S266320>
- AromaWeb. (2022). *Jasmine Absolute Safety Information*. Retrieved from <https://www.aromaweb.com/essential-oils/jasmine-absolute.php>
- Bhavani, D. G., Ramya, K. S., Sandhya, S. D., Josthna, P., & Naidu, C. V. (2022). Phytochemical screening study in different parts of Chromolaena odorata by LC MS method and related parameters. *International Journal of Science and Research Archive*, 7(2), 128–140. <https://doi.org/10.30574/ijstra.2022.7.2.0239>
- Chengoh, A., Lohhem, S., Sinchai, P., & Muhamad, N. (2021). The properties of soap which contain the extract from Star Gooseberry (*Phyllanthus acidus* L.). In Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University (Eds.), *Proceeding of the 6th Nation Science and Technology Conference* (pp. 901-09). Songkhla: Songkhla Rajabhat University. (in Thai)
- Doshi, A., Zaheer, A., & Stiller, M. J. (1997). A comparison of current acne grading systems and proposal of a novel system. *International Journal of Dermatology*, 36(6), 416-8. <https://doi.org/10.1046/j.1365-4362.1997.00099.x>

- Faculty of Pharmacy, Silpakorn University. (2017). *Herbal medicine list: Siam weed*. Retrieved from [https://pharmacy.su.ac.th/herb/text/herb\\_detail.php?herbID=263](https://pharmacy.su.ac.th/herb/text/herb_detail.php?herbID=263) (in Thai)
- Femi, O., Kolawole, O., & Opeyemi, I. (2022). Biological activities of *Chromolaena odorata*: A mechanistic review. *South African Journal of Botany*, 144, 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.09.001>
- Government Pharmaceutical Organization. (2023). *If you want good skin, you need to know the correct way to wash your face. Clear skin without acne*. Retrieved from <https://l.skru.ac.th/roJ5m>. (in Thai)
- Hasnawati, H., & Prawita, E. (2010). Isolation and identification of antibacterial compound from *Eupatorium odoratum* L. leaves and its activity against *Staphylococcus Aureus* Atcc 25923 and *Escherichia Coli* Atcc 25922. *Majalah Obat Tradisional*, 15(1), 41-50. Retrieved from <https://www.neliti.com/publications/180908/isolation-and-identification-of-antibacterial-compound-from-eupatorium-odoratum#cite>
- Ibrahim, N. K., Nagadi, S. A., Idrees, H. J., Alghanemi, L. G., Essa, R. I., & Gari, W. S. (2019). Acne vulgaris: Prevalence, predictors, and factors influencing quality of life of female medical students at King Abdulaziz University, Jeddah. *Journal of Dermatology and Dermatologic Surgery*, 23(1), 7-12. [https://doi.org/10.4103/jdds.jdds\\_39\\_18](https://doi.org/10.4103/jdds.jdds_39_18)
- Institute for Quality and Efficiency in Health Care. (2022). *In brief: how does skin work*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279255/>
- Intachan, P., & Chokdeesumrit, W. (2020). Comparison of the effectiveness of topical 5% *Centella asiatica* gel versus topical 1% clindamycin gel in the treatment of acne vulgaris. *Journal of Medicine and Health Sciences*, 27(1), 1-11. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/jmhs/article/view/241798/164453> (in Thai)
- Jittsomnuk, I., & Nacapunchai, D. (2021). Efficacy of *cleome viscosa* linn. extract hydrogel on acne inflammation. *Research and Development Health System Journal*, 14(3), 111-124. Retrieved from <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/RDHSJ/article/view/254189> (in Thai)
- Li, H., Ma, D., Li, M., Yu, Z., Song, Y., & Ma, T. (2024). Facial adult female acne in China: An analysis based on artificial intelligence over one million. *Skin Research and Technology*, 30(4), 1-9. <https://doi.org/10.1111/srt.13693>
- Nafees, A., Yousef, H., Shabana, A., & Sirajudheen, A. (2016). Chapter 55 - Jasmine (*Jasminum sambac* L., Oleaceae) Oils, In Victor R. Preedy, (Eds.), *Essential oils in food preservation, flavor and safety* (pp. 487-494). United States: Academic Press

- Pandith, H., Zhang, X., Thongpraditchote, S., Wongkrajang, Y., Gritsanapan, W., & Baek, S. J. (2013). Effect of Siam weed extract and its bioactive component scutellarein tetramethyl ether on anti-inflammatory activity through NF-KB pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, 147(2), 434-441. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.03.033>
- Phonlam, T., Saeso, R., Rittison, J., Suebrasri, T., & Chansatein, O. (2022). Antibacterial activity of *Eupatorium ordortum* and *Centella asiatica* crude leaf extracts against *Staphylococcus aureus*. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 16(1), 99-105. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/252070> (in Thai)
- Silaket, P., Pengproh, R., & Boonrung, S. (2020). Phenolic compounds and antimicrobial activity of fermented Siam weed herb and application to produce cleaning solution in Saiyorw tourism villages and learning center, Thalung Lek district, Buriram province. *Journal of Community Development and Life Quality*, 8(1), 145–157. Retrieved from <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/JCDLQ/article/view/244586> (in Thai)
- Tarun, J., Susan, J., Suria, J., Susan, VJ., & Criton, S. (2014). Evaluation of pH of bathing soaps and shampoos for skin and hair care. *Indian J Dermatol*, 59(5), 442-444. <https://doi.org/10.4103/0019-5154.139861>
- Tujinda, P., & Worothai, S. (2017). Acne...not normal. Retrieved from <https://www.si.mahidol.ac.th/th/healthdetail.asp?aid=781>. (in Thai)
- Waranusantigul, P., Thophon, S., Phaenark, C., Kangwanrangsan, N., & Hanphakphoom, S. (2016). Antioxidant study of the crude extracts from *Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson. *SDU Research Journal*, 9(2), 31-58. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sdust/article/view/177782> (in Thai)



# ระเบียบวิธีการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับเครื่องตัดหลอดพลาสติกใส่หมอนบรรเทา การเกิดแผลกดทับด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ A Methodology of Engineering Design for a Plastic Straw Cutting Machine for Pillow Filling to Relieve Pressure Ulcer by QFD

ทศพร อัสวรางษ์<sup>1</sup> วรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์<sup>1\*</sup> และทงศักดิ์ คงสินธุ์<sup>1</sup>  
Tossaporn Assawarungsri<sup>1</sup> Wannalak Laotaweesub<sup>1\*</sup> and Tanongsak Kongsin<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
\*Corresponding author: wannalak.l@cit.kmutnb.ac.th

Received: December 20, 2024

Revised: June 2, 2025

Accepted: June 9, 2025

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องตัดหลอดสำหรับใส่หมอนป้องกันแผลกดทับ ด้วยวิธีการออกแบบเชิงวิศวกรรมลดปัญหาขณะตัดหลอดพลาสติกกระเด็นออกนอกภาชนะรองรับ หลอดบางชิ้นที่ตัดออกมามีลักษณะเป็นปลายแหลม บี้แบน และเมื่อตัดเป็นเวลานานทำให้ผู้ตัดเกิดการเมื่อยล้า จึงประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ด้วยบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) เป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้วิจัยทราบถึงข้อมูลเชิงเทคนิค และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาโครงสร้างฟังก์ชันการทำงาน พบว่าความต้องการที่สำคัญมีค่าน้ำหนักสูง 3 ลำดับแรกคือ รูปแบบการตัด ขั้นตอนการทำงานของผลิตภัณฑ์ และประเภทของมีด ซึ่งพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานทั้งหมดได้นำไปสร้างสรรค์แบบทางเลือกทำการผสมผสานเพื่อเลือกประกอบชิ้นส่วนของทุกระบบเข้าด้วยกันโดยแผนภูมิเมอร์โฟโลจิคอล (Morphological) ได้แบบทางเลือก 3 แนวคิด และประเมินเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เมทริกซ์ให้คะแนนแนวคิด (Concept Scoring Matrix) จากผลการประเมินจึงได้เครื่องตัดหลอดสำหรับใส่หมอนป้องกันแผลกดทับที่ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้งาน การทำงานของเครื่องใช้ระบบลำเลียงหลอดจากชุดเฟืองลำเลียงเข้าตัดเฉือนกับใบมีด โดยองศาของใบมีดที่เหมาะสมคือ 60 องศา สามารถตัดเฉือนได้คุณภาพของฝัวยอดตัดที่ดี ไม่เกิดความเสียหายจากการบี้แบน และเครื่องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง สามารถตัดหลอดได้ 5,250 ชิ้นต่อนาที และมีสวิตช์ฉุกเฉินสำหรับหยุดการทำงานในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

**คำสำคัญ:** การออกแบบเชิงวิศวกรรม การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ การสร้างสรรค์แนวคิด เครื่องตัดหลอดพลาสติก

## Abstract

This research aims to design a tube-cutting machine for pillow fillings used in pressure ulcer prevention, employing an engineering design approach. The study addresses common issues encountered during cutting, including plastic tubes scattering outside the container, some cut tubes having sharp or flattened ends, and operator fatigue from prolonged cutting. The Quality Function Deployment (QFD) technique was applied to optimize the design, utilizing the House of Quality (HOQ) tool to identify technical requirements. The analysis revealed that the three most critical factors, ranked by weight, were cutting method, operational sequence, and blade type. The identified design parameters were synthesized into alternative design concepts through a Morphological Chart, resulting in three potential design concepts. The most suitable concept was then selected using a Concept Scoring Matrix. The final design of the tube-cutting machine meets user requirements and features a conveyor system that transports tubes to the cutting blade. The optimal blade angle was 60 degrees, ensuring high-quality cuts without deformation or damage. Additionally, the machine operates continuously, achieves a cutting capacity of 5,250 tubes per minute, and has an Emergency Switch to stop working in an emergency.

**Keywords:** engineering design, Quality Function Deployment, conceptual design, plastic straw cutting machine



## บทนำ

ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ นักออกแบบต้องจัดการกับความต้องการ หน้าที่การทำงาน รูปแบบหรือคุณลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ต้องเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยในระหว่างกระบวนการออกแบบจำเป็นต้องอาศัยทั้งความคิดสร้างสรรค์ควบคู่กับความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมเพื่อค้นหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับจัดการปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งบางครั้งต้องอาศัยองค์ความรู้และประสบการณ์จากการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักออกแบบมือใหม่ที่ต้องดำเนินการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่มีความซับซ้อน ทำให้เกิดโอกาสที่จะผิดพลาดได้ง่าย (Janthong, 2012) ได้กล่าวถึง ความซับซ้อนที่เกิดขึ้นในการออกแบบ มีที่มาจากหลายสาเหตุ อาทิ ความต้องการด้านหน้าที่การทำงานของตัวผลิตภัณฑ์ จำนวนของชิ้นส่วนประกอบที่ต้องเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน และเทคโนโลยีที่ใช้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนา

แนวทางและระเบียบวิธีการปฏิบัติที่ชัดเจน สามารถปฏิบัติตามได้โดยง่ายเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดข้อผิดพลาดในระหว่างกระบวนการออกแบบ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความล่าช้าเนื่องจากต้องมีการแก้ไขซ้ำไปซ้ำมา

หลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรมซึ่งมีอยู่หลากหลายวิธี (Yodwangjai, 2015) ได้รวบรวมและเปรียบเทียบเอาไว้ โดยให้ข้อสรุปว่า การออกแบบเชิงวิศวกรรม (engineering design) (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote, 2007) มุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาการออกแบบทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล การระบุหน้าที่การทำงานจากภาพรวมจนถึงระดับย่อย พร้อมทั้งค้นหาแนวทางที่เป็นไปได้สำหรับแก้ปัญหาในลักษณะภาพรวมของแนวคิด ส่วนเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) (Aka, 2024) ช่วยแปลงความต้องการของลูกค้าสู่คุณลักษณะทางวิศวกรรม ตลอดจนการออกแบบในระดับชิ้นส่วนให้ตอบ

รับกับความต้องการของลูกค้า และหลักการ Axiomatic Design: AD (Suh, 1990) ช่วยลดความซับซ้อนในการออกแบบผ่านการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างหน้าที่การทำงานและพารามิเตอร์การออกแบบ หลักการที่กล่าวมานี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ (Assawarungsri & Janthong, 2016; Promsui, 2018; Janthong, 2019) ผลลัพธ์ที่ได้ตอบรับกับความต้องการได้เป็นอย่างดี รวมถึงลดช่วงเวลาในการออกแบบและพัฒนาได้ อย่างไรก็ตาม (Yodwangjai, 2015) กล่าวว่า ในการระบุหลักการการทำงาน และโครงสร้างการทำงาน นั้นยังขาดความชัดเจนเพียงพอในการเชื่อมโยงข้อมูลไปยังเฟสถัดไป นอกจากนี้การสร้างต้นแบบ (prototype) จำเป็นต้องได้รับข้อมูลมากพอที่จะทดสอบและทวนสอบให้สอดคล้องกับความต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้หลักของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาประยุกต์ผสมผสานเข้าด้วยกัน เพื่อให้การออกแบบครอบคลุมตั้งแต่การแปลงความต้องการลูกค้าเป็นฟังก์ชันที่ต้องการ ค้นหาคุณลักษณะชิ้นส่วน ออกแบบชิ้นส่วน ประกอบกันเป็นผลิตภัณฑ์ จนกระทั่งได้ต้นแบบที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการ

โดยกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้พบปัญหาจากการสังเกตกลุ่มจิตอาสาในการตัดหลอดสำหรับทำใส่หมอนป้องกันแผลกดทับด้วยกรรไกร หลอดที่ได้จากการตัดด้วยกรรไกรมีลักษณะปลายแหลม บี้แบน และกระเด็นออกนอกภาชนะบรรจุ จึงคิดแนวทางการออกแบบเครื่องตัดหลอดที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าว มีข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งาน ดังนี้ ต้องการตัดหลอดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ยาว 210 mm ให้มีความยาวท่อนละ 10 mm ปลายหลอดต้องไม่เป็นมุมแหลมหรือบี้แบน ไม่กระเด็นขณะตัดราคาของเครื่องไม่สูงมาก

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบเชิงวิศวกรรม (Pahl et al., 2007) และโมเดลในการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Jansch & Birkhofer, 2006) ถูกประมวลขึ้นเป็นมาตรฐานโดยสมาพันธ์วิชาชีพวิศวกรรมแห่งสาธารณรัฐเยอรมัน เรียกว่า มาตรฐานวิธีการออกแบบเชิงระบบของผลิตภัณฑ์และระบบทางวิศวกรรม (VDI 2221–Systematic Approach to the Design of

Technical Systems and Products) ซึ่งมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาทางวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ เป็นการประยุกต์ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ให้สามารถตอบโจทย์ปัญหาและตอบสนองต่อความต้องการ ผ่านความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ของผู้ออกแบบ โดยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเชิงระบบมีขั้นตอนพื้นฐาน แบ่งออกเป็น 4 เฟส (1) Task clarification เป็นการจัดการและทำความเข้าใจถึงสิ่งที่ต้องทำ ทีมออกแบบต้องแปลงความต้องการของลูกค้าเป็นข้อมูลทางเทคนิคเพื่อระบุข้อกำหนดของแบบผลิตภัณฑ์ (2) Conceptual Design สร้างแนวคิดการออกแบบจากข้อมูลที่ได้รับ จากนั้นค้นหาหลักการ ทฤษฎี หรือแนวทางการแก้ไขปัญหาที่สามารถอธิบายถึงหน้าที่การทำงาน โครงสร้างการทำงาน คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ และแนวคิดผลิตภัณฑ์ (3) Embodiment Design ลงรายละเอียดการออกแบบ จากการกำหนดโครงสร้างผลิตภัณฑ์ซึ่งจะพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ (เช่น รูปร่าง ขนาด ตำแหน่งติดตั้ง คุณสมบัติของชิ้นส่วน วัสดุ) นำไปสู่การออกแบบระดับชิ้นส่วน และเลือกแนวคิดให้สอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และ (4) Detail Design จัดเตรียมแบบสั่งผลิต ซึ่งต้องพิจารณาถึงขนาด คุณสมบัติ วัสดุ ขั้นตอนการผลิต ประเมินต้นทุน และข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปสู่กระบวนการออกแบบในขั้นตอนถัดไป

การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) (Akao, 2024) มุ่งเน้นที่การตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการแปลงความต้องการของลูกค้าจากเสียงเรียกร้องของลูกค้า (Voice of Customers: VOCs) ให้เป็นความต้องการทางด้านเทคนิคของผลิตภัณฑ์ ไปสู่คุณลักษณะทางวิศวกรรม ต่อเนื่องไปตลอดทั้งกระบวนการ ผ่านการตั้งคำถามว่าอะไร (WHATs) คือสิ่งที่ลูกค้าต้องการหรือวัตถุประสงค์ ส่วนคำตอบที่ต้องตอบให้ได้ว่าทำอย่างไร (HOWs) จึงจะตอบสนองได้ตามวัตถุประสงค์ดังกล่าว วิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกันในบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) รูปแบบของ QFD ประกอบด้วย 4 เฟส เริ่มตั้งแต่ (1) การวางแผนผลิตภัณฑ์ (product planning) เป็นการรวบรวมความต้องการของลูกค้า (voice of customers) จากการตอบแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ หรือวิธีอื่น ๆ จากนั้นแปลงเป็นความต้องการควบคู่กับการพิจารณาเป็นคุณลักษณะทางวิศวกรรม ตามด้วยการจัดลำดับความ

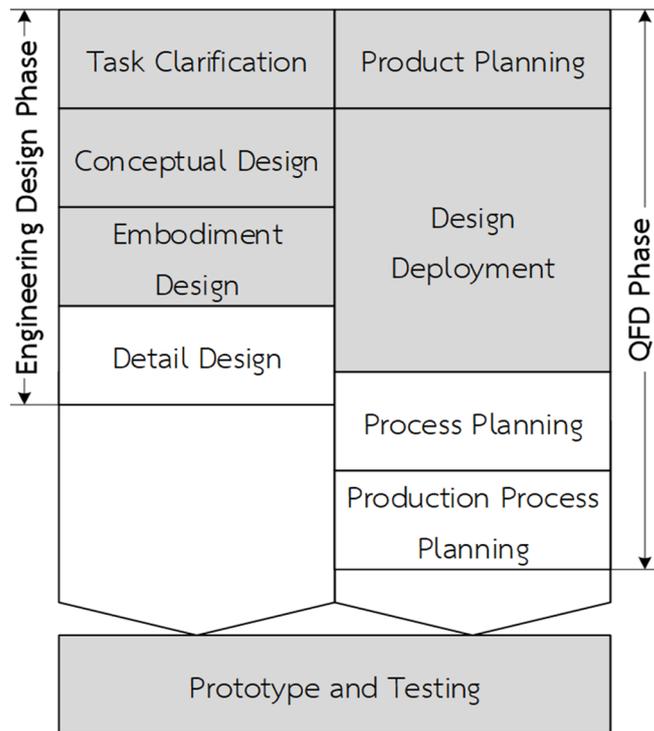
สำคัญ (2) การแปลงการออกแบบ (design deployment) แปลงข้อมูลจากเฟสที่ 1 เป็นระบบย่อย (sub-system) และชิ้นส่วน (parts) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะและคุณภาพที่สำคัญ (3) การวางแผนกระบวนการ (process planning) เป็นการเชื่อมโยงการออกแบบไปสู่ความสามารถในการปฏิบัติงาน โดยระบุกระบวนการหลักและย่อย เพื่อให้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อการปฏิบัติงานในทุกขั้นตอน และสามารถปรับปรุงงานได้ สุดท้าย (4) การวางแผนปฏิบัติการผลิต (production process planning) เป็นการแสดงรายละเอียดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิต เช่น การตั้งค่าเครื่องจักร วิธีการควบคุม และการตรวจสอบ เพื่อให้การผลิตได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า

ถึงแม้ว่าในแต่ละวิธีการจะมีแนวทางที่ชัดเจน ยังคงมีข้อจำกัดในการสร้างสรรค์แนวคิดในการออกแบบ รวมถึงข้อจำกัดที่อยู่นอกเหนือความต้องการของลูกค้า มาพิจารณาในระหว่างการทำเนิกิจกรรมการออกแบบในระดับชิ้นส่วนย่อย จึงเป็นเหตุให้ต้องมีการศึกษาเทคนิคการออกแบบต่าง ๆ เพื่อผสมผสานเข้าไปในแนวทางการออกแบบเพื่อให้สามารถดำเนินกิจกรรมการออกแบบในระดับชิ้นส่วนให้สามารถตอบรับกับความต้องการของลูกค้าได้ แสดงรายละเอียดดังภาพ 1

กระบวนการออกแบบเครื่องจักรเริ่มจากการเลือกโครงการตามความต้องการของลูกค้า (product discovery) จากนั้นทำการจัดทำแผนการออกแบบ โดยรวบรวมความต้องการของลูกค้าและสร้างข้อกำหนดทางวิศวกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการนั้น ต่อมาใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ และพัฒนาเอกสารคู่มือการใช้งาน และการบำรุงรักษา หากข้อกำหนดไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า จะต้องปรับปรุงหรือล้มเลิกโครงการ (García-León, Rodríguez-Castilla & Quintero-Quintero, 2020) การพัฒนาออกแบบใหม่ของหัวเครื่องอัดสำหรับใช้งานเซรามิกในการพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้เทคนิค QFD เพื่อรับประกันคุณภาพที่ต้องการในกระบวนการออกแบบ โดยสร้างแนวคิดต่าง ๆ สำหรับการพิมพ์ชิ้นส่วนขนาดใหญ่ วิธี QFD ช่วยสร้างข้อกำหนดใหม่สำหรับเครื่องอัดพิมพ์ ซึ่งสามารถรับประกันการออกแบบกลไกหรือชิ้นส่วนใหม่ของเครื่องจักรได้ โดยช่วยแปลงความต้องการของลูกค้าสู่คุณลักษณะทาง

วิศวกรรม ตลอดจนการออกแบบในระดับชิ้นส่วนให้ตอบกับความต้องการของลูกค้า (El Mesbahi, Buj-Corral & El Mesbahi, 2020) ในการออกแบบโครงสร้างเครื่องจักรสำหรับอุปกรณ์ใต้น้ำกระบวนการสำคัญในการวิจัยและพัฒนาซึ่งวิธีการออกแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพต่ำและความน่าเชื่อถือที่อ่อนแอ จึงมีการใช้วิธี QFD ในการออกแบบเครื่องจักรของอุปกรณ์พลังงานใต้น้ำ เพื่อให้การออกแบบมีทิศทางชัดเจนและใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้โมเดลบ้านของคุณภาพ (House of Quality: HoQ) และการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) เพื่อจำลองลักษณะงานทางกล ประกันความแข็งแรงและความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง (Lo, Tseng & Chu, 2010) มีการนำเสนอวิธีการใหม่ที่ใช้ QFD ร่วมกับแผนภาพรูปทรง 3D เพื่อสนับสนุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายและพัฒนาแล้ว โดยนำความต้องการของลูกค้าเข้ามาพัฒนาแผนภาพผ่าน One-Step QFD ซึ่งที่มจากการตลาด การออกแบบ และการผลิตร่วมกันกำหนดความต้องการจากสามมุมมอง ผลลัพธ์ที่ได้สร้างแนวคิดการออกแบบที่มีความเป็นไปได้สูงในรูปแบบการประกอบ 3D เพื่อการมองเห็นที่ดีกว่า การทดลองแสดงว่าเครื่องมือนี้ช่วยในการสร้างแนวคิดนวัตกรรมได้เร็วขึ้นพร้อมกับรักษาความสามารถในการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระเบียบวิธีการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทาง VDI 2221 ผสมผสานกับ QFD เพื่อแก้ปัญหาการออกแบบ โดยเริ่มจากในการแปลงความต้องการของลูกค้า สร้างสรรค์แบบทางเลือก และการคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมสำหรับจัดสร้างเป็นเครื่องต้นแบบประยุกต์ระเบียบวิธีดังกล่าวกับกรณีศึกษาการออกแบบเครื่องตัดหลอดพลาสติกให้มีขนาดสั้นลง เพื่อนำไปใช้เป็นไส้หมอนป้องกันแผลกดทับสำหรับผู้ป่วยติดเตียง



ภาพ 1 เปรียบเทียบโมเดลการออกแบบระหว่างการออกแบบเชิงวิศวกรรม และ QFD

### ระเบียบวิธีการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ระเบียบวิธีการออกแบบในงานวิจัยนี้ผสมผสานเทคนิค QFD เข้ากับหลักการในการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ การทำความเข้าใจกับปัญหาและสิ่งที่ต้องทำ (problem and task clarification) และการออกแบบแนวคิด (conceptual design) ซึ่งมีขั้นตอนย่อย โดยเริ่มจาก (1) การแปลงความต้องการของลูกค้า (2) การวิเคราะห์คุณลักษณะทางวิศวกรรม (3) การพิจารณาความสัมพันธ์และกำหนดเป้าหมาย ซึ่งแสดงภายในบ้านคุณภาพ จากนั้นดำเนินการ (4) สร้างโครงสร้างฟังก์ชัน (5) สร้างสรรค์แบบทางเลือก และ (6) ประเมินแบบทางเลือกนำไปสู่การสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบการทำงาน แสดงขั้นตอนดังภาพ 2

#### 1. การแปลงความต้องการของลูกค้า

การแปลงเสียงเรียกร้องของลูกค้า (ผู้บริโภครู้ ผู้ใช้และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย) โดยแปลงเสียงเรียกร้องของลูกค้า (VOCs) ให้เป็นความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements: CRs) เนื่องจากผู้ออกแบบมักได้รับ

ข้อมูลที่ไม่ชัดเจน ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบถ้อยคำที่บรรยายถึงคุณลักษณะหรืออาจเป็นทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพ ดังนั้น การทำความเข้าใจกับปัญหาการออกแบบและสิ่งที่ลูกค้าต้องการ ตลอดจนถึงการแปลงข้อมูลไปเป็นความต้องการของลูกค้า แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ (1) ความต้องการหน้าที่ในการทำงาน (Functional Requirements: FRs) และ (2) คุณสมบัติที่ต้องการ ซึ่งเกิดขึ้นจากการศึกษาการทำงานของปฏิบัติงานและการฟังเสียงข้อเรียกร้องของลูกค้า พร้อมทั้งประเมินความสำคัญของความต้องการของลูกค้า (Importance: IMP) โดยให้คะแนน 1 ถึง 5 เพื่อบอกว่าความต้องการข้อใดสำคัญต่อลูกค้ามากที่สุด

#### 2. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางวิศวกรรม

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านวิศวกรรม (Engineering Characteristics; ECs) เป็นการแปลงความต้องการของลูกค้า (CRs) ไปเป็นพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติและสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ที่ต้องการ และสามารถวัดค่าได้ ซึ่งจะสอดคล้องกับหัวข้อ 2.3

### 3. การกำหนดความสัมพันธ์และค่าเป้าหมาย

ในทุกพารามิเตอร์ของคุณลักษณะทางวิศวกรรม นักออกแบบต้องทำการศึกษาลักษณะที่คู่แข่ง หรือลักษณะการใช้งานผลิตภัณฑ์ที่กำหนด เพื่อกำหนดเป็นค่าเป้าหมาย (target value)

3.1 กำหนดความสัมพันธ์ (correlation matrix) ส่วนของหลังคาบ้าน เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณลักษณะทางวิศวกรรมที่มีผลต่อกันและกันว่ามี ความสัมพันธ์ต่อกันอย่างไร แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ความสัมพันธ์เสริมกัน (“+”) หรือและความสัมพันธ์ขัดแย้งกัน (“-”) นำข้อมูลความสัมพันธ์เหล่านี้มาพิจารณาประกอบ เพื่อช่วยในการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและกำหนดความสัมพันธ์ (relationship matrix) ส่วนกลางของบ้าน โดยให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรมที่แสดงด้วยตัวเลข (1 3 และ 9) แทนความสัมพันธ์ (น้อย ปานกลาง และมาก) เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความพึงพอใจของลูกค้าได้ชัดเจน และเพื่อให้ทราบว่า (ECs) มีผลต่อความพึงพอใจของลูกค้ามากน้อยเพียงใด

3.2 คำนวณค่าความสำคัญและกำหนดค่าเป้าหมาย ประกอบด้วยเป้าหมายและความสำคัญของฟังก์ชันการทำงานกับคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรม คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญแต่ละข้อ เพื่อให้ผู้ออกแบบทราบถึงสิ่งที่ต้องได้การเอาใจใส่เป็นอย่างสูงและต้องคำนึงถึงก่อนหลังตามลำดับ อีกทั้งยังช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบและพัฒนาให้ตอบสนองความต้องการลูกค้าได้มากที่สุด คำนวณหาความสำคัญและนำคุณลักษณะทางวิศวกรรมทั้งหมดไปกำหนดเป้าหมาย โดยผู้ออกแบบควรพิจารณาจากคะแนนความสำคัญของคุณลักษณะทางคุณภาพ ร่วมกับการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางวิศวกรรมของคู่แข่งเพื่อกำหนดเป้าหมายที่เหมาะสม

### 4. การสร้างโครงสร้างฟังก์ชันการทำงาน

การสร้างโครงสร้างฟังก์ชันการทำงาน (functional structure) เป็นการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน โดยเน้นไปที่สิ่งที่ต้องการออกแบบและปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไข (Ameri, Summers, Mocko & Porter, 2008; Hubka,

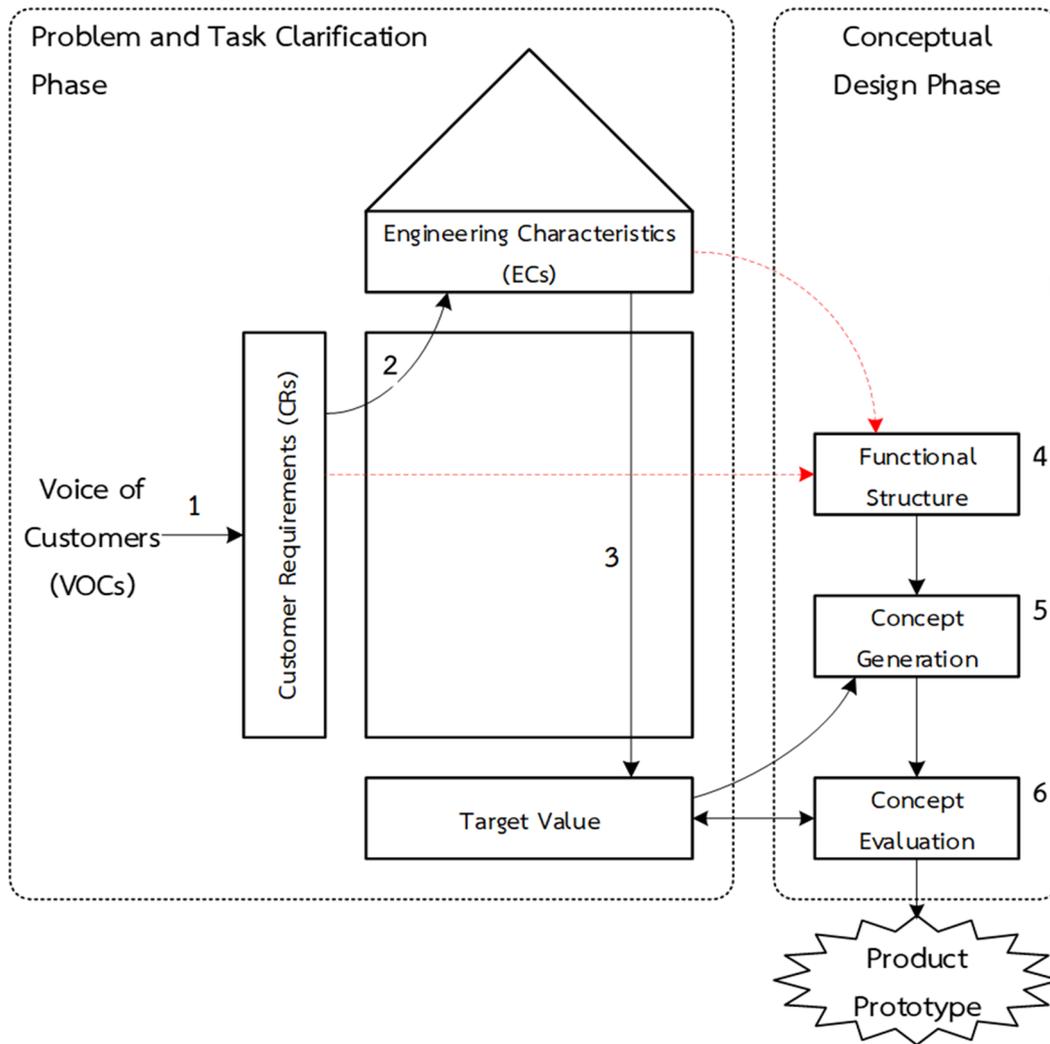
2015) ได้แสดงตัวอย่างและการนำไปประยุกต์ใช้ในการพิจารณาความซับซ้อนในงานออกแบบ ซึ่งในการวิเคราะห์หน้าที่การทำงานจะแทนที่ด้วยกล่องสี่เหลี่ยมหรือกล่องดำ (black box) ที่อยู่ในรูปของการเปลี่ยนอินพุต (Input) เป็นเอาต์พุต (Output) ในภาพรวมก่อน จากนั้นทำการแยกฟังก์ชันการทำงานสู่ระบบย่อยให้สอดคล้องกับความต้องการ ข้อกำหนด และคุณลักษณะทางวิศวกรรม พร้อมทั้งนำมาเชื่อมโยงกันเป็นแผนผังโครงสร้างฟังก์ชันการทำงาน ของระบบหรือสิ่งที่ต้องการออกแบบ แสดงดังภาพ 3

### 5. การสร้างสรรค์แบบทางเลือก

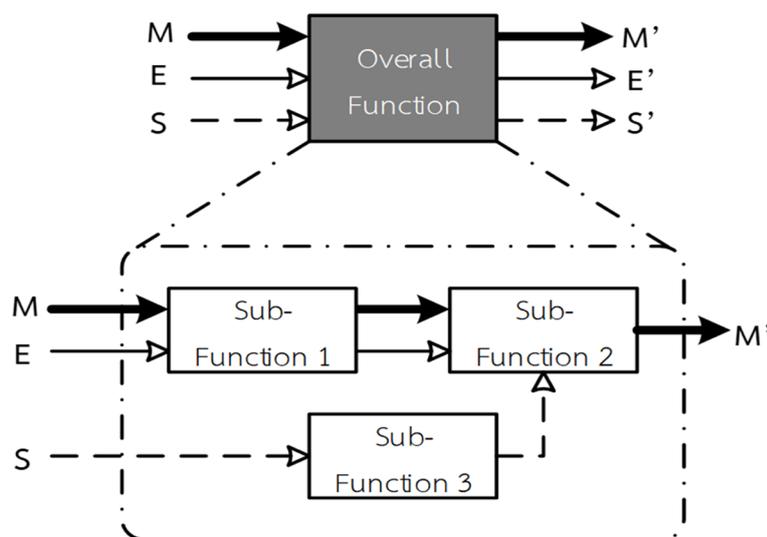
การสร้างแบบทางเลือก (concept generation) (Cross, 2008; Ulrich & Eppinger, 2015) เป็นการสำรวจหรือค้นหาหลักการการทำงาน (Design Principles) ที่สามารถทำให้เกิดกลไกการทำงานตามที่กำหนดของแต่ละฟังก์ชันย่อยของผลิตภัณฑ์ ทำการเลือกผสมผสานหลักการการทำงานของแต่ละระบบฟังก์ชันย่อยเข้าด้วยกัน โดยอาศัยวิธีการสร้างแผนภูมิออร์โพลอจิคอล (morphological chart) เพื่อสร้างแบบทางเลือกหรือแนวคิด แสดงดังภาพ 4

### 6. การประเมินแบบทางเลือก

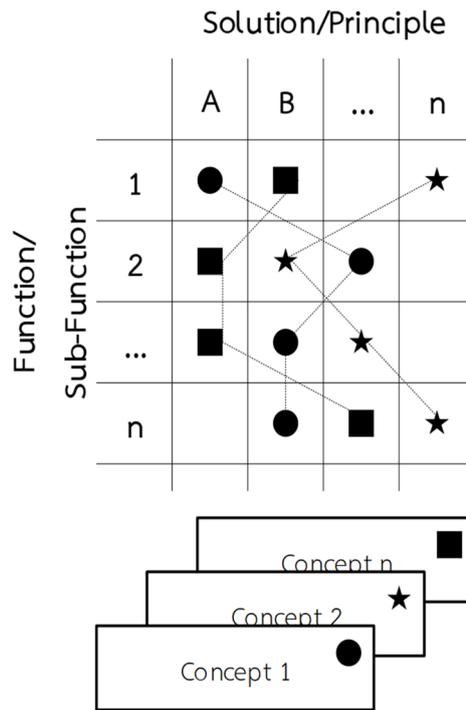
แบบทางเลือกที่ถูกพัฒนาขึ้นจะถูกนำมาประเมินเพื่อคัดเลือกแนวคิดที่ดีที่สุด ผู้ออกแบบต้องกำหนดเกณฑ์ให้ชัดเจนเพื่อเปรียบเทียบแนวคิดเหล่านั้น แนวทางหนึ่งที่ย่าง และมีประสิทธิภาพ คือ การใช้เมทริกซ์ประเมินแนวคิดด้วยการให้คะแนนแนวคิด (concept scoring matrix) (Cross, 2008; Ulrich & Eppinger, 2015) วิธีนี้เป็นการคัดเลือกแนวคิดที่ดีที่สุด โดยนำแนวคิดต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกันตามเกณฑ์ที่ตั้งขึ้นและให้คะแนนตามความเหมาะสมแต่ละแนวคิด ในทางปฏิบัติจะต้องเลือกผลิตภัณฑ์อ้างอิงมา 1 อย่าง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันและมีกลุ่มลูกค้าเดียวกัน โดยคิดค่าน้ำหนักความสำคัญเป็นเปอร์เซ็นต์ และแนวคิดผลิตภัณฑ์อ้างอิงกำหนดคะแนนเท่ากับ 3 รวบรวมคะแนนการเปรียบเทียบ ค่าคะแนนที่ได้นำมาพิจารณาจุดเด่นจุดด้อย นำมาคัดกรองต่อแล้วเลือกแนวคิดที่มีคะแนนสูงสุด



ภาพ 2 ระเบียบวิธีการทำงาน



ภาพ 3 การวิเคราะห์โครงสร้างฟังก์ชันการทำงาน



ภาพ 4 การสร้างสรรค์แบบทางเลือก

**กรณีศึกษาการออกแบบเครื่องตัดหลอดพลาสติกใส้หมอน  
บรรเทาการเกิดแผลกดทับ**

1. การแปลงความต้องการของลูกค้า

จากการสอบถามจิตอาสา ร่วมกับการสังเกตพฤติกรรมในการใช้งานกรไรตัดหลอดสำหรับใส้หมอนของผู้เข้าร่วมโครงการ สิ่งที่พบ คือ มีผู้เข้าร่วมโครงการ 20-60 คนต่อวัน สลับผลัดเปลี่ยนกันเข้ามา โดยเฉลี่ย 1 คนสามารถตัดได้ประมาณ 28 ชิ้นต่อนาที และพบปัญหาที่เกิดขึ้นกับหลอด คือ บางชิ้นเป็นปลายแหลมบี้แบน บางชิ้นกระเด็นออกนอกภาชนะรองรับ อีกทั้งเมื่อตัดเป็นเวลานานทำให้เกิดอาการเมื่อยล้าต้องหยุดพัก เมื่อสอบถามผู้ดูแลโครงการให้ทราบว่าทางโครงการต้องการอุปกรณ์ตัดที่สามารถตัดหลอดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ยาว 210 mm ให้มีความยาวขึ้นละ 10 mm โดยมีราคาที่ไม่สูงมากนัก

อย่างไรก็ดีกรไรตัดหลอดพลาสติกสำหรับใส้หมอนของโครงการต่ออายุหลอด พบว่ามีลักษณะการใช้งานเริ่มต้นจากการดันหลอดให้ชนกับแผ่นพลาสติกที่กำหนดระยะการตัดอยู่ที่ 10 mm ใช้แรงส่งผ่านมือและปลายนิ้วกดบังคับขากรไรให้ตัดเหมือนหลอด เมื่อทำการประเมินกรไรตัดของทางโครงการพบว่า ข้อดีที่ต้องคงไว้ใน การออกแบบ คือ มีขั้นตอนการใช้งานที่ง่าย ดูแล

รักษาง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก มีความปลอดภัยในการใช้งานและตัดหลอดได้ตามขนาดที่ต้องการ รวมถึงสิ่งต้องได้รับการออกแบบและพัฒนา คือ (1) การกระเด็นของหลอดออกนอกภาชนะรองรับ (2) ตัดหลอดให้ได้จำนวนมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถระบายหลอดออกจากคลังได้มากขึ้น คณะผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อแปลงเป็นหน้าที่ในการทำงานตามความต้องการและหาค่าเฉลี่ยระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้าในด้านปัจจัยต่อความพึงพอใจแสดงรายละเอียดดังภาพ 5

2. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางวิศวกรรม

นำฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการ (functional requirements) มาตีความ และแปลงให้เป็นคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรม (engineering characteristics) แสดงดังภาพ 5 เพื่อนำไปสู่การออกแบบชิ้นส่วนในระบบย่อยต่างๆ จากการสร้างโครงสร้างฟังก์ชันการทำงาน (function structure) เพื่อวิเคราะห์ฟังก์ชันจากภาพรวมสู่ฟังก์ชันย่อย

3. การกำหนดความสัมพันธ์และค่าเป้าหมายคุณลักษณะทางวิศวกรรม

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางวิศวกรรมทั้งหมด 9 ข้อ แต่ละข้อกำหนดความสัมพันธ์ (correlation matrix) ซึ่งทำให้มองเห็นภาพรวมของคุณลักษณะทางวิศวกรรมที่

มีความสัมพันธ์กัน แสดงดังภาพ 5 (สามเหลี่ยมส่วนบน) และทำการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรมด้วยเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (relationship matrix) โดยจะเห็นได้ว่าคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรมสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้มากกว่าหนึ่งความต้องการ เช่น ประเภทมิตตัด มีความสัมพันธ์กับความต้องการของลูกค้า คือ ความสามารถในการตัดตลอดได้จำนวนมาก ให้ 9 คะแนน ตัดตลอดได้ตามขนาดความต้องการให้ 5 คะแนน ปลายหลุดที่ตัดไม่เป็นมุมแหลมหรือบีบแบนให้ 9 คะแนน หลอดไม่กระเด็นขณะตัดให้ 1 คะแนน สามารถใช้งานได้ง่ายให้ 5 คะแนน มีความสะดวกในการขนย้ายให้ 1 คะแนน ดูแลรักษาได้ง่ายให้ 9 คะแนน และมีความปลอดภัยในการใช้งานให้ 1 คะแนน แสดงดังภาพ 5 (ส่วนกลาง)

3.1 ค่าน้ำหนักความสัมพันธ์นี้ทำการคำนวณเพื่อสรุปลำดับของความสำคัญของฟังก์ชันการทำงานและลักษณะทางด้านวิศวกรรม สรุปได้ว่า ชั้นส่วนมาตรฐานมีความสำคัญมากที่สุด รองลงมาคือ ชั้นตอนการทำงานของผลิตภัณฑ์ รูปแบบการตัด ประเภทมิตตัด ขนาดผลิตภัณฑ์ ปุ่มนิรภัย ชั้นตอนการทำงานของคน ความยาวหลอด และจำนวนหลอด ตามลำดับ จากนั้นนำคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรมมาแปลงให้เป็นค่าเป้าหมายเพื่อนำไปสู่กระบวนการสร้างโครงสร้างฟังก์ชันในการออกแบบแนวคิดต้นแบบ

3.2 ค่าเป้าหมาย (Target Values: T) ส่วนนี้เป็นการตั้งเป้าหมายในการออกแบบ และพัฒนาว่า ควรมีเป้าหมายอย่างไร การกำหนดเป้าหมายต้องเป็นค่าที่วัดได้ โดยคุณลักษณะทางวิศวกรรมจะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างหรือแนวคิดต้นแบบให้สามารถทำงานได้ตรงตามเป้าหมายของคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรมที่กำหนดไว้โดยแปลงคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรมให้เป็นค่าเป้าหมาย เช่น (EC2) ระยะห่างของการตัด (T2) หลอดที่ถูกตัดมีความยาว 10 mm

### 3.4 การสร้างโครงสร้างฟังก์ชัน

จากคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรมดังแสดงในภาพ 5 นำไปวิเคราะห์เพื่อหาฟังก์ชันการทำงานหลัก และฟังก์ชันการทำงานย่อย โดยความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันหลักและย่อยจะถูกควบคุมจากคุณลักษณะทางวิศวกรรมกับค่าเป้าหมาย การสร้างบล็อกโตอะแกรมด้วยกล่องดำ (black box) จะช่วยในการแยกความแตกต่างระหว่างฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันย่อย โดยมีการสร้างโครงสร้างตั้งแต่

ฟังก์ชันโดยรวม ก่อนจะแยกแสดงให้เห็นฟังก์ชันย่อย ดังภาพ 6 เพื่อนำไปสู่กระบวนการสร้างสรรค์แบบทางเลือก และเพื่อออกแบบชิ้นส่วนของระบบย่อยแต่ละระบบต่อไป

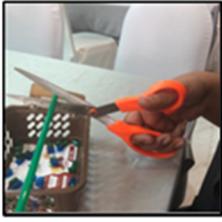
### 3.5 การสร้างสรรค์แบบทางเลือก

การออกแบบแนวคิดชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองต่อฟังก์ชันหลักในการทำงานของระบบและฟังก์ชันการทำงานเสริมเพิ่มเติม โดยการออกแบบนี้มาจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงตัดแปลงจากอุปกรณ์เครื่องจักรในอุตสาหกรรมอื่น ๆ มาปรับรูปแบบประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม โดยดีไซน์โซลูชันเป็นไปตามเป้าหมาย และนำชิ้นส่วนที่ผ่านการประเมินคัดเลือกมาแล้วมาเลือกประกอบเพื่อผสมผสานระบบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้แผนภูมิออร์โพลิจคอลล กระทั่งได้เครื่องตัดตลอดพลาสติกสำหรับใส่หมอนป้องกันแผลกดทับออกมาเป็น 3 แนวคิด ดังตาราง 1 และแสดงภาพรวมของแบบทางเลือก ดังตาราง 2

### 3.6 การประเมินแบบทางเลือก

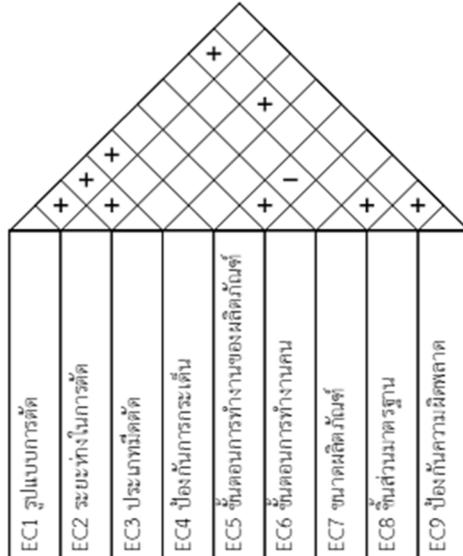
นำแนวคิดทั้ง 3 รูปแบบของเครื่องตัดตลอดพลาสติกมาประเมินเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้หลักเกณฑ์ความต้องการโดยให้คะแนน เรียงลำดับความพึงพอใจจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด โดยนำกรรไกรตัดตลอดที่ใช้โครงการมาเป็นตัวเปรียบเทียบ พร้อมทั้งให้ผู้เข้าร่วมโครงการตัดตลอดมีส่วนร่วมในการประเมินทางเลือก ซึ่งเกณฑ์ในการให้คะแนนจะมีการกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์แต่ละข้อ เพื่อช่วยให้การตัดสินใจมีความเหมาะสมและความแม่นยำมากขึ้น หลังจากทำการประเมินแนวความคิด พบว่าผลคะแนนรวมของแนวคิดที่ 1 มีคะแนนสูงสุด ซึ่งแต่ละโมดูลมีประสิทธิภาพและตรงต่อความต้องการ แสดงดังภาพ 7

จากผลการประเมิน “แนวคิดที่ 1” เป็นแบบที่ถูกคัดเลือกให้เป็นแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกรณีศึกษา นี้ จึงได้ดำเนินการจัดทำแบบรายละเอียดโดยกำหนดรูปร่างขนาดวัสดุที่ใช้ อย่างชัดเจน รวมถึงจัดทำแบบภาพประกอบ เพื่ออธิบายตำแหน่งการประกอบของแต่ละชิ้นส่วน แสดงดังภาพ 8 และลักษณะการทำงานของ Design 1 แสดงดังภาพ 9



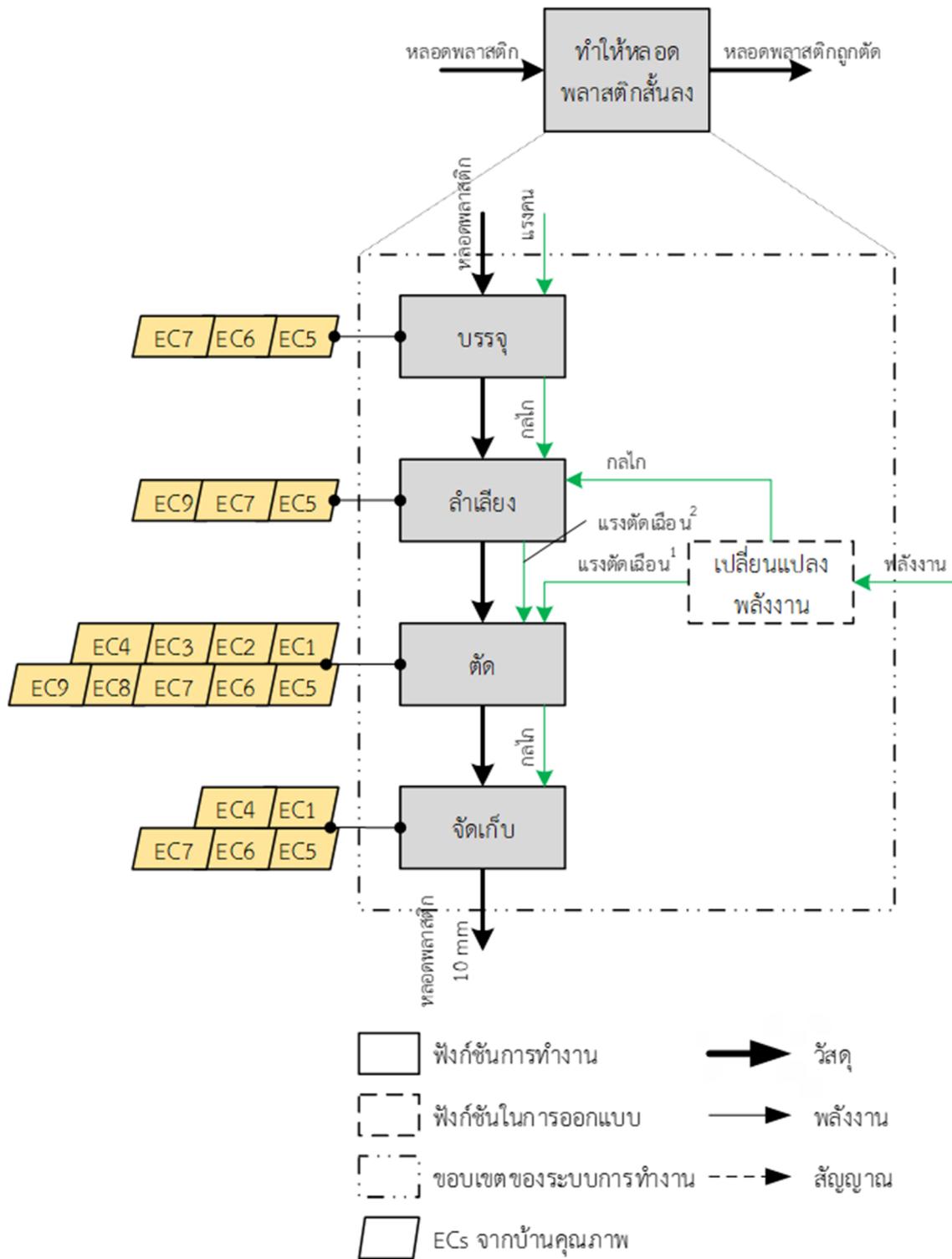
ขั้นตอนการทำงาน ตัดและหลอดที่ถูกต้องมีลักษณะเป็นแบบ

VOCs
1. ตัดหลอดพลาสติก ขนาด ๘ 6 mm ยาว 210 mm ให้มีความยาว 10 mm
2. ปลายที่ถูกต้องไม่เป็นมุมแหลมหรือเป็นแบน
3. ไม่กระเด็น
4. ราคาไม่สูงมาก



Customer Requirement		IMP	Engineering Characteristics									กรรไกร (เดิม)	
หน้าที่	ตัดหลอดได้จำนวนมากและลดการเมื่อยาล้าขณะตัดเดือน	5	9	9	9		9	9					2
	ตัดหลอดได้ตามขนาดความยาวที่ต้องการ	5	9	9	9		5				5		5
	ปลายหลอดที่ตัดไม่เป็นมุมแหลมหรือแบน	5	9	9	9		5						2
	หลอดไม่กระเด็นออกขณะตัดเดือน	4.7	5				9	9				5	
คุณสมบัติ	ใช้งานง่าย	5	5	5	5	5	9		9	5	9		5
	ขนย้ายได้สะดวก	3.7	1		1	5		5	9	5			5
	ดูแลรักษาง่าย	4.5	9	5	9	5		9	9	9	5		5
	มีความปลอดภัยในการใช้งาน	5	5	1	1	1	9	9		9	9		5
ค่าน้ำหนักความสัมพันธ์			252.7	187.5	209.2	113.3	227.3	149	118.8	177.5	112.5		
เป้าหมาย			T1 มากกว่า 200 ชิ้นต่อนาที	T2 ตัดหลอดได้มีความยาว 10 mm	T3 แรงตัดเดือน 50.4 N	T4 ระยะเวลาตัดต่ำกว่า 500 mm	T5 ไม่เกิน 2 ชิ้นต่อคน	T6 ไม่เกิน 3 ชิ้นต่อคน	T7 ไม่เกิน 700 mm x 700 mm x 1200 mm	T8 ดอตประกอบตามแต่ยี่ห้อ	T9 หยุดการทำงาน		

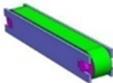
ภาพ 5 บ้านแห่งคุณภาพ



ภาพ 6 โครงสร้างฟังก์ชันการทำงานของเครื่องตัดหลอต

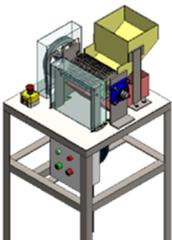
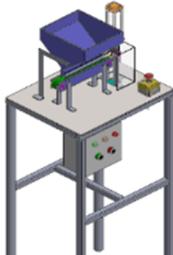
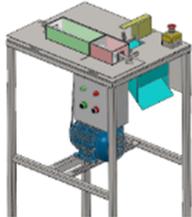
ตาราง 1

Morphological Chart

หน้าที่	ทางเลือกการออกแบบ			
	A	B	C	D
1) บรรจุ				
2) ลำเลียง	 สายพาน	 เฟือง	 แผ่นสไลด์	 ลูกกลิ้ง
3) ตัด				
3-1) รูปแบบ	 สลิตเตอร์	 มีด	 คัตเตอร์	 มีดกลม
3-2) ลักษณะ	 ตัดตรงคมเดียว	 ตัดตรงหลายคม	 คมตัดหมุนคู่ไม่มีฟัน	 คมตัดหมุนคงที่
4) จัดเก็บ				

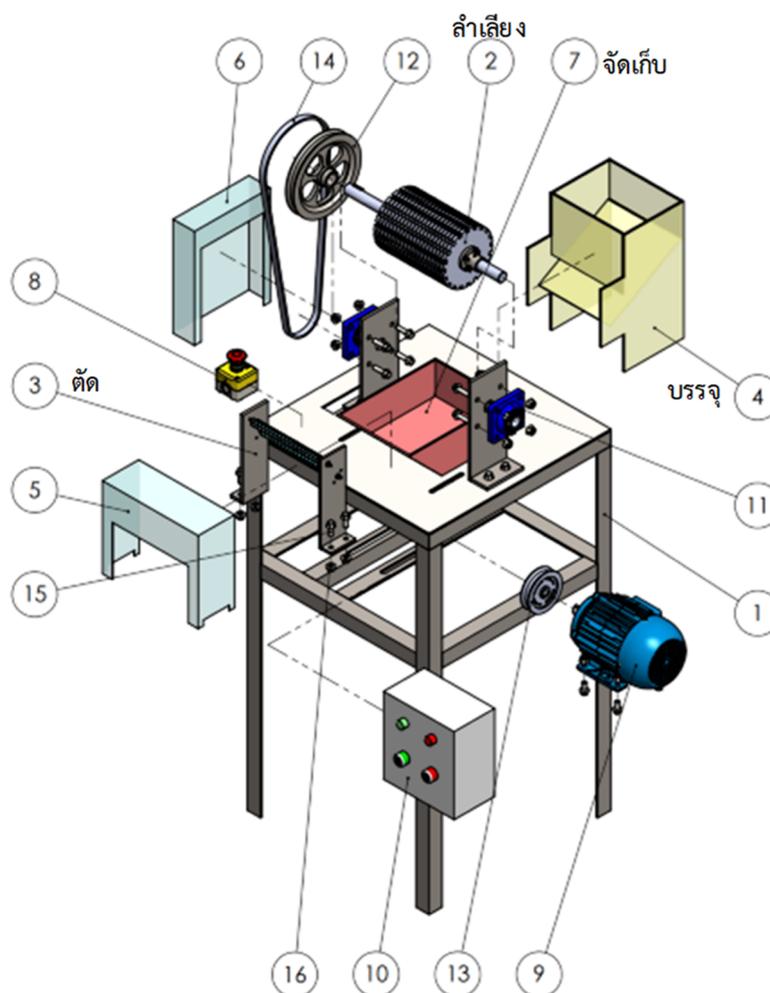
ตาราง 2

แบบทางเลือก

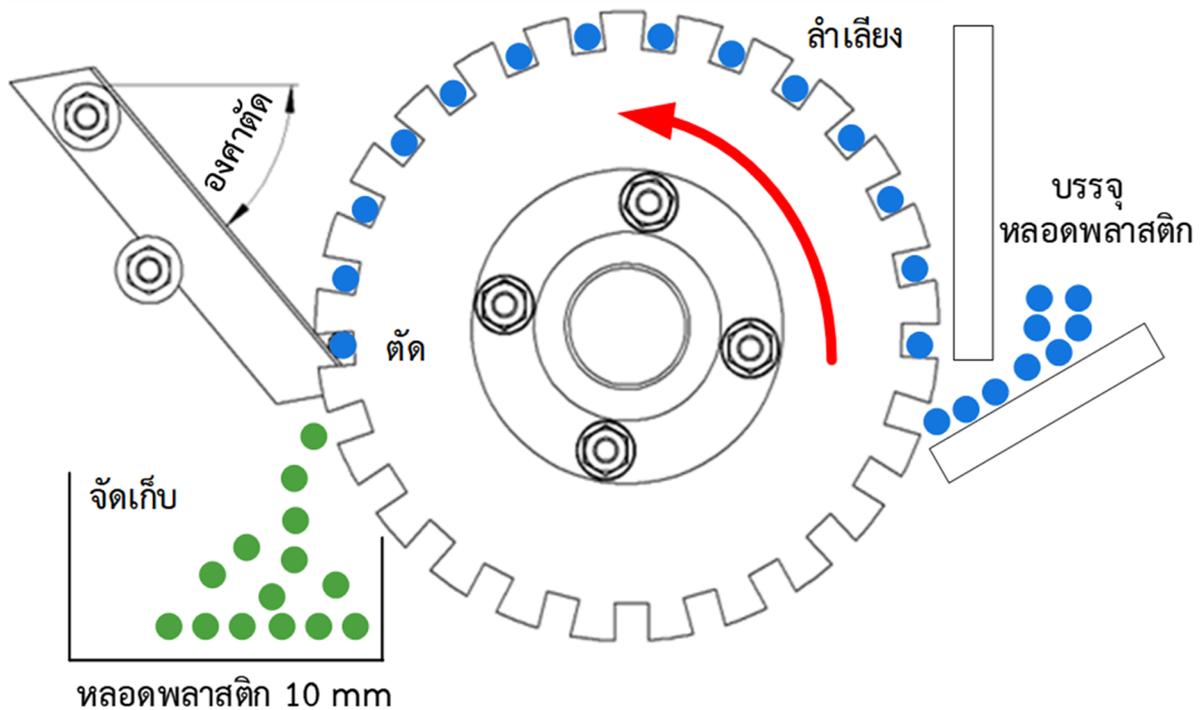
Design 1	Design 2	Design 3
		
ส่วนผสม 1 C+ 2 B+ 3 - 1 A+ 3 - 2B+2B	ส่วนผสม 1A+2A+3-1B+3- 2A+4C	ส่วนผสม 1 D+ 2 C+ 3 - 1 C+ 3 - 2D+4C

Criteria	Wt	Ref.		D1		D2		D3	
		R	S	R	S	R	S	R	S
C1 ปริมาณที่ตัดได้	0.20	3	0.6	5	1	4	0.8	4	0.8
C2 โอกาสที่หลุดเสียหาย	0.25	3	0.75	3	0.75	3	0.75	3	0.75
C3 บำรุงรักษา	0.15	3	0.45	2	0.3	1	0.15	2	0.3
C4 ความสะดวกในการทำงาน	0.15	3	0.45	4	0.6	5	0.75	3	0.45
C5 ความปลอดภัยในการทำงาน	0.25	3	0.75	5	1.25	5	1.25	5	1.25
Total	1.00	3		3.9		3.7		3.55	
Rank		4		1		2		3	

ภาพ 7 ประเมินแบบทางเลือก



ภาพ 8 รายละเอียดของ Design 1



ภาพ 9 ลักษณะการทำงานของ Design 1

### 3.7 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

เมื่อดำเนินการจัดทำต้นแบบเสร็จแล้ว เครื่องต้นแบบประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12/24V บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชุดโซ่ส่งกำลัง ชุดบรรจุหลอดพลาสติกเข้า/ออก ชุดลำเลียง (แผ่นอะคริลิกซ้อนกัน) และชุดใบมีดตัด ดังแสดงในภาพ 10 (ก) จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของต้นแบบเครื่องตัดหลอดพลาสติก โดยการป้อนหลอดพลาสติกความยาว 60 mm ใส่กล่องบรรจุหลอดด้วยคน และปล่อยให้หลอดพลาสติกลำเลียงด้วยเฟืองลำเลียงไปยังใบมีดตัด กำหนดความเร็วรอบที่ 10 รอบต่อนาที ปรับเปลี่ยนองศาตัด 3 มุม ได้แก่ 30 45 และ 60 องศา แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องต้นแบบดังภาพ 9 และค่าเฉลี่ยผลการทดสอบดังตาราง 3

ผลการทดสอบพบว่า ที่มุมตัด 30 และ 45 องศา หลอดบางส่วนไม่ขาดออกจากกัน รวมถึงมีบางส่วนที่ถูกตัดแล้วติดอยู่ระหว่างเฟืองลำเลียง อย่างไรก็ตามที่มุมตัด 60

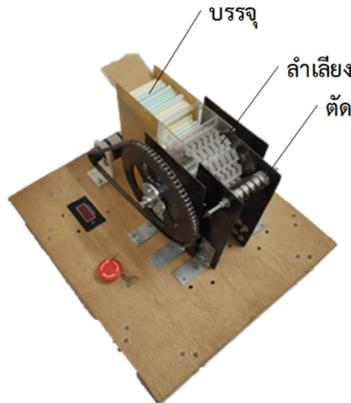
องศา หลอดที่ถูกลำเลียงเข้าตัดเหมือนกับใบมีดสามารถตัดหลอดพลาสติกได้ โดยเกิดความเสียหายน้อย มีคุณภาพของรอยตัดที่ดี และไม่บี้แบน

จากการทดสอบการทำงานต้นแบบชุดตัดหลอดพลาสติกโดยใช้องศาตัด ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการตัดเนื้อโดยเปรียบเทียบจากการตั้งใบมีดตัดทั้ง 3 มุม ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางจะบ่งบอกอย่างชัดเจนว่ามุมมีดตัดที่ 60 องศา มีจำนวนหลอดบี้แบน/เสียรูป และจำนวนหลอดที่ตัดไม่ขาดน้อยกว่าองศาอื่น อีกทั้งยังมีจำนวนหลอดที่ดีเป็นจำนวนมากกว่าการติดตั้งองศาใบมีดที่ 30 และ 45 องศา

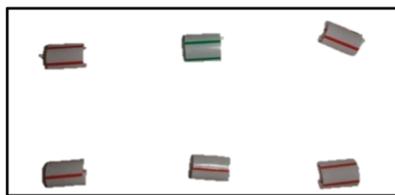
ตาราง 3

ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบการตัดหลอดพลาสติกที่องศาตัดต่างกัน

ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบการตัดหลอดพลาสติก ที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที (ชิ้น/นาที)			
องศาตัด	หลอดดี	หลอดที่ตัดไม่ขาด	หลอดบี้แบน/เสียรูป
30 องศา	162	25	593
45 องศา	507	34	239
60 องศา	761	17	2



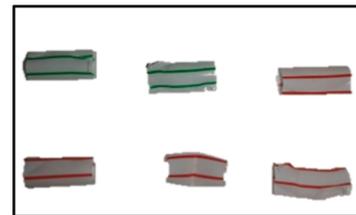
(ก) ต้นแบบเครื่องตัดหลอดพลาสติก



(ข) หลอดดี

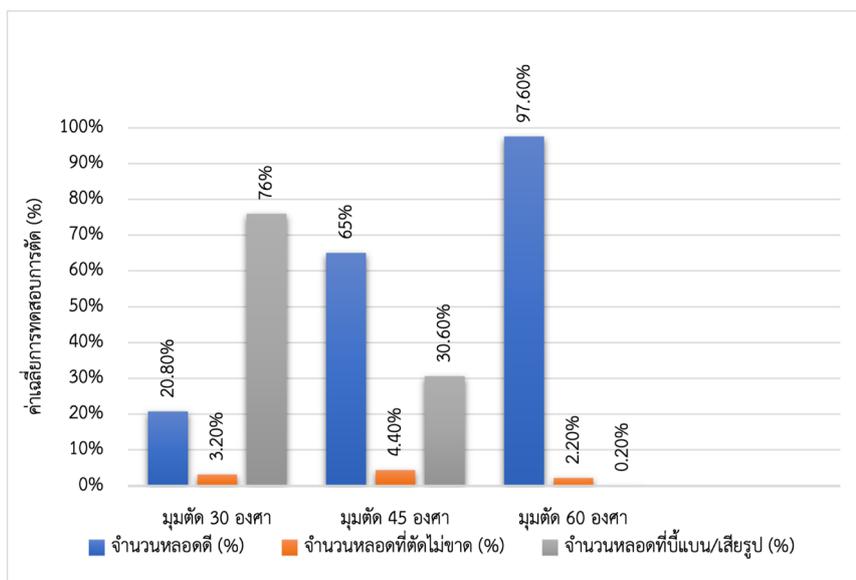


(ค) หลอดที่ตัดไม่ขาด



(ง) หลอดบี้แบน

ภาพ 10 เครื่องต้นแบบและลักษณะของหลอดที่ได้



ภาพ 11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตัดหลอดพลาสติกที่องศาตัดต่างกัน

## สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระเบียบวิธีการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ที่มุ่งเน้นการตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยการรวบรวมความต้องการ แล้วแปลงให้เป็นข้อมูลเชิงเทคนิคด้วยบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) เพื่อให้ทราบเป้าหมายข้อจำกัด คุณลักษณะทางวิศวกรรม และลำดับก่อนหลังที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค้นหาโครงสร้างฟังก์ชันการทำงานของระบบ ทั้งฟังก์ชันการทำงานหลักและฟังก์ชันการทำงานย่อย ด้วยกล่องดำ (black box) นำพารามิเตอร์ที่ได้ทั้งหมดไปสร้างสรรคแบบทางเลือกโดยใช้องค์ความรู้ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมของผู้ออกแบบ ออกแบบชิ้นส่วน และผสมผสานเป็นแบบทางเลือกด้วยแผนภูมิเมอร์โฟโลจิคอล (Morphological Chart) จนได้แบบทางเลือก จากนั้นประเมินเลือกแนวคิดที่เหมาะสม โดยใช้เมทริกซ์ประเมินแนวคิดด้วยการให้คะแนนแนวคิด (concept scoring matrix) สุดท้ายนำแนวคิดที่ได้ไปสร้างเป็นต้นแบบเพื่อทดสอบการทำงาน

ผลการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีดังกล่าวกับกรณีศึกษา พบว่า การออกแบบมีการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนการดำเนินงานที่ชัดเจน ทั้งยังลดความผิดพลาด การลองผิดลองถูกและเวลาในการดำเนินงาน ทำให้งานมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ต้นแบบเครื่องตัดหลอด

พลาสติกทำงานได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า และเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งสามารถตัดหลอดได้จำนวน 780 ชิ้นต่อนาที ผลการทดสอบต้นแบบ พบว่าการตัดหลอดโดยตั้งมุมตัดที่ 60 องศา ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสามารถตัดเดือนได้คุณภาพของรอยตัดที่ดี ไม่เกิดความเสียหาย คิดเป็นจำนวนหลอดดีร้อยละ 97.6 จำนวนหลอดที่ตัดไม่ขาดร้อยละ 2.2 และจำนวนหลอดที่เสียรูปร้อยละ 0.2

นอกจากนั้นยังพบว่า ผู้ออกแบบสามารถค้นพบจุดบกพร่องและสามารถค้นหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งข้อบกพร่องดังกล่าวเกิดขึ้นจาก 2 ปัจจัย คือ การกำหนดค่าเป้าหมายของคุณลักษณะทางวิศวกรรมที่สามารถทำได้ชัดเจนเพียงแคในระดับของผลิตภัณฑ์เท่านั้น ข้อจำกัดด้านวัสดุไม่ได้แปลงเป็นพารามิเตอร์ที่ชัดเจน รวมถึงข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนประกอบ ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อกำหนดวิธีในการแปลงข้อจำกัดเป็นคุณลักษณะทางวิศวกรรม รวมถึงการกระจายค่าเป้าหมายไปสู่การออกแบบที่ระดับชิ้นส่วน

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ Res-CIT0623/2022



## References

- Akao, Y. (2024). *Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design*. USA: CRC Press.
- Ameri, F., Summers, J. D., Mocko, G. M., & Porter, M. (2008). Engineering design complexity: An investigation of methods and measures. *Research in Engineering Design*, 19, 161–179. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0053-2>
- Assawarungsri, T., & Janthong, N. (2016). A methodology to designing of an add-on module for automatic machine: Case study gripper module of CNC machining center. *Srinakharinwirot Engineering Journal*, 11(2), 1-13. Retrieved from <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SwuENGj/article/view/8301/7373>
- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. Wiley. Retrieved from <https://books.google.co.th/books?id=oilCPgAACAAJ>

- El Mesbahi, J., Buj-Corral, I., & El Mesbahi, A. (2020). Use of the QFD method to redesign a new extrusion system for a printing machine for ceramics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111, 227–242. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05874-x>
- García-León, R., Rodríguez-Castilla, M., & Quintero-Quintero, W. (2020). Analysis of a molding machine using methodologies and theories of design. *IOP*, 1708(1), 012026.
- Hubka, V. (2015). *Principles of engineering design*. Amsterdam: Elsevier.
- Jänsch, J., & Birkhofer, H. (2006). The development of the guideline VDI 2221-the change of direction. *Presented at the DS 36: Proceedings DESIGN 2006, the 9th International Design Conference*. (pp. 45-52). Dubrovnik: The Design Society
- Janthong, N. (2012). The reduction of complexity in engineering design. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 4(1), 84-99. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pnujr/article/view/53726>
- Janthong, N. (2019). Combining QFD and FBS in a Design Methodology of Engineered Products: A Case Study of Woven Bag Clamping Devices. *Srinakharinwirot University Engineering Journal*, 14(1), 33–43. Retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/sej/article/view/149401>
- Lo, C.-H., Tseng, K. C., & Chu, C.-H. (2010). One-Step QFD based 3D morphological charts for concept generation of product variant design. *Expert Systems with Applications*, 37(11), 7351–7363. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.028>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). *Engineering design: A systematic approach*. Springer London. Retrieved from <https://books.google.co.th/books?id=57aWTCE3gE0C>
- Promsui, K. (2018). An application of axiomatic design and constraints relation matrix in engineering design process. *Srinakharinwirot University Engineering Journal*, 12(2), 71–82. Retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/sej/article/view/136859>
- Suh, N. P. (1990). *The principles of design*. UK: Oxford University Press
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2015). *Product design and development*. Retrieved from <https://books.google.co.th/books?id=UGrcoQEACAAJ>
- Yodwangjai, S. (2015). Product Design and Development Process. *Journal of Engineering and Innovation*, 8(1), 131–142. Retrieved from [https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eng\\_ubu/article/view/84412/67214](https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eng_ubu/article/view/84412/67214) (in Thai)



การประยุกต์ใช้หลักวิศวกรรมในการเตรียมรับมืออุทกภัย  
กรณีศึกษาบ้านธารปราสาท ต.ธารปราสาท อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา  
Application of Engineering Tool in Flood Preparedness:  
A Case Study of Ban Than Prasat Village, Than Prasart Subdistrict,  
Amphoe Non Sung, Nakhon Ratchasima

รชนีกร พลปัดพี<sup>1</sup> ธนาคาร ศรีมะเร็ง<sup>1</sup> ธรรมศ วัฒนวงศ์วิสุทธิ<sup>1</sup> และพรศิริ จงกล<sup>1\*</sup>

Rachaneekorn Polpattapee<sup>1</sup>, Tanakan Seemaroeng<sup>1</sup>,

Thad Wattanawongwisut<sup>1</sup> and Pornsiri Jongkol<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>1</sup>Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

\*Corresponding author: pornsiri@sut.ac.th

Received: December 21, 2024

Revised: February 1, 2025

Accepted: February 5, 2025

## บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ และการวิจัยแบบประยุกต์ โดยใช้ชุมชนบ้านธารปราสาท ต.ธารปราสาท อ.โนนสูง จ.นครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา วัตถุประสงค์ของการวิจัยมีดังนี้ (1) เพื่อศึกษาข้อมูลของครัวเรือนโดยวิธีการสำรวจ (2) เพื่อสำรวจความสูงของพื้นที่และพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากในกรณีศึกษา (3) เพื่อศึกษารูปแบบการให้ความรู้เกี่ยวกับการเตรียมความพร้อมและการป้องกันอันตรายจากอุทกภัยที่สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน (4) เพื่อจัดทำแผนการอพยพจากครัวเรือนไปยังจุดอพยพโดยใช้วิธี Capacitated Facility Location Problem: CFLP งานวิจัยได้สำรวจพื้นที่ชุมชนประกอบด้วยพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก และความสูงของพื้นที่ นอกจากนี้ได้สอบถามสมาชิกชุมชนจำนวน 23 ครัวเรือน ประชากร 129 คน ข้อมูลในงานวิจัยมีทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานของสมาชิกในครัวเรือน ข้อมูลความสูงของพื้นที่ชุมชน ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากของชุมชน ข้อมูลความจุของพื้นที่อพยพ และข้อมูลระยะทางระหว่างชุมชนไปยังจุดอพยพ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่สำรวจมาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา CFLP ในการกำหนดพื้นที่อพยพให้แก่ชุมชน ผลการวิจัยพบว่า จุดอพยพที่ได้จากการสำรวจมีทั้งหมด 5 จุด ได้แก่ วัดบ้านปราสาท องค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาท วัดใหม่เกษม โรงเรียนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และหลุมขุดค้น 3 ผลการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการหาจุดอพยพที่ใกล้ที่สุดและสามารถรองรับจำนวนผู้อพยพได้อย่างเพียงพอ ปรากฏว่า ชุมชนบ้านธารปราสาทควรอพยพไปยังวัดบ้านปราสาท ซึ่งมีระยะทางในการอพยพรวม 0.6 กิโลเมตร พื้นที่สำหรับจอดยานพาหนะรวม 4,200 ตารางเมตร พื้นที่ส่วนตัวรวม 3,000 ตารางเมตร และมีห้องน้ำ 16 ห้อง ผลการสอบถามเกี่ยวกับรูปแบบการอบรมเรื่องการเตรียมพร้อมและการรับมืออุทกภัยไปปฏิบัติได้จริง พบว่าชุมชนสนใจการอบรมเชิงปฏิบัติการมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 56.83 รองลงมาเป็นการอบรมเชิงระดมความคิดเห็นคิดเป็นร้อยละ 23.86 และการอบรมเชิงบรรยายคิดเป็นร้อยละ 19.32

**คำสำคัญ:** การสำรวจพื้นที่ แผนอพยพ แบบจำลองคณิตศาสตร์ อุทกภัย การเตรียมรับมืออุทกภัย

## Abstract

This study was a survey and applied research conducted in Ban Than Prasat Village, Than Prasart Subdistrict, Amphoe Non Sung, Nakhon Ratchasima. The objectives of this study were: (1) to study household information through a survey, (2) to explore elevation and flood-prone areas in the case study, (3) to study methods of providing knowledge regarding flood preparedness and danger prevention that satisfy community needs, and (4) to develop an evacuation route from households to evacuation points using the (CFLP) method. The research surveyed various community areas, including living spaces, elevations, and flood zones, with 129 participants from 23 households. Data were divided into five categories: household members, elevation, flood zones, evacuation capacity, and distance to evacuation areas, then analyzed using the CFLP model. The survey results showed that five possible evacuation areas were Ban Prasart Temple, Than Prasart Subdistrict Administrative Office, Mai Kasem Temple, the Provincial Electricity Authority School, and Excavation Pit 3. Using the mathematical model to determine the closest evacuation areas that sufficiently accommodated evacuees, Ban Prasart Temple was selected. The distance from the community to Ban Prasart Temple was 600 meters, with a 4,200 square meter car park, 3,000 square meters of personal space, and a total of 16 washrooms. From the results of training people in the community, most participants 56.83% found that practical training was the most interesting method. The training method with the second highest percentage was brainstorming, accounting for 23.86%, and followed by lecture-based training, which accounted for 19.32%.

**Keywords:** area survey, evacuation plan, mathematical models, flood, flood preparedness



## บทนำ

ปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทยเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่องมายาวนาน เนื่องจากตั้งอยู่ในภูมิภาคที่มีมรสุมเข้ามาทุกปี และมีแม่น้ำลำคลองกระจายทั่วประเทศ หากปริมาณน้ำฝนมากเกินไป แม่น้ำหรือคลองจะรองรับได้ น้ำจะเอ่อล้นเข้าท่วมพื้นที่ต่าง ๆ ทำให้เกิดน้ำท่วมขังและสร้างความเสียหายต่อชุมชน เช่น ในปี พ.ศ. 2553 เมืองหาดใหญ่ประสบปัญหาน้ำท่วมขังทั้งเมือง โดยระดับน้ำสูงสุดถึง 3.3 เมตร (Sakphet et al., 2016) ซึ่งเป็นภาวะวิกฤตที่มีผลกระทบสูงต่อประเทศ (Nimiphan & Balakanich, 2017) ในปี พ.ศ.2554 ประเทศไทยเผชิญกับอุทกภัยครั้งรุนแรงที่สุดเป็นประวัติการณ์ มีจังหวัดที่ได้รับผลกระทบทั้งสิ้น 74 จังหวัด ประชาชนได้รับความเดือดร้อน 16 ล้านคน มูลค่าความเสียหายทั้งสิ้นประมาณ 23 ล้านบาท

ส่งผลให้เกิดความเสียหายทางภาคเกษตรและโครงสร้างพื้นฐานอย่างรุนแรง ซึ่งพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (National Hydroinformatics Data Center, 2023) โดยจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่มากที่สุดในประเทศ ได้รับผลกระทบต่อสังคมและเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่น้ำท่วมประชาชนไม่สามารถเดินทางได้อย่างปกติ รวมถึงที่อยู่อาศัยที่เสียหาย ส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันและสุขภาพของประชาชนหรือภาวะแห่งความสมบูรณ์ของร่างกาย จิตใจ และการดำรงชีวิตอยู่ในสังคม (Seethalanuchit, 2018)

บ้านธารปราสาท ต.ธารปราสาท อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา เป็นชุมชนเก่าแก่ตั้งอยู่บริเวณริมน้ำ โดยมีลำปราสาทไหลผ่านกลางหมู่บ้าน ดังภาพ 1 เมื่อระดับน้ำ

ในคลองปราสาทที่มีปริมาณสูงขึ้นจนคลองไม่สามารถรองรับได้ทำให้เกิดน้ำท่วมเข้าที่อยู่อาศัยบริเวณริมน้ำอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ.2565 ชุมชนนี้ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมฉับพลันมากกว่าชุมชนอื่น ๆ ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนในชุมชนอย่างมาก ดังภาพ 2 การเตรียมความพร้อมรับมืออุทกภัยน้ำท่วมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการเตรียมการล่วงหน้า โดยการส่งเสริมให้ชุมชนสามารถช่วยเหลือตัวเองได้เบื้องต้นก่อนการช่วยเหลือจากส่วนกลางจะมาถึงต้องใช้เวลอย่างน้อย 24 ชั่วโมง (Rattakul, 2012)

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาข้อมูลของครัวเรือนโดยวิธีการสำรวจพื้นที่ชุมชนบ้านธารปราสาท ต.ธารปราสาท อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา
2. เพื่อสำรวจความสูงของพื้นที่และพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากพื้นที่ชุมชนบ้านธารปราสาท ต.ธารปราสาท อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา
3. เพื่อศึกษารูปแบบการให้ความรู้เกี่ยวกับการเตรียมความพร้อมและการป้องกันอันตรายจากอุทกภัยที่สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน
4. เพื่อจัดทำแผนการอพยพจากครัวเรือนไปยังจุดอพยพโดยใช้วิธี Capacitated Facility Location Problem: CFLP

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการบริหารจัดการสาธารณภัย  
แนวทางการจัดการสาธารณภัยเป็นหัวข้อที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสาธารณภัยสามารถเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน การมีแนวทางการจัดการที่ชัดเจนเป็นระบบจะช่วยลดความเสียหายและช่วยให้การฟื้นฟูหลังเกิดภัยพิบัติให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.1 การป้องกัน (prevention) การป้องกันเป็นมาตรการที่ดำเนินการเพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดผลกระทบของภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้น โดยมีเป้าหมายหลัก คือ การลดความเสี่ยง

และป้องกันการเกิดเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดความเสียหาย เช่น การสร้างเขื่อน คันกั้นน้ำ และฝายกั้นน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม ประเทศญี่ปุ่นเป็นตัวอย่างที่โดดเด่นของการจัดการสาธารณภัยที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากญี่ปุ่นเป็นประเทศที่ประสบกับพายุไต้ฝุ่นบ่อยครั้ง ทำให้เกิดน้ำท่วมในหลายพื้นที่ การป้องกันน้ำท่วมในญี่ปุ่นจึงเป็นเรื่องที่รัฐบาลและประชาชนให้ความสำคัญอย่างยิ่ง รวมถึงการสร้างระบบเตือนภัยล่วงหน้าที่มีความแม่นยำและรวดเร็ว

1.2 การเตรียมความพร้อม (preparedness) หมายถึง การวางแผนและจัดเตรียมทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อให้สามารถรับมือกับภัยพิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น พร้อมทั้งการจัดทำแผนการอพยพประชาชน การฝึกอบรมการรับมือภัยพิบัติ และการเตรียมความพร้อมอย่างเป็นระบบจะช่วยให้ชุมชนสามารถรับมือกับภัยพิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงลดความสูญเสียทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน ส่งผลให้สามารถฟื้นฟูหลังเกิดเหตุการณ์ได้อย่างรวดเร็ว

1.3 การเผชิญเหตุภัยพิบัติ (disaster response) หมายถึง ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเมื่อเกิดภัยพิบัติขึ้นจริง ขั้นตอนนี้เน้นการช่วยชีวิต รักษาความปลอดภัย และลดความเสียหายที่เกิดจากภัยพิบัติ โดยมีการช่วยเหลือฉุกเฉิน การกระจายทรัพยากร การสื่อสาร และการประสานงาน เป็นต้น การวางแผนที่ดีจะช่วยลดความสูญเสียทั้งทางชีวิตและทรัพย์สิน

1.4 การช่วยเหลือบรรเทาทุกข์ (relief) หมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นทันทีหลังจากเกิดภัยพิบัติ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการจัดหาความช่วยเหลืออย่างเร่งด่วนให้แก่ผู้ประสบภัย เพื่อให้พวกเขาสามารถดำรงชีวิตได้ในสภาพที่ใกล้เคียงกับปกติมากที่สุดในระยะเวลาดั้น ๆ เช่น การจัดหาอาหาร น้ำ เครื่องนุ่งห่ม ที่พัก และยารักษาโรค การช่วยเหลือบรรเทาทุกข์อย่างเป็นระบบช่วยลดผลกระทบจากภัยพิบัติ ทั้งยังเป็น การป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาสุขภาพและความยากลำบากที่เกิดจากภัยพิบัติลุกลามไปมากกว่าเดิม

1.5 การเยียวยา (rehabilitation) เป็นขั้นตอนที่สำคัญหลังจากภัยพิบัติผ่านพ้นไป ซึ่งมุ่งเน้นในการฟื้นฟูสภาพของสังคมและประชากรที่ได้รับผลกระทบให้กลับคืนสู่สภาพปกติ ประกอบด้วยหลายด้านที่สำคัญ เช่น การ

ซ่อมแซมสิ่งก่อสร้าง การฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ การเยียวยาทางจิตใจและเศรษฐกิจ การสร้างความยั่งยืน และการเตรียมความพร้อมสำหรับอนาคต ซึ่งจะช่วยให้สังคมสามารถกลับคืนสู่สภาพปกติหรือดีขึ้นกว่าเดิมได้ในที่สุด

2. แนวคิดเกี่ยวกับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการที่เหมาะสมโดยการใช้หลักวิศวกรรม

การเลือกตำแหน่งที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) เป็นหนึ่งในปัญหาทางวิศวกรรมและการวางแผนที่นิยมใช้ในการเห็นบริการหรือสินค้าไปยังลูกค้าหรือตลาดในลักษณะที่ต้องลงทุนในการก่อสร้างหรือเปิดสถานที่ให้บริการใหม่ หรือการเปลี่ยนตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริการ (Singhtaun, 2010)

ยกตัวอย่างการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากปัจจัยหลาย ๆ ด้าน เช่น ระยะทาง ต้นทุน การขนส่ง และความสามารถในการรองรับประชากร เพื่อให้การอพยพในกรณีฉุกเฉินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

## กรอบแนวคิดการวิจัย

การจัดการพื้นที่อพยพสำหรับชุมชนบ้านธารปราสาทเริ่มจากการศึกษาสำรวจพื้นที่ที่เหมาะสมและมีศักยภาพในการรองรับประชาชนได้เพียงพอ จากนั้นดำเนินการจัดอบรมเกี่ยวกับการเตรียมความพร้อมและการป้องกันอันตรายจากอุทกภัย โดยเน้นเนื้อหาและรูปแบบที่สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (CFLP) เพื่อกำหนดพื้นที่อพยพที่เหมาะสม พร้อมทั้งวางแผนเส้นทางการอพยพที่สั้นและสะดวกที่สุด เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการและเพิ่มประสิทธิภาพในการอพยพได้อย่างสูงสุด ดังภาพ 3

## สมมติฐานการวิจัย

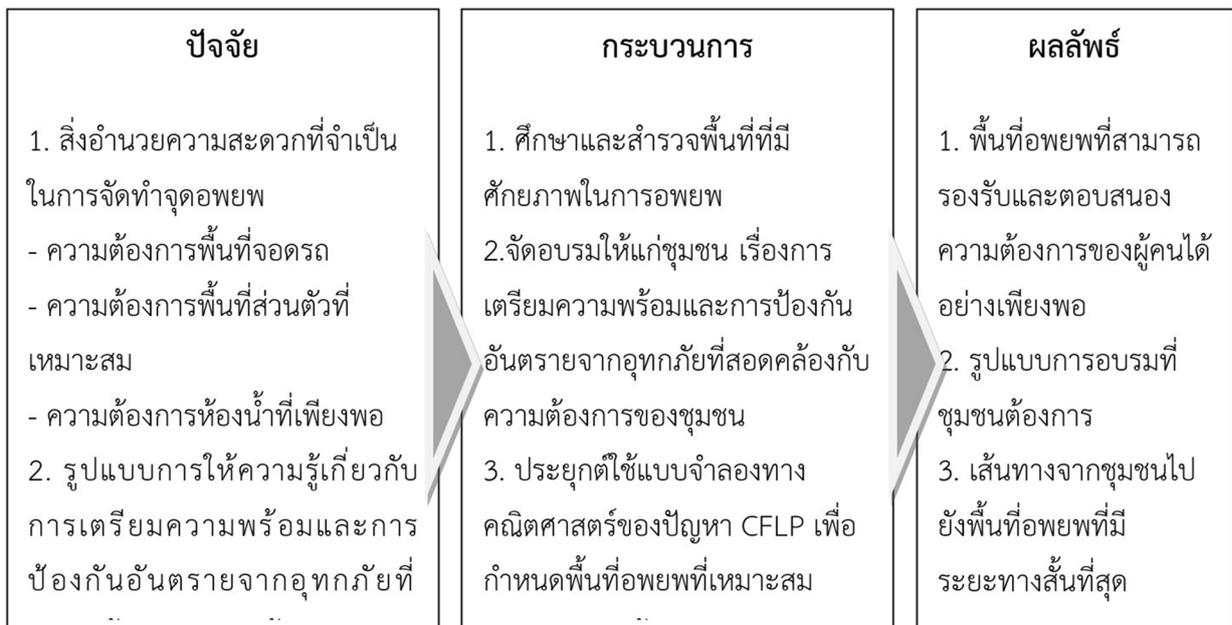
1. สามารถระบุตำแหน่งที่เหมาะสมในการกำหนดจุดอพยพ เพื่อให้การอพยพมีประสิทธิภาพที่สุด
2. ข้อมูลระยะความสูงของพื้นที่และพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากที่ได้จาก GISTDA ถูกปรับให้เป็นปัจจุบัน พ.ศ.2567



ภาพ 1 ลำปราสาทไหลผ่านกลางหมู่บ้านธารปราสาท



ภาพ 2 พื้นที่ชุมชนหมู่บ้านธารปราสาทที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วม



ภาพ 3 กรอบแนวคิดงานวิจัย

## วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบผสมผสาน โดยรวมการวิจัยเชิงสำรวจ (survey research) และการวิจัยแบบประยุกต์ (applied research) เข้าด้วยกัน ข้อมูลที่ใช้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ ข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งได้มาจากการเก็บรวบรวมผ่านแบบสอบถาม และข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมจากแหล่งต่าง ๆ เช่น หนังสือบทความวิชาการ และแหล่งข้อมูลอื่น ๆ วิธีการดำเนินงานวิจัยมี 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การสำรวจข้อมูลของครัวเรือน
2. การสำรวจความสูงของพื้นที่และพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก
3. การสำรวจรูปแบบการอบรมที่เหมาะสมกับชุมชนภายหลังจากการอบรมในรูปแบบ 3 รูปแบบ ดังนี้
  - การอบรมภาคทฤษฎี เช่น โรคที่มากับอุทกภัยสัตว์มีพิษ
  - การอบรมเชิงปฏิบัติการ เช่น การทำรองเท้าบูทจากวัสดุอย่างง่าย การฝึกการปฐมพยาบาลเบื้องต้น
  - การอบรมเชิงระดมความคิด เช่น การกำหนดตำแหน่งติดตั้งเครื่องเตือนภัย การของบประมาณด้านการจัดทำสิ่งอำนวยความสะดวกจากองค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาท
4. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในชุมชน คือ บ้านธารปราสาทจำนวน 503 คน (Department of Provincial Administration, 2011) เมื่อทำการคำนวณตามหลักการของ Yamane ที่ความคลาดเคลื่อน 10% พบว่า ได้จำนวนตัวอย่างขั้นต่ำ 50 คน (Taro Yamane, 1967)

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลการลงพื้นที่ โดยมีทั้งหมด 5 แบบสำรวจ ดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลครัวเรือนผ่านแบบสำรวจน้ำท่วม เช่น จำนวนสมาชิกในครัวเรือน สถานะสมาชิก และจำนวนยานพาหนะ ใช้การสอบถามแบบรายคนโดยผู้ทดลองอธิบายแบบสอบถามให้ผู้ทดสอบและอธิบายราย

### ละเอียดที่ละเอียด

2. การสำรวจความสูงของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงเทียบกับระดับน้ำทะเล โดยใช้ข้อมูลจาก GISTDA เพื่อประเมินเส้นทางการไหลของน้ำและความเสี่ยงน้ำท่วม

3. การสำรวจพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2550-2560) โดยใช้แผนภูมิสารสนเทศจากกลุ่มวางแผนจัดการที่ดินในพื้นที่เสี่ยงภัย เพื่อเลือกพื้นที่ตั้งจุดอพยพ

4. การรวบรวมผลการอบรมที่เหมาะสมกับชุมชน โดยการให้ชุมชนเลือกรูปแบบการอบรมที่สนใจมากที่สุด

5. การสำรวจพื้นที่สถานที่สาธารณะด้วย Google Earth เพื่อคำนวณพื้นที่ส่วนตัวสำหรับผู้อพยพและพื้นที่จอดยานพาหนะ รวมถึงสำรวจจำนวนห้องน้ำเพื่อประเมินความสามารถในการรองรับคน

6. การคำนวณระยะทางจากจุดรวมพลของชุมชนไปยังจุดอพยพแต่ละจุดโดยใช้ Google Map เพื่อประเมินระยะทางที่ใช้ในการอพยพ

### หลักคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาทางเลือกในการอพยพประชากรที่ใช้ระยะทางและเวลาน้อยที่สุด โดยคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น จำนวนจุดรวมพล จำนวนยานพาหนะที่มีอยู่จริง ความสามารถในการบรรทุก และความเร็วยานยนต์ตามกฎหมาย โดยประยุกต์ใช้แนวคิดจาก Capacitated Facility Location Problem: CFLP เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอพยพรถยนต์จากชุมชนไปยังจุดอพยพ รูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 1

โดยมีข้อมูลนำเข้าดังตาราง 1

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \\ & \sum_{j \in J} x_{ij} = d_i \quad \text{for all } i \in I \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Subject to} \quad & \sum_{i \in I} x_{ij} \leq s_j y_j \quad \text{for all } j \in J \\ & x_{ij} \geq 0 \forall i, j \quad i = 1, 2, \dots, M; \\ & y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \end{aligned}$$

## ตาราง 1

### สมการแบบจำลองคณิตศาสตร์

สมการ	ความหมาย
$i$	เป็นเซตของชุมชนในพื้นที่การศึกษา โดย $i=1,2,\dots,M$ ;
$j$	เป็นเซตของจุดอพยพ โดย $j=1,2,\dots,N$
$d_i$	เป็นความต้องการที่ตำแหน่ง $i$
$c_{ij}$	เป็นระยะทางระหว่างจุดรวมพลตำแหน่งที่ $i$ กับจุดอพยพตำแหน่งที่ $j$
$s_j$	เป็นขีดความสามารถของความต้องการที่อยู่ตำแหน่งที่ $j$
$y_j$	มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าเลือกจุดอพยพตำแหน่งที่ $j \in J$ และ 0 ถ้าไม่ใช่
$x_{ij}$	เป็นปริมาณความต้องการจากตำแหน่งที่ $i$ ไปยังจุดอพยพที่ตำแหน่ง $j$
$Z$	เป็นค่าผลรวมระยะทางที่ใช้ในการอพยพที่น้อยที่สุด ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการเลือกตำแหน่งของตัวแปร $y_j$ โดยผลรวมระยะทางจะเป็นผลรวมของตัวแปร $c_{ij}$

## ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็นหัวข้อ ดังนี้

### 1. ผลการสำรวจข้อมูลของครัวเรือน

จากการสำรวจข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถามด้วยวิธีการขอความเห็นจากผู้นำชุมชนถึงกลุ่มประชากรที่ได้รับผลกระทบสูงสุดเมื่อเกิดน้ำท่วมโดยการเก็บข้อมูลจำนวน 129 คน แบ่งเป็นเด็ก 29 คน (ร้อยละ 22.5) ผู้สูงอายุ 37 คน (ร้อยละ 28.7) ผู้พิการ 2 คน (ร้อยละ 1.6) และวัยทำงาน 61 คน (ร้อยละ 47.3) ผลการสำรวจครัวเรือนพบว่า มีครัวเรือนที่อาศัยอยู่ในหมู่บ้านจำนวน 23 ครัวเรือน ในชุมชนนี้ ประสบกับน้ำท่วมฉับพลัน จำนวน 11 ครัวเรือน (ร้อยละ 47.8) น้ำท่วมขัง จำนวน 12 ครัวเรือน (ร้อยละ 52.2) ภายในชุมชนมีจำนวนรถจักรยานยนต์ 37 คัน รถยนต์ 15 คัน รถบรรทุก 8 คัน

### 2. ผลการสำรวจความสูงของพื้นที่และพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก

ผลการสำรวจความสูงของพื้นที่งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความสูงจากระดับน้ำทะเลที่ได้จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) เนื่องจาก

พื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากมีความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัยน้อยลง (Anucharn, 2020) ดังนั้นจึงได้กำหนดระดับความสูงเป็น 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับ 1: ความสูงจากระดับน้ำทะเล

150-154 เมตร

- ระดับ 2: ความสูงจากระดับน้ำทะเล

155-159 เมตร

- ระดับ 3: ความสูงจากระดับน้ำทะเล

160-164 เมตร

- ระดับ 4: ความสูงจากระดับน้ำทะเล

165-169 เมตร

- ระดับ 5: ความสูงจากระดับน้ำทะเล

170-174 เมตร

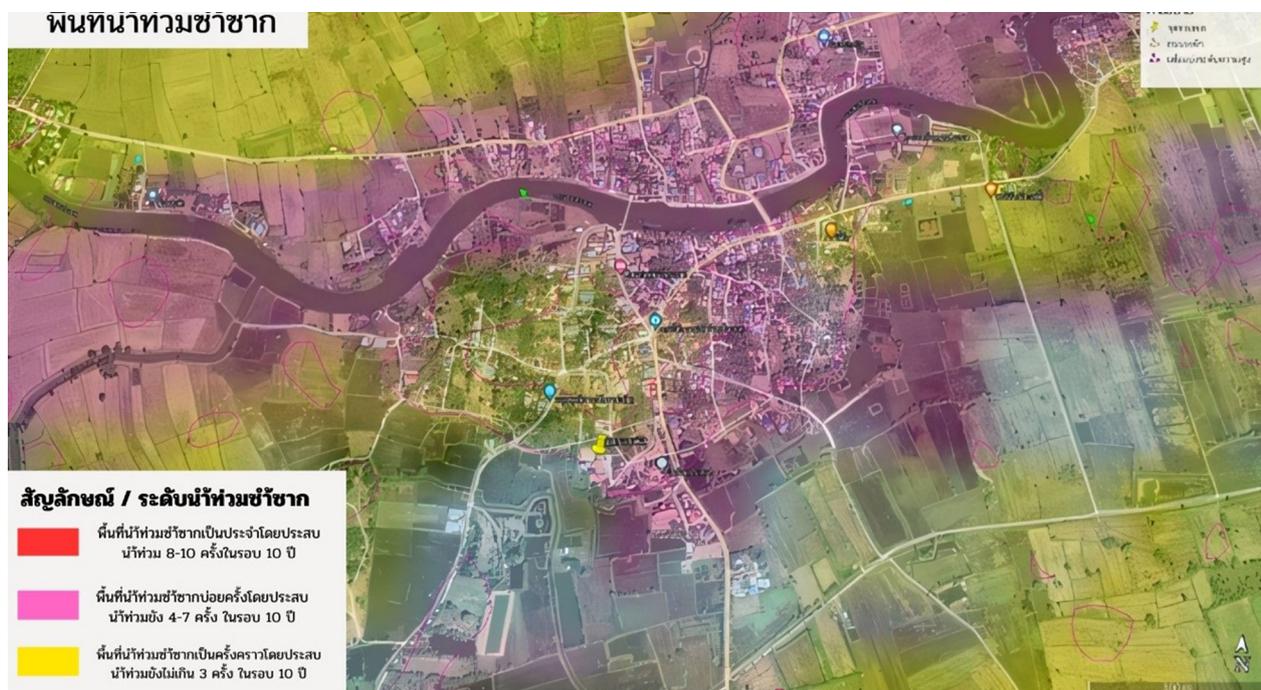
ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้ในการจัดกลุ่มระดับความสูงของแต่ละพื้นที่เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงและวางแผนการอพยพ จากการสำรวจพบว่า มีพื้นที่ที่มีระดับความสูงระดับที่ 2 ครอบคลุมบริเวณโรงเรียนบ้านธารปราสาทและศูนย์พัฒนาเด็กเล็กบ้านปราสาทได้ในขณะที่พื้นที่ที่มีระดับความสูงระดับที่ 3 ครอบคลุมบริเวณแหล่งโบราณคดีบ้านปราสาท หลุมขุดค้นทางโบราณคดี 3 และวัดบ้านปราสาท

จากผลการสำรวจข้อมูลพื้นที่น้ำท่วม ย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2550-2560) ซึ่งมีปริมาณฝนเฉลี่ยทั่วประเทศประมาณ 1,829 มิลลิเมตร มากกว่าค่าปกติถึง 25% (Hydro-Informatics Institute (Public Organization), 2017) จึงได้กำหนดระดับพื้นที่น้ำท่วมเป็น 3 ระดับ ระดับที่ 1 มีการเกิดน้ำท่วมไม่เกิน 3 ครั้ง ในรอบ 10 ปี (พื้นที่สีเหลือง) ระดับที่ 2 มีการเกิดน้ำท่วม 4-7 ครั้ง ในรอบ 10 ปี (พื้นที่สีชมพู) ระดับที่ 3 มีการเกิดน้ำท่วม 8-10 ครั้ง ในรอบ 10 ปี (พื้นที่สีแดง) เพื่อใช้ในการกำหนดพื้นที่ใช้ในการอพยพของชุมชน เนื่องจากพื้นที่ที่เคยเกิดน้ำท่วมบ่อยครั้งมีความเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมสูง จากภาพ 4 แสดงความสูงของพื้นที่ และพื้นที่เกิดน้ำท่วมซ้ำซากของชุมชนบ้านธารปราสาท พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่น้ำท่วมระดับที่ 2 (พื้นที่สีชมพู) ซึ่งครอบคลุมบริเวณชุมชนบ้านธารปราสาทเหนือและบ้านธารปราสาทใต้ โดยพื้นที่สำคัญในบริเวณนี้ได้แก่ โรงเรียนบ้านธารปราสาท แหล่งโบราณคดีบ้านปราสาท และศูนย์พัฒนาเด็กเล็กบ้านปราสาทใต้ ส่วนพื้นที่น้ำท่วมระดับที่

1 (พื้นที่สีเหลือง) พบการปกคลุมบริเวณชุมชนบ้านธารปราสาท โดยมีพื้นที่สำคัญ ได้แก่ หลุมขุดค้นทางโบราณคดี 3 และวัดบ้านปราสาท

### 3. ผลการเลือกพื้นที่ตั้งจุดอพยพ

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลระดับความสูงจากน้ำทะเล พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก และระยะทางในการอพยพในการเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดอพยพ ขั้นตอนแรกทำการประเมินพื้นที่รอบชุมชนโดยขยายวงรัศมี 2 กิโลเมตร เพื่อสำรวจพื้นที่สาธารณะ จากนั้นระบุความสูงจากระดับน้ำทะเลและพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก ดังภาพ 5 และ 6 จากนั้นจึงประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ โดยกำหนดให้พื้นที่อพยพต้องมีความสูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับหรือสูงกว่าจุดอพยพเดิมและไม่เป็นพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก หากไม่พบพื้นที่ที่เหมาะสมในวงรัศมีที่กำหนดก็ขยายการสำรวจต่อไป



ภาพ 4 พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากชุมชนบ้านธารปราสาท



ภาพ 5 การสำรวจจุดอพยพด้วยระดับความสูงจากน้ำทะเล รัศมี 2 กิโลเมตร



ภาพ 6 การสำรวจจุดอพยพด้วยพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก รัศมี 2 กิโลเมตร

จากข้อมูลการกำหนดวงรัศมีการสำรวจ 2 กิโลเมตร ความสูงระดับน้ำทะเลและพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก ทำให้ได้ ข้อมูลจุดอพยพ ได้แก่ (1) วัดบ้านปราสาท มีระดับความสูงจากน้ำทะเล ระดับ 4 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก (2) องค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาท มีระดับความสูงจากน้ำทะเล ระดับ 4 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก (3) วัดใหม่เกษม มีระดับความสูงจากน้ำทะเล ระดับ 3 น้ำท่วมซ้ำซากระดับ 2 (4) โรงเรียนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีระดับความสูงจากน้ำทะเล ระดับ 4 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก (5) หลุมขุดค้น 3 มีระดับความสูงจากน้ำทะเล ระดับ 4 น้ำท่วมซ้ำซากระดับ 1

เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ในการอพยพมี ดังนี้ (1) ความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่อพยพ ต้องมีความสูงเท่ากับหรือมากกว่าระดับ 2 (2) พื้นที่ที่อพยพต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก ซึ่งได้ผลเป็นจุดอพยพ ทั้งหมด 5 จุด ได้แก่ วัดบ้านปราสาท องค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาท วัดใหม่เกษม โรงเรียนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลุมขุดค้น 3

การพิจารณาความจุของพื้นที่ของจุดอพยพ ประกอบด้วยปัจจัย ดังนี้ (1) ความต้องการพื้นที่จอตลอด (2) ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว และ (3) ความต้องการห้องน้ำ จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการปัจจัยทั้งสาม พบว่า Jamnothai (2020) ได้กล่าวถึงขนาดของจอตลอดยนต์ โดยมีวิธีการคำนวณจากขนาดมาตรฐานของแต่ละประเภทของยานพาหนะ ดังนี้ ขนาดพื้นที่ของรถยนต์เท่ากับ 2.4x5 เมตร ขนาดพื้นที่ของรถจักรยานยนต์เท่ากับ 1x2 เมตร และขนาดพื้นที่ของรถบรรทุกเท่ากับ 3x6 เมตร Klongkhun and Wanthong (2017) แนะนำว่า พื้นที่ส่วนตัวต่อคนควรมีขนาดประมาณ 4.5 ตารางเมตร เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้อพยพในภาวะฉุกเฉิน ส่วนความต้องการห้องน้ำสำหรับผู้อพยพ ใช้เกณฑ์ ห้องน้ำ 1 ห้องต่อผู้หญิง 20 คน ห้องน้ำ 1 ห้องพร้อมโถชักน้ำสำหรับผู้ชาย 35 คน โดยข้อมูลทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่ใช้ในการหาจุดอพยพด้วยโมเดลคณิตศาสตร์

เมื่อทำการประมาณความต้องการต่าง ๆ โดยข้อมูลอ้างอิงจากโปรแกรม Google Earth โดยใช้เครื่องมือในการคำนวณพื้นที่จอตลอด และพื้นที่ส่วนตัวของจุดอพยพ ในส่วนของจำนวนห้องน้ำได้ทำการสำรวจสถานที่จริง ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ชุมชนธารปราสาท มีความต้องการพื้นที่จอตลอด 398 ตร.ม. ความต้องการ พื้นที่ส่วนตัว 580.5 ตร.ม. ความต้องการห้องน้ำ 7 ห้อง และคำนวณจากพื้นที่ที่มีความพร้อมของจุดอพยพทั้ง 3 องค์ประกอบนี้

จุดอพยพและความสามารถในการรองรับได้แก่ พื้นที่จอตลอด (ตร.ม.) พื้นที่ส่วนตัว (ตร.ม.) และจำนวนห้องน้ำ (ห้อง) โดยการสำรวจสถานที่และใช้โปรแกรม Google Earth ในการประเมินสถานที่จอตลอดและพื้นที่ส่วนตัว ได้ผล ดังนี้

1. วัดบ้านปราสาท มีพื้นที่จอตลอด 4,200 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 3,000 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 16 ห้อง
2. องค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาทมีพื้นที่จอตลอด 1,400 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว ตร.ม. 1,200 และมีจำนวนห้องน้ำ 10 ห้อง
3. วัดใหม่เกษม มีพื้นที่จอตลอด 2,900 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 2500 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 12 ห้อง
4. โรงเรียนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีพื้นที่จอตลอด 2,500 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 1,000 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 10 ห้อง
5. หลุมขุดค้น 3 มีพื้นที่จอตลอด 400 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 200 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 2 ห้อง

ผลสำรวจข้อมูลระยะทางระหว่างพื้นที่กรณีศึกษาไปยังจุดอพยพ เป็นการสำรวจโดย Google Map ในการคำนวณระยะทาง โดยมีจุดเริ่มต้นไปถึงจุดหมายทั้งหมด 5 เส้นทางดังแสดงในภาพ 7 ประกอบไปด้วย

1. บ้านธารปราสาท-วัดบ้านปราสาท ระยะทาง 0.6 กิโลเมตร
2. บ้านธารปราสาท-องค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาท ระยะทาง 2.2 กิโลเมตร
3. บ้านธารปราสาท-วัดใหม่เกษม ระยะทาง 1.5 กิโลเมตร
4. บ้านธารปราสาท-โรงเรียนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระยะทาง 2.1 กิโลเมตร
5. บ้านธารปราสาท-หลุมขุดค้น 3 ระยะทาง 0.4 กิโลเมตร

#### 4. ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา CFLP ที่นำมาประยุกต์ร่วมกับ Excel Solver ในการเลือกจุดอพยพ ที่มีพื้นที่จอตลอดและพื้นที่ส่วนตัวเพียงพอ มีรายละเอียดของตัวแปรดังตาราง 2 และภาพ 8



ภาพ 7 ระยะทางจุดอพยพทั้ง 5 แห่ง

ตาราง 2

ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$i$	เป็นเซตของชุมชนในพื้นที่การศึกษา ประกอบไปด้วย ชุมชนบ้านธารปราสาท
$j$	เป็นเซตของจุดอพยพ ประกอบไปด้วย วัดบ้านปราสาท องค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาท วัดใหม่เกษม โรงเรียนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และหลุมขุดค้น 3
$d_i$	เป็นความต้องการที่ตำแหน่ง $i$ ประกอบไปด้วยความต้องการพื้นที่จอดรถ ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว ความต้องการห้องน้ำ ของชุมชนบ้านธารปราสาท
$c_{ij}$	เป็นระยะทางระหว่างจุดรวมพลตำแหน่งที่ $i$ กับจุดอพยพตำแหน่งที่ $j$
$s_j$	เป็นขีดความสามารถของความต้องการที่อยู่ตำแหน่งที่ $j$ ประกอบไปด้วยความต้องการพื้นที่จอดรถ ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว ความต้องการห้องน้ำ ของจุดอพยพทั้ง 5 จุด
$y_j$	เป็นค่าสำหรับการเลือกตำแหน่งที่ให้บริการตำแหน่งที่ $j$ โดยที่โปรแกรม Excel Solver ปรับเปลี่ยนค่าตัวเลข 1 ถึง 5 ดังนี้ 1.วัดบ้านปราสาท 2.องค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาท 3.วัดใหม่เกษม 4.โรงเรียนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 5.หลุมขุดค้น 3 โปรแกรมทำการเลือกในกรณีนี้ $x_{ij}$ มีค่ามากกว่า $d_i$ สำหรับกรณีที่ชุมชนมีพื้นที่เพียงพอต่อความต้องการแล้ว จึงไม่มีความจำเป็นต้องเลือกพื้นที่เพิ่มเติม
$x_{ij}$	เป็นปริมาณความต้องการจากตำแหน่งที่ $i$ ไปยังจุดอพยพที่ตำแหน่ง $j$ มีลำดับความสำคัญในการเลือกของตัวแปร $y_j$ รองจาก $Z$ ประกอบไปด้วยผลรวมของความต้องการพื้นที่จอดรถตำแหน่งที่ $i$ ผลรวมของความต้องการพื้นที่ส่วนตัวตำแหน่งที่ $i$ ผลรวมของความต้องการห้องน้ำตำแหน่งที่ $i$ โดยค่าถูกปรับเปลี่ยนตาม $y_j$
$Z$	เป็นค่าผลรวมระยะทางที่ใช้ในการอพยพที่น้อยที่สุด ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการเลือกตำแหน่งของตัวแปร $y_j$ โดยผลรวมระยะทางเป็นผลรวมของตัวแปร $c_{ij}$

ความต้องการพื้นที่อพยพของชุมชน								
ชื่อชุมชน	จำนวนผู้อพยพ	จำนวนรถยนต์	จำนวนรถจักรยานยนต์	จำนวนรถบรรทุก	ความต้องการพื้นที่จอดรถ	ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว	ความต้องการห้องน้ำ	
บ้านธารปราสาท	129	15	37	8	398	4515	7	
J (เป็นเขตของจุดอพยพ)								
ชื่อชุมชน	วัดบ้านปราสาท	องค์การบริหารส่วนตำบลธารปราสาท	วัดใหม่เกษม	โรงเรียนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	หลุมขุดค้น 3			
บ้านธารปราสาท (i)	1	2	3	4	5	$y_j$ (มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าเลือกจุดอพยพตำแหน่งที่ $i$ และ 0 ถ้าไม่ใช่)		
	1	0	0	0	0			
พื้นที่จอดรถ	4,200	1,400	2,900	2,500	400	$S_j$ (พื้นที่จอดรถ)		
พื้นที่ส่วนตัว	3,000	1,200	2,500	1,000	200	$S_j$ (พื้นที่ส่วนตัว)		
ห้องน้ำ	16	10	12	10	2	$S_j$ (ห้องน้ำ)		
ระยะทาง	0.6	2.2	1.5	2.1	0.4	$C_{ij}$ (ระยะทาง)		
พื้นที่ที่ตรงตามเงื่อนไขคือ วัดบ้านปราสาท							$x_{ij}$	$d_i$
พื้นที่จอดรถ	4,200	0	0	0	0	4,200	398	
พื้นที่ส่วนตัว	3,000	0	0	0	0	3,000	4515	
ห้องน้ำ	16	0	0	0	0	16	7	
ระยะทาง	0.6	0	0	0	0	0.6	Z (ระยะทางรวม)	

ภาพ 8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การตั้งค่า Solver Parameters มีการกำหนดค่าทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหา (set objective) เป็นการกำหนดเป้าหมายของระยะทางรวมที่น้อยที่สุดสำหรับสมการ

$$Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

เพื่อให้ตัวแปร  $y_j$  ทำการหาระยะทางรวมของชุมชนไปยังจุดอพยพที่สั้นที่สุด

2. ค่าที่ทำการเปลี่ยนเพื่อแก้ปัญหา (by changing variable cell) เป็นการกำหนดพื้นที่เซลล์ที่เป็นตัวแปร  $y_j$  สำหรับใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าตำแหน่งจุดอพยพ

3. เงื่อนไขในการแก้ปัญหา (subject to the constraints) เป็นการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมในการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร  $y_j$  ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ (1) การกำหนดค่าของตัวแปรมีค่าไม่เกิน 1 (2) การกำหนด

ค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม (3) การกำหนดค่าเป็นปริมาณความต้องการจากตำแหน่งที่  $i$  ไปยังจุดอพยพที่ตำแหน่ง  $j$  ( $x_{ij}$ ) มีค่ามากกว่า เป็นความต้องการที่ตำแหน่ง  $i$  ( $d_i$ ) ดังภาพ 9

4. วิธีการในการแก้ปัญหา (select solving method) ใช้วิธีการ Simplex LP ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่มีตัวแปรหลายอย่าง โดยใช้หลักการของวิวัฒนาการธรรมชาติและ การเลือกสรรทางพันธุกรรม กระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำหลายครั้งจนกระทั่งจะได้คำตอบที่ดี

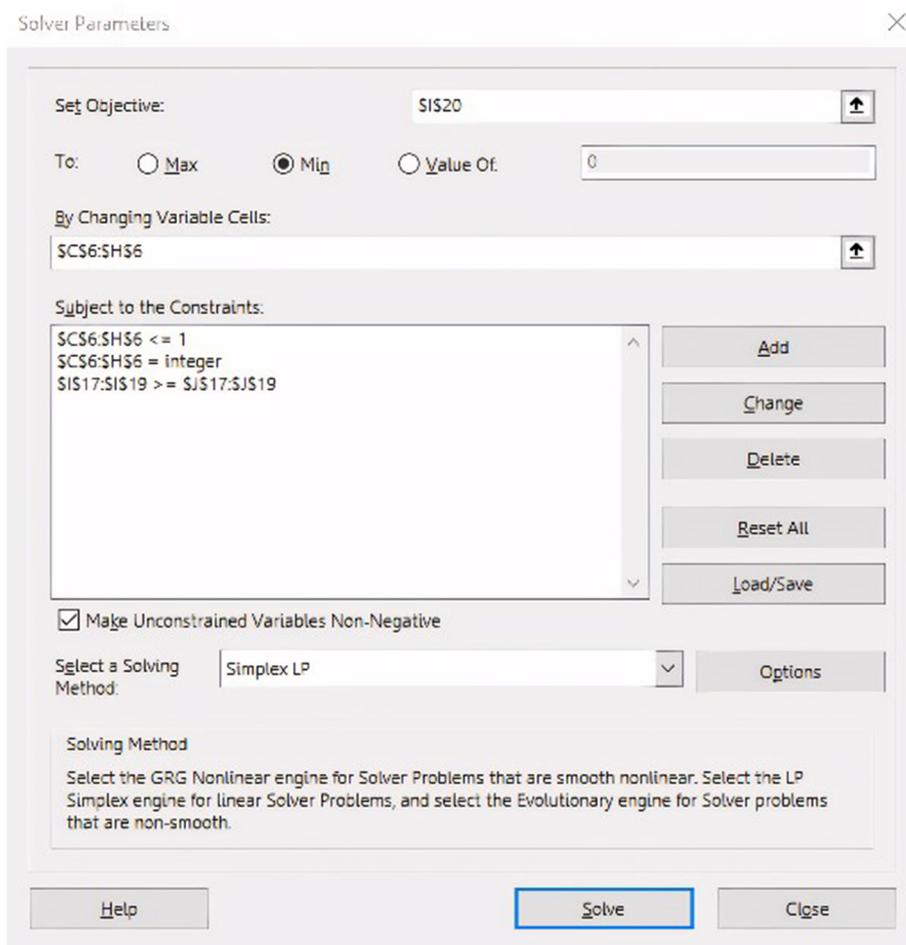
จากการนำข้อมูลระยะทางที่ใช้ในการอพยพ และความต้องการในพื้นที่อพยพ นำไปแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ผ่านโปรแกรม Excel Solver โดยชุมชนบ้านธารปราสาทมีจุดอพยพ คือ วัดบ้านปราสาทระยะทาง 0.6 กิโลเมตร พื้นที่จอดรถทั้งหมด 4,200 ตารางเมตร พื้นที่ส่วนตัวทั้งหมด 3,000 ตารางเมตร และมีจำนวนห้องน้ำทั้งหมด 16 ห้อง

5. ผลการสำรวจรูปแบบการอบรมเรื่องการเตรียมความพร้อมและการป้องกันอันตรายจากอุทกภัยที่สอดคล้องกับชุมชน

ผลการอบรมรูปแบบการเรียนรู้ที่สามารถนำความรู้เรื่องการเตรียมความพร้อมและการรับมืออุทกภัยไปปฏิบัติได้จริง พบว่า โดยรวมมีการให้คะแนนเต็ม 10 คะแนน พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนโดยรวม เท่ากับ 7.48 และเมื่อแยกตามหัวข้อการอบรมสามารถสรุปได้ ดังนี้ การอบรมเชิงบรรยายมีค่าเฉลี่ยของระดับคะแนนเท่ากับ 7.52 การ

อบรมเชิงปฏิบัติมีค่าเฉลี่ยของระดับคะแนนเท่ากับ 7.40 การอบรมเชิงระดมความคิดมีค่าเฉลี่ยของระดับคะแนนเท่ากับ 7.53

ผลเลือกรูปแบบการอบรมที่ท่านสนใจมากที่สุดพบว่า มีจำนวนผู้ที่สนใจการอบรมเชิงบรรยาย จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 19.32 การอบรมเชิงปฏิบัติ จำนวน 50 คน คิดเป็นร้อยละ 56.82 การอบรมเชิงระดมความคิด จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 23.86 ดังตาราง 3



ภาพ 9 Solver Parameters

### ตาราง 3

รูปแบบการเรียนรู้เรื่องการเตรียมความพร้อมและการรับมืออุทกภัย

รูปแบบการเรียนรู้ที่สามารถนำความรู้เรื่องการเตรียมความพร้อมและการรับมืออุทกภัยไปปฏิบัติได้จริง											
การอบรม	0	0	6	1	18	4	21	9	10	30	7.52
เชิงบรรยาย			(6.06)	(1.01)	(18.18)	(4.04)	(21.21)	(9.09)	(10.10)	(30.30)	
การอบรม	0	1	4	2	18	5	21	12	12	24	7.40
เชิงปฏิบัติ		(1.01)	(4.04)	(2.02)	(18.18)	(5.05)	(21.21)	(12.12)	(12.12)	(24.24)	
การอบรมเชิง	1	2	3	3	17	6	11	15	14	28	7.53
ระดมความคิด	(1.01)	(2.02)	(3.03)	(3.03)	(17.17)	(6.06)	(11.11)	(15.15)	(14.14)	(28.28)	
รวม	1	2	13	6	53	15	53	36	36	82	7.48
	(0.34)	(0.67)	(4.38)	(2.02)	(17.85)	(5.05)	(17.85)	(12.12)	(12.12)	(27.61)	
เลือกรูปแบบการอบรมที่ท่านสนใจมากที่สุด				จำนวน	ร้อยละ						
การอบรมเชิงบรรยาย				17	19.32						
การอบรมเชิงปฏิบัติ				50	56.82						
การอบรมเชิงระดมความคิด				21	23.86						

### การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความสูงจากระดับน้ำทะเลที่ได้จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ เนื่องจากพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากมีความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัยน้อยลง เมื่อนำข้อมูลมารวมกับแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก วิธีการข้อมูลพื้นที่ในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Niamthong and Aobpaet (2019) ที่ได้ใช้ข้อมูลดังกล่าวในการศึกษาพื้นที่น้ำท่วมในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ผลการใช้ข้อมูลดังกล่าว ทำให้ได้แผนที่พื้นที่น้ำท่วมสำหรับการจัดการและบรรเทาอุทกภัย

แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้พบว่า การใช้ข้อมูลบน Google Earth ยังขาดความละเอียดแม่นยำเนื่องจากเส้นทางบางเส้นที่ปรากฏในแผนที่นั้นขาดหายไปทำให้ข้อมูลไม่สมบูรณ์และอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทำแบบจำลองได้ซึ่งสอดคล้องกับปัญหาที่พบในงานวิจัยของ Anucharn (2019)

ผลงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ชุมชนบ้านธารปราสาทจึงเหมาะสมในการอพยพไปยังวัดบ้านปราสาท ซึ่งมีระยะทางใน

การอพยพรวม 0.6 กิโลเมตร มีพื้นที่สำหรับจอดยานพาหนะรวม 4,200 ตารางเมตร มีพื้นที่ส่วนตัวรวม 3,000 ตารางเมตร และมีห้องน้ำรวม 16 ห้อง (ห้องน้ำหญิง 10 ห้อง ห้องน้ำชาย 6 ห้อง)

### ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาต่อยอดแผนการอพยพโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากในการวิเคราะห์ เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและความแม่นยำในแผนการอพยพที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในด้านฐานข้อมูลอุทกภัย เพื่อหาหรือจัดกิจกรรมเพื่อรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบการแจ้งเตือนและการอพยพในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในอนาคตสามารถต่อยอดงานวิจัยโดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาต่อยอดแผนการอพยพกับพื้นที่ที่มีความเสี่ยงน้ำท่วมอื่น ๆ ต่อไป ..



## References

- Anucharn, T. (2020). Analysis of suitable areas for shelters and evacuation routes: A case study of the flood in Khlong Nathawi Subwatershed, Songkhla Province. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 39(2), 225-235. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/scimsujournal/article/view/192769/172483> (in Thai)
- Chaikijdenpalai, P., & Wiratnipawan, W. (2018). Administration of flood prevention of Samutprakarn Province according to the Royal Initiative of His Majesty the King. *EAU Heritage Journal Social Science and Humanities*, 8(2), 173-182. Retrieved from <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSocSci/article/view/130814/103997> (in Thai)
- Chonbodeechalermroong, Y., & Chuenchooklin, S. (2010). Flash flood warning system in risky area. *Naresuan University Engineering Journal (NUEJ)*, 5(2), 10-20. Retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/nuej/article/view/26265/22294> (in Thai)
- Department of Provincial Administration. (2011). *Population statistics data structure*. Retrieved from [https://stat.bora.dopa.go.th/new\\_stat/webPage/statByYear.php](https://stat.bora.dopa.go.th/new_stat/webPage/statByYear.php) (in Thai)
- Division of Communicable Diseases Department of disease control Ministry of Public Health. (2011). *Citizen's guide to preventing diseases brought on by floods*. Retrieved from <http://www.tro.moph.go.th/flood/file/floodbook27112556.pdf> (in Thai)
- Klongkhun, P., & Wanthong, W. (2017). *Manual for inclusive safe site selection and Flood shelter management in Thailand*. Bangkok: Asian Disaster Preparedness Center (ADPC) (in Thai)
- National Hydroinformatics Data Center. (2023). *Thailand is facing the most severe floods in history*. Retrieved from <https://tiwrmdev.hii.or.th/current/2011/flood54.html> (in Thai)
- Niamthong, D., & Aobpae, A. (2019). Analysis of the risk of flooding in Bangkok and perimeter. *The 28th National Covention on Civil Engineering May 24-26, 2023* (pp. SGI10-1- SGI10-12). Phuket: Prince of Songkla University. (in Thai)
- Nimiphan, W., & Balakanich, S. (2017). Crisis management. *EAU Heritage Journal Humans and society*, 7(1), 45-51. Retrieved from <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSocSci/article/view/77021/67353> (in Thai)

- Panitchkul, J. (2018). *Cars evacuation plan in the event of flooding: A case study of Urban Hat Yai* (Master's thesis). Prince of Songkla University. Songkla. (in Thai)
- Rattakul, B. (2012). Disaster and preparedness. *Suranaree Journal of Social Science (SJSS)*, 6(1) 117-129. Retrieved from <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/sjss/article/view/23470/19974> (in Thai)
- Rungrodchatchava, N., Sriswang, I., & Kongkaew, W. (2016). Application of the vehicle routing problem for solid waste collection: A case study of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus. *Thai Journal of Operations Research: TJOR*, 4(2), 18–31. Retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/article/view/73268> (in Thai)
- Sakphet, N., Nualchawee, K., Karnchanasutham, S., & Plerux, N. (2016). Flood reporting system for disaster warning support in Hat Yai City, Songkla Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 10(3), 135-146. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/65005> (in Thai)
- Sangthong, K., & Rinthaisong, I. (2014). Factors related to collaboration for flood management between local administrative organization and community: A case study of flood bed in Pak Panang Basin, Nakhon Si Thammarat Province. *Journal of Southern Technology*, 7(1), 25-29. Retrieved from [https://so04.tci-thaijo.org/index.php/journal\\_sct/article/view/83442/66387](https://so04.tci-thaijo.org/index.php/journal_sct/article/view/83442/66387) (in Thai)
- Sarawijit, R., Jeentham, S., & Sriphuna, S. (2016). A local wisdom transferring of food plant diversity conservation with environmental education process. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 10(1), 88-98. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/48934> (in Thai)
- Seethalanuchit, M. (2018). Development of nursing curriculum and the development of capacities to care for spiritual health. *EAU Heritage Journal Science and Technology*. 12(2), 63-67. (in Thai)
- Singhtaun, C. (2011). Facility locations selection using exact algorithms. *Kasetsart Engineering Journal (Thailand)*, 24(78), 107-122. (in Thai)
- Wajanawichakon, K., & Srisurin, K. (2018). Solution methods for vehicle routing problems of garbage truck: A case study of Ubon District, Ubon Ratchathani Province. *UBU Engineering Journal*, 11(2), 48-50. (in Thai)
- Yamane, T. (1967). *Statistics, an introductory analysis* (2 nd ed.) New York: Harper and Row.



อิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และ  
การเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์  
Influence of Fuel Pressure on Combustion Efficiency and  
Exhaust Pollution of Asphalt Distributor

วรชัย ชัยสิงห์เหนือ<sup>1</sup> ฐณพล เวียงทอง<sup>1</sup> กวิน เลิศเลาท์กุล<sup>1</sup> ประเสริฐ วิโรจน์ชิววัน<sup>1</sup>  
ณทพร จินดาประเสริฐ<sup>1</sup> และปฏิภาณ ถิ่นพระบาท<sup>1\*</sup>

Worachai Chaisingnuea<sup>1</sup>, Thanaphon Wiangthong<sup>1</sup>, Kawin Lertlaokul<sup>1</sup>, Prasert Wirotecheewan<sup>1</sup>,  
Nataporn Chindaprasert<sup>1</sup> and Padipan Tinprabath<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

\*Corresponding author: padipan.t@rmutp.ac.th

Received: January 29, 2025

Revised: April 2, 2025

Accepted: April 8, 2025

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ที่ปฏิบัติงานในโครงการก่อสร้างทางวิ่งที่ 3 ท่าอากาศยานสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งเครื่องพ่นแอสฟัลต์ที่เป็นชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองมีถังบรรจุแอสฟัลต์ติดตั้งบนรถบรรทุก โดยปัญหาที่พบจากเครื่องพ่นแอสฟัลต์ คือ ในขณะที่เครื่องพ่นแอสฟัลต์ทำงานหรือตัมยางมะตอยนั้นจะเกิดควันดำจากการเผาไหม้ในเตาเผาถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก น้ำมันดีเซลในงานวิจัยนี้ถูกฉีดด้วยความดัน 40–80 psi ตัวแปรที่สนใจศึกษาได้แก่ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง อัตราส่วนสมมูล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ประสิทธิภาพเตาเผา และมลพิษไอเสีย ได้แก่ CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> และควันดำ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิงทำให้ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง 4.1–4.6% อัตราส่วนสมมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 11.4–54.3% อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 1.7–5.2% ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 3.7–6.4% การเพิ่มความดันในการฉีดยังช่วยลดขนาดของหยดเชื้อเพลิงและเพิ่มอัตราการผสม สำหรับมลพิษไอเสียเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิง พบว่า CO<sub>2</sub> มีค่าเพิ่มขึ้น 0.6–2.7% และ NO<sub>x</sub> มีค่าเพิ่มขึ้น 14–32% ส่วน CO มีค่าลดลง 20.3–95.4% และค่าควันดำ ที่ความดันมากกว่า 65 psi มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 50%

**คำสำคัญ:** เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ความดันเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ก๊าซไอเสีย

## Abstract

This research investigates the influence of fuel injection pressure on the combustion efficiency and exhaust emissions of the burner used in asphalt sprayers operating in the construction project of the 3rd Runway at Suvarnabhumi Airport. The self-propelled asphalt sprayer, equipped with an asphalt tank mounted on a truck, faces a significant issue of emitting large amounts of black smoke during operation or while heating asphalt in the burner. In this study, diesel fuel was injected at pressures ranging from 40 to 80 psi. The variables studied included the air-to-fuel ratio, equivalence ratio, fuel consumption rate, combustion efficiency, burner efficiency, and exhaust emissions such as CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, and black smoke. The findings revealed that increasing the fuel injection pressure tends to reduce the air-to-fuel ratio by 4.1-4.6%, while the equivalence ratio increased by 11.4-54.3%. The fuel consumption rate increased by 1.7-5.2%, and combustion efficiency showed an improvement of 3.7- 6.4%. Higher injection pressure also contributed to a reduction in fuel droplet size and enhanced mixing rates. In terms of exhaust emissions, it was observed that increasing the fuel injection pressure resulted a rise in CO<sub>2</sub> emissions by 0.6-2.7% and NO<sub>x</sub> emissions by 14-32%, whereas CO levels decreased by 20.3-95.4%. However, black smoke emissions exceeded the standard limit of 50% when the injection pressure was above 65 psi.

**Keywords:** asphalt distributor furnace, fuel pressure, combustion efficiency, emission



## บทนำ

ปัจจุบันนี้มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่สำคัญและวิกฤตอย่างรุนแรงไปทั่วโลก โดยแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศมีสาเหตุหลักสองประการได้แก่ ประการแรกคือ การเกิดมลพิษทางอากาศจากการกระทำของมนุษย์ เช่น เกิดจากความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตรกรรม และการสันดาปเชื้อเพลิงของยานยนต์ ประการต่อมาคือ ปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟที่ทำให้เกิดควัน มลพิษที่เกิดจากไฟฟ้า ซึ่งปัญหามลพิษทางอากาศได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เป็นสาเหตุการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตแบบเฉียบพลัน ซึ่งเกิดจากการสูดดมเอามลพิษทางอากาศที่มีความเข้มข้นและรุนแรงเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้ปัญหามลพิษทางอากาศ ยังส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ที่ต้องหายใจ เช่นเดียวกับมนุษย์ (Department of Disease Control,

2021) จากข้อมูลเฝ้าระวังโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศระหว่างวันที่ 1 มกราคม-19 มีนาคม 2566 พบว่ามีผู้ป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศแล้ว 1,730,973 ราย โรคที่พบสูงสุดได้แก่ โรคทางเดินหายใจ (Department of Disease Control, 2021) ในโครงการก่อสร้างทางวิ่งที่ 3 ท่าอากาศยานสนามบินสุวรรณภูมิที่ได้ก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ 2563-2567 เป็นงานก่อสร้างที่มีเครื่องจักรเป็นจำนวนมาก ประกอบไปด้วย รถเกรด รถบด รถขุดดิน รถดันดิน รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกสิบบแปดล้อ รถเครน และรถปูยางแอสฟัลต์ และรถดันดิน รถดังกล่าวทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ จากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ และมีรถพ่นแอสฟัลต์ ที่ปลดปล่อยมลพิษทางอากาศมากกว่าปกติ เพราะมีเตาเผาเพื่อใช้ต้มยางมะตอยโดยการเผาไหม้ในเตาเผาที่มีควันออกมา มีทั้งควันดำและควันขาว ที่มีมลพิษเป็นจำนวนมาก จากผลดังกล่าว การท่าอากาศยาน แห่งประเทศไทย (AOT) ได้มีหนังสือถึง

บริษัทผู้รับเหมาให้มีการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาดังกล่าว

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้และการเกิดมลพิษไอเสียจากเตาเผาของเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ในโครงการก่อสร้างทางวิ่งที่ 3 ท่าอากาศยานสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ มีถังบรรจุแอสฟัลต์ติดตั้งบนรถบรรทุก โดยปัญหาที่พบจากเครื่องฟั่นแอสฟัลต์นี้ก็คือ ในขณะที่เครื่องฟั่นแอสฟัลต์ทำงานหรือต้มยางมะตอย จะเกิดควันดำและควันขาวจากการเผาไหม้ในเตาเผาถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก จึงมีความสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ การปล่อยมลพิษจากเตาเผา รวมทั้งปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของการเผาไหม้ในเตาเผา จากงานวิจัยการศึกษาผลกระทบของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม B20 ต่อประสิทธิภาพความร้อนและลักษณะการปล่อยมลพิษของเตาเผาน้ำมันเชื้อเพลิง โดย Nidal et al. (2020) พบว่า ผลการเพิ่มความดันในการฉีดช่วยลดขนาดหยดเชื้อเพลิงและเพิ่มอัตราการผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงทำให้ทั้งอุณหภูมิและการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟเพิ่มขึ้น ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และเขม่า พบว่า การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) จะเพิ่มขึ้นจากความดันของการฉีด แต่พบว่า ต่ำกว่าค่ามาตรฐานกำหนด จากงานวิจัยเรื่องเงื่อนไขในการทำงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพในเครื่องเผาไหม้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ที่บรรยากาศที่มีออกซิเจนต่างกันของ Li et al. (2010) พบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายนอกมีแนวโน้มเปลี่ยนไปตามปัจจัย ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนและการเพิ่มความดันของการฉีดเชื้อเพลิง จากงานวิจัยเรื่องมุมของใบพัดหมุนวนอากาศส่งผลต่อลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว โดย Pourhoseini and Rasoul (2017) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามุมของใบพัดหมุนส่งผลกระทบบ่อยกมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และการปล่อยก๊าซมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ใบพัดหมุนมีมุมที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มอัตราการผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงที่เข้ามาในเตาเผา และจากงานวิจัยเรื่องการออกแบบหัวเผาเพื่อการปรับปรุงการเผาไหม้สำหรับเตาเผาเซรามิกของ Siripong and Mali (2018) โดยการปรับเปลี่ยนลักษณะ

การกระจายตัว จำนวนและขนาดของช่องเปิดอากาศ และช่องฉีดเชื้อเพลิงก๊าซ 3 แบบ ผลการศึกษาประสิทธิภาพและการวิเคราะห์ก๊าซจากการเผาไหม้พบว่า หัวเผาแบบ BN ให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด 85% และพบว่า ลักษณะของหัวเผาส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น จากรายงานผลการศึกษาผลกระทบของแรงดันฉีดดีเซลต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรลที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล/เมทานอลร่วมกัน (DMDF) ของ Chunde et al. (2015) พบว่า ที่แรงดันฉีดต่ำ ค่า IMEP ของโหมด DMDF ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล (D) ตลอดการทดสอบ ระยะเวลาการเผาไหม้ในโหมด DMDF จะสั้นลง แรงดันสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้น การปล่อย NOx และควันดำลดลงในโหมด DMDF ที่แรงดันฉีดมากกว่า 115 MPa ขณะที่การปล่อย NO และ CO<sub>2</sub> ต่ำ แต่ HC CO และ NO<sub>2</sub> สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล จากงานวิจัยการถ่ายภาพอุณหภูมิและโซนปฏิกิริยาในเปลวไฟเชื้อเพลิงคู่เพื่อช่วยลดการปล่อยมลพิษและพัฒนาการจำลองการเผาไหม้ของ Evans et al. (2018) โดยใช้ภาพถ่ายอุณหภูมิและสัญญาณ OH เพื่อตรวจสอบโครงสร้างเปลวไฟผลจากการทดลองในเปลวไฟสเปร์รี่ n-เฮปเทน พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเชื้อเพลิงก๊าซเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงสุดจะเลื่อนไปทางกึ่งด้านนอกของเปลวไฟ และเมื่อเกินขีดจำกัดการติดไฟ โซนปฏิกิริยาจะเริ่มเกิดขึ้นในกระแสที่หมุนวน จากงานวิจัยผลกระทบของอุณหภูมิเชื้อเพลิงต่อสเปร์รี่เมทานอลและการไหลภายใน โดย Zhifang et al. (2017) ได้ตรวจสอบผลของอุณหภูมิต่อการไหลภายในและการฟั่นละอองของหัวฉีดเมทานอลผ่านการจำลอง 3 มิติและการทดลองด้วย PDPA พบว่า การเกิดโพรงอากาศเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและแรงดันฉีด โดยแรงดันสูงช่วยลดอุณหภูมิที่ทำให้เกิดโพรงอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การคายประจุลดลงเมื่ออุณหภูมิเกิน 60 °C และความเร็วของหยดเมทานอลสูงสุดที่ 60 °C จากงานวิจัยผลของอิมัลชันนาโนซิลเวอร์/น้ำในน้ำมันก๊าดต่อการลด NOx และการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนของหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวของ Pourhoseini and Esmaeeli (2017) พบว่า อัตราการระเหยและการผสมกับอากาศออกซิโดซ์เพิ่มขึ้นจากการเคลื่อนที่แบบบราวน์ของอนุภาคนาโนเงินและการระเปิดขนาดเล็กลงของหยดน้ำ การฉีดนาโนอิมัลชันช่วยเพิ่มอัตราการผสมเชื้อเพลิงและอากาศ แม้ว่าการดูดซับความ

ร้อนจากน้ำจะทำให้อุณหภูมิเปลวไฟลดลง แต่การแผ่รังสีเปลวไฟเฉลี่ยกลับเพิ่มขึ้น 23% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันก๊าดบริสุทธิ์ นอกจากนี้ การปล่อย NOx ลดลงถึง 23.7% ขณะใช้มีลชันนาโนซิลเวอร์/น้ำ แสดงให้เห็นถึงความได้เปรียบในด้านการลดมลพิษเมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้ จากงานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาแก๊สและการลดการปล่อยไอเสีย: การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการใช้อุณหภูมิคาร์บอนที่พื้นละออง โดย Amin et al. (2024) พบว่าผลของการฉีดอนุภาคนาโนคาร์บอนในเปลวไฟก๊าซธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาและลดมลพิษ โดยใช้หม้อไอน้ำไฟร์ทูปสามทาง 120 kW และฉีดนาโนฟลูอิดที่ 1,000 ppm ด้วยอัตรา 5.5 g/min พบว่า การฉีด NPs ลดอุณหภูมิก๊าซปล่อยไฟ เพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี 5% และลดการปล่อย NOx และ CO ได้ถึง 8 และ 9 mg/kWh ตามลำดับ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และจากการศึกษา ลักษณะการปล่อยความร้อนและ NOx ของการเผาไหม้แบบพัลส์การไหลของเชื้อเพลิงเป็นระยะที่หัวเผาแบบผสมหัวฉีดในเตาเผาแบบเผาตรงของ Hookyung and Dong (2025) ทำการทดลองเทคโนโลยีการเผาไหม้แบบพัลส์ซึ่งโดยควบคุมการไหลของเชื้อเพลิงเป็นระยะเพื่อลดการปล่อย NOx โดยใช้วาล์วกลไกที่ปรับความเร็วรอบและอัตราส่วนหน้าตัดของแผ่นวาล์ว ผลการทดลองพบว่า NOx ลดลงสูงสุด 49.2% สำหรับ LNG (15.4 ppm ที่ 5.0 Hz, 90%) และ 50.8% สำหรับ LPG (24.1 ppm ที่ 3.0 Hz, 90%) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงความถี่และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีผลต่อการปล่อย NOx โดยแนวโน้มแสดงให้เห็นว่าการไหลของเชื้อเพลิงที่ไม่เหมาะสมอาจเพิ่มการปล่อย NOx ในบางเงื่อนไข

ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์และผลต่อการเกิดมลพิษจากเตาเผาเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์ รวมทั้งปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของการเผาไหม้ในเตาเผาเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์ เพราะความดันเชื้อเพลิงเป็นปัจจัย ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเตาเผา (The Institute of Industrial Energy, 2015) ผลจากการศึกษารังนี้ จะนำไปสู่การปรับปรุงเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์ ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น ที่มีผลต่อการลดมลพิษทางอากาศ

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์
2. เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากเตาเผาเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1. ระบบเตาเผาเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์

งานร่อนพื้นแอสฟัลต์หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่างานลาดยางไพรมโคท (prime coat) คือ การลาดยางแอสฟัลต์แบบเหลวลงบนชั้นพื้นทางที่ได้ปรับเกลี่ยแต่งบดและอัดจนได้ระดับความแน่นพร้อมทั้งมีค่าระดับและรูปร่างตามแบบแล้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมลงสู่ในชั้นพื้นทางและเพื่อให้ชั้นผิวทางยึดเกาะกับวัสดุชั้นพื้นทางได้ดี ปริมาณยางแอสฟัลต์ที่ใช้ประมาณ 0.8-1.4 ลิตรต่อตารางเมตร ขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของพื้นทาง สำหรับเตาเผาเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์ถูกติดตั้งไว้บนรถฟันท่อแอสฟัลต์หรือรถปูยางแอสฟัลต์ เป็นชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองมีถังบรรจุแอสฟัลต์ติดตั้งบนรถบรรทุก เครื่องฟันท่อแอสฟัลต์ต้องมีระบบหมุนเวียน มีปั๊มแอสฟัลต์ที่สามารถใช้งานได้ทั้งแอสฟัลต์เหลวและแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยมีอุปกรณ์ที่จำเป็นในการใช้งาน (1) ไม่วัด หรือเครื่องวัดปริมาณแอสฟัลต์ในถัง (2) หัวเผาให้ความร้อนแอสฟัลต์ (3) เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแอสฟัลต์ (4) ปั๊มแอสฟัลต์ (5) เครื่องต้นกำลังหรือเครื่องท้าย (6) ท่อฟันท่อแอสฟัลต์ พร้อมหัวฉีด (7) ท่อฟันท่อแอสฟัลต์แบบมือถือ (8) อุปกรณ์วัดปริมาณการฟันท่อแอสฟัลต์ (9) ถังบรรจุแอสฟัลต์บนรถ มีเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ ระบบเตาเผาเครื่องฟันท่อแอสฟัลต์จะมีอากาศและเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกันภายในท่อและเคลื่อนที่มาที่หัวเผาหัวเผาที่ใช้มักเป็นแบบความเร็วสูงความดันสูงให้อากาศและเชื้อเพลิงมาผสมกันที่ปลายหัวเผา ซึ่งเมื่อใช้งานในระยะนานหัวฉีดอาจเกิดการอุดตันจากเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้จึงควรมีการทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ และช่วยลดมลพิษจากไอเสีย (Department of Rural Roads, Ministry of Transport, 2011)

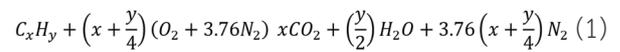
## 2. หัวเผา

หัวเผา (burner) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อให้เกิดการเผาไหม้ โดยทำหน้าที่ผสมอากาศที่มีความเร็วเข้ากับเชื้อเพลิง เพื่อสร้างปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพ หัวเผาเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การผลิตพลังงาน ความร้อนในอุตสาหกรรม การทำอาหารหรือการให้ความร้อนในระบบผลิตต่าง ๆ หัวเผามักถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการ โดยสามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้และค่าความร้อนที่ผลิตได้ หัวเผามีหลายประเภท โดยแต่ละประเภทถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่แตกต่างกัน ได้แก่ (ก) หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่อง (modulating burner) การใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนอัตราการเผาไหม้ให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน อาทิ ในระบบทำความร้อนหรือระบบผลิตพลังงาน ช่วยให้ควบคุมปริมาณความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ข) หัวเผาพ่นไฟแบบความเร็วสูง (high velocity burner) การใช้งานจะให้เปลวไฟความเร็วสูงพุ่งตรงเข้าสู่ชิ้นงาน เพื่อให้ความร้อนถึงใจกลางชิ้นงานอย่างรวดเร็ว มักใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิสูงในเวลาอันสั้น เช่น การหลอมโลหะ (ค) หัวเผาแบบรีคูเพอเรทีฟ (recuperative burner) การใช้งานจะช่วยดึงแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ให้ไหลกลับมาสัมผัสผิวท่อของอากาศใหม่ ให้สามารถอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน มักใช้ในเตาอบหรือระบบผลิตความร้อน (ง) หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (regenerative burner) การใช้งาน ช่วยดึงความร้อนจากไอเสียมาเก็บที่รีเจนเนอเรเตอร์เพื่ออุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ เหมาะสำหรับการใช้งานในที่ต้องการความร้อนสูงและมีประสิทธิภาพในการใช้งานเชื้อเพลิง เช่น ในอุตสาหกรรมหลอมโลหะหรือการผลิตอุณหภูมิสูง โดยทุกประเภทของหัวเผามีวิธีการทำงานและคุณสมบัติที่ต่างกัน ทำให้สามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับการผลิตหรือกระบวนการเฉพาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ (The Institute of Industrial Energy, 2015)

## 3. ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นการทำปฏิกิริยาเคมี ซึ่งวัตถุดิบที่เผาไหม้หรือเชื้อเพลิง ( $C_xH_y$ ) ได้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน ( $O_2$ ) พร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะที่เดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์หรือผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ได้แก่

คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และน้ำ ( $H_2O$ ) และ ไนโตรเจน ( $N_2$ ) การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีปัจจัยครบทั้ง 3 อย่าง ได้แก่ สารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยากัน คือ เชื้อเพลิง ตัวออกซิไดส์ และภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา การเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์ เช่น มีแหล่งความร้อน ประกายไฟ หรืออุณหภูมิสูง เป็นต้น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ทั่วไปของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนกับอากาศเขียนในรูปสมดุลสมการเคมีของการเกิดปฏิกิริยา ดังสมการที่ (1) (Heywood, 1988) เมื่อ  $x$  และ  $y$  คือ จำนวนอะตอมของธาตุ



สำหรับการเผาไหม้จริงที่เกิดขึ้น จะใช้อัตราส่วนที่บอกสัดส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศของไอเดียมี่ค่าเป็นกึ่งเท่าของสัดส่วนเชื้อเพลิงกับอากาศที่ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ดังนี้

อัตราส่วนสมมูลเชื้อเพลิงอากาศ (Fuel-air equivalent ratio)

$$\phi = \frac{(FA)_{act}}{(FA)_{stoich}} = \frac{(AF)_{stoich}}{(AF)_{ac}} \quad (2)$$

โดยที่

$(FA)_{act}$  = อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เกิดขึ้นจริง

$(FA)_{stoich}$  = อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี

$(AF)_{act}$  = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจริง

$(AF)_{stoich}$  = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี

เมื่อ  $\phi < 1$  ไอเดียจ (lean) มีออกซิเจนเหลือในไอเสีย  $\phi > 1$  ไอเดีย้ม (rich) มีคาร์บอนมอนอกไซด์ และเชื้อเพลิงในไอเสีย  $\phi = 1$  สัดส่วนสมบูรณ์ได้พลังงานสูงสุดจากเชื้อเพลิง

## 4. การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้

องค์ประกอบหลักในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้

ได้แก่  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  และ  $H_2O$  อย่างไรก็ตาม ประเภทของเชื้อเพลิงและสภาพการเผาไหม้บางอย่างจะทำให้เกิด  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  และ  $HCL$  และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ปริมาณเล็กน้อยได้ นอกจากนี้ บางครั้งยังมีอนุภาคของแข็งอีกด้วย เช่น เเขม่า เป็นต้น การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบ ในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ มีความสำคัญในการหาปริมาณอัตราส่วนอากาศ การตรวจสอบปริมาณก๊าซเผาไหม้ การประมาณความสูญเสียในก๊าซไอเสียในสมดุลความร้อน การปรับปรุงสภาวะการเผาไหม้ เป็นต้น เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องวิเคราะห์ทางเคมี และทางฟิสิกส์ ซึ่งแบ่งออกเป็นประเภทย่อยได้อีก วิธีวิเคราะห์ทางฟิสิกส์หมายถึง วิธีวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในก๊าซ ด้วยการวัดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น การดูดกลืนและการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น ความเป็นแม่เหล็ก เป็นต้น วิธีการวิเคราะห์ก๊าซเกือบทั้งหมดจะจัดเป็นวิธีวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ทั้งสิ้น วิธีวิเคราะห์ทางเคมี หมายถึง เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเฮมเพิล (Hempel gas analyzer) และการวิเคราะห์ปริมาตรด้วยการไตเตรตต่าง ๆ เท่านั้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ มีทั้งแบบที่สามารถวัดความเข้มข้นได้อย่างต่อเนื่อง และแบบที่ต้องเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์เป็นครั้ง ๆ ไป (Department of Alternative Energy Development and Energy Conservation, 2024)

## 5. ประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพของเตาเผา

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ หมายถึง ประสิทธิภาพของการเผาไหม้กระบวนการในการแปลงเชื้อเพลิงเป็นพลังงานความร้อน และถูกวัดโดยปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์ ในขณะที่เดียวกันก็ลดการปล่อยมลพิษที่เป็นอันตรายให้น้อยที่สุด ในการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ด้วยเครื่องมือ (flue gas analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบว่าก๊าซที่ปล่อยออกมาที่ปล่อง มีประสิทธิภาพการเผาไหม้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถวัดได้ออกมาเป็นตัวเลข และนอกจากบอกค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ ยังบอกค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ปริมาณเปอร์เซ็นต์ ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  และ  $NO_x$ ) ซึ่งก๊าซมลพิษต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมือวัด ยังสามารถนำไปคำนวณหาความร้อนที่สูญเสียจากเตาเผา หรือ การหาประสิทธิภาพเตาเผา โดยที่ประสิทธิภาพ

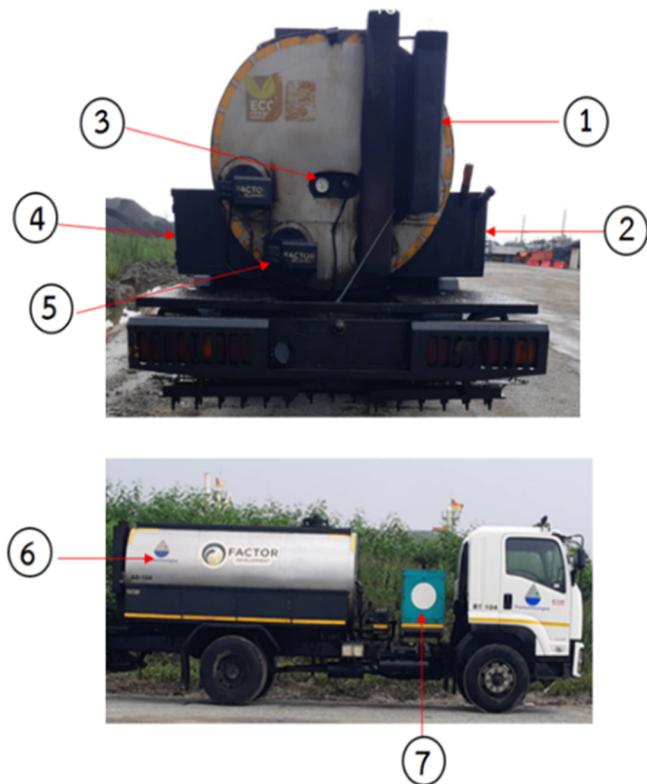
เตาเผา เป็นตัวเลขที่แสดงว่า พลังงานที่อยู่ในเชื้อเพลิง ที่เกิดจากการเผาไหม้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ได้ที่เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ เป็นตัวเลขที่ใช้แสดงอัตราส่วนของปริมาณความร้อนที่ให้กับผลิตภัณฑ์ของเตาเผา และปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ป้อนให้กับเตาเผา ประสิทธิภาพของเตาเผาสามารถกำหนดได้ทั้งวิธีทางตรง (1) การทดสอบวิธีทางตรง ประสิทธิภาพของเตาเผาสามารถคำนวณได้จากการวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ซื้อต่อหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ผลิตจากเตาเผา การหาประสิทธิภาพเตาเผา (2) การทดสอบวิธีทางอ้อม โดยการหาการสูญเสียความร้อน (Department of Alternative Energy Development and Energy Conservation, 2024)

## วิธีดำเนินการวิจัย

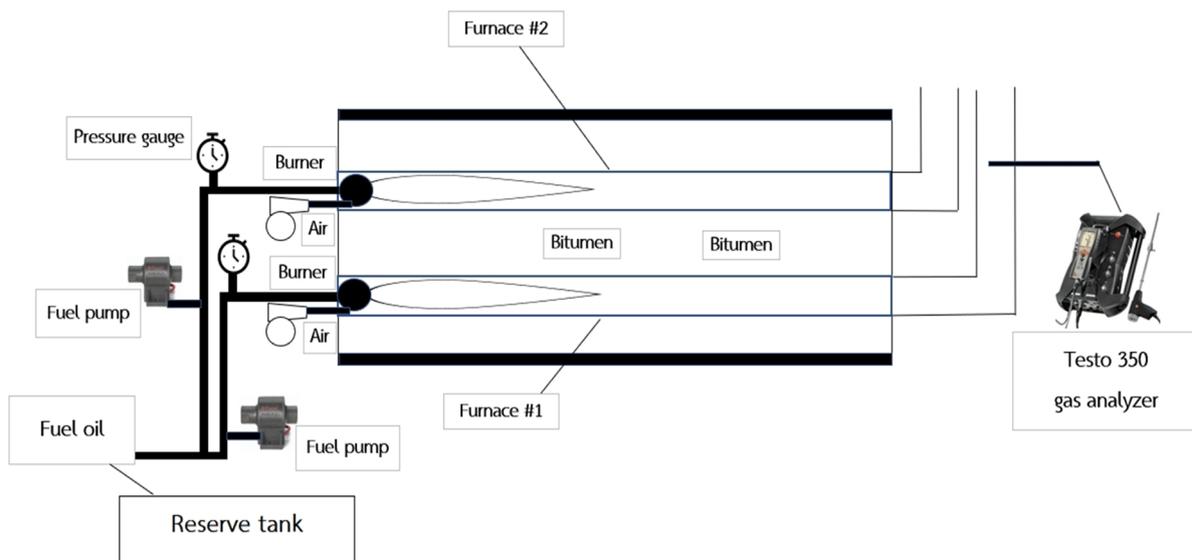
1. ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้และการวัดไอเสียจากเตาเผา รวมไปถึงการวัดประสิทธิภาพเตาเผา
2. กำหนดขอบเขตในการศึกษาและวางแผนดำเนินการวิจัย
3. ออกแบบและกำหนดเงื่อนไขวิธีการทดสอบ รวมถึงการปรับปรุงวิธีการให้พร้อมทำการทดสอบ
4. ดำเนินการทดสอบการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้และวัดการเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และเก็บบันทึกผลการทดสอบ
5. วิเคราะห์ผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้และมลพิษไอเสียของเครื่องพ่นแอสฟัลต์ และทำการทดสอบซ้ำ
6. สรุปผลการทดสอบและเผยแพร่ผลการศึกษา
7. สรุปผลการศึกษา

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ที่ใช้ในการวิจัย ยี่ห้อ Factor รุ่น Xfactor ขนาดอัตราความร้อน 370 กิโลวัตต์ และในการทดสอบครั้งนี้เป็นเตาเผาที่ใช้ความร้อนส่งผ่านไปยังผลิตภัณฑ์ ก็คือ น้ำยางมะตอย โดยเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์มีรายละเอียด (1) ท่อไอเสีย (2) ถังน้ำมัน (3) เเกจวัดความดันน้ำมันเชื้อเพลิง แบบดิจิตอล TIS TG 1.0 มีความแม่นยำ  $\pm 0.5\%$  (4) ชุดควบคุมเตาเผา (5) พัดลมอัดอากาศ (6) ถังบรรจุยางมะตอย (7) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงดังภาพ 1



ภาพ 1 รถบรรทุกและเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์



ภาพ 2 โครงสร้างเตาเผาเป็นลักษณะท่อเหล็กกลม ติดตั้งอยู่ภายในถังบรรจุน้ำอย่างมตะย

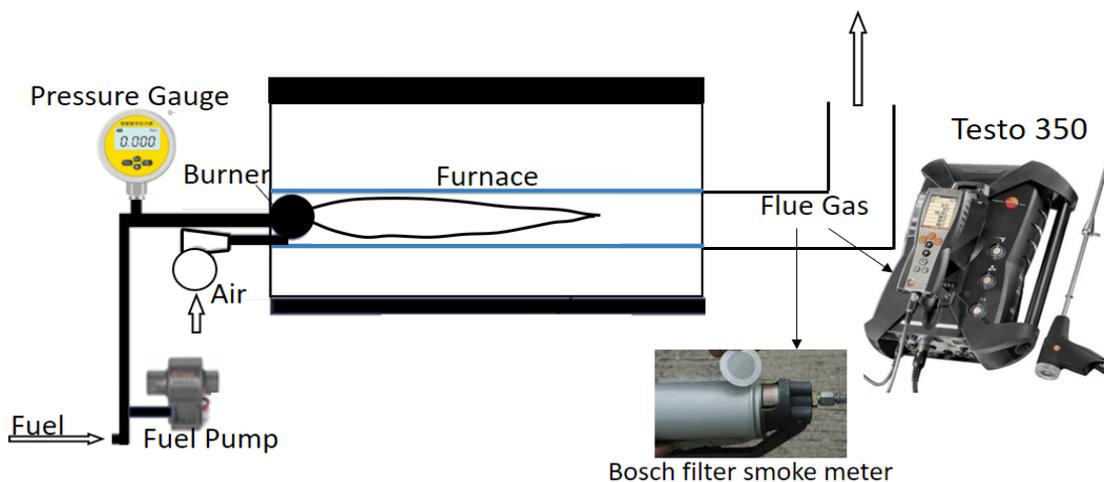
2. หัวเผา (burner) ที่ใช้ในการทดสอบให้ความร้อน กับผลิตภัณฑ์น้ำมันมะตอย ซึ่งเป็นหัวเผาขนาดเล็กแบบ เปลวไฟแพร่ (diffusion flame) หัวเผา ยี่ห้อ Monarch รุ่น Monarch oil nozzle 3.00 GPH x 45 degree PLP ชุดหัวเผาแบบ PLP โคนกึ่งแข็ง 2.25 ถึง 100 USGPH ซึ่งหัวเผาแบบ PLP เป็นหัวเผาน้ำมันในภาคอุตสาหกรรม โดยมีลักษณะหน้าตัดทรงกรวย หัวเผาชนิดนี้จะประกอบไปด้วย ตัวกรอง (filter) ตัวล็อก (locknut) แผ่นไหลหมุนวน (swirl disk) และหัวฉีด (nozzle tip)

3. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (flue gas analyzer) ที่ใช้ในการศึกษานี้ เพื่อหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาเครื่องฟันแอสฟัลต์ เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ยี่ห้อ Testo รุ่น Flue gas analyzer testo 350 เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจสอบปริมาณก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจากปล่องไอเสีย โดยสามารถวัดก๊าซ  $O_2$   $CO_2$   $CO$   $NOx$  และ  $SO_2$  ได้ และมีความเที่ยงตรง  $O_2 \pm 0.2$  Vol%  $CO_2 \pm 0.3$  Vol%  $CO \pm 10$  ppm  $NOx \pm 5$  ppm และ  $SO_2 \pm 5$  ppm

4 เครื่องวัดควันดำระบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ Bosch เป็นเครื่องมือวัดควันดำโดยการเก็บตัวอย่างควันดำจากปล่องไอเสียเตาเผา และนำกระดาษกรองจากการวัดควันดำมาอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำ

#### แผนผังการทดสอบ

แผนผังการทดสอบ แสดงดังภาพ 3 เริ่มจากอากาศที่ผสมเชื้อเพลิงถูกผสมจ่ายไปยังเครื่องฟันแอสฟัลต์ ด้านในถึงบรรจุแอสฟัลต์ จะมีเตาเผาและชุดหัวเผา มีชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานเตาเผา โดยมีปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ทำหน้าที่ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงส่งเข้าไปในเตาเผา ผ่านอุปกรณ์เกจวัดความดัน วาล์วควบคุม และเครื่องอัดอากาศ นำเอาอากาศด้านนอกเตาเผาส่งเข้าไปในเตาเผา มีกระบวนการจุดติดไฟในเตาเผาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ และเกิดความร้อนส่งผ่านไปยังแอสฟัลต์ ไอเสียจากการเผาไหม้ถูกส่งออกโดยผ่านท่อไอเสีย โดยเครื่องวิเคราะห์ ไอเสียจะติดตั้งที่ท่อไอเสีย และตรวจวัดปริมาณควันดำ



ภาพ 3 แผนผังการทดสอบ

## วิธีการทดสอบ

1. ตรวจสอบความพร้อมก่อนการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์เตาเผา
2. เตรียมอุปกรณ์ทดสอบ ติดตั้ง เกจวัดความดันดิจิตอล เครื่องวัดก๊าซไอเสีย เครื่องวัดควันดำ ตรวจสอบชุดเขี้ยวสปาร์คสำหรับจุดติดไฟเตาเผา ตรวจสอบชุดวาล์วควบคุมปรับระดับความดันเชื้อเพลิงเตาเผา
3. สตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กดปุ่มสวิทซ์การทำงานของเตาเผา ปรับเปลี่ยนระดับความดันน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ระดับ 40-80 psi บันทึกค่าผลการทดสอบในสถานะต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซไอเสีย อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพเตาเผา(วัดจากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย) และปริมาณควันดำ
4. การซ่อมบำรุงเตาเผา ถอดไส้เตาเผา ทำความสะอาด นำเขม่าที่สะสมอยู่ภายในเตาเผาออก ทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง

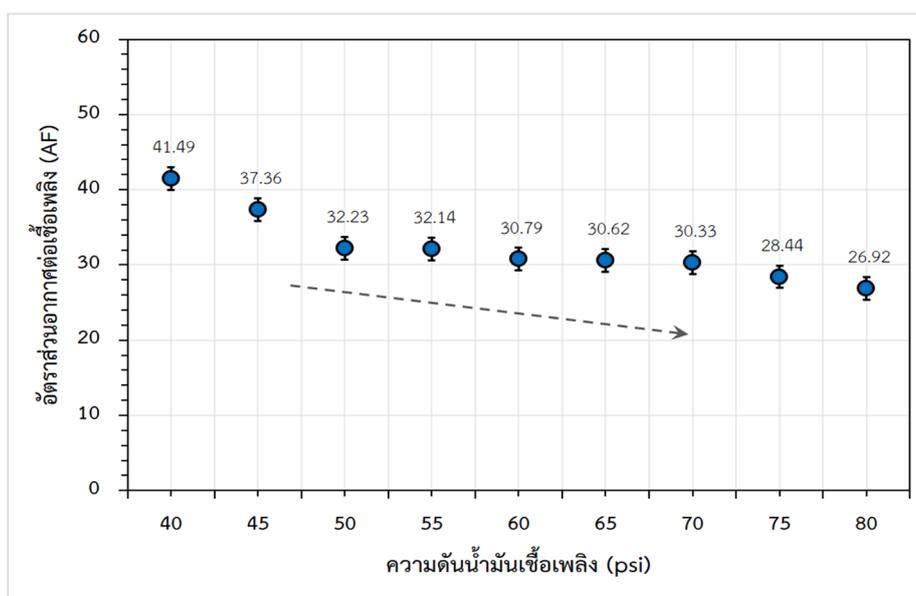
## ผลการวิจัย

จากการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องฟันแอสฟัลด์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องฟันแอสฟัลด์ และอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากเตาเผาเครื่องฟันแอสฟัลด์ ผลจากการทดสอบจากกราฟในภาพ 4 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 41.49 และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเชื้อเพลิง

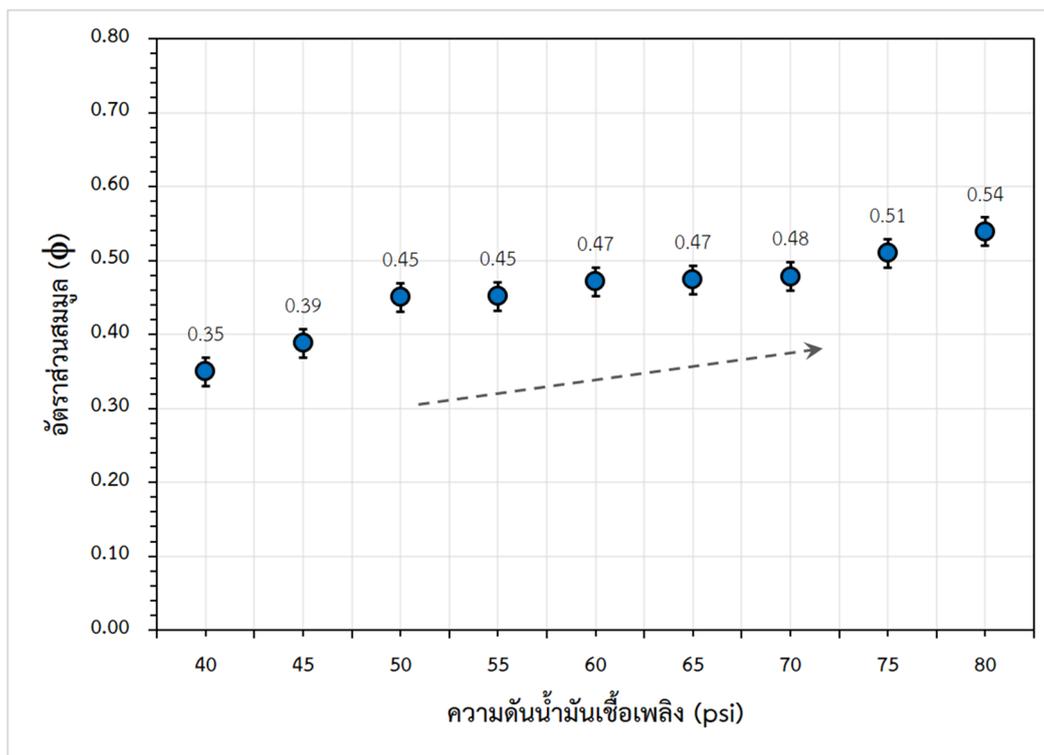
เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 26.92 จากภาพ 5 อัตราส่วนสมมูล พบว่า เมื่อเริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 40 psi อัตราส่วนสมมูลมีค่าเท่ากับ 0.35 และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนสมมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 11.42-54.28%

จากภาพ 6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 34.80 L/h และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราการสิ้นเปลืองเท่ากับ 36.60 L/h โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.7-5.2% ตามความดันน้ำมันที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณความดันที่เพิ่มขึ้น ภาพ 7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าเท่ากับ 59.10% เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ในช่วงระหว่าง 50-60% และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 60.10%

สำหรับประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องฟันแอสฟัลด์ แสดงดังภาพ 8 พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องฟันแอสฟัลด์ มีค่าเท่ากับ 28.36% เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องฟันแอสฟัลด์ อยู่ในช่วงระหว่าง 21.09-26.92% และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพเตาเผา ลดลงเล็กน้อย เท่ากับ 26.92%



ภาพ 4 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

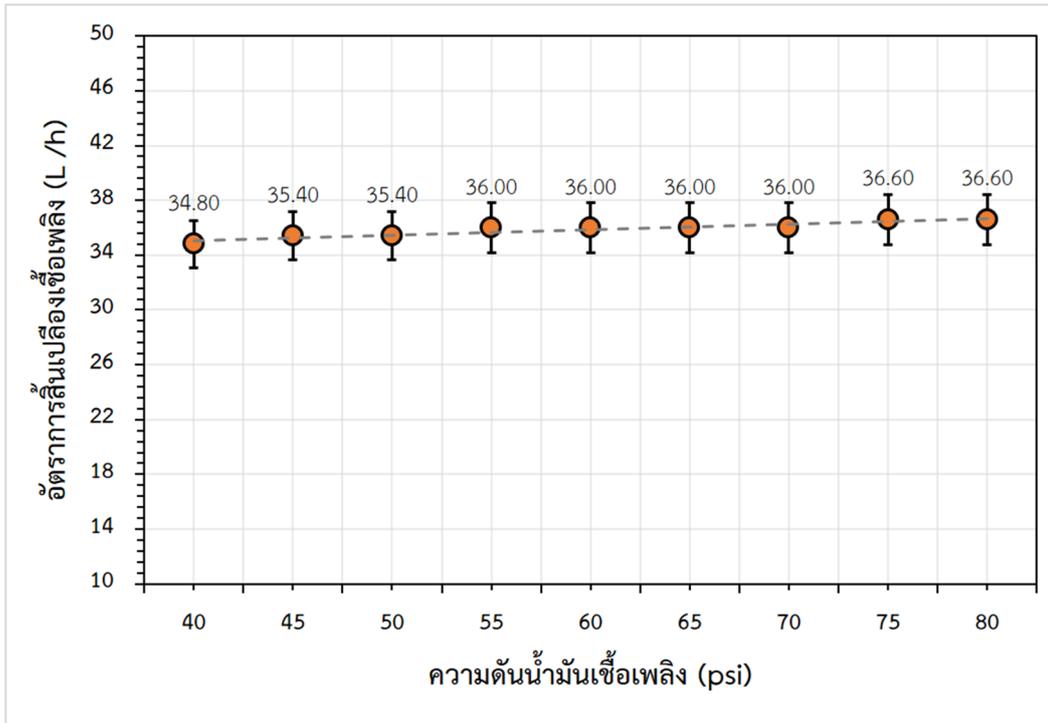


ภาพ 5 อัตราส่วนสมมูล

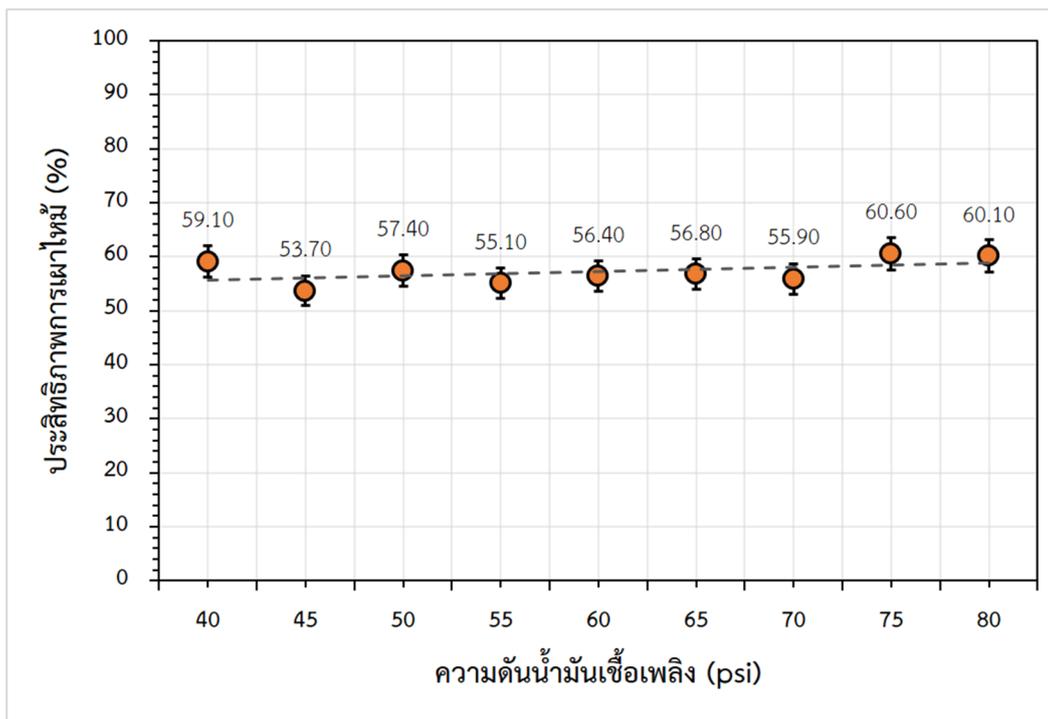
จากภาพ 6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 34.80 L/h และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราการสิ้นเปลืองเท่ากับ 36.60 L/h โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณความดันที่เพิ่มขึ้น ภาพ 7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าเท่ากับ 59.10% เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ในช่วงระหว่าง 50-60% และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 60.10% เมื่อพิจารณาจากภาพ 7 พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก 45 psi และ 75 psi แตกต่างกัน 6.3% ความแตกต่างที่ไม่สูงมากแต่ก็มีความแตกต่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะความเหมาะสมของการเผาไหม้ โดยการเพิ่ม

ความดันเชื้อเพลิงช่วยให้การเป็นฝอยละอองของเชื้อเพลิงที่ดีขึ้น จึงทำให้มีแนวโน้มของประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

สำหรับประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ แสดงดังภาพ 8 พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ มีค่าเท่ากับ 28.36% เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์อยู่ในช่วงระหว่าง 21.09-26.92% และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi มีประสิทธิภาพเตาเผาเท่ากับ 26.92 ลดลงเล็กน้อย 1.44%



ภาพ 6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



ภาพ 7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

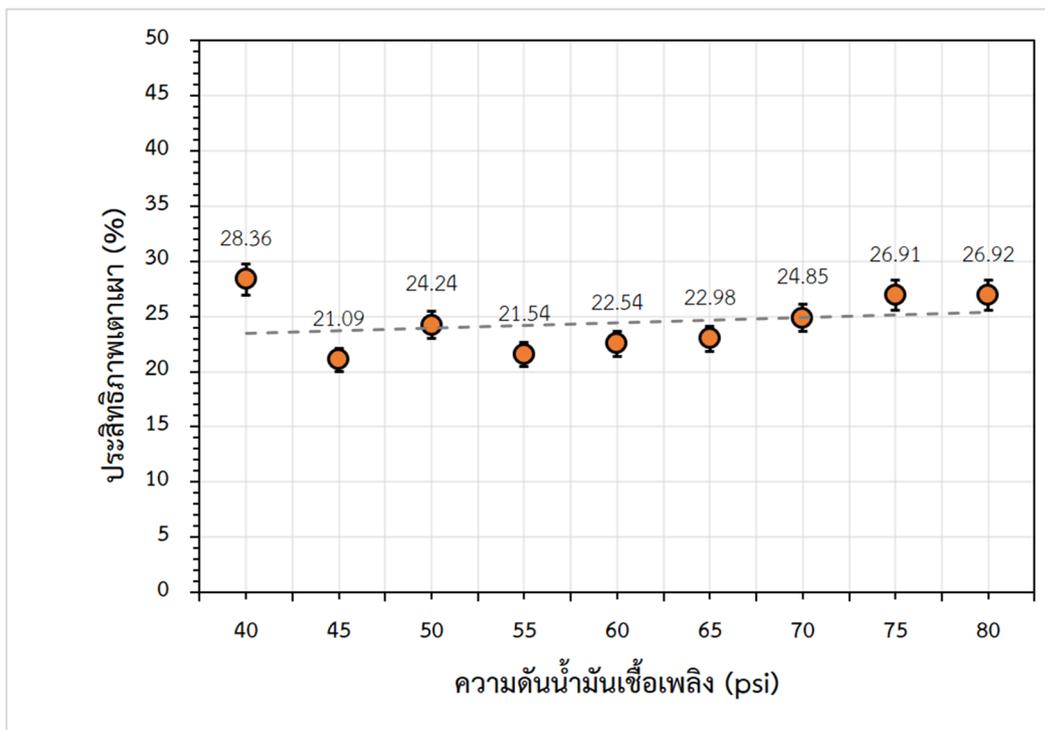
การเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ จากภาพ 9 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 5.06% และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น 0.6–2.7% ตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 8.03% สำหรับปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้แสดงในภาพ 10 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณออกซิเจนในไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์จะมีค่าเท่ากับ 14.06% เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนในไอเสียจะลดลงตามลำดับ และความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 10.19% ออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ลดลงตามลำดับความดันการฉีดเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

จากภาพ 11 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเท่ากับ 0.089% เมื่อปรับเปลี่ยน

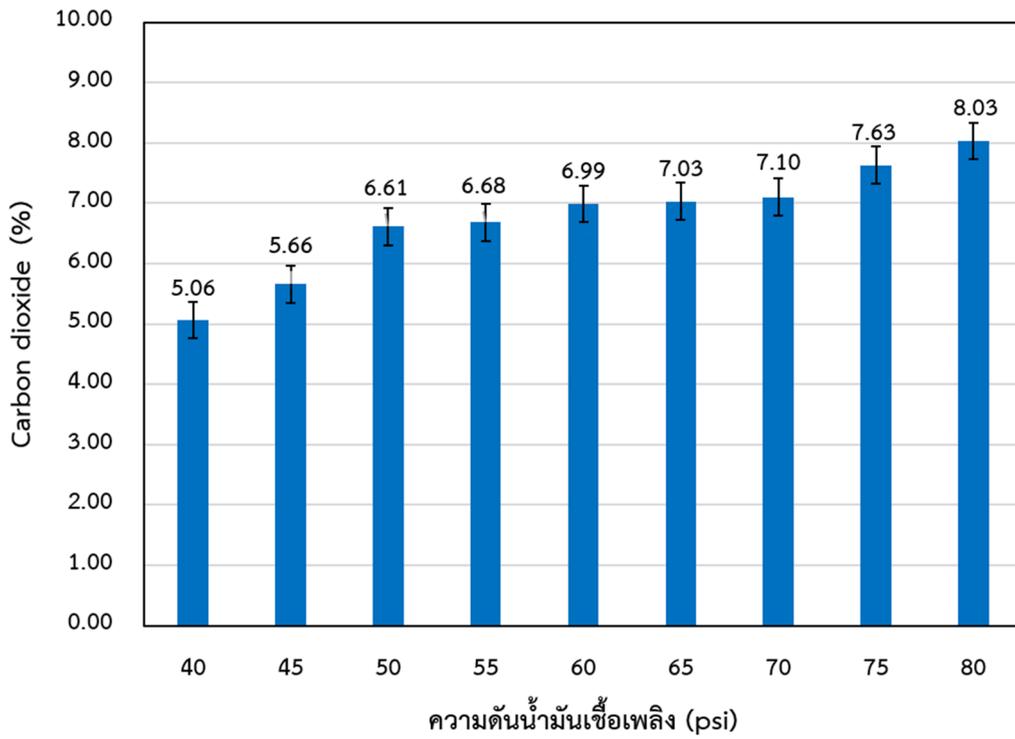
ความดันการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับ 0.005% ถือว่าเกิดขึ้นน้อยที่สุด

สำหรับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ จากภาพ 12 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 40 psi ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มีค่าเท่ากับ 7 ppm และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เท่ากับ 31 ppm

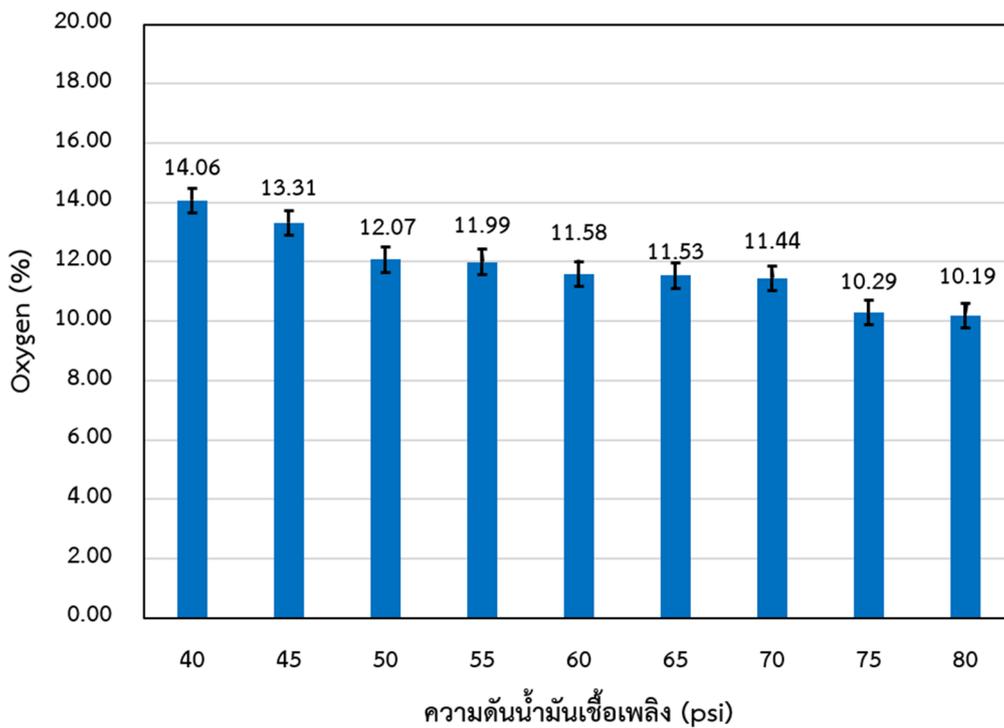
ค่าควันดำที่ได้จากการทดสอบ จากภาพ 13 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เท่ากับ 40 psi ค่าควันดำ เท่ากับ 3% เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมัน 45 psi ค่าควันดำเท่ากับ 16% และค่าควันดำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ค่าวัดควันดำเท่ากับ 87.0%



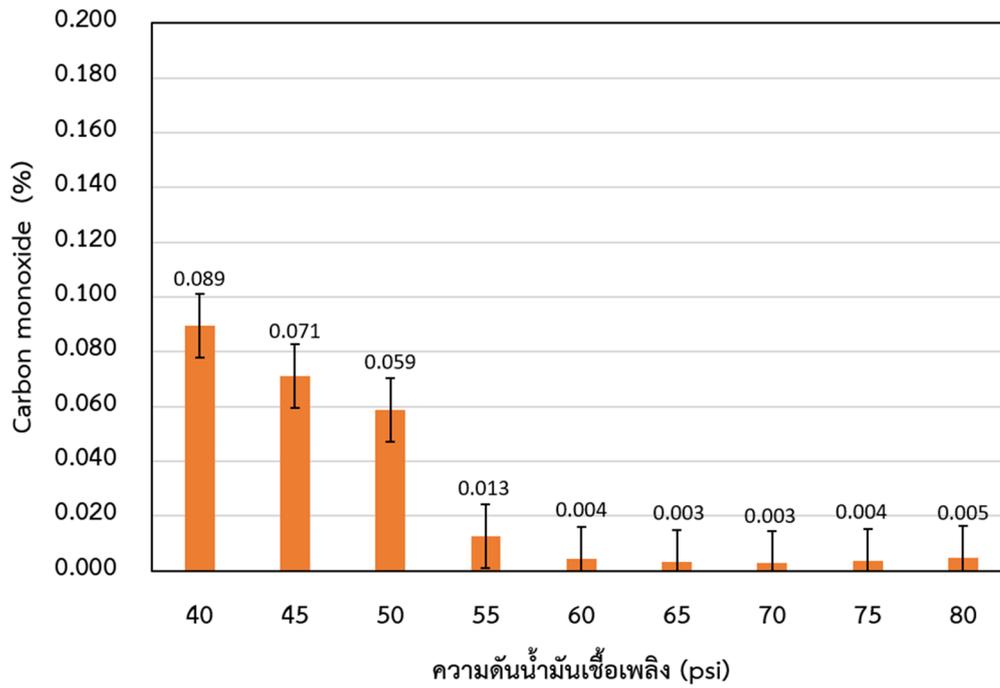
ภาพ 8 ประสิทธิภาพเตาเผา



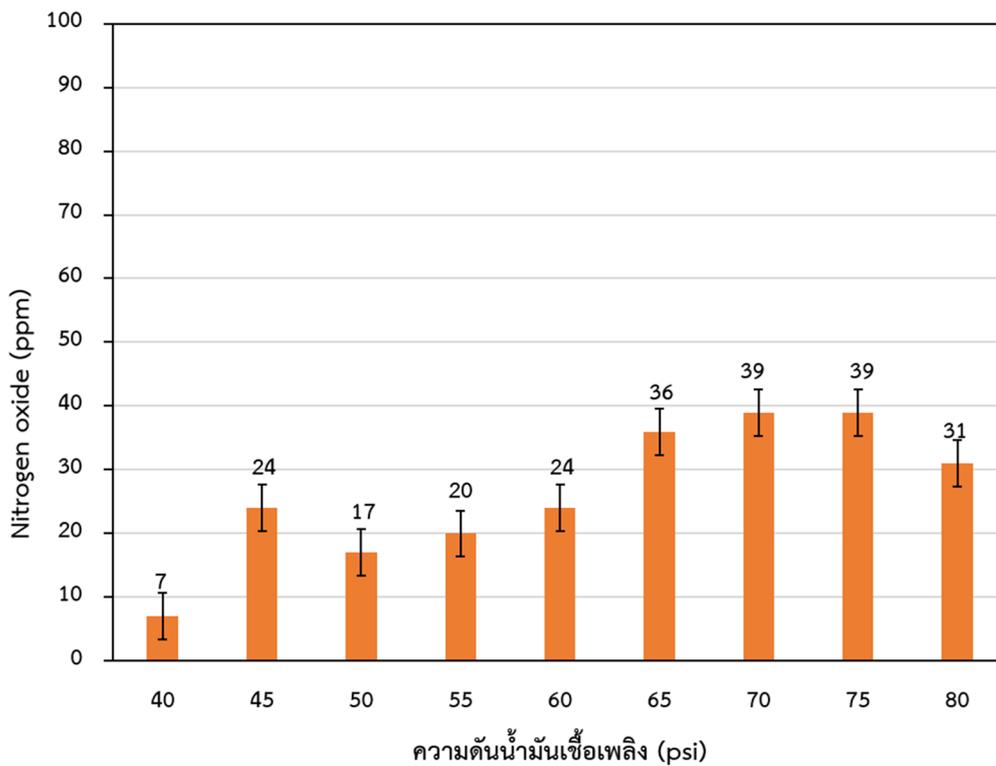
ภาพ 9 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)



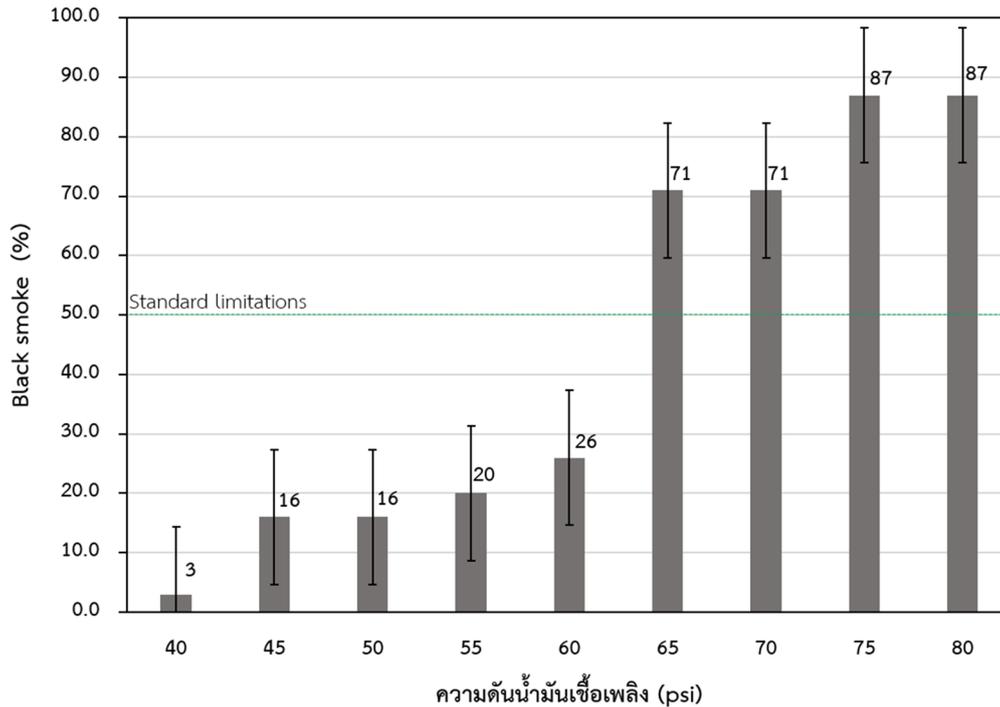
ภาพ 10 ออกซิเจน (Oxygen)



ภาพ 10 คาร์บอนออกไซด์ (Carbon monoxide)



ภาพ 12 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide)



ภาพ 13 ควันดำ (black smoke)

### การอภิปรายผล

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อการเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ที่ปรับระดับความดันการฉีดเชื้อเพลิง 40-80 psi และวัดค่าไอเสียเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

เมื่อพิจารณา อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เท่ากับ 41.49 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ค่อนข้างบาง และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง หรือส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงมีความเข้มข้นมากขึ้นเมื่อปรับความดันน้ำมันในการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่ม และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 29.92 และหากพิจารณาอัตราส่วนสมมูล จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง โดยเริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 40 psi อัตราส่วนสมมูลมีค่าเท่ากับ 0.35 และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนสมมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 11.4-54.3% ตามความดันที่ฉีดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง ดังภาพ 4 จะมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่อัตราส่วนอากาศ

ต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีมีค่าคงที่ตลอดเวลา

สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 1.7-5.2% ตามความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณความดันที่เพิ่มขึ้น สำหรับประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 50-60% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ตลอดการทดสอบ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 3.7-6.4% ตามความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nidal et al. (2020) และ Li et al. (2010) การเพิ่มความดันในการฉีด Nidal et al. (2020) ได้ให้ความเห็นว่าช่วยลดขนาดหยดเชื้อเพลิงและเพิ่มอัตราการผสมช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ แสดงดังภาพ 8 พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi เท่ากับ 28.36% เมื่อเพิ่มความดันการฉีดเชื้อเพลิงประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 21.09-26.92% ซึ่งประสิทธิภาพเตาเผาปกติจะอยู่ในช่วง 20-30 % (The Institute of Industrial Energy, 2015) ส่วนความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาจะสูญเสียไปกับไอเสียความร้อนผ่านผิวเตา และการระบายความร้อน

หากพิจารณา การเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องฟ่นแอสฟัลต์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อปรับเปลี่ยนความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ชนิดหนึ่ง เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก กรณีเมื่อปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nidal et al. (2020)

ซึ่งผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจน เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนในไอเสียจะลดลงตามลำดับ ซึ่งเกิดจากเตาเผาที่มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ดีขึ้นทำให้ออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ลดลงตามลำดับการฉีดเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกัน ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซพิษ จะพบว่า เมื่อการเผาไหม้ดีขึ้นหรือการเผาไหม้สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น เมื่อปรับเปลี่ยนความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงตามลำดับ ที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 0.005% ถือว่าเกิดขึ้นน้อยมากซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nidal et al. (2020)

สำหรับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซพิษอีกชนิดหนึ่ง ปกติเกิดขึ้นมากที่อุณหภูมิการเผาไหม้สูงหรือเกิดขึ้นที่จุดการเผาสมบูรณ์เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนออกไซด์เมื่อปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจะสอดคล้องการเกิดของก๊าซต่าง ๆ ก่อนหน้านี้ ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nidal et al. (2020)

ค่าควันดำที่ได้จากการทดสอบ ปกติเตาเผาไม่ได้วัดควันดำ แต่จะตรวจวัดปริมาณเขม่า (soot) แต่ในงานวิจัยนี้เตาเผาเครื่องฟ่นแอสฟัลต์ ถูกติดตั้งอยู่บนรถยนต์ และเป็นส่วนหนึ่งของรถที่ฟ่นแอสฟัลต์จึงต้องมีการตรวจสอบควันดำทั้งจากเครื่องยนต์และเครื่องฟ่นแอสฟัลต์ก่อนเข้าไปปฏิบัติงานก่อสร้างในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยที่เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 40 psi ค่า

ควันดำเท่ากับ 0% ค่าควันดำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ค่าวัดควันดำเท่ากับ 87.0% ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์และก๊าซต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กัน ระดับความดันเชื้อเพลิง 40-60 psi ค่าควันดำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด อยู่ที่ระดับ 0-30% และที่ระดับความดันเชื้อเพลิงมากกว่า 65 psi ค่าควันดำอยู่ที่ระดับ 71-87% ซึ่งค่าควันดำเกินเกณฑ์มาตรฐานกฎหมายที่กำหนดสำหรับเครื่องวัดควันดำระบบกระดาดากรอง ห้ามเกิน 50% (Department of Land Transport, 2024)

### ข้อเสนอแนะ

1. ภายในเตาเผาที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลายาวนาน ควรจะต้องมีการกำหนดระยะเวลาในการซ่อมบำรุง ถอดรื้อ ทำความสะอาดไส้เตาเผาเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของเขม่าควันดำและตกค้างอยู่ภายใน

2. ปริมาณความร้อนที่เหลือ กระจายออกจากระบบไปยังส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะจากไอเสียที่มีปริมาณสูงมาก เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของเตาเผาสูงสุด ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อนำความร้อนที่เหลือจากส่วนดังกล่าวกลับมาใช้งานในกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผาอีกครั้ง

3. ผู้ปฏิบัติงานควบคุมเตาเผาเครื่องฟ่นแอสฟัลต์ ควรปรับความดันฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เกิน 65 psi เพื่อควบคุมปริมาณควันดำที่ออกมาจากเตาเผาเป็นไปตามกฎหมาย

4. ควรมีการวัดค่า PM 10 หรือ PM 2.5 เพื่อช่วยตรวจสอบค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยงานที่สนับสนุน อนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์วิจัยเผาอากาศของเสีย คณะวิศวกรรมศาสตร์ และศูนย์วิจัยและฝึกอบรมทรัพยากรมนุษย์เพื่ออุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



## References

- Amin, J., Mojtaba, N., & Omid, M. (2024). Enhancing gas burner efficiency and reducing exhaust emissions: an experimental study on the use of nebulized carbon nanoparticles, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 174, <https://doi.org/10.1007/s40997-024-00807-5>
- Chunde, Y., Cheung, C. S., Chuanhui, C., Yinshan, W., Chan, T. L., & Lee, S. C. (2015). Effects of diesel injection pressure on the performance and emissions of a HD common-rail diesel engine fueled with diesel/methanol dual fuel. *Fuel*, 140, 192-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.109>
- Department of Alternative Energy Development and Energy Conservation. (2024). *Combustion theory*. Retrieved from [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file\\_handbook/Pre\\_Heat/pre\\_heat\\_3.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_3.pdf). (in Thai)
- Department of Disease Control. (2021). *Situation for monitoring health impacts from air pollution, particulate matter no larger than 2.5 microns (PM2.5) in Bangkok and its vicinity*. Retrieved from <https://ddc.moph.go.th/doe> (in Thai)
- Department of Land Transport. (2024). *Determining standards and methods for measuring black smoke from exhaust pipes of vehicles according to the Motor Vehicle Act of 2024*. Retrieved from [https://www.dlt-inspection.info/dlt/cl/pdfuploads/2022\\_06\\_17\\_13\\_57\\_36.pdf](https://www.dlt-inspection.info/dlt/cl/pdfuploads/2022_06_17_13_57_36.pdf) (in Thai)
- Department of Rural Roads, Ministry of Transport. (2011). *Road surface construction work*. Retrieved from [https://www.dla.go.th/upload/ebook/column/2554/3/556\\_3050.pdf](https://www.dla.go.th/upload/ebook/column/2554/3/556_3050.pdf) (in Thai)
- Evans, M. J., Sidey, J. A. M., Ye, J., Medwell, P. R., Dally, B. B., & Mastorakos, E. (2018). Temperature and reaction zone imaging in turbulent swirling dual-fuel flames. *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(2), 2159-2166, <https://doi.org/10.1016/j.proci.2018.07.076>
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Hookyung, L., & Dong, M. S. (2025). Thermal and NOx emission characteristics of periodic fuel-flow-pulsed combustion at a nozzle-mixed burner in a direct-fired furnace. *Applied Thermal Engineering*, 263, 125326, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.125326>
- Li, Y., Lan, J., Lyu, T., Zhou, J., Yang, X., Gangtao Lin, Genxiang Gu, G., & Han, D. (2024). Enhancing external combustion efficiency in stirling engine combustors: influence of oxygen atmosphere, ejection ratio, and pressure. *Journal of Marine Science and Application*, 2024(4), s11804. <https://doi.org/10.1007/s11804-024-00451-0>

- Nidal, H., A. H., Rashad, A. R., Bantan, A. A., & Pourhose, S. H. (2020). The effect of injection pressure on the thermal performance and emission characteristic of an oil burner operating on B20 palm oil biodiesel-diesel blend fuel. *Fuel*, 278, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118174>
- Pourhoseini, S. H., & Rasoul, A. (2017). An experimental study of optimum angle of air swirler vanes in liquid fuel burners. *Journal of Energy Resources Technology*, 139(3), 032202 <https://doi.org/10.1115/1.4035023>
- Pourhoseini S. H. & Esmaeeli R., (2017). Effect of nanosilver/water-in-kerosene emulsion on NOx reduction and enhancement of thermal characteristics of a liquid fuel burner. *Energy & Fuels*, 31(12), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.7b02981>
- Siripong, K., & Mali, S. (2023). Design of burner head for improving combustion for ceramic kiln. *Science and Technology Journal*, 28(4), 734-742. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/235683> (in Thai)
- The Institute of Industrial Energy. (2015). *Energy conservation in industrial furnace. Center for conservation guidelines in the industry. Bangkok*. Retrieved from <https://iie.fti.or.th/?p=3949> (in Thai)
- Zhifang, C., Anren, Y., Chunde, Y., Zenghui, Y., Han, X., Peilin, G., Zhancheng, D., Jiangtao, H., Taoyang W., & Ming, M. (2017). Effect of fuel temperature on the methanol spray and nozzle internal flow. *Applied Thermal Engineering*, 114, 673-684, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.025>







## มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

เลขที่ 200 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ : 0-2577-1028 ต่อ 377, 378 โทรสาร : 0-2577-1053

www.eau.ac.th E-mail: eau\_heritage@eau.ac.th

<http://eauheritage.eau.ac.th/>

