



วารสารวิชาการ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ปีที่10 ฉบับที่1 มกราคม - มิถุนายน 2568
Vol.10 No.1 Jan. - Jun. 2025



Industrial Technology Journal
Surindra Rajabhat University

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ISSN (Print) 3027-6314
ISSN (Online) 3027-6322



industrial-journal.sru.ac.th

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ เป็นวารสารที่ผ่านการประเมินคุณภาพวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 5 พ.ศ. 2568-2572 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดทำขึ้นปีละ 2 ฉบับเพื่อใช้เป็นแหล่งเผยแพร่บทความทางวิชาการและบทความวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับเพื่อรวบรวม และเผยแพร่ ผลงานทางวิชาการ โดยตีพิมพ์บทความวิจัย และบทความทางวิชาการ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรมศึกษา นวัตกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ของอาจารย์ นักศึกษา และนักวิชาการ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมฉบับนี้เป็นปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2568 ประกอบด้วย บทความวิจัยจำนวน 18 บทความ อนึ่งความคิดเห็นจากบทความวิชาการหรือรายงานการวิจัยแต่ละเรื่องที่น่าสนใจในวารสารฉบับนี้เป็นความเห็นจากผู้เขียนหรือผู้วิจัยกองบรรณาธิการมีหน้าที่จัดพิมพ์และเผยแพร่เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการแก่สังคมเท่านั้น กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบุคลากรทั้งในสถานศึกษาและสถานประกอบการตลอดจนผู้สนใจโดยทั่วไปจะได้รับสาระประโยชน์จากวารสารฉบับนี้

กองบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2568

ISSN 3027 – 6314 (Print)

ISSN 3027 – 6322 (Online)

เจ้าของ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ และบริหารงานบุคคล
รองคณบดีฝ่ายวางแผน และกิจการนักศึกษา
รองคณบดีฝ่ายวิจัย และบริการวิชาการ

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกานต์ พวงไพบูลย์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทรงศักดิ์ มีสิทธิ์

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. กรินทร์ กาญจนานนท์

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระราชูปถัมภ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วรัทยา ธรรมกิตติภาพ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุมพฏ พงษ์ศักดิ์ศรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วงกต ศรีอุไร

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครชัย พิมพิมูล

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ มณีวรรณ

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

รองศาสตราจารย์ยุพดี สีนมาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

วัตถุประสงค์

เพื่อรวบรวม และเผยแพร่ ผลงานทางวิชาการ โดยตีพิมพ์บทความวิจัย และบทความทางวิชาการ
ด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรมศึกษา นวัตกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ของอาจารย์ นักศึกษา
และนักวิชาการ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน มีกำหนดการตีพิมพ์ปีละ 2 ครั้ง คือ ในรอบเดือนมกราคม –
มิถุนายน และรอบเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน

ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

โดยทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรง 3 ท่านต่อหนึ่งบทความ

สารบัญ

บทความวิจัย

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลยซัชชัย พีรภมล คักดีชัย พวงจันทร์.....	1
การใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเป็นส่วนผสมในวัสดุบล็อกปูพื้นทางเท้าพิณทิพย์ แก้วแกมทอง.....	12
การทดสอบสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรโดยวิธีแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อภานุเมศวร์ สุขศรีศิริวัชร พงศ์ไกร วรรณตรง.....	21
การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องรีดยางพาราสำหรับกลุ่มเกษตรกรขนาดเล็กด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟสวุฒิกัทร จำรัสแนว วันชาติ สุพรมพิทักษ์.....	29
การพัฒนาเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ สำหรับกลุ่มวิสาหกิจเครื่องประดับจังหวัดสุรินทร์ทรงยศ หวังชอบ ศุภวัชร นิยมพันธุ์ กนกกานต์ ลายสนธิ์ สุรเชษฐ์ วงศ์ชัยประทุม.....	39
การพัฒนาระบบการเบิก – คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุงบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดสมจินต์ อักษรธรรม วรเทพ ตรีวิจิตร เกลิง พลเจริญ สมศักดิ์ มั่นคร.....	54
การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบ โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับบลูมร้อนสรายุพงศ์ หนูยิ้มชัย ธนยพร ชูแก้ว ธนกร พันธุ์เลิศ จิรวัฒน์ นิมีลี.....บัณฑิตา ภูทรัพย์มี โปณะทอง สุธาพร เกตุพันธ์.....	67
การพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพาราอิริช ลีตระกูล จีระศักดิ์ พิศเพ็ง เฉลิมเจริญ สมานหัตถ์ วิชัย แหวนเพชร.....ชาติชาย จรรย์ศิริไพศาล อัญญา วรรณกายนต์.....	81
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดของกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตกรุ่งอรุณ พรเจริญ อิติ ธาราสุข ชลธิศ ปิติภูมิสุขสันต์.....	96
การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการจัดการอะไหล่คลังของงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรณัฐชา ทิมพารณณ์ ชัยยะเนตร ธาพินนา ศุภโชค เสมศรี ชำนาญ เรืองฤทธิ์.....มานะ อิมสูงเนิน.....	109
การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้ขับขี่ยานพาหนะในเขตอำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เจษฎา คำผอง ณธายุ ขวพัฒน์โยธา.....	119

สารบัญ

บทความวิจัย (ต่อ)

การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ปรกรณ์เกียรติ ภูทองพลอย พรรณนิภา ครองพลอย.....	135
การออกแบบและทดลองจริงของแขนกลหุ่นยนต์สำหรับเส้นทางการเคลื่อนที่ ด้วยการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์กิตติศักดิ์ แสนประสิทธิ์ นัฐพงษ์ เนินชัด ปรกรณ์เกียรติ ภูทองพลอย คมยุทธ ไชยวงษ์.....	146
การออกแบบและพัฒนาโรงไฟฟรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้าเรืองยศ แก้วหล้า นิคม ลนขุนทด และอัษฎา วรรณกายนต์.....	161
ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ในการคำนวณเสถียรภาพของลาดดินรัฐศักดิ์ ผลานิสงค์ พงศกร พรรณรัตน์ศิลป์.....	176
คุณสมบัติของคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็วที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิล จากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป: คุณสมบัติของคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็ว ที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปจกกฤษณ์ ศรีละคุณ ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์ ปริญญา จินดาประเสริฐ พัทธพล โพธิ์ศรี.....	191
ประสิทธิผลของโปรแกรมการปรับปรุงสถานีงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์ เพื่อลดความเสี่ยงโรคออฟฟิศซินโดรมในบุคลากรวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งใน กรุงเทพมหานครสุคนธ์ ขาวกริบ ปัญุปัทธกร บุญพร้อม อาริรัตน์ วรณัฐ ศิริประภา สมวงษ์ อินจิรา นิยมธูร.....	201
ไม่เท่าอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและปัญญาประดิษฐ์ ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางวดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล.....	213

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลย

ชัชชัย พิรภมม^{1*} ศักดิ์ชัย พวงจันทร์²
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย^{1* 2}
อีเมล : chatchaipeerakamol@gmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 5 มี.ค.2568

วันแก้ไขบทความ 21 เม.ย.2568

วันที่ตอบรับบทความ 8 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำเลยในอนาคต มีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์หาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยอาจจะมองประกอบต่าง ๆ ตัวแปรต่าง ๆ ในพื้นที่ที่บางครั้งเราไม่สามารถทำการแยกวิเคราะห์ได้โดยวิธีการทั่วไป ดังนั้นจึงต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยอาศัยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) เป็นโปรแกรมย่อยที่อยู่ภายในโปรแกรม TerrSet ซึ่งจะพิจารณาถึงปัจจัยขับเคลื่อนต่างๆ (Driving factors) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในอดีต โดยใช้วิธี Multi-Layer Perception (MLP) ร่วมกับวิธี Markov - Chain Matrix สำหรับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำเลยในอนาคตในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2564 – 2582

ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตในช่วงปี พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2582 พื้นที่ลุ่มน้ำเลย การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ประเภทป่าไม้ (Forest) จะมีพื้นที่ลดลงมากที่สุดและมีแนวโน้มที่จะลดลงมากที่สุด โดยจะลดลงเท่ากับ 143.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 12.9 รองลงมาการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าว (Rice) จะมีพื้นที่ลดลงและมีแนวโน้มที่จะลดลงมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่ลดลงเท่ากับ 142.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 37.4 สำหรับการการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทยางพารา (Rubber tree) จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 286.0 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 29.0 และการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอ้อย (Sugarcane) จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 142.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 25.8

คำสำคัญ : โปรแกรมTerrSet แบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) วิธี Multi-Layer Perception (MLP) วิธี Markov - Chain Matrix การเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดิน



Predicting of future land use changes in the Loei River Basin

Chatchai Peerakamol^{1*} Sakchai Phuangjan²

Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University ^{1*,2}

E-mail: chatchaipeerakamol@gmail.com^{1*}

Received 5 Mar.2025

Revised 21 Apr.2025

Accepted 8 May 2025

Abstract

The prediction of land use changes in the Loei River Basin plays a crucial role in analyzing trends in land use transformation. Various factors and variables in the area may sometimes be difficult to isolate and analyze using conventional methods. Therefore, modern technology is required to enhance the accuracy of these predictions. This study applies the Land Change Modeler (LCM), TerrSet, to evaluate Multi-Layer Perceptron (MLP) in Markov Chain Matrix met 2021 and 2039

The study found that between 2021 and 2039, land use changes in the Loei River Basin will be most pronounced in forested areas, which are projected to experience the greatest decline. Forest areas are expected to decrease by 143.8 km², accounting for 12.9% of the total area. Similarly, rice fields will also see a continuous decline, with a projected reduction of 142.8 km² (37.4%). Conversely, rubber tree plantations are expected to expand the most, increasing by 286.0 km², or 29.0%, with a consistent upward trend. Additionally, sugarcane plantations are projected to increase by 142.8 km², representing 25.8%, and are also expected to continue expanding over time.

Keywords : TerrSet, Land Change Modeler (LCM), Multi-Layer Perception (MLP), Markov - Chain Matrix, land use changes

1. บทนำ

จากอดีตพื้นที่ของจังหวัดเลยส่วนใหญ่จะเป็นภูเขาที่มีป่าไม้อุดมสมบูรณ์ และมีการทำเกษตรกรรมเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ราบบริเวณลุ่มน้ำเลย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) แต่ในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำเลย เปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างมากซึ่งจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำเลยของกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556-2562 พบว่ามีการตัดไม้ทำลายป่าบนภูเขา และทำการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจเช่น อ้อย ยางพารากันมากขึ้น รวมถึงการขยายตัวของเมืองตามชุมชนต่าง ๆ กันมากขึ้น เพื่อที่จะรองรับการพัฒนาทางเศรษฐกิจรวมถึงจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการทำลายความสมบูรณ์ของสภาพป่า และเกิดการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำเลย ซึ่งอาจยังผลให้เกิดผลกระทบตามอีกหลายประการ เช่น การเกิดอุทกภัย การเกิดภัยแล้ง รวมไปถึงการใช้พื้นที่อย่างไม่เหมาะสม เพื่อเป็นการปกป้อง และผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบ หรือหน่วยงานต่าง ๆ ในจังหวัดเลย สามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปวางแผนรับมือกับเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำเลย ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

การศึกษานี้จะอาศัยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) ที่พิจารณาถึงปัจจัยขับเคลื่อนต่าง ๆ (Driving factors) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในอดีต โดยใช้วิธี Multi-Layer Perception (MLP) ร่วมกับวิธี Markov - Chain Matrix (กิตติเวช ชันติวิชัย และคณะ, 2566) สำหรับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำเลยในอนาคตในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2564 – 2582

2. วัตถุประสงค์

เพื่อการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลยในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2564 – 2582

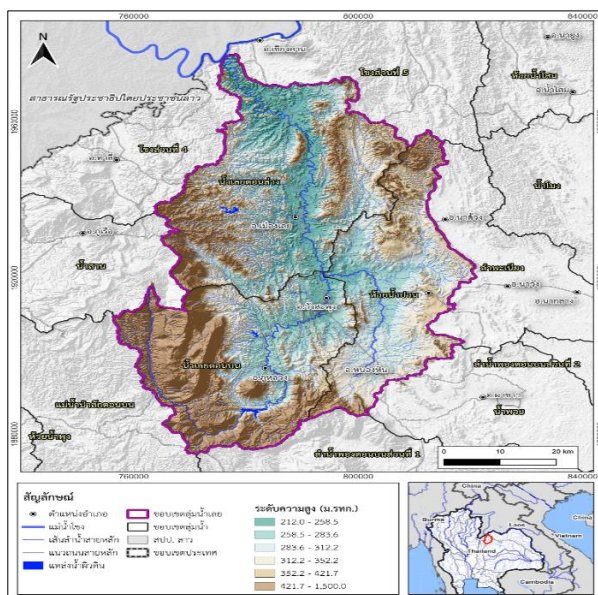
3. วิธีการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

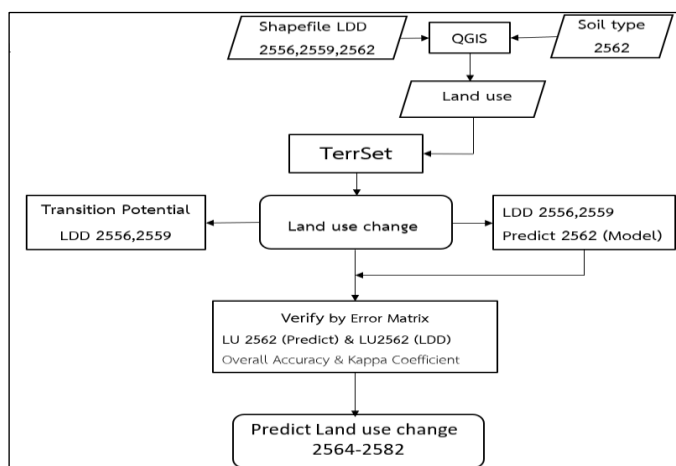
ลุ่มน้ำเลย ตั้งอยู่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นลุ่มน้ำสาขาลุ่มน้ำโขงภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่รับน้ำรวมทั้งหมดประมาณ 3,950 ตร.กม. แบ่งออกเป็น 3 ลุ่มน้ำย่อย ได้แก่ ลุ่มน้ำเลยตอนบน ลุ่มน้ำเลยตอนล่าง และลุ่มน้ำห้วยปวน โดยครอบคลุมพื้นที่อำเภอภูหลวง อำเภอวังสะพุง อำเภอภูเรือ อำเภอภูกระดึง อำเภอเมืองเลย และอำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย มีลำน้ำลำเลยเป็นลำน้ำสายหลัก ความยาวประมาณ 231 กิโลเมตร ซึ่งมีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูหลวง ลักษณะของลุ่มน้ำเป็นแนวยาววางตัวตามแนวเหนือ-ใต้ ดังแสดงรายละเอียดพื้นที่ลุ่มน้ำในรูปที่ 1 โดยมีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ข้างเคียงดังนี้ ทิศเหนือ ติดต่อกับ ลุ่มน้ำแม่น้ำโขงส่วนที่ 5 บริเวณอำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ทิศใต้ ติดต่อกับ ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน ลุ่มน้ำพองตอนบนส่วนที่ 1 และลุ่มน้ำพวย ทิศตะวันออก ติดต่อกับ ลุ่มน้ำลำพะเนียง ทิศตะวันตก ติดต่อกับ ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน ลุ่มน้ำสาน และลุ่มน้ำโขงส่วนที่ 4 (กรมชลประทาน, 2554)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาและการรวบรวมข้อมูล เพื่อใช้เป็นกรอบแนวคิดการวิจัยสำหรับการวิเคราะห์การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำเลยในอนาคตดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ที่ตั้ง อาณาเขตและสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำเลย



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

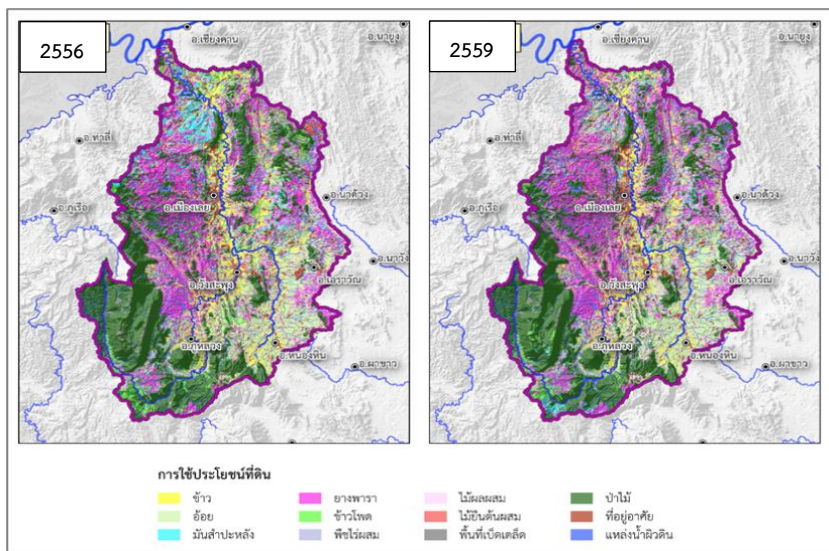
3.2.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอาศัยแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Change Modeler, LCM) ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อยที่อยู่ภายในโปรแกรม TerrSet ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Clark Labs มหาวิทยาลัย Clark (Camacho, 2018) สำหรับวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยในการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินจากอดีตถึงปัจจุบัน ที่จัดทำข้อมูลของช่วงเวลา 3 ปี คือ ปี พ.ศ. 2556 (ค.ศ. 2013) ปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) และปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) แต่สำหรับข้อมูลในปี พ.ศ. 2564 (ค.ศ. 2021) กรมพัฒนาที่ดินได้ทำการจัดเก็บและจำแนกการใช้ที่ดินของยางพาราไปรวมอยู่ในกลุ่ม Mixed orchard และ อ้อย มันสำปะหลังไปรวมอยู่ในกลุ่ม Mixed field crop ทำให้ไม่สามารถที่จะใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินที่อยู่ในรูป Shape file ในการวิจัยครั้งนี้ได้ สำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง

การใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลย ในอนาคตช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2564 – 2582 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1.1 การวิเคราะห์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 ช่วงเวลา

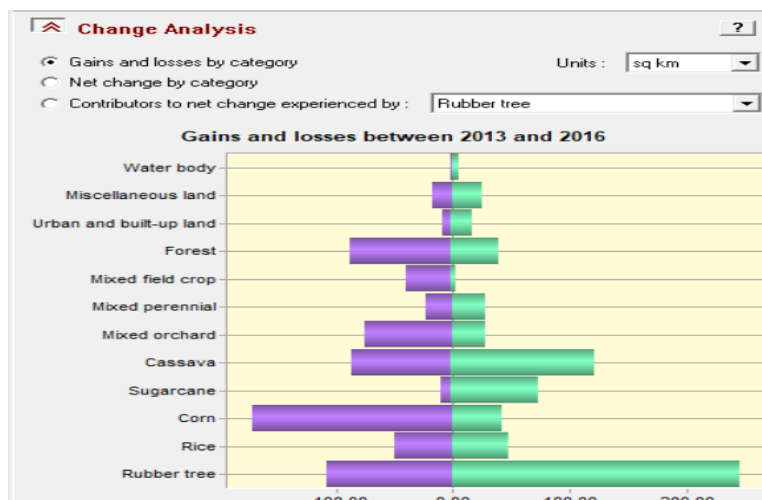
การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตในครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโปรแกรม TerrSet เป็นแบบจำลองที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลง (Change analysis) ศักยภาพในการเปลี่ยนแปลง (Transition potential) และการคาดการณ์ การเปลี่ยนแปลง (Change prediction) โดยวิเคราะห์จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินสอง ช่วงเวลา เพื่อใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (Eastman, 2016) สำหรับการวิเคราะห์การ เปลี่ยนแปลงในครั้งนี้ จะอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างแผนที่การใช้ประโยชน์ ที่ดินในอดีต 2 ช่วงเวลา นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจาก ปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2559 ดังแสดง แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปที่ 3 และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้วยแบบจำลอง TerrSet แสดงได้ดังรูปที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภทสามารถแสดงได้ดังตารางการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ดัง ตารางที่ 1 โดยจากตารางพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในประเภท ยางพารา อ้อย และมันสำปะหลัง มีการเปลี่ยนแปลง พื้นที่แบบเพิ่มขึ้นสุทธิมากที่สุด



รูปที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำเลย ปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2559

3.2.1.2 การวิเคราะห์ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลง (Transition potential)

การวิเคราะห์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 ช่วงเวลาปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2559 แล้วนั้นแบบจำลอง TerrSet จะทำการวิเคราะห์ศักยภาพในการเปลี่ยนแปลง (Transition potential) โดยในขั้นตอนนี้จะใช้ปัจจัยหรือตัวแปรที่มีผลเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยใช้วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multi-Layer Perceptron (MLP) (Gabriels, 2022) ในการพิจารณาถึงศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในแต่ละประเภทซึ่ง MLP จะทำการสร้างแผนที่ศักยภาพสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะใช้เพียงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเป็นตัวแปรขับเคลื่อน (Driver variable) ได้แก่ ระดับความสูง ความลาดชัน ระยะทางจากแหล่งน้ำ และระยะทางจากพื้นที่ชุมชนและที่อยู่อาศัยดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2559
พื้นที่มีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร ด้วยแบบจำลอง TerrSet

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สุทธิของการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง ปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2559 กลุ่มน้ำเลย

ที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)		การเปลี่ยนแปลง	
		2013	2016	(ตร.กม.)	(%)
1	ยางพารา	876.0	1,013.6	137.62	15.71
2	ข้าว	433.6	431.8	-1.82	-0.42
3	ข้าวโพด	366.9	236.9	-130.00	-35.43
4	อ้อย	326.4	390.4	64.02	19.62
5	มันสำปะหลัง	191.7	227.7	36.01	18.79
6	ไม้ผลผสม	155.1	106.6	-48.50	-31.26
7	ไม้ยืนต้นผสม	72.2	77.2	5.05	7.00
8	พืชไร่ผสม	58.5	22.7	-35.75	-61.12
9	ป่าไม้	1,174.3	1,127.3	-47.06	-4.01
10	ที่อยู่อาศัย	159.8	169.7	9.88	6.18
11	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	94.9	102.4	7.52	7.92
12	แหล่งน้ำผิวดิน	56.4	59.5	3.03	5.37
	รวม	3,965.8	3,965.8		

ที่มา : (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562)

3.2.1.3 การตรวจความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

หลังจากการวิเคราะห์ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลง (Transition potential) จากนั้นแบบจำลอง TerrSet จะทำการจำลองโดยการสร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตขึ้นมา โดยในการศึกษานี้จะทำการการตรวจความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562

จากการพัฒนาที่ดิน กับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง TerrSet โดยใช้ค่าทางสถิติ Overall Accuracy และ Kappa ซึ่งจะได้ผลลัพธ์จากตาราง Error matrix เพื่อใช้ตรวจสอบความสอดคล้องกันโดยมีรายละเอียดของสมการดังนี้ (กิตติเวช ชันติยวิชัย และคณะ. 2566)

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} \cdot X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} \cdot X_{+i}} \quad (1)$$

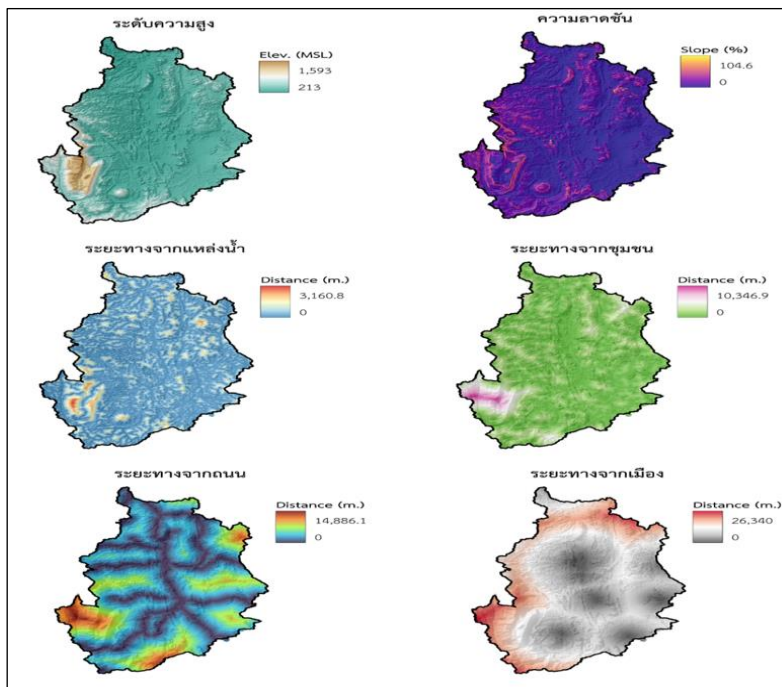
$$Overall Accuracy = \frac{No. of correct plots (value)}{Total number of plots (value)} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ r คือ จำนวนแถวของตาราง Error matrix

N คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดที่ทำการจำแนก

X_{ii} คือ จำนวนพิกเซลในแต่ละแถว i และคอลัมน์ i ของแต่ละประเภท

X_{+i}, X_{i+} คือ จำนวนเศษพิกเซลของแต่ละแถว i และคอลัมน์ i



รูปที่ 5 ตัวแปรขับเคลื่อน (Driver variable) สำหรับวิเคราะห์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการตรวจความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การตรวจความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 จากการกรมนพัฒนาที่ดิน กับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง TerrSet โดยใช้ค่าทางสถิติ Overall Accuracy และ Kappa ที่ได้ผลลัพธ์ตาราง Error Matrix ดังตารางที่ 2 ซึ่งจากตารางเมื่อทำการ

คำนวณหาค่า Kappa และ Overall Accuracy พบว่าได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0.815 และ 84.94% ซึ่งเกณฑ์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองอยู่ในระดับที่ดีมาก

4.2 ผลการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

ภายหลังจากการตรวจความน่าเชื่อถือของแบบจำลองแล้ว จึงนำเอาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2556 และ ปี พ.ศ. 2559 จากแบบจำลอง TerrSet ที่ได้ไปคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในช่วงปี พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2582 จากผลลัพธ์ตารางที่ 3 พบว่า

การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ประเภทป่าไม้ (Forest) จะมีพื้นที่ลดลงมากที่สุดและมีแนวโน้มที่จะลดลงมากที่สุด โดยจะลดลงเท่ากับ 143.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 12.9 รองลงมาก็คือการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าว (Rice) จะมีพื้นที่ลดลงและมีแนวโน้มที่จะลดลงมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่ลดลงเท่ากับ 142.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 37.4

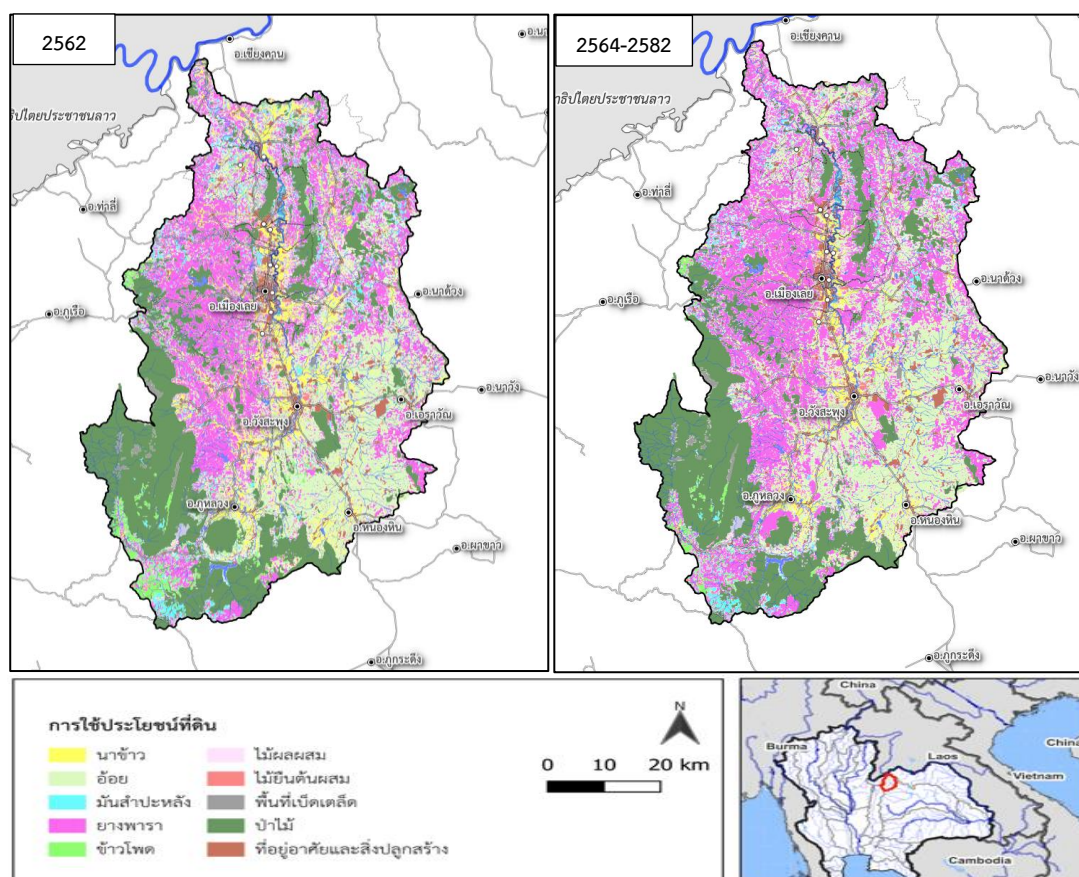
สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทยางพารา (Rubber tree) จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 286.0 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 29.0 รองลงมาก็คือการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอ้อย (Sugarcane) จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 142.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 25.8 โดยสรุปภาพรวมของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของพื้นที่ลุ่มน้ำเลยดังรูปที่ 6 จะเห็นแนวโน้มของพื้นที่ป่าไม้ลดลงเป็นอย่างมาก แต่จะมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่การปลูกยางพาราและอ้อยมากขึ้น

ตารางที่ 2 Error Matrix ระหว่างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 จากการพัฒนาที่ดินกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง TerrSet

การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2562 จากกรมพัฒนาที่ดิน (ตร.กม.)	การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 จาก TerrSet (ตร.กม.)												รวมทั้งหมด
	ยางพารา	ข้าว	ข้าวโพด	อ้อย	มันสำปะหลัง	ผลไม้	ไม้ยืนต้น	พืชไร่	ป่าไม้	ที่อยู่อาศัย	พื้นที่เปิดเตลิด	แหล่งน้ำ	
ยางพารา	942.8	1.5	41.2	47.7	65.3	35.3	7.8	7.0	49.5	1.3	3.0	0.4	1,202.8
ข้าว	1.1	354.4	1.5	43.8	3.1	1.3	0.9	0.1	-	0.5	1.1	0.3	408.1
ข้าวโพด	12.4	1.5	96.9	25.1	21.9	5.5	1.9	5.5	0.1	0.4	1.0	2.6	174.7
อ้อย	7.3	20.2	11.1	376.5	4.5	3.4	1.7	1.0	0.1	0.9	1.2	0.1	427.9
มันสำปะหลัง	10.4	1.3	6.2	41.4	91.5	6.1	1.7	4.6	0.0	0.7	1.3	0.1	165.1
ผลไม้	6.1	0.0	1.6	4.8	4.3	62.0	1.0	0.2	0.0	0.5	0.5	0.0	81.0
ไม้ยืนต้น	1.2	0.1	0.8	6.7	2.7	1.3	63.5	0.1	0.1	0.3	0.5	0.1	77.2
พืชไร่	0.9	0.0	2.4	0.5	1.6	0.3	0.2	9.9	0.1	0.1	1.6	0.2	17.7
ป่าไม้	1.6	0.1	5.8	2.0	2.7	1.4	0.3	0.2	1,061.3	0.2	0.7	0.5	1,076.8
ที่อยู่อาศัย	0.1	2.5	0.0	0.5	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	168.5	0.3	0.2	172.6
พื้นที่เปิดเตลิด	0.6	0.2	7.4	3.9	5.8	0.8	0.3	0.1	0.0	1.0	82.0	0.4	102.4
แหล่งน้ำ	-	0.1	0.1	0.1	-	0.0	-	-	-	0.0	0.0	59.2	59.5
รวมทั้งหมด	984.6	381.9	175.0	553.0	203.4	117.6	79.2	28.6	1,111.2	174.1	93.2	64.1	3,965.8

ตารางที่ 3 ขนาดของพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี พ.ศ. 2564-2582

ที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	ขนาดพื้นที่ (ตร.กม.)		เปลี่ยนแปลงจากปี พ.ศ. 2562 (ตร.กม.)	%การเปลี่ยนแปลงจากปี พ.ศ. 2562
		2562	2564 - 2582	2564-2582	2564-2582
1	ยางพารา	984.6	1,270.5	286.0	29.0
2	ข้าว	381.9	239.1	-142.8	-37.4
3	ข้าวโพด	175.0	104.0	-70.9	-40.5
4	อ้อย	553.0	695.8	142.8	25.8
5	มันสำปะหลัง	203.4	139.5	-63.9	-31.4
6	ผลไม้	117.6	113.5	-4.1	-3.5
7	ไม้ยืนต้น	79.2	83.4	4.1	5.2
8	พืชไร่	28.6	18.5	-10.1	-35.4
9	ป่าไม้	1,111.2	967.4	-143.8	-12.9
10	ที่อยู่อาศัย	174.1	179.7	5.6	3.2
11	พื้นที่เปิดเตล็ด	93.2	87.6	-5.6	-6.0
12	แหล่งน้ำ	64.1	66.8	2.8	4.3
	รวม	3,965.8	3,965.8		



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2562 เปรียบเทียบช่วงอนาคตในปี พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2582

5. อภิปรายผลและสรุปผล

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตในช่วงปี พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2582 พื้นที่ลุ่มน้ำเลยสรุปได้ดังนี้

การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ประเภทป่าไม้ (Forest) จะมีพื้นที่ลดลงมากที่สุดและมีแนวโน้มที่จะลดลงมากที่สุด โดยจะลดลงเท่ากับ 143.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 12.9

การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าว (Rice) จะมีพื้นที่ลดลงและมีแนวโน้มที่จะลดลงมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่ลดลงเท่ากับ 142.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 37.4

การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทยางพารา (Rubber tree) จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 286.0 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 29.0

การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอ้อย (Sugarcane) จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 142.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 25.8

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตของพื้นที่ลุ่มน้ำเลยดังกล่าว ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตเกิดจากการบุกรุกของเกษตรกรต่อพื้นที่ป่าไม้ในเขตภูเขา เชิงเขามากขึ้นเพื่อทำการปลูกยางพารา และการปรับเปลี่ยนการใช้ที่ดินในพื้นที่ราบจากพื้นที่ปลูกข้าวไปเป็นการปลูกอ้อยมากขึ้น เนื่องจากการปลูกยางพาราและการปลูกอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรเป็นอย่างมากในปัจจุบัน

ดังนั้นแนวทางในการใช้ที่ดินในอนาคตควรให้หน่วยงานหรือผู้มีหน้าที่รับผิดชอบของจังหวัดเลย ได้ใช้ข้อมูลงานวิจัยนี้เพื่อที่ใช้ในการวางแผนส่งเสริมกำหนดพื้นที่ปลูกพืช และออกมาตรการเพื่อควบคุมการบุกรุกพื้นที่ป่าต่าง ๆ

6. ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินควรใช้ข้อมูลแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 ช่วงเวลาที่มีความห่างกันให้มากกว่านี้ เพื่อให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ระยะห่างของข้อมูลแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินเพียงระยะเวลา 3 ปี คือ ปี พ.ศ. 2556 (ค.ศ. 2013) ปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) และปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่จัดเก็บของกรมพัฒนาที่ดิน ในปี พ.ศ. 2564 (ค.ศ. 2021) ได้ทำการจำแนกการใช้ที่ดินของยางพาราไปรวมอยู่ในกลุ่ม Mixed orchard และ อ้อย มันสำปะหลังไปรวมอยู่ในกลุ่ม Mixed field crop ทำให้ไม่สามารถที่จะใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินที่อยู่ในรูป Shape file ได้ผู้ที่ทำการวิจัยต่อไปจึงอาจจะต้องใช้ข้อมูลของ พ.ศ. 2567 (ค.ศ. 2024) ในครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กิตติเวช ชันติยวิชัย และคณะ. (2566). *การวิเคราะห์และคาดการณ์โอกาสในการใช้พื้นที่สำหรับปลูกข้าวยั่งยืนในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กรมชลประทาน. (2554). *โครงการศึกษาวางระบบและติดตั้งระบบโทรมาตรเพื่อพยากรณ์น้ำและเตือนภัยลุ่มน้ำเลย จังหวัดเลย*. กรมชลประทาน, กรุงเทพมหานคร.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2562). *กลุ่มชุดดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพมหานคร. http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoils/62_soilgroup/main_62soilgroup.htm
- Camacho Olmedo, M. T., Paegelow, M., Mas, J. F., & Escobar, F. (2018). *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios. An Introduction*. In M. T. Camacho Olmedo, M. Paegelow, J.-F. Mas, & F. Escobar (Eds.), *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios* (pp. 1–8). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3_1

- Eastman, J. R., & He, J. (2020). A Regression-Based Procedure for Markov Transition Probability Estimation in Land Change Modeling. *Land*, 9(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/land9110407>
- Gabriels, K., Willems, P., & Van Orshoven, J. (2022). A comparative flood damage and risk impact assessment of land use changes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(2), 395–410. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-395-2022>

คุณค่าทางวิชาการ

สำหรับข้อมูลของงานวิจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตของพื้นที่ลุ่มน้ำเลย ทำให้ทราบถึงการขยายตัวของเมืองตามชุมชนต่าง ๆ เพื่อที่จะรองรับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและประชากรที่เพิ่มมากขึ้น รวมไปถึงการลดลงของพื้นที่ป่าไม้เป็นอย่างมาก อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เพาะปลูกของยางพารา และอ้อย จึงสามารถทำให้ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบ หรือหน่วยงานต่าง ๆ ในจังหวัดเลย สามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปวางแผนรับมือกับเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำเลย ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

การใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง เป็นส่วนผสมในวัสดุบล็อกปูพื้นทางเท้า

พินทิพย์ แก้วแกมทอง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

อีเมล : pintip.kae@pcru.ac.th

วันที่รับบทความ 8 ตุลาคม 2567

วันแก้ไขบทความ 17 กุมภาพันธ์ 2568

วันตอบรับบทความ 3 มีนาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกคอนกรีตสำหรับปูพื้นทางเท้าที่มีส่วนผสมของขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง ตลอดจนทดสอบคุณสมบัติของบล็อกปูพื้นทางเท้าเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 827-2531 อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะพลาสติก 1:1:0, 1:1:0.01, 1:1:0.25, 1:1:0.50 และ 1:1:1 มาทำการผสมขึ้นรูปในแต่ละอัตราส่วนผสม และทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ขนาดชิ้นงาน ในการทดสอบ 5x5x5 เซนติเมตร การทดสอบในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย การขึ้นรูปชิ้นงาน การรับกำลังแรงอัดคอนกรีตการดูดกลืนน้ำ น้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปมาจากอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะพลาสติกใน อัตราส่วน 1:1:0.01 โดยน้ำหนัก การรับกำลังแรงอัดการดูดกลืนน้ำเหมาะสมในการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้าจากขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างโดยมีค่าการรับกำลังแรงอัดเฉลี่ย 41.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การดูดกลืนน้ำ 5.11 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก 1.045 กิโลกรัมต่อก้อน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานบล็อกคอนกรีตปูพื้น มอก. 827-2531 และจากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้ามีต้นทุนการผลิต 5.00 บาทต่อก้อน ซึ่งมีราคาถูกกว่ามีจำหน่ายในท้องตลาดจากเปรียบเทียบในด้านการนำที่ขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตไปใช้ประโยชน์แทนการฝังกลบหรือนำไปกำจัดในรูปแบบอื่นที่อาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมจึงเป็นวิธีช่วยลดปัญหาการตกค้างของขยะพลาสติกและเศษวัสดุก่อสร้างในสิ่งแวดล้อมต่อไป

คำสำคัญ : ขยะพลาสติก บล็อกปูพื้น เศษคอนกรีต อัฟไซเคิล

Utilization of Plastic Waste and Concrete Debris from Building Demolition as Components in Pavement Blocks

Pintip Kaewkamthong

Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University

E – mail : pintip.kae@pcru.ac.th

Received 8 october 2024

Revised 17 February 2025

Accepted 3 March 2025

Abstract

This research aims to study the feasibility of producing concrete paving blocks that incorporate concrete debris and plastic waste. The goal is to add value to plastic waste and concrete debris from demolished structures while also testing the properties of these paving blocks against the Industrial Product Standard 827-2531. The ratios of portland cement to concrete debris to plastic bags were set at 1:1:0, 1:1:0.01, 1:1:0.25, 1:1:0.50, and 1:1:1. Each mixture was formed into test blocks with dimensions of 5x5x5 cm, and the physical properties were evaluated. The tests included block formation, concrete compressive strength, water absorption, and weight. The study found that the block made with a ratio of portland cement to concrete debris to plastic bags at 1:1:0.01 by weight was suitable for producing paving blocks. It exhibited an average compressive strength of 41.49 kg/cm², water absorption of 5.11%, and a weight of 1.045 kg per block, meeting the requirements of the paving block standard TIS 827-2531. Additionally, an economic feasibility analysis showed that the production cost per block was 5.00 baht, which is cheaper than those available on the market. When compared to disposing of plastic waste and concrete debris through landfilling or other disposal methods that may cause environmental problems, this approach serves as a beneficial alternative. Therefore, it is a method that helps reduce the accumulation of plastic waste and construction debris in the environment.

Keywords : Plastic Waste, Pavement Block, Demolished Concrete, Upcycle

1. บทนำ

ปัญหาขยะของประเทศไทยนั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในทุกปีตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการอุปโภคบริโภคของประชาชน มีการใช้สินค้าที่มีบรรจุภัณฑ์จำพวกพลาสติก โฟม แก้ว กระดาษ โลหะ อลูมิเนียมเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดขยะสูงขึ้นตามไปด้วยและจากการ ขยายตัวของตลาดงานก่อสร้าง อาคารบ้านพักอาศัย เพื่อสนองความต้องการของสังคมที่เป็นครอบครัวเดี่ยวมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเศษวัสดุก่อสร้างมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้จากข้อมูลงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า พื้นที่ฝังกลบในปัจจุบันมี ปริมาณขยะจากวัสดุก่อสร้างอยู่ประมาณร้อยละ 30-40 ของพื้นที่ฝังกลบในเมืองต่าง ๆ มีการลักลอบทิ้งเศษวัสดุ ก่อสร้างโดยเฉลี่ยประมาณวันละ 300 ตัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.5 ของปริมาณขยะทั้งหมด อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็น หนึ่งในปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เช่น มลภาวะทางอากาศเสีย เศษวัสดุก่อสร้างจากหน่วยงาน ก่อสร้าง การจัดการสิ่งแวดล้อมที่ไม่ดีพอ ของผู้ประกอบการก่อให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม และจากรายงานการศึกษา แนวทางจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสำหรับประเทศไทย ระบุว่าปริมาณและ องค์ประกอบของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนนี้ส่วนใหญ่แล้วได้แก่ เศษคอนกรีต ด้วยเหตุนี้จึงมีความตระหนัก ถึงการนำ เศษคอนกรีตที่เป็นของเสีย ซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการ เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) ระบบเศรษฐกิจที่ต้องการหมุนเวียนเอาทรัพยากรมาใช้ให้เกิด ประสิทธิภาพสูงสุดจนครบวงจร ตั้งแต่การผลิต บริโภค ไปจนถึงการจัดการของเสียด้วยกระบวนการใช้ซ้ำ (reuse) หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการผลิตใหม่ (Re-material) ผลกระทบมี ทั้ง ความสูญเสียด้าน สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของปริมาณของรัฐที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาปริมาณขยะที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกปีทำให้ประเทศประสบปัญหาการจัดการขยะอย่างต่อเนื่อง (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) ดังนั้น การวิจัยการใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเป็นส่วนผสมในวัสดุบล็อกปูพื้นทางเท้าศึกษาพัฒนา บล็อกปูพื้นทางเท้าโดยการนำขยะพลาสติก(ถุงพลาสติก) และเศษวัสดุจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ เศษคอนกรีต มาเป็นส่วนประกอบในกระบวนการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้า เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาขยะที่เพิ่มจำนวนมากขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในทุกปีและเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกคอนกรีตสำหรับปูพื้นทางเท้าที่มีส่วนผสมของขยะพลาสติก และเศษคอนกรีต

2.2 เพื่อทดสอบคุณสมบัติของบล็อกปูพื้นทางเท้า

3. วิธีการวิจัย

ส่วนผสมของบล็อกปูพื้นคอนกรีตทั่วไปประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หิน หยาบและน้ำ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการลด ปริมาณขยะทั้งขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างโดยการรีไซเคิลเศษคอนกรีตเพื่อใช้ ทดแทนหินและทรายให้มากที่สุดในส่วนที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้า ดังนี้

3.1 ตารางส่วนผสมของบล็อกปูพื้นทางเท้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะถุงพลาสติกอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะถุงพลาสติกมีดังนี้อัตราส่วนที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีต ต่อขยะถุงพลาสติก 1:1:0 อัตราส่วนที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะถุงพลาสติก 1:1:0.01 อัตราส่วนที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะถุงพลาสติก 1:1:0.25 อัตราส่วนที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะถุงพลาสติก 1:1:0.50 และอัตราส่วนที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะถุงพลาสติก 1:1:1

3.2 การผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้า เก็บรวบรวมขยะถุงพลาสติกชนิด (HDPE, LDPE) ทำความสะอาดด้วยน้ำยาซักล้าง ล้างออกด้วยน้ำสะอาด ตากให้แห้งและตัดย่อยให้มีขนาดประมาณ 0.5 - 1.0 เซนติเมตร (ดังรูปที่1) ในส่วนของเศษคอนกรีตนำเศษ คอนกรีตบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.00-4.75 มิลลิเมตร จากนั้นเตรียมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขยะถุงพลาสติก และเศษคอนกรีตที่เตรียมไว้ซึ่งให้มีปริมาณตาม อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะถุงพลาสติก ตามอัตราส่วนต่าง ๆ โดยผสมในภาชนะพลาสติกให้เข้ากัน จากนั้นบดอัดส่วนผสมให้แน่นลงในบล็อกแม่พิมพ์ขนาด 38.4x40.8x4 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 2) ทิ้งไว้จนเซตตัวแล้วถอดออกจากแม่พิมพ์นำบล็อกปูพื้นที่ได้บันทึกข้อมูลชั่งน้ำหนัก และปริมาตร



รูปที่ 1 ถุงพลาสติกที่ทำความสะอาดและตัดย่อย



รูปที่ 2 การขึ้นรูปบล็อกปูพื้น

3.3 การทดสอบความแข็งแรงของบล็อกปูพื้นทางเท้าหลังจากขึ้นรูปบล็อกปูพื้นทางเดินเท้าโดยใช้ส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะถุงพลาสติกแล้วจึงนำบล็อกปูพื้นที่ผลิตได้ ทำการทดสอบหาค่าความต้านแรงอัดและทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป (มอก. 827-2531)

4. ผลการวิจัย

4.1 การผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างและขยะพลาสติกการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้าทั้ง 5 อัตราส่วน คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อเศษคอนกรีตต่อขยะพลาสติก อัตราส่วน 1:1:0, 1:1:0.01, 1:1:0.25, 1:1:0.50, และ 1:1:1 พบว่า อัตราส่วน 1:1:1, 1:1:0.5 และ 1:1:0.25 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากอัตราส่วนทั้ง 3 มีปริมาณขยะพลาสติกมากเนื่องจากพลาสติกมีน้ำหนักเบาเมื่อกำหนดปริมาณส่วนผสมในอัตราส่วนที่น้ำหนักเท่ากันและใกล้เคียงกัน และอัตราส่วนผสม 1:1:0 สามารถขึ้นรูปได้ดี แต่ไม่มีส่วนผสมของขยะพลาสติกจึงไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ศึกษาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง และอัตราส่วนผสม 1:1:0.01 สามารถขึ้นรูปบล็อกปูพื้นได้ดี และมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและสามารถ ลดปริมาณขยะ พลาสติกและเศษคอนกรีตที่เกิดจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างได้สูงสุด สำหรับงานวิจัยนี้ จึงดำเนินการศึกษาคุณสมบัติบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีต จากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง และขยะพลาสติกจากอัตราส่วนผสม 1:1:0.01

ตารางที่ 1 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานบล็อกปูพื้นทางเดินเท้าจากขยะพลาสติกและเศษคอนกรีตในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์:เศษคอนกรีต:ขยะพลาสติก)

ตัวอย่าง	ขนาดของชิ้นงาน (กว้างxยาวxสูง) ซม.	ขนาดของชิ้นงาน ทดสอบ (กว้างxยาวxสูง) ซม.	อัตราส่วนผสม	ผลการขึ้นรูป
1	12.5x12.5x4.0	5x5x5	1:1:0	สามารถขึ้นรูปได้
2	12.5x12.5x4.0	5x5x5	1:1:0.01	สามารถขึ้นรูปได้
3	-	-	1:1:0.25	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
4	-	-	1:1:0.50	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
5	-	-	1:1:1	ไม่สามารถขึ้นรูปได้

4.2. การทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างและขยะพลาสติก ผลการทดสอบคุณสมบัติบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีต จากการรื้อถอน สิ่งปลูกสร้าง และขยะพลาสติก มีผลการวิจัยและผลการทดสอบคุณสมบัติเปรียบเทียบมาตรฐาน มอก. 827-2531 ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ทั่วไปตามรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป (มอก. 827-2531)

คุณลักษณะ	มาตรฐาน	หน่วย
กำลังแรงอัด	ไม่น้อยกว่า 40	กก./ตร.ซม.
การดูดกลืนน้ำ	ไม่มากกว่า 25	เปอร์เซ็นต์

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (มอก. 827-2531)

ตารางที่ 3 ผลกำลังอัดบล็อกปูพื้นทางเดินเท้าจากขยะพลาสติกและเศษคอนกรีต อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์:เศษคอนกรีต:ขยะพลาสติก 1:1:0.01

ตัวอย่าง	ขนาดของชิ้นงาน (กว้างxยาวxสูง) ซม.	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่หน้าตัดรับแรงอัด (ตร.ซม.)	กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)
1	12.5x12.5x4.0	1,050	25	42.40
2	12.5x12.5x4.0	1,045	25	41.49
3	12.5x12.5x4.0	1,042	25	40.58
เฉลี่ย				41.49

จากตารางที่ 3 ผลกำลังอัดบล็อกปูพื้นทางเดินเท้าจากเศษคอนกรีตและขยะพลาสติก อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์:เศษคอนกรีต:ขยะพลาสติก 1:1:0.01 ได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 41.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ย 1,045.67 กรัมต่อก้อน ซึ่งค่ากำลังแรงอัดนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 827-2531 ที่ต้องได้ค่า กำลังอัดของบล็อกไม่น้อยกว่า 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เช่นเดียวกับการศึกษา ความเป็นไปได้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานด้วยเศษพลาสติกจากแก้วพลาสติกที่ใช้ครั้งเดียว โดยการผสมกับทราย และปูนซีเมนต์ และดินลูกรัง การศึกษาการแทนที่ดินลูกรังด้วยเศษพลาสติกในอัตราส่วนต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.05 - 0.45 โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มปริมาณพลาสติก ทำให้อิฐบล็อกมีค่าการรับกำลังอัดลดลง (ภัทรระ เกิดอินทร์และคณะ, 2565) อย่างไรก็ตามบล็อกปูพื้นที่ผลิตได้มีค่ากำลังอัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแต่ก็ไม่สูงมากสามารถนำไปใช้ทำบล็อกปูพื้นทางเดินในสวนหรือ ประยุกต์ใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ที่รับแรงกดน้อยลง (สมคณ เกียรติก้อง, 2556)

ตารางที่ 4 ผลการดูดกลืนน้ำของบล็อกปูพื้นทางเดินเท้าจากเศษคอนกรีตและขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมระหว่างปูน : เศษคอนกรีต:ขยะพลาสติก 1:1:0.01 ในเวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ขนาดของชิ้นงาน ทดสอบ (กว้างxยาวxสูง) ซม.	น้ำหนัก ก่อนทดสอบ (กรัม)	น้ำหนักหลัง ทดสอบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งหลัง 24 ชั่วโมง (กรัม)	การดูดกลืนน้ำ 24 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์)
1	12.5x12.5x4.0	1,050	1,170	1,035	5.31
2	12.5x12.5x4.0	1,045	1,063	1,011	5.14
3	12.5x12.5x4.0	1,042	1,055	1,006	4.87
เฉลี่ย					5.11

จากตารางที่ 4 การหาค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นทางเท้า พบว่าบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีตและขยะพลาสติกมีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 5.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำที่ได้จากการผลิตบล็อกปูพื้นจากเศษตัวอย่างขนาดของชิ้นงาน (กว้าง×ยาว×สูง) ซม. น้ำหนัก (กรัม) พื้นที่หน้าตัดรับแรงอัด (ตร.ซม.) กำลังอัด (กก./ตร.ซม.) 1 12.5×12.5×4.0 1,050 25 42.4 2 12.5×12.5×4.0 1,045 25 41.49 3 12.5×12.5×4.0 1,042 25 40.58 เฉลี่ย 41.49 ตัวอย่างขนาดของชิ้นงานทดสอบ (กว้าง×ยาว×สูง) ซม. น้ำหนักก่อนทดลอง (กรัม) น้ำหนักหลังทดลอง (กรัม) น้ำหนักแห้งหลัง 24 ชั่วโมง (กรัม) การดูดกลืนน้ำ 24 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์) 1 12.5×12.5×4.0 1,050 1,170 1,035 5.31 2 12.5×12.5×4.0 1,045 1,063 1,011 5.14 3 12.5×12.5×4.0 1,042 1,055 1,006 4.87 เฉลี่ย 5.11 บล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีตและขยะพลาสติกที่ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 827-2531 ที่ค่าการดูดซึมน้ำต้องไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์

4.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้า จากการทดสอบด้านกายภาพและคุณสมบัติบล็อกปูพื้นทางเท้า พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำขยะพลาสติก และเศษคอนกรีตมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้นทางเท้า คือใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : เศษคอนกรีต : ขยะพลาสติก 1:1:0.01 ซึ่งในการผลิตมีการคิดค่าต้นทุนในการผลิต ซึ่งต้นทุนการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีตและขยะพลาสติก คือ 5 บาทต่อก้อน ดังตาราง

ตารางที่ 5 ต้นทุนการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้าจากขยะพลาสติกและเศษคอนกรีต

ค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน (บาท/100 ก้อน)	หมายเหตุ
ค่าแรงงาน	350 บาท	350 บาท/คน/วัน, 1 คน
ค่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 50 กก	120 บาท	
น้ำยาล้างจาน 400 มล.	20 บาท	
ค่าจ้างย่อยเศษคอนกรีต	10 บาท	50 กก.
รวม	500 บาท	100 ก้อน

4.4 การนำบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีตและขยะพลาสติกไปใช้ประโยชน์บล็อกปูพื้นทางเท้าที่ผลิตจากเศษคอนกรีตและขยะพลาสติกสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างทางเดินสาธารณะ เช่น ทางเท้า ทางจักรยาน หรือสวนสาธารณะ ดังรูปที่ 3 ช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เช่น หินและทราย เป็นพื้นที่จอดรถและลานกิจกรรม บล็อกเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในพื้นที่ที่ต้องรองรับการจอดรถยนต์หรือลานกิจกรรมกลางแจ้งเนื่องจากมีความแข็งแรงและทนทานเพียงพอเป็นการจัดการของเสียและการรีไซเคิลซึ่งเป็น แนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปฝังกลบหรือกำจัดในรูปแบบอื่น ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากขยะตกค้าง และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่ไม่ใช้แล้วการนำบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีต และขยะพลาสติกมาใช้ ไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างแต่ยังเป็นแนวทางที่ส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาอย่างยั่งยืน



รูปที่ 3 ทางเท้าสำหรับแหล่งเรียนรู้สมุนไพร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากการออกแบบส่วนผสมที่ใช้เศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างและขยะพลาสติกทดแทนมวลหยาบ (ทรายและหิน) ในอัตราส่วน 1:1:0.01 (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์:เศษคอนกรีต:ขยะพลาสติก) การขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ไม่พบรอยร้าว รอยแตกทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างและขยะพลาสติก ซึ่งมีการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของบล็อกปูพื้นทางเท้าได้ค่ากำลังแรงอัด คือ 41.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อก ประสานปูพื้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 827-2531 อายุบ่ม 28 วัน โดยกำลังแรงอัดต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงเป็นไปตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 827-2531 ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไปที่กำหนดไว้ที่ต้องได้ค่ากำลังอัดของบล็อกไม่น้อยกว่า 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เช่นเดียวกับการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตอิฐบล็อก ประสานด้วยเศษพลาสติกจากแก้วพลาสติกที่ใช้ครั้งเดียว โดยการผสมกับทรายและปูนซีเมนต์และดินลูกรัง การศึกษา การแทนที่ดินลูกรังด้วยเศษพลาสติกในอัตราส่วนต่างๆ ตั้งแต่ 0.05 - 0.45 โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มปริมาณ พลาสติก ทำให้อิฐบล็อกมีค่าการรับกำลังอัดลดลง (ภัทรฯ เกิดอินทร์, สุรศักดิ์ นิยมพานิชพัฒนา, ธนกฤต นิสิตล, และคณะ, 2565)

อย่างไรก็ตามบล็อกปูพื้นที่ผลิตได้มีค่ากำลังอัดอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานแต่ก็ไม่สูงมากสามารถนำไปใช้ทำบล็อกปูทางเดิน ปูพื้นในสวนหรือประยุกต์ใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ที่รับแรงกดน้อยลง (สมคณ เกียรติก่อ, 2556) น้ำหนักบล็อกปูพื้นทางเท้าที่ผลิตได้มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.045 กิโลกรัมต่อก้อน เมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกปูพื้นทางเดินทั่วไปรูปหกเหลี่ยมซึ่งมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 2.0-2.5 กิโลกรัมต่อก้อน ค่าการดูดกลืนน้ำของบล็อกปูพื้นทางเท้าจากเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างและ ขยะพลาสติกมีค่าไม่สูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 827-2531 โดยการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นเป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงาน หากบล็อกปูพื้น มีอัตราการดูดซึมน้ำมาก น้ำจะซึมเข้าไปอยู่ในตัวบล็อกปูพื้นได้มาก ซึ่งในการใช้งานเมื่อได้รับน้ำฝน ความชื้น หรือน้ำจากการฉีดพ่น อาจสร้างความเสียหาย ให้กับบล็อกปูพื้น ได้และหากบล็อกปูพื้น มีอัตราค่า การดูดซึมน้ำ มากกว่าร้อยละ 20 จะทำให้บล็อกปูพื้นเกิดช่องว่างของอากาศภายในทำให้มีการดูดซึมน้ำมากและมีผลต่อการ แตกร้าวของบล็อก หรือกล่าวได้ว่าหากอัตราการดูดซึมน้ำมากจะทำให้ความแข็งแรงของบล็อกปูพื้นลดลง (บริษัท เค บล็อก เทคโนโลยีจำกัด, 2559) จากคุณสมบัติดังกล่าวบล็อกปูพื้นทางเท้าที่ผลิตจากเศษคอนกรีต และขยะพลาสติกเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้างทางเดินสาธารณะมากกว่าการนำไปใช้สำหรับพื้นที่ ที่ต้องรับแรงสูง การเปรียบเทียบราคาบล็อกปูพื้นที่ผลิตได้มีราคา

ต่ำกว่ากับท้องตลาดซึ่งมีราคาอยู่ระหว่าง 9.75-13.0 บาทต่อก้อน สำหรับบล็อกปูทางเท้าที่ผลิตได้มีราคาต้นทุนต่อก้อน 5 บาท

6. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการวิจัยคุณสมบัติทางวิศวกรรมทางด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การนำความร้อน การทนต่อไฟไหม้ ผิวสัมผัสกันลื่น เป็นต้น รวมถึงศึกษาความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้สู่เชิงพาณิชย์

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ สำนักงานทางหลวงที่ 6 จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยและทดสอบคุณสมบัติตัวอย่างบล็อกปูพื้นทางเท้า

เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). *สถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปีพ.ศ. 2565*. https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2023/08/pcdnew-2023-08-31_07-45-46_415782.pdf
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). (ร่าง) *Roadmap การจัดการขยะพลาสติกพ.ศ. 2561-2573*. https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/05/pcdnew-2020-05-27_06-47-53_174751.pdf
- บริษัท เค บล็อก เทคโนโลยีจำกัด. (2559). *เพราะเหตุใดการดูดซึมน้ำของบล็อกจึงสำคัญ*. <https://www.k-block.com/th/why-concrete-low-absorption-important>
- ภัทรธิดา เกิดอินทร์ สุรศักดิ์ นิยมพานิชพัฒนา ธนภฤต นิสิต และอนวัช พหลนุ้ย. (2565). *อิฐบล็อกประสานผสมเศษพลาสติก*. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- มนสิณี พัฒนสุวรรณ, ปวรุตม์ นาครินทร์และพันประพา จำปาทอง. (2555). *การประยุกต์ใช้คอนกรีตรีไซเคิลสำหรับบล็อกปูพื้นทางเท้า*. [ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2531). *มาตรฐานเลขที่ มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น*. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สมคณ เกียรติก่อ. (2556). ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับดินเซรามิกและเศษใบไม้. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 21(3) , 213-217.

คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยนี้ช่วยส่งเสริมการใช้วัสดุรีไซเคิล ลดการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ และสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นทางเลือกที่ช่วยลดปัญหาขยะพลาสติก และของเสียจากอุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ช่วยส่งเสริมหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) โดยเปลี่ยนขยะให้เป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าแทนการกำจัดทิ้ง ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของบล็อกปูพื้นจากวัสดุรีไซเคิล ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบ และพัฒนามาตรฐานก่อสร้างในอนาคต และแสดงให้เห็นถึงต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าสินค้าทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการและภาคอุตสาหกรรมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

การทดสอบสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรโดยวิธีแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

ปานเมศวร์ สุขศิริศิริวัชร^{1*} พงศ์ไกร วรรณตรง²
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์^{1*2}
อีเมล : panumet2906@gmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 3 กันยายน 2567

วันแก้ไขบทความ 15 กุมภาพันธ์ 2568

วันตอบรับบทความ 28 กุมภาพันธ์ 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เพื่อทดสอบสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรโดยวิธีแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อมิตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรของเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพรเพื่อให้ได้สมุนไพรที่มีความชื้นตามมาตรฐาน สมุนไพรแห้ง มผช. 480/2547 ดังนี้ การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง ได้แก่ 45 °C 55 °C และ 65 °C และความเร็วอากาศอบแห้งครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และ 3 m/s เฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง พบว่า สมุนไพรที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 39% พบว่ามีอัตราการแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำแห้งเฉลี่ยเร็วที่สุดคือ 65 °C อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 55 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง พบว่าสมุนไพรมีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12% ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง พบว่าสมุนไพรมีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12% และอุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 45 °C สุดท้ายเฉลี่ย 12% ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 12 ชั่วโมง พบว่าสมุนไพรมีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12 % ผลการศึกษาความเร็วลม อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพรอยู่ที่ ความเร็วลมเฉลี่ย 2 m/s อุณหภูมิที่ใช้ 45 °C เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 12 ชั่วโมงทำให้ได้สมุนไพรที่มีอัตราการแห้งสม่ำเสมอเท่ากัน และคงสีและกลิ่นได้ตามมาตรฐานสมุนไพรแห้ง

คำสำคัญ : การอบแห้ง ความชื้น ความเร็วอากาศ สมุนไพร อุณหภูมิ

Testing the performance of drying herbs by heat exchange method Shell and tube model

Panumet Suksrisiriwat^{1*}, Phongkrai Wannatrong²

Faculty of Industrial Technology Surin Rajabhat University^{1*,2}

E – mail : panumet2906@gmail.com^{1*}

Received 3 September 2024

Revised 15 February 2025

Accepted 28 February 2025

Abstract

This research was to Performance evaluation of drying herbs using the heat exchange method. Shell and tube type The objective is to study the variables of time and temperature suitable for drying herbs in order to obtain herbs that have moisture according to the standards for dried herbs, MCU 480/2547, as follows. The study of the optimum drying temperature using the shell and tube heat exchange method as a heat collector, namely 45, 55, and 65 °C, and the drying air velocity of 1, 2, and 3 m/s, averaged over all 3 times, found that the herbs had an initial moisture content of 39%. The drying rate was found to be the fastest with an average drying temperature of 65 °C, an average drying time of 8 hours, and the herbs had an average final moisture content of 12%, an average drying temperature of 55 °C, an average drying time of 9 hours, and the herbs had an average final moisture content of 12%, and an average drying temperature of 45 °C, an average drying time of 12 hours, and the herbs had an average final moisture content of 12%. The results of the study of wind speed, temperature, and appropriate time for drying herbs found that the average wind speed was 2 m/s, the temperature used was 55 °C, the average drying time was 9 hours, and the herbs had an average final moisture content of 12%, resulting in herbs with a fast drying rate to prevent mold growth and consistent, even drying that maintained color and smell according to the dried herb standard.

Keywords : Drying, Humidity, Air Speed, Herbs, Temperature

1. บทนำ

ปัจจุบันคนส่วนใหญ่ให้ความสนใจกับสุขภาพและหันมาพึ่งวิถีจากธรรมชาติ “ยาสมุนไพร” ที่มีผลกระทบต่อร่างกายที่น้อยกว่ายาจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี การแปรรูปผลิตภัณฑ์สมุนไพร คือ การเปลี่ยนแปลงสถานะของสมุนไพรให้แตกต่างไปจากเดิม เพื่อประโยชน์ในการใช้งานที่หลากหลายมาก จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเพื่อให้การแปรรูปผลิตภัณฑ์สมุนไพรมีคุณภาพดี ตลอดจนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพใกล้เคียงผลิตภัณฑ์เดิมมากที่สุด วัตถุประสงค์ของการแปรรูป 1) เพื่อรักษาคุณภาพและประโยชน์ของสมุนไพร โดยปกติแล้วคุณภาพของผลิตภัณฑ์สมุนไพรมีความผันผวนกับเวลา กล่าวคือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น การแปรรูปผลิตภัณฑ์สมุนไพรให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมจะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นคงสภาพอยู่ได้นาน การแปรรูปเพื่อการเก็บรักษายังมีความสำคัญมากขึ้น 2) เพื่อเปลี่ยนลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมในเชิงการค้า หรือการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการรับประทาน 3) เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น

ตำบลกันตวจระมวล จะแปรรูปสมุนไพรตามภูมิปัญญาอย่างแท้จริง โดยเกษตรกรทำการเก็บหรือหาวัตถุดิบมาแปรรูปด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น การตากแห้ง (Natural Drying) เป็นกรรมวิธีดั้งเดิม โดยการนำวัตถุดิบไปตากแดด โดยตรงนิยมใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรรวมทั้งการแปรรูปสมุนไพรด้วย ซึ่งการตากแดดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณแดดในแต่ละช่วงวัน อีกทั้งยังมีปัญหาเรื่องของแมลงต่าง ๆ อีกด้วย (Ahmad et al., 2012) ในขณะเดียวกันปัญหาของการตากแห้งหรือการทำแห้งคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่คงที่ เช่น สมุนไพรตากแห้งมีสีและความชื้นไม่สม่ำเสมอ อายุการเก็บรักษาสั้น เกิดการหักบวม ขึ้นรา หรือเสื่อมสรรพคุณเพราะผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง แม้ว่าวิธีการตากแห้งเป็นกรรมวิธีทำที่ประหยัด แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพไม่ได้มาตรฐาน (Bala and Janjai, 2009; นักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่ และคณะ, 2554) ดังนั้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สมุนไพรแห้งที่มีคุณภาพที่ดีได้มาตรฐาน จึงนิยมใช้กระบวนการอบแห้งแทนการตากแห้งแบบธรรมชาติ การอบแห้ง (Mechanical Drying) เป็นกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องอบหรือตู้อบประเภทต่าง ๆ การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถนำ มาใช้ถนอมและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งจะมีความชื้นลดลง ทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงผลิตภัณฑ์ไม่เน่าเสียและขึ้นราง่าย (สุภวรรณ และคณะ, 2556)

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งสมุนไพรโดยวิธีแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ ซึ่งกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อจะใช้หลักการสะสมความร้อนเก็บไว้ที่เซลล์และท่อ จากนั้นจึงใช้พัดลมดูดความร้อนเข้าไปภายในห้องอบแห้ง ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถสะสมความร้อนที่ใส่ภายในเครื่องอบแห้งได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเสริมสร้างศักยภาพในการแปรรูปสมุนไพรอบแห้ง ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นสมุนไพรในรูปแบบแคปซูล ผง และสมุนไพรต้ม เป็น โดยสามารถอบได้ปริมาณมาก และใช้เวลาสั้น เพื่อให้ง่ายในการเก็บรักษา ซึ่งในอนาคตจะสามารถส่งผลให้คนในชุมชนเกิดแนวทางการใช้เทคโนโลยี และขยายผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชุมชนอื่น ๆ อีกทั้งยังช่วยสร้างเครือข่ายระหว่างชุมชน เพิ่มโอกาสสร้างอาชีพก่อให้เกิดรายได้ สามารถพึ่งตนเองได้ในชุมชน และยังเป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิตคนในชุมชนต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาตัวแปรของเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพร

3. วิธีการวิจัย

3.1 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งสมุนไพรและประสิทธิภาพการอบแห้งสมุนไพรเพื่อให้ได้สมุนไพรที่มีความชื้นตามมาตรฐาน สมุนไพรแห้ง (มผช. 480/2547) โดยการศึกษาตัวแปร ดังนี้

3.1.1 ศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง ได้แก่ 45°C 55°C และ 65°C

3.1.2 ศึกษาความเร็วอากาศอบแห้ง 1 m./s. 2 m./s. และ 3 m./s.

โดยใช้สมุนไพรประเภทเหง้าเป็นวัตถุดิบในการอบแห้ง โดยมีความหนาเฉลี่ยไม่เกิน 5 mm.

3.1.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น
2. เครื่องวัดความเร็วลม
3. เครื่องวัดความชื้น
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก
5. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

3.2 การทดลอง

3.2.1 ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นในห้องอบแห้ง



รูปที่ 1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นในห้องอบแห้ง

3.2.2 เตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ ข้าว โดยการล้างให้สะอาดและทำการลดขนาดให้มีความหนาไม่เกิน 5 mm. บรรจุลงในตะแกรงชนิดละ 2 ตะแกรงๆ ละ 2 kg. ดังภาพที่ 2 ก) และ ข) โดยการเกลี่ยสมุนไพรให้สม่ำเสมอ ไม่ทับซ้อนกันจนเกินไป ซึ่งอาจทำให้แห้งช้า เน่าเสีย และเกิดเชื้อราได้ จากนั้นจึงทำการวัดความชื้นเริ่มต้น ดังรูปที่ 2 ค)



ก) ทำการชั่งน้ำหนักก่อนการอบ ค) จัดสมุนไพรเข้าถาดเพื่อทำการอบแห้ง ค) วัดความชื้นก่อนอบแห้ง

รูปที่ 2 การเตรียมวัตถุดิบ

3.3.3 จุดไฟเตาชีวมวลแล้วปล่อยให้ไหม้ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จนไม่มีเปลวไฟและควัน จากนั้นจึงใส่เข้าไปในห้องให้ความร้อน ซึ่งกระบวนการเตาชีวมวลจะให้ความร้อนไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์ และท่อ เพื่อสะสมความร้อน เพื่อให้ได้อุณหภูมิความร้อนตามที่กำหนดไว้ จากนั้นพัดลมจะทำงานเพื่อให้อากาศร้อน

ได้หมุนเวียนภายในตู้ หากเตาชีวมวลให้ความร้อนสูงจนเกินไปพัดลมระบายอากาศก็จะดูดความร้อนออกไปภายนอกเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 3 จุดไฟเตาชีวมวลแล้วปล่อยให้ไหม้ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที ก่อนนำเข้าห้องอบ

3.3.4 ทำการควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสมกับอุณหภูมิที่กำหนดไว้โดยให้มีการหมุนเวียนอากาศภายในตู้เพื่อระบายความร้อนออกไปเมื่ออุณหภูมิสูงเกินที่กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 4 ทำการเช็คอัตราการไหลของอากาศ

3.3.5 ทำการตรวจเช็คอุณหภูมิเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดทุก ๆ 1 ชั่วโมง (ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2%) เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูล

3.3.6 ทำการชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก ก่อนทำการอบแห้ง และน้ำหนักสุดท้ายหลังจากการอบแห้งเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 5 ได้สมุนไพรแห้งที่มีค่าความชื้น 12% ตามมาตรฐานสมุนไพรแห้ง มผช. 480/2547

3.4 การเก็บข้อมูล

3.4.1 บันทึกค่าเวลาและอุณหภูมิในห้องอบแห้ง ทุก ๆ 1 ชั่วโมง

3.4.2 บันทึกค่าของอากาศทางเข้าและและอุณหภูมิในห้องอบแห้ง ทุก ๆ 1 ชั่วโมง

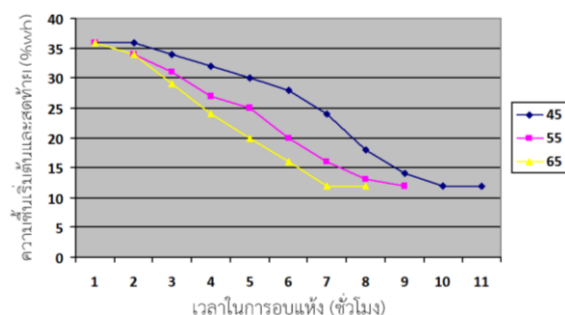
3.4.3 บันทึกค่าปริมาณความชื้นทั้งก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง

3.5 สถิติที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ค่าเฉลี่ยร้อยละ

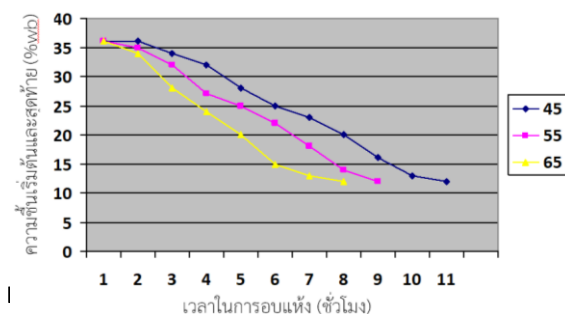
4. ผลการวิจัย

การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพร สมุนไพรที่มีความชื้นเริ่มต้นที่ 39% การทดลองโดยการทำซ้ำ 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยการลดความชื้นแห้งสมุนไพร (ข้า) ที่ระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้ง 45, 55, และ 65 °C และความเร็วอากาศอบแห้ง 1, 2 และ 3 m/s ดังนี้



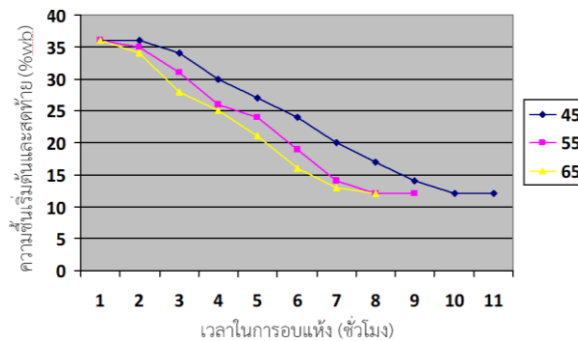
รูปที่ 6 ความเร็วอากาศอบแห้ง 1 m/s

จากรูปที่ 6 สรุปผลการทดลองครั้งที่ 1 พบว่าสมุนไพรที่มีความชื้นเริ่มต้นที่ 39% พบว่ามีอัตราการแห้งเฉลี่ยเร็วที่สุดคือ 65 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%, อุณหภูมิเฉลี่ย 55 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%, และอุณหภูมิเฉลี่ย 45 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 12 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%



รูปที่ 7 ความเร็วอากาศอบแห้ง 2 m/s

จากรูปที่ 7 สรุปผลการทดลองครั้งที่ 2 พบว่าสมุนไพรปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 39% พบว่ามีอัตราการแห้งเฉลี่ยเร็วที่สุดคือ 65 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%, อุณหภูมิเฉลี่ย 55 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%, และอุณหภูมิเฉลี่ย 45 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 12 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%



รูปที่ 8 ความเร็วอากาศอบแห้ง 3 m/s

จากรูปที่ 8 สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3 พบว่าสมุนไพรปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 39% พบว่ามีอัตราการแห้งเฉลี่ยเร็วที่สุดคือ 65 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%, อุณหภูมิเฉลี่ย 55 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%, และอุณหภูมิเฉลี่ย 45 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 12 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง ได้แก่ 45 °C 55 °C และ 65 °C และความเร็วอากาศอบแห้ง 1 m/s 2 m/s และ 3 m/s เฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง พบว่า สมุนไพรปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 39% พบว่ามีอัตราการแห้งโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ยเร็วที่สุดคือ 65 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%, อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 55 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง พบว่าสมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%, และอุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 45 °C ใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 12 ชั่วโมง พบว่าสมุนไพรที่มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 12%

ค่าความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสม 12% (wb) อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สามารถมีความชื้นที่เหมาะสม มีความคงสีและกลิ่นของสมุนไพรได้ตามมาตรฐานสมุนไพรแห้ง (มผช. 480/2547) คือ 55 °C

5. อภิปรายผลและสรุปผล

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง ได้แก่ 45, 55, และ 65 °C และความเร็วอากาศอบแห้ง 1, 2, และ 3 m/s โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งโดยการทำการซ้ำจำนวน 3 ครั้ง พบว่า สมุนไพรประเภทเหง้า (ข่า) หั่นซอยเป็นชิ้นบางประมาณ 4-6 มิลลิเมตร มีความชื้นเริ่มต้นที่ 39% (wb) การลดความชื้นขณะทำการอบค่อนข้างเร็วเนื่องจากวัสดุมีลักษณะเป็นแผ่นบางจึงคายความชื้นได้เร็ว และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพรประเภทเหง้า (ข่า) คือ 55 °C เนื่องจากสมุนไพรคายความชื้นได้เร็วโดยใช้เวลาในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง ลักษณะของสมุนไพรยังคงสี และคงกลิ่นของสมุนไพรไว้ได้ตามมาตรฐานสมุนไพรแห้ง (มผช. 480/2547) ส่วนอุณหภูมิ 45 °C มีอุณหภูมิความร้อนที่ต่ำจึงทำให้สมุนไพรคายความชื้นได้ช้าจึงทำให้มีสีคล้ำและกลิ่นจางลง และอุณหภูมิ 65 °C มีอุณหภูมิความร้อนค่อนข้างสูงจึงใช้เวลาอบแห้งเพียง 8 ชั่วโมง สมุนไพรคายความชื้นเร็วจึงทำให้ผิวมีสีคล้ำและแตกร้าวไม่คงกลิ่นของสมุนไพรไว้

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

6.1.1 ข้อเสนอแนะด้านเครื่องอบแห้งสมุนไพร ควรติดตั้งอุปกรณ์เตือนเมื่อเวลาครบวงจรของการอบ

6.1.2 ข้อเสนอแนะด้านสมุนไพรแห้ง สมุนไพรแห้งควรมีขนาดที่เหมาะสมต่อการอบในแต่ละครั้ง เนื่องจากขนาดมีผลต่อการแห้งที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกชิ้น เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นโดยไม่เกิดความชื้นหรือมีเชื้อราเจือปน

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.2566) ผ่านสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นายชาญ นพเก้า และนางสิงห์ทอง สุขบรรเทิง ผู้บริหารวิสาหกิจชุมชนสมุนไพรแปรรูปบ้านกันตวจระมวล ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสมุนไพรในการจัดโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

นักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่, สุดธิดา คำเหมือง และวิภาวรรณ ไชยเทพ. (2554). การศึกษารูปแบบการอบแห้งสมุนไพรไทย บางชนิด. *แก่นเกษตร*, (ฉบับพิเศษ), 39, 488-492.

สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล, สลิลลา ชาญเขียว และยุทธนา ฐิระวณิชกุล. (2556ก). การอบแห้งใบบัวบก เพื่อผลิตใบบัวบกแห้งขี้ผึ้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด: จลนพลศาสตร์ความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานและคุณภาพ. *วารสารวิจัย มช*, 18(2), 311-324.

Ahmad, F., Mohd, H.R., Mohd, Y.O., Omidreza, S., Azami, Z. and Kamaruzzaman, S. (2012). Investigation of Medical Herbs Moisture in Solar Drying. *Advances in Environment. Biotechnology and Biomedicine*, 127-131.

Bala, B.K. and Janjai, S. (2009). Solar drying fruits, vegetables, spices, medicinal plants and fish: Developments and Potentials, *In International Solar Food Processing Conference*. (PP.1-24) The International Solar Energy Society (ISES) and funded by WISIONS Indore, India.

คุณค่าทางวิชาการ

จากผลการวิจัยสามารถสนับสนุนได้ว่า แนวทางการพัฒนาการแปรรูปสมุนไพรแห้งโดยใช้เทคโนโลยี สามารถช่วยให้เกิดประสิทธิภาพการแปรรูปสมุนไพรที่ดีทั้งในด้านต้นทุน เวลา ผลผลิตที่สะอาด คงสรรพคุณตัวยา อันจะช่วยลดต้นทุนให้ถูกลงได้ และช่วยก่อให้เกิดรายได้ของเกษตรกรมีรายได้ที่สูงขึ้น

การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องรีดยางพาราสำหรับกลุ่มเกษตรกรขนาดย่อม ด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส

วุฒิกัทร จำรัสแนว^{1*} วันชาติ สุพรมพิทักษ์²
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย^{1* 2}
อีเมลล์ : w.jamratnaw@gmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 29 มกราคม 2568

วันแก้ไขบทความ 24 มีนาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 1 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ของเครื่องรีดแผ่นยางพาราที่ถูกปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส ผลการทดลองพบว่าเครื่องรีดแผ่นยางพาราที่ถูกปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงขึ้นเฉลี่ย 65.5 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลูกกลิ้งหลัก 51 รอบต่อนาที เป็นระดับความเร็วที่เหมาะสมในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากแผ่นยางฉีกขาดระหว่างรีดน้อยที่สุด และแผ่นยางพารามีความหนาสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องรีดแผ่นยางพาราที่ถูกปรับปรุงประสิทธิภาพ มีต้นทุนค่าไฟฟ้าลดลงจาก 782.54 บาทต่อเดือน เป็น 405.22 บาทต่อเดือน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องรีดยางพาราด้วยวิธีการนี้มีข้อได้เปรียบทั้งด้านประสิทธิภาพและด้านความคุ้มค่า ดังนั้นการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องรีดยางพาราด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส จึงมีความเหมาะสมที่จะขยายผลไปสู่การประยุกต์ใช้งานจริงสำหรับกลุ่มเกษตรกรสวนยางขนาดย่อม

คำสำคัญ : เครื่องรีดยางพารา ยางแผ่น อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ความเร็วลูกกลิ้ง



Improving the performance of para rubber rolling machine for small farmer groups with three-phase inverter

Wuttibhat Jamratnaw^{1*}, Wanchat Suprompitak²

Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University^{1*,2}

Email : w.jamratnaw@gmail.com^{1*}

Received 29 January 2025

Revised 24 March 2025

Accepted 1 May 2025

Abstract

This article aims to study the efficiency and economic feasibility of a rubber sheet rolling machine enhanced with a three-phase inverter. The experimental results indicate that the modified machine achieved an average energy efficiency improvement of 65.5%, with a roller speed of 51 revolutions per minute, which was found to be the optimal speed for this experiment. At this speed, rubber sheet tearing was minimized, and the thickness of the rubber sheets remained consistent. Additionally, the upgraded machine reduced electricity costs from 782.54 THB per month to 405.22 THB per month.

The findings demonstrate that enhancing the rubber sheet rolling machine with this method offers advantages in both efficiency and cost-effectiveness. Therefore, applying a three-phase inverter to improve the performance of rubber sheet rolling machines is a suitable approach for practical implementation, particularly for small-scale rubber farmers.

Keywords: rubber rolling machine, rubber sheet, three-phase inverter, energy efficiency, roller speed

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก หรือประมาณ 1 ใน 3 ของการผลิตยางพาราของโลก จากข้อมูลของสถาบันวิจัยยางพบว่าปีพ.ศ.2556 ประเทศไทยสามารถผลิตยางได้ 4,170,428 เมตริกตัน ส่งออก 3,664,941 เมตริกตัน มีมูลค่าการส่งออกรวม 249,288.97 ล้านบาทต่งนั้นยางพาราจึงเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างมาก พบว่ามีเกษตรกรตลอดจนผู้ทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับยางพาราประมาณ 1 ล้านครอบครัว จำนวนไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน จากการส่งเสริมและสนับสนุนการปลูกยางพาราอย่างต่อเนื่องของภาครัฐทำให้พื้นที่ภาคอีสานมีเกษตรกรหันมาปลูกยางเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดเลยที่ยางพารากลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในปัจจุบัน เนื่องจากมีกำลังการผลิตมากเป็นอันดับต้น ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สถาบันวิจัยยางพารา การยางพาราแห่งประเทศไทย, 2565) เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรสวนยางขนาดเล็กพื้นที่ปลูกยางไม่เกิน 25 ไร่ มีลักษณะการผลิตยางแบบใช้แรงงานครอบครัว ทำให้มีข้อจำกัดเรื่องการเงินทุน รวมทั้งขาดเครื่องจักรแปรรูปทำให้ต้องขายผลผลิตในรูปยางก้อนถ้วย ราคาถูกและไม่สามารถเก็บสต็อกผลผลิตได้ (สถาบันวิจัยยางพารา การยางพาราแห่งประเทศไทย, 2565) ยิ่งในภาวะการณ์ปัจจุบันที่กำลังเกิดปัญหาราคายางพาราลงอย่างต่อเนื่องทำให้เกษตรกรชาวสวนยางได้รับผลกระทบมาก เนื่องจากถูกกดราคาเพื่อเอากำไรเป็นทอดๆตั้งแต่ พ่อค้าระดับท้องถิ่น จนถึงโรงงานแปรรูปยาง การแปรรูปเป็นยางแผ่นเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเกษตรกรสวนยางขนาดย่อมที่เหมาะสมเนื่องจากใช้เครื่องจักรน้อย ต้นทุนต่ำขั้นตอนการแปรรูปไม่ซับซ้อน และใช้เวลาสั้น อีกทั้งเกษตรกรเองก็มีความคุ้นเคยอยู่แล้ว

ในขั้นตอนการผลิตยางแผ่นดิบนั้น เครื่องรีดยางถือว่ามีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการผลิตเนื่องจากมีผลต่อคุณภาพของยางแผ่น (ชาคริต ปานแป้น, กองพล อารีรักษ์ และ กองพัน อารีรักษ์, 2565) เครื่องรีดยางมีลักษณะการทำงานแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นเมคคานิกส์ และส่วนที่เป็นต้นกำลังทางไฟฟ้า (มอเตอร์ไฟฟ้า) เครื่องรีดยางที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันส่วนมากจะใช้กลไกทางเมคคานิกส์การปรับความเร็วรอบโดยใช้มู่เล่ย์และระบบฟันเฟืองซึ่งมีข้อเสียคือสามารถปรับระดับความเร็วรอบได้จำกัดขึ้นอยู่กับอัตราการทดเฟือง ทำให้มอเตอร์ทำงานไม่เหมาะสมกับภาระโหลดจึงมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานต่ำ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรีดยางพาราด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยปรับความเร็วรอบของลูกกลิ้งให้เหมาะสมกับภาระโหลด และศึกษาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อที่แนวทางในการพัฒนาเครื่องรีดยางที่มีประสิทธิภาพนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานจริงสำหรับกลุ่มเกษตรกรสวนยางขนาดย่อมในจังหวัดเลยต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการรีดยางในการทำยางแผ่น
- 2.2 เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการปรับปรุงเครื่องรีดยางพาราด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส

3. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาข้อดีและข้อเสียของการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องรีดยางพาราด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส โดยการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง เครื่องรีดยางแผ่นแบบเดิม (Original Rubber Rolling Machine) ในเปเปอร์นี้ใช้ตัวย่อเป็น “ORR” และเครื่องรีดยางแผ่นที่ปรับปรุงประสิทธิภาพ (Improved Rubber Rolling Machine) ใช้ตัวย่อเป็น “IRR”

3.1 การเตรียมน้ำยางพาราเพื่อทำยางแผ่น

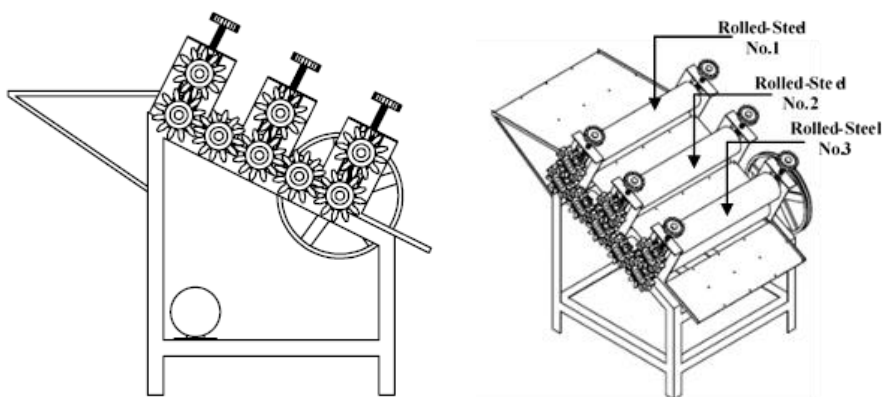
การเตรียมน้ำยางพาราที่ใช้ในการทดลอง แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่หนึ่ง เติมน้ำยางข้น 180 ลิตรด้วยสารเคมีเพื่อรักษาสภาพของน้ำยาง ขั้นตอนที่สอง กรองน้ำยางแล้วเทลงในถาดที่เตรียมไว้ (3 ลิตรต่อถาด) ต่อมานำน้ำยางข้น 30 ลิตรต่อการทดลอง ขั้นตอนสุดท้ายใช้น้ำยาง 3 ลิตร กับน้ำ 2 ลิตร เพื่อทำแผ่นยาง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมน้ำยางพาราเพื่อทำยางแผ่น

3.2 เครื่องรีดยางแผ่น

เครื่องรีดยางที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบสามลูกกลิ้งทำด้วยเหล็ก โดยลูกกลิ้ง 1 และ 2 เป็นทรงกระบอก กลวงขนาด 120 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 600 มม. ยาว 40 มม. มีความหนา ลูกกลิ้งที่สามเป็นทรงกระบอกตันมี เส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มม. ยาว 600 มม. และหนา 40 มม. ดังรูปที่ 2

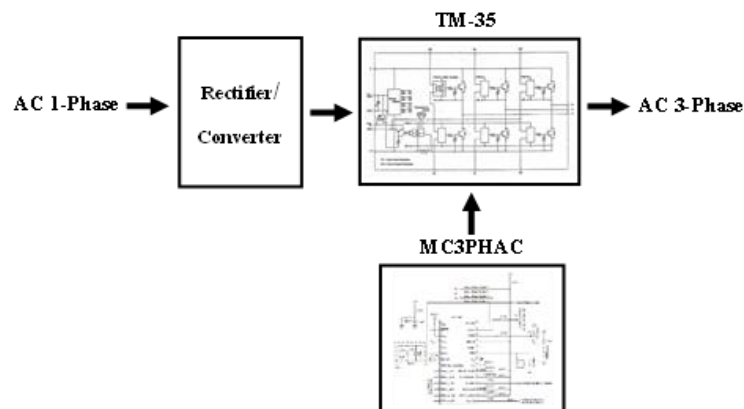


รูปที่ 2 โครงสร้างของเครื่องรีดยางแผ่น

3.3 อินเวอร์เตอร์สามเฟส

ในการทดลองนี้อินเวอร์เตอร์ถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์สองประการ เพื่อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวเป็นสามเฟส และเพื่อเปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์ โดยอินเวอร์เตอร์ที่พัฒนาขึ้นในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนแรก คือ วงจรเรียงกระแสทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนที่สอง คือ โมดูล TM52A ซึ่งประกอบด้วย IGBT 6 ตัว ทำหน้าที่เป็นสวิตชิง สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ถึง 5 แรงม้า (Waiprib, A., & Ritnoom, N., 2012) สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนที่สาม คือ ไอซี MC3PHAC ทำหน้าที่ สร้างพัลส์เพื่อ

ควบคุมการทำงานของ IGBT ทั้ง 6 ตัว (Subramaniam, S., Akash, B., Vignesh, R., & Mahalakshmi, R., 2019: Afanasov, C., & Rață, M., 2016) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์สามเฟส

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการผลิต รวมถึงการประเมินความคุ้มค่าของเครื่องรีดยางพาราที่ปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส และ เครื่องรีดยางแผ่นแบบเดิมที่พัฒนาขึ้นโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (กานต์ จันทระ, 2560) เพื่อใช้เป็นเครื่องต้นแบบเครื่องรีดยางสำหรับชาวสวนยางในจังหวัดเลย



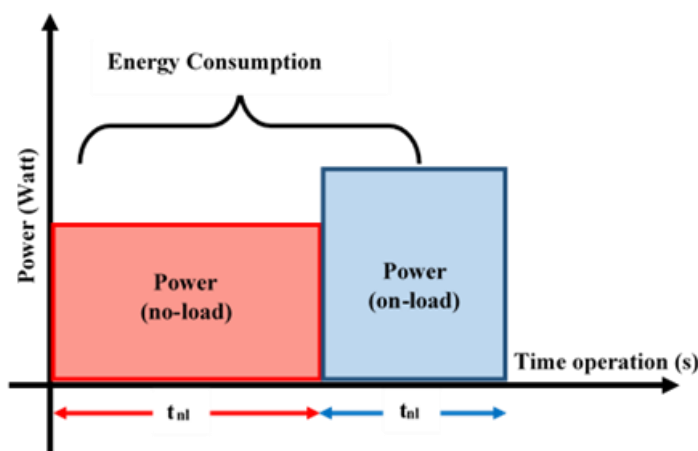
รูปที่ 4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องรีดยางพาราแบบ ORR และ แบบ IRR โดยปรับความเร็วรอบของลูกกลิ้งจำนวน 5 ระดับ เพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุด และแต่ละระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งจะใช้แผ่นยางพาราทดสอบ 10 แผ่น แต่ละแผ่นต้องรีด จำนวน 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ความหนามาตรฐานของแผ่นยางชั้น 1

เวลาที่ใช้ในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ขับโหลดและกรณีที่ไม่ขับโหลด กรณีที่ขับโหลดหมายถึงเครื่องทำงานและมีแผ่นยางอยู่ กรณีที่ไม่ขับโหลดหมายถึงเครื่องทำงานแต่ไม่มีแผ่นยาง

3.4.2 การคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 5 การคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

$$E_h = P_{ol} t_{ol} + P_{nl} t_{nl}$$

โดยที่

- E_h = อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งชั่วโมง (kWh)
- P_{ol} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงกรณีที่ขับโหลด (W)
- P_{nl} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงกรณีที่ขับโหลด (W)
- t_{ol} = เวลาที่เครื่องทำงานเทียบกับหนึ่งชั่วโมงกรณีที่ขับโหลด
- t_{nl} = เวลาที่เครื่องทำงานเทียบกับหนึ่งชั่วโมงกรณีที่ขับโหลด

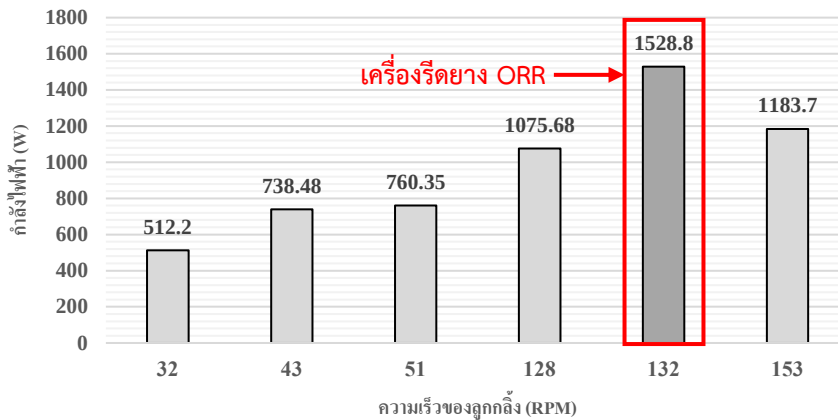
3.4.3 การคำนวณต้นทุนค่าไฟฟ้าในการทำยางแผ่น

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นต้นทุนผันแปรที่มีผลการทำยางแผ่นของเกษตรกร โดยในการทดลองนี้คำนวณจากอัตราค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4.2 บาท และเครื่องจักรทำงานต่อเนื่อง 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการสอบถามกลุ่มชาวสวนยางขนาดย่อมในจังหวัดเลย

4. ผลการวิจัย

4.1 กำลังไฟฟ้ากรณีไม่ขับโหลด

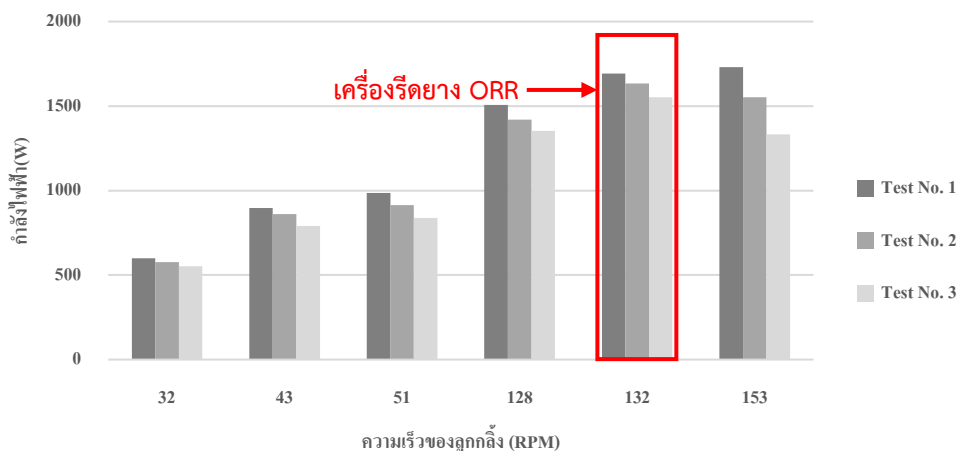
ผลการทดลองกรณีที่ขับโหลดพบว่าเครื่องรีดยางพาราแบบ ORR ความเร็วของลูกกลิ้งหลักคือ 132 รอบต่อนาที กำลังไฟฟ้า 1528.8 วัตต์ ส่วนเครื่องรีดยางพาราแบบ IRR ความเร็วการรีดหลักถูกแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ 32, 43, 51, 128 และ 153 รอบต่อนาที กำลังไฟฟ้า 512.2, 738.48, 760.35, 1075.68 และ 1183.7 วัตต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความเร็วของลูกกลิ้งและกำลังไฟฟ้ากรณีไม่ขับโหลด

4.2 กำลังไฟฟ้ากรณีขับโหลด

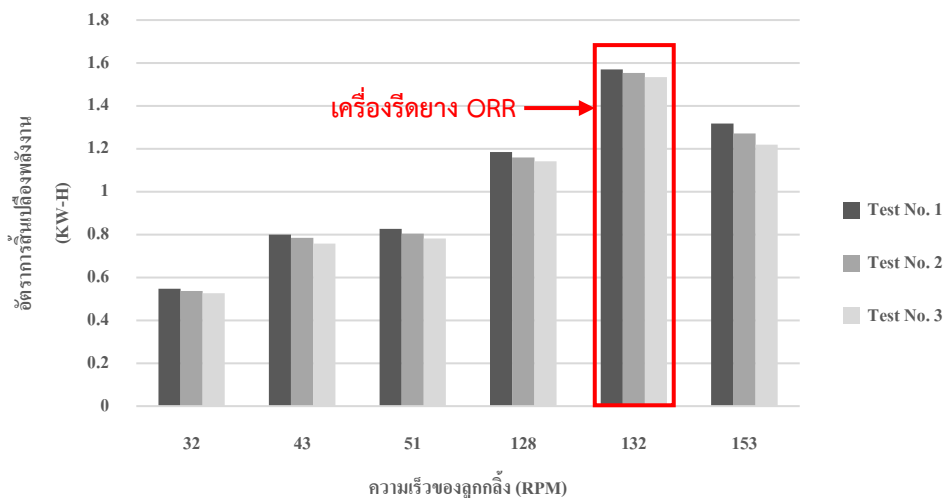
เมื่อป้อนแผ่นยางเข้าไปในเครื่องรีดยาง (กรณีขับโหลด) พบว่า กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น แต่ความเร็วของลูกกลิ้งหลักจะลดลง กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับรีดแผ่นยางแผ่นครั้งที่หนึ่งถึงครั้งที่สามจะลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความเร็วของลูกกลิ้งและกำลังไฟฟ้ากรณีขับโหลด

4.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

ผลการทดลองพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของ ORR สูงกว่า IRR แม้จะใช้ความเร็วต่ำกว่าก็ตาม ความเร็วของลูกกลิ้งของ ORR ที่ 132 รอบต่อนาที มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยเป็น 1.55 กิโลวัตต์-ชั่วโมง แต่ความเร็วของลูกกลิ้งของ IRR ที่ 153 รอบต่อนาที มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยเป็น 1.27 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

4.4 ประสิทธิภาพในการรีดยางแผ่น

ในขั้นตอนการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องรีดยางแผ่น พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ความเร็วรอบ และประสิทธิภาพในการรีดแผ่นยาง ซึ่งนิยามจากจำนวนแผ่นยางที่ไม่เกิดการฉีกขาดเสียหายระหว่างรีดหารด้วยจำนวนแผ่นยางที่นำมาทดลองดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการรีดยางแผ่น} = \frac{\text{จำนวนแผ่นไม่ฉีกขาดระหว่างรีด}}{\text{จำนวนแผ่นที่ใช้ทดลอง}}$$

การทดลองนี้ได้ปรับความเร็วรอบของเครื่องรีดยางแผ่นที่ถูกปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟสออกเป็น 5 ระดับ โดยแต่ละ ระดับใช้แผ่นยางพารา จำนวน 10 แผ่น ผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบ 51 rpm ให้ประสิทธิภาพในการรีดแผ่นยางได้ดีที่สุด คือแผ่นยางไม่ฉีกขาดเลย 9 แผ่น และฉีกขาดเล็กน้อย 1 แผ่น คิดเป็นประสิทธิภาพในการรีดยางแผ่น 0.9 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของเครื่องรีดยางแผ่น

เครื่องรีดยางแผ่น	ความเร็วของลูกกลิ้ง (RPM)	ประสิทธิภาพในการรีดแผ่นยางพารา
เครื่องรีดยางแผ่นแบบเดิม	137	0.6
เครื่องรีดยางแผ่นที่ถูกปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส	32	0.7
	43	0.8
	51	0.9
	128	0.7
	153	0.6

4.5 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์หาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนของเครื่องรีดยางแผ่นแบบเดิมกับเครื่องรีดยางแผ่นที่ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยเลือกความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ 51 rpm ซึ่งเป็นค่าที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทดลองสำหรับเครื่องรีดที่ใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุม คิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ราคา 4.2 บาทต่อหน่วย และระยะเวลาการใช้งาน 4 ชั่วโมงต่อวัน

ตารางที่ 2 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

เครื่องรีดยางแผ่นรูปแบบเดิม		เครื่องรีดยางแผ่นที่ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์	
ต้นทุนคงที่		ต้นทุนคงที่	
รายการ	ราคา (บาท)	รายการ	ราคา (บาท)
โครงสร้างของเครื่องรีดยางแผ่น	30,984.00	โครงสร้างของเครื่องรีดยางแผ่น	30,984.00
มอเตอร์ต้นกำลัง 1 เฟส 3 Hp	8,628.00	มอเตอร์ต้นกำลัง 3 เฟส 3 Hp	4,553.00
		อินเวอร์เตอร์	2,700
รวมเป็นเงิน	39,612.00	รวมเป็นเงิน	38,237.00
ต้นทุนแปรผัน		ต้นทุนแปรผัน	
รายการ	ราคา (บาท)	รายการ	ราคา (บาท)
อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าต่อวัน	26.08	อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าต่อวัน	13.51
อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าต่อเดือน	782.54	อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าต่อเดือน	405.22

หมายเหตุ อัตราค่าไฟฟ้าคิดที่ราคา 4.2 บาท ต่อ หน่วย

5. อภิปรายผลและสรุปผล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องรีดยางพาราด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟส ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องรีดยางพารา เนื่องจากสามารถปรับระดับความเร็วที่เหมาะสม ลดการฉีกขาดของแผ่นยางพาราระหว่างกระบวนการผลิต แผ่นยางที่ได้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ทำให้ผลิตรายแผ่นได้มีคุณภาพและขายได้กำไรสูงขึ้น นอกจากนี้ต้นทุนอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มเข้ามายังถูกชดเชยด้วยราคาของมอเตอร์สามเฟสที่ถูกกว่า ทำให้ต้นทุนคงที่ลดลง ต้นทุนแปรผันที่เกิดจากค่าไฟฟ้าก็ลดลงด้วยเนื่องการอินเวอร์เตอร์ช่วยให้มอเตอร์ทำงานได้เหมาะสมกับการะโหลดทำให้ประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงขึ้น ลดต้นทุนแปรผันจากค่าไฟฟ้า ได้ถึงร้อยละ 48.2

ดังนั้นการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องรีดยางพาราด้วยวิธีการนี้จึงเหมาะสมสำหรับกลุ่มเกษตรกรสวนยางขนาดเล็ก โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดเลยที่สวนยางอยู่บนพื้นที่เชิงเขาซึ่งไฟฟ้าเข้าไม่ถึงเนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้

6. ข้อเสนอแนะ

เพิ่มระบบเชื่อมต่อพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสวนยางที่อยู่บนหุบเขาที่เข้าไม่ถึงระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กานต์ จันทระ. (2560). แนวทางการพัฒนาเครื่องรีดยางสำหรับชาวสวนยางในจังหวัดเลย. *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก ครั้งที่ 10*, 29-31.
- ชาคริต ปานแป้น, กองพล อารีรักษ์ และ กองพัน อารีรักษ์. (2560). การออกแบบตัวควบคุมสำหรับเครื่องรีดยางพาราอัตโนมัติด้วยฟuzzyลอจิกวิธีใหม่. *Srinakharinwirot Engineering Journal*, 12(1), 61 – 71.
- สถาบันวิจัยยางพารา การยางพาราแห่งประเทศไทย. (25 มิถุนายน 2565). *พื้นที่ปลูกยางพาราในประเทศไทย*. <https://www.raot.co.th/main.php?filename=index>
- Waiprib, A., & Ritnoom, N. (2012). The simple embedded system for three-phase solar motor pump using Volt/Hertz maximum power point tracking technique, *In 2012 Ninth International Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*. pp. 180-184. Bangkok, Thailand. DOI: 10.1109/JCSSE.2012.6261948
- Subramaniam, S., Akash, B., Vignesh, R., & Mahalakshmi, R. (2019). Design and implementation of three phase micro inverter based PV module. *Journal of green Engineering*, 9(1), 34-59.
- Afanasov, C., & Rață, M. (2016). Three-phase frequency converter with MC3PHAC controller. *The 18th National Conference on Electrical Drives "CNAF 2016". ACTA ELECTROTEHNICA*, 54(3-4 special). pp 439-443. <http://journals.indexcopernicus.com/masterlist>

คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการรีดยางแผ่น เพื่อลดการฉีกขาดของแผ่นยางพารา และความหนาที่ไม่สม่ำเสมอ ที่เกิดจากความเร็วรอบที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกษตรกรผลิตยางแผ่นได้เกรดที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังศึกษาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุงเครื่องรีดยางพาราด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟสเพื่อนำไปสู่การนำไปใช้ได้จริงของเกษตรกร และขยายผลสู่เครื่องจักรทางการเกษตรอื่น ๆ ที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง

การพัฒนาเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ สำหรับกลุ่มวิสาหกิจเครื่องประดับจังหวัดสุรินทร์

ทรงยศ หวังชอบ^{1*} ศุภวัชร นิยมพันธุ์² กนกกานต์ ลายสนธิ³ สุรเชษฐ์ วงศ์ชัยประทุม⁴

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์^{1*234}

อีเมล : s.wungchop@gmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 27 มกราคม 2568

วันแก้ไขบทความ 9 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 17 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสำหรับกลุ่มวิสาหกิจเครื่องประดับจังหวัดสุรินทร์ โดยการศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องหลอมโลหะด้วยหลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการหลอมเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิขณะหลอมได้และหาประสิทธิภาพของเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ พิจารณาจากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง โดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าขาเข้า (Input Power) เปรียบเทียบกับค่าความสูญเสียที่ กำลังไฟฟ้าขาออก (Output Power) มีประสิทธิภาพสูงสุดคือที่ 90.47 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 28.67 kHz ที่กำลังไฟฟ้าขาเข้า 1,260 วัตต์ สามารถให้ความร้อนในการหลอมทองเหลืองขนาด 500 กรัม ที่บรรจุในเบ้ากราไฟท์ จากอุณหภูมิห้องถึงจุดหลอมละลาย 900 °C ในเวลา 10 นาที

คำสำคัญ: การหลอมโลหะ การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม



The development of metal melting furnaces using the induction heating application by ornament community enterprise in Surin

Songyot Wungchop^{1*}, Supawatchara Niyomphant², Kanokgan Laison³
,Surachet Wongchaipratum⁴

Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University ^{1*,2,3,4}

E – mail : s.wungchop@gmail.com ^{1*}

Received 27 January 2025

Revised 9 April 2025

Accepted 17 April 2025

Abstract

This paper presents a development of metal melting furnaces using the Induction heating application by ornament community enterprise in Surin province. By using single-phase series-resonant inverter modules for reduce problems caused by melting because the temperature can be controlled during melting and find the efficiency of the metal melting furnaces using the principle of induction heating. Experimental results considered by testing the efficiency of the metal melting furnaces using the Induction heating application by considering the input power compared with the loss of the output power with the highest efficiency at 90.47 percent at the frequency of 28.67 kHz at Input power 1,260 watts. It can heat 500 grams of brass in a graphite crucible from room temperature to a melting point of 900 °C in 10 minutes.

Keywords: Metal melting furnaces, Series resonant inverter, Induction heating application

1. บทนำ

เตาหลอมโลหะในภาคอุตสาหกรรมมีลักษณะเป็นเตาที่มีการเผาไหม้ภายนอก (Externally Heated Furnaces) เปลวไฟของเชื้อเพลิงหรือก๊าซร้อนจากการเผาไหม้สัมผัสกับวัตถุทางอ้อมหรือมีตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนส่วนใหญ่นิยมใช้ก๊าซแอลพีจี เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีมาก มีอัตราการเผาไหม้น้อยมากและไม่มีเขม่า การหลอมโลหะโดยการเหนี่ยวนำ (Induction Melting) ขดลวดเหนี่ยวนำเมื่อได้รับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสลับคล่องผ่านภาชนะ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสร้างกระแสไหลวนที่ขึ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ขึ้นงาน (วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และคณะ, 2555) เมื่อนำโลหะใด ๆ ใส่ลงในเตาหลอมที่เป็นสนามแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดที่พันอยู่รอบตัวเตา จะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดกับโลหะ เป็นผลทำให้โลหะเกิดความร้อนและหลอมละลายในที่สุด (เขมภัทร สมสังข์, 2549) หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการหลอมโลหะโดยการเหนี่ยวนำ เป็นการให้ความร้อนเพื่อทำให้โลหะเปลี่ยนจากของแข็งเป็นของเหลว โดยการทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในเตาหลอมหรือในผลิตภัณฑ์โดยตรง ซึ่งเมื่อโลหะที่เป็นผลิตภัณฑ์ได้รับจนถึงจุดหลอมเหลวก็จะเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ประเภทของการใช้งานการประยุกต์ใช้งานการหลอมโลหะโดยการเหนี่ยวนำกับงานอุตสาหกรรมมีหลายประเภท เช่น การหล่อแบบโลหะ การยืดโลหะ เป็นต้น

ซึ่งปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เตาหลอมโลหะในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่น ธุรกิจขนาดย่อม (SME) วิสาหกิจชุมชน ฯลฯ เช่นเดียวกับวิสาหกิจชุมชนเครื่องทองเหลือง อำเภอเขวาสินรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ที่มีการใช้แก๊สแอลพีจีในการหลอม เนื่องจากทองเหลืองมีคุณสมบัติในการหลอมเหลว ณ อุณหภูมิที่ไม่สูงมาก อีกทั้งปริมาณในการหลอมแต่ละครั้งน้อย ดังนั้นการหลอมทองเหลืองด้วยวิธีดังกล่าวจึงง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ปัญหาที่เกิดจากการหลอมโลหะโดยใช้แก๊สแอลพีจีคือ ควบคุมอุณหภูมิของการหลอมได้ยาก ทำให้การให้ความร้อนแก่ชิ้นงานไม่สม่ำเสมอส่งผลให้ชิ้นงานเกิดรูพรุนขนาดเล็ก ชิ้นงานแตกร้าว ความที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สแอลพีจี ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและอันตรายจากการระเบิดของแก๊ส

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยและคณะจึงมีความสนใจในการพัฒนาเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสำหรับกลุ่มวิสาหกิจเครื่องประดับจังหวัดสุรินทร์ โดยการศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องหลอมโลหะด้วยหลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการหลอมเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิขณะหลอมได้ ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดรูพรุน ไม่แตกร้าว สามารถลดต้นทุนในการผลิต ประหยัดพลังงาน ลดการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและอันตรายที่เกิดกับผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้การรวมตัวกันของเกษตรกรในการประกอบธุรกิจในระดับชุมชนมีความมั่นคง เป็นการส่งเสริมความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อให้ระบบเศรษฐกิจชุมชนมีความเข้มแข็งพึ่งพาตนเองได้และมีความพร้อมที่จะพัฒนาสำหรับการแข่งขันทางการค้าในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ สำหรับกลุ่มวิสาหกิจเครื่องประดับจังหวัดสุรินทร์

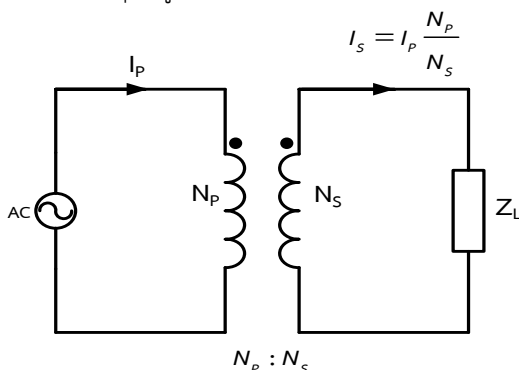
2.2 หาประสิทธิภาพของเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ได้สร้างขึ้น

3. วิธีการวิจัย

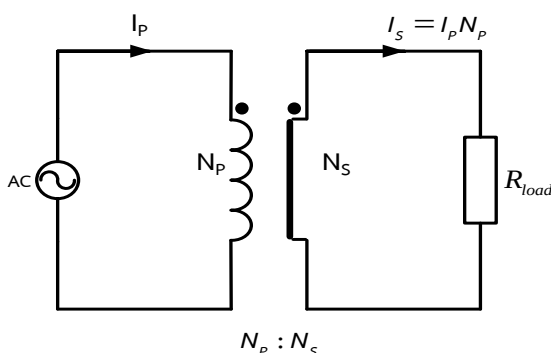
3.1 หลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

โมดูลอินเวอร์เตอร์อนุกรมเรโซแนนซ์ 1 เฟส หลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสามารถอธิบายให้เห็นได้ชัดเจนโดยเปรียบเทียบกับหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อใช้งานจะเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีผลมาจากกระแสซึ่งเรียกว่ากระแสไหลวน (Eddy current) นำหลักการเกิดความร้อนจากการเกิดกระแสไหลวนดังกล่าว

มาใช้เพื่อให้ความร้อนกับชิ้นงานที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าเรียกว่า เตาเหนี่ยวนำ (Induction furnace) หลักการทำงาน พื้นฐานคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (Primary and Secondary Winding) โดยขดเหนี่ยวนำเปรียบเสมือนขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงดังรูปที่ 1 โดยขดลวดทางด้านทุติยภูมิ มีเพียงรอบเดียว ซึ่งหมายถึงการลัดวงจรทางทุติยภูมิ (วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และสายชล ชุตเจื้อจิ้น, 2552) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 วงจรสมมูลอย่างง่ายของหม้อแปลง



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำกับชิ้นงาน

จะเห็นได้ว่าถ้า I_p เป็นกระแสที่ป้อนเข้าในขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก I_s เป็นกระแสที่ไหลในชิ้นงานโดยที่ N_p คือจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำและกำลังสูญเสีย P_{load} เป็นความร้อนของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ

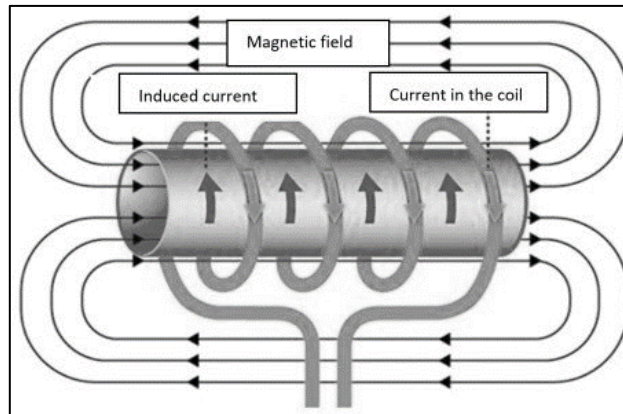
$$P_{load} = I_s^2 R_{load} \quad (1)$$

$$\text{แทนค่า } I_s = I_p N_p, \text{ จะได้} \quad P_{load} = I_s^2 N_p^2 R_{load} \quad (2)$$

โดยที่ P_{load} คือ กำลังที่ชิ้นงาน (W) และ R_{load} คือ ความต้านทานสมมูลของชิ้นงาน (Ω)

ลักษณะโครงสร้างของระบบการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เมื่อขดลวดเหนี่ยวนำได้รับกระแสไฟฟ้าสลับ จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กสลับคล่องผ่านชิ้นงาน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เกิดกระแสไหลวนในชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ชิ้นงาน ความร้อนที่ชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไหลวน (I_{load}) และความต้านทานของชิ้นงาน (R_{load}) เป็นตามสมการ กำลังไฟฟ้าซึ่งมีค่าเท่ากับ ($I_{eddy}^2 R_{load}$) โดยที่กระแสจะหาได้จากความเข้มของสนามแม่เหล็ก ความต้านทานหาได้จากค่าความต้านทานจำเพาะ (Resistivity, ρ) และความซึมซาบแม่เหล็กของชิ้นงาน (Permeability, μ) เนื่องจากกระแสที่ป้อนให้กับขดลวดเหนี่ยวนำมักจะมีปริมาณที่สูงมาก จึงต้องมี

ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำภายในขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อลดกำลังสูญเสียที่ขดลวดเหนี่ยวนำ (วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และสายชล ชุตเจื้อจิ้น, 2557) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หลักการพื้นฐานการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

ในหลักการดังกล่าวกระแสไหลวนจะมีความหนาแน่นมากที่สุดที่บริเวณผิวของชิ้นงาน เนื่องจากผลของปรากฏการณ์พื้นผิว (Skin Effect) และความหนาแน่นของกระแสลดลงมาเป็นประมาณ 0.368 เท่าของค่าความหนาแน่นกระแสที่ผิวของชิ้นงานที่ค่าความลึกผิว (Skin Depth) (วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และคณะ, 2555) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\text{Skin depth, } \delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu f \pi}} \quad (3)$$

โดยที่ δ คือ ความลึกผิว (m)

ρ คือ ความต้านทานจำเพาะของชิ้นงาน (Ω / m)

μ คือ ความซึมซาบแม่เหล็กของชิ้นงาน (H/m)

f คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (Hz)

จากสมการที่ (3) แสดงให้เห็นว่าค่าความลึกผิวขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้ขดลวดเหนี่ยวนำ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก(Permeability) ความต้านทานจำเพาะ(Resistivity) ของชิ้นงาน ในทางปฏิบัติลักษณะงานที่แตกต่างกัน จะมีความต้องการค่าความลึกผิวและกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันเช่น การชุบแข็งที่ผิวชิ้นงาน จะต้องการค่าความลึกผิวที่ต่ำ จึงต้องใช้ความถี่ที่สูงทำให้มีค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่สูง ส่วนในงานประเภทการให้ความร้อนสำหรับการหลอมโลหะจะต้องการค่าความลึกผิวที่ค่อนข้างสูง ความถี่การทำงานจึงต่ำกว่า

3.2 หลักการของวงจรเรโซแนนซ์

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ(Inductor) และตัวเก็บประจุ(Capacitor) ที่ต่ออนุกรมกันเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและปรับความถี่ของแหล่งจ่ายให้กับวงจร เมื่อความถี่ของแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของวงจร จะทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ (การทำให้ความถี่ของแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของวงจรทำได้โดยการปรับค่า L (Inductance) หรือการปรับค่า C (Capacitance) หรือการปรับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายเป็นผลให้ค่าอินดักทีฟรีแอคแตนซ์ (X_L : Inductive Reactance) เท่ากับค่าคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ (X_C : Capacitive Reactance) ถ้า $X_L = X_C$ จะทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ ขณะที่เกิดเรโซแนนซ์ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรจะน้อยที่สุดเหลือเท่ากับ R (Resistance) เพียงอย่างเดียว ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

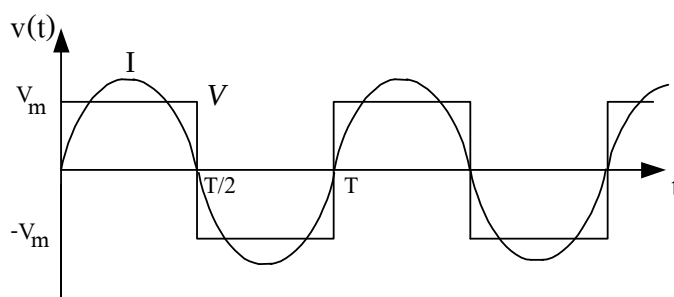
V_L และค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ V_C จะมีทิศทางตรงกันข้ามและหักล้างกันหมด เหลือเฉพาะแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าขณะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์จึงมีค่าสูงสุดดังตารางที่ 1 คุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (จิระศักดิ์ วงศา. 2555)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

คุณสมบัติ	วงจรอนุกรม RLC
ความถี่เรโซแนนซ์ f_r	$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
แรงดันตกคร่อม R	สูงสุดที่ f_r
กระแสที่ไหลผ่าน R	สูงสุดที่ $\frac{V_s}{R}$
ค่า Q (Quality Factor)	$Q = \frac{2\pi f_r L}{R}$
ค่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth)	$B_w = \frac{f_r}{Q}$
ค่า Impedance ที่จุดต่ำกว่า f_r	Capacitive
ค่า Impedance ที่จุดสูงกว่า f_r	Inductive
ผลกระทบเมื่อเปลี่ยนค่า R	เพิ่มค่า R ค่า B_w เพิ่ม

3.3 การวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดเรโซแนนซ์

สัญญาณกระแสของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นซายน์ เมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานใกล้กับความถี่เรโซแนนซ์ โหลดจะมีค่า Damping Factor ต่ำ โดยสัญญาณแรงดันจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นพัลส์สลับ (วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และคณะ, 2555) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปคลื่นสัญญาณกระแสและแรงดันที่โหลด

จากรูปที่ 4 รูปคลื่นของแรงดันมีลักษณะเป็นฟังก์ชันคี่ องค์ประกอบฮาร์มอนิกต่างๆ ของแรงดันพัลส์สี่เหลี่ยมเป็นดังนี้ (วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และคณะ, 2555)

$$v(t) = V_1 \sin \omega t + V_3 \sin 3\omega t + \dots + V_n \sin n\omega t \quad (4)$$

โดยที่ $V_1 = \frac{4V_m}{\pi}$ และ $V_n = \frac{4V_m}{n\pi}$ เมื่อ $n =$ เลขจำนวนเต็มคี่

ดังนั้น $V_{1,rms} = \frac{4V_m}{\pi\sqrt{2}}$ ส่วนกระแสที่โหลดมีลักษณะเป็นคลื่นขายน ดังนั้นจึงสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จาก

$$P_{load} = I_{1,rms} V_{1,rms} \quad (5)$$

เมื่อแทนค่า $I_{1,rms}$ และ $V_{1,rms}$ จะได้

$$P_{load} = \frac{2I_m V_m}{\pi} \quad (6)$$

3.4 การวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าที่ขดลวดเหนี่ยวนำ

จากกำลังไฟฟ้ารูปคลื่นขายนในสภาวะอยู่ตัว สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาหาความสัมพันธ์เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไป กล่าวคือเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นขายน $e = V_m \sin \omega t$ ให้กับวงจรไฟฟ้าโดยทั่ว ๆ ไปวงจรหนึ่ง จะทำให้เกิดกระแส $i = I_m \sin(\omega t + \phi)$ โหลดในวงจรและมุมเฟส ϕ ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของวงจรที่ปรากฏออกมาในรูปของคาปาซิแตนซ์หรืออินดักแตนซ์ ดังนั้นจะได้

$$p = ei = (V_m \sin \omega t)(I_m \sin(\omega t + \phi)) \quad (7)$$

แต่ $\sin A \sin B = \frac{1}{2} [\cos(A - B) - \cos(A + B)]$ และ $\cos(-A) = \cos A$ เพราะฉะนั้นจะได้

$$p = \frac{1}{2} E_m I_m [\cos \phi - \cos(2\omega t + \phi)] \quad (8)$$

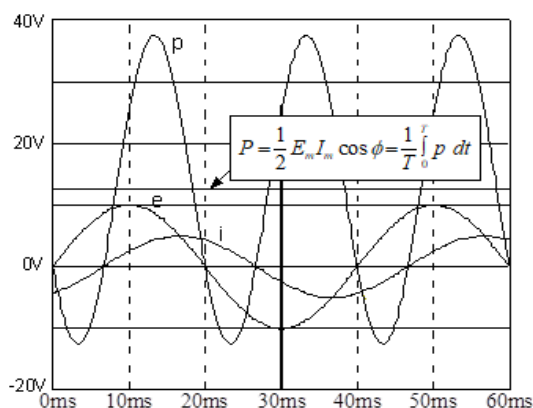
จากสมการที่ (8) จะพิจารณาเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ขณะใด ๆ ค่า p จะประกอบด้วยเทอมที่อยู่ในรูปของขายนคือ $\frac{1}{2} E_m I_m \cos(2\omega t + \phi)$ ซึ่งค่าเฉลี่ยของมันจะมีค่าเท่ากับศูนย์และเทอมคงที่คือ $\frac{1}{2} E_m I_m \cos \phi$ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ขณะใด ๆ คือ

$$P = \frac{1}{2} E_m I_m \cos \phi = EI \cos \phi \quad (9)$$

โดยให้ $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ และ $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพของเฟสเซอร์ $\vec{E}$ และ $\vec{I}$ ตามลำดับและเทอม $\cos \phi$ ก็คือเพาเวอร์แฟคเตอร์ ส่วนมุม ϕ ซึ่งเป็นมุมระหว่างเฟสเซอร์ของแรงดัน E และกระแส I อย่างไรก็ตาม ค่าของกำลังไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p \, dt \quad (10)$$

หน่วยของกำลังไฟฟ้า P คือ วัตต์ (W) ผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตามสมการที่ (9) และ (10) จะสามารถอธิบายให้เห็นได้ด้วยภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5

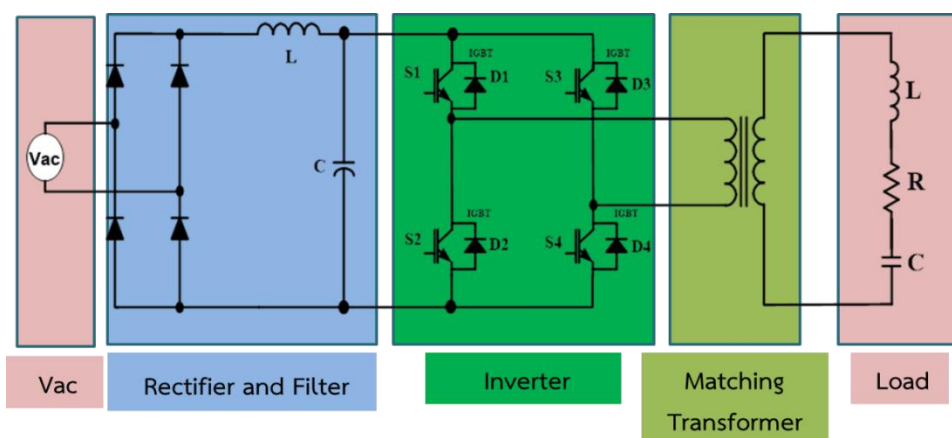


รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของวงจรที่กระแสหลักแรงดันเป็นมุม 60°

3.5 การออกแบบวงจรกำลัง

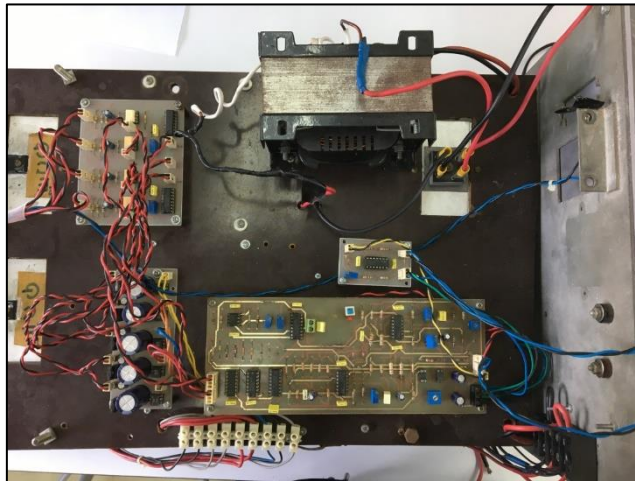
ในวงจรกำลัง วงจรจะเป็นแบบอินเวอร์เตอร์อนุกรมเรโซแนนซ์แบบเต็มบริดจ์ ประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส 1 เฟส อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันเต็มบริดจ์ ฟิลเตอร์ หม้อแปลงแมตซิง ขดลวดเหนี่ยวนำ ดังแสดงในรูปที่ 6 ประกอบไปด้วยส่วนย่อย ๆ ดังนี้

1. แหล่งจ่ายแรงดัน โดยแปลงจากแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงผ่านวงจรเรียงกระแส 1 เฟส ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำและขนานกับตัวเก็บประจุค่าสูงพอที่จะสามารถรักษาแรงดันให้เรียบ
2. อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันเต็มบริดจ์ ใช้ไอจีบีทีขนานกับไดโอดเป็นอุปกรณ์สวิตช์ในการเปลี่ยนแรงดันกระแสตรงให้เป็นแรงดันกระแสสลับรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่สูง
3. หม้อแปลงความถี่สูงหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของโหลดให้เหมาะสมกับกำลังของอินเวอร์เตอร์ และ ยังช่วยแยกระหว่างโหลดกับวงจรกำลังทำให้เกิดความปลอดภัย
4. โหลดเป็นเข้าหาลอมอวลูมิเนียมที่ลักษณะวงจรเป็นแบบอนุกรมเรโซแนนซ์ ประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุเพื่อแก้ตัวประกอบกำลังของขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าต่ำ



รูปที่ 6 โมดูลอินเวอร์เตอร์อนุกรมเรโซแนนซ์ 1 เฟส

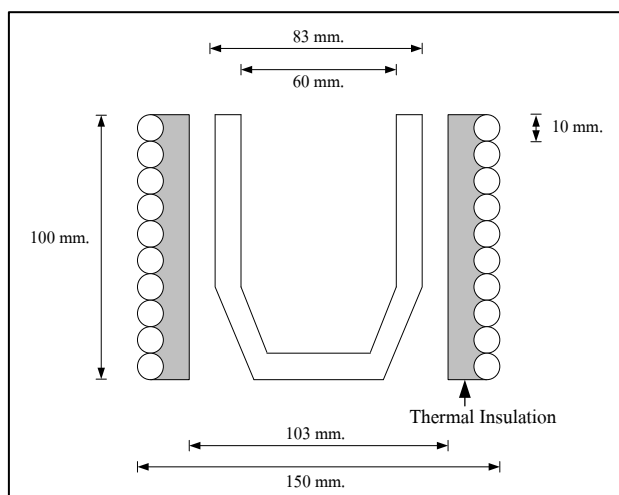
จากรูปที่ 6 เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในงานวิจัยนี้ การทำงานของระบบกำลังประกอบด้วย วงจรเรียงกระแส 1 เฟส แรงดันไฟตรงที่ได้เมื่อนำมาต่อกับตัวเหนี่ยวนำกับตัวเก็บประจุขนาดใหญ่พอที่สามารถรักษาแรงดันให้เรียบได้ และนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ป้อนเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันเต็มบริดจ์ที่ใช้ไอจีบีทีขนานกับไดโอดเป็นอุปกรณ์สวิตซ์ในการเปลี่ยนแรงดันไฟตรงดังกล่าวให้เป็นพัลส์แรงดันไฟสลับรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่สูง โดยที่โหลดจะต่อในลักษณะวงจรเรโซแนนท์อนุกรมซึ่งประกอบไปด้วย ขดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่ออนุกรมเพื่อแก้ตัวประกอบกำลังของขดเหนี่ยวนำที่มีค่าต่ำ และมีหม้อแปลงความถี่สูงต่ออยู่ระหว่างฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์กับโหลดอนุกรมเรโซแนนท์เพื่อปรับอิมพีแดนซ์ของโหลดให้เหมาะสมกับกำลังของอินเวอร์เตอร์และ ยังช่วยแยกระหว่างโหลดกับวงจรกำลังทำให้เกิดความปลอดภัย



รูปที่ 7 ภาพจริงโมดูลอินเวอร์เตอร์อนุกรมเรโซแนนท์ 1 เฟส

3.6 การออกแบบขดเหนี่ยวนำ

ออกแบบเข้าหาลอมเหล็กหล่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 83 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร โดยภายในเข้าหาลอมเป็นก้อนอลูมิเนียม รวมความสูงของชิ้นงานเป็น 100 มิลลิเมตร และเพื่อลดอัตราการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม จึงต้องใส่ฉนวนความร้อนกันระหว่างขดเหนี่ยวนำกับชิ้นงาน และกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขดเหนี่ยวนำเป็น 130 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อฉาบปูนทนความร้อนแล้ว จะทำให้มีช่องว่างเพียงพอที่จะใส่ชิ้นงานได้สะดวก ท่อทองแดงที่ใช้ทำขดเหนี่ยวนำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร สามารถพันได้ 10 รอบ (ท่อทองแดงมีฉนวนกันในแต่ละรอบ) จากนั้นนำไปเชื่อมต่อกับแท่งทองแดงเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าและใช้น้ำระบายความร้อนภายในขดทองแดง เนื่องจากกระแสที่ขดเหนี่ยวนำมีค่าสูง ขดเหนี่ยวนำที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ขดเหนี่ยวนำที่ออกแบบ



รูปที่ 9 ภาพจริงเข้าหลอมและขดเหนี่ยวนำ

3.6.1 พารามิเตอร์ของขดเหนี่ยวนำ

ชิ้นงานเป็นแท่งเหล็กหล่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 83 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร ขดเหนี่ยวนำมีวงจรสมมูลที่ประกอบไปด้วยค่าความต้านทาน (R_s) และค่ารีแอคแตนซ์ (X_s) โดยค่าพารามิเตอร์ของขดเหนี่ยวนำ มีค่าดังนี้

1. ความถี่ทำงาน (f) = 15 kHz
2. จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ (N_c) = 10 รอบ
3. ความยาวขดลวดเหนี่ยวนำ (L_c) = 100 มิลลิเมตร
4. Coil Correction Factor (K_r) = 1.1

5. Permeability ของอากาศ (μ_0) = $4\pi \times 10^{-7}$
6. Relative Permeability ของชิ้นงาน (μ_w) = 5
7. Relative Permeability ของขดลวดเหนี่ยวนำ (μ_c) = 1
8. เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน (d_w) = 83 มิลลิเมตร
9. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดลวดเหนี่ยวนำ (d_c) = 150 มิลลิเมตร
10. Resistivity of Work-piece ที่อุณหภูมิ 25°C (ρ_w) = $20 \times 10^{-8} \Omega$
11. Resistivity of Copper (ρ_c) = $2 \times 10^{-8} \Omega$

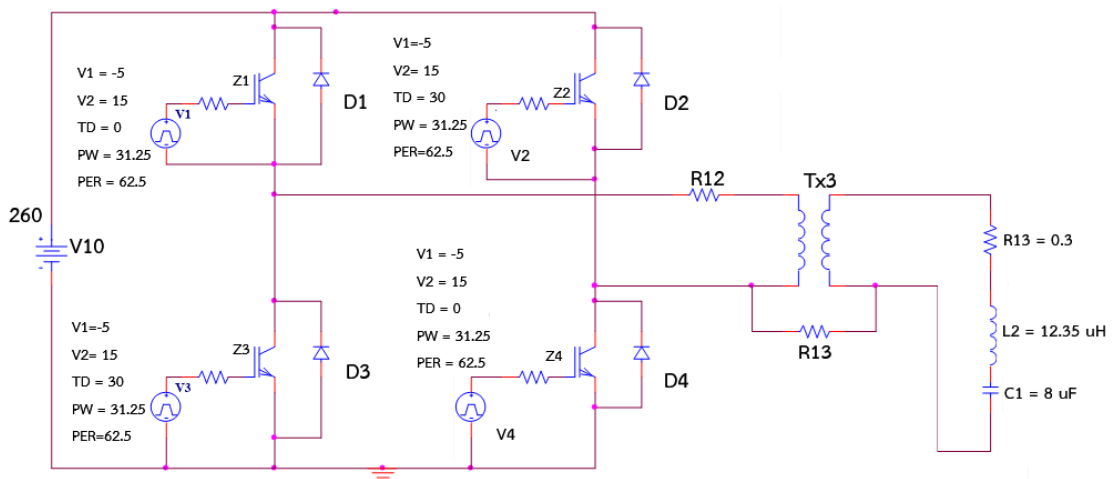
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัย

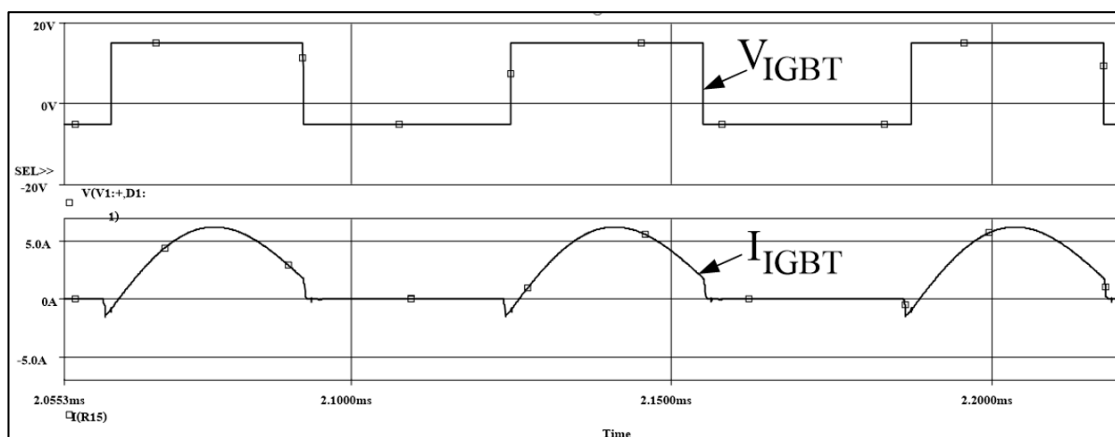
ใช้โปรแกรม ORCAD ในการจำลองการทำงาน โดยนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณของขดเหนี่ยวนำไปจำลองการทำงานในภาวะคงตัว (Steady State) เพื่อให้ทราบถึงการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ขนาดของแรงดันและกระแสไฟฟ้าในวงจร เพื่อให้แน่ใจว่าในการทดลองจะไม่เกินค่าพิกัดของอุปกรณ์

4.1.1 การจำลองและวิเคราะห์การทำงานของโมดูลอินเวอร์เตอร์ขนาด 1 ชุด ขนาด 1 kW

แสดงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง วงจรฟลูบริจด์อินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงความถี่สูงและต่อกับโหลดอนุกรมเรโซแนนซ์ที่โหลดพารามิเตอร์ $R = 0.3 \Omega$ $L = 12.35 \mu H$ $C = 8 \mu F$ ที่ความถี่เท่ากับ 16 kHz ดังรูปที่ 10

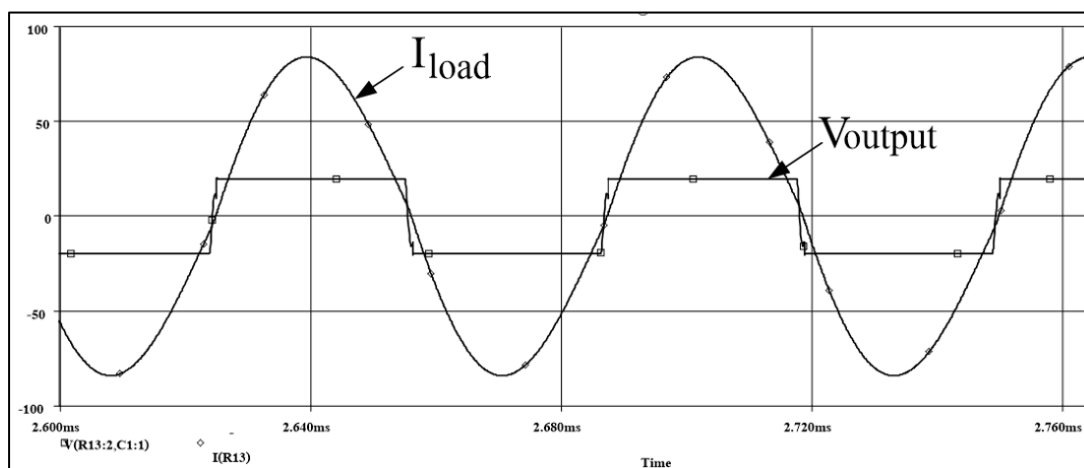


รูปที่ 10 การจำลองการทำงานของโมดูลอินเวอร์เตอร์ 1 ชุด 1 kW ต่อกับโหลดอนุกรมเรโซแนนซ์



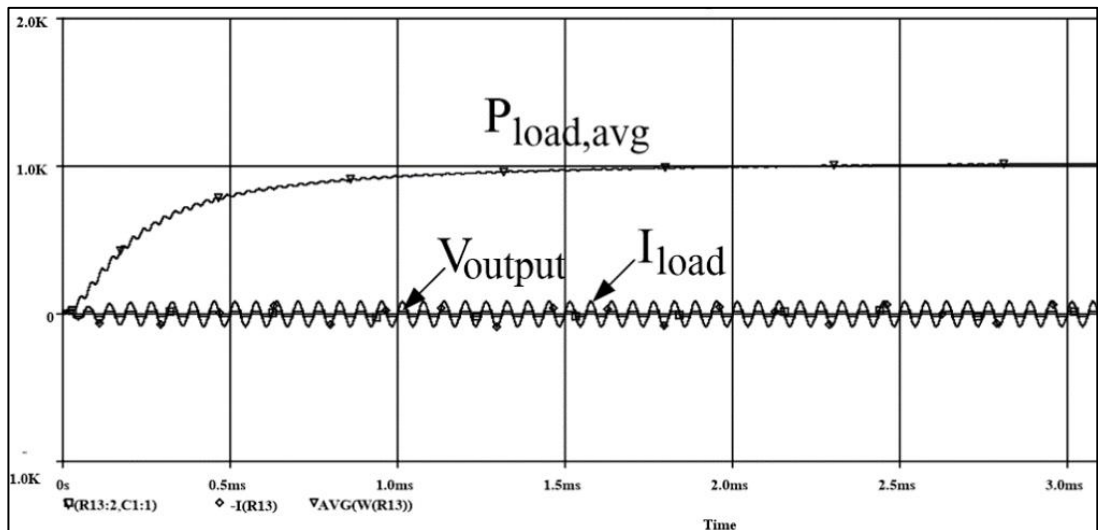
รูปที่ 11 ผลการจำลองกระแสและแรงดันที่อุปกรณ์สวิตช์

จากรูปที่ 11 แสดงผลการจำลองการทำงานสัญญาณขับนำสวิตช์ โดยกำหนดให้มีเวลาการทำงานห่างกันอยู่ประมาณ $2 \mu\text{s}$ เพื่อป้องกันการลัดวงจรเนื่องจากสวิตช์ทำงานพร้อมกัน สัญญาณขับนำจะมีแรงดันช่วงลบ (-5V) เพื่อช่วยให้ไอจีบีทีหยุดทำงานเร็วขึ้นและป้องกันการนำกระแสตัวเองของไอจีบีทีเนื่องจากสัญญาณรบกวน



รูปที่ 12 ผลการจำลองกระแสและแรงดันที่โหลดเรโซแนนท์ที่กำลังเอาต์พุต 1 kW

จากรูปที่ 12 แสดงรูปคลื่นกระแสและแรงดันที่โหลดอนุกรมเรโซแนนท์ โดยค่ากระแสมีค่า $81.5 \text{ A}_{\text{peak}}$ แรงดันมีค่า 19.5 V และมุมเฟสของแรงดันนำหน้ากระแสประมาณ 6 องศา



รูปที่ 13 ผลการจำลองกำลังเฉลี่ยที่เอาต์พุต

สรุปได้ว่า จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ORCAD โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ เพื่อวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น โดยผลที่ได้จากการจำลองเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

4.1.2 ผลการทดสอบเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

การทดลองการทำงานโมดูลอินเวอร์เตอร์ 1 ชุดต่อกับโหลด โดยทำการวัดรูปคลื่นกระแสอินเวอร์เตอร์ กระแสและแรงดันที่โหลดอนุกรมเรโซแนนท์ กระแสและแรงดันที่คาปาซิเตอร์ ในการทดลองเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ โดยใช้ทองเหลืองหนัก 500 กรัม โดยการจ่ายแรงดันอินพุต $238.4 V_{rms}$ 50 Hz ไปยังวงจรเรกติไฟร์ผ่านไปยังอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม ใช้สวิตช์ไอจีบีที IRG4PF50KD ทำงานที่ความถี่ในการสวิตช์ 28.73 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่สูง โดยความถี่เรโซแนนท์ของวงจรเท่ากับ 27 kHz ใช้พลังงานไฟฟ้าด้านขาเข้าในการหลอม 1.260 kW ผลการวัดค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าต่าง ๆ ของเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

รายการ	ค่าทางไฟฟ้า	รายการ	ค่าทางไฟฟ้า
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	1.260 kW	กำลังไฟฟ้าด้านออก	1.14 kW
ความถี่การทำงาน	28.73 kHz	ประสิทธิภาพ	90.47%
กระแสด้านปฐมภูมิ	5 Apeak	แรงดันไฟสลับขาเข้า	238.6 V
แรงดันด้านออก	17.7 V	กระแสไฟสลับขาเข้า	4.99 A
กระแสที่โหลด	76.96 Apeak	แรงดันไฟตรงขาเข้า	337.43 V
มุมเฟส	10 องศา	ตัวประกอบกำลัง	0.84



รูปที่ 14 ภาพจริงการทดลองเครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

5. อภิปรายผลและสรุปผล

เครื่องหลอมโลหะโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เหมาะกับการใช้งานในขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไม่สูง โดยจะทำงานในย่านความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ตลอดเวลา ควบคุมสวิตซ์ซึ่งทำงานขณะแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ (Zero Voltage Switch) ซึ่งสอดคล้องกับ วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และสายชล ชุตเจื้อจิ้น (2552) ที่ได้นำเสนอเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสำหรับงานหุงต้ม โดยใช้อินเวอร์เตอร์เป็นแหล่งจ่ายกระแสชนิดคลาสดี มีการสวิตซ์ที่กระแสเป็นศูนย์ เพื่อช่วยลดกำลังสูญเสียขณะทำงาน กระแสอินพุตด้านเข้าเป็นรูปไซน์ เครื่องต้นแบบมีขนาด 900 W ให้ความร้อนแก่น้ำที่มีปริมาตร 0.6 ลิตร จากอุณหภูมิห้องถึง 100 °C ได้ภายในเวลา 2.30 นาที

ผลการทดลองพิจารณาจากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง โดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าขาเข้า 1.260 kW เปรียบเทียบกับค่าความสูญเสียที่กำลังไฟฟ้าขาออก 1.14 kW เมื่อหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องหลอมโลหะจะมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 90.47 % ที่ความถี่ 28.73 kHz วงจรที่ใช้เป็นอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม ใช้สวิตซ์ไอจีบีที IRG4PF50KD ถูกทดสอบด้วยวิธีการปรับความถี่ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในขนาดกำลังไฟฟ้าที่ไม่สูงนัก โดยจะทำงานในย่านความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ตลอดเวลา ควบคุมสวิตซ์ซึ่งทำงานขณะแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ (Zero Voltage Switch) ทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสต่ำและสามารถให้ความร้อนขึ้นงานน้ำหนัก 500 กรัม จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิหลอมเหลวภายในเวลา 3 นาที

6. ข้อเสนอแนะ

ในการปฏิบัติการทดลอง สามารถใช้ระบบควบคุมแบบดิจิทัลหรือระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ เพื่อให้เกิดความสะดวกและได้ผลการทดลองที่มีความเที่ยงตรง

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการในการทดสอบเครื่องหลอมโลหะและขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ชยันต์ คัมภีร์ ที่ปรึกษาทางวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เข็มภัทร สมสังข์. (2549). การประมาณและควบคุมอุณหภูมิของน้ำเหล็กในเตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิระศักดิ์ วงศา, จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว, เอกรัตน์ นภกานต์, บัญชา ศรีวิโรจน์ และยืน ปาระเคน. (2555). การประยุกต์ใช้หลักการเหนี่ยวนำความร้อนสำหรับเครื่องหลอมพลาสติก. ในการประชุมวิชาการข่ายงาน วิศวกรรมอุตสาหกรรม 17 – 19 ตุลาคม 2555. มหาวิทยาลัยศรีปทุม. เพชรบุรี. 1,637 – 1,642.
- วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และสายชล ชุตเจือจิน. (2552). การประยุกต์ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแสความถี่สูงในเตาหลอมเหนี่ยวนำ. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร.
- วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ, สายชล ชุตเจือจิน และสรรพพล คุ่มทรัพย์. (2555). เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความร้อนสำหรับงานชุบแข็งที่มีการควบคุมกำลังโดยการควบคุมความหนาแน่นพัลส์. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร.

การพัฒนาระบบการเบิก – คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุงบริษัทผลิตชิ้นส่วน ยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด

สมจินต์ อักษรธรรม^{1*} วรเทพ ตริวิจิตร² เถลิง พลเจริญ³ สมศักดิ์ มินคร⁴

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี^{1*234}

อีเมล : somjin072@gmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 21 สิงหาคม 2567

วันแก้ไขบทความ 7 มีนาคม 2568

วันที่รับบทความ 28 มีนาคม 2568

บทคัดย่อ

วิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อบันทึกข้อมูลการเบิก-คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุงโดยการใช้เทคโนโลยี QR Code 2) เพื่อจัดทำคู่มือการใช้งาน QR Code เบิก-คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง และ 3) เพื่อลดจำนวนการสูญหายเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง จากการเก็บข้อมูลแผนกซ่อมบำรุง พบว่า การบันทึกข้อมูลการเบิก-คืนไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยผังก้างปลา หลักการทำ - ทำไม ผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยการสร้างโปรแกรม Visual Studio ในการออกแบบเว็บไซต์ การสร้าง QR Code และการจัดทำคู่มือการใช้งาน QR Code เบิก-คืนเครื่องมือช่าง ผลการวิจัย 1) ก่อนการปรับปรุง การบันทึกข้อมูลการเบิก-คืนเครื่องมือช่าง ใช้การบันทึกลงกระดาษแบบฟอร์มที่กำหนด โดยข้อมูลการเบิก-คืน สูญหายเดือนมกราคม-มิถุนายน และกันยายน-ธันวาคม 2023 รวมจำนวน 10 เดือน ซึ่งหลังการปรับปรุง โดยการใช้เทคโนโลยี QR Code การบันทึกข้อมูลการเบิก-คืนเครื่องมือช่าง จำนวน 2 เดือน ได้แก่ เดือนมกราคม 2024 มีจำนวนการเบิก-คืน จำนวน 29 ครั้ง และเดือนกุมภาพันธ์ 2024 มีจำนวนการเบิก-คืน จำนวน 31 ครั้ง จากการใช้เทคโนโลยี QR Code บริษัทมีฐานข้อมูลเครื่องมือช่างที่ถูกต้อง 100 % และมีการบันทึกอย่างต่อเนื่อง 2) การติดตั้ง QR Code และคู่มือการใช้งานในแผนกช่างซ่อมบำรุงให้พนักงานเข้าใจขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง และ 3) แผนกช่างซ่อมบำรุงมีการขอสั่งซื้อเครื่องมือช่างที่เกิดการสูญหาย มูลค่า 2,093 บาท และหลังการปรับปรุง การใช้เทคโนโลยี QR Code ไม่มีการขอสั่งซื้อเครื่องมือช่างที่เกิดจากการสูญหาย ซึ่งบริษัทสามารถลดการสั่งซื้อเฉลี่ยเดือนละ 209.3 บาท และ ปีละ 2,511.6 บาท/ปี

คำสำคัญ : การพัฒนา เครื่องมือช่าง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด

Development of Procedures for Withdrawing and Returning Tools in the Maintenance Department of an Automotive Parts Manufacturing Company by Applying QR Code Technology

Somjin Aksorntham^{1*}, Worathep Treewichit², Thaloeng Poljaroen³, Somsak Meenakorn⁴

Faculty of Engineering, Thonburi University^{1*,2,3,4}

E – mail : E-mail : somjin072@gmail.com^{1*}

Received 21 August 2024

Revised 7 March 2025

Accepted 28 March 2025

Abstract

This research aims to: 1) record information on picking up and returning tools to the maintenance department using QR Code 2) Create a QR Code user manual for picking up and returning tools for the maintenance department; and 3) reduce the number of lost tools in the maintenance department. From collecting data from the maintenance department, it was found that the recording of pickup and return data was not continuous. The researcher then analyzed the cause of the problem using a fishbone diagram, why-why principle. The researcher therefore solved the problem by creating a Visual Studio program to design websites. and creating a QR Code user manual for picking up and returning tools. The research findings are as follows: 1) before the update record information on pickup and returning tools use using the recorded form on the specified paper. The lost withdrawal and return data for January - June and September - December 2023 totaled 10 months, which after improvements. By using QR Code technology to record information on withdrawing and returning tools for 2 months, namely January 2024, there were 29 withdrawals and returns, and February 2024, there were 31 withdrawals and returns using QR Code technology. The company has a database of tools that are 100% accurate and continuously recorded. 2) Installation of QR Code and user manual in the maintenance department to understand the correct working procedures. And 3) The maintenance department has requested to order lost tools valued at 2,093 baht and after renovation By using QR Code technology, there are no requests to purchase hand tools that are lost. The company was able to reduce orders by an average of 209.3 baht per month and 2,511.6 baht per year.

Keywords : Development, Tools, Applying QR Code Technology.



1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ที่สำคัญของโลกในปี 2566 มีการส่งออกรถยนต์ จำนวน 1,102,694 คัน เพิ่มขึ้น 11.30% เมื่อเทียบเป็นรายปี โดยคิดเป็นมูลค่าการส่งออก 719,991.98 ล้านบาท เพิ่มขึ้น 15.25 จากปีก่อนหน้า และชิ้นส่วนรถยนต์และอะไหล่มูลค่า 972,790.64 ล้านบาท เนื่องจากการผลิตรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในหรือรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต้องใช้ชิ้นส่วน OEM (Original Equipment Manufacturing) หรือชิ้นส่วนที่ป้อนให้กับโรงงานประกอบรถยนต์มากถึง 2-3 หมื่นชิ้นต่อคัน ซึ่งมีความสำคัญต่ออัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจและการจ้างงาน โดยบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จะต้องให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร เพื่อให้การผลิตต่อเนื่อง คุณภาพสินค้า และการส่งมอบให้ทันกับความต้องการ และการสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน (สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2566)

บริษัทต่าง ๆ นำเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดมาสนับสนุนการทำงานมีข้อดี เช่น การใช้งานง่าย ความปลอดภัย การผลิตสะดวก และต้นทุนต่ำ ซึ่งแผนกซ่อมบำรุงเครื่องมือช่างมีความสำคัญกับการซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ (Ling Qing, 2019) เพื่อให้การทำงานสำเร็จตามแผนการดำเนินงานของบริษัท การทำงานของเครื่องจักรและเครื่องมือต่าง ๆ จะต้องมีแผนการซ่อมบำรุงรายสัปดาห์ รายเดือน รายปี และกรณีเครื่องจักรหรืออุปกรณ์เกิดการชำรุดระหว่างการทำงาน ซึ่งแผนกช่างซ่อมบำรุงจะต้องบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้พร้อมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเครื่องมือช่างซ่อมบำรุงจึงมีความสำคัญต่อการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดการขัดข้องของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์การทำงานและการบำรุงรักษาให้พร้อมใช้งานตลอดเวลา (เครื่องมือช่างในอุตสาหกรรม, 2019 ; ปราโมทย์ อ่อนประไพ, 2539)

จากการศึกษาข้อมูลขั้นตอนการเบิก-คืน เครื่องมือช่างซ่อมบำรุงเป็นการทำงานแบบแมนนวล (Manual) ที่ไม่มีการควบคุมและดูแลอย่างเคร่งครัด พนักงานที่เข้ามาเบิกเครื่องมือช่างบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนใส่กระดาษแบบฟอร์ม โดยไม่มีการบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์หรือฐานข้อมูลทำให้ข้อมูลไม่ชัดเจนและข้อมูลเกิดการสูญหายและการเก็บข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบัน ซึ่งการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาขั้นตอนการเบิก-คืนเครื่องมือช่างจะทำให้การทำงานสะดวกมากขึ้น โดยการใช้โปรแกรม Visual Studio ผ่านการใช้โทรศัพท์มือถือสแกน QR Code เข้าสู่เว็บไซต์การเบิก-คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง บริษัทตัวอย่าง ซึ่งหัวหน้างาน พนักงาน สามารถตรวจสอบประวัติการเบิก - คืน เพื่อลดความผิดพลาด ลดต้นทุน และเพิ่มความสะดวกต่อการใช้งานการจัดเก็บข้อมูลการเบิก - คืนที่เป็นปัจจุบัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการพัฒนาขั้นตอนเบิก-คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 การพัฒนาขั้นตอนการเบิก-คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุงบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด

2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพขั้นตอนการเบิก-คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุงบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด

3. วิธีการวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยศึกษาค้นคว้าข้อมูลทางวิชาการจากบทความ วารสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเบิก-คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง และนำแนวคิด ทฤษฎีมาเป็นแนวทางการทำวิจัยนี้ เพื่อแก้ไขปัญหาการบันทึกข้อมูลการเบิก-คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง ดังนี้

3.1.1 เครื่องมือช่างอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรมมีเครื่องมือช่างหลายประเภทมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี มีความรวดเร็ว มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้และการพัฒนาระบบเกี่ยวกับงานช่างมากขึ้น ซึ่งเครื่องมือช่างอุตสาหกรรม เช่น เวอร์เนีย คิม ไชควง สว่าน เลื่อย ค้อน ประแจ เป็นต้น โดยสนับสนุนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ (เครื่องมือช่างในอุตสาหกรรม, 2019; ปราโมทย์ อ่อนประไพ, 2539)

3.1.2 Visual Studio Code โปรแกรม Visual Studio Code (VS Code) การแก้ไขข้อความแบบโอเพนซอร์สที่พัฒนาจากไมโครซอฟท์สำหรับการเขียนโปรแกรมและการพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันและสนับสนุนภาษาอื่นอีกมากมายด้วยคุณสมบัติที่หลากหลายที่มีประสิทธิภาพ แม้แต่การใช้งานบนระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน เช่น Windows macOS และ Linux จึงทำให้ VS Code เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูง นักพัฒนาสามารถปรับแต่งโปรแกรมตามความต้องการได้และมีส่วนขยาย (extension) จำนวนมากให้เลือกใช้งาน นอกจากนี้การเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์และเครื่องมืออื่น ๆ ที่ช่วยให้การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมอย่างมาก (ณัฐพล แสนคำ, 2563)

3.1.3 แนวคิดเกี่ยวกับคิวอาร์โค้ด (QR Code) แนวคิดเกี่ยวกับคิวอาร์โค้ด (QR Code) โมดูลรูปสี่เหลี่ยมสีขาวดำเรียงตัวกันในสี่เหลี่ยมที่สามารถอ่านด้วยการสแกนผ่านอุปกรณ์เครื่องอ่าน QR Code หรือผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่มีกล้องและได้ติดตั้งแอปพลิเคชันสำหรับการถอดรหัส QR Code ซึ่งข้อมูลที่ถูกแปลงเป็นรหัสและถูกจัดเก็บหรือบันทึกอยู่ในสัญลักษณ์ QR Code จะเป็นข้อมูลชนิดตัวอักษร (Characters) หรือตัวเลข (Numeric) สามารถประยุกต์ใช้เพื่อเก็บข้อมูลได้หลากหลาย เช่น เก็บข้อมูลแหล่งของเว็บไซต์ เบอร์โทรศัพท์ ข้อความ และข้อมูลที่เป็นตัวอักษร การใช้งานได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานตามวัตถุประสงค์ โดยเทคโนโลยี QR Code ได้รับความนิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น การประชาสัมพันธ์ทางการตลาดของสินค้า การแนะนำบริษัท และข้อมูลผลิตภัณฑ์ ซึ่งบริษัทได้นำ QR Code มาพิมพ์ลงบนนามบัตรเพื่อให้ข้อมูลการติดต่อที่สำคัญของบริษัท เช่น เว็บไซต์ข้อมูลบริษัท อีเมล และเบอร์โทรศัพท์ เป็นต้น เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วการเข้าถึงข้อมูลของบริษัท (O'Brien, 2010; ณัฐวุฒิ บุญโรจน์วงศ์ และ กชกร พระพรตระการ, 2560)

3.1.4 การวิเคราะห์ Why Why Analysis การวิเคราะห์ Why Why Analysis เป็นเครื่องมือวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการตั้งคำถาม "ทำไม" เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา โดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบตรรกะ (logic) สำหรับการตอบคำถาม โดยแต่ละคำถาม "ทำไม" จะชี้ให้เห็นถึงสาเหตุที่เป็นผลสำคัญของสาเหตุก่อนหน้า และดำเนินการสอบถามไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้สาเหตุหลักของปัญหา (กฤตพลลภ์ คิริรินทร์, 2562)

3.1.5 แผนภูมิเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) ผังก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือภาษาอังกฤษจะใช้ตัวย่อว่า CE Diagram ซึ่งมีนิยามในมาตรฐานของญี่ปุ่น หรือ JIS Standards (Japanese Industrial Standards) ได้ระบุนิยามของ CE Diagram เป็นผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristics) กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของคุณลักษณะนั้นหรือแผนผังที่ใช้ในการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุมีอะไรบ้างที่มาเกี่ยวข้องกัน โดยการระดมความคิดอย่างเป็นอิสระของทุกคนในกลุ่มกิจกรรมด้านการควบคุมคุณภาพ ผู้ที่สามารถสร้างผังก้างปลาได้อย่างถูกต้องจะเป็นผู้ที่มีโอกาสแก้ปัญหาทางคุณภาพได้อย่างถูกต้องเช่นกัน ซึ่งโครงสร้างของผังก้างปลาหรือผังแสดงเหตุและผล ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัย ที่เป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลา เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่เป็นตัวปัญหา โดยตามความนิยมจะเขียนหัวปลาอยู่ทางขวามือและตัวปลาอยู่ทางซ้ายมือเสมอ (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2559)

3.2 การศึกษาขั้นตอนการเบิก – คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง บริษัทตัวอย่าง

การเบิก - คืบเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง เป็นการทำงานแบบ Manual ที่ไม่มีการควบคุมและดูแลอย่างเคร่งครัด พนักงานที่เข้ามาเบิกเครื่องมือช่างจะต้องบันทึกข้อมูลการเบิก - คืบเขียนลงกระดาษแบบฟอร์มที่กำหนด ซึ่งการเก็บข้อมูลเป็นการเก็บข้อมูลที่ขาดความต่อเนื่องไม่เป็นปัจจุบัน และข้อมูลการเบิก - คืบ เกิดการสูญหาย ดังนี้

[illegible]

รูปที่ 1 แบบฟอร์มการเบิก - คืน เครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง

[illegible]

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการบันทึกข้อมูลการเบิก – คืนที่สูญหาย

จากรูปที่ 2 การศึกษาปัญหาการบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนที่สูญหายของบริษัทตัวอย่าง ผู้วิจัย พบว่าจากการศึกษาขั้นตอนการเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง ซึ่งได้ให้ความสำคัญที่ระบบการบันทึกข้อมูลการเบิก - คืน เครื่องมือช่างที่ใช้การบันทึกลงกระดาษแบบฟอร์มที่กำหนด โดยศึกษาข้อมูลการเบิก - คืนที่ผ่านมา พบว่าพนักงานไม่ลงบันทึกการเบิก-คืนเครื่องมือช่าง ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลการเบิก - คืนสูญหายหลายเดือนและขาดความต่อเนื่อง ซึ่งแสดงการบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่างที่สูญหายระหว่างปี 2022 พนักงานบันทึกข้อมูลจำนวน 4 ครั้ง และการบันทึกข้อมูลปี 2023 เดือนกรกฎาคม 12 ครั้ง และเดือนสิงหาคม 10 ครั้ง รวมจำนวนการบันทึกข้อมูล 26 ครั้ง สรุปได้ว่าข้อมูลการเบิก - คืนสูญหายไปเดือนมกราคม - มิถุนายน และกันยายน - ธันวาคม 2023 รวมจำนวน 10 เดือน และทำการหาสาเหตุเพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

3.3 เก็บข้อมูลการสูญหายเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง

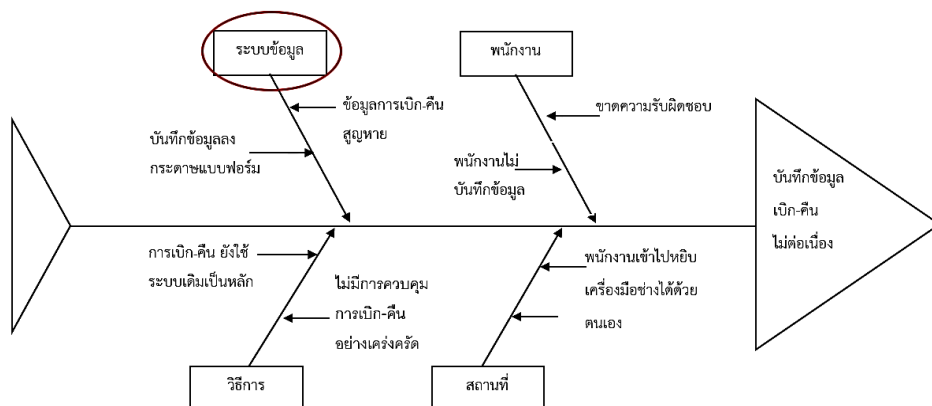
ผู้วิจัยศึกษาข้อมูลจากฝ่ายจัดซื้อช่วงระยะเวลาที่พนักงานแผนกช่างซ่อมบำรุงขาดการบันทึกข้อมูลการเบิก - คืน เครื่องมือช่าง ระหว่างเดือนมกราคม ถึง เดือนมิถุนายน 2023 และเดือนกันยายน ถึง ธันวาคม 2023 รวมระยะเวลา 10 เดือน พบว่า แผนกช่างซ่อมบำรุงมีการขอสั่งซื้อเครื่องมือช่าง รวมมูลค่าทั้งสิ้น 3,077 บาท ได้แก่

- 1) เครื่องมือช่างที่เกิดการชำรุดจากการใช้งาน จำนวน 5 ชิ้น มูลค่า 984 บาท
- 2) เครื่องมือช่างที่เกิดการสูญหาย จำนวน 32 ชิ้น มูลค่า 2,093 บาท

ตารางที่ 1 แสดงรายการสั่งซื้อเครื่องมือช่างที่เกิดจากการสูญหาย

ลำดับ	รายการ	จำนวน (ชิ้น)	ราคา (บาท)
1	ค้อนช่างไฟฟ้าด้ามไม้	1	77
2	ค้อนยางด้ามไฟเบอร์	1	140
3	ชุดไขควงดอกเปลี่ยนได้	8	117
4	ชุดประแจหกเหลี่ยม	10	108
5	ชุดประแจปากตาย	8	530
6	คีมล๊อค	1	130
7	ประแจเลื่อน	1	677
8	คีมปากจิ้งจก	1	109
9	หัวแรงบิดกรี	1	205
	รวมทั้งสิ้น	32	2,093

3.4 วิเคราะห์ปัญหาการเบิก - คืนเครื่องมือช่าง บริษัทตัวอย่าง



รูปที่ 3 แสดงแผนผังก้างปลาการเบิก - คืนเครื่องมือช่าง บริษัทตัวอย่าง

ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาเกี่ยวกับปัญหาการบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนไม่ต่อเนื่อง พบว่าพนักงานขาดความรับผิดชอบและไม่บันทึกข้อมูลเบิก - คืน ซึ่งวิธีการเบิก - คืนยังใช้ระบบการลงบันทึกลงกระดาษ และสถานที่การจัดเก็บเครื่องมือช่างพนักงานสามารถเข้าไปหยิบเครื่องมือช่างได้ด้วยตนเอง โดยส่งผลทำให้ข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่างสูญหาย และการบันทึกข้อมูลไม่ต่อเนื่อง

3.5 การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้ทฤษฎี ทำไม-ทำไม

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยทฤษฎี ทำไม-ทำไม

ปัญหา	Why	Why	Action
ข้อมูลการ เบิก - คืนสูญหาย	บันทึกข้อมูลลงกระดาษแบบฟอร์ม	การเบิก - คืนยังใช้ระบบเดิม	การพัฒนาขั้นตอนการเบิก - คืน เครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง โดยใช้โปรแกรม Visual Studio ในการออกแบบเว็บไซต์ และการสร้าง QR Code

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลา และ ทฤษฎี ทำไม-ทำไม ผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม VS Code สำหรับการออกแบบเว็บไซต์การเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง และนำเทคโนโลยีการสแกน QR Code ผ่านโทรศัพท์มือถือ ซึ่งพนักงานใช้งานง่ายต่อการบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง และมีข้อมูลบนเว็บไซต์ที่ถูกต้องและข้อมูลเป็นปัจจุบัน

3.6 การพัฒนาขั้นตอนการเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง

ผู้วิจัยได้พัฒนาขั้นตอนการเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง โดยให้พนักงานสแกน QR Code เพื่อทำการเบิก - คืนเครื่องมือช่างผ่านเว็บไซต์ โดยใช้โปรแกรม Visual Studio ออกแบบเว็บไซต์ในการเบิก - คืนเครื่องมือช่าง เพื่อเก็บข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่างในฐานข้อมูลที่เป็นปัจจุบันและลดการสูญหายของข้อมูล และลดจำนวนการสูญหายของเครื่องมือช่าง ซึ่งแตกต่างจากขั้นตอนการเบิก - คืนแบบเดิมที่พนักงานหยิบเครื่องมือช่างก่อนบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนลงในแบบฟอร์ม ทำให้ข้อมูลการเบิก - คืนเกิดสูญหายและเกิดจากการไม่ลงบันทึกข้อมูล โดยการออกแบบเว็บไซต์มีหลักการทำงาน ดังนี้

3.6.1 หน้าต่าง Transactions (การทำธุรกรรม) ทำรายการเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง และแสดงประวัติการเบิก - คืนเครื่องมือช่างทั้งหมด ซึ่งแสดงรายละเอียด ได้แก่

1. Equipment (อุปกรณ์)
2. Employee (รหัส และชื่อ - สกุล พนักงาน)
3. Before status (สถานะก่อนหน้าของเครื่องมือช่าง)
4. Status (สถานะปัจจุบันของเครื่องมือช่าง)
5. Update Time (วันที่ และเวลาการเบิก - คืน)

3.6.2 หน้าต่าง Equipment (อุปกรณ์) เพิ่มและลบเครื่องมือช่าง ซึ่งแสดงรายละเอียดของเครื่องมือช่างแต่ละหมายเลข ได้แก่

1. Code (หมายเลข)
2. Name (ชื่อเครื่องมือช่าง)
3. Status (สถานะของเครื่องมือช่าง)
4. Create Time (วันที่เพิ่มเครื่องมือช่าง)

5. Update Time (วันที่ทำรายการล่าสุด)

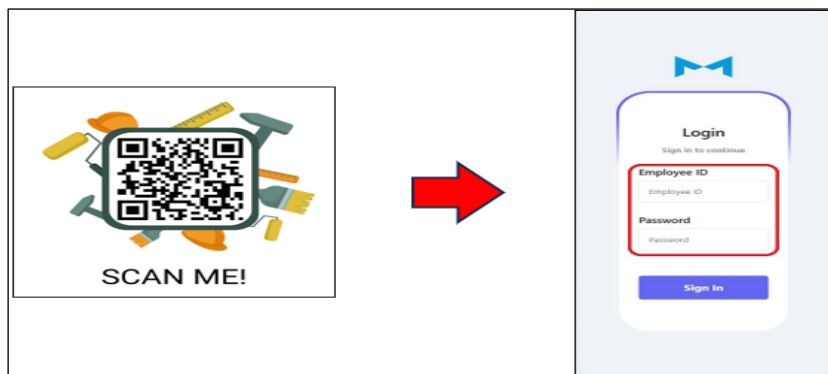
3.6.3 หน้าต่าง Employee (พนักงาน) เพิ่มและลบบัญชีพนักงาน ซึ่งแสดงรายละเอียดบัญชีพนักงานแต่ละคน ได้แก่

1. Code (รหัสพนักงาน)
2. Name (ชื่อ - สกุล)
3. Department (แผนก)
4. Role (บทบาท)
5. Member (สมาชิก)

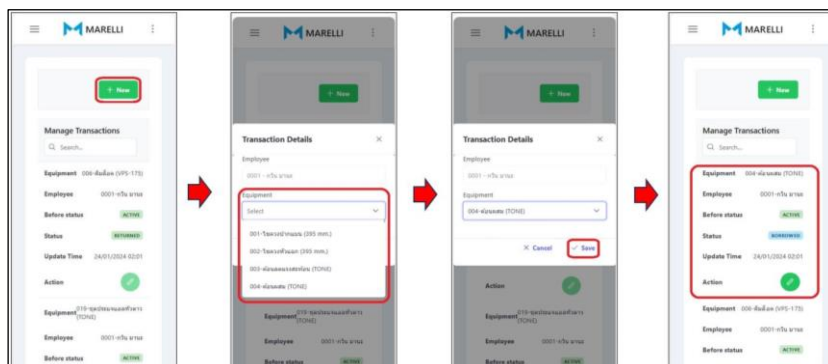
จะมี 1 หน้าต่าง คือ หน้าต่าง Transactions (การทำธุรกรรม) รายการเบิก - คืนเครื่องมือช่าง ซึ่งแสดงประวัติการเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง

4. ผลการวิจัย

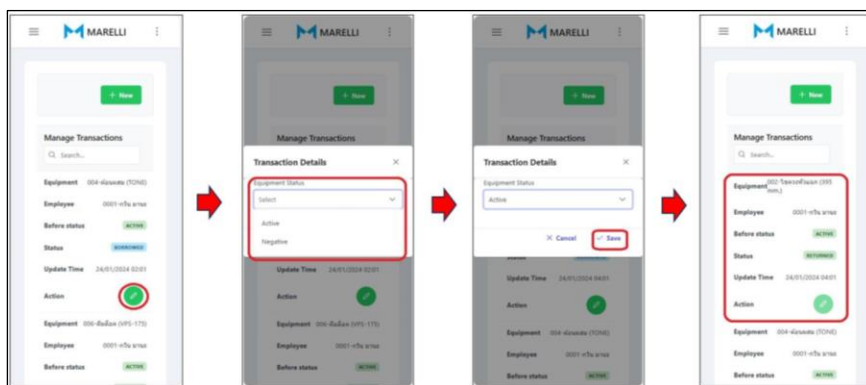
4.1 การบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกช่างซ่อมบำรุง โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code การสร้าง QR Code เพื่อเข้าสู่เว็บไซต์การเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุงจะใช้วิธีการสร้างผ่านเว็บไซต์ออนไลน์ โดยสามารถนำ URL เว็บไซต์การเบิก - คืนเครื่องมือช่างมาสร้างผ่านเว็บไซต์ออนไลน์ เนื่องจากออกแบบการใช้งานได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และไม่มีค่าใช้จ่ายการลงทุน



รูปที่ 4 แสดงการกรอก Employee ID (รหัสพนักงาน) และ Password (รหัสผ่าน)



รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการเบิกเครื่องมือช่างในเว็บไซต์



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการคืนเครื่องมือช่างในเว็บไซต์

4.2 การจัดทำคู่มือการใช้งาน QR Code เบิก - คืนเครื่องมือช่าง และการติดตั้ง QR Code เบิก - คืนเครื่องมือช่าง

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้ง QR Code เบิก - คืนเครื่องมือช่างและคู่มือการใช้งานในแผนกช่างซ่อมบำรุง โดยติดตั้งใกล้กับพื้นที่จัดเก็บเครื่องมือช่างและความสะดวกต่อการใช้งาน โดยการฝึกอบรมการใช้งาน QR Code เบิก - คืนเครื่องมือช่างตามคู่มือการใช้งานให้กับหัวหน้างานและพนักงานต่อไป



รูปที่ 7 แสดงคู่มือการใช้งานและหน้า QR Code เบิก - คืนเครื่องมือช่าง



รูปที่ 8 แสดงการอบรมการใช้งาน QR Code เปิก – คั้นเครื่องมือช่างให้กับหัวหน้างาน

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่างหลังการปรับปรุง โดยทำการเก็บข้อมูลจากเว็บไซต์การเบิก - คืนเครื่องมือช่าง บริษัทตัวอย่าง จากฐานข้อมูลจำนวน 2 เดือน ระหว่างเดือนมกราคม ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2024 ดังนี้

Server: db » Database: merelli_db » Table: transaction															
Browse		Structure		SQL		Search		Insert		Export		Import		Privileges	
← T →		▼ id		eq_id		employee_id		borrowed_time		return_time					
☐	Edit	Copy	Delete	1	1	3	2024-01-20 08:23:54.174	2024-01-20 08:25:35.821							
☐	Edit	Copy	Delete	2	12	3	2024-01-20 08:31:27.245	2024-01-20 08:31:55.223							
☐	Edit	Copy	Delete	3	19	4	2024-01-20 08:32:45.211	2024-01-20 08:33:31.001							
☐	Edit	Copy	Delete	4	6	4	2024-01-23 16:37:35.529	2024-01-23 19:09:58.255							
☐	Edit	Copy	Delete	5	4	4	2024-01-23 19:28:07.425	2024-01-23 21:51:19.069							
☐	Edit	Copy	Delete	6	2	4	2024-01-23 21:51:27.801	2024-01-23 21:54:04.180							
☐	Edit	Copy	Delete	7	7	5	2024-01-29 19:59:07.637	2024-01-29 20:01:16.854							
☐	Edit	Copy	Delete	8	3	3	2024-01-29 20:01:23.910	2024-01-29 20:01:35.395							
☐	Edit	Copy	Delete	9	13	7	2024-01-29 20:14:23.246	2024-01-29 20:15:06.055							
☐	Edit	Copy	Delete	10	12	8	2024-01-30 12:38:15.915	2024-01-30 12:39:12.491							
☐	Edit	Copy	Delete	11	82	5	2024-01-30 18:49:17.171	2024-01-30 22:06:02.768							
☐	Edit	Copy	Delete	12	75	3	2024-01-30 18:51:29.595	2024-01-30 19:15:59.657							
☐	Edit	Copy	Delete	13	14	12	2024-01-30 19:38:16.756	2024-01-30 19:43:25.374							
☐	Edit	Copy	Delete	14	15	12	2024-01-30 19:38:35.456	2024-01-30 19:43:29.399							
☐	Edit	Copy	Delete	15	106	14	2024-01-31 18:48:29.218	2024-01-31 21:10:25.763							

รูปที่ 9 แสดงข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่าง เดือนมกราคม

Server: db » Database: merelli_db » Table: transaction

			id	eq_id	employee_id	borrowed_time	return_time
			36	63	18	2024-02-11 07:33:28.792	2024-02-11 10:47:53.200
			35	120	3	2024-02-10 10:37:00.531	2024-02-10 12:51:48.536
			33	11	19	2024-02-10 07:12:49.493	2024-02-10 10:36:27.942
			34	17	19	2024-02-10 07:13:03.441	2024-02-10 10:36:24.708
			30	14	17	2024-02-09 11:45:58.145	2024-02-09 14:51:46.606
			31	28	17	2024-02-09 11:46:13.646	2024-02-09 14:51:40.804
			32	33	17	2024-02-09 11:46:36.381	2024-02-09 14:51:37.793
			27	72	8	2024-02-07 09:04:13.857	2024-02-07 11:51:38.024
			28	105	8	2024-02-07 09:04:28.545	2024-02-07 11:51:25.254
			29	104	8	2024-02-07 09:04:47.150	2024-02-07 11:51:20.982
			23	95	19	2024-02-05 10:55:48.626	2024-02-05 12:26:15.094
			24	88	19	2024-02-05 10:56:02.154	2024-02-05 12:26:05.213
			25	115	8	2024-02-05 10:56:15.848	2024-02-05 12:25:56.515
			26	79	12	2024-02-05 10:56:34.919	2024-02-05 12:25:50.069
			21	24	18	2024-02-03 02:30:10.530	2024-02-03 05:35:17.636
			22	18	20	2024-02-03 02:30:32.721	2024-02-03 05:35:12.132
			20	88	15	2024-02-02 21:11:02.817	2024-02-02 21:31:53.611
			19	112	15	2024-02-02 21:10:34.668	2024-02-02 21:31:47.665
			16	51	3	2024-02-01 22:44:32.860	2024-02-02 00:03:35.947
			17	22	3	2024-02-01 22:44:42.861	2024-02-02 00:03:27.811
			18	8	3	2024-02-01 22:44:56.505	2024-02-02 00:03:22.464

Console  

รูปที่ 10 แสดงข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่าง เดือนกุมภาพันธ์

4.3 จำนวนการสูญหายเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง

จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code โดยให้พนักงานสแกน QR Code เพื่อทำการรายการสำหรับบันทึกข้อมูล จำนวน 2 เดือน ระหว่างเดือนมกราคม ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2024 พบว่า แผนกช่างซ่อมบำรุงไม่มีการขอสั่งซื้อเครื่องมือช่างที่เกิดจากการสูญหาย ซึ่งบริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อเครื่องมือช่างที่เกิดจากการสูญหาย เฉลี่ยเดือนละ 209.3 บาท และ ปีละ 2,511.6/ปี

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 บันทึกข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุงโดยใช้ QR Code

การบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่าง (ก่อนการปรับปรุง) ใช้การบันทึกลงกระดาษแบบฟอร์มที่กำหนด โดยการบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่างที่สูญหายระหว่างปี 2022 พนักงานบันทึกข้อมูล จำนวน 4 ครั้ง และการบันทึกข้อมูลปี 2023 เดือนกรกฎาคม 12 ครั้ง และเดือนสิงหาคม 10 ครั้ง รวมจำนวนการบันทึกข้อมูล 26 ครั้ง สรุปได้ว่าข้อมูลการเบิก - คืนสูญหายไปเดือนมกราคม - มิถุนายน และกันยายน - ธันวาคม 2023 รวมจำนวน 10 เดือน โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code (หลังการปรับปรุง) การบันทึกข้อมูลการเบิก - คืนเครื่องมือช่าง จำนวน 2 เดือน ได้แก่ เดือนมกราคม 2024 มีจำนวนการเบิก - คืน จำนวน 29 ครั้ง และเดือนกุมภาพันธ์ 2024 มีจำนวนการเบิก - คืน จำนวน 31 ครั้ง ซึ่งจากการเปลี่ยนการบันทึกข้อมูลด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code โดยผลการบันทึกข้อมูลมีความถูกต้องและมีการบันทึกอย่างต่อเนื่อง

5.2 จัดทำคู่มือการใช้งาน QR Code เบิก - คืนเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเทคโนโลยี QR Code เบิก - คืนเครื่องมือช่างและคู่มือการใช้งานในแผนกช่างซ่อมบำรุง โดยติดตั้งใกล้กับพื้นที่จัดเก็บเครื่องมือช่าง และความสะดวกต่อการใช้งาน โดยการฝึกอบรมการใช้งานเทคโนโลยี QR Code เบิก - คืนเครื่องมือช่างตามคู่มือการใช้งานให้กับหัวหน้างานและพนักงานเข้าใจขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง

5.3 การลดจำนวนการสูญหายเครื่องมือช่างแผนกซ่อมบำรุง

ผู้วิจัยศึกษาข้อมูลจากฝ่ายจัดซื้อช่วงระยะเวลาที่พนักงานแผนกช่างซ่อมบำรุงขาดการบันทึกข้อมูล การเบิก-คืนเครื่องมือช่าง ระหว่างเดือนมกราคม ถึง เดือนมิถุนายน 2023 และเดือนกันยายน ถึง ธันวาคม 2023 รวมระยะเวลา 10 เดือน พบว่า แผนกช่างซ่อมบำรุงมีการขอสั่งซื้อเครื่องมือช่างที่เกิดการสูญหาย จำนวน 32 ชิ้น มูลค่า 2,093 บาท และ (หลังการปรับปรุง) โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code สำหรับบันทึกข้อมูล จำนวน 2 เดือน ระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2024 พบว่า แผนกช่างซ่อมบำรุงไม่มีการขอสั่งซื้อเครื่องมือช่างที่เกิดจากการสูญหาย ซึ่งบริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อเครื่องมือช่างที่เกิดจากการสูญหาย เฉลี่ยเดือนละ 209.3 บาท และปีละ 2,511.6/ปี

6. ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

ควรประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code กับหน่วยงานอื่น ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละแผนกต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ประกอบการ หัวหน้างาน และพนักงานของบริษัทตัวอย่างที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิจัยและขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธนบุรีที่สนับสนุนงบประมาณการทำการวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

กฤตพลลภ์ คิริรินทร์. (2562). *การวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาด้วย (Why Why Analysis/5 Why)*.

สถาบันฝึกอบรมและที่ปรึกษาทางด้านการบริหารทรัพยากรมนุษย์.

เครื่องมือช่างในอุตสาหกรรม. (2566). *เครื่องมือพื้นฐาน*. mmthailand.com/7-เครื่องมือ-พื้นฐาน/

ณัฐวุฒิ บุญโรจน์วงศ์ และ กชกร พระพรตระกูล. (2560). ความหลากหลายของคิวอาร์โค้ด.

สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 6(1), 117-126.

ณัฐพล แสนคำ. (2566). *วิธีการใช้งาน Visual Studio Code*. cs.bru.ac.th/สอนวิธีการใช้-visual-studio-code-2/

ปราโมทย์ อ่อนประไพ. (2566). *เครื่องมือเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ. บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2566). *แผนภูมิเหตุและผล*. https://www.ftpi.or.th/download/seminar-file/P-talk-nov_2011.pdf

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2566). *สถิติส่งออกกลุ่มยานยนต์และชิ้นส่วนจากกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์*.

Ling Qing, (2019). Research on Equipment Defect Management System Based on QR Code. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. P.1-7. doi:10.1088/1757-899X/677/5/052058

O'Brien, K. (2010). *Hold the phone for QR codes*. American Printer. 127(4), 6.



คุณค่าทางวิชาการ

สถานประกอบการได้ระบบฐานข้อมูลในการเบิกจ่ายเครื่องมืออุปกรณ์ช่าง โดยการนำระบบ QR Code มาช่วยในการบันทึกการเบิกจ่ายแทนการจดบันทึกใน สมุด ซึ่งทำให้การทำงานสะดวกมากขึ้น ลดการ เบิกจ่ายโดยขาดการบันทึก ซึ่งจะส่งผลต่อการสูญหายของเครื่องมือ เมื่อนำระบบฐานข้อมูลโดยใช้ QR Code มาใช้สามารถลดการสูญหายของเครื่องมือได้ 100% และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจากการสั่งซื้อเครื่องมืออุปกรณ์ช่างได้ ช่วยประหยัดต้นทุนให้กับบริษัทได้อีกทางหนึ่ง

การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบ โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

สรายุพงศ์ หนูยิ้มซ้าย¹ ธันยพร ชูแก้ว² ธนกร พันธุ์เลิศ³ จิรวรรณ ฉิมลี⁴

บัณฑิตา ภูทรัพย์มี โปณะทอง⁵ สุธาพร เกตุพันธ์^{6*}

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย^{1 2 3 4}

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย^{5 6*}

อีเมล: Sutaporn.g@rmutsv.ac.th^{6*}

วันที่รับบทความ 22 สิงหาคม 2567

วันแก้ไขบทความ 28 กุมภาพันธ์ 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 มีนาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ระบบสามารถควบคุมได้ 2 ทาง คือ ควบคุมผ่านหน้าตู้ระบบรับคำสั่งจากการกดแป้นคีย์แพด และควบคุมออนไลน์โดยใช้แอปพลิเคชัน Blynk การทำงานของระบบสามารถตั้งค่าการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ 1.ระบบสามารถทำงานได้อัตโนมัติ โดยการตั้งค่า 2 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาในการอบ และอุณหภูมิการอบ 2.ระบบสามารถเปิดหรือปิดอุปกรณ์ด้วยมือตามความต้องการของผู้ใช้ ในการออกแบบได้ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Arduino รุ่น NodeMCU ESP8266 เพื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยมีสวิสซ์ในการควบคุมการเปิดหรือปิดของระบบ ซึ่งผลจากการทดลองประเมินประสิทธิภาพการนำไปใช้งานพบว่าตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสามารถอบแห้งได้เร็วกว่าระบบเดิมด้วยแสงอาทิตย์ 1.02 เท่า ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตปรับปรุงคุณภาพของการอบและผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น รวมถึงการควบคุมระบบการเปิดหรือปิดโดยใช้ระบบอัตโนมัติทำให้สะดวกมากขึ้น

คำสำคัญ : ระบบควบคุมอัตโนมัติ ตู้อบแห้ง เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน



Development of an Online Automatic Control System for Incubators using Infrared Technology in Combination with Hot Air

Saranpong Nooyimsai¹, Tanyaporn Chookeaw², Thanakorn Phanloed³, Jirawat Chimlee⁴,
Banthita Poosabmee Ponatong⁵, Sutaporn Getpun^{6*}

Department of Information Technology, Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Srivijaya^{1, 2, 3, 4}

Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Srivijaya^{5, 6*}

E – mail: Sutaporn.g@rmutsv.ac.th^{6*}

Received 22 August 2024

Revised 28 February 2025

Accepted 28 March 2025

Abstract

This research is developing an online automatic control system for incubators using infrared techniques combined with hot air. The system can be controlled in two ways: through the kiosk, where the system receives commands from the keypad, and online using the Blynk application. 2 forms: 1. The system can be operated automatically by setting 2 factors, namely the baking time and the baking temperature. 2. The system can turn on or off the device manually according to the user's requirements. In the design, an Arduino microcontroller NodeMCU ESP8266 is applied to connect to the Internet, with the Swiss to control the system's on/off. The results of the experiment to evaluate the efficiency of the application showed that the incubator using infrared technology combined with hot air can dry 1.02 times faster than the previous system with sunlight. It can help increase production efficiency, improve the quality of baking and products, and control the opening or closing system using automation, making it more convenient.

Keywords: Automatic control system, Drying cabinet, Infrared technology combined with hot air

1. บทนำ

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things; IoT) เป็นเทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับระบบคลาวด์ ซึ่งทำงานด้วยการรวบรวมข้อมูลและแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real time) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต การแพทย์ พลังงาน โลจิสติกส์และการขนส่ง สิ่งก่อสร้าง ตลอดจนการเกษตร (Mouha, R.A., 2021) การนำระบบควบคุมอัตโนมัติ IoT มาช่วยทางการเกษตรเพื่อสนับสนุนเทคโนโลยีที่ทันสมัยแก่เกษตรกรทันต่อการพัฒนาอย่างรวดเร็ว อีกทั้งผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยการนำ IoT มาใช้ทางการเกษตรเพื่อช่วยปรับปรุงการใช้ทรัพยากร ลดต้นทุนการผลิต เพิ่มผลกำไร ตลอดจนการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Vaishnavi, P., 2024) การนำระบบควบคุมอัตโนมัติ IoT มาประยุกต์ใช้ทางการเกษตรส่วนหนึ่งเพื่อควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตให้คงที่หรือเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ที่เหมาะสม สอดคล้องกับ อกัญญา และคณะ (2565) พัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อควบคุมความชื้น อุณหภูมิ อีกทั้งลดปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง และการรบกวนจากแมลง ซึ่งกระจายความร้อนภายในตู้อบด้วยหลอดไฟ เช่นเดียวกับ ชยางกูร และคณะ (2564) ตู้อบอาศัยกระบวนการลดความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และเมื่อมีการนำระบบควบคุมอัตโนมัติ IoT มาประยุกต์ใช้ในตู้อบเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิ ความร้อน และความชื้นให้เหมาะสม และมีการแจ้งเตือนข้อมูลต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบ เพิ่มลด อุณหภูมิ ความร้อน และความชื้นเมื่อจำเป็นผ่านสมาร์ทโฟนอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งาน (Joel, I. M., 2023)

ผลผลิตทางการเกษตรต้องการการแปรรูปเพื่อให้สามารถเก็บผลผลิตได้ระยะเวลานานขึ้น โดยผ่านกระบวนการอบ โดยในงานวิจัยนี้ทดสอบอบผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบผลไม้ด้วยระบบอัตโนมัติออนไลน์สำหรับควบคุมตู้อบที่ใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ซึ่งการทำงานของระบบสามารถตั้งค่าการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ 1.ระบบสามารถทำงานได้อัตโนมัติ โดยการตั้งค่า 2 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาในการอบ และอุณหภูมิการอบ 2.ระบบสามารถเปิดหรือปิดอุปกรณ์ด้วยมือตามความต้องการของผู้ใช้ อีกทั้งยังมีการแจ้งเตือนข้อความการทำงานไปยังแอปพลิเคชัน Line เพื่อเพิ่มความสะดวกในการควบคุมระบบให้กับเกษตรกร

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อสร้างระบบควบคุมตู้อบอัตโนมัติแบบออนไลน์
- 2.2 เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมตู้อบอัตโนมัติแบบออนไลน์

3. วิธีการวิจัย

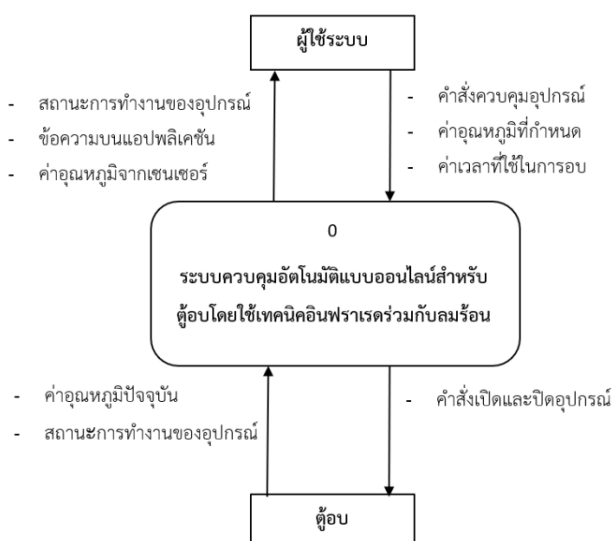
ผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา และขั้นตอนการออกแบบระบบ เพื่อให้ได้ระบบที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ

3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการอบแห้ง พบว่าการเตรียมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการอบแห้งเป็นสิ่งที่สำคัญ อีกทั้งยังมีการกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบได้ตามค่าที่กำหนดไว้ควบคุมการอบได้ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ อุณหภูมิของตู้ให้เหมาะสมเพื่อให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปอย่างดีที่สุด โดยปัจจัยที่สำคัญในการอบแห้ง ได้แก่ ระยะเวลาในการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงความชื้น การแห้งของผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิ ทางผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยภายในตู้อบประกอบด้วยฮีสเตอร์ขนาด 650 วัตต์ จำนวน 6 หลอด พัดลมระบายอากาศขนาด 30 วัตต์ จำนวน 4 ตัว ซึ่งระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถทำงานได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การทำงานแบบอัตโนมัติตามเวลาที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า และระบบยังมีการทำงานที่เป็นแบบออนไลน์ และแบบออนไลน์ที่สามารถควบคุมสั่งการด้วยโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน และแบบ

กดผ่านคีย์แพดหน้าตู้ควบคุมระบบ อีกทั้งยังมีการแจ้งเตือนข้อความการทำงานไปยังแอปพลิเคชัน Line เพื่อเพิ่มความสะดวกในการควบคุมระบบให้กับผู้ใช้งาน

3.2 ขั้นตอนการออกแบบระบบ การออกแบบระบบเป็นกระบวนการที่แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานที่เกิดขึ้นในระบบและการเคลื่อนที่ของข้อมูลจากที่หนึ่งไปอีกยังที่หนึ่งซึ่งการออกแบบนี้มีผู้วิจัยได้เลือกวิธีการออกแบบโดยใช้แผนภาพกระแสข้อมูล (DFD : Data Flow Diagram) ดังนี้

3.2.1 แผนภาพบริบท (Context Diagram) แผนภาพบริบทแสดงให้เห็นถึงข้อมูลโดยรวมระบบว่าได้รับข้อมูลจากที่ใดมีการติดต่อกันระหว่างระบบอย่างไร และระบบมีความเกี่ยวข้องกับส่วนใดบ้างในการออกแบบเพื่อให้เห็นภาพรวมของระบบและความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างของระบบผู้วิจัยจึงจัดทำแผนภาพบริบท แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 1 แผนภาพบริบทของระบบ

จากรูปที่ 1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับระบบโดยที่ผู้ใช้สามารถใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยการสั่งงานผ่านปุ่ม Keypad ให้แสดงผ่านจอ LCD จากนั้นระบบจะสั่งการให้ไปควบคุมปุ่มที่รับคำสั่งในการทำงานของระบบ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การเปิด-ปิดฮีตเตอร์ การเปิด-ปิดอินฟราเรด การควบคุมโบลเวอร์ให้เหมาะสมต่อการอบแห้ง

3.2.2 การวิเคราะห์ส่วนต่าง ๆ ของระบบ

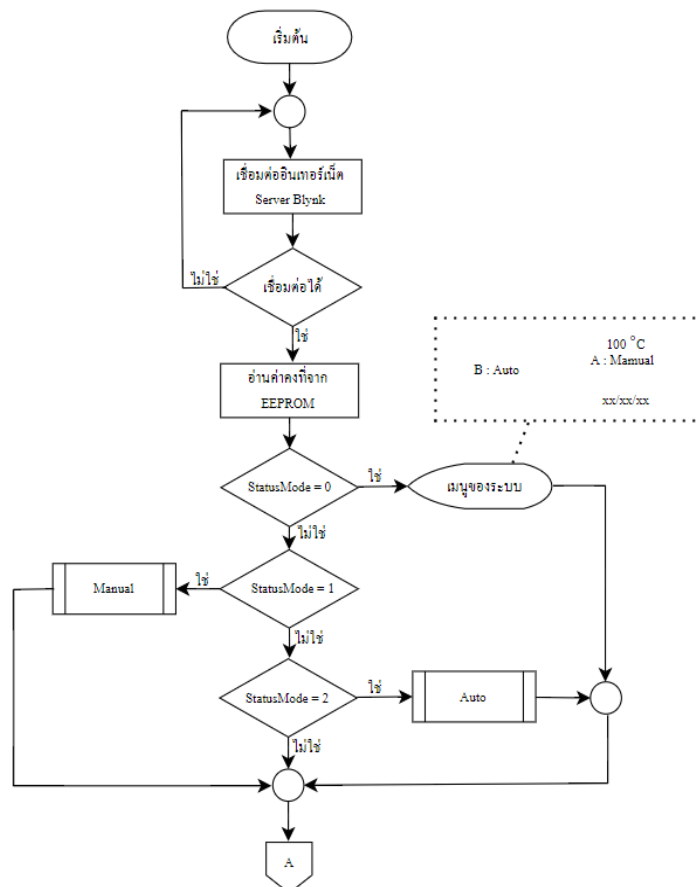
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการศึกษามาทำการวิเคราะห์ถึงปัญหาและกระบวนการทำงานของระบบโดยวิเคราะห์ปัญหาและออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบในส่วนต่าง ๆ เพื่ออธิบายขั้นตอนกระบวนการทำงานของระบบได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ขั้นตอนการทำงานของระบบต่าง ๆ ถูกออกแบบเป็นผังงานผังงาน Flow chart คือรูปภาพ Image หรือ สัญลักษณ์ Symbol ที่ใช้แทนขั้นตอน คำอธิบายข้อความ หรือคำพูดที่ใช้อัลกอริทึม เพื่อเสนอขั้นตอนของระบบให้เข้าใจตรงกัน โดยใช้ผังงานขั้นตอนการทำงานจำนวน 3 ผังงาน ได้แก่ ผังงานขั้นตอนการทำงานของระบบโดยรวม (System Flowchart) ผังงานการทำงานของโหมดกำหนดเอง (Manual Mode) และผังงานการทำงานของโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode)

3.2.2.1 ผังงานขั้นตอนการทำงานของระบบโดยรวมที่บอร์ด (Esp8266) ผังงานขั้นตอนการทำงานของระบบโดยรวมเป็นการอธิบายถึงการทำงานของโปรแกรมเมื่อเริ่มเปิดใช้งานระบบว่ามีขั้นตอนหลักเป็นอย่างไร การตรวจสอบเงื่อนไข และปุ่มกดในการควบคุมระบบมีกี่เงื่อนไข แสดงได้ดังรูปที่ 2 ผังงานขั้นตอนการทำงานของ

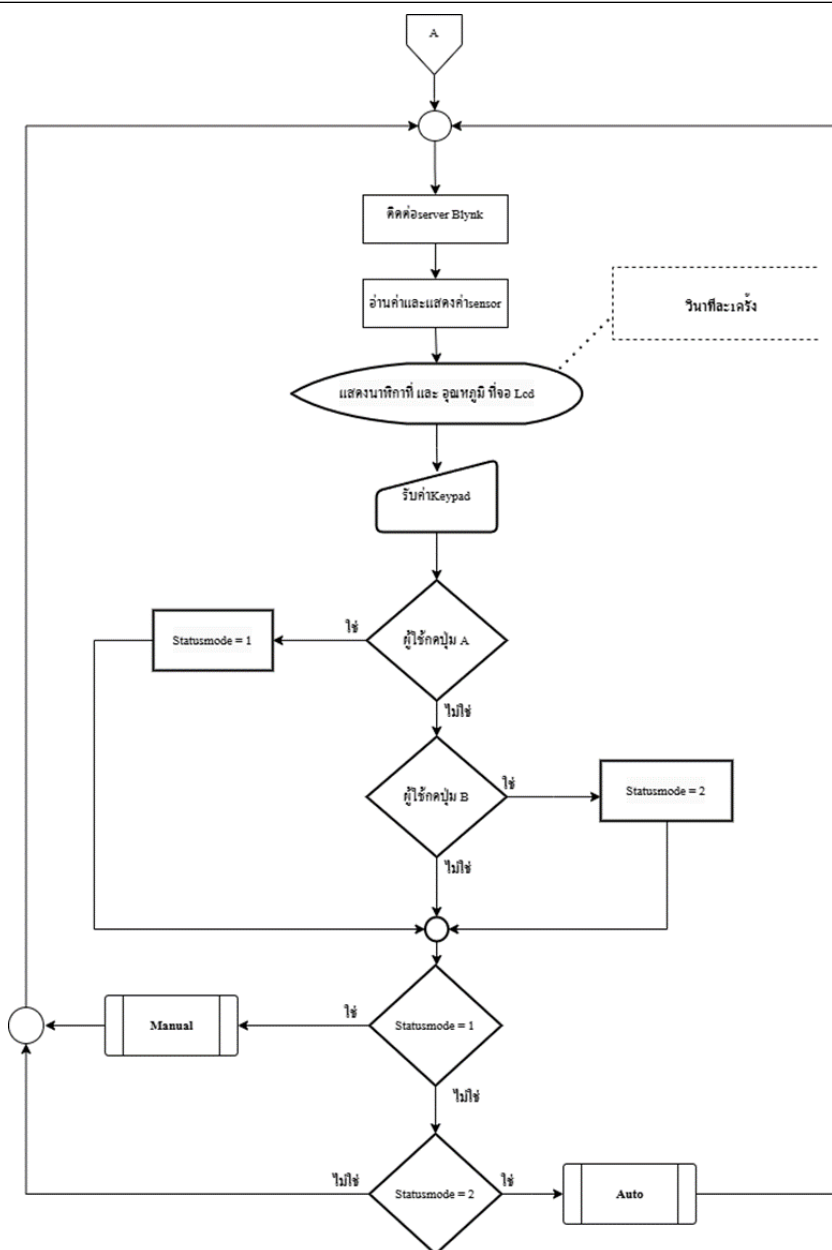
ระบบโดย เริ่มต้นระบบการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและ Server Blynk หากอินเทอร์เน็ตมีปัญหา ระบบจะทำการเชื่อมต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าระบบจะเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ เมื่อมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตระบบก็จะอ่านค่าคงที่จาก EEPROM ว่ามีการทำงานค้างอยู่หรือไม่ ถ้าระบบทำงานค้างอยู่ จะเริ่มทำงานจากโหมดที่ค้างอยู่ หากไม่มีการทำงานค้างอยู่ระบบจะรอรับค่าจาก Keypad เพื่อเข้าสู่เมนูการทำงานต่าง ๆ โดยกด A เพื่อเข้าสู่โหมดกำหนดเอง และกด B เพื่อเข้าสู่โหมดอัตโนมัติ

3.2.2.2 ฟังก์ชันการทำงานของโหมดกำหนดเอง (Manual Mode) ฟังก์ชันขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโหมดควบคุมด้วยตนเอง เป็นส่วนของโปรแกรมสำหรับการทำงานที่ผู้ใช้เปิด-ปิด อุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยตนเองจากการกดปุ่มที่ Keypad หรือสั่งงานจาก Application Blynk ซึ่งการทำงานของโปรแกรม ฟังก์ชันขั้นตอนการทำงานของโหมดกำหนดเอง โดยระบบจะทำงานจากการที่ผู้ใช้เป็นคนสั่งเปิดหรือปิดผ่านทาง Keypad เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม "D" เพื่อออกจากระบบก็จะส่งสัญญาณให้ Application Blynk และปิดอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อเข้าหน้าเมนูหลัก และสิ้นสุดการทำงานในโหมดกำหนดเอง

3.2.2.3 ฟังก์ชันการทำงานของโหมดอัตโนมัติ (Auto Mode) ฟังก์ชันขั้นตอนการทำงานของระบบแบบอัตโนมัติ เป็นส่วนของการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด ฟังก์ชันขั้นตอนการทำงานของโหมดอัตโนมัติ จะแสดงผลค่าอุณหภูมิ และเวลาปัจจุบัน ผ่านทางจอ LCD โดยระบบจะทำงานตามค่าเวลาตามที่กำหนดไว้ และเมื่อผู้ใช้กดปุ่ม "B" ระบบก็จะเริ่มทำงานแบบอัตโนมัติ และส่งค่าไปยัง Blynk เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม "D" ระบบก็จะปิดอุปกรณ์ทั้งหมด และ LCD ก็แสดงผลเป็นหน้าเมนูหลัก เป็นการสิ้นสุดการทำงานในโหมดอัตโนมัติ



รูปที่ 2 ฟังก์ชันขั้นตอนการทำงานของระบบโดยรวม



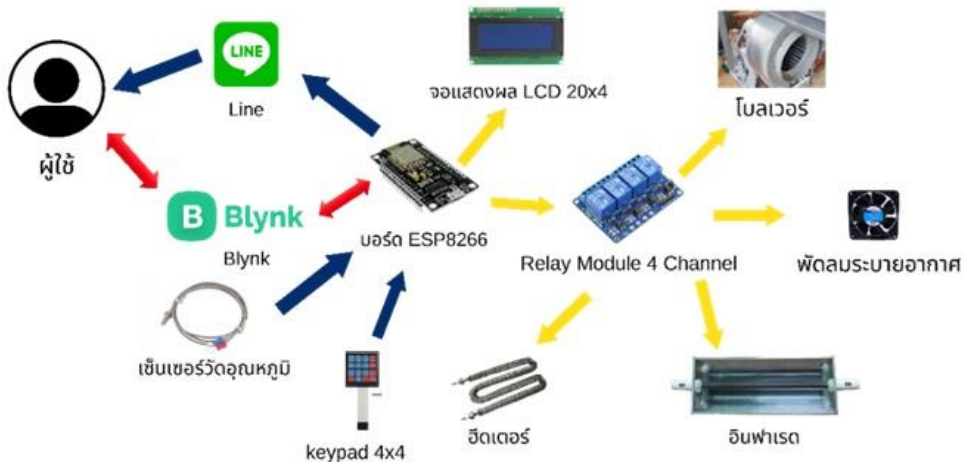
รูปที่ 2 ผังงานขั้นตอนการทำงานของระบบโดยรวม (ต่อ)

4. ผลการวิจัย

การพัฒนาระบบงานเพื่อสร้างระบบให้สามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ โดยในการออกแบบใน 2 ส่วน ด้วยกันคือ การออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์ ซึ่งเป็นการออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้องเพื่อควบคุมอุปกรณ์ที่ได้กำหนดไว้ อีกส่วนคือการออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ ซึ่งเป็นการออกแบบลำดับการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ให้สามารถทำงาน และสั่งการอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ได้อย่างถูกต้องตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยมีรายละเอียดทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ การออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์ การออกแบบระบบทางด้านซอฟต์แวร์ และการนำระบบไปใช้งาน

4.1 ผลการออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์

การวิเคราะห์ระบบตามขอบเขตที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์ โดยใช้บอร์ด ESP8266 เป็นตัวประมวลผลกลางโดยมีอินพุตที่นำมาเชื่อมต่อได้แก่ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ที่จะส่งค่าอุณหภูมิออกมาเป็นองศาเซลเซียส ผ่านทางแอปพลิเคชัน Blynk และ Keypad 4x4 สำหรับรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน ระบบ และในส่วนของอุปกรณ์ทางด้านเอาต์พุตได้แก่ แผงวงจร Relay 4 Channel จอแสดงผล LCD โบลเวอร์ ฮีตเตอร์ ทำความร้อน พัฒนาระบายความอากาศ และ อินฟราเรดแสดงได้ดังรูปที่ 3



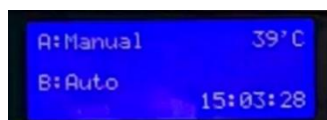
รูปที่ 3 โครงสร้างระบบทางด้านฮาร์ดแวร์

4.2 ผลการออกแบบระบบทางด้านซอฟต์แวร์

ขั้นตอนของการออกแบบระบบทางด้านซอฟต์แวร์ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีการทำงานใน 2 รูปแบบ คือ แบบอัตโนมัติ และแบบผู้ใช้งานกำหนดเอง การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ผู้วิจัยได้ทำการ ออกแบบตัวโปรแกรมและหน้าจอแสดงผลโดย มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 หน้าจอแสดงข้อความเริ่มต้นระบบ

หน้าจอเลือกการทำงานของระบบ รูปที่ 4 (ก) แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ Auto สำหรับเลือกการทำงานแบบอัตโนมัติ และ Manual สำหรับการเลือกการทำงานแบบผู้ใช้งานกำหนดเอง โดยสามารถเขียนคำสั่งการทำงานของระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 4 (ข) คำสั่งโปรแกรมหน้าเมนูหลักของระบบ แสดงผลออกทำงานหน้าจอ LCD คำว่า A: Manual และ B:Auto รวมถึงมีการเรียกใช้งานตัวอ่านอุณหภูมิและนาฬิกาเพื่อแสดงบนหน้าจอ



(ก) หน้าจอเลือกทำงานของระบบ

```
void Menu() {
    StatusMode = 0;
    EEPROM.write(0, StatusMode);
    EEPROM.commit();

    ClockDisplay();
    ReadSensor();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("A:Manual");
    lcd.setCursor(11, 0);
    lcd.print("B:Auto");
} //End menu
```

(ข) คำสั่งการทำงานของระบบ

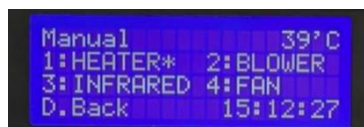
รูปที่ 4 หน้าจอแสดงข้อความเริ่มต้นระบบ

4.2.2 หน้าจอการเลือกโหมด

หน้าจอแสดงผลนี้จะแสดงตัวเลือกในการทำงานโหมด Auto แสดงได้ดังรูปที่ 5 (ก) และหน้าจอแสดงผลนี้จะแสดงตัวเลือกในการทำงานโหมด Manual แสดงได้ดังรูปที่ 5 (ข)



(ก) หน้าจอการทำงานโหมด Auto

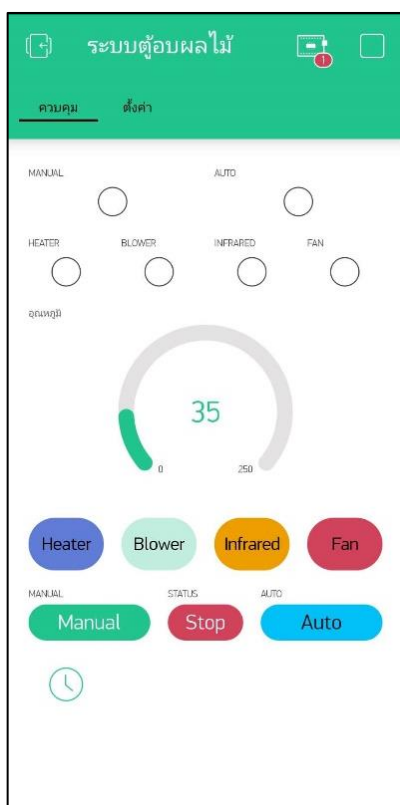


(ข) หน้าจอการทำงานโหมด Manual

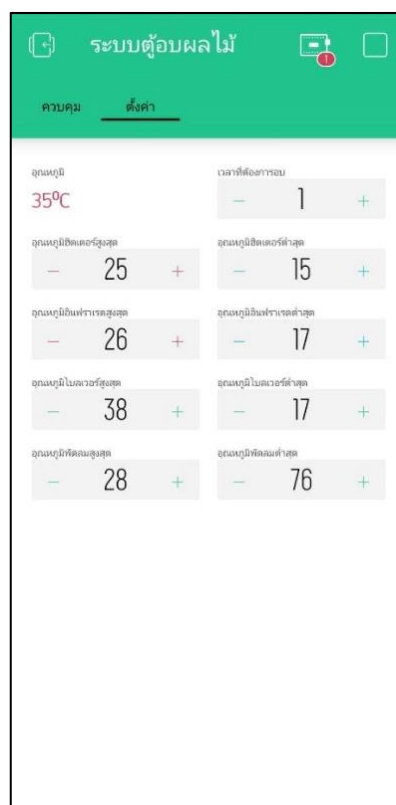
รูปที่ 5 หน้าจอการเลือกโหมด

4.2.3 หน้าต่างของแอปพลิเคชัน Blynk สำหรับสั่งงานของระบบแบบออนไลน์

ทางผู้วิจัยได้ใช้แอปพลิเคชัน Blynk เพื่อให้สะดวกของการสั่งงานต่าง ๆ ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการทำงานตามความต้องการใช้งาน แสดงได้ดังรูปที่ 6 (ก) การทำงานของหน้าจอโหมดต่าง ๆ แสดงอุณหภูมิ และความชื้น หลอด LED แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โหมดและ อุปกรณ์ต่าง ๆ สังเกตการทำงานของโหมดหรืออุปกรณ์กำลังทำงานอยู่ในปัจจุบัน และสามารถตั้งค่าช่วงของอุณหภูมิการอบและเวลาการอบได้ หน้าจอแอป Blynk แสดงได้ดังรูปที่ 6 (ข)



(ก) ควบคุมระบบหน้าหลัก



(ข) ควบคุมตั้งค่าอุณหภูมิและเวลา

รูปที่ 6 หน้าจอแอปพลิเคชัน Blynk

4.3 ผลการทดลองการใช้งานระบบ

สำหรับการทดลองการใช้งานระบบผู้วิจัยได้ทำการนำตู้ควบคุมระบบไปทดลองระบบอุปกรณ์ทั้ง 4 อย่างก็คือ ฮีตเตอร์ พัดลม โบลเวอร์ อินฟราเรด หลังจากนั้นผู้วิจัยได้บันทึกการทำงานของระบบอุปกรณ์ทั้ง 4 อย่างทั้งหมด 2 ครั้ง ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 บันทึกข้อมูลการใช้งานระบบครั้งที่ 1

การทดสอบการใช้งานระบบครั้งที่ 1							
รอบที่	การทำงานโหมด			อุณหภูมิ (°C)	เซนเซอร์ วัดอุณหภูมิ	การแจ้งเตือน ผ่าน Line	ปัญหาที่พบ
	Auto	Manual	ระบบทั้งหมด				
1	ปกติ	ปกติ	ปกติ	36	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
2	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
3	ไม่ปกติ	ปกติ	ไลน์ไม่แจ้งเตือน	39	ปกติ	ไม่ปกติ	ไลน์ไม่แจ้งเตือน
4	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
5	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
6	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
7	ไม่ปกติ	ปกติ	ค่าเซนเซอร์ค้าง	39	ไม่ปกติ	ปกติ	ค่าเซนเซอร์ค้าง
8	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
9	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
10	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี

จากตารางที่ 1 การทดลองการใช้งานระบบครั้งที่ 1 จำนวน 10 รอบ พบปัญหา 2 รอบการทำงานได้แก่ รอบที่ 3 และ 7 โดยรอบการทำงานที่ 3 ระบบไม่มีการส่งข้อความแจ้งเตือนข้อความผ่านทางไลน์ ซึ่งทำการปรับปรุงการตรวจสอบระบบและการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ส่วนปัญหารอบการทำงานที่ 7 ค่าเซนเซอร์ค้าง ทำการตรวจเช็คเซนเซอร์ พบว่าเซนเซอร์ที่ใช้ไม่ทนความร้อนจึงทำการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนเป็นเซนเซอร์ทนความร้อน ซึ่งพบว่าจากการทดลองการใช้งานระบบครั้งที่ 1 จำนวน 10 รอบ พบปัญหา 2 รอบการทำงาน (ร้อยละ 20.00) สถานะปกติ 8 รอบการทำงาน (ร้อยละ 80.00) ถือว่าระบบสามารถใช้งานได้อยู่ในเกณฑ์ดี จึงทำการปรับปรุงระบบแล้วทำการทดลองการใช้งานระบบครั้งที่ 2 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 บันทึกข้อมูลการใช้งานระบบครั้งที่ 2

การทดสอบการใช้งานระบบครั้งที่ 2							
รอบที่	การทำงานโหมด			อุณหภูมิ (°C)	เซนเซอร์ วัดอุณหภูมิ	การแจ้งเตือน ผ่าน Line	ปัญหาที่พบ
	Auto	Manual	ระบบทั้งหมด				
1	ปกติ	ปกติ	ปกติ	36	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
2	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
3	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
4	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
5	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
6	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
7	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี

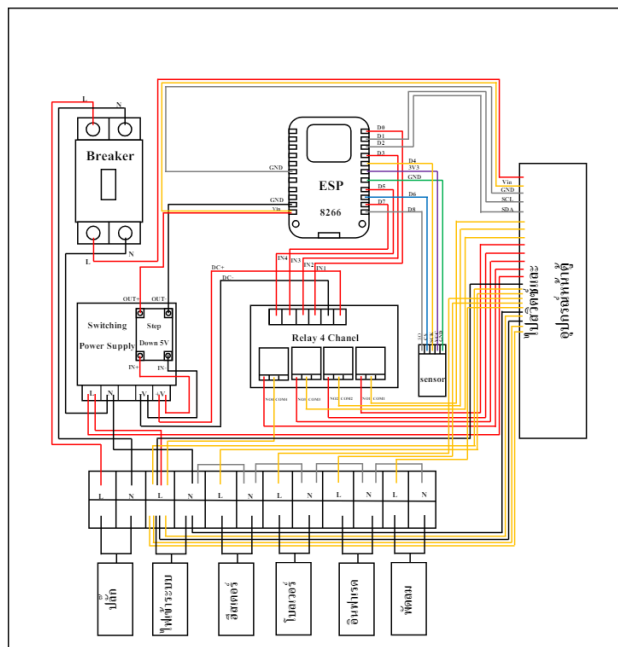
ตารางที่ 2 (ต่อ)

การทดสอบการใช้งานระบบครั้งที่ 2							
รอบที่	การทำงานโหมด			อุณหภูมิ (°C)	เซนเซอร์ วัดอุณหภูมิ	การแจ้งเตือน ผ่าน Line	ปัญหาที่พบ
	Auto	Manual	ระบบทั้งหมด				
8	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
9	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี
10	ปกติ	ปกติ	ปกติ	39	ปกติ	ปกติ	ไม่มี

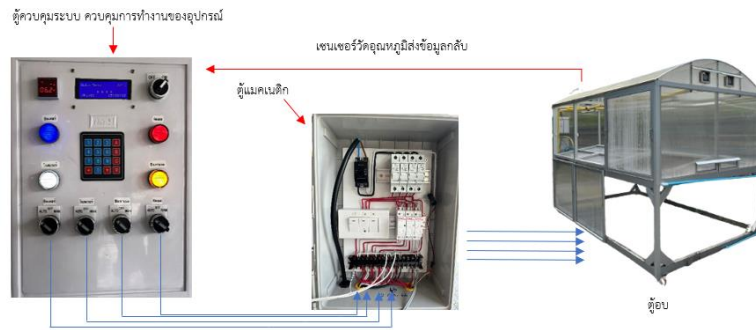
จากตารางที่ 2 การทดลองการใช้งานระบบครั้งที่ 2 จำนวน 10 รอบ พบสถานะการทำงานปกติ 10 รอบการทำงาน (ร้อยละ 100.00) ถือว่าระบบสามารถใช้งานได้อยู่ในเกณฑ์ดีมาก จึงนำไปใช้งานต่อไป

4.4 การนำระบบไปใช้งาน

การทำงานของตู้ควบคุมระบบจะประกอบไปด้วย LED แสดงผลแรงดันไฟ หน้าจอ LCD แสดงผลการทำงาน ไฟลวดแลมป์แสดงสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ ส่วนสวิทช์ควบคุมจะมีสวิทช์แบบ 3 ทาง 4 ตัวเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว และมีสวิทช์แบบ 2 ทาง 1 ตัวเพื่อไว้เปิด-ปิดระบบ ส่วน Keypad ก็สามารถควบคุมการทำงานของระบบได้เช่นกัน ตู้ควบคุมระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์ภายในเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยมีผังการเชื่อมต่อสัญญาณ แสดงได้ดังรูปที่ 7 เมื่อทำการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์โดยการติดตั้งในตู้อปใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนดังรูปที่ 8 หลังจากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพโดยการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการรอบข้าวเกรียบผลไม้ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรด้วยการอบระบบเดิมและระบบที่ได้จากการออกแบบจำนวน 3 ชั่วโมง เพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังตารางที่ 3 หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์สถิติความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลผลิตทางการเกษตรด้วย Paired t-Test ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05



รูปที่ 7 ผังการเชื่อมต่อสายสัญญาณ



รูปที่ 8 การติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติในตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

ตารางที่ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบข้าวเกรียบผลไม้

ครั้งที่	ระยะเวลาในการอบข้าวเกรียบผลไม้ (นาที)	
	ระบบเดิมด้วยแสงอาทิตย์	ตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน
1	252.00	129.00
2	241.00	124.00
3	264.00	121.00
ค่าเฉลี่ย	252.33	124.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.50	4.04

จากตารางที่ 3 ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอบข้าวเกรียบผลไม้ด้วยระบบเดิมด้วยแสงอาทิตย์และตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนเท่ากับ 252.33, 124.67 นาที ตามลำดับ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.50, 4.04 นาที ตามลำดับ ตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสามารถอบแห้งได้เร็วกว่าระบบเดิมด้วยแสงอาทิตย์ 1.02 เท่า หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการอบข้าวเกรียบผลไม้ด้วย Paired t-Test ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังรูปที่ 9

Paired T-Test: To (min), Tn (Min)				
	N	Mean	StDev	SE Mean
To	3	252.33	11.50	6.64
Tn	3	124.67	4.04	2.33
Difference	3	127.67	13.61	7.86
95% CI for mean difference: (93.85, 161.49)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 16.24 P-Value = 0.004				

รูปที่ 9 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการอบข้าวเกรียบผลไม้

จากรูปที่ 9 การวิเคราะห์ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการอบข้าวเกรียบผลไม้ด้วยระบบเดิมด้วยแสงอาทิตย์และตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนด้วยสถิติ Paired t-Test ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่า ค่า P-Value = 0.004 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าการอบข้าวเกรียบผลไม้ทั้งสองระบบส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ระบบควบคุมอัตโนมัตินิยมนำมาช่วยในการอำนวยความสะดวกทางการเกษตร สอดคล้องกับ ธนยศและคณะ (2564) ไพฑูรย์และคณะ (2564) ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์ (2566) สุธาทพร และคณะ (2567) Anil, K. D B., et al. (2023) Abdelmoneim, A. A., et al. (2023) ในงานวิจัยนี้พัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยภายในตู้อบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ 4 อย่าง ได้แก่ ฮีตเตอร์ โบลเวอร์ อินฟราเรด และพัดลม ระบบสามารถควบคุมได้ 2 ทาง คือ ควบคุมที่หน้าตู้ระบบรับคำสั่งจากการกดแป้นคีย์แพด และควบคุมออนไลน์โดยใช้แอปพลิเคชัน Blynk การทำงานของระบบสามารถตั้งค่าการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ 1. ระบบสามารถทำงานได้อัตโนมัติ โดยการตั้งค่าด้วยระยะเวลาการอบและการตั้งค่าอุณหภูมิการอบ 2. ระบบสามารถเปิดหรือปิดอุปกรณ์ด้วยมือตามความต้องการของผู้ใช้ ในการออกแบบได้ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Arduino รุ่น NodeMCU ESP8266 เพื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยมีสวิสซ์ในการควบคุมการเปิดหรือปิดของระบบ ซึ่งในการควบคุมระบบอัตโนมัติในผลผลิตทางการเกษตร มีความจำเป็นในการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิต เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความร้อน ปริมาณคว้น ความสว่าง ความชื้นของดิน (Oguz, F.E. et al, 2567) ตลอดจนระยะเวลา ซึ่งพิจารณาจากความเหมาะสมของผลผลิตทางการเกษตรแต่ละประเภท ซึ่งสอดคล้องกับฐาปนา เจริญพร (2564) Muthmainnah, M. et.al (2024) โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในส่วนของคุณสมบัติและระยะเวลาในการอบความกรอบผลไม้

การนำไปใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยการเปรียบเทียบการทำงานหลายระบบ สอดคล้องกับชยางกูร และคณะ (2564) ออกแบบตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบ Internet of Things (IoT) โดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และหลอดไฟเซรามิก ส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และคณะ (2565) ทดสอบประสิทธิภาพตู้อบแปรรูปอาหารควบคุมด้วยระบบ IoT ใน 3 รูปแบบ ได้แก่ แสงอาทิตย์ หลอดไฟ และอบทั้ง 2 รูปแบบพร้อมกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการอบข้าวเกรียบผลไม้ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรด้วยการอบระบบเดิมด้วยแสงอาทิตย์และระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์ผ่านตู้อบซึ่งอาศัยความร้อนจากหลอดอินฟราเรด เนื่องจากหลอดอินฟราเรดมีประสิทธิภาพในการทำความร้อนและลดความร้อนได้อย่างรวดเร็วและลักษณะภายนอกของผลผลิตทางการเกษตรที่ผ่านการแปรรูปไม่เหี่ยวเหี่ยวจนเกินไป (ศรายุทธ เมาสี, 2564) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในตู้อบความร้อนจะลอยขึ้นและพัดลมระบายอากาศจะอาศัยการพาความร้อนมาแทนที่ด้วยอากาศที่เย็นกว่า ซึ่งพบว่าระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สามารถอบแห้งได้เร็วกว่าระบบเดิมด้วยแสงอาทิตย์ 1.02 เท่า ช่วยลดระยะเวลาในการการอบข้าวเกรียบผลไม้ รวมถึงการควบคุมระบบการเปิดหรือปิดโดยใช้ระบบอัตโนมัติทำให้สะดวกมากขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาาระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สำหรับตู้อบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยอาศัยพลังงานจากโซลาร์เซลล์เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิต และการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพยากรณ์การทำงานเมื่อระบบเปลี่ยนแปลงไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณผู้อุปถัมภ์ในการทดสอบระบบภายใต้ทุนวิจัยจากโครงการแพลตฟอร์มบริหารจัดการทรัพยากรผู้มีศักยภาพของกลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล เพื่อปฏิรูประบบการพัฒนากำลังคนของประเทศ ประจำปีงบประมาณ 2566

เอกสารอ้างอิง

- ชยางกูร ไชยวงศ์, ธวัชไชย ลิ่มสุวรรณ, รวิวัฒน์ คำหวาน และ ศิวณัฐ เป็ดสุวรรณ. (2564, กรกฎาคม - ธันวาคม). การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของตู้บปล้งงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบ IoT. *วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคใต้ 1*, 6(2), 66-74.
- ฐาปนา เจริญพร. (2564, มกราคม - มิถุนายน). ชุดทดลองเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดแบบอัตโนมัติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 6(1), 36-46.
- ธนยศ อธิสรียวงศ์, โปษิน จันทนมังษะ, ธนากร วงศ์อมเรศ และคณะ. (2564, กรกฎาคม - มิถุนายน). ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับโรงเรือนเกษตรอินทรีย์. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 13(25), 52-63.
- ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์. (2566, มกราคม-ธันวาคม). ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ. *วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 6(1), 64-75.
- ไพฑูรย์ ศรีนิล, ธารรัตน์ พงสุวรรณ, อุไรวรรณ บัวตุม และ สมิตร์ คุณเจตน์. (2564, กรกฎาคม - ธันวาคม). แอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกเมล่อนในโรงเรือน โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและการควบคุมฟuzzy. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 30(2), 74-89.
- ศรายุทธ เมาฬี.** 2564. *ตู้บแห้งพริกชี้ฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยรังสีอินฟราเรด*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุธาทพร เกตุพันธ์, ณปภัช ช่วยชูหนู, จริวรรณ จันทรคง, ปิติพัฒน์ บุตรโคตร, พงษ์พันธ์ ราชภักดี, ฐิติกร พรหมบรรจง และ บัณฑิตา ภูทรัพย์มี โปณะทอง. (2567, มกราคม - มิถุนายน). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่พื้นเมืองด้วยต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล. *วารสารเกษตรพระวรุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 21(1), 171-178.
- อภิญา สายศรีแก้ว, อัษฎา วรรณกายนต์, อภิชัย ไพโรสินธุ์ และ สุชาติ ดุมนิล. (2565, กรกฎาคม - ธันวาคม). การพัฒนาตู้บปล้งงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารควบคุมด้วยระบบ Internet of Things (IoT). *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 7(2), 42-52.
- Anil, K. D B., Doddabasappa, N., Bansilal, B., Anil, K. C S., Ganesh, R. & Madhu. (2023). IoT-based Water Harvesting, Moisture Monitoring, and Crop Monitoring System for Precision Agriculture. *International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE)*. Ballar, India. 1-6.
- Abdelmoneim, A. A., Khadra, R., Derardja, B. & Dragonetti, G. (2023). Internet of Things (IoT) for Soil Moisture Tensiometer Automation. *Micromachines*, 14(2), 263.
<https://doi.org/10.3390/mi14020263>
- Joel, I. M., Michael, A. N., Alexander, R. G., Apple, R. B.A., Cris, A. M. E., Jewelane, V. R. & Jaafar, J. O. (2023). Optimizing Drying Efficiency Through an IoT-based Direct Solar Dryer System: Integration of Web Data Logger and SMS Notification. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 14(7), 233 – 240.
<http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140726>
- Mouha, R.A. (2021). Internet of Things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 9, 77-101. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006>

- Muthmainnah, M., Mulyadi, M. F., Tazi, I., Mulyono, A., Hananto, F. S., Chamidah, N., & Kusairi. (2024). Development of an automated monitoring system for soil moisture and temperature in smart agriculture to enhance lettuce farming productivity based on IoT. *Multidisciplinary Science Journal*, 6(11), 2024233. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2024233>
- Oguz, F.E., Ekersular, M.N., Sunnetci, K.M. and Alkan, A. (2024). Enabling Smart Agriculture: An IoT-Based Framework for Real-Time Monitoring and Analysis of Agricultural Data. *Agricultural Research*. <https://doi.org/10.1007/s40003-024-00705-x>
- Vaishnavi, P., Ramakrishna, V., Akula, K., Fatima, N., Saikrishna, K., Ganapathi, R. & Chhabra, S. (2024). An efficient agricultural data analysis based on IOT. *MATEC Web of Conferences* 392. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439201098>

คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติแบบออนไลน์สามารถควบคุมได้ 2 ทาง คือ การควบคุมที่หน้าตู้ระบบรับคำสั่งจากการกดแป้นคีย์แพด และควบคุมออนไลน์โดยใช้แอปพลิเคชัน Blynk การทำงานของระบบสามารถตั้งค่าการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ ระบบสามารถทำงานได้อัตโนมัติ โดยการตั้งค่า 2 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาในการอบ และอุณหภูมิการอบ และระบบสามารถเปิดหรือปิดอุปกรณ์ด้วยมือตามความต้องการของผู้ใช้ สามารถนำระบบไปประยุกต์ติดตั้งกับเครื่องมืออื่น ๆ ได้ตามความเหมาะสม

การพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารา
อริรัช ลิ้มตระกูล¹ จิระศักดิ์ พิเศษ² เฉลิมเชษฐ์ สมานหัตถ์³ วิชัย แหวนเพชร⁴
ชาติชาย จรรย์ศิริไพศาล⁵ อัสภา วรรณกายนต์^{6*}

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์¹⁻³

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา⁴

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์^{5-6*}

อีเมล : asada2518@hotmail.com^{6*}

วันที่รับบทความ 9 ธันวาคม 2567

วันแก้ไขบทความ 28 กุมภาพันธ์ 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 มีนาคม 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนา และ 2) ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ตารางทดสอบประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องสับใบยางพาราให้มีความสามารถในการสับใบยางพาราให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย พบว่า 1) ได้เครื่องจักรที่เป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่มีขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 400×1,003×700 มิลลิเมตร มีใบมีดสับ 8 เล่ม ช่องป้อนใบยางพาราเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ชุดต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า Single Phase 220V/50Hz กำลังมอเตอร์ 5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,500 RPM สามารถปรับความเร็วรอบได้ 2 ระดับ คือ ที่ความเร็วรอบ 488 RPM และ 950 RPM 2) ประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารา ทดสอบสับใบยางพาราที่ความเร็วรอบตามที่กำหนด จำนวน 5 ครั้ง ๆ ละ 1 กิโลกรัม ดังนี้ (1) ที่ความเร็วรอบ 488 รอบ/นาที พบว่า ความละเอียดใบยางพาราเฉลี่ยเท่ากับ 9.45 มิลลิเมตร น้ำหนักหลังการสับเฉลี่ยเท่ากับ 0.96 กิโลกรัม อัตราสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 กิโลกรัม ใช้เวลาในการสับเฉลี่ยเท่ากับ 1.38 นาที และประสิทธิภาพของเครื่อง เท่ากับ 96 % และ (2) ประสิทธิภาพเครื่อง ที่ความเร็วรอบ 950 รอบ/นาที พบว่า ความละเอียดใบยางพาราเฉลี่ยเท่ากับ 8.38 มิลลิเมตร น้ำหนักหลังการสับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.87 กิโลกรัม อัตราสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 กิโลกรัม ใช้เวลาในการสับเฉลี่ย เท่ากับ 1.18 นาที และประสิทธิภาพของเครื่อง เท่ากับ 87 %

คำสำคัญ : เครื่องสับ ประสิทธิภาพการสับ ใบยางพารา



Development and testing the efficiency of a rubber leaf chopping machine

Athiratch Leetrakool¹, Jeerasak Pitpeng², Chalermjade Samanuhath³, Wichai Vanpetch⁴,
Chatchai Charansiripisan⁵, Asada Wannakayont^{6*}

Faculty of Agriculture and Technology Rajamangala University of Technology Isan
Surin Campus¹⁻³, Nakornsrihammarat Rajabhat University⁴
Faculty of Industrial Technology Surindra Rajabhat University^{5-6*}
Email: asada2518@hotmail.com^{6*}

Received 9 December 2024

Revised 28 February 2025

Accepted 28 March 2025

Abstract

The objectives of this research are to 1) develop and 2) test the efficiency of a rubber leaf chopping machine. The tools used in the research were the performance test table. The researcher has designed and built a rubber leaf-chopping machine to have the ability to chop the rubber leaves into smaller sizes. Then put it to a performance test. and analyze the obtained data with basic statistics such as percentages and averages.

The results of the research found that: 1) agricultural machinery with the size (width x length x height) of 400 x 1,003 x 700 millimeters. There are eight cutting blades. The rubber-leaf input channel is trapezoidal. Electric motor power set, single-phase 220V/50Hz, motor power 5 horsepower, speed 1,500 RPM, can adjust speed to 2 levels (488 RPM and 950 RPM). 2) The efficiency of the rubber leaf chopping machine tested the chopping of rubber leaves at the specified speed, 5 times, 1 kilogram each, as follows: (1) At a speed of 488 rpm, it was found that the average rubber leaf fineness was 9.45 millimeters, the average weight after chopping was 0.96 kilograms, the average loss rate was equal to 0.04 kilograms, the average chopping time was 1.38 minutes, and the efficiency of the machine was 96%. and (2) machine efficiency. At a rotational speed of 950 rpm, it was found that the average rubber leaf fineness was 8.38 millimeters, the average weight after chopping was 0.87 kilograms, the average loss rate was 0.13 kilograms, the average chopping time was 1.18 minutes, and the efficiency of the machine was 87%.

Keywords: chopper, chopping efficiency, rubber leaves

1. บทนำ

พืชเศรษฐกิจที่สำคัญและเป็นสินค้าเกษตรที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศอย่างหนึ่งคือยางพาราซึ่งเดิมส่วนใหญ่ยางพารานิยมปลูกในภาคใต้ เรียกว่าพื้นที่ปลูกยางพาราเดิมต่อมาได้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราใหม่ไปยังภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งยางพาราเป็นพืชที่มีคุณสมบัติในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีแม้ในสภาพพื้นที่เป็นดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์มีการปลูกพืชไร่อายุสั้นมานานรวมถึงมีปริมาณน้ำฝนน้อย เช่นในภาคอีสาน (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร, 2555) จากข้อมูลการยางแห่งประเทศไทยจังหวัดสุรินทร์ พบว่า จังหวัดสุรินทร์ มีครัวเรือนที่ปลูก 20,876 ครัวเรือน พื้นที่เพาะปลูกยางพารา 181,998.07 ไร่ และมีปริมาณผลผลิตที่ได้ จำนวน 48,727,982 กิโลกรัม (การยางแห่งประเทศไทยจังหวัดสุรินทร์, 2567) โดยผลผลิตน้ำยางพาราที่มาจากภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยอาจมีความแตกต่างกันเล็กน้อยตามเงื่อนไขทางภูมิศาสตร์และอากาศภายในพื้นที่นั้น ๆ อย่างไรก็ตาม น้ำยางพาราที่ได้มาจากทั้งสองภาคยังคงมีคุณสมบัติและความสามารถในการใช้งานในอุตสาหกรรมเดียวกันและสามารถนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพาราได้อย่างเท่าเทียมกันเพียงแต่การปรับปรุงและวิธีการแปรรูปจะแตกต่างกันตามความยากของแต่ละที่ (บริษัท อีโคเลเท็กซ์ จำกัด, 2566)

ยางพารา เป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วนนอกจากกรีดยาน้ำยางจากต้น นอกจากเป็นอาชีพลูกได้แล้วเนื้อไม้ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น นำไปทำเฟอร์นิเจอร์ ไม้แบบ ลังใส่ของ เชื้อเพลิงเครื่องตกแต่งบ้านเมล็ดก็สามารถนำไปใช้งานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้รวมไปถึงใบยางพาราที่หล่นกองอยู่ทั่วไปตามสวนยางจำนวนมากและถูกละเลยมาเป็นเวลาช้านานเมื่ออยู่ในป่า นาน ๆ เข้าก็จะแห้งไปโดยไร้ประโยชน์การนำใบยางพารามาทำให้เกิดประโยชน์จึงมีคุณค่ามากมายช่วยให้ลดมลภาวะในการเผาทิ้งโดยสูญเปล่าและเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมให้กับธรรมชาติอย่างมีคุณค่า (การยางแห่งประเทศไทย, 2567) ตามวงจรธรรมชาติฤดูที่ยางผลัดใบจะเป็นช่วงหน้าร้อนของแต่ละพื้นที่ซึ่งอยู่ในช่วงของเดือนมีนาคมของทุกพื้นที่จะเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งและเป็นช่วงที่ยางผลัดใบโดยใบยางพาราจะมีสีเหลืองและร่วงหล่นจากต้นเป็นสัญญาณเตือนให้เจ้าของสวนยางควรหยุดกรีดยางในช่วงนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่ยางพาราผลัดใบทั้งใบ (พลอยประภัสร์ แซ่โจ้ว, 2558) การที่ยางพาราผลัดใบทั้งใบทำให้มีใบยางพาราล่นกองอยู่บนพื้นสวนยางพาราเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การนำใบยางพารามาทำให้เกิดประโยชน์จึงมีคุณประโยชน์มากมาย เช่น การนำใบยางพารามาทำปุ๋ยหมักโดยการทำสวนยางพาราในสถานการณ์ปัจจุบันที่ปัจจัยการผลิตมีราคาสูงสวนยางกับราคาผลผลิตที่มีราคาต่ำต้นทุนหลักคือปุ๋ยเคมีจึงมีหน่วยงานราชการส่งเสริมให้เกษตรกรชาวสวนยางพาราลดต้นทุนการผลิตโดยการทำปุ๋ยหมักใช้เองซึ่งการทำปุ๋ยหมักจากใบยางพาราจะได้ปริมาณธาตุอาหารและยังช่วยรักษาความเป็นกรดด่างของดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่ยางพารา (อนุชา เพียรชนะ, 2560) ดังนั้น การทำปุ๋ยจากใบยางพาราจึงเป็นการส่งเสริมในการนำเอาใบยางพาราที่จะมีการผลัดใบทิ้งในฤดูแล้งของทุกปีมาใช้ให้เกิดประโยชน์นอกจากนี้ยังเป็นการจัดการใบยางพาราเพื่อลดการเผาและขยะที่จะเกิดขึ้นโดยในแต่ละปีจะมีใบยางพาราร่วงหล่นบนพื้นในปริมาณมากชาวสวนยางพาราจึงได้เกิดแนวคิดในการจัดทำปุ๋ยหมักจากใบยางพาราขึ้นมาเพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมักให้แก่ชาวสวนยางพาราซึ่งมีผลให้สามารถลดขยะลดการเผาใบยางพาราที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอีกทั้งยังเป็นการใช้วัสดุที่เหลือจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรทั้งทางตรงและทางอ้อมคือเกษตรกรจะสามารถผลิตปุ๋ยหมักไว้ใช้เองทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า เครื่องสับย่อยพืชสามารถจำแนกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ เครื่องสับย่อยแบบใบมีดตรง แบบใบมีดโค้ง และแบบใบมีดเหวี่ยง แต่ละประเภทมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน ทั้งในด้านโครงสร้าง ประสิทธิภาพการทำงาน การใช้พลังงาน และต้นทุนการผลิต โดยอัศวิน สืบบุญการณ และคณะ (2564) ได้พัฒนาเครื่องสับอเนกประสงค์เพื่อการเกษตร พบว่า สามารถลดเวลาในการทำงานได้ 65-67% เมื่อเทียบกับการสับด้วยมือ จากการศึกษางานวิจัย พบว่า มีการพัฒนาเครื่องสับย่อย

ในหลากหลายรูปแบบ อิระพงค์ พุ่มพวง และคณะ (2561) ได้พัฒนาเครื่องสับฟางในนาข้าว พบว่า ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที สามารถสับฟางให้มีขนาดสั้นกว่า 3.5 เซนติเมตรได้มากที่สุดถึง 45.57% ขณะที่วีรพล ทองคุปต์ และคณะ (2563) ได้พัฒนาเครื่องย่อยกระป๋องอลูมิเนียม ใช้ความเร็วรอบเพียง 28.60 รอบต่อนาที สามารถย่อยกระป๋องได้ขนาดประมาณ 31 มิลลิเมตร นอกจากนี้ สมศักดิ์ คำมา, จารุวรรณ สิงห์ม่วง และ พันิช ทองสวัสดิ์วงศ์ (2563) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องสับวัสดุพืชเกษตรและเปลือกผลไม้ พบว่า ที่ความเร็วรอบ 700-800 รอบต่อนาที สามารถสับวัสดุได้ 71-148 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และในงานวิจัยอีกเรื่องของ สมศักดิ์ คำมา (2561) ได้พัฒนาเครื่องสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน โดยพบว่า ที่ความเร็วรอบ 763 รอบต่อนาที สามารถสับวัสดุได้ขนาดเล็ก 46.2-120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การพัฒนาเครื่องสับใบยางพาราจึงเกิดขึ้นตามแนวคิดของวรารัตน์ เสนาสิงห์ (2562) เพื่อช่วยทุ่นแรงและอำนวยความสะดวกในภาคการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของสำนักวิทยาศาสตร์ เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2567) ที่กล่าวว่าวัสดุที่มีขนาดเล็กจะสามารถย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้ดีและเร็วกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่ การพัฒนาดังกล่าวจึงนับเป็นการสนับสนุนการทำเกษตรกรรมอย่างยั่งยืนและการเพิ่มมูลค่าให้กับผลพลอยได้ทางการเกษตรอย่างเป็นรูปธรรม

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา พบว่า ใบยางพาราที่ร่วงหล่นในสวนยางมักถูกปล่อยทิ้งให้เน่าเปื่อย หรือถูกเผาทำลาย ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและสูญเสียทรัพยากรที่มีคุณค่า ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องสับใบยางพารา โดยออกแบบให้สามารถปรับใช้งานได้ 2 ระดับความเร็วรอบในเครื่องเดียวกัน เพื่อความเหมาะสมกับลักษณะและความชื้นของใบยางพารา ทั้งนี้ได้นำหลักการทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ อาทิ การคำนวณแรงตัด การออกแบบระบบส่งกำลัง และการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการนำใบยางพาราที่ผ่านการสับย่อยไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การทำปุ๋ยหมัก วัสดุคลุมดิน หรือวัตถุดิบสำหรับเพาะเห็ด ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรชาวสวนยาง โดยเครื่องสับใบยางพาราที่พัฒนาขึ้นนี้ได้คำนึงถึงความสะดวกในการใช้งาน การบำรุงรักษา และความปลอดภัยของผู้ใช้เป็นสำคัญ เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน การพัฒนาเครื่องสับใบยางพารานี้จึงไม่เพียงแต่จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการเผาทำลายใบยางพารา แต่ยังเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างคุ้มค่า สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืนและการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องสับใบยางพารา
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารา

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพาราเป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตามลำดับหัวข้อ ดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารามีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

3.1.1 เครื่องสับใบยางพารา เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสับใบยางพารา

3.1.2 ตารางทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารา ใช้สำหรับบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่อง

3.2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 การพัฒนาเครื่องสับใบยางพารา

การพัฒนาเครื่องสับใบยางพารา ผู้วิจัยได้นำแนวคิดกระบวนการเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนาเครื่องสับใบยางพารา ดังนี้ (สาขาการออกแบบและเทคโนโลยี, 2567)

1) ปัญหาและความต้องการ

ใบยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการทำสวนยางมีศักยภาพสูงในการนำมาแปรรูปเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากมีองค์ประกอบทางชีวเคมีที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายและการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนี้ใบยางพารายังมีคุณสมบัติในการปรับปรุงโครงสร้างดินและเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างไรก็ตามการนำใบยางพาราไปใช้โดยตรงในสภาพใบทั้งใบนั้นประสบปัญหาในด้านระยะเวลาการย่อยสลายที่ค่อนข้างยาวนานด้วยเหตุนี้การลดขนาดใบยางพาราด้วยกระบวนการสับย่อยจึงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นได้รวดเร็วและสมบูรณ์มากขึ้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสับย่อยใบยางพาราจึงนับเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับหลักการพัฒนาที่ยั่งยืนทั้งในด้านการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

2) รวบรวมข้อมูล

มุ่งเน้นการศึกษาหลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องสับใบยางพารา ประกอบด้วย การวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญ อาทิ กลไกการทำงาน ระบบส่งกำลัง ขนาดและรูปแบบของใบมีดตลอดจนประสิทธิภาพในการลดขนาดวัสดุทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะนำไปสู่การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการออกแบบเครื่องจักรโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์หลักคือการสับย่อยใบยางพาราให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการย่อยสลายและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตร

3) เลือกวิธีการ

การพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรขนาดเล็กถูกเลือกเป็นแนวทางในการวิจัยครั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมดังนี้ (1) ด้านต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าเครื่องจักรขนาดใหญ่ทำให้สามารถผลิตและจำหน่ายในราคาที่เหมาะสม (2) ระบบกลไกและเทคโนโลยีที่ใช้มีความเรียบง่ายส่งผลให้การบำรุงรักษาและซ่อมแซมสามารถทำได้โดยผู้ใช้งานทั่วไปไม่จำเป็นต้องพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง (3) ขนาดกะทัดรัดเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่จำกัด เช่น สวนยางพาราขนาดเล็กหรือพื้นที่เกษตรกรรมที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ (4) มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานตามความต้องการเฉพาะของผู้ใช้ และ (5) สอดคล้องกับบริบทและความต้องการของเกษตรกรในชุมชน

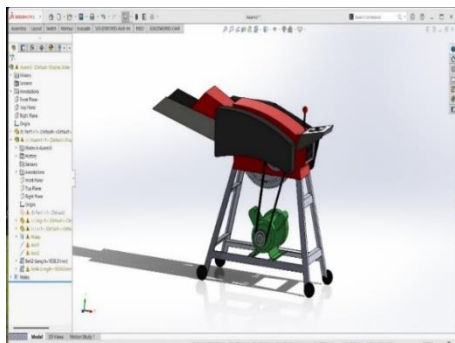
4) ออกแบบและปฏิบัติการ

การออกแบบเครื่องสับใบยางพาราในการศึกษานี้มุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องจักรขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพในการลดขนาดใบยางพาราให้เหมาะสมต่อการนำไปผลิตปุ๋ยหมักโดยคำนึงถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ความง่ายในการใช้งานและการบำรุงรักษากระบวนการออกแบบดำเนินการอย่างเป็นระบบมีขั้นตอน ดังนี้

(1) การศึกษาและวิเคราะห์องค์ความรู้จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องตัดและสับทางการเกษตรโดยเฉพาะการศึกษาหลักการตัดและการสับวัสดุให้มีขนาดเล็กเพื่อนำหลักการและแนวคิดที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ

(2) ร่างแบบเบื้องต้นเริ่มจากการสเก็ตช์ด้วยมือเพื่อกำหนดแนวคิดและรูปแบบโดยรวมของเครื่องจักร จากนั้นจึงพัฒนาเป็นแบบร่างสองมิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบทางวิศวกรรม (CAD) ในขั้นตอนนี้มีการกำหนดรายละเอียดสำคัญต่าง ๆ เช่น ขนาดมิติ สัดส่วน และการจัดวางองค์ประกอบของเครื่อง

(3) เขียนแบบรายละเอียดซึ่งเป็นการพัฒนาแบบร่างให้เป็นแบบทางวิศวกรรมที่สมบูรณ์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเขียนแบบที่มีความแม่นยำสูงระบุขนาดสัดส่วนและรายละเอียดทางเทคนิคทั้งหมดของชิ้นส่วนและโครงสร้างเครื่องจักรเพื่อใช้เป็นแบบอ้างอิงในการผลิตและประกอบเครื่องจักรต่อไปการใช้ซอฟต์แวร์ช่วยในการออกแบบนี้ช่วยให้สามารถปรับแก้และตรวจสอบความถูกต้องของแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 การเขียนแบบโดยการใช้โปรแกรม Solid Work

(4) สมการการหาประสิทธิภาพของเครื่องสับ

ก. การคำนวณหาค่าความเร็วรอบของมอเตอร์

$$\text{จากสูตร} \quad N = \frac{120f}{P} \quad (1)$$

เมื่อ N = ความเร็วรอบของมอเตอร์ ชนิด Synconus (รอบ / นาที)

f = ความถี่ที่ใช้คือ 50 Hz

P = จำนวน Pole ส่วนมากถ้ากำหนดใช้ที่กำหนดแต่ถ้าไม่กำหนดจะใช้ $P = 4$

$$\text{แทนค่า} \quad N = \frac{120(50)}{4} = 1,500 \text{ รอบ / นาที}$$

ข. การคำนวณหาค่าแรงบิด (T) ของมอเตอร์

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{T}{J} = \frac{T_{\max}}{r} = \frac{G\theta}{L} \quad (2)$$

เมื่อ T คือ ทอร์กของเพลาส่งกำลังจากมอเตอร์

J คือ ค่าในการทำงานของวัสดุงานที่เป็นหน้าตัดกลม ในการที่นี้ใช้เป็นเหล็กเพล

$$\text{ขาว ขนาด 28 มิลลิเมตร St - 37 มีค่าเท่ากับ} \quad \frac{\pi d^4}{32} = \frac{3.14 \times (0.028)^4}{32} = 6.03 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$T_{\max}$ คือ ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของเพล (นิวตัน/ตารางเมตร)

เมื่อ G คือ ค่า Young's Modulus ของวัสดุ St - 37 มีค่าเท่ากับ 210 kgf/m^2

θ คือ องศาการหมุนของเพลที่กลมทีละ 1 องศา มีค่าเท่ากับ $\left(\frac{\pi}{180}\right)$

L คือ ความยาวของเพล (เมตร)

r คือ รัศมีของเพล (เมตร)

ในการเลือกใช้และวัดขนาดต่าง ๆ จากมอเตอร์ ทำให้ทราบค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$L = 43 \text{ เซนติเมตรหรือ } 0.43 \text{ เมตร}$$

$$\phi d = 28 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\therefore r = d / 2$$

$$r = 14 \text{ มิลลิเมตรหรือ } 0.014 \text{ เมตร}$$

$$G = 210 \text{ kgf/m}^2$$

$$J = 6.03 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\theta = 0.017$$

ต้องการทราบ $T = ?$

$$\text{แทนค่าหา} \quad \frac{T}{J} = \frac{G\theta}{L}$$

$$\text{แทนค่า} \quad T = \frac{G\theta J}{L} = 210 \text{ kgf/m}^2 \times 0.017 \times 6.03 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$T = 21.52 \text{ Nm}$$

ค. การคำนวณหาค่ากำลัง (P) ของมอเตอร์ไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งาน

$$\text{จากสูตร} \quad P = \frac{T \times N}{9,550} \quad (3)$$

$$\text{แทนค่า} \quad P = \frac{21.52 \times 1,500}{9,550}$$

$$\therefore \text{กำลังมอเตอร์มีขนาด} = 3.380 \text{ กิโลวัตต์}$$

ง. การคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพาน

ว่าจะใช้จำนวนเส้นของสายพานกี่เส้นในการต่อชุดส่งกำลังมีข้อกำหนดว่าจำเป็นต้องใช้ความเร็วรอบที่คำนวณได้ ไปหา P_n เป็นกำลังขับต่อสายพานหนึ่งเส้นในที่นี้เลือก $N = 1,500$ รอบ / นาที (จากการคำนวณ) ตามตารางใช้ชนิด SPA (เป็นสายพานลิ้มไรร้อยต่อ) ตามมาตรฐาน DIN 7753 ใช้ $d_w K$ ระหว่าง 80 – 120 มิลลิเมตร ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอใช้ $d_w K$ เท่ากับ 100 มิลลิเมตร จะได้ $P_n = 3.05$

จ. การคำนวณหาจำนวนสายพาน

นำ P_n มาคำนวณหา Z (จำนวนเส้นของสายพาน)

$$\text{จากสูตร} \quad Z = \frac{P \times C_1 \times C_2}{P_n} \quad (4)$$

$$\text{เมื่อ} \quad P = 3.380$$

$$C_1 = 140 \text{ องศา (1.12)}$$

$$C_2 = 1.2 \text{ ใช้งานไม่เกิน (10 -16 ชั่วโมง)}$$

$$P_n = 3.05$$

$$\text{แทนค่า} \quad Z = \frac{3.380 \times 1.12 \times 1.2}{3.05} = 1.489$$

ดังนั้น ใช้สายพานจำนวน = 2 เส้น

ฉ. การคำนวณหาขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์

มอเตอร์ขนาด 4.53 hp /220 V 0.90 Eff 0.84 pf ให้หาขนาดสายไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ว่าต้องสามารถรับกระแสได้เท่าใด ให้หาขนาด AT เบรกเกอร์และขนาดสวิตช์

$$\begin{aligned} \text{สูตรหากระแสมอเตอร์} \quad I &= \frac{\text{hp} \times 746}{\sqrt{3} \times v \times \text{Eff} \times \text{pf}} \\ &= \frac{4.53 \times 746}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.90 \times 0.84} \\ I &= 11.73 \text{ A} \end{aligned} \quad (5)$$

สายไฟต้องสามารถรับกระแสได้ไม่น้อยกว่า $4 \times I = 4 \times 11.73 = 46.93 \text{ A}$

ขนาดเบรกเกอร์ $2 \times I = 2 \times 11.73 = 23.46 \text{ A}$

ให้เลือกเบรกเกอร์ขนาด 25 A

ขนาดสวิตช์ตัดตอน $1.15 \times I = 1.15 \times 11.73 = 13.48 \text{ A}$

สวิตช์ตัดตอนมีพิกัด 4 , 5 , 6 , 5.2 , 6.6 , 8ให้เลือกใช้พิกัด 10 มาใช้งาน

$$\text{ข. การหาค่าความยาวของสายพาน จากสูตร } L = \left(\frac{D+d}{2} \times 3.14 \right) + 2C \quad (6)$$

เมื่อ L คือ ความยาวสายพาน (mm.)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งฝั่งซ้าย (mm.)

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งฝั่งขวา (mm.)

C คือ ระยะห่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งฝั่งซ้ายจนถึงกึ่งกลาง

เส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งฝั่งขวา

$$\text{จากสูตร } L = \left(\frac{D+d}{2} \times 3.14 \right) + 2C$$

$$L = \left(\frac{100+50}{2} \times 3.14 \right) + 2 \times 300 = 835.5 \text{ mm หรือ } 33 \text{ นิ้ว}$$

ตารางที่ 1 รายละเอียดส่วนประกอบสับไวยางพารา

Pos.	Part name and Remark	Dimension	Material	Req.
11	Entrance	320x500x70	Low Carbon Steel	1
10	Lid	130x390x140	Low Carbon Steel	1
9	Belt	33 Inch	Synthetic Rubber	2
8	Pulley	70,140 mm	Mild Carbon Steel	2
7	Wheel	90 mm	GTW - 50	4
6	Frame	290x600x500	Low Carbon Steel	1

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Pos.	Part name and Remark	Dimension	Material	Req.
5	Motor	5 Hp	TG - 50	2
4	Grille	140x240	Low Carbon Steel	1
3	Outlet Exit	250x150x300	Low Carbon Steel	1
2	Steel Frame	90x490x150	Low Carbon Steel	1
1	Knife Cover	240x400x100	Low Carbon Steel	1
Scale 1:1	Name	Date: 4/01/67	Rmuti Surin Campus	
Title:	Drawing No. TD. 101 - 001			



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องสับใบยางพารา

5) การสร้างและประกอบ

กระบวนการสร้างและประกอบเครื่องต้นแบบเริ่มต้นจากการนำแบบที่เขียนไว้นำมาวิเคราะห์และจัดทำรายการวัสดุ (Bill of Materials) โดยระบุคุณสมบัติขนาดและปริมาณของวัสดุแต่ละรายการอย่างละเอียด จากนั้นดำเนินการประมาณการค่าใช้จ่ายและจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ตามข้อกำหนดทางเทคนิค โดยคำนึงถึงคุณภาพและความเหมาะสมของวัสดุกับการใช้งาน ในขั้นตอนการประกอบ ได้จัดลำดับการประกอบชิ้นส่วนตามหลักวิศวกรรม เริ่มจากการประกอบโครงสร้างหลักตามด้วยการติดตั้งระบบส่งกำลัง ชุดใบมีดตัด และอุปกรณ์ประกอบ อื่น ๆ ตามลำดับทั้งนี้ในแต่ละขั้นตอนของการประกอบมีการตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางและการยึดติดชิ้นส่วนเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องต้นแบบที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์มีความแข็งแรง และปลอดภัย



รูปที่ 3 การประกอบเครื่องสับใบยางพารา



6) การทดสอบ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบเครื่องสับไบบางพาราโดยมีการทดสอบดังต่อไปนี้

(1) ทดสอบการเดินเครื่องแบบไม่มีภาระโหลดโดยเดินเครื่องต่อเนื่องวันละ 8 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อประเมินความคงทนของเครื่องจักรและตรวจสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ เช่น ระบบส่งกำลังระบบหล่อลื่นและกลไกการทำงานของใบมีด เป็นต้น

(2) ทดสอบการเดินเครื่องแบบมีภาระโหลดและทำการจับเวลาโดยป้อนไบบางพาราเข้าสู่เครื่องตามอัตราที่กำหนดทำการบันทึกเวลาในการทำงานและเก็บตัวอย่างผลผลิตที่ได้จากช่องทางออกเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพโดยมีการชั่งน้ำหนักและตรวจสอบขนาดของชิ้นส่วนที่ถูกสับในแต่ละรอบการทดสอบ

(3) ปรับปรุงแก้ไข ในส่วนของการปรับปรุงแก้ไขเครื่องสับไบบางพาราผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการทดสอบมาวิเคราะห์เพื่อระบุจุดบกพร่องและโอกาสในการพัฒนาจากนั้นดำเนินการปรับปรุงส่วนประกอบต่าง ๆ ตามความจำเป็น เช่น การปรับแต่งมุมใบมีด การปรับปรุงระบบป้อนวัตถุดิบหรือการเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งกำลังเพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

7) ประเมินผล การใช้งานเครื่องโดยทำการวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องในการสับไบบางพาราโดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วในการสับ ขนาดของไบบางพาราที่สับแล้ว และน้ำหนักของไบบางพาราก่อนและหลังการสับ

3.2.2 การสร้างตารางทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับไบบางพารา

ขั้นแรก ทำการศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ข้อมูลที่ได้นำมาใช้เป็นกรอบในการสร้างตารางทดสอบประสิทธิภาพและกำหนดประเด็นที่จะทำการประเมิน ขั้นตอนการสร้างตารางทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับไบบางพารานับร่างขึ้นโดยออกแบบให้ครอบคลุมการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องซึ่งรวมถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความละเอียดของไบบางพาราที่สับ (วัดเป็นมิลลิเมตร) ใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ในการวัด, น้ำหนักของไบบางพาราก่อนและหลังการสับ (วัดเป็นกิโลกรัม) ใช้ตาชั่งตวงระบบดิจิทัล และเวลาที่ใช้ในกระบวนการสับ (วัดเป็นนาที) ใช้นาฬิกาแบบดิจิทัล จากนั้นนำตารางทดสอบประสิทธิภาพฉบับร่างเสนอต่อที่ปรึกษางานวิจัยเพื่อพิจารณาความเหมาะสมสำหรับการใช้งานตามวัตถุประสงค์และรับฟังข้อเสนอแนะจากที่ปรึกษาปรับปรุงตารางทดสอบประสิทธิภาพฉบับร่างตามคำแนะนำของที่ปรึกษางานวิจัยและสุดท้ายจัดทำตารางทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับไบบางพาราฉบับสมบูรณ์เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพจริงต่อไป

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพและประเมินคุณภาพเครื่องสับไบบางพาราจากผู้เชี่ยวชาญ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับไบบางพารา

1) อุปกรณ์ในการทดสอบร่วมกับเครื่องสับไบบางพาราประกอบด้วยใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ ตาชั่ง นาฬิกาจับเวลา กระดาษ กระจกมั่ง ถุงพลาสติกใส และกระสอบ

2) วัดขนาดไบบางพารา และชั่งน้ำหนักไบบางพาราก่อนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องด้วยตาชั่ง และเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ บันทึกผลลงในตารางบันทึกการทดลอง

3) การทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง สามารถแบ่งการเดินเครื่องออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ ที่ความเร็วรอบ 488 รอบ/นาที ทดสอบออกเป็น 5 ครั้ง ๆ ละ 1 กิโลกรัม และที่ความเร็วรอบ 950 รอบ/นาที ทดสอบออกเป็น 5 ครั้ง ๆ ละ 1 กิโลกรัม ตามลำดับและทำการจับเวลาการทดสอบในแต่ละครั้ง

4) นำใบยางพาราที่ถูกล้างจะออกมาทางด้านช่องทางออกข้างล่างโดยนำภาชนะหรือกะละมังมารองรับเศษใบยางพารา นำเศษใบยางพาราที่ได้จากการสับนำมาวัดขนาด และชั่งน้ำหนัก หลังการทดสอบประสิทธิภาพ บันทึกผลลงในตารางบันทึกการทดลอง

5) นำเศษใบยางพาราส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 10 มิลลิเมตร ในเครื่องสับใบยางพารานำมารวมแล้วชั่งน้ำหนักจากนั้นบันทึกค่าต่าง ๆ ที่ได้ลงในตารางบันทึกการทดลอง



รูปที่ 4 การสับเครื่องสับใบยางพาราก่อนและหลัง

3.3.2 ผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารามาทำการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 ค่าร้อยละ

3.4.2 ค่าเฉลี่ย

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการสร้างเครื่องสับใบยางพารา

ได้เครื่องสับใบยางพารา มีขนาด $400 \times 1,003 \times 700$ มิลลิเมตร มีใบมีดสับ 8 ใบ ส่วนฝาครอบใบมีดมีขนาด 245×400 มิลลิเมตร นำเหล็กมาตัดให้ได้รูปทรงและนำมาเชื่อมเข้าด้วยกันตามแบบส่วนขนาดช่องที่ใช้ป้อนใบยางพารามีขนาด $240 \times 240 \times 120$ มิลลิเมตร ประกอบยึดน๊อตเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูใช้มอเตอร์ Single Phase 220V/50Hz กำลังมอเตอร์ 5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,500 RPM (รอบต่อนาที) ช่องทางออกทำการติดตั้งตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อร่อนใบยางพาราสามารถปรับความเร็วรอบได้ 2 แบบ คือ ที่ความเร็วรอบ 488 RPM (เพื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร) และที่ความเร็วรอบ 950 RPM (เพื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 350 มิลลิเมตร) และมีการติดตั้งล้อเพื่อทำให้การเคลื่อนย้ายสะดวกขึ้นสามารถนำมาช่วยทุ่นแรงและอำนวยความสะดวกให้กับเกษตรกรในการนำใบยางพาราที่เป็นวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์โดยการสับให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเร่งกระบวนการย่อยสลายให้เร็วขึ้นเมื่อนำไปทำปุ๋ยหมักซึ่งช่วยให้ได้ปุ๋ยที่ย่อยสลายเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดซึมได้ดีขึ้นนอกจากนี้ยังเป็นการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมีลดปัญหาขยะการเผาและมลพิษซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารา

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารา (ที่ความเร็วรอบ 488 รอบ/นาที)

ครั้งที่	ความละเอียดของใบยางพารา (มม.)		น้ำหนักของใบยางพารา (กก.)		น้ำหนักที่สูญเสีย(กก.)	เวลาที่ใช้สับ (นาที)	หมายเหตุ
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			
1	20.0	10.0	1	0.924	0.076	1.36	
2	20.0	10.0	1	0.989	0.011	1.35	
3	20.0	8.7	1	0.988	0.012	1.20	
4	20.0	9.0	1	0.920	0.080	1.65	
5	20.0	10.0	1	0.978	0.022	1.35	
ค่าเฉลี่ย	20.0	9.45	1	0.960	0.040	1.38	

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพาราที่ความเร็วรอบ 488 รอบ/นาที พบว่า ก่อนสับใบยางพารามีความละเอียดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 20 มิลลิเมตร หลังสับใบยางพารามีความละเอียดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 9.45 มิลลิเมตร น้ำหนักของใบยางพาราก่อนสับมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1 กิโลกรัม น้ำหนักของใบยางพาราหลังสับมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.960 กิโลกรัม น้ำหนักที่สูญเสียมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.040 กิโลกรัม และเวลาที่ใช้สับมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.38 นาที

ตารางที่ 3 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพารา (ที่ความเร็วรอบ 950 รอบ/นาที)

ครั้งที่	ความละเอียดของใบยางพารา(มม.)		น้ำหนักของใบยางพารา (กก.)		น้ำหนักที่สูญเสีย (กก.)	เวลาที่ใช้(นาที)	หมายเหตุ
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			
1	20.0	10.0	1	0.877	0.123	1.22	
2	19.5	9.5	1	0.869	0.131	1.12	
3	19.9	8.7	1	0.818	0.182	1.20	
4	18.9	7.2	1	0.890	0.110	1.24	
5	19.0	6.5	1	0.898	0.102	1.10	
ค่าเฉลี่ย	19.40	8.38	1	0.870	0.192	1.30	

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องสับใบยางพาราที่ความเร็วรอบ 950 รอบ/นาที พบว่า ก่อนสับใบยางพารามีความละเอียดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 19.4 มิลลิเมตร หลังสับใบยางพารามีความละเอียดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 8.38 มิลลิเมตร น้ำหนักของใบยางพาราก่อนสับมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1 กิโลกรัม น้ำหนักของใบยางพาราหลังสับมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.870 กิโลกรัม น้ำหนักที่สูญเสียมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.192 กิโลกรัม และเวลาที่ใช้สับมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.30 นาที

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที เครื่องสับใบยางพาราให้ผลผลิตที่มีขนาดเล็กกว่า (8.38 มิลลิเมตร) เมื่อเทียบกับความเร็วรอบที่ 488 รอบต่อนาที (9.45 มิลลิเมตร) แสดงให้เห็นถึง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดชิ้นส่วนใบยางหลังการสับโดยเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นจะทำให้ได้ชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักอย่างไรก็ตามที่ความเร็วรอบสูงกว่า พบว่ามีอัตราการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเช่นกัน (0.130 กิโลกรัม) เมื่อเทียบกับความเร็วรอบต่ำ (0.040 กิโลกรัม) ซึ่งอาจเกิดจากการฟุ้งกระจายของเศษใบยางขนาดเล็กในขณะที่ทำงานที่ความเร็วสูง ทั้งนี้จากการทดสอบทั้ง 2 ระดับความเร็วรอบ สรุปได้ว่าเครื่องสับใบยางพาราที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการลดขนาดใบยางพาราสำหรับนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมักต่อไปโดยความเร็วรอบที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 950 รอบต่อนาที ซึ่งให้ขนาดชิ้นส่วนที่เล็กและใช้ระยะเวลาสั้นกว่าแต่ต้องมีการออกแบบระบบเก็บผลผลิตเพื่อลดการสูญเสียให้ได้มากที่สุด

5. อภิปรายผลและสรุปผล

ผลการออกแบบและสร้างเครื่องสับใบยางพารา พบว่า ได้เครื่องจักรที่เป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สามารถนำมาช่วยทุ่นแรงและอำนวยความสะดวก เพิ่มประสิทธิภาพและสามารถจัดการทรัพยากรในภาคการเกษตรให้กับเกษตรกร โดยการออกแบบและหาประสิทธิภาพของเครื่องสับมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องที่แตกต่างกันไป โดยสามารถอภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้

5.1 ด้านการออกแบบและโครงสร้าง เครื่องสับใบยางพาราที่พัฒนาขึ้นมีขนาดกะทัดรัด ($400 \times 1,003 \times 700$ มิลลิเมตร) ใช้มอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า นับว่ามีความเหมาะสมในการใช้งานระดับครัวเรือนและเกษตรกรรายย่อย เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของธีระพงศ์ พุ่มพวง วรุฒิ บุญยงค์ และ ศิริทิพย์ เอี่ยมสำอางค์ (2561) ที่พัฒนาเครื่องสับพางขนาดใหญ่ที่ต้องใช้รถแทรกเตอร์ 125 แรงม้าในการขับเคลื่อน และสอดคล้องกับงานวิจัยของวิรุฬ ทองคุปต์ และคณะ (2563) ที่พบว่าเครื่องสับย่อยขนาดเล็กที่ใช้มอเตอร์ไม่เกิน 6.5 แรงม้า มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานระดับครัวเรือน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะขนาดดังกล่าวให้สมดุลระหว่างประสิทธิภาพการทำงานกับต้นทุนการผลิตและการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับบริบทของเกษตรกรรายย่อยไทย

5.2 ด้านประสิทธิภาพการทำงาน ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที พบว่า สามารถสับใบยางพาราให้มีขนาดเล็กเพียง 8.38 มิลลิเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องสับพางของธีระพงศ์ พุ่มพวง, วรุฒิ บุญยงค์ และ ศิริทิพย์ เอี่ยมสำอางค์ (2561) ที่สับได้ขนาด 35 มิลลิเมตร แม้จะใช้ความเร็วรอบที่สูงกว่าถึง 1,500 รอบต่อนาที สอดคล้องกับงานวิจัยของสมศักดิ์ คำมา (2561) ที่พบว่า ความเร็วรอบประมาณ 763 รอบต่อนาทีให้ประสิทธิภาพการสับที่ดี นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำงานเพียง 4-13% ซึ่งน้อยกว่าเครื่องสับอเนกประสงค์ของอัศวิน สืบบุญการณ และคณะ (2564) ที่มีการสูญเสียสูงถึง 45-75% อย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐพงษ์ กลั่นหวาน และคณะ (2561) ที่พบว่า การสับย่อยวัสดุให้ได้ขนาดเล็กประมาณ 8-13 มิลลิเมตร เหมาะสมสำหรับการนำไปทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเร่งการย่อยสลาย ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการออกแบบใบมีดและการจัดวางองศาที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตัด การจัดวางองศาที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตัด

5.3 ด้านความยืดหยุ่นในการใช้งาน การออกแบบเครื่องทำให้สามารถปรับความเร็วรอบได้ 2 ระดับ แสดงให้เห็นถึงการคำนึงถึงการใช้งานจริงที่ต้องรองรับวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน สอดคล้องกับแนวคิดของสมศักดิ์ คำมา, จารุวรรณ สิงห์ม่วง, และพินัย ทองสวัสดิ์วงศ์ (2564) ที่ให้ความสำคัญกับการหาความเร็วรอบต่าง ๆ (500-900 รอบต่อนาที) เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสม กับวัสดุแต่ละประเภท และสอดคล้องกับงานวิจัยของศุภชัย แก้วจันทร์, สมณฑา จีระมะกร และชนิษฐา สีมา (2566) ที่พบว่า การออกแบบเครื่องให้สามารถปรับความเร็วรอบได้เป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยเฉพาะเมื่อต้องรองรับวัสดุที่มีความชื้นและความเหนียวแตกต่างกัน อีกทั้ง การออกแบบทำให้เครื่องสับใบยางพารานี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและรองรับวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน สามารถปรับให้เหมาะสมกับสภาพของใบยางพาราที่อาจมีความชื้นหรือความเหนียวแตกต่าง

กันตามฤดูกาล สอดคล้องกับหลักการออกแบบเครื่องจักรกลเกษตรที่ต้องคำนึงถึงความหลากหลายของวัสดุทางการเกษตรและความเหมาะสมกับบริบทของเกษตรกรไทย

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรมีการพัฒนาต่อยอดการออกแบบเครื่องสับใบยางพาราให้สามารถเชื่อมต่อและทำงานร่วมกับเครื่องจักรกลการเกษตรที่เกษตรกรมีใช้อยู่แล้ว เช่น รถแทรกเตอร์หรือรถไถนา การพัฒนาในลักษณะนี้จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งานและประหยัดเวลาในการทำงานของเกษตรกรได้อย่างมีนัยสำคัญ

6.2 ควรดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งความเร็วรอบที่เหมาะสมในการสับใบยางพาราเพื่อให้ได้ขนาดชิ้นส่วนที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมักนอกจากนี้ควรขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมด้านอื่น ๆ ที่สำคัญ อาทิ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวมถึงการประเมินระดับเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องตลอดจนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสำหรับการพัฒนาเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

6.3 ควรมีการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้งานเครื่องสับใบยางพาราในพื้นที่เพาะปลูกยางพาราต่าง ๆ โดยจัดให้มีการเผยแพร่ข้อมูลและจัดการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้แก่เกษตรกรชาวสวนยาง การดำเนินการดังกล่าวจะช่วยให้เกษตรกรสามารถนำใบยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการทำเกษตรอินทรีย์อันจะส่งผลดีต่อทั้งผลผลิตทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

7. เอกสารอ้างอิง

- การยางแห่งประเทศไทย. (2567). *การจัดการองค์ความรู้ การยางแห่งประเทศไทยจังหวัดนครพนม เรื่อง อาชีพเสริม-การประดิษฐ์ดอกไม้จากใบยางพารา*. <https://n9.cl/9vaiw>
- การยางแห่งประเทศไทยจังหวัดสุรินทร์. (2567). *สถานการณ์การผลิตและการตลาดยางพารา ปีการผลิต 2566/67 จังหวัดสุรินทร์*. <https://surin.moc.go.th/th/content/category/detail/id/161/iid/65169>
- ธีระพงศ์ พุ่มพวง, วรวิทย์ บุญยงค์ และ ศิรินทิพย์ เอี่ยมสำอางค์. (2561). *การพัฒนาเครื่องสับฟางในนาข้าว*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ณัฐพงษ์ กลั่นหวาน, วิชาญ ชุ่มมัน, พิษณุ สีนสมุทร, ธัญธรณ์ ตันโน และเกียรติชัย ธาราวิริยรัตน์ (2561). *เครื่องสับย่อยผักตบชวาแบบมีส่วนร่วม ตำบลทับหมัน อำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร*. วิทยาลัยชุมชนพิจิตร.
- บริษัท อีโคเลเท็กซ์ จำกัด. (2566). *น้ำยางพาราจากภาคใต้กับภาคอีสานแตกต่างกันไหม*. <https://golink.icu/2dln8aP>
- พลอยประภัสร์ แซ่โจ้ว. (2558). กยท. เตือนชาวสวนยาง งดกรีดยางช่วงผลัดใบและแตกใบอ่อน แนะนำปลูกพืชใช้น้ำน้อย เลี้ยงสัตว์ เสริมรายได้ช่วงพักกรีดยาง. https://www.raot.co.th/Mobile_detail.php?cid=386&nid=3989
- วีรพล ทองคุปต์, ฤชฎา พรหมแก้ว, ทรงยศ สารภาพ, อำนาจ วันวิโร. (2563). การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระป๋องอลูมิเนียม. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 12(2), 124-136.
- วารงรัตน์ เสนาสิงห์. (2562). *วัฒนธรรมการใช้เครื่องทุ่นแรงทางการเกษตร*. <https://www.scimath.org/article-science/item/10613-2019-09-02-01-27-39>

- ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร. (2555). *คู่มือการปลูกยางพารา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. จำนวน 4,000 เล่ม. กรุงเทพฯ : บริษัท มูฟเม้นท์ เจน ทรี จำกัด.
- ศุภชัย แก้วจันทร์, สมณชา จีระมะกร, และชนิษฐา สีมา. (2566). การพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องสับย่อยพร้อมอัดแท่งหญ้าเนเปียร์. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 8(1), 56-70.
- สาขาการออกแบบและเทคโนโลยี. (2567). *กระบวนการเทคโนโลยี*. http://designtechnology.ipst.ac.th/?page_id=165
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. (2567). *การผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ*. <https://osd101.idd.go.th/q/manual/compost guide.pdf>
- สมศักดิ์ คำมา. (2561). การออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 11(1), 82-95.
- สมศักดิ์ คำมา, จารุวรรณ สิงห์ม่วง และ พินัย ทองสวัสดิ์วงศ์. (2563). การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับวัสดุพืชเกษตรและเปลือกผลไม้. *วารสารวิชาการเกษตร*, 38(1), 58-67.
- อนุชา เพียรชนะ. (2560). การถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำปุ๋ยหมักจากใบยางพาราแห้ง สักทอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท)*, 4(1), 43-55.
- อัศวิน สืบบุญการณ, ภูเมศร์ นิยมมาก, วัชรการณ จันโสม และนนทพัทธ์ ปัดภัย. (2564). การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสับอเนกประสงค์เพื่อการเกษตร. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 6(1), 1-7.

8. คุณค่าทางวิชาการ

การพัฒนาเครื่องสับใบยางพาราฉบับนี้เป็นเครื่องมือทางการเกษตรที่มีความสำคัญในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากสวนยางพาราโดยเฉพาะใบยางพาราที่มีปริมาณมากในแต่ละฤดูกาลเป็นการแก้ปัญหาการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างเป็นระบบผ่านกระบวนการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับบริบทของเกษตรกรไทยเทคโนโลยีนี้ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับใบยางพาราที่เหลือทิ้งโดยแปรรูปเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมการใช้เครื่องสับใบยางพาราจะช่วยลดระยะเวลาและแรงงานในการย่อยสลายวัสดุเนื่องจากการสับย่อยทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้นส่งผลให้พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารได้ดีกว่าการใช้วิธีการหมักแบบดั้งเดิมนอกจากนี้เทคโนโลยีดังกล่าวยังสนับสนุนแนวคิดเกษตรยั่งยืนด้วยการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนปุ๋ยเคมีซึ่งช่วยลดต้นทุนการผลิตลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นผลดีต่อสุขภาพของเกษตรกรในระยะยาวสอดคล้องกับหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดสำหรับ กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตก

รุ่งอรุณ พรเจริญ¹ ธิติ ธาราสุข² ชลธิศ ปิติภูมิสุขสันต์^{3*}
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร^{1 2 3*}
อีเมล : chonlathit.p@rmutp.ac.th^{3*}

วันที่รับบทความ 16 มีนาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 17 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 8 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดสำหรับกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตก และเพื่อลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตทางการเกษตรตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด มีกำหนดวิธีการเก็บข้อมูลโดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกเป็นเครื่องมือในการวิจัย เพื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ผลการทดลอง พบว่า กำลังการผลิตของเครื่องบดดินสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้สูงถึง 333.33 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อวัน และมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 94.68% การปรับปรุงกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ช่วยลดขั้นตอนจาก 6 ขั้นตอนเหลือ 5 ขั้นตอน ลดจำนวนพนักงานจาก 6 คนเหลือ 4 คน และเพิ่มกำลังการผลิตจาก 500 กิโลกรัมต่อวันเป็น 2,000 กิโลกรัมต่อวัน การประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดดิน พบว่า มีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด โดยเฉพาะในด้านระบบการทำงาน ด้านการออกแบบ และด้านการบำรุงรักษา เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดต้นทุนแรงงาน และลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด

คำสำคัญ : การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร การลดความสูญเสียเปล่า เทคโนโลยีสะอาด

Optimizing Production Processes By Using Clean Technology For Organic Farming Groups, Western Region

Rungaroon Porncharoen^{1*}, Thiti Tharasuk², Chonlathit Pitipoomsuksan^{3*}

Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon^{1*,2,3}

E-mail : chonlathit.p@rmutp.ac.th^{3*}

Received 16 March 2025

Revised 17 April 2025

Accepted 8 May 2025

Abstract

The research focused on using a optimize the production process using clean technology and a reduce waste in the processing of agricultural products based on the concept of clean technology. Data collection methods were determined using in-depth interviews as a research tool to improve production process efficiency. The experimental results showed that the soil grinding machine's production capacity could be increased to 333.33 kilograms per hour, or approximately 2,000 kilograms per day, with an efficiency rate of 94.68%. The improvement of the organic fertilizer production process reduced the steps from six to five, decreased the required number of workers from six to four, and increased the production capacity from 500 kilograms per day to 2,000 kilograms per day. The evaluation of the soil grinding machine's suitability indicated that it was highly appropriate, especially in terms of operational system, design, and maintenance. It increases work efficiency, reduces labor costs and reduces waste in the production process based on the concept of clean technology.

Keywords : Agricultural product processing, Waste reduction, Clean technology

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาภาวะราคาผลผลิตเกษตรตกต่ำ ผลผลิตเกษตรล้นตลาด คุณภาพไม่ได้มาตรฐาน โดยเฉพาะการแข่งขันด้านการตลาดที่เพิ่มสูงขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ดังนั้น กระบวนการบริหารจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจึงเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันปัญหาผลผลิตล้นตลาด หรือผลผลิตตกเกรดไม่ได้ขนาดตามที่ถูกค้าต้องการ ทำให้สามารถยกระดับราคาสินค้าผลผลิตไม่ให้ตกต่ำ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลผลิตทางการเกษตร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562) การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารหรือวัตถุดิบอาหารทำให้สามารถขยายตลาดการค้าออกไปสู่ต่างประเทศ ช่วยเพิ่มพูนรายได้ให้แก่ประเทศได้เป็นอย่างดี (สถาบันอาหาร, 2565) ประกอบกับปัจจุบันมีกลุ่มเกษตรกร สถาบันเกษตรกร ตลอดจนวิสาหกิจชุมชนจำนวนมากที่มีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และจำหน่ายตามท้องตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ แต่ยังพบว่าสินค้าและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้มีคุณภาพที่แตกต่างกัน เนื่องจากผู้ประกอบการขาดความรู้ด้านเทคโนโลยีผลิต การพัฒนามาตรฐานการผลิตและผลิตภัณฑ์ การบริหารจัดการ เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

จากการลงพื้นที่เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าบริการวิชาการแก่สังคมให้กับชุมชน พบว่า ชุมชนยังขาดเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมที่เข้ามาช่วยให้การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และมีความต้องการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น (สัญญาศรณ์ สวัสดิ์โธสง และคณะ, 2562) เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากชุมชนร่วมกันแปรรูปและจำหน่ายเป็นของฝาก รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้าของชุมชนในปัจจุบันให้สามารถผลิตสินค้าได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลในปัจจุบันที่ต้องการให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้ และมีรายได้ที่ยั่งยืน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564)

การใช้เทคโนโลยีสะอาดจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดและการนำกลับมาใช้ซ้ำของกระบวนการผลิต กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตก โดยช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และก่อให้เกิดการป้องกันมลพิษตั้งแต่เริ่มกระบวนการผลิต ทำให้เกษตรกรได้มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตและปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ เพื่อทำให้ผลผลิตมีคุณภาพและได้มาตรฐานยิ่งขึ้น (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2563) ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาการใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและทำให้ลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด โดยเลือกพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีเป็นกรณีศึกษาที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดของกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตก
- 2.2 เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตทางการเกษตรตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้เทคโนโลยีสะอาดของกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตก ซึ่งใช้กระบวนการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยคณะผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตามลำดับหัวข้อ ดังนี้

3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.1.1 ขอบเขตประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มเกษตรกรของสหกรณ์ผลิตปุ๋ยอินทรีย์หนองหญ้าปล้อง จำกัด จังหวัดเพชรบุรี

3.1.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา ได้แก่ การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของสหกรณ์ผลิตปุ๋ยอินทรีย์หนองหญ้าปล้อง โดยใช้เทคโนโลยีสะอาดเข้ามาปรับปรุงกระบวนการผลิต ด้านการออกแบบเครื่องบดและร่อนดินสำหรับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ด้านระบบการทำงาน ด้านการบำรุงรักษา

3.1.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา ได้แก่ ช่วงระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือน มิถุนายน 2566 - ธันวาคม 2566

3.1.4 ขอบเขตด้านพื้นที่ ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มเกษตรกรของสหกรณ์ผลิตปุ๋ยอินทรีย์หนองหญ้าปล้อง จำกัด จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 10 คน ทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ซึ่งมีกระบวนการผลิต ดังนี้

3.2 การศึกษากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตก

3.2.1 กระบวนการหมัก ระยะเวลาในการหมัก 45 วัน ถึง 3 เดือน ซึ่งใช้แรงงานคน 5-6 คน ซึ่งต้องทำการผสมวัตถุดิบแต่ละชนิดลงในบ่อหมัก ปริมาณ 5,000-5,200 กก. เมื่อหมักตัวแล้วจะยุบไป ตามสัดส่วนวัตถุดิบหลัก ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ มูลไก่ มูลวัว และมูลหมู จากนั้นทำการพลิกกองทุก 7 วัน คลุกเคล้าให้เข้ากัน ระบายความร้อน ไม่ให้เกิน 70 องศาเซลเซียส หากกลับกองซ้ำ จะทำให้อยู่ยลสลายช้า ซึ่งหากวัตถุดิบ กอง-ตากแดดนานแล้ว ระยะเวลาหมักจะลดลง เป็น 45 วัน – 2 เดือน (อานัฐ ต้นโช, 2564)

3.2.2 ใส่เครื่องผสม ซึ่งมีสัดส่วนการเติมน้ำหมักชีวภาพเต็มสิ่งที่ย่อยง่าย พร้อมให้พืชรากได้ทันที เช่น หากต้องการบำรุงต้น เติมน้ำ หรือต้นไม้เล็ก ได้แก่ มูลไส้เดือน รำ น้ำหมักปลา หรือกากปลาป่น เป็นต้น

3.2.3 สัดส่วนปุ๋ย 1 กระสอบ (30 กิโลกรัม) ประกอบด้วย ตัวเต็ม รำ 1 กิโลกรัม น้ำหมักปลา 1 ลิตร มูลไส้เดือน 1 กิโลกรัม มูลค่างควา 1 กิโลกรัม และมูลสัตว์หมักกับกากอ้อยแล้ว 24 กิโลกรัม

3.2.4 ตีป่น (เครื่องร่อน-ตีป่น) นำปุ๋ยจากเครื่องผสมเทใส่เครื่องร่อน-ตีป่น เพื่อให้ร่วนและแยกชิ้นส่วนที่ยังใหญ่อยู่ไปเป็นดิน หรือไปผสม-ตีป่นใหม่

3.2.5 ทำการปั้นเม็ด โดยการนำปุ๋ยที่ผสมตีป่นแล้ว เข้าเครื่องงานปั้นเม็ดแต่ยังมีความชื้น ต้องตากในที่ร่ม ใส่ความชื้นโดยการเผือก ผึ่งลมให้แห้ง โดยใช้ผ้าใบเชียวปูพื้น แล้วเกลี่ยด้วยคราดให้ปุ๋ยเม็ดกระจายทั่ว ๆ ไม่หนาแน่นเกินไป (ฤดูฝน 5-6 วัน และฤดูร้อน 3 วัน)

3.2.6 เมื่อปุ๋ยแห้งแล้ว คัดสิ่งแปลกปลอม เช่น เส้นใยกระสอบ หรือเศษใบไม้ ขนนก ซากสัตว์ (ตัว) ก่อนบรรจุกระสอบ

3.2.7 เก็บรักษา-รอจำหน่าย สามารถเก็บได้ 3-5 เดือน เมื่อปุ๋ยทั้ง 2 ประเภท มีอุณหภูมิเหมาะสมแล้ว (ไม่ร้อน-ไม่ชื้นเกินไป) โดยการผึ่งปากกระสอบ แล้วเก็บในโรงเก็บปุ๋ย

3.3 การพัฒนาเครื่องบดและร่อนดินสำหรับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

คณะผู้วิจัยได้มีการนำแนวคิดการออกแบบทางวิศวกรรม โดยเน้นความแข็งแรงและเหมาะสมกับการใช้งาน รวมถึงลดภาระการทำงาน ตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด มาออกแบบเครื่องบดและร่อนดิน โดยมีส่วนประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ (ดังรูปที่ 1) มีส่วนประกอบหลัก 6 ส่วน ได้แก่

หมายเลขที่ 1 โครงสร้างเครื่องบดดิน โครงสร้างทำด้วยเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 2x2 นิ้ว ความหนา 3.2 มิลลิเมตร และทำการเชื่อมประกอบโครงสร้าง ด้วยการเชื่อมแบบ SMAW

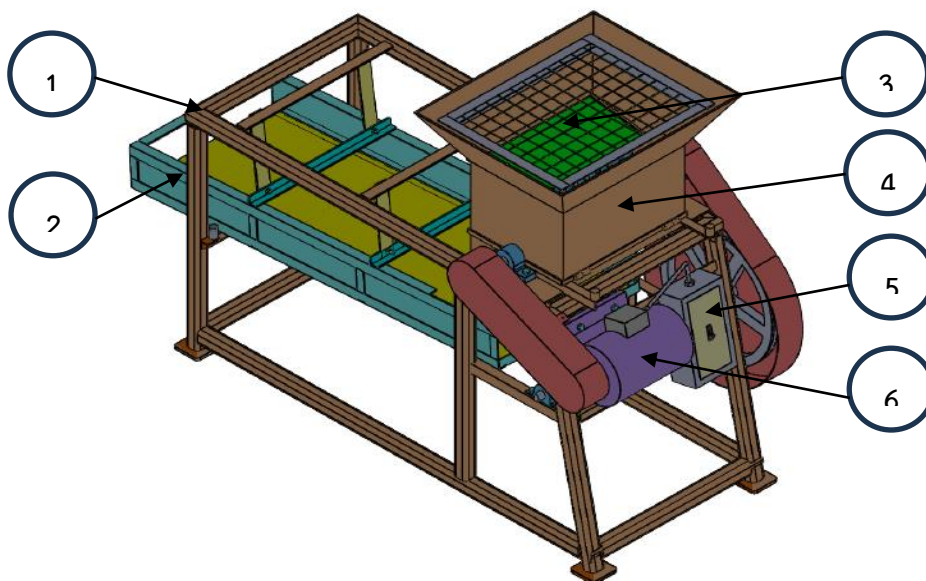
หมายเลขที่ 2 ชุดตะแกรงร่อนดิน โครงสร้างทำด้วยเหล็กฉาก ขนาด 30x30 มิลลิเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร แผ่นตะแกรงทำด้วยแผ่นเหล็กขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร และขนาด รูตะแกรง 6 มิลลิเมตร

หมายเลขที่ 3 ชุดใบมีดตีดิน จำนวน 1 ชุด โครงสร้างทำด้วยท่อเหล็กดำ ขนาด 4 นิ้ว ความหนา 5 มิลลิเมตร และใบมีดทำด้วยแผ่นเหล็กกล้าขนาดความหนา 6 มิลลิเมตร จำนวน 50 ใบ

หมายเลขที่ 4 ชุดอ่างตีดิน โครงสร้างทำด้วยแผ่นเหล็กขนาดความหนา 6 มิลลิเมตร

หมายเลขที่ 5 ตู้ควบคุมไฟฟ้า มีขนาดความกว้าง 170 มิลลิเมตร ความสูง 300 มิลลิเมตรและความยาว 100 มิลลิเมตร

หมายเลขที่ 6 คือ มอเตอร์ต้นกำลัง ขนาด 4 hp ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที



รูปที่ 1 การออกแบบเครื่องบดและร่อนดินสำหรับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

3.4 การทดสอบหาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตและด้านระยะเวลาการผลิต

คณะผู้วิจัยนำเครื่องบดและร่อนดินที่พัฒนาขึ้นแล้วมาทดสอบใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดังนี้

3.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพด้านกระบวนการผลิต โดยทำการทดสอบใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 10 กิโลกรัม จำนวน 10 ครั้ง และทำการหาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต (Production Efficiency) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 1

$$\text{ประสิทธิภาพกระบวนการผลิต} = \frac{\text{กระบวนการผลิตก่อนปรับปรุง} - \text{กระบวนการผลิตหลังปรับปรุง}}{\text{กระบวนการผลิตก่อนปรับปรุง}} \times 100 \quad (1)$$

3.4.2 การทดสอบประสิทธิภาพด้านระยะเวลาการผลิต โดยพิจารณาเวลาในการร่อนดิน ซึ่งใช้การทดสอบเดียวกับด้านกระบวนการผลิต

3.5 การประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดและร่อนดินสำหรับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

คณะผู้วิจัยดำเนินการหาประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดและร่อนดินสำหรับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ แบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบ ด้านระบบการทำงาน และด้านการบำรุงรักษา โดยมีลำดับการดำเนินการ ดังนี้

3.5.1 กำหนดหัวข้อการประเมินให้สอดคล้องทั้งด้านการออกแบบ ด้านระบบการทำงาน และด้านการบำรุงรักษา

3.5.2 สร้างแบบประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดและร่อนดิน มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลและหาค่าสถิติโดยใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.5.3 นำแบบประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดและร่อนดินเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ที่มีประสบการณ์ทำงานทางด้านเครื่องจักรทางการเกษตร 10 ปีขึ้นไป จากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

3.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยหาค่าสถิติโดยใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนี้

1) การหาค่าเฉลี่ย (Mean) ดังแสดงสมการที่ 2

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2)$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ย (Mean)
 $\sum X$ = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 N = จำนวนประชากรทั้งหมด

2) การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ดังแสดงสมการที่ 3

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

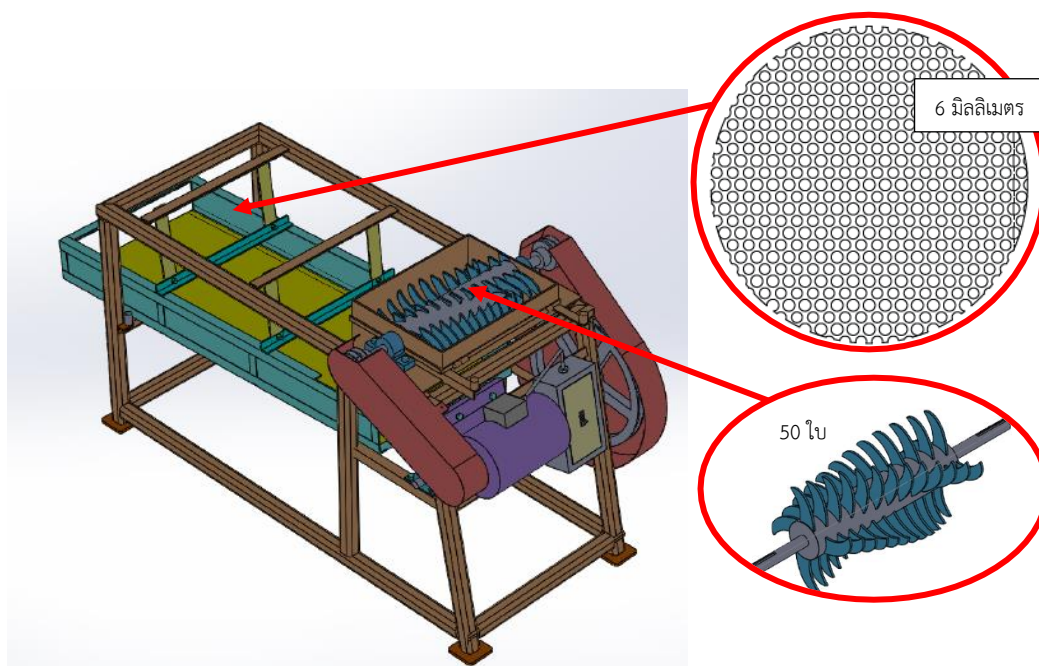
เมื่อ SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 X = ข้อมูลในแต่ละจำนวน
 $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น
 n = จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดของกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตก

จากการศึกษากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ มีขั้นตอนทั้งหมด 6 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการหมัก ขั้นตอนผสม ขั้นตอนตีป่น ขั้นตอนการร่อน บั่นเม็ด และบรรจุกระสอบ และใช้พนักงานทั้งหมด จำนวน 6 คน ที่รับผิดชอบในการดำเนินงาน กระบวนการขั้นตอนการตีป่นและการร่อน ซึ่งใช้เครื่องร่อนและเครื่องตีป่น เป็นขั้นตอนสำคัญในการทำให้ปุ๋ยมีความร่วน และแยกชิ้นส่วนที่ยังใหญ่ออกไปได้ถูกส่งไปยังขั้นตอนการผสมหรือตีป่นใหม่ เพื่อให้ได้ปุ๋ยที่มีความละเอียดและคุณภาพดีขึ้น ปัญหาที่พบในขั้นตอนการตีป่นและการร่อนคือ ประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำกว่าที่คาดหวัง ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตโดยรวม ในขั้นตอนการร่อนมีการผลิตได้เพียง 500 กิโลกรัมต่อวัน (โดยการทำงาน 1 วัน มีระยะเวลา 6 ชั่วโมง) หมายความว่า มีความล่าช้าในการผลิตและอาจทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดได้อย่างทันเวลา นอกจากนี้ยังอาจมีปัญหาเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเครื่องจักร การเลือกใช้เครื่องมือที่ไม่เหมาะสม หรือกระบวนการที่ไม่เป็นระบบที่สามารถทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพต่ำลง ซึ่งเมื่อทำการพัฒนาเครื่องบดและร่อนดินที่ออกแบบใหม่ โดยมีการออกแบบชุดใบมีดตีดิน จำนวน 1 ชุด ใบมีดทำด้วยแผ่นเหล็กกล้าขนาดความหนา 6 มิลลิเมตร จำนวน 50 ใบ และชุดตะแกรง

ร่อน โดยมีการออกแบบแผ่นตะแกรงทำด้วยแผ่นเหล็กขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร และขนาดรูตะแกรง 6 มิลลิเมตร เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีการออกแบบชุดใบมีดตีดินและชุดตะแกรงร่อนที่มีความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพสูง ดังแสดงรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบเครื่องบดและร่อนดิน

ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดและร่อนดินแบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบ ด้านระบบการทำงาน และด้านการบำรุงรักษา ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดดิน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดและร่อนดิน

ด้านการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ด้านการออกแบบ	4.60	0.50	มากที่สุด
2. ด้านระบบการทำงาน	4.76	0.44	มากที่สุด
3. ด้านการบำรุงรักษา	4.44	0.51	มาก
รวม	4.60	0.49	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดและร่อนดิน พบว่า ในภาพรวมผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องบดและร่อนดินมีความเหมาะสมระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.60$, $S.D.=0.49$) เมื่อพิจารณารายด้าน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.44 – 4.76 พบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านระบบการทำงานมีความเหมาะสมระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.76$, $S.D.=0.44$) รองลงมาเรียงตามลำดับ ได้แก่ ด้านการออกแบบ มีความเหมาะสมระดับ

มากที่สุด ($\bar{X}=4.60$, $S.D.=0.50$) และด้านการบำรุงรักษามีความเหมาะสมระดับมาก ($\bar{X}=4.44$, $S.D.=0.51$) ตามลำดับ

ผลจากการทำการทดสอบใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 10 กิโลกรัม หรือ 10,000 กรัม ลงในเครื่องบดและร่อนดิน ทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง โดยหาค่าปริมาณน้ำหนักร้อยอินทรีย์ที่ผ่านตะแกรง และปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านตะแกรง เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องบดดิน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพด้านกระบวนการผลิตและด้านระยะเวลาของเครื่องบดและร่อนดิน

ครั้งที่	น้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ ที่ผ่านตะแกรง (กิโลกรัม)	น้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ ที่ไม่ผ่านตะแกรง (กิโลกรัม)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (วินาที)
1	9.10	0.90	90.11	98.28
2	9.12	0.88	90.35	98.50
3	9.34	0.66	92.93	100.87
4	9.45	0.55	94.18	102.06
5	9.56	0.44	95.40	103.25
6	9.67	0.33	96.59	104.44
7	9.78	0.22	97.75	105.62
8	9.89	0.11	98.89	106.81
9	9.23	0.77	91.66	99.68
10	9.90	0.10	98.99	106.92
เฉลี่ย	9.50	0.50	94.68	102.64

จากตารางที่ 2 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพด้านกระบวนการผลิตและด้านระยะเวลาของเครื่องบดและร่อนดิน จากการทดสอบ 10 ครั้ง พบว่า กำลังการผลิตของเครื่องบดดิน ให้ปุ๋ยมีความร่วน และมีความละเอียดมากขึ้น ไม่ต้องนำไปยังขั้นตอนการผสมหรือตีป่นใหม่ โดยมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของเครื่องบดและร่อนดินเท่ากับ 94.68% ใช้ระยะเวลาการผลิต 102.64 วินาที และได้น้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านตะแกรง 9.50 กิโลกรัม ที่สามารถนำไปใช้ปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต่อไปได้ และมีน้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านตะแกรง 0.50 กิโลกรัม ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์นี้สามารถนำไปบดและร่อนดินใหม่ได้

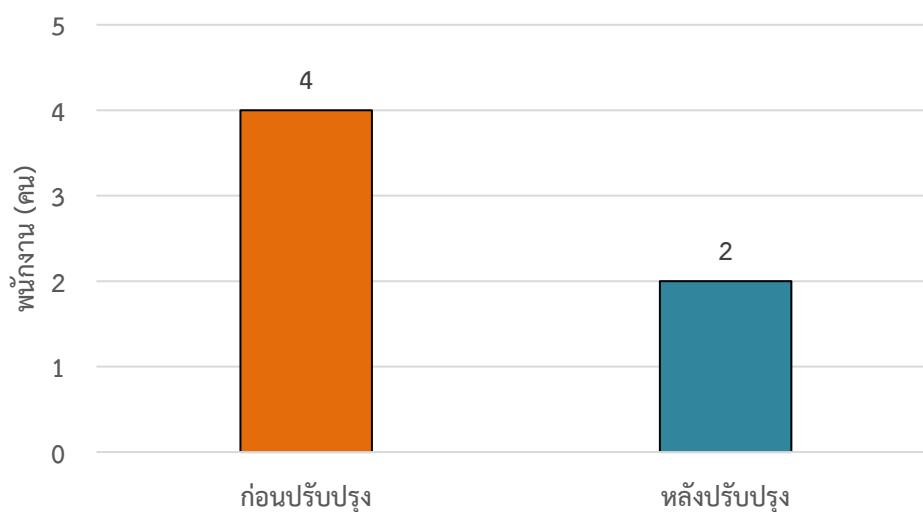
4.2 ผลการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตทางการเกษตรตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด

เมื่อพิจารณาผลการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตทางการเกษตรตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด พบว่า เครื่องบดและร่อนดินสามารถลดขั้นตอนการตีป่นและการร่อน ทำให้การผลิตดินบดได้เพิ่มขึ้นถึง 2,000 กิโลกรัมต่อวันในขั้นตอนการตีป่นและการร่อน ซึ่งการใช้เครื่องบดและร่อนดินสามารถทำให้ปุ๋ยมีความร่วน และมีความละเอียดมากขึ้น ลดขั้นตอนการผสมหรือตีป่นใหม่ นอกจากนี้ยังช่วยลดจำนวนพนักงานที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จาก 6 คน เหลือเพียง 4 คน ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดต้นทุนแรงงาน และลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาดเครื่องบดและร่อนดิน ดังแสดงรูปที่ 3

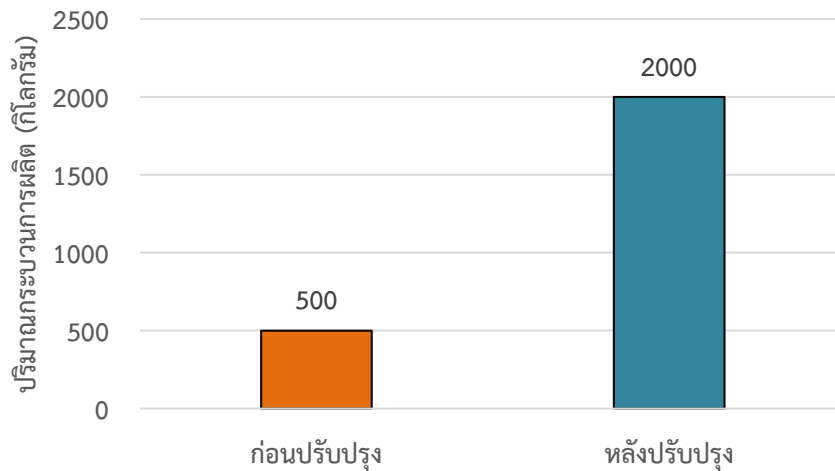


รูปที่ 3 เครื่องบดและร่อนดิน

เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง พบว่า ขั้นตอนกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปรับปรุงมีทั้งหมด 6 ขั้นตอน หลังปรับปรุงเหลือ 5 ขั้นตอน ซึ่งสามารถช่วยลดจำนวนพนักงานที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จาก 6 คน เหลือเพียง 4 คน ดังแสดงรูปที่ 4 และกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปรับปรุง มีการผลิตได้เพียง 500 กิโลกรัมต่อวัน หลังปรับปรุงเพิ่มขึ้นถึง 2,000 กิโลกรัมต่อวัน ดังแสดงรูปที่ 5



รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบพนักงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง



รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ตารางที่ 3 ผลการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ประสิทธิภาพ
ขั้นตอนการผลิต (ขั้นตอน)	6	5	20.00%
พนักงาน (คน)	6	4	40.00%
ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	500	2,000	75.00%

จากตารางที่ 3 ผลการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงพบว่า กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ มีขั้นตอนการผลิตก่อนปรับปรุง 6 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 4 ขั้นตอนซึ่งคิดเป็น 20.00% ซึ่งส่งผลให้จำนวนพนักงานก่อนปรับปรุงจาก 6 คน เหลือเพียง 4 คน ซึ่งคิดเป็น 40.00% และการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ก่อนปรับปรุงได้เพียง 500 กิโลกรัมต่อวัน หลังปรับปรุงเพิ่มขึ้น 2,000 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งคิดเป็น 75.00%

5. อภิปรายผลและสรุปผล

5.1 ผลเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดของกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตก พบว่า จากการทดสอบ 10 ครั้ง กำลังการผลิตของเครื่องบดดิน ให้ปุ๋ยมีความร่วน และมีความละเอียดมากขึ้น ไม่ต้องนำไปยังขั้นตอนการผสมหรือตีปั่นใหม่ โดยมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของเครื่องบดและร่อนดินเท่ากับ 94.68% ใช้ระยะเวลาการผลิต 102.64 วินาที และได้น้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านตะแกรง 9.50 กิโลกรัม ที่สามารถนำไปใช้ปั่นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต่อไปได้ และมีน้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านตะแกรง 0.50 กิโลกรัม ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์นี้สามารถนำไปบดและร่อนดินใหม่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของศิริตัน และคณะ (2566) ได้ทำการศึกษาสภาพปัญหา หาแนวทางการปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการบรรจุของบริษัทผู้ผลิตดินผสม สำหรับอุตสาหกรรมเชรามิก โดยใช้ การศึกษาการทำงานด้วยเครื่องมือแผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ (Multiple activity chart) ในการบันทึกข้อมูล หาแนวทางการปรับปรุงโดยใช้การลดความสูญเสียด้วยหลักการ ECRS พร้อมทั้งเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการดังกล่าวคือ 1) เวลาว่างของเครื่องจักร รวมทั้งเวลารอคอยของพนักงาน และ 2) การทำงานของเครื่องจักรไม่เต็มประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงโดยใช้หลักการ

ECRS ได้แก่ 1) การรวมขั้นตอน รวมพื้นที่เข้าด้วยกัน 2) การจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม โดยใช้การสลับขั้นตอน และงานให้กับพนักงาน และ 3) การออกแบบการทำงานให้ง่ายขึ้น โดยตัดคันเหล็กบางจุดที่ขัดขวางการเคลื่อนไหวของพนักงาน ผลการปรับปรุง พบว่า เวลาที่ใช้ในการบรรจุต่อ 1 ถัง ลดลงร้อยละ 53.00 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 89.58 ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานคนที่ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 26.94 และ 43.86 ตามลำดับ ส่งผลให้ผลผลิตภาพของกระบวนการในภาพรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 105.88 และสามารถลดต้นทุนแรงงานในการบรรจุได้ 19,320 บาทต่อปี และสอดคล้องกับงานวิจัยของศุภกาส ตัญเต็มวงศ์ และคณะ (2567) ทำการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตจากการศึกษาขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผลิต พบว่า ขั้นตอนการทำการฝังเตามีกิจกรรมในการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มส่งผลให้กระบวนการทำงานเกิดความล่าช้า คือ ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย การขนส่ง และการเคลื่อนไหวมากเกินไป จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ โดยใช้หลักการ ECRS เพื่อขจัดงานที่ไม่จำเป็น ทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยขึ้นรูปฝังเตา โดยการยุบรวมขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแผ่นและการเจาะรู หลังจากการปรับปรุง พบว่า สามารถลดกิจกรรมในขั้นตอนการทำการฝังเตาจากเดิม 14 กิจกรรม เหลือ 11 กิจกรรม เวลาในการทำงานของขั้นตอนการทำการฝังเตาลดลงจากเดิม 6,100.75 นาที/ชิ้น เหลือ 4,657.35 นาที/ชิ้น คิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 23.66 และรอบเวลาในการทำงานของกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่จากเดิม 6,102.45 นาที/ใบ ลดลงเหลือ 4,662.45 นาที/ใบ (เปรมชัย มูลหล้า, 2562)

5.2 ผลการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตทางการเกษตรตามแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด พบว่า กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ มีขั้นตอนการผลิตก่อนปรับปรุง 6 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 4 ขั้นตอน ซึ่งคิดเป็น 20.00% ซึ่งส่งผลให้จำนวนพนักงานก่อนปรับปรุงจาก 6 คน เหลือเพียง 4 คน ซึ่งคิดเป็น 40.00% และการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปรับปรุงได้เพียง 500 กิโลกรัมต่อวัน หลังปรับปรุงเพิ่มขึ้น 2,000 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งคิดเป็น 75.00% สอดคล้องกับงานวิจัยของอัจฉราภรณ์ ชื่นตา และชนะ เยี่ยงกมลสิงห์ (2563) ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดปัญหาที่เกิดความเสียหายกับสินค้าผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดของหลักการปฏิบัติที่ดีสำหรับการผลิตผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค (GMP) โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตและใช้แผนภูมิการไหลเพื่อวิเคราะห์กระบวนการที่ก่อให้เกิดความสูญเสียทำให้สินค้ามีโอกาสเกิดความเสียหายจึงนำแนวคิดการลดความสูญเสียเปล่า (7 Waste) ตามหลักของลีนมาประยุกต์ใช้และมีการลดระยะเวลาในการผลิตลงเพื่อให้สินค้าถึงผู้บริโภคเร็วขึ้น และรักษาคุณภาพของสินค้า (ณัฐศยา สิทธิโชคโรตม, 2552) จากการปรับปรุงแก้ไขสามารถกำจัดปัญหาทุเรียนเป็นเมือกมีรสชาติเปรี้ยวได้ร้อยละ 100 ลดระยะเวลาในการรอคอยก่อนการจัดเก็บสินค้าได้ร้อยละ 70 และลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้าได้ร้อยละ 57 ปัญหาที่ส่งมึนน้ำขังในบรรจุภัณฑ์ได้ศึกษาแนวคิดการจัดการระบบสายโซ่ความเย็นโดยมีการควบคุมอุณหภูมิความเย็นในระหว่างการขนส่งส่งผลให้สามารถควบคุมอุณหภูมิความเย็นได้เพิ่มขึ้น 8 ชั่วโมง กำจัดปัญหาน้ำขังในบรรจุภัณฑ์ได้ร้อยละ 100 และปัญหาที่สามทุเรียนแข็งและมีรสชาติจืดได้ศึกษาการออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีตัวบ่งชี้บอกระดับความสุกของทุเรียน เพื่อปรับปรุงปัญหาทุเรียนแข็งและมีรสชาติจืดสามารถกำจัดปัญหาทุเรียนแข็งและมีรสชาติจืดได้ร้อยละ 89 จากการนำแนวคิดในแต่ละด้านมาประยุกต์และปรับใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาส่งผลให้มีมูลค่าความเสียหายลดลง 2,184,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 98 และสอดคล้องกับงานวิจัยของภาณุวัฒน์ วงศ์แสงน้อย และณลิน เพียรทอง (2566) ได้ประยุกต์เทคนิคลีนในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตให้กับกลุ่มวิสาหกิจผู้ผลิตยางพาราแผ่นเรียบ ในจังหวัดสกลนคร นครพนม มุกดาหาร และบึงกาฬ ซึ่งใช้แรงงานคนเป็นหลักในการผลิตจึงเกิดความเมื่อยล้าและล่าช้า เครื่องรีดยางพาราแผ่นเรียบได้ถูกออกแบบขึ้นโดยรวม 3 ขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน และนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตยางพาราแผ่นเรียบหลังการปรับปรุง กระบวนการผลิตมีขั้นตอนลดลงจาก 19 ขั้นตอนเหลือ 14 ขั้นตอน คิดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน 26.3% ระยะทางลดลงจาก 16.90 เมตร เหลือ 10.25 เมตร คิดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน 39.5% และเวลาในกระบวนการผลิต ลดลงจาก 263 นาที เหลือ 187 นาที คิดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพใน

การทำงาน 28.3% นั่นคือ ขั้นตอนการผลิตลดลง 5 ขั้นตอน ระยะทางลดลง 6.65 เมตร และเวลาการผลิตลดลงได้ 76 นาที

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ในการศึกษาต่อไป พัฒนาเครื่องบดดินและกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง เพื่อค้นหาวิธีการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น การปรับปรุงการออกแบบเครื่องบดดินให้สามารถรองรับการผลิตในปริมาณที่มากขึ้น และการค้นหาวัตถุดิบหรือเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ได้

6.2 ผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปขยายผลใช้ในชุมชนอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และลดปัญหาผลผลิตตกต่ำในวงกว้าง การเผยแพร่ข้อมูลและการฝึกอบรมจะช่วยให้เกษตรกรและผู้ประกอบการมีความรู้และทักษะในการใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเอง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ตลอดจนบรรดากลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ภาคตะวันตกจากทุกพื้นที่ รวมถึงหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). *เทคโนโลยีสะอาดและการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม*. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). *คู่มือการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร*. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2564). *นโยบายและแผนพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2566-2570*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ณัฐศยา สิทธิโศวโรดม. (2552). *ระบบการผลิตและการจัดการทรัพยากรในอุตสาหกรรม*. สำนักพิมพ์การจัดการ.
- เปรมชัย มูลหล้า. (2562). การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วยแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด กรณีศึกษาบริษัท จ. เจริญมาร์เก็ตติ้ง จำกัด. *Industry Technology Lampang Rajabhat University*, 12(1), 40-53.
- ภาณุวัฒน์ วงศ์แสงน้อย และณลิน เพียรทอง. (2566). การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตยางพาราแผ่น เรียบด้วยเทคนิคสลิ. *Journal of Engineering and Innovation*, 16(2), 168-175.
- ศุภกมล ดุ้ยเต็มวงศ์, อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล, วรพจน์ ศิริรักษ์, ณัฐพล ศิริรักษ์ และกิตติชัย จินะไชย. (2567). การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่โดยการลดความสูญเสียเปล่าตามหลักการ ECRS. *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 10(1), 67-77.
- ศิริตัน แจ่มรักษ์สกุล, จินตณัย ไพรสนนท์ และกิตติชัย อธิกุลรัตน์. (2566). การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุภัณฑ์ศึกษาบริษัทผู้ผลิตดินผสม สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก. *วารสารวิชาการ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 5(1), 73-83.
- สัญญาสารณ์ สวัสดิ์ไธสง, ละมัย ร่มเย็น, ภาวรินทร์ สวัสดิ์ไธสง, พัทธนันท์ ชมภูษ และลัดดาวัลย์ ร่มเย็น. (2562). สภาพปัญหาความต้องการคุณภาพชีวิตและรูปแบบการพัฒนาประสิทธิภาพ การผลิตและการสร้างมูลค่าสินค้าเกษตรของวิสาหกิจชุมชน (Problems, Needs, Quality of Life and the Development Model of Production Efficiency and Value Creation of Agricultural Products of Community Enterprises). *Journal of Interdisciplinary Research: Graduate Studies*, 8(2), 230-240.



- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *ภาวะเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2566*. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- สถาบันอาหาร. (2565). *แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารไทย ปี 2566*. กรุงเทพฯ: สถาบันอาหาร.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2563). *เทคโนโลยีสะอาดเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน*. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- อานัฐ ตันโซ. (2564). หลักการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงระดับอุตสาหกรรม. *วารสารดินและปุ๋ย*, 37(1-4), 30-39.
- อัจฉราภรณ์ ชื่นตา และชนะ เยี่ยงกมลสิงห์. (2563). การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตทุเรียนสดเพื่อส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา กรณีศึกษา บริษัท ACT จำกัด. *In Rangsit Graduate Research Conference: RGRC, 15(2563)*, 1421-1429.

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร

ณัฐชา พิมพ์ารณ์^{1*} ชัยยะเนตร ถาพินนา² ศุภโชค เสมศรี³ ชำนาญ เรืองฤทธิ์⁴ มานะ อัมสูงเนิน⁵
สาขาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพสุวรรณภูมิ^{1*2345}

อีเมล : Natchada.p@bsu.ac.th^{1*}

วันที่รับบทความ 19 ธันวาคม 2567

วันแก้ไขบทความ 20 กุมภาพันธ์ 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 มีนาคม 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อหาความสูญเสียในกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลา , ด้านขั้นตอน , ด้านระยะทาง ในกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง ดำเนินการวิจัยด้วยการศึกษาสภาพของปัญหาจากบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง โดยใช้ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล และใช้แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการผลิตร่วมกับหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ แล้วเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ จากการใช้แผนผังแสดงเหตุและผลมาวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสีย มีสาเหตุจาก วัตถุดิบ(อะไหล่) , วิธีการทำงาน , ผู้ปฏิบัติงาน และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน และใช้หลักการ ECRS พิจารณาความสูญเสียในกระบวนการ พบว่า มีขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนและการจัดการระบบการเบิกจ่ายอะไหล่ไม่มีความชัดเจนเป็นมาตรฐาน และ ด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการ พบว่า ด้านขั้นตอนการทำงาน ก่อนปรับปรุง 30 ขั้นตอน หลังปรับปรุงเหลือ 7 ขั้นตอน ลดลงได้ 23 ขั้นตอน ด้านระยะเวลาในการเบิกอะไหล่ต่อชิ้น ก่อนปรับปรุง 25 นาที 36 วินาที หลังปรับปรุง เหลือ 21 นาที 32 วินาที ลดลงได้ 4 นาที 4 วินาที และด้านระยะทาง ก่อนปรับปรุง 280 เมตร หลังทำการปรับปรุงเหลือ 238 เมตร ลดลงได้ 42 เมตร ต่อการเบิกอะไหล่ 1 ครั้ง

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ การจัดการสินค้าคงคลังอะไหล่ งานบำรุงรักษาเครื่องจักร

Improving the efficiency of spare parts management process for machinery maintenance

Natchada Pimpaporn^{1*} Chaivanet Thapinna² Supachoke Semsri³

Chamnan Rueangrit⁴ Mana Imsungnen⁵

Department of Industrial Management, Faculty of Science and Technology,

Bangkok Suvarnabhumi University ^{1*2,3,4,5}

E – mail : Natchada.p@bsu.ac.th^{1*}

Received 19 December 2024

Revised 20 February 2025

Accepted 28 March 2025

Abstract

This research aims to find the waste in the process of managing the inventory of maintenance work and to increase the efficiency in terms of time, steps, and distance in the process of managing the inventory of maintenance work. The research was conducted by studying the problem conditions from a case study company using theories and related research and analyzing the causes of the problem to lead to the solution with a cause and effect diagram and using the production process flow diagram together with the ECRS principle to apply to improve the process and compare the results before and after the improvement.

The research results can be summarized as follows: from using a cause and effect diagram to analyzing the causes of waste, there are causes from raw materials (spare parts), work methods, operators and work environment and using the ECRS principle to consider waste in the process, it was found that there are redundant work steps and the management of the spare parts disbursement system is not clear and standard. And in terms of increasing efficiency in the process, it was found that in terms of work procedures, before improvement there were 30 steps, after improvement there were 7 steps, a reduction of 23 steps; in terms of time spent withdrawing spare parts per piece, before improvement there were 25 minutes 36 seconds, after improvement there were 21 minutes 32 seconds, a reduction of 4 minutes 4 seconds; and in terms of distance, before improvement there were 280 meters, after improvement there were 238 meters, a reduction of 42 meters per spare parts withdrawal.

Keywords: Efficiency , Spare parts inventory management , Machinery maintenance work

1. บทนำ

การจัดการงานซ่อมบำรุงเป็นงานที่มีความสำคัญต่อโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในส่วนของการผลิต เนื่องจากงานผลิตจะต้องใช้เครื่องจักรหลายประเภท หลายขนาด ในการผลิตสินค้าต่าง ๆ ซึ่งหากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์มีความบกพร่องเสียหาย จะส่งผลกระทบต่อตรงต่อการผลิตที่จะต้องหยุดชะงัก เกิดการรอคอย หรือทำให้ชิ้นงานมีความเสียหายไม่ได้ตามคุณภาพ งานซ่อมบำรุงจึงมีส่วนช่วยในการสนับสนุนให้เครื่องจักรมีความพร้อมในการใช้งานได้ตลอดเวลา ทั้งนี้ในส่วนของการซ่อมบำรุงจึงจำเป็นต้องมีระบบการบริหารจัดการอะไหล่ อุปกรณ์ และวัสดุต่างๆ ให้เพียงพอ ให้มีคุณภาพและพร้อมต่อการเบิกไปใช้งาน และในงานซ่อมบำรุงมีทั้งในส่วนที่บำรุงรักษาเชิงป้องกัน และบำรุงรักษาเมื่อเสียหรือเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งหากการจัดการอะไหล่ของงานซ่อมบำรุงขาดประสิทธิภาพจะทำให้เกิดผลเสียต่อหน่วยงานทั้งทางตรงและทางอ้อม ในหน่วยงานกรณีศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีปัญหาด้านการขาดประสิทธิภาพในกระบวนการจัดการอะไหล่ ทำให้เกิดความสูญเสียเปล่าทั้งด้านเวลาและพื้นที่ และขั้นตอนการทำงานทางคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเพื่อหาความสูญเสียเปล่าของกระบวนการและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการจัดการอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร โดยจะใช้เครื่องมือคุณภาพในส่วนผังแสดงเหตุและผล วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 4M1E (ประเทือง วิบูลศักดิ์ , 2552) และใช้หลักการ ECRS และการศึกษาการทำงาน ในส่วนของแผนภูมิกระบวนการไหล (อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา, 2560) เพื่อหาวิธีการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

จากข้อมูลการดำเนินงานที่ผ่านมาของบริษัทกรณีศึกษาได้สำรวจปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานในส่วนงานการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง โดยแบ่งหัวข้อของปัญหาได้ 2 หัวข้อ คือ ปัญหาในการจัดเก็บอะไหล่ที่ขาดประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เกิดการรอคอย ทำให้ชิ้นส่วนอะไหล่เกิดการชำรุดเสียหาย อะไหล่บางส่วนไม่ได้ถูกใช้งานหมดอายุ เสียเวลาในการค้นหา และการใช้พื้นที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น และ ปัญหากระบวนการเบิกจ่ายอะไหล่ที่ขาดประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการทำงานซ้ำซ้อน เกิดการรอคอย และเกิดการเคลื่อนที่ของคนมากเกินไป เป็นต้น ซึ่งจากปัญหาทั้งสองส่วนที่กล่าวมานี้ได้ส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการทำงานทั้งในส่วนงานแผนกอะไหล่ ส่วนงานผลิตและส่วนงานที่เกี่ยวข้องอีกด้วย เช่น เกิดการรอคอย เกิดเวลาสูญเสียเปล่า เกิดความผิดพลาดในการทำงาน เกิดการทำงานซ้ำซ้อน และทำให้มีต้นทุนการดำเนินงานมากเกินไป ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเพื่อหาสาเหตุของความสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการ เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นและช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้นได้ ซึ่งได้กำหนดทฤษฎีที่จะใช้ ได้แก่ ผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา และใช้ทฤษฎีการศึกษาการทำงานในส่วนแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) การควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) ร่วมกับหลักการลดความสูญเสียเปล่า ECRS ในการพิจารณาทบทวนขั้นตอนการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทางคณะผู้วิจัยคาดหวังว่าจะได้ผลของการศึกษาครั้งนี้คือได้ขั้นตอนการปฏิบัติงานวิธีใหม่ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่หน่วยงานและเป็นโอกาสในการได้ปรับปรุงและพัฒนาส่วนงานการจัดการซ่อมบำรุงให้มีระบบและมาตรฐานในส่วนย่อยให้ชัดเจน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อตัวผู้ปฏิบัติงานที่จะทำงานได้สะดวก รวดเร็วและมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นทั้งระดับบุคคล ระดับส่วนงานและระดับองค์กร จะสามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มโอกาสทางธุรกิจได้อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อหาสาเหตุของความสูญเสียเปล่าในกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง
- 2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลา , ด้านขั้นตอน , ด้านระยะทาง ในกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง

3. วิธีการวิจัย

- เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุงของหน่วยงานการศึกษาแห่งหนึ่ง
- วิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสียเปล่าในกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง
- การวิเคราะห์และออกแบบการแก้ปัญหากระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง
- การวิเคราะห์และออกแบบการแก้ปัญหากระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุงโดยใช้แผนภูมิ

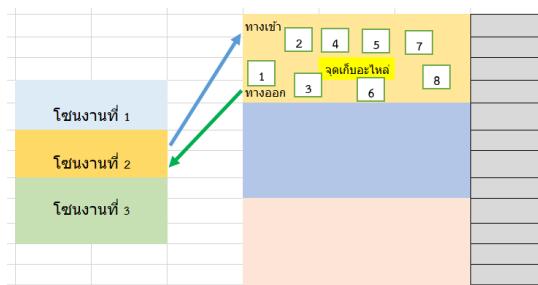
การไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart) (ก่อนปรับปรุง และ หลังปรับปรุง)

- สร้างเครื่องมือในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง
- เก็บบันทึกข้อมูลจากการวิจัย
- สรุปผลการวิจัย

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อหาความสูญเสียเปล่าในกระบวนการจัดการอะไหล่คงคลังของงานซ่อมบำรุง มีรายละเอียด ดังนี้

- การศึกษาสภาพของปัญหาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้ ปัญหาในการจัดเก็บอะไหล่ที่ขาดประสิทธิภาพ พบว่ามีปัญหาย่อย ๆ คือ ไม่มีการแยกหมวดของอะไหล่ตามประเภทของเครื่องจักร ไม่มีป้ายระบุรายละเอียดอะไหล่ ใช้พื้นที่ไม่เหมาะสมในการจัดวางอะไหล่ อะไหล่บางประเภทมีมากเกินไปและไม่ได้ใช้จนหมดอายุ ในส่วนของปัญหากระบวนการเบิกจ่ายอะไหล่ที่ขาดประสิทธิภาพ พบว่ามีปัญหาย่อย ๆ คือ ขั้นตอนงานซ้ำซ้อน มีระยะทางในการเคลื่อนที่ของคนมาก เกิดการรอคอยหรือเกิดเวลาสูญเสียเปล่า จากการรวบรวมปัญหาทางคณะผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและออกแบบแนวทางแก้ปัญหาในลำดับถัดไป



รูปที่ 1 แสดงแผนผังจุดปฏิบัติงาน (ก่อนปรับปรุง)

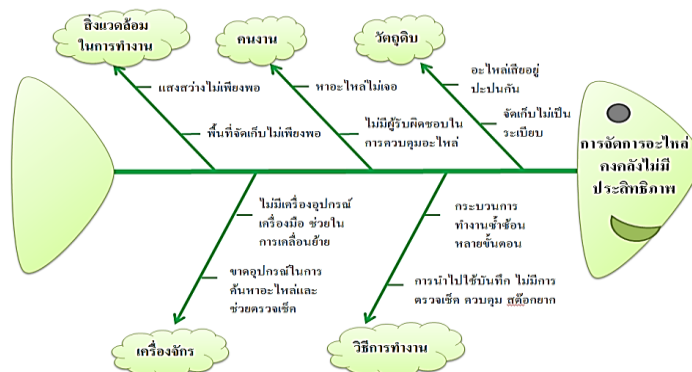
จากรูปที่ 1 แสดงจุดปฏิบัติงานที่มีการใช้พื้นที่มากและมีจุดปฏิบัติงาน 8 จุด ประกอบกับแต่ละจุดมีการจัดวางอะไหล่อยู่เต็มพื้นที่ปะปนกัน ทำให้ซึ่งพนักงานจะต้องเดินในระยะทางที่มาก และต้องเดินหลายรอบเนื่องจากค้นหาอะไหล่ไม่เจอหรือค้นมาผิดต้องกลับไปเปลี่ยนใหม่อีก จุดปฏิบัติงาน คือ จุดที่ 1 จุดเครื่องคอมพิวเตอร์ปรินเตอร์ในการเบิกอะไหล่ , จุดที่ 2 จุดเครื่องถ่ายเอกสาร , จุดที่ 3 ห้องเก็บอะไหล่ , จุดที่ 4 ห้องเก็บอะไหล่ , จุดที่ 5 จุดตรวจนับจำนวนอะไหล่ , จุดที่ 6 จุดบันทึกข้อมูลอะไหล่ลงในเอกสาร , จุดที่ 7 จุดเก็บแยกเอกสาร และจุดที่ 8 จุดส่งรายงานการเบิกอะไหล่ให้หัวหน้า

Description		Qty	Dist	Time	Symbol				
		(m)	(min)		○	↓	□	▽	
1. เครื่องจักรกล ใช้งานทั่วไป									
1	- เชื้อเพลิงวางลิฟต์ขึ้น		104	10	○	↓	□	▽	
2	- เชื้อเพลิงหามาถ้ำขึ้น	8	0.50		○	↓	□	▽	
3	- หินบดขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
4	- ตรวจสอยขึ้น		0.10		○	↓	□	▽	
5	- วางสอยขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
6	- ถ้ายลัดเส้นแนวท่อขึ้น	8	0.50		○	↓	□	▽	
7	- หินบดขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
8	- ตรวจสอยขึ้น		0.10		○	↓	□	▽	
9	- วางสอยขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
10	- ถ้ายลัดเส้นแนวท่อขึ้น	8	0.50		○	↓	□	▽	
11	- หินบดขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
12	- ตรวจสอยขึ้น		0.10		○	↓	□	▽	
13	- วางสอยขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
14	- ถ้ายลัดเส้นแนวท่อขึ้น	8	0.50		○	↓	□	▽	
15	- หินบดขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
16	- ตรวจสอยขึ้น		0.10		○	↓	□	▽	
17	- วางสอยขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
18	- ถ้ายลัดเส้นแนวท่อขึ้น	8	0.50		○	↓	□	▽	
19	- หินบดขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
20	- ตรวจสอยขึ้น		0.10		○	↓	□	▽	
21	- วางสอยขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
22	- วัสดุถมถนนทางขึ้นลิฟต์รถ (หน้าลิฟท์)	1.00			○	↓	□	▽	
23	- ถ้ายลัดเส้นแนวท่อขึ้น	8	0.50		○	↓	□	▽	
24	- หินบดขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
25	- ตรวจสอยขึ้น		0.10		○	↓	□	▽	
26	- วางสอยขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
27	- ถ้ายลัดเส้นแนวท่อขึ้น	8	0.50		○	↓	□	▽	
28	- หินบดขึ้น		0.02		○	↓	□	▽	
29	- ตรวจสอยขึ้น		0.10		○	↓	□	▽	
30	- หินบดออกไปเพื่อเก็บเศษเครื่องจักร	120	10		○	↓	□	▽	
Total		280	25.46	13	9	1	7	0	

รูปที่ 2 ภาพแสดงแผนภูมิกระบวนการไหลขั้นตอนการเบิกอะไหล่เพื่อซ่อมบำรุงเครื่องจักร (ก่อนปรับปรุง)

จากรูปที่ 2 ในกระบวนการไหลขั้นตอนการเบิกอะไหล่เพื่อซ่อมบำรุงเครื่องจักร ก่อนปรับปรุง มี 30 ขั้นตอน ซึ่งมีขั้นตอนที่ 2 และ 22 ที่สามารถพิจารณาตัดออกได้ และขั้นตอนที่ 6 -21 พบว่าเป็นการทำงานที่ซ้ำซ้อน สามารถปรับปรุงได้

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและแนวทางปรับปรุงในการศึกษาครั้งนี้กำหนดขอบเขตที่จะศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพในงานจัดการอะไหล่คลังของงานซ่อมบำรุงโดยครอบคลุมปัญหาในการจัดเก็บอะไหล่ที่ขาดประสิทธิภาพและปัญหากระบวนการเบิกจ่ายอะไหล่ที่ขาดประสิทธิภาพ ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการทำงาน เช่น เกิดการรอคอย เกิดเวลาสูญเปล่า เกิดความผิดพลาดในการทำงาน เกิดการทำงานซ้ำซ้อน และทำให้มีต้นทุนการดำเนินงานมากเกินความจำเป็น เป็นต้น ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ใช้แผนผังแสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยประจุมาร่วมกันของหัวหน้างานและพนักงานที่เกี่ยวข้องในแผนกทั้งหมด ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผังแสดงเหตุและผล

จากรูปที่ 3 การประชุมร่วมกันของหัวหน้าฝ่ายและพนักงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อร่วมกันวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสียในกระบวนการ ตลอดจนร่วมกันออกแบบแนวทางและเครื่องมือในการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการได้ ตามรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิแก๊งปลา

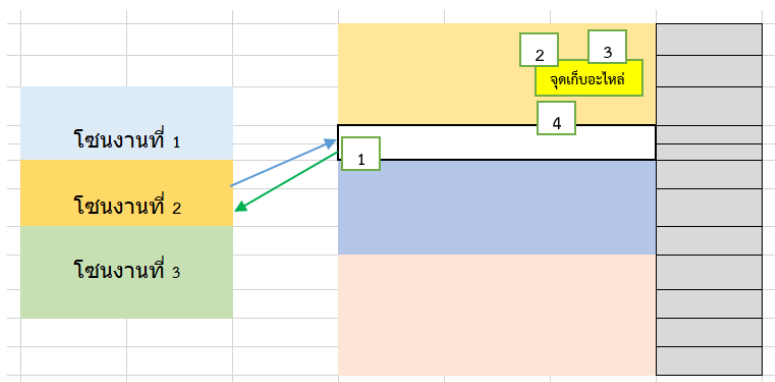
สาเหตุหลัก	สาเหตุน้อย	แนวทางการแก้ไข	เครื่องมือ	ผลที่คาดว่าจะได้รับ
1. วัตถุดิบ(อะไหล่เครื่องจักร)	อะไหล่เสียอยู่ปะปนกันรวมกันไม่เป็นระเบียบ ไม่มีการแยกหมวดหมู่ให้ชัดเจน	การจัดหมวดหมู่ และจัดแยกประเภทอะไหล่ตามประเภทของเครื่องจักร และการทำป้ายระบุรายละเอียดที่ชัดเจน	Visual control และ 5ส	- ลดเวลาในการค้นหาอะไหล่ - ลดความผิดพลาดในการเบิกอะไหล่ - ใช้พื้นที่ได้คุ้มค่ามากขึ้น - ช่วยลดต้นทุนในการดูแลรักษา
2. ผู้ปฏิบัติงาน	- ใช้เวลาในการค้นหาอะไหล่มาก - ไม่มีผู้รับผิดชอบในการควบคุมระบบอะไหล่ชัดเจน	ทบทวนและตรวจสอบขั้นตอนการทำงานและการปรับปรุง	การศึกษาการทำงาน , แผนภูมิกระบวนการไหล , หลักการ ECRS	- ลดขั้นตอนการทำงาน - ลดการเคลื่อนที่มากเกินไปของผู้ปฏิบัติงาน
สาเหตุหลัก	สาเหตุน้อย	แนวทางการแก้ไข	เครื่องมือ	ผลที่คาดว่าจะได้รับ
3. วิธีการทำงาน	- กระบวนการทำงานซ้ำซ้อน หลายขั้นตอน - ขาดระบบการตรวจสอบให้ชัดเจน	การทบทวนขั้นตอนการทำงานที่สูญเสียไป เพื่อปรับเปลี่ยนวิธีการ/ขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนหรือไม่จำเป็นออก	การศึกษาการทำงาน , แผนภูมิกระบวนการไหล , หลักการ ECRS	- ได้วิธี/ขั้นตอนการทำงานใหม่ที่มีประสิทธิภาพขึ้น - ลดขั้นตอนการทำงาน - ลดการเคลื่อนที่มากเกินไปของผู้ปฏิบัติงาน
4. เครื่องจักร	ไม่ได้ดำเนินการปรับปรุงในการศึกษาค้างนี้			
5. สิ่งแวดล้อมในการทำงาน	-พื้นที่จัดเก็บไม่เพียงพอ	- แยกอะไหล่ของดีกับของเสียเพิ่มพื้นที่	การศึกษาการทำงาน , แผนภูมิกระบวนการไหล , หลักการ ECRS	- ลดระยะทางและลดระยะเวลาในการทำงาน - ใช้พื้นที่ได้อย่างคุ้มค่ามากขึ้น - ได้พื้นที่ในการจัดวางอะไหล่ได้มากขึ้น - ผู้ใช้งานเข้ามาใช้พื้นที่ได้สะดวกมากขึ้น

จากตารางที่ 1 ข้อมูลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาการขาดประสิทธิภาพในกระบวนการจัดการอะไหล่ในงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร โดยจากการวิเคราะห์จะได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงสาเหตุหลัก ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ วัตถุดิบ(อะไหล่เครื่องจักร) ผู้ปฏิบัติงาน วิธีการทำงาน และ สิ่งแวดล้อมในการทำงาน ซึ่งยกเว้นสาเหตุหลักด้านเครื่องจักรที่ไม่ได้ดำเนินการปรับปรุงในครั้งนี้ ทั้งนี้มีเครื่องมือหลักที่จะใช้ในการปรับปรุง ได้แก่ Visual control การศึกษาการทำงาน แผนภูมิกระบวนการไหล หลักการ ECRS

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อหาความสูญเสียเปล่าในกระบวนการจัดการอะไหล่คลังของงานซ่อมบำรุง ผลการวิจัยสรุปว่า จากการใช้แผนผังแสดงเหตุและผลมาวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสียเปล่า มีสาเหตุจากวัตถุดิบ(อะไหล่) วิธีการทำงาน ผู้ปฏิบัติงาน และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน และใช้หลักการ ECRS พิจารณาความสูญเสียเปล่าในกระบวนการ พบว่า มีขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนและการจัดการระบบการเบิกจ่ายอะไหล่ไม่มีความชัดเจนเป็นมาตรฐาน

4.2 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลา ด้านขั้นตอน ด้านระยะทาง ในกระบวนการจัดการอะไหล่คลังของงานซ่อมบำรุง มีรายละเอียด ดังนี้

- แนวทางการแก้ปัญหา จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจึงได้ออกแบบการแก้ปัญหา โดยใช้หลักการ ECRS มีรายละเอียด ดังนี้
 - การตัดออก E (Eliminate) เพื่อตัดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนและไม่จำเป็นออกไป คือ ตัดขั้นตอนที่ 2 , 22 เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ไม่จำเป็นโดยสามารถทำงานด้วยวิธีอื่นร่วมกันได้เลย ซึ่งการตัดทั้งสองขั้นตอนนี้ออกไปไม่กระทบต่อการทำงานตามปกติ
 - การรวมกัน C (Combine) เพื่อรวมขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกันหรือซ้ำซ้อนกันเข้าไว้ด้วยกัน คือ รวมขั้นตอนที่ 6 – 21 เนื่องจากเดิมเป็นขั้นตอนการทำงานที่มีความซ้ำซ้อน สามารถวางแผนปรับรวมกันแล้วใช้ผู้ปฏิบัติงานคนเดียวกันดำเนินการได้เลย ตลอดจนมีการจัดพื้นที่ของการจัดเก็บอะไหล่ใหม่ ทำให้การเข้าถึงและการค้นหาทำได้ง่ายมากขึ้น ลดความผิดพลาด และลดการตรวจนับซ้ำและลงรหัสผิด เพราะมีเอกสารแบบฟอร์มใหม่ มีการกำหนดรหัสอะไหล่ และมีป้ายแสดงสัญลักษณ์และจำนวนที่ชัดเจน
 - การทำให้ง่ายขึ้น S (Simplify) โดยใช้ป้ายแสดงรายละเอียดของอะไหล่และจุดที่วาง นำข้อมูลทุกรายละเอียดลงไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบอกจำนวนและจุดจัดวางอะไหล่ทุกชนิดที่สามารถค้นหาข้อมูลก่อนได้ เพื่อเวลาในการค้นหาและลดความผิดพลาด การจัดพื้นที่และจัดวางอะไหล่แยกตามหมวดหมู่ของการใช้งานกับเครื่องจักร การทำใบบันทึกจำนวนอะไหล่ที่ใช้ในการเบิกจ่ายร่วมกันใบเบิกอะไหล่ ทำให้ตรวจนับหรือตรวจสอบจำนวนอะไหล่ทำได้แบบทันที



รูปที่ 4 ผังจุดปฏิบัติงาน หลังปรับปรุง

จากรูปที่ 4 แสดงจุดปฏิบัติงานที่มีการปรับจัดพื้นที่ใหม่และลดจุดปฏิบัติงานจาก 8 จุด เหลือ 4 จุด โดยมีการจัดวางอะไหล่แยกประเภท แยกตามหมวดหมู่เรียบร้อยแล้ว ทำให้มีระยะทางในการเดินน้อยลงและพนักงานไม่ต้องเสียเวลาในการเดินค้นหาอะไหล่อีก เนื่องจากมีการจัดเก็บที่เป็นระเบียบและมีป้าย รหัส ของอะไหล่ทุกรายการชัดเจน จุดปฏิบัติงาน คือ จุดที่ 1 จุดเครื่องคอมพิวเตอร์ปริ้นเอกสารและถ่ายเอกสารในการเบิกอะไหล่ จุดที่ 2 ห้องเก็บอะไหล่ จุดที่ 3 จุดตรวจนับและบันทึกข้อมูลจำนวนอะไหล่ลงในเอกสาร จุดที่ 4 จุดส่งรายงานการเบิกอะไหล่ให้หัวหน้า

ชื่ออะไหล่	
ชนิด/ประเภท/ขนาด	
โซนจัดเก็บ	
จำนวนสต็อกสูงสุด	จำนวนสต็อกลดสุด
A4 MA14-2-4	

A4 MA14-2-4	
สัญลักษณ์	ความหมาย
A4	แผนกที่เบิกอะไหล่ไปใช้
MA	แสดงว่าเป็นอะไหล่ของเครื่องจักรใด
14	เลขพื้นที่จัดเก็บ
2	ชั้นที่
4	ช่องจัดเก็บ

รูปที่ 5 ป้ายระบุรายละเอียดของอะไหล่ที่ติดไว้ที่ชั้นเก็บอะไหล่

จากรูปที่ 5 การปรับปรุงครั้งนี้ได้มีการจัดทำรหัสของอะไหล่ทุกรายการอย่างชัดเจน ตลอดจนมีป้ายแสดงรายละเอียดของอะไหล่อย่างครบถ้วนทั้ง ชื่อ ขนาด จุดที่จัดเก็บ และจำนวนที่ต้องจัดหาเข้า ซึ่งในการปรับปรุงได้มีการให้ความรู้เกี่ยวกับสัญลักษณ์และรายละเอียดทั้งหมดนี้แก่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องทุกส่วนแล้ว จึงช่วยให้หลังการปรับปรุงกระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น

Description	Q'ty	Dist	Time	Symbol					
				○	➡	▷	□	▽	
				ปฏิบัติงาน	เคลื่อนที่	รอคอย	ตรวจนับ	จัดเก็บ	
1.เครื่องจักรเสีย ต้องการใช้อะไหล่									
1		100	10	○	➡	▷	□	▽	
2			0.50	●	➡	▷	□	▽	
3		18	0.20	○	➡	▷	□	▽	
4			0.02	●	➡	▷	□	▽	
5			0.10	○	➡	▷	■	▽	
6			0.10	●	➡	▷	□	▽	
7		120	10	○	➡	▷	□	▽	
Total		238	21.32	3	3		1		

รูปที่ 6 แผนภูมิกระบวนการไหลของขั้นตอน หลังปรับปรุง

จากรูปที่ 6 แสดงข้อมูลแผนภูมิกระบวนการไหลของขั้นตอน หลังปรับปรุง ที่ใช้หลักการลดความสูญเปล่า ECRS ซึ่งทำให้ขั้นตอนการทำงานลดลง 23 ขั้นตอน เหลือ 7 ขั้นตอน จากเดิมก่อนปรับปรุง มี 30 ขั้นตอน

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลา ด้านขั้นตอน ด้านระยะทางในกระบวนการจัดการอะไหล่คลังของงานซ่อมบำรุง ผลการวิจัยสรุปว่า ด้านขั้นตอนการทำงาน ก่อนปรับปรุง 30 ขั้นตอน หลังปรับปรุงเหลือ 7 ขั้นตอน ลดลงได้ 23 ขั้นตอน ด้านระยะเวลาในการเบิกอะไหล่ต่อชิ้น ก่อนปรับปรุง 25 นาที 36 วินาที หลังปรับปรุง เหลือ 21 นาที 32 วินาที ลดลงได้ 4 นาที 4 วินาที และด้านระยะทาง ก่อนปรับปรุง 280 เมตร หลังทำการปรับปรุงเหลือ 238 เมตร ลดลงได้ 42 เมตร ต่อการเบิกอะไหล่ 1 ครั้ง ซึ่งผลจากการปรับปรุงในกระบวนการดังกล่าวยังส่งผลดีต่อส่วนงานที่เกี่ยวข้องด้วย ดังนี้ ส่วนงานตรวจสอบอะไหล่ด้วย คือ ด้านขั้นตอนตรวจสอบจำนวนอะไหล่ ก่อนปรับปรุง 9 ขั้นตอน หลังปรับปรุงเหลือ 4 ขั้นตอน ลดลงได้ 5 ขั้นตอน ด้านเวลาการตรวจสอบจำนวนอะไหล่ ก่อนปรับปรุง 277 นาที 50 วินาที หลังปรับปรุง 210 นาที 50 วินาที ลดลงได้ 66 นาที ด้านผู้ปฏิบัติงาน ก่อนปรับปรุงใช้ 3 คน หลังปรับปรุงเหลือ 1 คน ลดลงได้ 2 คน และด้านระยะทางในตรวจสอบจำนวนอะไหล่ ก่อนปรับปรุง 4,223 เมตร หลังปรับปรุงเหลือ 2,200 เมตร ลดลงได้ 2,023 เมตรต่อการตรวจเช็คอะไหล่ 1 ครั้ง

5. อภิปรายผลและสรุปผล

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อหาความสูญเสียเปล่าในกระบวนการจัดการอะไหล่คลังของงานซ่อมบำรุง ผลการวิจัยสรุปว่า จากการใช้แผนผังแสดงเหตุและผลมาวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสียเปล่า มีสาเหตุจากวัตถุดิบ(อะไหล่) วิธีการทำงาน ผู้ปฏิบัติงาน และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน และใช้หลักการ ECRS พิจารณาความสูญเสียเปล่าในกระบวนการ พบว่า มีขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนและการจัดการระบบการเบิกจ่ายอะไหล่ไม่มีความชัดเจนเป็นมาตรฐาน และผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลา ด้านขั้นตอน ด้านระยะทาง ในกระบวนการจัดการอะไหล่คลังของงานซ่อมบำรุง ผลการวิจัยสรุปว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการได้ โดยหลังปรับปรุงสามารถลดขั้นตอนการทำงาน ลดระยะเวลา ลดระยะทางและลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานได้ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ แผนผังแสดงเหตุและผลที่สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยได้ละเอียด ทำให้มีข้อมูลสาเหตุที่ถูกต้องนำไปใช้แก้ปัญหาได้ต่อ รวมถึงการใช้แผนภูมิกระบวนการไหลของขั้นตอนการปฏิบัติงานทำให้ได้เห็นสัญลักษณ์การทำงานที่ซ้ำซ้อน และการเคลื่อนที่ที่มากเกินไป ทำให้สามารถพิจารณาหาความสูญเสียเปล่าของขั้นตอนโดยใช้หลักการ ECRS เข้ามาทบทวนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และได้แนวทางการแก้ปัญหาที่สามารถแก้ปัญหาได้จริงและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการได้จริง ทั้งนี้ผลการวิจัยยังมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐวรรณ สมรรถจันทร์ และ ณปาล อุทัยรัตน์ (2565) การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังอะไหล่ชิ้นส่วน กรณีศึกษา บริษัท XYZ จำกัด ใช้เทคนิคการควบคุมด้วยการมองเห็นมาประยุกต์และปรับใช้ในการปรับปรุงการจัดวางอะไหล่ ผลการวิจัยพบว่า ลดเวลาในการเบิกอะไหล่ลงได้เฉลี่ย 7 นาที 38 วินาทีต่อครั้ง หรือลดลง 39.78% และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชลธิชา สินธุสุวรรณ์ และ ปณิพร เรืองเชิงชุม (2563) การปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการจัดการสินค้าคงคลัง กรณีศึกษาธุรกิจจำหน่ายอะไหล่ยนต์ ใช้การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการจัดการสินค้าคงคลังรวมถึง Why-Why Analysis ผลการวิจัยพบว่า สามารถลดความผิดพลาดของข้อมูลในการตรวจนับสินค้าคงคลังได้ถึงร้อยละ 13.59 เช่นเดียวกับต้นทุนการจัดเก็บอะไหล่ยนต์ที่ลดลงถึง 94,372 บาท ขณะที่ระยะเวลาในการค้นหาอะไหล่ยนต์รวดเร็วขึ้นถึง 4 นาที 8 วินาทีต่อรายการ สอดคล้องกับงานวิจัยของ นฤกร นิลนิสสัย และ ปิยะเนตร นาคสีดี (2564) การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าสำเร็จรูปกรณีศึกษา บริษัท เครื่องดื่มรังก ABC โดยขั้นตอนเริ่มจากการปรับปรุงวิธีการดำเนินงานโดยใช้แผนผัง Flow process chart และปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือ ECERS ผลการปรับปรุง คือ สินค้ามีความระเบียบเรียบร้อยมากขึ้น เวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปลดลงจาก 1.32 ชั่วโมง เป็น 1.05 ชั่วโมง ระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้าลดลงจาก 200.4 เมตร เป็น 135.6 เมตร และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นลดลงจาก 12.5% เป็น 11% ต่อการส่งสินค้าสำเร็จรูป สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนิชฐนันท์ จันทรแย้ม



และ นภาพร อัครพิเชษฐ (2562) การลดระยะเวลาในการจัดส่งอะไหล่โดยการปรับปรุงผังการจัดเก็บอะไหล่กรณีศึกษา บริษัท เวย์ จำกัด ใช้หลักการ ECRS ผลการศึกษาพบว่าพนักงานใช้ระยะทางในการเบิกสินค้าโดยใช้การจัดลำดับของกิจกรรมการทำงานทั้งหมดก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 2410 เมตร และเมื่อใช้เครื่องมือในการแก้ปัญหาพนักงานใช้ระยะทางในการเบิกสินค้า เท่ากับ 1662.6 เมตร ซึ่งลดลงจากก่อนการปรับปรุง เท่ากับ 747.4 เมตร ซึ่งเป็นผลทำให้แก้ปัญหาการหยิบสินค้าและลดระยะเวลาในการค้นหาสินค้า

6. ข้อเสนอแนะ

- 6.1 นำผลจากการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการของส่วนงานอื่นๆ
- 6.2 อาจพิจารณาศึกษาหลักการ แนวคิด หรือทฤษฎีอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในส่วนงานย่อยอื่น ๆ
- 6.3 ใช้แนวทางและผลการศึกษาครั้งนี้ไปช่วยวางแผนและกำหนดมาตรฐานขั้นตอนการปฏิบัติงานในส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

- ชลธิชา สินธูสุวรรณ์ และ ปณิทัพร เรืองเชิงชุม. (2563). การปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการลดความสูญเสียในกระบวนการจัดการสินค้าคงคลัง กรณีศึกษาธุรกิจจำหน่ายอะไหล่ยนต์ จังหวัดขอนแก่น. *วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี*, 16(4), 197-207.
- ณัฐวรรณ สมรรถจันทร์ และ ฌูปาล อุทัยรัตน์. (2565). การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังอะไหล่ชิ้นส่วนกรณีศึกษา บริษัท XYZ จำกัด. *วารสารวิจัยและพัฒนา*, 17(60), 1 – 8.
- ธนัชฐนันท์ จันทรัมย์ และ นภาพร อัครพิเชษฐ. (2562). การลดระยะเวลาในการจัดส่งอะไหล่โดยการปรับปรุงผังการจัดเก็บอะไหล่ กรณีศึกษา บริษัท เวย์ จำกัด. *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา ครั้งที่ 6 ประจำปี พ.ศ.2562 “สังคมผู้สูงวัย: โอกาสและความท้าทายของอุดมศึกษา”*, 232 – 240. ณ วิทยาลัยนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา.
- นฤกร นิลนิสสัย และ ปิยะเนตร นาคสีดี. (2564). *การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าสำเร็จรูปกรณีศึกษา บริษัท เครื่องดื่มรังก ABC จำกัด*. สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- ประเทือง วิบูลศักดิ์. (2552). *การวางแผนการควบคุมการผลิต*. <http://www.sahavicha.com/?namemedia&file=readmedia&id>
- อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา. (2560). *เอกสารประกอบการสอนวิชาการศึกษางานอุตสาหกรรม (Industrial Work Study)*. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

คุณค่าทางวิชาการ

จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ได้แนวทางการใช้เครื่องมือและทฤษฎีทางการจัดการอุตสาหกรรมในการแก้ปัญหาและปรับปรุงประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ซึ่งจะสามารถช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพทั้งด้านขั้นตอน ด้านเวลา ด้านระยะทาง ในกระบวนการปฏิบัติงานได้จริง ทั้งยังสามารถนำแนวทางการศึกษาและแนวทางการแก้ปัญหาไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในส่วนงานอื่น ๆ ได้

การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้ขับขี่ยานพาหนะในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

เจษฎา คำผอง^{1*} ณธายุ ขวพัฒน์โยธา²

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น^{1*}

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม²

อีเมล : jetsada.ku@rmuti.ac.th^{1*}

วันที่รับบทความ 10 มีนาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 22 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 8 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

เข็มขัดนิรภัยเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ช่วยปกป้องความรุนแรงขณะเกิดอุบัติเหตุทางถนนและทำให้ร่างของผู้ขับและผู้โดยสารไม่หลุดออกนอกยานพาหนะ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อศึกษาปัจจัยอิทธิพลและการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ตรวจสอบพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัย โดยติดตั้งกล้องวงจรปิดในช่องจราจรขาเข้าเมืองขอนแก่น ทั้งหมด 4 จุด (N=1,264 ตัวอย่าง) มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการทดสอบ Chi-Square และวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ และใช้ YOLO ในการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ในการจำแนกรูปและตรวจสอบความถูกต้องโดย Confusion Matrix ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยด้าน สถานะ ประเภทรถ ช่วงเวลา และจุดติดตั้งมีความสัมพันธ์ต่อการใช้เข็มขัดนิรภัยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผู้ขับขี่ยานพาหนะที่ขับขี่ในช่วงวันหยุดมีอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัยเป็น 1.753 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาขับขี่ในวันธรรมดา ที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และทิศทางการเข้าเมืองมีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัย ($p < 0.05$) นอกจากนี้จากการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์การตรวจจับพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยในยานพาหนะพบว่ามีความแม่นยำร้อยละ 83 และ ค่า F1-score ร้อยละ 81 ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้จะนำไปสู่การสร้างนโยบายและเทคโนโลยีในการส่งเสริมการใช้เข็มขัดนิรภัยของยานพาหนะขณะขับขี่ เพื่อเป็นการสนับสนุนความปลอดภัยทางถนนและลดอัตราการบาดเจ็บและเสียชีวิตต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : เข็มขัดนิรภัย ความปลอดภัยบนท้องถนน ปัญญาประดิษฐ์ พฤติกรรมของผู้ขับขี่ โมเดล YOLO



Analysis of Seatbelt Usage Behaviors of Vehicle Drivers in Muang District, Khon Kaen Province, Using Artificial Intelligence Technology

Jetsada Kumphong^{1*} Nathayu Chawapattanayotha²

Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan
Khon Kaen Campus ^{1*}

Faculty of Industrial Technology, Nakhonphanom University²

E – mail : Jetsada.ku@rmuti.ac.th ^{1*}

Received 10 March 2025

Revised 22 April 2025

Accepted 8 May 2025

Abstract

Wearing a seatbelt is one of the most effective ways to reduce injuries and fatalities in road accidents. Despite its proven benefits, many drivers and passengers still fail to use seatbelts consistently. This study explores the factors that influence seatbelt usage and develops an artificial intelligence (AI) system to monitor compliance in urban areas of Khon Kaen Province, Thailand. To gather data, surveillance cameras were placed at four key entry points into the city, capturing footage of drivers and passengers (N=1,264 observations). Statistical methods, including Chi-square tests and logistic regression, were used to identify key factors affecting seatbelt use. Additionally, an AI model based on the You Only Look Once (YOLO) algorithm was trained to automatically detect seatbelt usage in real-time. The model's accuracy was assessed using a Confusion Matrix, measuring key performance metrics such as True Positive Rate (TPR), True Negative Rate (TNR), Precision, Recall, and F1-score. The results showed that factors such as driver status, vehicle type, time of day, and monitoring location significantly influenced seatbelt use ($p < 0.05$). Notably, drivers were 1.753 times more likely to wear seatbelts on weekends than on weekdays ($p < 0.05$). The direction in which a vehicle entered the city also played a role in seatbelt compliance ($p < 0.05$). The AI system demonstrated strong performance, achieving an overall accuracy of 83% and an F1-score of 81%. These findings highlight the potential of AI technology in promoting safer driving behaviors. By integrating AI-driven monitoring with public safety initiatives, this research offers valuable insights for policymakers and urban planners looking to improve seatbelt compliance and enhance road safety for all.

Keywords: Seatbelt, Road safety, Artificial intelligence, Driver behaviour, YOLO model

1. บทนำ

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้ให้ความสำคัญในเรื่องอุบัติเหตุทางท้องถนนในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากประชาชนในประเทศกลุ่มนี้มีพฤติกรรมเสี่ยงในการขับขี่หลายประการ ได้แก่ การใช้ความเร็วสูงในการขับยานพาหนะ ไม่สวมหมวกนิรภัย ผู้ขับขี่อยู่ภายใต้อิทธิพลของแอลกอฮอล์ และผู้ขับขี่และผู้โดยสารไม่ใช้เข็มขัดนิรภัย เป็นต้น ประเทศไทยติดอันดับ 1 ใน 10 ของประเทศที่มีอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนสูงที่สุด แม้ว่าสาเหตุสำคัญเกิดจากผู้ขับขี่ใช้ความเร็วที่ไม่ปลอดภัย แต่ผู้ขับขี่มีแนวโน้มที่จะเสียชีวิตหรือบาดเจ็บสาหัสจากอุบัติเหตุเนื่องจากไม่ได้ใช้เข็มขัดนิรภัย ส่งผลให้รัฐบาลได้ออกกฎหมายเกี่ยวกับการใช้เข็มขัดนิรภัย แต่ผู้ขับขี่มีอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัยเพียงร้อยละ 58 และผู้โดยสารเบาะข้างผู้ขับขี่มีอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัยร้อยละ 40 เท่านั้น (World Health Organization, 2018; Se et al., 2023) แม้ว่าจะมีความพยายามในการปรับปรุงมาตรการความปลอดภัยทางถนน แต่ประเทศไทยยังคงเผชิญกับอัตราการเกิดอุบัติเหตุอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณทางแยกของเมืองใหญ่ ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของการจราจรที่ซับซ้อนและความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของการเกิดอุบัติเหตุ (Tippayanate et al., 2024)

เข็มขัดนิรภัยเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่รถยนต์ทุกคันต้องถูกติดตั้งจากโรงงานผลิตรถเพื่อลดความรุนแรงให้แก่ผู้ขับขี่และผู้โดยสารในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุทางถนนระหว่างยานพาหนะ ผลการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้เข็มขัดนิรภัยในประเทศไทยแสดงให้เห็นว่าสามารถลดอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางรถยนต์ได้ถึงร้อยละ 34 และเมื่อพิจารณาในเรื่องของความเสี่ยงพบว่าผู้ที่ไม่ใช้เข็มขัดนิรภัยมีความเสี่ยงที่จะเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางรถยนต์มากกว่าผู้ที่ใช้เข็มขัดถึง 1.52 เท่า (กันวีร์ กันธิรัฐพงศ์, 2556) สาเหตุหลัก 5 ประการที่ส่งผลให้ผู้ขับขี่และผู้โดยสารไม่ใช้เข็มขัดนิรภัย ได้แก่ การเดินทางในระยะที่ใกล้มากเกินไปได้ขับออกสู่ถนนในความเร็วสูงและมีเหตุให้ขึ้นรถบ่อย ลืมใช้เข็มขัดนิรภัย และความรู้สึกอึดอัดและไม่สบายที่จะใช้เข็มขัดนิรภัย (มูลนิธิไทยโรดส์, 2554) ปัจจุบันยังปรากฏให้เห็นอุบัติเหตุที่ผู้ขับขี่หรือผู้โดยสารร่วงหล่นออกจากตัวรถเนื่องจากไม่ใช้เข็มขัดนิรภัย รัฐบาลได้ออกนโยบายสำหรับการกระตุ้นให้ใช้เข็มขัดนิรภัยอย่างต่อเนื่อง พร้อมกับการกำหนดกฎหมายในประเทศไทยสำหรับการบังคับให้ยานพาหนะมากกว่าสามล้อทุกประเภทต้องติดตั้งเข็มขัดนิรภัย รวมถึงข้อบังคับที่ผู้ขับขี่และผู้โดยสารต้องใช้เข็มขัดนิรภัยในระหว่างการเดินทาง หากผู้ขับขี่และผู้โดยสารไม่ใช้เข็มขัดนิรภัยขณะขับขี่จะถือว่าผิดกฎหมายตามพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2538 และถูกปรับรายละไม่เกิน 500 บาท (นิรุจน์ สมศรี, 2561; สุรพงษ์ ผานาค และกรวิภา น้อยเชียง, 2563) ซึ่งการตรวจจับเข็มขัดนิรภัยที่ถูกนำมาใช้เป็นส่วนใหญ่นั้น คือ การตรวจจับด้วยมือเป็นหลัก (Manual methods) แต่การตรวจจับด้วยวิธีดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดและต้นทุนสูง จึงนำไปสู่การนำเทคโนโลยีการมองเห็นผ่านระบบคอมพิวเตอร์โดยการจดจำภาพมาปรับใช้เพื่อตรวจจับพฤติกรรมของผู้ขับขี่และลดอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางรถยนต์ (Tianshu et al, 2019) ยกตัวอย่างเช่น การใช้ปัญญาประดิษฐ์ You Only Look Once (YOLO) ที่มีความรวดเร็ว เรียบง่าย และมีความสามารถในการคาดการณ์และจำแนกวัตถุได้ (Faisal et al., 2021)

ปัจจุบันทั้งประเทศไทยและต่างประเทศมีการพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence หรือ AI) สำหรับตรวจจับพฤติกรรมของผู้ใช้รถและถนน โดยมีเป้าหมายเพื่อลดอุบัติเหตุและอัตราการเสียชีวิตบนท้องถนน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจสำหรับตรวจจับพฤติกรรมที่มีความเสี่ยง ยกตัวอย่างเช่น การตรวจจับพฤติกรรมของผู้ไม่สวมหมวกนิรภัยในระหว่างการเดินทางบนท้องถนน โดยใช้กล้องวงจรปิด (CCTV) ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อแยกประเภทของพฤติกรรมการสวมหมวกนิรภัย (Kumphong & Chawapattanayotha, 2024; Li et al., 2024) ในประเทศจีนได้มีการนำเทคโนโลยีตรวจจับวัตถุผ่านเซ็นเซอร์ XILINK เพื่อตรวจจับการใช้เข็มขัดนิรภัย (Tianshu et al., 2019) ในงานวิจัยของอินเดียมีการเสนอให้ติดตั้งกล้องภายในห้องโดยสารของผู้ขับขี่ เพื่อตรวจสอบว่าเข็มขัดนิรภัยของผู้ขับขี่รัดแน่นหรือไม่ โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ You Only Look Once (YOLO) สำหรับตรวจจับมุมและการตรวจจับเข็มขัดนิรภัย (Upadhyay

et al., 2023) ในประเทศตุรกีก็พัฒนาระบบการจำแนกรูปตรวจจับผู้ไม่ใช้เข็มขัดนิรภัยขณะขับขี่ยานพาหนะเช่นกัน (Elihos et al., 2018; Ozbaran & Tasgin, 2019) อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยยังขาดงานวิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจจับพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้ขับขี่และผู้โดยสารในยานพาหนะ ในการศึกษาที่มุ่งหวังที่จะพัฒนาการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจจับพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยในบริเวณทางแยกของเมืองใหญ่ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นแนวทางและนโยบายสำหรับการพัฒนาระบบความปลอดภัยลดอัตราการเสียชีวิต และลดอุบัติเหตุทางท้องถนนของประเทศไทยต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยอิทธิพลการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้ขับขี่รถยนต์ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

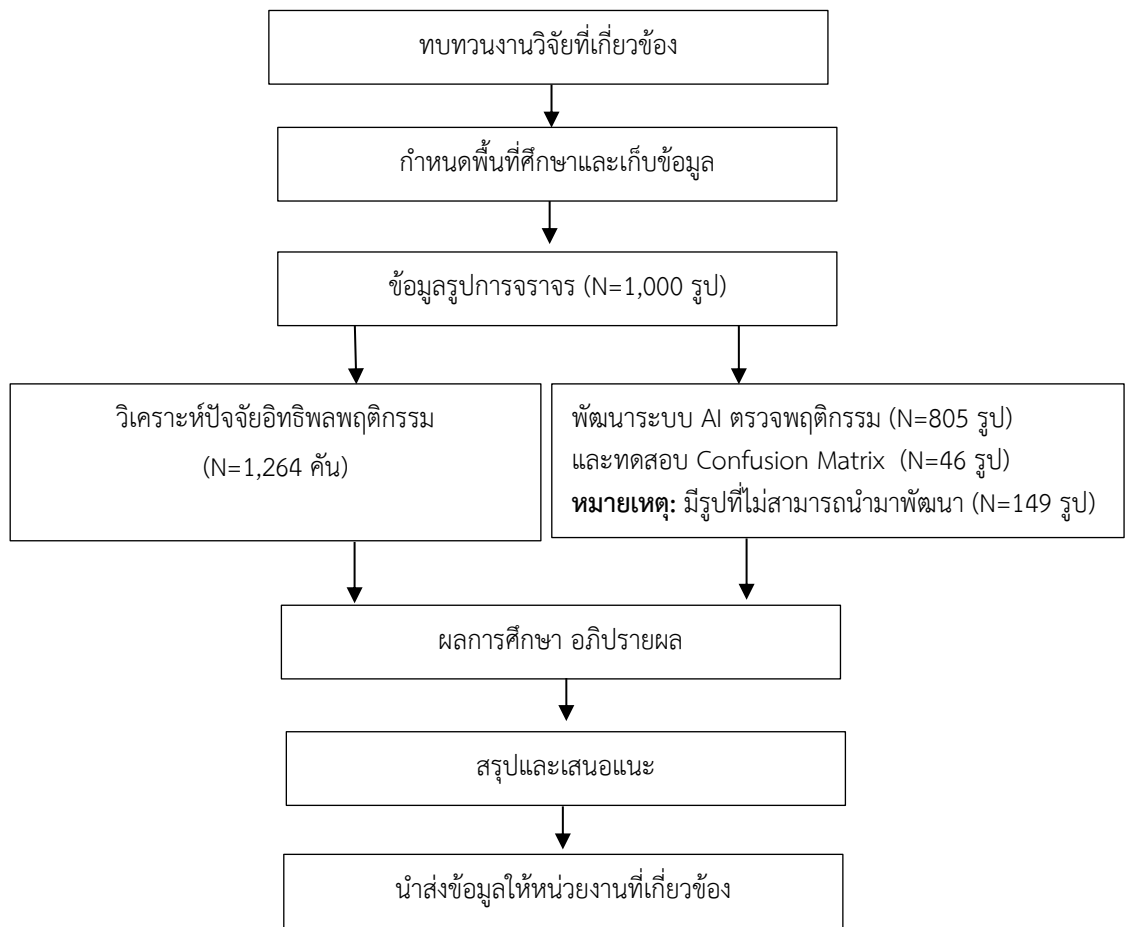
2.2 พัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจจับพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้ขับขี่รถยนต์ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

3. วิธีการวิจัย

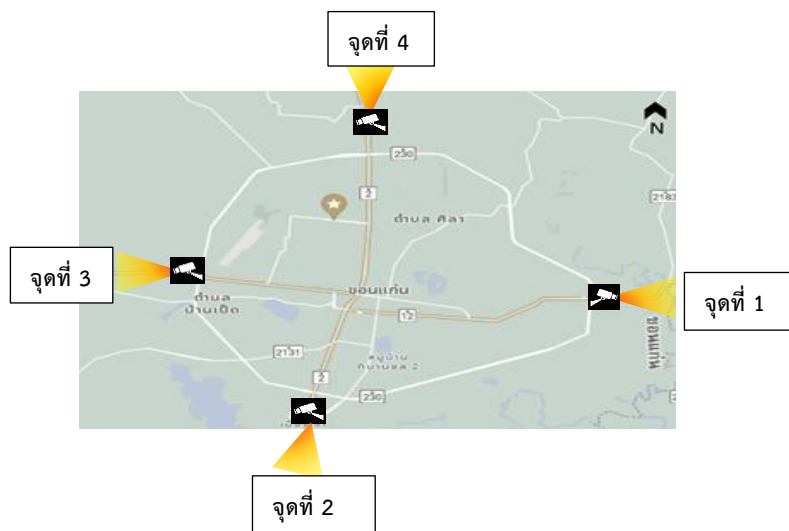
การศึกษานี้มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นภาพรวมของการศึกษารั้งนี้ เพื่อให้ทราบถึงวิธีดำเนินการศึกษาหรือขั้นตอนการศึกษากำหนดกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือวัดผลของกลุ่มตัวอย่าง การสำรวจข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง การวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างพร้อมทั้งการอภิปรายผลการศึกษาและการสรุป และข้อเสนอแนะ นอกจากนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกนำเสนอให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปจัดทำแผนงานเกี่ยวกับงานป้องกันอุบัติเหตุทางถนนในจังหวัดขอนแก่น

3.1 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดขอนแก่นมีความสำคัญในฐานะศูนย์กลางการขนส่งที่คึกคักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีเครือข่ายถนนที่กว้างขวางและรูปแบบการจราจรที่หลากหลาย จึงทำให้พื้นที่นี้ประสบกับสภาพการจราจรที่หลากหลาย ครอบคลุมตั้งแต่ถนนในเมืองที่แออัดไปจนถึงทางหลวงในชนบทที่แผ่กิ่งก้านสาขา จังหวัดขอนแก่นเป็นจังหวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาอุบัติเหตุบนท้องถนน เนื่องจากเป็นจังหวัดขนาดใหญ่ มีประชากรจำนวนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น (Tippayanate et al., 2024) พื้นที่เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น มีลักษณะของถนนทางเลี้ยวเมืองหนึ่งชั้นโดยรอบและมีถนนสายหลักตัดมุ่งตรงเข้าสู่พื้นที่ใจกลางเมือง ในการศึกษาที่ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งกล้องวงจรปิด (CCTV) ในพื้นที่ 4 จุด ประกอบด้วย จุดที่ 1 ขาเข้าเมืองจากเทศบาลตำบลบึงเนียม ถนนศรีจันทร์ จุดที่ 2 ขาเข้าเมืองจากจังหวัดนครราชสีมา จุดที่ 3 ขาเข้าจากเทศบาลตำบลบ้านเป็ด ถนนมะลิวัลย์ และจุดที่ 4 ขาเข้าเมืองจากจังหวัดอุดรธานี ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 2 พื้นที่ติดตั้งกล้องวงจรปิดบริเวณทางแยกอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

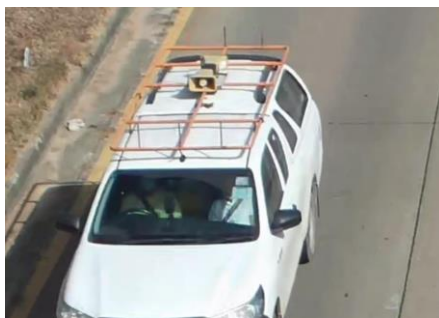
3.2 กลุ่มประชากร ขนาดตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมาย คือ ประชาชนที่ขับยานพาหนะผ่านเข้าเมืองขอนแก่นจาก 4 จุดที่กำหนดไว้ จากการสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้เข็มขัดนิรภัย ได้มีการเลือกขนาดตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental sampling) โดยกำหนดจำนวนตัวอย่างไว้ที่ 1,000 รูป จากจำนวนยานพาหนะ 1,264 คัน เพื่อเปรียบเทียบการใช้เข็มขัดนิรภัยจากผู้ขับยานพาหนะทั้ง 4 จุด

3.3 วิธีเก็บข้อมูลรูป

กล้องวงจรปิด CCTV ถูกนำมาใช้เพื่อเก็บข้อมูลในสถานการณ์การจราจร โดยอุปกรณ์ดังกล่าวถูกติดตั้งที่ความสูง 6 - 10 เมตรจากระดับถนน ทำมุม 45 องศากับผนังติดตั้งตัวกล้อง และสามารถบันทึกวิดีโอในมุมที่สามารถใช้วิเคราะห์รูปที่หลากหลาย

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2566 โดยกำหนดช่วงเวลาที่ประชาชนทั่วไปใช้ถนนมากที่สุด คือ ช่วงเวลา 07.00 - 16.00 น. เพื่อความชัดเจนและสามารถสังเกตการใช้เข็มขัดนิรภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างการเก็บข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ปัจจัยอิทธิพลพฤติกรรม

ในการศึกษานี้ได้แบ่งตัวแปรออกเป็น 2 กลุ่ม ตัวแปรตาม ได้แก่ การใช้เข็มขัดนิรภัย และตัวแปรต้น ได้แก่ สถานะ ประเภทรถ ช่วงเวลา และจุดติดตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

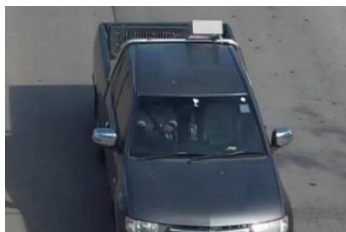
จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา และวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ การใช้เข็มขัดนิรภัย สถานะ ประเภทของรถ ช่วงวัน และจุดติดตั้ง เพื่อแสดงผลในรูปแบบของความสัมพันธ์และร้อยละ ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์โคสแควร์ และการถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic Regression) ทำการหาความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ($P < 0.05$) (ธานินทร์ ศิลปจารุ, 2560; กัลยา วานิชย์บัญชา, 2554; กัลยา วานิชย์บัญชา, 2555)

3.3 การพัฒนาระบบ AI ตรวจรูปและทดสอบ

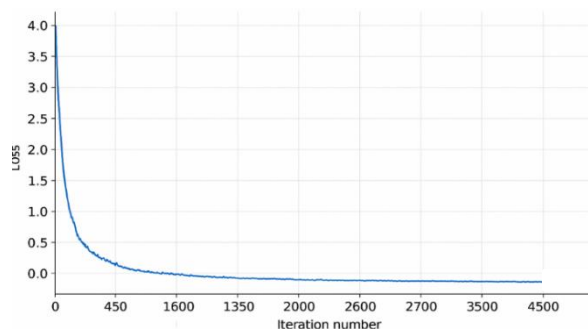
จากรูปทั้งหมดจำนวน 1,000 รูป ผู้วิจัยได้พัฒนา AI เข้ากับระบบกล้อง CCTV นำข้อมูลชุดรูปของผู้ขับขี่ยานพาหนะ 4 ล้อขึ้นไปที่ได้รับการคัดเลือกแล้วจำนวน 805 รูป โดยมีรูปที่ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้จำนวน 195 รูป เข้ามาฝึกเครื่องเรียนรู้ด้วยโปรแกรม Yolo มีการฝึกทั้งหมด 4,500 รอบ (ในการฝึกเครื่องเรียนรู้จากรูป 805 รูป มีการแบ่งชุดข้อมูลภาพ Training Set ร้อยละ 80 และ Test Set ร้อยละ 20 โดย Yolo Version 4 ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 จากนั้นเก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบความถูกต้องโดยหลัก Confusion Matrix จำนวน 46 รูป และวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ (Kumphong & Chawapattanayotha, 2024; Dhinnabutra et al., 2025)

ตารางที่ 1 ตัวแปร

ตัวแปรตาม	รหัส/ความหมาย	เอกสารอ้างอิง
การใช้เข็มขัดนิรภัย (Y)	1= ใช้ 0= ไม่ใช้	Shaaban K. and Abdelwarith K. 2020
ตัวแปรต้น	รหัส/ความหมาย	เอกสารอ้างอิง
สถานะ (X1)	1= ผู้ขับ 0= ผู้โดยสารเบาะหน้า	มูลนิธิไทยโรดส์. 2554
ประเภทของรถ (X2)	1= รถเก๋ง 2= รถกระบะ 3= รถโดยสารประจำทาง 4= รถบรรทุกหกล้อ 0= อื่นๆ	
ช่วงวัน (X3)	1= วันหยุด (เสาร์ – อาทิตย์) 0= วันธรรมดา (จันทร์ – ศุกร์)	
จุดติดตั้ง (X4)	1= จุดที่ 1 2= จุดที่ 2 3= จุดที่ 3 4= จุดที่ 4	Vallibhakara S A. et al. 2018



รูปที่ 4 ตัวอย่างการแปลงจากไฟล์รูปเป็นไฟล์ txt. ก่อนการฝึกการเรียนรู้



รูปที่ 5 การฝึกการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์

การทดสอบความถูกต้องวิเคราะห์โดยหลัก Confusion Matrix การวิจัยในการพัฒนาการตรวจจับหรือจำแนกรูปต่าง ๆ จะได้รับการตรวจสอบประสิทธิภาพโดยหลักการ Confusion Matrix โดยที่ True Positive (TP) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกว่าเป็นสิ่งที่กำลังสนใจ True Negative (TN) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกว่าเป็นสิ่งที่ไม่ได้สนใจ False Positive (FP) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดมาเป็นสิ่งที่กำลังสนใจ False Negative (FN) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดมาเป็นสิ่งที่ไม่ได้สนใจ และค่าความแม่นยำในการจำแนกประเภทข้อมูลสามารถวิเคราะห์ได้ละเอียดดังตารางที่ 2 (เจษฎา คำผอง และ รุจชัย อึ้งอารุณยะวี, 2568: Kumphonng & Chawapattanayotha, 2024; Dhinnabutra et al., 2025)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงหลักการ Confusion Matrix

Predicted / actual	Positive (Seat belt)	Negative (Non-Seat belt)
Positive (Seat belt)	TP	FP
Negative (Non-Seat belt)	FN	TN

ตารางที่ 3 รายละเอียดการวิเคราะห์

รายการตัวชี้วัดประสิทธิภาพ	การคำนวณ
ค่า True Positive Rate (TPR)	$TP/TP+FN$
ค่า True Negative Rate (TNR)	$TN/FP+TN$
ค่า Precision	$TP/TP+FP$
ค่า Recall	$TP/TP+FN$
ค่า F1-score	$2 \times \text{Precision} \times \text{Recall} / (\text{Precision} + \text{Recall})$
ค่า Accuracy	$(TP+TN) / (TP+FN+FP+TN)$

4. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงสถิติศาสตร์ของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้ขับขี่และผู้โดยสารในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น จากจุดติดตั้งทั้ง 4 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 ขาเข้าเมืองจากเทศบาลตำบลบึงเนียม ถนนศรีจันทร์ จุดที่ 2 ขาเข้าเมืองจากจังหวัดนครราชสีมา จุดที่ 3 ขาเข้าเมืองจากเทศบาลตำบลบ้านเปิดถนนมะลิวัลย์ และจุดที่ 4 ขาเข้าเมืองจากจังหวัดอุดรธานี มีรายละเอียดดังนี้

ผลจากการวิเคราะห์สัดส่วนของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยจากตัวอย่างผู้ขับขี่รถยนต์ทั้งหมด 1,264 คัน มีจำนวนตัวอย่างแสดงร้อยละของแต่จุดโดยมีอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัย ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าจุดที่ 1 ขาเข้าเมืองจากเทศบาลตำบลบึงเนียม ถนนศรีจันทร์ ร้อยละ 37.3 จุดที่ 2 ขาเข้าเมืองจากจังหวัดนครราชสีมา ร้อยละ 33.2 จุดที่ 3 ขาเข้าเมืองจากเทศบาลตำบลบ้านเปิด ถนนมะลิวัลย์ ร้อยละ 16.0 และจุดที่ 4 ขาเข้าเมืองจากจังหวัดอุดรธานี เป็นจุดที่พบการใช้เข็มขัดมากที่สุด ร้อยละ 52.1 ซึ่งมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 6 แผนภูมิแสดงอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัย

ในพื้นที่ศึกษามีอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัยในประเภทยานพาหนะชนิดต่าง ๆ ดังรายละเอียดในรูปที่ 7 ได้แก่ รถเก๋ง ร้อยละ 37.4 ซึ่งเป็นประเภทที่ผู้ขับขี่มีการใช้เข็มขัดนิรภัยมากที่สุด รองลงมาคือรถกระบะ ร้อยละ 33.0 รถประเภทอื่นๆ ร้อยละ 27.2 รถโดยสารประจำทาง ร้อยละ 26.7 และรถบรรทุกหกล้อ ร้อยละ 18.2 ซึ่งมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ มีอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้ขับร้อยละ 31.4 และผู้โดยสารเบาะหน้าข้างคนขับ ร้อยละ 39.6 ซึ่งมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4



รูปที่ 7 แผนภูมิแสดงประเภทยานพาหนะที่ผู้ขับขี่ใช้เข็มขัดนิรภัย

ตารางที่ 4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้เข็มขัดนิรภัยและตัวแปรอื่น ๆ (N=1,264 คน)

	ใช้เข็มขัดนิรภัย (%)		รวม		p-value
	ใช้	ไม่ใช่	N	%	
สถานะ					< 0.05*
ผู้ขับ	31.4	68.6	986	78.0	
ผู้โดยสารเบาะหน้าข้างคนขับ	39.6	60.4	278	22.0	
ประเภทยานพาหนะ					< 0.05*
รถเก๋ง	37.4	62.6	414	32.8	
รถกระบะ	33.0	67.0	655	51.8	
รถโดยสารประจำทาง	26.7	73.3	15	1.2	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

	ใช้เข็มขัดนิรภัย (%)		รวม		p-value
	ใช้	ไม่ใช้	N	%	
สถานะ					< 0.05*
รถบรรทุกหกล้อ	18.2	81.8	44	3.5	
อื่นๆ	27.2	72.8	136	10.8	
ช่วงเวลา					< 0.05*
วันธรรมดา	31.5	68.5	906	71.7	
วันหยุด	37.7	62.3	358	28.3	
จุดติดตั้งกล้อง					< 0.001**
จุดที่ 1	37.3	62.7	244	19.3	
จุดที่ 2	33.2	66.8	368	29.1	
จุดที่ 3	16.0	84.0	393	31.1	
จุดที่ 4	52.1	47.9	259	20.5	
รวม	33.2	66.8			

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, **ที่ระดับนัยสำคัญ 0.001

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้เข็มขัดนิรภัย พบว่ามีตัวแปรทั้งหมด 2 ตัวแปร ได้แก่ สถานะและช่วงเวลา มีความสัมพันธ์กับการใช้เข็มขัดนิรภัย ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า ผู้ขับขี่มีอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัยน้อยกว่าผู้โดยสารเบาะหน้าข้างคนขับ นอกจากนี้ ผู้ใช้ยานพาหนะที่ขับขี่ในช่วงวันหยุดมีอัตราการใช้เข็มขัดนิรภัยเป็น 1.753 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาขับขี่ในวันธรรมดา ที่ระดับนัยสำคัญ (ดังแสดงในตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 แบบจำลองถดถอยโลจิสติกส์ของการใช้เข็มขัดนิรภัย (N=1,264 คัน)

ตัวแปร	Category /Unit	Coef.	p-value	Odd ratio	95% C.I. for EXP(B)	
					Lower	Upper
สถานะ	ผู้โดยสารฯ			1.000		
	ผู้ขับ	-0.382	<0.05*	0.708	0.518	0.901
ช่วงเวลา	วันธรรมดา			1.000		
	วันหยุด	0.304	<0.05*	1.356	1.048	1.753
ค่าคงที่		-0.493	<0.001**			
ρ^2		0.013				
-2LL		1595.597				

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, **ที่ระดับนัยสำคัญ 0.001

จากตารางที่ 6 ผลการศึกษาข้อมูลรูป 805 รูปมาฝึกโดยเครื่องเรียนรู้รูปของพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัย โดยผู้วิจัยได้จำแนกข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มคือ ผู้ขับขี่ที่ใช้เข็มขัดนิรภัยและผู้ขับขี่ที่ไม่ใช้เข็มขัดนิรภัย และการทดสอบ Confusion Matrix พบว่าโปรแกรมมีความถูกต้องร้อยละ 83, ค่า True Positive Rate (TPR) ร้อยละ 91, ค่า True Negative Rate (TNR) ร้อยละ 78, ค่า Precision ร้อยละ 89, ค่า Recall ร้อยละ 74 และค่า F1-score ร้อยละ 81 ดังแสดงในรูปที่ 8 และตารางที่ 7



รูปที่ 8 ตัวอย่างการตรวจจับการใช้เข็มขัดนิรภัย

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ Confusion Matrix (N=46 รูป)

Predicted / actual	Seat belt	Non- Seat belt
Seat belt	17	6
Non- Seat belt	2	21

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์รายการ Performance metrics

รายการตัวชี้วัดประสิทธิภาพ	ค่าผลลัพธ์
ค่า True Positive Rate (TPR)	0.91
ค่า True Negative Rate (TNR)	0.78
ค่า Precision	0.89
ค่า Recall	0.74
ค่า F1-score	0.81
ค่า Accuracy	0.83

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาของประเทศไทยมีการประเมินความตระหนักในความปลอดภัยในการเดินทางและการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะกรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาดังกล่าวบ่งชี้ว่าระดับพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยมีความสัมพันธ์กับอายุ รายได้ และทัศนคติการตระหนักรู้ถึงประโยชน์ นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการเกิดอุบัติเหตุที่รุนแรงมีความสัมพันธ์กับการใช้เข็มขัดนิรภัยเช่นกัน (ขจรศักดิ์, จันทร์พานิชย์ และคณะ, 2552; นิรุตติ์ สมศรี, 2561; Vallibhakara et al., 2018) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ได้พบว่าประเภทยานพาหนะมีความสัมพันธ์กับการใช้เข็มขัดนิรภัยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน พบว่าร่างมนุษย์ที่กระเด็นออกจากตัวรถมักเป็นผู้ไม่คาดใช้เข็มขัดนิรภัย ทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (สุรพงษ์ ผานาคและกรวิภา น้อยเชียง, 2563)

พฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยเป็นพฤติกรรมที่น่าสนใจแต่ยากในการจัดการในประเด็นการบังคับใช้กฎหมาย ซึ่งมีการศึกษาสะท้อนปัญหาการนำพระราชบัญญัติจราจรทางบก (ฉบับที่ 5) ว่าด้วยการใช้เข็มขัดนิรภัยไปปฏิบัติ โดยดำเนินการศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาพบว่าการบังคับใช้กฎหมายมีประเด็นการขาดแคลน อัตรากำลังเจ้าหน้าที่ตำรวจ และเครื่องมือที่ทันสมัยในการตรวจจับ เป็นต้น (ชาติชาย โปสินธิติ, 2541)

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้เสนอแนะระบบการจำแนกรูปพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยในยานพาหนะอย่างถูกต้องโดยการใช้เทคนิคขั้นสูงของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถ จำแนกได้อย่างถูกต้องจากลักษณะของรูป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์รูป ตรวจสอบลักษณะของผู้ขับขี่ยานพาหนะภายในตัวรถ (Kashevnik et al., 2020; Upadhyay et al., 2023) ซึ่งมีความแตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่มีเป้าหมายในการจำแนกรูปพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยจากนอกตัวรถ ซึ่งรูปที่ ตรวจจับหรือจำแนกได้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับการบังคับใช้กฎหมาย

งานวิจัยนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาปัจจัยอิทธิพลและการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจจับพฤติกรรม การใช้เข็มขัดนิรภัยในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาในการเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 จุด จากการศึกษพบว่า สถานะ ผู้โดยสารเบาะหน้าข้างคนขับ ประเภทรถ ช่วงเวลา และจุดติดตั้ง มีความสัมพันธ์กับการ ใช้เข็มขัดนิรภัยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การศึกษานี้พบว่าผู้โดยสารเบาะหน้าข้างคนขับมีอัตราการ ใช้เข็มขัดนิรภัยมากกว่าผู้ขับ และผู้ขับรถเก๋งมีอัตราการ ใช้เข็มขัดนิรภัยมากกว่ายานพาหนะประเภทอื่น ๆ ซึ่งผู้ ใช้ยานพาหนะที่ขับขึ้นในช่วงวันหยุดมีอัตราการ ใช้เข็มขัดนิรภัยเป็น 1.753 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาขับขึ้นในวัน ธรรมดา ที่ระดับนัยสำคัญและจากการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจจับพฤติกรรม การใช้เข็มขัดนิรภัยใน ยานพาหนะพบว่ามีค่าความแม่นยำร้อยละ 83 (ค่า True Positive Rate (TPR) ร้อยละ 91, ค่า True Negative Rate (TNR) ร้อยละ 78, ค่า Precision ร้อยละ 89, ค่า Recall ร้อยละ 74 และค่า F1-score ร้อยละ 81) (Gu et al., 2024; Khamparia & Singh, 2025; Özmen et al., 2024)

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรมีการเพิ่มตัวแปรอิสระสำหรับการศึกษาในอนาคต ปัจจัยต่าง ๆ อาทิ ช่วงเวลา อายุ เพศ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการตระหนักรู้ในการใช้เข็มขัดนิรภัย หรือศึกษาในปัจจัยด้านจิตวิทยาจราจรที่ใช้กัน อย่างแพร่หลาย (Nambulee et al., 2019; Shaaban & Abdelwarith, 2020)

6.2 ควรมีการศึกษาและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในถนนสายรองและสายย่อยของเมืองขอนแก่น เพื่อเปรียบเทียบ อัตราการใช้เข็มขัดนิรภัยเพื่อนำข้อมูลไปพัฒนาเป็นมาตรการหรือนโยบายเพื่อความปลอดภัยทางถนนได้อย่าง หลากหลาย เช่น ตัวอย่างมาตรการป้ายประชาสัมพันธ์การสร้างความรู้ความตระหนักรู้ของการใช้เข็มขัดนิรภัย ที่ติดตั้งบน ถนนสายหลักก่อนเข้าสู่เมือง ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตัวอย่างการสร้างความรู้ความตระหนักรู้ของการใช้เข็มขัดนิรภัย

6.3 ควรมีเครื่องมือหรือวิธีการศึกษาในข้อจำกัดหรืออุปสรรคของการศึกษารุ่นนี้ อาทิ การใช้กล้องคุณภาพสูงในการมองเห็นภายในยานพาหนะที่ติดฟิล์มรถที่มืดและผู้ขับขี่ที่ใช้เสื้อที่มีลวดลายหลากหลาย ซึ่งการศึกษารุ่นนี้ได้พบตัวอย่างที่ถูกตัดออกเนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์รูปได้ ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างอุปสรรคในการเก็บข้อมูล

6.4 ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ของความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งระบบตรวจจับเมื่อมีการนำเอาไปใช้จริง เพื่อบ่งชี้ความคุ้มค่าเชิงด้านเศรษฐศาสตร์การเงิน (Daowadueng & Kumphong, 2022)

6.5 ควรมีการระบุรายละเอียดในการตั้งค่า YOLO เช่น Model version, Learning rate, Anchor boxes เป็นต้น

6.6 ควรมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยอื่นที่ใช้ YOLO หรือวิธีอื่น ๆ สำหรับการตรวจพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัย เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้ดีกว่าหรือด้อยกว่าอย่างไร

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ดำเนินวิจัยภายใต้โครงการ “การสร้างโปรแกรม AI โดยใช้กล้องวงจรปิดเพื่อระบุพฤติกรรมเสี่ยงในการขับขี่ (HEC-02-66-006)” และบทความนี้ขออุทิศให้แก่พี่ชายของข้าพเจ้านายวุฒิเดช คำพอง ที่ได้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน

เอกสารอ้างอิง

- กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์.(2556). *คาดเข็มขัดนิรภัยของคนไทยทำไมต้องเข้ม*. มูลนิธิไทยโรดส์.
<http://www.tarc.or.th/research/74>
- กัลยา วานิชย์บัญชา.(2554). *การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows*. กรุงเทพฯ; ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วานิชย์บัญชา.(2555). *สถิติสำหรับงานวิจัย*. กรุงเทพฯ; ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ขจรศักดิ์ จันทร์พาณิชย์ นงนุช ตันติธรรม วันรุ่ง แสนแก้ว ฐิติมา ชันธสิน วรลักษณ์ วีระสุวรรณ และพีรพล ชูส่งแสง. (2552). *การประเมินความตระหนักในความปลอดภัยในการเดินทางและการใช้เข็มขัดนิรภัยของผู้โดยสารรถโดยสารสาธารณะ*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- เจษฎา คำพอง และ รุจชัย อึ้งอารุณยะวี. (2568). การพัฒนาแพลตฟอร์มโครงข่ายกล้องอัจฉริยะด้วยโปรแกรม Pineapple สำหรับระบบกล้องวงจรปิดของตำรวจภูธรภาค 4. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ*, 6(14), A1–10. <https://sc01.tci-thaijo.org/index.php/dtaj/article/view/240982>
- เจษฎา คำพอง และ อินิดา บัณฑิตวรรณ. (2564). การศึกษาจุดอันตราย: กรณีศึกษาถนนศรีจันทร์ในเขต พื้นที่เทศบาลนครขอนแก่นประเทศไทย. *วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*, 11(3), 332-346.

- ชาติชาย โทสินธิติ. (2541). ปัญหาการนำพระราชบัญญัติจราจรทางบก (ฉบับที่ 5) ว่าด้วยการคาดเข็มขัดนิรภัยไปปฏิบัติ : กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่. รัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2560). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนสามัญปิเศษเนสอาร์แอนดีดี.
- นิรุทธิ์ สมศรี. (2561). นโยบายส่งเสริมความปลอดภัยในรถโดยสารสาธารณะ: กรณีศึกษาการคาดเข็มขัดนิรภัยของผู้โดยสาร รถโดยสารสาธารณะในเขตสถานีขนส่งผู้โดยสารกรุงเทพมหานคร. *The Journal of Pacific Institute of Management Science (Humanities and Social Science)*, 4(2), 15-30.
- มูลนิธิไทยโรดส์. (2554). อัตราการคาดเข็มขัดนิรภัยของผู้ใช้รถยนต์ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2553 (No. 191633). มูลนิธิไทยโรดส์.
- สุรพงษ์ ฝานาค และ กรวิกา น้อยเชียง. (2563). การสอบสวนการบาดเจ็บและเสียชีวิตกรณีรถตู้ชนรถพ่วง อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น วันที่ 15 พฤษภาคม 2562. *วารสารสำนักงานสาธารณสุข จังหวัดขอนแก่น*, 2(2), 281-295.
- Dhinnabutra B. Kumphonng J. Dhinnabutra P and Phurimsak C . (2025). Hi-Tech Plant Leaf Classification Using Artificial Intelligence (AI). *Science Essence Journal*, 41(1), 12–23. Retrieved from <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/sej/article/view/16568>
- Daowadueng P. and Kumphonng J. (2022). Capital Investment Analysis for the Product of a Startup Company Case Study: Detection Program for Traffic Light Violations. *Journal of Management Science Chiangrai Rajabhat University*, 17(2), 163-186.
- Elihos A. Alkan B. Balci B. and Artan Y. (2018). Comparison of image classification and object detection for passenger seat belt violation detection using NIR & RGB surveillance camera images. In *2018 15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, pp. 1-6). IEEE.
- Faisal, M. M., Mohammed, M. S., Abduljabar, A. M., Abdhussain, S. H., Mahmmod, B. M., Khan, W., & Hussain, A. (2021). Object Detection and Distance Measurement using AI. In *Proceedings - International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE* (Vol. 2021-December, pp. 559–565). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/DESE54285.2021.9719469>
- Gu X. Lu Z. Ren J. and Zhang Q. (2024). *Seat belt detection using gated Bi-LSTM with part-to-whole attention on diagonally sampled patches*. *Expert Systems with Applications*. 252: 123784.
- Kashevnik A. Ali A. Lashkov I. and Shilov N. (2020). Seat belt fastness detection based on image analysis from vehicle in-abin camera. In *2020 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*, pp. 143-150). IEEE.
- Khamparia A. and Singh C. (2025). Advanced Safety Systems: Seat Belt and Occupancy Detection using Attention Spiking Neural Networks. *International Journal on Engineering Artificial Intelligence Management, Decision Support, and Policies*, 2(1), 1-13.

- Kumphong J. and Chawapattanayotha N. (2024). Developing A CCTV-AI System with The Capability to Accurately Detect and Recognize Individuals Who Are Wearing Helmets, Specifically Targeting Riders and Passengers. *Industrial Technology Journal Surindra Rajabhat University*, 9(2), 210-224.
- Li H. Wu D. Zhang W. and Xiao C. (2024). YOLO-PL: Helmet wearing detection algorithm based on improved YOLOv4. *Digital Signal Processing*, 144, 104283.
- Nambulee W. Jomnonkwao S. Siridhara, S. and Ratanavaraha V. (2019). Modelling of seat belt use intention for intercity buses based on health belief model. *Transportmetrica A: transport science*, 15(2), 944-962.
- Ozbaran, Y. and Tasgin S. (2019). Using cameras of automatic number plate recognition system for seat belt enforcement a case study of Sanliurfa (Turkey). *Policing: An International Journal*, 42(4), 688-700.
- Özmen M. M. Eylence M. and Aksoy B. (2024). Control of seat belts of vehicle drivers while driving with an unmanned aerial vehicle with artificial intelligence. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 8(3), 451-458.
- Se, C., Champahom, T., Wisutwattanasak, P. et al. Temporal instability and differences in injury severity between restrained and unrestrained drivers in speeding-related crashes. *Sci Rep* 13, 9756 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36906-7>
- Shaaban K. and Abdelwarith K. (2020). Understanding the association between cell phone use while driving and seat belt noncompliance in Qatar using logit models. *Journal of Transportation Safety & Security*, 12(2), 292-308.
- Tianshu, W., Zhijia, Z., Zhanning, L., Yunpeng, L., & Shixian, W. (2019). Detection and Implementation of Driver's Seatbelt Based on FPGA. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1229). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1229/1/012075>
- Tippayanate, N., Impool, T., Sujayanont, P., Muttitanon, W., Chemin, Y., & Som-ard, J. (2024). Temporal Analysis of Road Traffic Accidents at Major Intersections in Khon Kaen Province, Thailand: A Time Series Investigation from 2012 to 2021. *International Journal of Geoinformatics*, 20(7), 43–58. <https://doi.org/10.52939/ijg.v20i7.3403>
- Upadhyay, A., Sutrave, B., & Singh, A. (2023). Real time seatbelt detection using YOLO deep learning model. In *2023 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, SCEECs 2023*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/SCEECs57921.2023.10063114>
- Vallibhakara S A. Plitponkarnpim A. Suriyawongpaisal P. and Thakkinstian A. (2018). The nationwide surveillance of seat belt usage and encouraging factors of increasing the seat belt rate in Thailand: A road safety survey. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 101(6), 809-819.
- World Health Organization. Global Status Report on Road Safety (2018). *Global Status Report on Road Safety 2018*. 2018; 2:227-249.



คุณค่าทางวิชาการ

บทความนี้นำไปสู่การพัฒนาวัตรกรรมระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจจับพฤติกรรมการใช้เข็มขัดนิรภัยเพื่อใช้ร่วมกับการบังคับใช้กฎหมาย ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้แก่เจ้าหน้าที่ตำรวจ อีกทั้งระบบดังกล่าวยังสามารถทำงานร่วมกันกับระบบ Police ticket management (PTM) อีกด้วย นอกจากนี้ระบบสามารถทำงานร่วมกับแพลตฟอร์มโครงข่ายกล้องอัจฉริยะด้วยโปรแกรม Pineapple สำหรับระบบกล้องวงจรปิดของตำรวจภูธรภาค 4 ซึ่งข้อมูลผลการศึกษานี้จะนำเสนอต่อหน่วยงานหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อนำไปพัฒนาเป็นนโยบายที่เกี่ยวกับความปลอดภัยทางถนนของจังหวัดขอนแก่นและพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป

การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

ปรกรณ์เกียรติ ภูทองพลอย^{1*} พรรณิภา ครองพลอย²

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย^{1*}

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย²

อีเมล : Kham.lru69@gmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 17 มีนาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 23 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 8 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ เพื่อศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้เครื่องอัดถ่านขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 180 เซนติเมตร และสูง 100 เซนติเมตร ความละเอียดของตะแกรงในการร่อนผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย 600 ไมครอน และผงเปลือกไข่ไก่ 300 ไมครอน เงื่อนไขในการกำหนดส่วนผสมระหว่างถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียและเปลือกไข่ไก่อัดละเอียด แบ่งเป็น 3 ระดับคือ ร้อยละ 80:20 ร้อยละ 85:15 และร้อยละ 90:10 การผลิตถ่านอัดแท่งใช้ส่วนผสมของผงถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียและเปลือกไข่ไก่อัดละเอียด แป้งมันสำปะหลังและน้ำ โดยจะผสมในอัตราส่วน 7:1:1 น้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพ จำนวน 500 กรัม จำนวนน้ำที่ใช้ในการต้มเพื่อทำการทดลอง จำนวน 1 ลิตร และระยะเวลาในการต้มน้ำ จำนวน 1 ชั่วโมง การเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยจะศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ ค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดและค่าพลังงานความร้อนของถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

ผลการวิจัย พบว่า ระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ที่มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดคือ ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 99 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผาไหม้จนทำให้อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 30 นาที ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ที่มีค่าพลังงานความร้อนมากที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่อัดละเอียด ร้อยละ 15 มีค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานความร้อน 25.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ พบว่า ค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่อัดละเอียด ร้อยละ 15 มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุด 25.33 MJ/kg มีอุณหภูมิสูงสุด 97 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย เปลือกไข่ไก่ ถ่านอัดแท่ง ประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่ง

Study on the efficiency of charcoal briquettes from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells

Pakonkiad Poogungploy^{1*}, Punnipa Krongploy²

Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University^{1*}

Faculty of Education, Loei Rajabhat University²

E - mail : Kham.lru69@gmail.com^{1*}

Received 17 March 2025

Revised 23 April 2025

Accepted 8 May 2025

Abstract

This research to study the combustion duration and maximum boiling water temperature of charcoal briquettes made from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells, o study the calorific value of charcoal briquettes made from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells. and o study the relationship between the calorific value and the maximum boiling water temperature of charcoal briquettes made from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells. The scope of this research is that the researcher used a charcoal compressor with dimensions of 70 centimeters wide, 180 centimeters long, and 100 centimeters high. The screen resolution for sifting macadamia nut shell charcoal powder is 600 microns and chicken egg shell powder is 300 microns. The conditions for determining the mixture between charcoal from macadamia nuts and finely ground egg shells are divided into 3 levels: 80:20, 85:15 and 90:10. Charcoal briquettes are made by mixing charcoal powder from macadamia nut shells and finely ground egg shells, cassava flour and water in a ratio of 7:1:1, The weight of charcoal briquettes used in the efficiency study was 500 grams, the amount of water used for boiling to conduct the experiment was 1 liter, and the boiling time was 1 hour. Data collection the combustion duration, maximum boiling water temperature and calorific value of charcoal from macadamia nut shells mixed with chicken egg shells.

The research found that the burning time and the maximum boiling water temperature of the charcoal briquette from macadamia nut mixed with chicken egg shells, which had the highest boiling water temperature, were the charcoal briquette from macadamia nut 85 % mixed with chicken egg shells 15% found to be 99 degrees Celsius and takes 30 minutes to burn until the temperature is constant. The calorific value of charcoal briquettes from macadamia nut mixed with chicken egg shells at highest calorific is the charcoal briquette from macadamia nut 85 % mixed with chicken egg shells 15% average heat energy value is 25.33 MJ/kg. The relationship between calorific value and maximum boiling water temperature of charcoal briquettes from macadamia nut shell mixed with chicken egg shell It was found that the highest heat energy and boiling water temperature at the mixing ratio of is from 85:15 the highest heat energy value of 25.33 MJ/kg and the highest water temperature of 97 degrees Celsius.

Keywords : charcoal briquettes from macadamia nut, chicken egg shells, charcoal briquettes

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้พลังงานเป็นปัจจัยที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ทั้งในระบบนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิต และพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้นโดยพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้นนั้นมิวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานชีวมวล ถือเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการดำรงชีวิต โดยแหล่งของการสร้างพลังงานชีวมวลนั้นมนุษย์นำมาจากวัสดุที่มีในธรรมชาติ เช่น ต้นหญ้า ต้นไม้ กิ่งไม้ หรือเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตร เช่น ฟาง ชี้อ้อย แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ เปลือกไม้ มูลสัตว์ รวมทั้งของเหลือหรือขยะจากครัวเรือน เชื้อเพลิงชีวภาพกลายเป็นพลังงานที่สำคัญอย่างมากสำหรับมนุษย์ในอนาคตเนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกำลังจะหมดลง เชื้อเพลิงชีวภาพเริ่มเข้ามามีบทบาทเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถผลิตได้จากสารอินทรีย์ เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งล้วนมีประโยชน์มากกว่าเชื้อเพลิงทั่วไป ไม่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งในหลายส่วนของโลกเนื่องจากหาได้ง่ายและประหยัด การใช้ไฟในการเผาไหม้ถือเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของมนุษย์ ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ (Baskar Gurnathan and Renganathan Sahadevan, 2022) รูปแบบหลักของเชื้อเพลิงไม้ที่ใช้ ได้แก่ ไม้ซุง ไม้สำหรับทำฟืน เศษไม้ ถ่านไม้ และเม็ดไม้ ไม้พืนที่ตัดและผ่าเป็นท่อนๆ สำหรับใช้เผาในเตาผิง เตา เตาไฟ ฯลฯ เศษไม้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นของแข็งในรูปแบบของเศษไม้หรือชิ้นไม้ที่มีขนาดและรูปร่างที่แน่นอน ซึ่งผลิตขึ้นโดยวิธีการทางวิศวกรรมโดยใช้ไม้บดเป็นผง โดยปกติจะมีรูปร่างทรงกระบอกที่จะมีหรือไม่มีหรือไม่มีสารเติมแต่งก็ได้ ถ่านไม้ผลิตขึ้นโดยการอัดชีวมวลไม้ที่บดเป็นผง ความสามารถในการผลิตพลังงานของไม้ขึ้นอยู่กับประเภทของไม้ และปริมาณน้ำ สิ่งสำคัญคือต้องแน่ใจว่าไม้พืนที่ผ่านการแปรรูปนั้นแห้งที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถผลิตเชื้อเพลิงไม้ที่มีคุณภาพได้ สำหรับระบบทำความร้อนขนาดเล็ก เช่น สำหรับการปรุงอาหารในบ้าน เชื้อเพลิงไม้ไม่ควรมีความชื้นเกินร้อยละ 25 ไม้เนื้อแข็งมีปริมาณแคลอรี 14.9 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และหากถูกเผาที่ประสิทธิภาพ ร้อยละ 70 ก็จะสามารถนำพลังงานกลับคืนมาได้ 10.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ปัจจุบันประชากรโลกเริ่มพบปัญหาจากขยะที่เกิดจากอาหาร ซึ่งส่งผลกระทบและสร้างปัญหาด้านสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงในอินเดียและทั่วโลก ตามข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ระบุว่าอาหารประมาณ 67 ล้านตันถูกทิ้งในอินเดียทุกปี ซึ่งรวมถึงผลไม้และผักที่เน่าเสีย ชิ้นส่วนที่ไม่สามารถรับประทานได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์และสัตว์ปีก อาหารดิบหรือสุกที่เหลือ เป็นต้น ปัจจุบันขยะจากอาหารมีประมาณร้อยละ 70-75 ถูกใช้เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ยหมัก และหลุมฝังกลบ แต่ปัญหาที่ตามมาคือการขุดหลุมฝังกลบส่งกลิ่นเหม็นและเป็นที่ทราบกันว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้คน สัตว์ และสิ่งแวดล้อม (Baskar Gurnathan and Renganathan Sahadevan, 2022) จากปัญหาข้างต้นจึงมีความพยายามในการนำขยะที่เกิดจากอาหารมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพหรือถ่านอัดแท่งนับเป็นทางเลือกหนึ่งที่นักวิชาการ นักวิจัยเริ่มให้ความสำคัญ หากพิจารณาเปลือกหรือกะลาแมคคาเดเมียซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปแมคคาเดเมียเป็นขยะที่เกิดจากอาหาร ซึ่งมีศักยภาพที่นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ซึ่งถ่านจากเปลือกแมคคาเดเมียมีความหนาแน่นรวมของถ่านน้อย มีรูพรุนสูง สามารถนำมาทำเป็นถ่านได้ ถ่านแมคคาเดเมียสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งดูดกลิ่น ดูดสารพิษ เร่งให้ข้าวหรืออาหารสุกเร็วขึ้น การผลิตของถ่านแมคคาเดเมีย ทำได้โดยนำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่เหลือทิ้งในกระบวนการผลิตมาเผาด้วยกรรมวิธีที่เฉพาะ ก็จะได้ถ่านแมคคาเดเมียซึ่งเป็นขยะเหลือทิ้งที่มีประโยชน์ เปลือกกะลาแมคคาเดเมียมีเนื้อกะลาที่แข็งมาก และมีไขมันของแมคคาเดเมียอยู่ในเปลือกกะลา จึงทำให้ถ่านแมคคาเดเมียไฟแรง ติดทนนานกว่า 2 ชั่วโมง ไร้วีรณ ใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารได้ บ้างยังได้ตี เพราะให้ความร้อนสูง มีเขี้ยวเล็กน้อย ไม่แตกสะเก็ดไฟระหว่างเผาไหม้ และไม่มีก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ระเหยออกมา หรืออาจนำไปวางไว้ใต้ต้นไม้ช่วยเพิ่มแร่ธาตุในดินได้ (วีรชัย มัธยัสถ์ถาวร, 2567) เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของเปลือกหรือกะลาแมคคาเดเมียแล้วผู้วิจัยเห็นว่าหากมีการนำมาผสมกับส่วนผสมที่เป็นขยะจากอาหาร ชนิดอื่นอย่างเหมาะสมจะทำให้ได้แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการประกอบอาหารในครัวเรือน

หรือพัฒนาไปสู่กระบวนการของผู้ประกอบการรายย่อยหรือรายใหญ่ต่อไป ทั้งนี้ครัวเรือนส่วนใหญ่นิยมบริโภคไข่ไก่เป็นอาหารทำให้มีขยะที่เกิดจากเปลือกไข่ในแทบทุกครัวเรือนโดย เพิก กองศรี (2557) ได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำเปลือกไข่ไก่ซึ่งเป็นขยะจากอาหารในครัวเรือนมาเป็นตัวเร่งเชื้อเพลิงให้กับเตาถ่าน โดยเสนอว่าการก่อไฟเตาถ่าน นำเปลือกไข่ 3-4 ใบ ทบละเอียด ห่อด้วยกระดาษขนาดเท่า กำมือวางใต้ฟืนหรือถ่านที่จะก่อไฟจะช่วยให้ไฟในเตาถ่านแรงขึ้น องค์ประกอบของเปลือกไข่มีส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) (อภิพงษ์ พุฒคำ, 2562) ทั้งนี้หากนำเปลือกไข่ไปเผาจะทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่สลายตัวเมื่อได้รับความร้อน จากนั้นจะปล่อยแคลเซียมออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ออก เนื่องจากเกิดการสลายตัวด้วยความร้อนของแคลเซียมคาร์บอเนต ทั้งนี้การเผาแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถทำได้พลังงานความร้อนสูง โดยมีอุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส (พีซีซี กรุ๊ป, 2565) ดังนั้นหากนำเปลือกไข่มาเป็นส่วนผสมของถ่านและอาศัยคุณสมบัติของการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่เมื่อได้รับการเผาและเกิดเป็นพลังงานความร้อนสูง ย่อมจะทำให้ได้แหล่งพลังงานชีวภาพที่น่าสนใจและสามารถลดปริมาณขยะได้ จากการศึกษาแนวคิดทฤษฎีข้างต้น คณะผู้วิจัยพิจารณาแล้วเห็นว่าการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้และเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย โดยนำมาผสมกับเปลือกไข่ไก่ถือเป็นพลังงานชีวภาพที่น่าสนใจและทำให้เชื้อเพลิงที่ให้ค่าพลังงานสูง

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ โดยกำหนดเงื่อนไขในการกำหนดส่วนผสมของถ่านอัดแท่ง เพื่อเป็นการลดขยะจากอาหาร และเป็นประโยชน์ในการเรียนการสอน การวิจัย การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้ทางเลือกของแหล่งพลังงานในการผลิตผลผลิตของตนเอง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่
2. เพื่อศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

3. วิธีการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ผู้วิจัยมีวิธีการวิจัยดังนี้

3.1 การเตรียมผงถ่านเมล็ดแมคคาเดเมีย

3.1.1 นำเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียมาเผาด้วยเตาไฟฟ้าดังรูปที่ 1 โดยผู้วิจัยเริ่มเผาเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยอุณหภูมิคงที่และให้ความร้อนอย่างช้าๆ ด้วยกระบวนการ Torrefaction เพื่อให้ได้ถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่เป็นของแข็ง ผู้วิจัยพบว่าใช้เวลาในการเผา 8 ชั่วโมง 30 นาที ได้ถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่เป็นของแข็ง สามารถวัดความร้อนของถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียได้ 800 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยทั้งถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียไว้ให้เย็น จะได้ถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 เตาเผาไฟฟ้า



รูปที่ 2 ถ่านแมคคาเดเมียที่ผ่านการทำให้เป็นถ่าน

3.1.2 บดถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยเครื่องบด และนำผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียมาร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 600 ไมครอน เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขการวิจัย ดังรูปที่ 3 จากนั้นนำผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่ได้จากเครื่องบดมาร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 600 ไมครอน และบดจนได้ผงถ่านแมคคาเดเมียที่มีขนาด 600 ไมครอน ดังรูปที่ 4

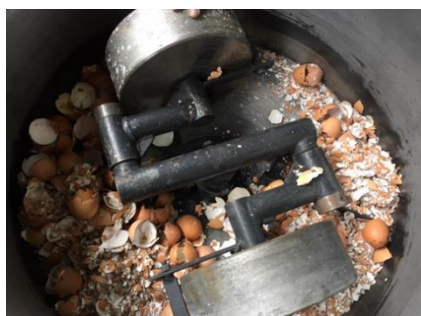


รูปที่ 3 การบดถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยเครื่องบด



รูปที่ 4 ผงถ่านแมคคาเดเมียที่ผ่านการร่อนแล้ว

3.2 การบดเปลือกไข่ไก่ ผู้วิจัยนำเปลือกไข่ไก่มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า แล้วนำไปตากแดดให้แห้งเพื่อไม่ให้เปลือกไข่ไก่ที่จะนำมาบดมีความชื้น จากนั้นนำเปลือกไข่ไก่ที่แห้งแล้ว นำมาบดด้วยเครื่องบด และนำผงเปลือกไข่ไก่ที่ได้จากเครื่องบดมาร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 300 ไมครอน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การบดเปลือกไข่ไก่



รูปที่ 6 ผงเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการร่อนแล้ว

3.3 กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง

3.3.1 นำผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการร่อนจนได้ขนาด 600 ไมครอน มาผสมกับผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียดขนาด 300 ไมครอน ตามอัตราส่วนร้อยละ 80:20, 85:15 และ 90:10 โดยใช้ปิกร่อนขนาด 80 มิลลิเมตร เป็นหน่วยในการกำหนดอัตราส่วน ร้อยละในการกำหนดอัตราส่วนมีดังนี้

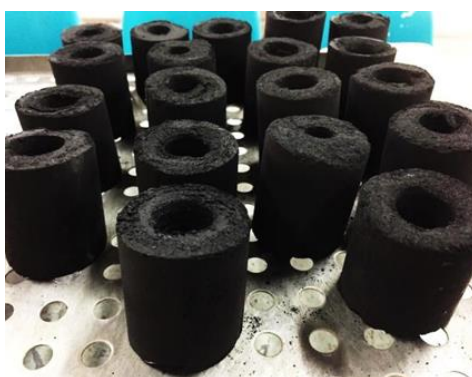
3.3.1.1 อัตราส่วน ร้อยละ 80:20 ได้แก่ ใช้ผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย ร้อยละ 80 ผสมกับ ผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียด ร้อยละ 20

3.3.1.2 อัตราส่วน ร้อยละ 85:15 ได้แก่ ใช้ผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย ร้อยละ 85 ผสมกับ ผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียด ร้อยละ 15

3.3.1.2 อัตราส่วน ร้อยละ 90:10 ได้แก่ ใช้ผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมีย ร้อยละ 90 ผสมกับ ผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียด ร้อยละ 10

เมื่อผสมผงถ่านเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียบดละเอียดขนาด 600 ไมครอน กับผงเปลือกไข่ไก่บดละเอียดขนาด 300 ไมครอน ตามอัตราส่วนร้อยละ 80:20, 85:15 และ 90:10 เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะคลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากันเพื่อเตรียมผลิตถ่านอัดแท่งต่อไป

3.3.2 การผลิตถ่านอัดแท่ง ผู้วิจัยใช้ผงถ่านที่ผสมตามเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไขในข้อ 3.3.1 นำมาผสมกับ แป้งมันสำปะหลังและน้ำ โดยจะผสมในอัตราส่วน ผงถ่าน:แป้งมันสำปะหลัง:น้ำ ในอัตราส่วน 7:1:1 จากนั้นนำไปอัดด้วยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งแบบอัดเย็น แล้วตัดแท่งถ่านให้มีความยาว 4.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ถ่านอัดแท่ง

3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

3.3.1 การศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด

1. นำถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่ได้จากอัตราส่วนผสมต่าง ๆ มาทำผิวดัดให้แห้ง เพื่อลดความชื้นในแท่งถ่าน จนได้ความชื้นประมาณร้อยละ 11.30 ฐานแห้ง

2. นำถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ซึ่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักจำนวน 500 กรัม

3. นำไปทดสอบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ โดยนำไปใช้ต้มน้ำปริมาณ 1 ลิตร

4. วัดอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดและระยะเวลาในการเผาไหม้

3.3.2 การศึกษาค่าพลังงานความร้อน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน Bomb Calorimeter ของถ่านอัดแท่งถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ในแต่ละอัตราส่วนตามเงื่อนไขการทดลอง

3.3.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ โดยพิจารณาค่าพลังงานความร้อนควบคู่กับอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด

4. ผลการวิจัย

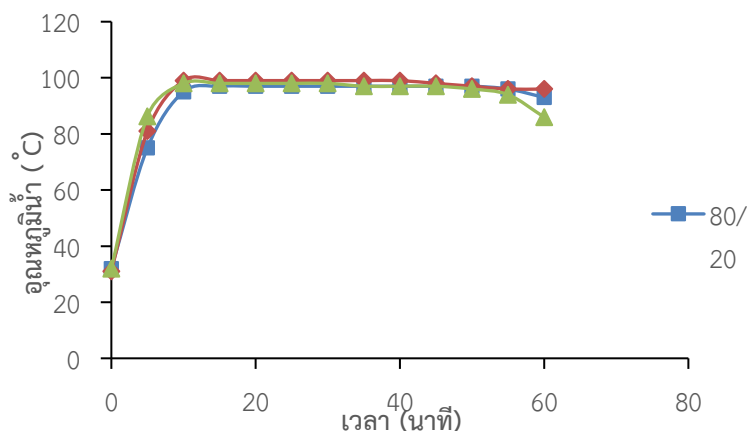
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ผลการวิจัยพบว่า

4.1.1 อัตราส่วนผสมร้อยละ 80: 20 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 80 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 20 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 97 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 15-50 นาที รองลงมา คือ 96 องศาเซลเซียส ณ เวลา 55 นาที และอุณหภูมิน้ำต้มต่ำสุด 75 องศาเซลเซียส ณ เวลา 5 นาที และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิน้ำคองที่พบว่าเป็นอุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่ทำให้อุณหภูมิคองที่เท่ากับ 35 นาที

4.1.2 อัตราส่วนผสมร้อยละ 85: 15 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 99 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 10-40 นาที รองลงมา คือ 98 องศาเซลเซียส ณ เวลา 45 นาที และอุณหภูมิน้ำต้มต่ำสุด 81 องศาเซลเซียส ณ เวลา 5 นาที เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิน้ำคองที่พบว่าเป็นอุณหภูมิ 99 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่ทำให้อุณหภูมิคองที่เท่ากับ 30 นาที

4.1.3 อัตราส่วนผสมร้อยละ 90: 10 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 90 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 10 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 98 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 10-30 นาที รองลงมา คือ 97 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 35-45 นาที และต่ำสุด 86 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 5 นาที เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิน้ำคองที่พบว่าเป็นอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่ทำให้อุณหภูมิคองที่เท่ากับ 20 นาที รายละเอียดดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

4.2 ผลการศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

ผลการศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ แสดงผลการวิจัยได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

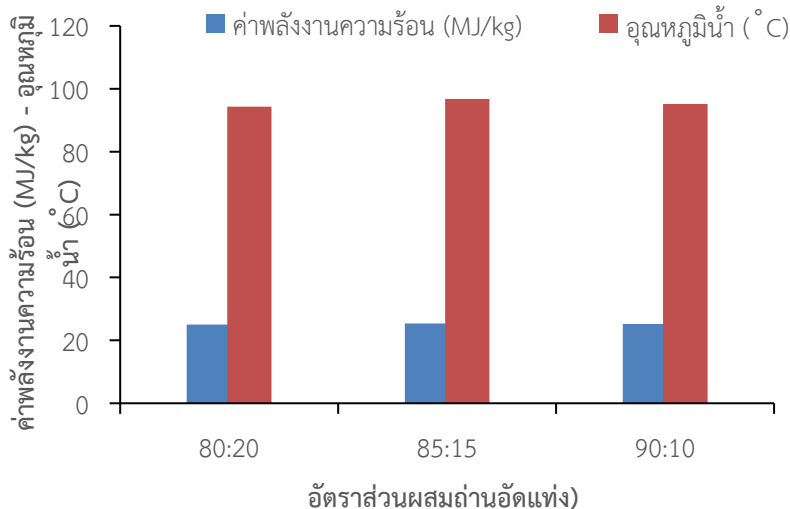
ครั้งที่	อัตราส่วนผสม(ร้อยละ)		
	80:20	85:15	90:10
1	25.40	25.20	25.07
2	24.88	25.24	25.52
3	24.83	25.54	25.08
เฉลี่ย	25.04	25.33	25.22

หน่วย:เมกะจูลต่อกิโลกรัม

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมที่มีค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่มากที่สุดคือ อัตราส่วนผสม ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานความร้อน 25.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 90 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานความร้อน 25.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และอัตราส่วนที่มีค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไบน้อยที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 80 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 20 มีค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานความร้อน 25.04 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ผลการวิจัยพบว่า

ค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุด 25.33 MJ/kg มีอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด 97 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ อัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 90 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 10 มีค่าพลังงานความร้อน 25.22 MJ/kg มีอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด 95 องศาเซลเซียส และค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่ต่ำที่สุด คือ อัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ที่อัตราส่วนผสมจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 80 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 20 มีค่าพลังงานความร้อน 25.10 MJ/kg มีอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด 94 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาในการต้มน้ำทั้งหมด 60 นาที เมื่อพิจารณาค่าพลังงานความร้อนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ น้ำ นั่นคือ ถ้ามีค่าพลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้นก็จะมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิของน้ำต้มสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ความร้อนของฟูรีเยร์ กล่าวคือ อัตราการไหลของความร้อนที่สูงจะส่งผลต่ออุณหภูมิของวัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงตาม นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคงที่ของอุณหภูมิแต่ละเงื่อนไขของอัตราส่วนผสม มีความแตกต่างกัน ส่วนค่าความร้อนของอัตราส่วนผสม 85:15 สูงสุดนั้น เนื่องจากเมล็ดของแมคคาเดเมียมีความแข็งและเนื้อภายในของกะลามีความละเอียดมาก ทำให้น้ำหนักต่อปริมาตรสูง เมื่อถูกนำมาทำเป็นถ่านจึงส่งผลต่อความร้อนสูงตาม เมื่อเทียบกับไม้ฟืนทั่วไป ส่วนปริมาณของผงถ่านแมคคาเดเมีย 85 ส่วน เป็นปริมาณที่เหมาะสมกว่า 80 และ 90 ส่วน เนื่องจากอัตราส่วนผสม 85 ส่วน มีค่าอุณหภูมิของน้ำจะสูงกว่า และประกอบกับอัตราส่วนผสมของผงเปลือกไข่มีอัตราส่วนผสม 15 ส่วน ที่เหมาะสม ที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ได้ดีและมีคุณสมบัติเพิ่มความร้อนให้กับถ่านมากขึ้น รายละเอียดดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากผลการศึกษาระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ พบว่า ระยะเวลาในการเผาไหม้ และอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ ที่มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดคือ พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 99 องศาเซลเซียส ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 80 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 20 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 97 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมร้อยละ 90: 10 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 90 ผสมเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 10 มีค่าอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดเท่ากับ 98 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ผลการศึกษาค่าพลังงานความร้อนจากอุณหภูมิน้ำต้มสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่สะท้อนให้เห็นว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดของอัตราส่วนในการผสมถ่านอัดแท่ง คือ เปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียร้อยละ 85 และเปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 15 โดยหากมีปริมาณของเปลือกไข่มากเกินไป (ร้อยละ 20) หรือมีปริมาณของเปลือกไข่น้อยเกินไป (ร้อยละ 10) อาจทำให้ไม่ได้ค่าพลังงานความร้อน (อุณหภูมิน้ำต้มสูงสุด) มากที่สุดได้ เนื่องจากอัตราส่วนในการผสมถ่านอัดแท่งขณะผู้วิจัยนำเอาข้อดีของถ่านจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียที่มีคุณสมบัติของกะลาที่แข็งและเมื่อเผาแล้วทำให้มีค่าพลังงานความร้อนสูงและคุณสมบัติของถ่านจากเปลือกไข่ไก่ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่และสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้น ส่วนผสมของวัสดุทั้ง 2 ชนิด ในการผลิตถ่านอัดแท่งจะต้องอยู่ในเงื่อนไขที่เหมาะสม ไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยถ่านอัดแท่งผสมเปลือกไข่ไก่ร้อยละ 80 : 20 ของจุฬาสีลาดเลา (2551) พบว่า กรณีที่ผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านฟืนไม้กับเปลือกไข่ ทำให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 92 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมินี้คงที่ อุณหภูมิจะไม่คงที่ และค่อยๆ ลดลงจนมีอุณหภูมิ 67 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ผลการวิจัยในครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่าประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพมากกว่าถ่านอัดแท่งจากถ่านฟืนไม้กับเปลือกไข่ ของจุฬาสีลาดเลา (2551) โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่ถ่านอัดแท่งสามารถรักษาอุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่ต้มให้มีพลังงานความร้อนคงที่ เอาไว้โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณของถ่านอัดแท่ง ซึ่งพบว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ในทุกอัตราส่วนผสมมี

ระยะเวลาการรักษาดูแลของน้ำที่ต้มให้มีพลังงานความร้อนที่ตลอด โดยเฉลี่ยสามารถรักษาดูแลความร้อนสูงสุดของแต่ละอัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่เอาไว้ได้ประมาณ 50-60 นาที (จากรูปที่ 8)

จากผลการศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่ พบว่า ค่าความร้อนของถ่านแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไก่มีค่าเฉลี่ย 25.04 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานความร้อนถ่านไม้อัดแท่งของ (ดวงกมล ดังโพนทอง, 2559) มีค่าเท่ากับ 22.68 เมกะจูลต่อกิโลกรัม พบว่า ค่าพลังงานความร้อนของถ่านแมคคาเดเมียผสมเปลือกไข่ไกร้อยละ 80 : 20 มีมากกว่า เมื่อคิดเป็นค่าความแตกต่างของพลังงาน พบว่าอัตราส่วนร้อยละ 80 : 20 มีค่าพลังงานความร้อนมากกว่า 1.10 เท่า

เมื่อพิจารณาค่าพลังงานความร้อนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ น้ำ กล่าวคือ ถ้ามีค่าพลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้นก็จะมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิของน้ำต้มสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ความร้อนของฟูเรียร์ กล่าวว่า อัตราการไหลของความร้อนที่สูงจะส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของวัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงตาม นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคงที่ของอุณหภูมิในแต่ละเงื่อนไขของอัตราส่วนผสม มีความแตกต่างกัน ส่วนค่าความร้อนของอัตราส่วนผสม 85:15 สูงสุดนั้น เนื่องจากเมล็ดของแมคคาเดเมียมีความแข็งและเนื้อภายในของกะลามีความละเอียดมากทำให้มีน้ำหนักต่อปริมาตรสูง เมื่อถูกนำมาทำเป็นถ่านจึงส่งผลกระทบต่อความร้อนสูงตาม เมื่อเทียบกับไม้ฟืนทั่วไป ส่วนปริมาณของผงถ่านแมคคาเดเมีย 85 ส่วน เป็นปริมาณที่เหมาะสมกว่า 80 และ 90 ส่วน เนื่องจากอัตราส่วนผสม 85 ส่วน มีค่าอุณหภูมิของน้ำจะสูงกว่า และประกอบกับอัตราส่วนผสมของผงเปลือกไข่มีอัตราส่วนผสม 15 ส่วน ที่เหมาะสม ที่ส่งผลการเผาไหม้ได้ดีและมีคุณสมบัติเพิ่มความร้อนให้กับถ่านมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของรุจิภาส สีลาดเลา (2552) กล่าวว่า ผงเปลือกไข่ส่งเสริมให้สมบัติทางความร้อนของถ่านในด้านการหุงต้มเพิ่มขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการผลการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากวัสดุที่เป็นขยะจากอาหารชนิดอื่น นอกเหนือจากเปลือกเมล็ดแมคคาเดเมียโดยนำมาผสมเปลือกไข่ไก่

เอกสารอ้างอิง

- ดวงกมล ดังโพนทอง. (2559). การเปรียบเทียบค่าความร้อนและ ความหนาแน่น ของถ่านไม้อัดแท่งจากมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานขับเคลื่อน. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 9(1), 1-13.
- บรรณาธิการ พีซีซีกรุ๊ป . (2565). แคลเซียมคาร์บอเนตคืออะไรและใช้ทำอะไร. พีซีซี กรุ๊ป.
<https://www.products.pcc.eu/th/blog>
- เพิก กองศรี. (2557). เคล็ดลับการใช้เปลือกไข่เป็นตัวเร่งเชื้อเพลิงสำหรับเตาถ่าน. รักบ้านเกิด.
<https://www.rakbankerd.com/agriculture/print.php?id=4995&s=tblanimal>
- รุจิภาส สีลาดเลา. (2551). ความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านอัดแท่งผสมเปลือกไข่. ปริญญาโท
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- วีรชัย มัธยัสถ์ถาวร. (2567). ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมเปลือกไข่ วัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปคุณภาพสูง ติดไฟนานไร้ควัน. เทคโนโลยีชาวบ้าน. https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_269300
- อภิพงษ์ พุ่มคำ. (2562). เปลือกไข่ไม่เหลือทิ้ง เปลี่ยนของเสียให้มีค่าด้วยความร้อน. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. <https://researchcafe.tsri.or.th/egg-resource-management/>

Baskar Gurunathan and Renganathan Sahadevan. (2022). *Biofuels and Bioenergy A Techno-Economic*. Elsevier Inc. All rights reserved. Approach.

Hiemstra-van der Horst, Greg & Hovorka, Alice J., (2008). Reassessing the energy ladder Household energy use in Maun, Botswana. *Energy Policy*, 36(9), p 3333-3344.

คุณค่าทางวิชาการ

เป็นประโยชน์ในการเรียนการสอน การวิจัย การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้ทางเลือกของแหล่งพลังงานในการผลิตผลผลิตของตนเอง

การออกแบบและทดลองจริงของแขนกลหุ่นยนต์สำหรับเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยการ หาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์

กิตติศักดิ์ แสนประสิทธิ์^{1*} นัฐพงษ์ เนินชัย² คมยุทธ ไชยวงษ์³

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย^{1* 3}

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์²

อีเมล : kittisak.san@lru.ac.th^{1*}

วันที่รับบทความ 26 เมษายน 2568

วันแก้ไขบทความ 26 พฤษภาคม 2568

วันตอบรับบทความ 4 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

การเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์ (Robot Manipulator) สำหรับหยิบจับสิ่งของนั้น ได้รับความนิยมนิยมและถูกใช้ในอุตสาหกรรมมาอย่างยาวนาน งานวิจัยนี้ได้มีวัตถุประสงค์ 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่ 1 คือ ค่าการกระตุก (jerk) ของข้อต่อ (joint) หุ่นยนต์แขนกลรวมน้อยที่สุด และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ตำแหน่งสุดปลายในการหยิบจับวัตถุให้มีตำแหน่งหยิบใกล้วัตถุมากที่สุด โดยได้เปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 3 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดคือ 1) การหาค่าเหมาะสมที่สุดของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของปลาวาฬแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective Whale optimization Algorithm : MOWOA) 2) การหาค่าเหมาะสมที่สุดของขั้นตอนวิธีหมาป่าสีเทาแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective Grey Wolf Optimizer: MOGWO) 3) การหาค่าเหมาะสมที่สุดของขั้นตอนของการค้นหาความบรรสานแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective Harmony Search Optimization : MOHS) ซึ่งใช้การประเมินสมรรถนะของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้ตัวบ่งชี้ขอบหน้าพาเรโต (pareto front indicator) ด้วยวิธีการปริมาตรหลายมิติ (hypervolume : HV) พร้อมกับแสดงค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด, ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามหลักสถิติ ซึ่งได้ปริมาตรหลายมิติที่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 192,877.48 ของวิธี MOWOA แสดงว่าวิธีการ MOWOA เป็นวิธีการที่ดีที่สุด และได้ทดลองจริงกับหุ่นยนต์ รุ่น RS020N ของบริษัท Kawasaki สามารถลดการกระตุกจากวิธีการลองผิดลองถูกของหุ่นยนต์จริง (Trial-and-error) ได้ 32.33 %

คำสำคัญ : การหาค่าเหมาะสมที่สุดของปลาวาฬ การหาค่าเหมาะสมที่สุดของขั้นตอนวิธีหมาป่าสีเทา การหาค่าเหมาะสมที่สุดของขั้นตอนของการค้นหาความบรรสาน วิธีการปริมาตรหลายมิติ

The Design and Experimentation for Robot Manipulator by Multi-Objective Optimization Algorithm

Kittisak Sanprasit^{1*}, Nattapong Nernchad², Khomyuth Chaiwong³

Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University^{1*,3}

Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University²

E – mail : kittisak.san@lru.ac.th^{1*}

Received 26 April 2025

Revised 26 May 2025

Accepted 4 June 2025

Abstract

This research proposes an optimal path design for robot manipulator in picking up and holding things in the industry for a long time. Two objective functions are employed; 1) minimal jerk and 2) the minimum error oscillating of the object. The multi-objective optimization was used solving robot manipulator by comparing two algorithms: Multi-objective Whale optimization Algorithm (MOWOA), Multi-objective Grey Wolf Optimizer (MOGWO), Multi-objective Harmony Search Optimization (MOHS). The performance comparison was made based on the hypervolume (HV) indicator, minimum, maximum, average and standard deviation values according to statistics. MOWOA is superior to the other (HV : 192,877.48) and Experimentation in RS020N of Kawasaki Robot. It can reduce the jerk 32.33%.

Keywords : MOWOA, MOGWO, MOHS, hypervolume

1. บทนำ

การเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์ (Robot Manipulator) สำหรับหยิบจับสิ่งของนั้น ได้รับความนิยมนิยมและถูกใช้ในอุตสาหกรรมมาอย่างยาวนาน ซึ่งการออกแบบการเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์นั้น จะถูกออกแบบโดยใช้ความเชี่ยวชาญของมนุษย์ โดยมีเป้าหมายของการเคลื่อนที่ของส่วนปลาย (end of effector) เป็นสำคัญในการออกแบบการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ ซึ่งบางครั้งไม่ได้คำนึงถึงการเคลื่อนที่ของข้อต่อหุ่นยนต์ที่เป็นอุปกรณ์มอเตอร์ เมื่อหุ่นยนต์มีการทำงานที่ต่อเนื่องและยาวนาน จะทำให้ข้อต่อหุ่นยนต์ได้รับความเสียหายและชำรุดได้ ซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของข้อต่อที่ไม่เหมาะสม อาจเกิดจากการกระตุก (jerk) ของข้อต่อนำมาซึ่งความเสียหายแก่มอเตอร์ได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของส่วนปลาย (end of effector) ของแขนกลหุ่นยนต์จะต้องคำนึงถึงการเคลื่อนที่ของข้อต่อแขนกลหุ่นยนต์ประกอบเพื่อลดการกระตุก (jerk) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดลดการกระตุกของแขนกลหุ่นยนต์โดย เริ่มจากสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์แขนกล ด้วยวิธีจลนศาสตร์ข้างหน้าของเดนาวิตและฮาร์เทนเบอร์เกอร์ (forward kinematics by Denavit-Hartenberg) (Reza N.Jazar, 2010) ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นจะต้องใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนเป็นอย่างมาก ทำให้ผู้วิจัยต้องมีความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงและใช้เวลาค่อนข้างมาก ในการนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการศึกษาสำนึกขั้นสูง (meta-heuristic algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าเหมาะสมที่ได้รับความนิยม โดยใช้แนวคิดการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (สุจินต์ บุรีรัตน์, 2556) ในการออกแบบการเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์ให้สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ ตำแหน่งสุดท้ายในการหยิบจับวัตถุให้มีตำแหน่งหยิบใกล้วัตถุมากที่สุด และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ค่าการกระตุก (jerk) ของข้อต่อ (joint) รวมน้อยที่สุด โดยได้เปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 3 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดคือ 1) การหาค่าเหมาะสมที่สุดของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของปลาฉลามแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective Whale optimization Algorithm : MOWOA) 2) การหาค่าเหมาะสมที่สุดของขั้นตอนวิธีหมาป่าสีเทาแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective Grey Wolf Optimizer: MOGWO) 3) การหาค่าเหมาะสมที่สุดของขั้นตอนของการค้นหาความบรรสานแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective Harmony Search Optimization : MOHS) และการหาขอบหน้าพาเรโต (Pareto front) ของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จะดำเนินการหาวิธีผลเฉลยที่ไม่ถูกรอบงำ (non-dominated solution) และทำการประเมินสมรรถนะของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้ตัวบ่งชี้ขอบหน้าพาเรโต (Pareto front indicator) ด้วยวิธีการปริมาตรหลายมิติ (hypervolume : HV) จากนั้นทำการเลือกจุดเหมาะสมที่สุด (Optimum point) ด้วยวิธีการตัดสินใจ (decision making) ซึ่งใช้วิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก (weighted-sum method) และนำตัวแปรออกแบบจากจุดเหมาะสมที่สุด (Optimum point) (Kasem Nuaekaeuw et al., 2017 ; Kittisak Sanprasit, 2020, July ; Kittisak Sanprasit, 2020, December) ไปทดลองจริงกับแขนกลหุ่นยนต์รุ่น RS020N ของบริษัท Kawasaki

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 ออกแบบการเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- 2.2 ทดลองจริงกับหุ่นยนต์แขนกล

3. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยแบ่งออกเป็น จำนวน 3 ส่วนคือ จลนศาสตร์ (Kinematics) ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective) การสร้างแนววิถี (trajectory)

3.1 จลนศาสตร์ (Kinematics)

ผู้วิจัยใช้จลนศาสตร์ข้างหน้าด้วยวิธีการของเดนาวิตและฮาร์เทนเบิร์ก (Denavit-Hartenberg) ในรูปแบบมาตรฐาน (Reza N.Jazar, 2010) เนื่องจากมีจำนวนตัวแปรที่น้อย คือจำนวน 4 ตัวแปร คือ $\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i$ เรียกว่า มุมข้อต่อ (Joint angle) ระยะเลื่อนขนานของข้อต่อ (Joint displacement) ความยาวก้านต่อ (Link length) และมุมบิดก้านต่อ (Link twist) ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางพารามิเตอร์ DH (DH parameter table)

Frame No.	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	d_1	a_1	α_1
2	θ_2	d_2	a_2	α_2
...	...	...	...	...
j	θ_j	d_j	a_j	α_j
...	...	...	...	...
n	θ_n	d_n	a_n	α_n

เมื่อได้ตารางพารามิเตอร์ DH ตามเงื่อนไขของ (DH1) และ (DH2) นำมาสร้างเมทริกซ์การแปลงเอกพันธ์ (homogeneous transformation matrix) ตามสมการที่ 1 (วโรตม ตูจินดา, 2559) เพื่ออธิบายการหมุนและการเลื่อนของแต่ละ ก้านต่อและอธิบายการเคลื่อนที่ของแต่ละเฟรมสำหรับแต่ละข้อต่อมีเมทริกซ์ขนาด 4x4 ได้ดังนี้

$$A_i = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i}c_{\alpha_i} & s_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i}c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

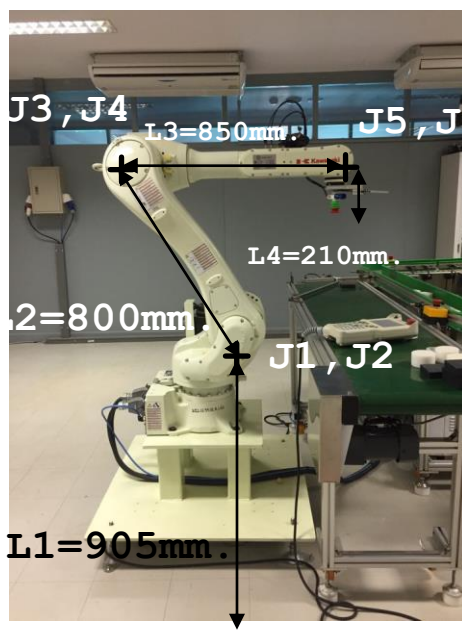
เมื่อ $s_{\theta_i} = \sin(\theta_i), c_{\theta_i} = \cos(\theta_i), s_{\alpha_i} = \sin(\alpha_i), c_{\alpha_i} = \cos(\alpha_i)$

จลนศาสตร์ข้างหน้าที่อธิบายการเคลื่อนที่ของส่วนปลาย (end of effector) เทียบกับฐานหุ่นยนต์นั้น สามารถเขียนได้ดังนี้

$${}^0T_n = A_1(q_1)A_2(q_2)...A_n(q_n) \quad (2)$$

งานวิจัยนี้ใช้แขนกลหุ่นยนต์ รุ่น RS020N ของบริษัท Kawasaki ซึ่งมีข้อต่อ (joint) จำนวน 6 ข้อต่อ และมีความยาวของก้านต่อจำนวน 4 ก้านต่อ คือ $L_1=905$ mm., $L_2=800$ mm., $L_3=850$ mm., $L_4=210$ mm. ตามภาพที่ 1 ในกรณีนี้ระบบสายพานลำเลียงหลักสำหรับหยิบจับชิ้นงานและสายพานลำเลียงรองสำหรับรองรับชิ้นงาน โดยตำแหน่งอ้างอิงของหุ่นยนต์นั้นเริ่มจากพื้นที่ห้องทดลองไปยังส่วนปลาย (end of effector) ของหุ่นยนต์

จากนั้นดำเนินการเขียนตารางพารามิเตอร์ DH (DH parameter table) ตามหลักการตารางที่ 1 เป็นตาราง DH ของหุ่นยนต์ รุ่น RS020N ของบริษัท Kawasaki แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 แขนกลหุ่นยนต์ รุ่น RS020N ของบริษัท Kawasaki

ตารางที่ 2 ตารางพารามิเตอร์ DH (DH parameter table) จากตำแหน่งเฟรมอ้างอิงถึงส่วนปลาย (end of effector) ของหุ่นยนต์

Frame No.	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	$q_1 - \pi / 2$	L1	0	$\pi / 2$
2	$q_2 + \pi / 2 - 54.25$	0	L2	0
3	$q_3 + 54.25$	0	0	$\pi / 2$
4	$-q_4$	L3	0	$-\pi / 2$
5	$-q_5 - \pi / 2$	0	0	$\pi / 2$
6	q_6	L4	0	0

เมื่อได้ตารางพารามิเตอร์ DH ในแต่ละส่วนแล้วต่อไปเป็นการหาจลนศาสตร์ข้างหน้าที่อธิบายการเคลื่อนที่ของส่วนปลาย (end of effector) เทียบกับตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ซึ่งมีเมทริกซ์การแปลงเอกพันธ์ (homogeneous transformation matrix) ดังนี้

เมทริกซ์การแปลงเอกพันธ์ตามสมการที่ 2 จากตำแหน่งเฟรมอ้างอิงเริ่มต้น(A) ถึงอ้างอิงถึงส่วนปลาย (end of effector) ของหุ่นยนต์รุ่น RS020N ของบริษัท Kawasaki สามารถเขียนได้ดังนี้

$${}^0T_6 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \quad (3)$$

จากนั้นได้สร้างแบบจำลองจากโปรแกรม MATLAB ด้วยวิธีการจลนศาสตร์ข้างหน้าด้วยเดนาวิตและฮาร์เทนเบอร์ก (forward kinematics by Denavit-Hartenberg) และคำนวณการหมุนและการเลื่อนของแต่ละก้านต่อด้วยเมทริกซ์การแปลงเอกพันธ์

3.2 ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective)

เนื่องจากการออกแบบท่าทางของแขนกลหุ่นยนต์ มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ทำให้การคำนวณมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณและให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการกับงานวิจัย จึงได้นำวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดเป็นกระบวนการในการค้นหาคำตอบ ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดจำนวน 3 วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดคือ 1) WOA 2) GWO 3) MOHS [4] โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ การกระตุก (Jerk) รวมของข้อต่อหุ่นยนต์น้อยที่สุด และตำแหน่งสุดท้ายในการหยิบจับวัตถุให้มีตำแหน่งหยิบใกล้วัตถุมากที่สุด มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังนี้

3.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการออกแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จำนวน 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ การกระตุก (Jerk) รวมของข้อต่อหุ่นยนต์น้อยที่สุด และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ตำแหน่งสุดท้ายในการหยิบจับวัตถุให้มีตำแหน่งหยิบใกล้วัตถุมากที่สุด มีรายละเอียดดังนี้

1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ การกระตุก (Jerk) รวมของข้อต่อหุ่นยนต์น้อยที่สุด

ข้อต่อของหุ่นยนต์นั้น ได้ใช้เซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนข้อต่อ หากกระตุกของข้อต่อมีจำนวนมากเกินไปจะส่งผลเสียต่ออุปกรณ์ต่อรวม จึงได้นำการกระตุกเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีค่าน้อยที่สุด โดยการกระตุกนั้นเป็นการอนุพันธ์ของความเร่งเชิงมุมของข้อต่อ ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$FOBJ1 = \min \sum_{j=1}^N \int_{t_{m0}}^{t_{mf}} |\ddot{q}(t)| dt \quad \text{มีหน่วย degree/sec}^3 \quad (4)$$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับดังนี้

$$q_{le_i} - 5 \leq q_i \leq q_{le_i} + 5 \quad (5)$$

ตำแหน่งมุมของข้อต่อในแต่ละช่วงเวลาน้อยอยู่ระหว่าง +5 ถึง -5 จากตำแหน่งข้อต่อ q_{le_i} ในการทดลองลองผิดลองถูก (Trial-and-error) จากหุ่นยนต์จริง ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าตำแหน่งข้อต่อ (Joint) ด้วยวิธีลองผิดลองถูก (Trial-and-error)

Joint	t1 (0 วินาที)	t2 (2.048 วินาที)	t3 (2.816 วินาที)	t4 (3.328 วินาที)	t5 (4.864 วินาที)	t6 (5.632 วินาที)
q_1	0	-4.367	-6.589	-5.488	-7.856	-7.727
q_2	-30	14.956	22.515	16.738	-7.535	-0.774
q_3	-119.904	-99.203	-102.7	-98.593	-124.981	-130.134

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Joint	t1 (0 วินาที)	t2 (2.048 วินาที)	t3 (2.816 วินาที)	t4 (3.328 วินาที)	t5 (4.864 วินาที)	t6 (5.632 วินาที)
q_4	0	0	0	0	0	0
q_5	-90	-65.840	-54.767	-64.663	-62.562	-50.639
q_6	-45	-40.639	-38.478	-39.514	-37.138	-37.274

2) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ตำแหน่งสุดท้ายในการหิบบั้ววัตถุให้มีตำแหน่งหิบบั้วใกล้วัตถุมากที่สุด
ผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งในการหิบบั้ววัตถุ (End ref) ทั้งแกน x แกน y และแกน z จากนั้นคำนวณหาตำแหน่งจุดปลาย (End) ให้สอดคล้องกับตำแหน่งในการหิบบั้ววัตถุดังกล่าว สามารถคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

$$FOBJ2 = \min \sum_{t=t_1}^{t=t_6} \left(|END_x - END_{xref}| + |END_y - END_{yref}| + |END_z - END_{zref}| \right) \quad (6)$$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ จุดปลายจะต้องไม่ชนกับสิ่งกีดขวาง (obstruct) ของระบบลำเลียงวัตถุ

$$P_{END} \notin Ob$$

ในการนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับ ตามตารางที่ 4 สำหรับวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ตารางที่ 4 กำหนดค่าพารามิเตอร์

ลำดับ	ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
1	ขนาดประชากรหรือตัวแปรออกแบบ (Number of population : N_{pop})	108
2	มิติ (dimensionality) เมทริกซ์	30
3	จำนวนรอบคำนวณสูงสุด (Iteration : $\max_{iter}$)	500
4	จำนวนหน่วยเก็บผลเฉลย (Allowable archive : N_{Arc})	300
5	เวกเตอร์ $\vec{a}$	0 - 2
6	จำนวนกริดต่อขนาดมิติ (number of grid per each dimension)	10
7	ค่าการขยายตัวของกริด (grid inflation parameter : α)	0.1

3.3 การสร้างแนววิถี (trajectory)

การสร้างแนววิถี เป็นการสร้างลำดับการเคลื่อนที่ของข้อต่อหุ่นยนต์ โดยแนววิถีนั้นจะมีความเร็วและความเร่ง เริ่มต้นและสิ้นสุดเท่ากับ 0 พร้อมกับมีการเคลื่อนที่ต่อเนื่องกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสอดคล้องกับเงื่อนไขของ การประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้งกำลังสาม (Cubic Spline Interpolation) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สามารถสรุปสมการ หาดำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง และการกระตุก ในช่วงเวลา $t_i \leq t \leq t_{i+1}$ ได้ดังนี้ (Kittisak Sanprasit. 2020)

ตำแหน่ง

$$Q_{j,i}(t) = \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_i)}{6h_i}(t_{i+1}-t)^3 + \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_{i+1})}{6h_i}(t-t_i)^3 + \left(\frac{q_{j,i}}{h_i} - \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_i)}{6}h_i \right)(t_{i+1}-t) + \left(\frac{q_{j,i+1}}{h_i} - \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_{i+1})}{6}h_i \right)(t-t_i) \quad (7)$$

ความเร็ว

$$\dot{Q}_{j,i}(t) = -\frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_i)}{2h_i}(t_{i+1}-t)^2 + \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_{i+1})}{2h_i}(t-t_i)^2 - \left(\frac{q_{j,i}}{h_i} - \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_i)}{6}h_i \right) + \left(\frac{q_{j,i+1}}{h_i} - \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_{i+1})}{6}h_i \right) \quad (8)$$

ความเร่ง

$$\ddot{Q}_{j,i}(t) = \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_i)}{h_i}(t_{i+1}-t) + \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_{i+1})}{h_i}(t-t_i) \quad (9)$$

การกระตุก

$$\ddot{\ddot{Q}}_{j,i}(t) = \frac{\ddot{Q}_{j,i}(t_{i+1}) - \ddot{Q}_{j,i}(t_i)}{h_i} \quad (10)$$

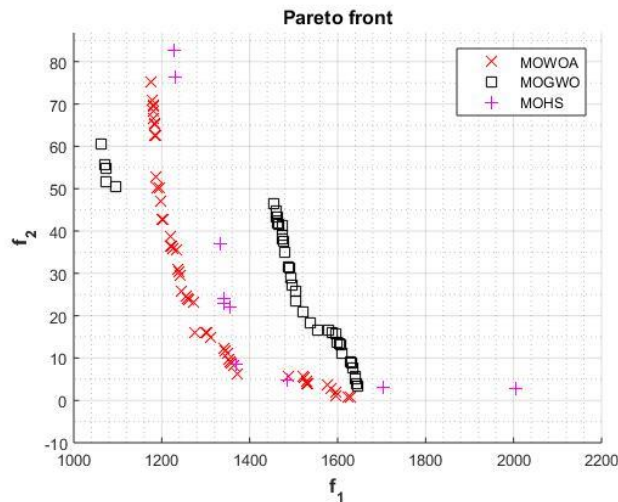
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

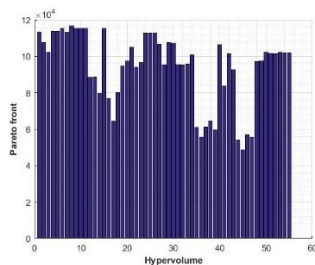
เมื่อได้แบบจำลองของหุ่นยนต์ด้วยวิธีจลนศาสตร์ข้างหน้า (forward kinematics) โดยใช้วิธีการของเดนาวิตและฮาร์เทนเบอร์ก (forward kinematics by Denavit-Hartenberg) ต่อไปจะใช้แบบจำลองดังกล่าวเพื่อค้นหาคำตอบซึ่งเป็นท่าทางของแขนกลหุ่นยนต์ด้วยกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือการกระตุก (Jerk) ของข้อต่อ (Joint) รวมน้อยที่สุดและตำแหน่งสุดท้ายในการหยิบจับวัตถุให้มีตำแหน่งหยิบใกล้วัตถุมากที่สุดโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (multi-objective) จำนวน 2 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด และทำการประเมินสมรรถนะของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้ตัวบ่งชี้ขอบหน้าพาเรโต (pareto front indicator) ด้วยวิธีการปริมาตรหลายมิติ (hypervolume : HV) จากนั้นทำการเลือกจุดเหมาะสมที่สุด (optimum point) จากวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดด้วยวิธีการตัดสินใจ (decision making) ซึ่งใช้วิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก (weighted-sum method) และนำตัวแปรออกแบบจากจุดเหมาะสมที่สุด (optimum point) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การเปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์

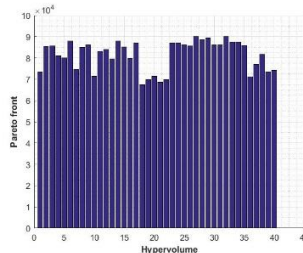
จากการทดลองหาค่าเหมาะสมที่สุด ได้ดำเนินการหาวิธีผลเฉลยที่ไม่ถูกรอบงำ (non-dominated solution) จะได้ขอบหน้าพาเรโต (Pareto front) ของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเลือกวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ดีที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 3 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดตามที่กล่าวมาข้างต้น ดำเนินการทดลองจำนวน 5 ครั้งของแต่ละวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดพร้อมนำผลขอบหน้าพาเรโตดังกล่าว ดำเนินการกระบวนการหาวิธีผลเฉลยที่ไม่ถูกรอบงำรวมอีกครั้งในแต่ละวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดอีกครั้ง และได้มีขอบหน้าพาเรโต (pareto front) ตามภาพที่ 2 ดังกล่าวจากนั้นโดยทำการประเมินสมรรถนะของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้ตัวบ่งชี้ขอบหน้าพาเรโต (pareto front indicator) ด้วยวิธีการปริมาตรหลายมิติ (hypervolume : HV) ได้สร้างจุดอ้างอิงโดยการหาตำแหน่งที่มากที่สุดของแต่ละฟังก์ชันเป้าหมาย ให้มีค่ามากกว่า 1.5 เท่าในแต่ละฟังก์ชันเป้าหมายเป็นจุดอ้างอิง จากนั้นทำการคำนวณปริมาตรหลายมิติของขอบหน้าพาเรโตในแต่ละวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 3 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด ตามภาพที่ 3 พร้อมกับแสดงค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด, ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าปริมาตรหลายมิติที่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 192,877.48 ของวิธี MOWOA แสดงว่าขอบหน้าพาเรโต (pareto front) ของวิธี MOWOA เป็นวิธีการที่ดีที่สุด



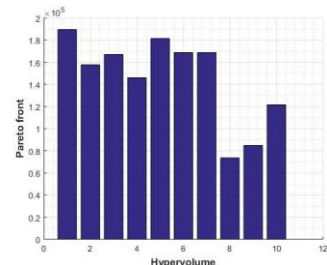
รูปที่ 2 ขอบหน้าพาเรโต (pareto front) ของ MOWOA, MOGWO, MOHS



(ก)



(ข)



(ค)

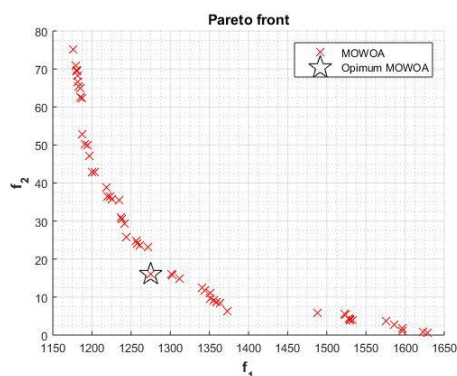
รูปที่ 3 ปริมาตรหลายมิติ (hypervolume : HV) ก) MOWOA ข) MOGWO ค) MOHS

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางสถิติปริมาตรหลายมิติของ

ขั้นตอนวิธี	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
MOWOA	89,623.85	192,877.48	158,780.61	30,412.99
MOGWO	120,855.59	164,533.36	144,708.06	13,791.55
MOHS	73,628.32	189,598.01	145,951.58	39,939.38

4.1.2 การตัดสินใจ (Decision making)

วิธีของ MOWOA เป็นวิธีการที่ดีที่สุดตามที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงนำขอบหน้าพาเรโต (Pareto front) มาทำการคัดเลือกผลเฉลยของพาเรโตด้วยวิธีการตัดสินใจ (decision making) ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก (weighted-sum method) ซึ่งมีค่าตัวประกอบถ่วงน้ำหนัก (weighting factors) ของตัว $w_1=0.5$ และ $w_2=0.5$ และได้จุดเหมาะสมที่สุด (Optimum point) ตามภาพที่ 4 มีค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่ 1 เท่ากับ 1,274.45 degree/sec³ และมีค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่ 2 เท่ากับ 16.05 mm. จะได้ตัวแปรออกแบบที่เป็นข้อต่อของหุ่นยนต์ทั้ง 6 ข้อต่อตามช่วงเวลาตามตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าข้อต่อหุ่นยนต์ข้อที่ 4 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง



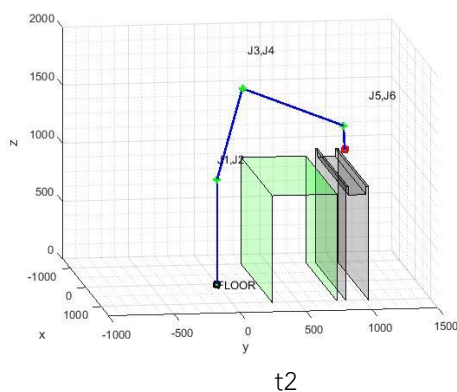
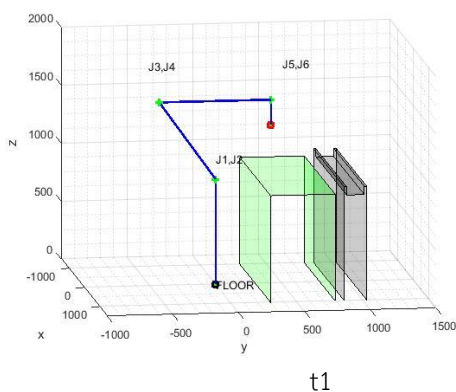
ภาพที่ 4 ตำแหน่งจุดเหมาะสมที่สุด (optimum point) ของวิธีของ MOWOA

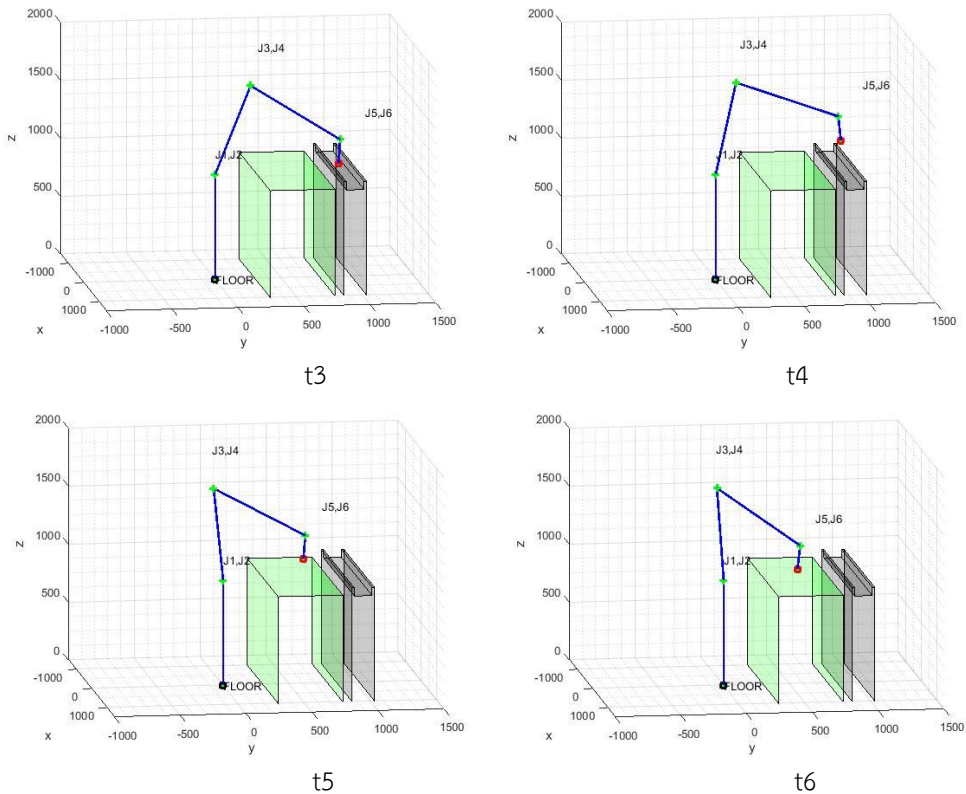
ตารางที่ 6 ค่าตำแหน่งข้อต่อ (Joint) ตามช่วงเวลาของแบบจำลอง(Simulation) วิธีการทดลองจากขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธี MOWOA

Joint	t1 (0 วินาที)	t2 (2.048 วินาที)	t3 (2.816 วินาที)	t4 (3.328 วินาที)	t5 (4.864 วินาที)	t6 (5.632 วินาที)
q1	0	-3.769	-6.275	-4.424	-10.607	-11.340
q2	-30	16.426	22.468	13.737	-2.912	-1.391
q3	-119.990	-97.912	-103.092	-98.561	-124.629	-130.386
q4	0	0	0	0	0	0
q5	-90	-61.407	-55.546	-61.369	-58.269	-52.492
q6	-45	-36.857	-37.733	-39.708	-32.176	-32.140

4.1.3 แบบจำลองท่าทางของแขนกลหุ่นยนต์ตามการหาค่าเหมาะที่สุดขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดของปลาวาฬแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (MOWOA)

เมื่อได้ตัวแปรออกแบบตามตารางที่ 6 แล้วนั้น นำตำแหน่งข้อต่อดังกล่าวเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์ ซึ่งแสดงตามภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลจากตำแหน่งเริ่มต้น t1 ไปยังตำแหน่งสิ้นสุด t6 เส้นทางเคลื่อนที่ที่หุ่นยนต์ไม่ได้ชนสิ่งกีดขวางที่เป็นสายพานลำเลียงเลย และนำตัวแปรออกแบบไปทดลองจริงกับหุ่นยนต์ต่อไป





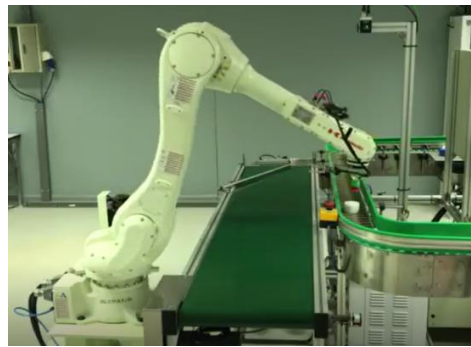
รูปที่ 5 แบบจำลองทางของหุ่นยนต์ของตำแหน่งจุดเหมาะสมที่สุด

4.2 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

เมื่อได้ผลของตัวแปรออกแบบ ตามตารางที่ 6 นำผลดังกล่าวมาใช้ทดลองจริงกับหุ่นยนต์จริงระบบแขนกลหุ่นยนต์ รุ่น RS020N ของบริษัท Kawasaki และใช้วิธีการหีบจับด้วยแรงดันลม หุ่นยนต์สามารถที่จะหีบจับขึ้นได้จริง ไม่ได้ชนกับสิ่งกีดขวางตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ตามภาพที่ 6 และจากนั้นทำการเปรียบเทียบตำแหน่งข้อต่อ (Joint) ในการทดลองกับหุ่นยนต์ ซึ่งจะประกอบด้วย 3 วิธีดังนี้คือ 1) ตำแหน่งของข้อต่อ (Joint) ด้วยแบบจำลองด้วยวิธี MOWOA (Simulation) ตามตารางที่ 6 2) ตำแหน่งของข้อต่อ (Joint) ด้วยวิธีการลองผิดลองถูกของหุ่นยนต์จริง (Trial-and-error) ตามตารางที่ 3 3) ตำแหน่งของข้อต่อ (Joint) ด้วยวิธี MOWOA ของหุ่นยนต์จริง (Actual) ซึ่ง การเคลื่อนที่ของข้อต่อจากข้อต่อที่ 1 ถึงข้อต่อที่ 6 ตามภาพที่ 10 ตามลำดับ โดยที่ข้อต่อที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0 ตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการเคลื่อนที่ข้อหุ่นยนต์ไปในทิศทางเดียวกัน และได้นำตำแหน่งข้อต่อของวิธีการต่างๆ ทำการหาค่าการกระตุกด้วยวิธีการประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้งกำลังสาม (Cubic Spline Interpolation) ตามสมการที่ 10 และได้ค่าการกระตุกของวิธีการลองผิดลองถูกของหุ่นยนต์จริง (Trial-and-error) มีค่าเท่ากับ $1,529.03 \text{ degree/sec}^3$ วิธีการทดลองจากขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธี MOWOA ของหุ่นยนต์จริง (Actual) มีค่าเท่ากับ $1,034.77 \text{ degree/sec}^3$ ดังแสดงในตารางที่ 7 จะเห็นว่าการทดลองจริงกับหุ่นยนต์ด้วยวิธีการทดลองจากขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธี MOWOA ของหุ่นยนต์จริง (Actual) สามารถลดการกระตุกจากวิธีการลองผิดลองถูกของหุ่นยนต์จริง (Trial-and-error) ได้ 32.33 %



t1



t2



t3



t4

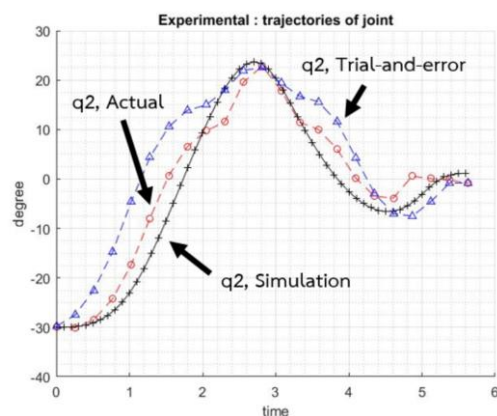
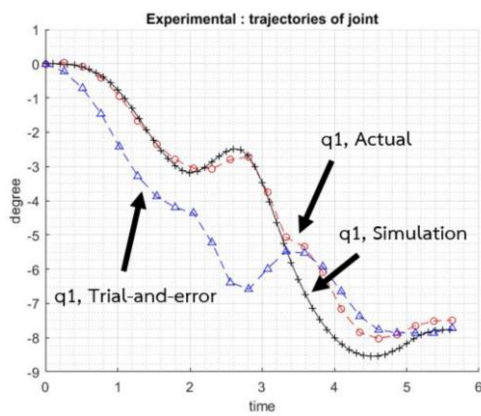


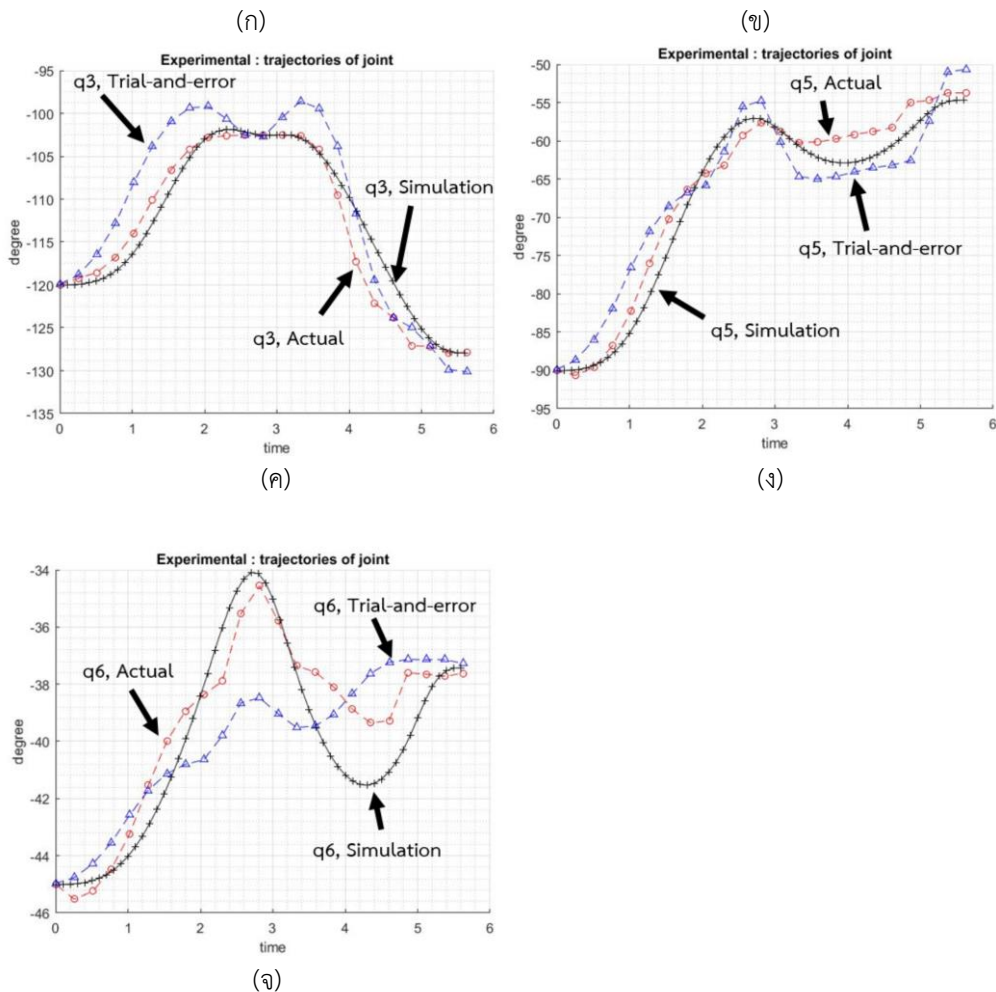
t5



t6

รูปที่ 6 ท่าทางของหุ่นยนต์จริงของตำแหน่งจุดเหมาะสมที่สุด





รูปที่ 7 การเคลื่อนที่ของข้อต่อที่ ก) ข้อต่อที่ 1 ข) ข้อต่อที่ 2 ค) ข้อต่อที่ 3 ง) ข้อต่อที่ 5 จ) ข้อต่อที่ 6

ตารางที่ 7 ค่าการกระตุก (Jerk) รวมของข้อต่อหุ่นยนต์ของการทดลองในวิธีต่าง

Experimental	Jerk (degree/sec ³)
Trial-and-error	1,529.03
Actual	1,034.77

5. อภิปรายผลและสรุปผล

การออกแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของส่วนปลาย (end of effector) ของแขนกลหุ่นยนต์เพื่อลดการกระตุก (jerk) ที่จะส่งผลต่อความเสียหายของอุปกรณ์ที่เป็นข้อต่อ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดลดการกระตุกของแขนกลหุ่นยนต์โดยเริ่มจากสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์แขนกล ด้วยวิธีจลนศาสตร์ข้างหน้าของเดนาวิตและฮาร์เทนเบิร์ก (forward kinematics by Denavit-Hartenberg) ในงานนี้ผู้วิจัยได้นำแนวคิดการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ 1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ค่าการกระตุก(Jerk) ของข้อต่อ (Joint) รวมน้อยที่สุด 2) ตำแหน่งสุดท้ายในการหยิบจับวัตถุให้มีตำแหน่งหยิบใกล้วัตถุมากที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 3 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีการ MOWOA เป็นวิธีการที่ดีที่สุด และได้ทดลองจริงกับหุ่นยนต์ รุ่น RS020N ของบริษัท Kawasaki สามารถลดการกระตุกจากวิธีการลองผิดลองถูกของหุ่นยนต์จริง (Trial-and-error) ได้ 32.33 %

หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา บางงานวิจัยจะใช้เพียงการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งไม่ได้ทดลองจริงกับหุ่นยนต์ หรือบางงานวิจัยจะใช้การหาค่าเหมาะที่สุดเพียง 1 วัตถุประสงค์ซึ่งความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์

6. ข้อเสนอแนะ

- 6.1 ใช้เครื่องวัดการกระตุก (jerk) ทุกข้อต่อเพื่อความถูกต้องข้อมูล
- 6.2 อาจเปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะสมมากกว่านี้ เช่น NSGA-II, PSO

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้ความกรุณาจาก ท่านอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พร้อมท่านอาจารย์ภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมทุกท่าน ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ พร้อมด้วยสมาชิกทุกคนในครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในทุกด้านตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีมาจากการงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยและมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ สำหรับเป็นแหล่งทุนในงานวิจัยครั้งนี้และเป็นต้นสังกัดของผู้วิจัยพร้อมกันนั้นมอบแด่สถาบันในการเผยแพร่ผลงานวิจัยครั้ง และมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดามารดา บุรพจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่าน และครอบครัวของผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

วิโรตม ตูจินดา. (2559). *การวิเคราะห์และควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม = Industrial Robot Analysis and Control*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุจินต์ บุรีรัตน์. (2556). การหาค่าเหมาะที่สุดของระบบทางวิศวกรรมเครื่องกล เล่ม 1.

ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Kasem Nuaekaw, Pramin Artrit, Nantiwat Pholdee, Sujin Bureerat. (2017). Optimal reactive power dispatch problem using a two-archive multi-objective grey wolf optimizer, *Expert Systems With Application*, vol 87. pp. 79-89.

Kittisak Sanprasit. (2020). Multi-Objective Whale Optimization Algorithm of Humanoid Robot Walking and Carry Objects on inclined planes. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 9(7), 1031-1042.

Kittisak Sanprasit. (2020). Multi-Objective Optimization Algorithm of Humanoid Robot Walking on a Narrow Beam. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 9(12), 1548-1559.

Reza N.Jazar. (2010). *Theory of Applied Robotics*. 2nd ed. New York : Springer. Seyedai Mirjalili.

การออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า

เรืองยศ แก้วหล้า^{1*} นิคม สุนทรทต² อัญญา วรรณกายนต์³
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์^{1*23}
อีเมล : Reangyotkaewla2012@gmail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 26 ตุลาคม 2567

วันแก้ไขบทความ 12 มีนาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 มีนาคม 2564

บทคัดย่อ

การออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า พบว่า รถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้าได้ทำการออกแบบมีขนาด ความกว้างเท่ากับ 1.2 เมตร ความยาวเท่ากับ 1.5 เมตร ความสูงเท่ากับ 1.41 เมตร ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ขนาด 2,000 วัตต์, กล่องคอนโทรลเลอร์ 100 แอมป์, แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาด 30 แอมป์, ชุดส่งกำลังผ่านโซ่เฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ 7.806 : 1, เกียร์ 1 อัตราทด 16 : 1 ความเร็วรอบเพลาท่เท่ากับ 29.7 rpm, เกียร์ 2 อัตราทด 12 : 1 ความเร็วรอบเพลาท่เท่ากับ 42.2 rpm, กำลังพรวนเท่ากับ 1.729 แรงม้า รถไถสามารถไถพรวนดินในดินร่วนปนทราย เพื่อเตรียมดินในการทำเกษตรขนาดเล็กในการปลูกพืช ได้ผลทดสอบประสิทธิภาพของรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า ในสภาพดินร่วนปนทรายในพื้นที่ใกล้เคียงกันขนาดพื้นที่เท่ากับ 200 ตารางเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานจากเกียร์ 1 และ 2 พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ล้อ 3.186 และ 4.91 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีเวลาในการทำงาน 0.122 และ 0.079 ไร่ต่อชั่วโมง มีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 16.93 และ 11.89 เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 245.66 และ 157.98 วัตต์ต่อชั่วโมง ความกว้างของการไถ 0.55 เมตร มีความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี (TFC) 1.094 และ 1.693 ไร่ต่อชั่วโมง มีความสามารถในการทำงานจริง (EFC) 1.017 และ 1.574 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพ (EFF) ร้อยละ 92.1 และ 93.66 เปอร์เซ็นต์ และผลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ 5 คน รวมทุกด้าน อยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.77 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.46

คำสำคัญ : มอเตอร์ไฟฟ้า รถไถเดินตาม รถไถพรวนดินพลังงานไฟฟ้า



Design and Development of a Small Electric Power Walk-Behind Tiller

Ruangyot Kaewla ^{1*}, Nikom Lonkuntosh ², Asada Wannakayont ³
Faculty of Industrial Technology Surindra Rajabhat University^{1-3*}
E – mail : Reangyotkaewla2012@gmail.com^{1*}

Received 26 October 2024

Revised 12 March 2025

Accepted 28 March 2025

Abstract

Designs and development of a small-scale electric-powered soil-walking tiller showed that the tiller dimensions were 1.2 meters wide, 1.5 meters long, and 1.41 meters high. The utilized power was a 2,000-watt motor, a 100-amp controller, and a 30-amp lithium-ion battery. The power transmission system through a sprocket chain set had a ratio of 7.806:1. Gear 1 operates at a reduction ratio of 16:1 with a rotor speed of 29.7 rpm, while Gear 2 is operated at a reduction ratio of 12:1 with a rotor speed of 42.2 rpm. The tiller generated a torque of 1.729 horsepower and had the capability of tilling soil, including sandy loam, which prepared small-scale agricultural land for crop cultivation. The performance testing of the small-scale electric-powered soil-walking tiller in sandy loam soil in conditions whereas the nearby area measured 200 square meters, or 10 x 20 meters (200 square meters), the findings were obtained: For Gear 1 and Gear 2, the wheel speeds were measured at 3.186 and 4.91 kilometers per hour, respectively. The operational times were 0.122 and 0.079 hours, with slip rates of 16.93 and 11.89. Electrical energy consumption rates were 245.66 and 157.98 watts. The plowing width was 0.55 meters. The theoretical field capacity (TFC) was 1.094 and 1.693 acres per hour, while the effective field capacity (EFC) was 1.017 and 1.574 acres per hour. Efficiency (EFF) values were 92.1 and 93.66. The efficiency test was conducted by 5 experts who inspected all aspects and were at the highest level, with a mean score of 4.77 and a standard deviation of 0.46.

Keywords : Electric Motor, Walk – Behind Tiller, Electric Power Tiller

1. บทนำ

สถานการณ์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันมีความอันตรายอันเกิดจากก๊าซพิษของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ออกมาจากท่อไอเสียที่ลอยปะปนในอากาศ พบว่า เมื่อเครื่องยนต์เผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไป 1 แกลลอน สารประกอบของตะกั่ว (Tetraethyl Lead) จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 3 ปอนด์ โดยผู้ผลิตน้ำมันได้เติมสารประกอบของตะกั่ว ซึ่งเป็นของเหลวใส่ลงไปในน้ำมันเบนซินและน้ำมันเครื่องที่ใช้กับเครื่องยนต์ เพื่อให้มีออกเทนสูง (Octane Bumber) สูง วิ่งเร็ว ป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์เกิดการชกกระตุก (Antiknock Additive Substance) แต่เนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันในเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ จะมีสารประกอบของตะกั่วทำให้อากาศเกิดมลพิษกระจายในอากาศทั่วบริเวณ ตามสถิติในน้ำมันเบนซินมีสารตะกั่วละลายอยู่ 0.7 กรัมต่อลิตร หลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์พบว่าตะกั่วประมาณ 0.4 กรัมต่อลิตร จะถูกปล่อยออกมาไปยังสิ่งแวดล้อม พิษของตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์โดยการหายใจ เปื้อนอาหาร อาเจียน อ่อนเพลีย โลหิตจาง ทำลายเนื้อเยื่อสมอง ทำให้ปวดศีรษะ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ตะกั่วยังไปสะสมได้ในกระดูก เพราะตะกั่วมีลักษณะคล้ายแคลเซียม และสามารถสะสมในเนื้อเยื่ออ่อนโดยเฉพาะในสมอง ไต และอวัยวะอื่น ๆ ได้ด้วย (วิจิตร บุญยะโหดะ, 2566)

ในปัจจุบัน มีการนำเอาเครื่องจักรกลมาใช้เป็นต้นกำลังทดแทนแรงงานสัตว์เป็นการทุ่นแรงของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ เช่น การขนส่งสินค้าหรือ ผลผลิตทางการเกษตร การขุดลอกเครื่องมือทุ่นแรงสำหรับเตรียมดินในพื้นที่ปลูก การปลูก การหว่านปุ๋ย การพ่นยา ตลอดจนการเก็บเกี่ยว เป็นต้น เพื่อให้ทันต่อเวลาการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายงานเกษตรกรรมในยุคปัจจุบันเปลี่ยนแปลงด้วยเทคโนโลยีที่มีคุณภาพมากขึ้น อายุเฉลี่ยของผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรที่มีแนวโน้มว่าเป็นผู้สูงอายุและเกษตรกรรุ่นใหม่ ก็หันไปใช้เครื่องทุ่นแรงมากขึ้นโดยการนำเครื่องจักรกลเข้าสู่ภาคเกษตรกรรมมากขึ้นด้วย เนื่องด้วยประโยชน์จากการใช้เครื่องจักรกล คือการทำงานได้รวดเร็วขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะเห็นได้ว่า เครื่องจักรกลการเกษตรเริ่มมีผลกับการประกอบอาชีพเกษตรกรรมมากขึ้น (วุฒิชัย แพงคำรัก, 2559) ดังนั้น เกษตรกรที่ใช้รถไถเดินตามในภาคการเกษตรที่มีแหล่งกำเนิดต้นกำลังเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Power Engine) ในการขับเคลื่อนและเครื่องยนต์ทำงานทำให้เกิดภาวะโลกร้อน รถไถเดินตามที่แล่นไปด้วยพลังงานการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน (สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก) และน้ำมันดีเซล (สำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่) ที่ใช้ในรถไถนาหว่านหว่าน และรถไถนาเดินตาม จะปล่อยไอควัน ก๊าซต่าง ๆ สู่อากาศในอัตราสูงก่อให้เกิดอากาศเสีย ทั้งนี้รถไถเดินตามที่ใช้เชื้อเพลิงสันดาปภายใน ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากโรงกลั่น และราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาที่สูงมาก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน จากการสำรวจผู้วิจัยได้สืบค้นข้อมูลราคาระหว่าง ปี 2561-2566 และเปรียบเทียบราคาน้ำมันดีเซล เมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2561 พบว่าราคาดีเซล (H-Desel) อยู่ที่ 28.59 บาท/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลชนิดเดียวกัน เมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2566 พบว่าราคาอยู่ที่ 31.94 บาท/ลิตร ราคาแตกต่างกัน อยู่ที่ 3.4 บาท/ลิตร และน้ำมันเบนซิน (ULG 95) เมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2561 พบว่าราคาเบนซิน อยู่ที่ 36.42 บาท/ลิตร เปรียบเทียบกับราคาน้ำมันเบนซินชนิดเดียวกัน เมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2566 พบว่าราคาอยู่ที่ 45.04 บาท/ลิตร มีราคาแตกต่างกัน อยู่ที่ 8.62 บาท/ลิตร (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2566) ความแตกต่างราคาน้ำมันดีเซลและเบนซินมีราคาสูงขึ้นอย่างมาก ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนในการผลิตการเกษตรเพิ่มขึ้น จึงทำให้การเลือกใช้พลังงานทางเลือก โดยเฉพาะเครื่องยนต์พลังงานไฟฟ้า (Electric Engine) เข้ามามีบทบาทต่อภาคการเกษตรมากขึ้น นอกจากนี้สภาวะของโลกมีการเปลี่ยนแปลงและหันมาพัฒนามาใช้ต้นกำลังไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนในการขับเคลื่อนมอเตอร์เครื่องยนต์ไม่ก่อให้เกิดควันพิษ สารตะกั่ว เขม่า ในชั้นบรรยากาศ เพื่อรักษาสมดุลบรรยากาศลดภาวะโลกร้อน อนึ่ง ปัญหาของเกษตรกร ยังขาดความรู้ในการดูแลรักษาเครื่องยนต์ตามระยะเวลา และข้อควรระวังในการใช้เครื่องยนต์ ทำให้เกิดผลเสียทางด้านเครื่องยนต์ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ชิ้นส่วนที่ก่อให้เกิดความผิดของเครื่องยนต์ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง, ลูกสูบ, เพลาลูกเบี้ยว จะทำให้อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นกว่าจากเดิม ชิ้นส่วนที่ก่อให้เกิดความร้อนของเครื่องยนต์ที่เพิ่มสูงขึ้น เช่น น้ำหล่อเย็น, น้ำมันเครื่อง, จารบี มีผลทำให้เครื่องยนต์สึกหลอเร็วขึ้น

(บัญญัติ เศรษฐฐิติ, 2531) เกษตรกรจึงต้องมีงบประมาณในการสำรองค่าอะไหล่ บางครั้งก็เป็นเหตุสุดวิสัยที่เกษตรกรจะต้องหยุดยั้งทรัพย์สิน โดยเฉพาะครัวเรือนที่มีฐานะฝืดเคืองทางการเงิน

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญและประโยชน์ในการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสะอาด และพลังงานทางเลือกให้กับเกษตรกร เพื่อลดต้นทุนในการทำเกษตร และประหยัดค่าใช้จ่ายทางด้านการใช้พลังงาน ลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ลดปัจจัยในการผลิต เช่น ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงขึ้น ลดค่าจ้างการซ่อมบำรุงและค่าการสึกหลอ การเปลี่ยนถ่ายของเหลว และชิ้นส่วนอุปกรณ์อะไหล่ที่มีอายุการใช้งาน ประโยชน์ของงานวิจัยนี้คาดว่าจะได้องค์ความรู้จากการพัฒนานวัตกรรมการวิจัย ด้านเครื่องยนต์ทางการเกษตร และเกษตรกรจะเป็นผู้ใช้เครื่องยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กใช้ในรถไถพรวนดิน จากพลังงานไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ และประเมินคุณภาพรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า

3. วิธีการวิจัย

3.1 การออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า

การออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า มีวิธีการดำเนินการวิจัยได้นำกระบวนการเทคโนโลยีที่เป็นขั้นตอนการทำงาน พัฒนาสิ่งของเครื่องใช้ เพื่อใช้แก้ปัญหาหรือสนองความต้องการของมนุษย์ มาใช้ในการออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้ (สาขาการออกแบบและเทคโนโลยี สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2566)

3.1.1 การกำหนดปัญหาหรือความต้องการ ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาจากการใช้รถไถพรวนดินเดินตามในการทำเกษตรที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในที่เผาไหม้ด้วยน้ำมันเบนซินและดีเซล และปรับปรุงพัฒนาให้ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า ที่จำเป็นต้องลดมลพิษ ลดค่าใช้จ่ายในการบริโภคน้ำมันในการทำเกษตรขนาดเล็กและพัฒนาให้ใช้งานในชุมชนท้องถิ่น ซึ่งรถไถพรวนดินเดินตามเดินตามมีความสำคัญในการทำเกษตร และได้รับความนิยมในการทำเกษตร ส่วนมากชาวบ้านเกษตรกรจะเลือกใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยราคาน้ำมันที่สูงขึ้น ทำให้ต้นทุนในการทำเกษตรสูงขึ้นตาม ในอากาศก็เกิดมลพิษตามมาด้วย ดังนั้น ชาวบ้านและเกษตรกร จึงมีความต้องการลดต้นทุนการทำเกษตร และลดมลพิษทางอากาศ โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวกลางในการกำเนิดต้นกำลังที่มอเตอร์ไฟฟ้า

3.1.2 ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูล โดยการศึกษาเอกสาร ตำรา วิทยุและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวกับรูปแบบ หลักการพัฒนาเครื่องมือ และออกแบบเครื่องมือ รถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญ และได้รับความนิยมในการทำเกษตร เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามพลังงานไฟฟ้า ที่สามารถแก้ไขปัญหาการใช้น้ำมันที่สูงขึ้นและช่วยลดมลภาวะในอากาศตามความต้องการของเกษตรกรผู้ใช้

3.1.3 การเลือกวิธีการ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกวิธีการ ในการออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากข้อดีของการใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นพลังงานที่ไม่ใช้น้ำมัน และเป็นนวัตกรรมใหม่ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจของคนรุ่นใหม่ มีค่าใช้จ่ายในการออกแบบและพัฒนาไม่มากจนเกินไป การใช้งานไม่ซับซ้อน ง่ายต่อควบคุม และง่ายต่อการบำรุงรักษาความเสื่อมสภาพ ลดความเสี่ยงต่อการชำรุด และมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ในระยะยาว

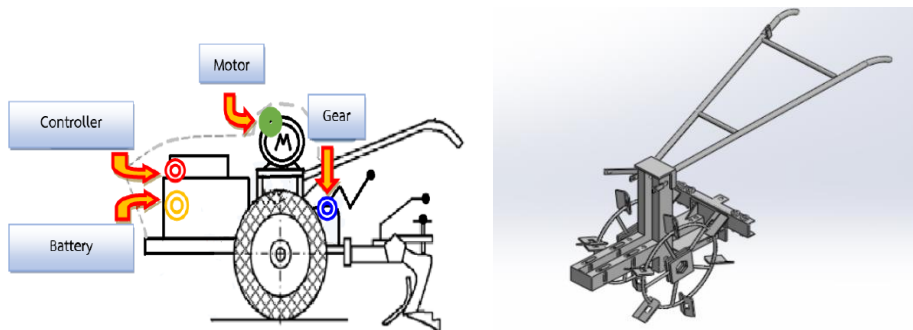
3.1.4 การออกแบบและปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า เป็นระบบไฟฟ้าควบคุมด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์สั่งการไปยังมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อการขับเคลื่อน สำหรับ

ใช้งานในระดับชุมชนและท้องถิ่น โดยการเลือกใช้โครงสร้างจากเหล็กที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร และเสริมจุดกระจายแรงบิด เพื่อให้มีความแข็งแรง ทนทาน เหมาะกับการใช้งานในดินร่วนปนทรายงานที่สมบุกสมบัน มีออกแบบระบบส่งกำลังและระบบเกียร์ เดินหน้า 2 และถอย 1 เลือกใช้วัสดุ และอุปกรณ์ที่หาซื้อง่าย ราคาถูก สามารถซ่อมบำรุงรักษาได้ง่าย

ในที่นี้ ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนา เพื่อประกอบเป็นตัวอย่างในการเลือกใช้อุปกรณ์ในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า ให้ง่ายแก่ความเข้าใจ เพื่อหาขนาดของมอเตอร์กำลังวัตต์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้ เทียบเคียงกับค่าสมรรถนะเพื่อหาประสิทธิภาพที่ต้องการ โดยผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรในการหาค่าตัวแปรของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลต่างๆ ของขั้นตอนการออกแบบระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั้งหมด 4 ค่าตัวแปร ประกอบไปด้วย หาขนาดของมอเตอร์, หาขนาดแบตเตอรี่ให้เพียงพอต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า, หาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน, หาอัตราหดรบส่งกำลัง มีขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาดังต่อไปนี้

- 1) การออกแบบของชุดมอเตอร์ที่ติดตั้งลงบนตัวรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงาน

ไฟฟ้า



รูปที่ 1 การออกแบบ และจัดวางอุปกรณ์ต่างๆบนตัวรถไฮพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า

- 2) การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ บนตัวรถไถพรวนดินเดินตามพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2 การออกแบบ และจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ บนตัวรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กล้างงานไฟฟ้า

- 3) การคำนวณเพื่อหาขนาดของมอเตอร์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อน (บนถนนดินอัดแห้งปานกลาง) ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไถพรวนดินเดินตาม

- หาแรงต้านการเคลื่อนที่ จากการหมุนของล้อ

จากสมการ

$$R_r = K_r \times W \quad (1)$$

เมื่อ

R_r = แรงต้านการหมุนของล้อ หน่วยเป็น N

K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ มีค่าเท่ากับ 0.04

W = น้ำหนักของรถยนต์ $W = m \times g = (300)(9.81) = 2,943 \text{ N}$

แทนค่าในสมการที่ (1)

$$R_r = 0.04 \times 2943$$

$$R_r = 117.72 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงต้านการหมุนของล้อจะมีค่าเท่ากับ 117.72 N

- หาแรงต้านจากอากาศ เมื่อมีการเคลื่อนที่

กำหนด

1) ความเร็วของรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลงสุดในการออกแบบและใช้งาน

เท่ากับ 5 km/hr

2) น้ำหนักบรรทุกรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลงสุดพลังงานไฟฟ้ารวมทุกระบบ 300 kg

3) วิ่งบนถนนดินอัดแน่นระดับปานกลาง

- หาขนาดของมอเตอร์

จากสมการ

$$P = \frac{F_R R}{\eta} \quad (2)$$

$$F_R = \mu mg + \frac{1}{2} C_d \rho V^3 A \quad (3)$$

P = กำลังมอเตอร์ (w)

V = ความเร็วของรถ (m/s)

η = ประสิทธิภาพเกียร์

F_r = แรงต้านทั้งหมด (N)

μ = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ล้อ

M = มวลของรถ (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดของรถ (m^2)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

C_d = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

R = แรงต้านการหมุนของล้อ (N)

- การหาแรงต้านรวมของรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้ากำหนด
- รถไถพรวนดินเดินตามมีมวล 300 kg (รวมถึงอุปกรณ์ส่วนควบและชุดแบตเตอรี่)
- ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เท่ากับ 0.040 (ค่าคงที่ระหว่างล้อกับถนนดินอัดแห้ง

ระดับปานกลาง)

- สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ เท่ากับ 0.22 (ค่าทางการออกแบบและวิจัย)
- พื้นที่หน้าตัดของรถไถพรวนดิน $A = (0.8)(1.2\text{m})(1.41\text{m}) = 1.35 \text{ m}^2$
- ความหนาแน่นของอากาศ $1.2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
- ความเร็วของรถไถพรวนดินที่ต้องการสูงสุดในการใช้งาน 5 km/hr

$$\frac{5000(m)}{3600(s)} = 1.388 \text{ m/s}$$

แทนค่าในสมการที่ (3)

$$F_r = (0.040)(300)(9.81) + \frac{1}{2}(0.22)(1.2)(1.388^2)(1.35)$$

$$F_r = 118.069 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงต้านรวมของรถไถพรวนดินเดินตามมีค่าเท่ากับ 118.069 N

- หาขนาดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์จากสมการที่ 2
- แรงต้านรวม 118.069 N
- ความเร็วของรถในการออกแบบ 5 m/s
- ประสิทธิภาพเกียร์ของรถไถพรวนดิน เท่ากับ 0.5

แทนค่าในสมการที่ (2)

$$P = \frac{(118.069) (5)}{0.5}$$

$$P = 1180.69 \text{ W}$$

$$P = 1.18 \text{ kW}$$

ขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในรถไถพรวนดินเดินตามจะต้องมีขนาด 1180.69 W หรือ 1.18 kW

4) ค่าความปลอดภัยในการออกแบบมอเตอร์ ด้านความปลอดภัยเนื่องจากมีการโหลดหรือสภาวะการทำงานที่ไม่คาดคิดที่อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ การออกแบบมอเตอร์ส่วนใหญ่ควรเลือกปัจจัยด้านความปลอดภัยประมาณ 1.5 ถึง 2.25 นี้หมายถึงตัวคูณสำหรับปริมาณแรงที่มอเตอร์ควรจ่ายและจะมีพลังงานเพียงพอ

ขนาดของมอเตอร์ที่คำนวณได้ 1.18 kW นำมาคูณกับค่าความปลอดภัยในการออกแบบ 1.5 ค่าความปลอดภัยในการออกแบบมอเตอร์ $1.18 \times 1.5 = 1.77 \text{ kW}$ ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 2 kW หรือ 2000 W

5) การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ เพื่อให้เพียงพอต่อการทำงาน ขนาดพื้นที่ 200 ตาราง จำนวน 3 แปลง และประเมินระยะการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้ง

หาขนาดของแบตเตอรี่ที่ต้องใช้ ใช้ในการวิ่งเป็นระยะทาง 1.2 km ภายในพื้นที่ 200 ตาราง 3 แปลง ต่อ 1 การชาร์จ จะใช้พลังงานไฟฟ้า $2000 \text{ W}/72\text{V} = 27.777 \text{ A}$ (ไม่คิดแรงฉุดลากหรือภาระโหลดทางมอเตอร์) ผู้วิจัยเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 72 V 30 A จึงจะเพียงพอต่อการใช้งานของพื้นที่ที่กำหนด

6) หาค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการประเมินระยะทาง ต่อการชาร์จ 1 ครั้ง สำหรับวิธีการนี้จะพิจารณาประเมินจากระยะเวลาในการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ เพื่อใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังของรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเวลาในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ 10

ค่า P ของมอเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 2,000 W

ค่า P ของแบตเตอรี่เท่ากับ 2,160 W

จากสมการ

$$\text{Time} = \left(\frac{P_{\text{Battery}} \times 100}{(P_{\text{electric}} \times 100)} \right) \quad (4)$$

แทนค่าในสมการที่ (4)

$$\text{Time} = \left(\frac{2,160 \times 100\%}{2,000 \times 100\%} \right)$$

$$= 1.08 \text{ ชั่วโมง หรือเป็นเวลา 64.8 นาที}$$

เมื่อ P คือกำลังไฟฟ้า

- ค่า P ของแบตเตอรี่ สามารถหาได้จาก

จากสมการ

$$P = V \times I \quad (5)$$

แทนค่าในสมการที่ (5)

ค่า P ของแบตเตอรี่

$$P = 72 \times 30$$

$$P = 2,160 \text{ W}$$

ดังนั้น แบตเตอรี่ขนาด 72 V 30 A จะสามารถใช้งานได้เต็มที่เป็นเวลาเท่ากับ 1.08 ชั่วโมง หรือ คิดเป็น นาทีเท่ากับ 65 นาที

7) หาค่าอัตราทดของโซ่และเฟืองโซ่ส่งกำลัง จากการส่งกำลังชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ที่ความเร็วรอบที่ใช้ของมอเตอร์ไฟฟ้า 600 rpm ส่งผ่านมายังชุดส่งกำลังชุดที่ 1 ที่เป็นการส่งกำลังแบบโซ่และเฟืองโซ่โดยมีการคำนวณหาอัตราทดของโซ่และเฟืองโซ่ชุดที่ 1 มี ดังนี้ กำหนด

i = ความเร็วรอบการส่งกำลังจากชุดที่ 1 มีค่า เท่ากับ 600 rpm

- เฟืองโซ่ a ส่งกำลังผ่านโซ่กับเฟืองโซ่ b

- เฟืองโซ่ c ส่งกำลังผ่านโซ่กับเฟืองโซ่ d

จากสมการ

$$i = \left(\frac{T_b \times T_d}{T_a \times T_c} \right) \quad (6)$$

แทนค่าในสมการที่ (6)

$$i = \left(\frac{30 \times 51}{14 \times 14} \right)$$

$$i = 7.806$$

ดังนั้น อัตราทดของโซ่และเฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ 7.8 : 1

จากนั้นมีการใช้ชุดเกียร์ที่เลือกใช้เพื่อทดรอบให้ลดลงให้เหมาะสมกับรถไถพรวนดินเดินตาม เพราะต้องการกำลังในการขับเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้น ให้ความเร็วในการทำงานลดลง โดยเลือกใช้เกียร์ทดรอบเร็วและช้า คืออัตราทดที่เท่ากับ 1:16 และ 1:12 เพื่อคำนวณความเร็วรอบของเพลาก็จะได้ความเร็วรอบดังนี้

จากสมการ

$$\text{อัตราเร็วรอบของเพลา (rpm)} = \text{อัตราเร็วของเครื่องยนต์ (rpm)} / \text{อัตราทดเฟือง} \quad (7)$$

แทนค่าในสมการที่ (7)

$$\text{เกียร์ 1 คือ } \left(\frac{600}{16} \right) - 7.8 = 29.7 \text{ rpm}$$

$$\text{เกียร์ 2 คือ } \left(\frac{600}{12} \right) - 7.8 = 42.2 \text{ rpm}$$

ดังนั้น ความเร็วรอบเกียร์ 1 มีค่าเท่ากับ 29.7 rpm และความเร็วรอบเกียร์ 2 มีค่าเท่ากับ 42.2 rpm

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัยในการทดสอบประสิทธิภาพรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า

3.2.1 ดำเนินการติดต่อประสานงานผ่านหัวหน้ากลุ่มสหกิจชุมชนบ้านจบก ตำบลบ้านฝ้อ

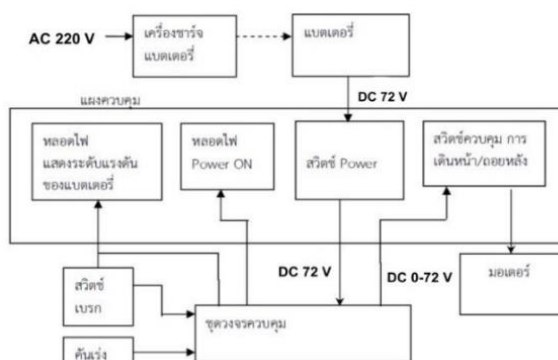
อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์ เนื่องจากพื้นที่มีลักษณะของดินที่เป็น ดินร่วนปนทราย

3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพประสิทธิภาพ รถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า โดยการทดสอบประสิทธิภาพการไถพรวนดินในแปลงเกษตรขนาด 200 ตารางเมตร ด้วยการทำซ้ำ 3 ครั้ง ในพื้นที่ทดสอบประเภทดินเดียวกันมีพื้นที่ที่ติดกัน และแบ่งการทดสอบประสิทธิภาพเป็น 2 ประเภท คือ ความเร็วต่ำใช้ระดับเกียร์ 1 และความเร็วสูงในระดับเกียร์ 2

3.3.3 ค่าชี้ผลที่ใช้ในการคำนวณได้แก่ ความเร็วของล้อ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง), เวลาในการทำงาน (ไร่ต่อชั่วโมง), อัตราการสิ้นเปลือง (เปอร์เซ็นต์), อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ต่อชั่วโมง), ความกว้างของการไถ (เมตร), ความสามารถตามทฤษฎีความกว้างของการไถ (TFC) (ไร่ต่อชั่วโมง), ความสามารถในการทำงานจริง (EFC) (ไร่ต่อชั่วโมง), ประสิทธิภาพ (EFF) (เปอร์เซ็นต์)

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1



รูปที่ 3 การออกแบบรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า

ผลจากการออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า โดยใช้กระบวนการทางเทคโนโลยี 7 ขั้นตอน สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ รถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้าเป็นรถต้นแบบที่ได้ออกแบบและพัฒนาโดยมีขนาด ความกว้าง 1.35 เมตร ความยาว 2 เมตร ความสูง 1 เมตร โครงสร้างหลักที่มีขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร น้ำหนักโดยรวมเท่ากับ 300 กิโลกรัม ขนาดล้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 เซนติเมตร เพลาส่งกำลังมีขนาดเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์กระแสชนิดไร้แปรงถ่านขนาดเท่ากับ 2,000 วัตต์ ,กล่องคอนโทรลเลอร์ 100 แอมป์ ,กล่อง DC to DC คอนเวอร์เตอร์ ,แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ขนาดเท่ากับ 30 แอมป์ ,ชุดส่งกำลังผ่านโซ่เฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ 7.806 : 1 ,เกียร์ 1 อัตราทด 16 : 1 ความเร็วรอบเพลาเท่ากับ 29.7 rpm และเกียร์ 2 อัตราทด 12 : 1 ความเร็วรอบเพลาเท่ากับ 42.2 rpm ,มีแรงม้าของกำลังพรวนเท่ากับ 1.729 แรงม้า รถไถสามารถไถพรวนดินในดินร่วนปนทราย เพื่อพรวนดิน และเตรียมดินในการทำเกษตรขนาดเล็กในการปลูกพืช

4.2 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า ระดับเกียร์ 1

รายการ	ข้อมูลการทดสอบ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.ความเร็วของล้อ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	3.180	3.178	3.180	3.186
2.เวลาในการทำงาน (ไร่ต่อชั่วโมง)	0.123	0.122	0.123	0.122
3.อัตราการสิ้นเปลือง (เปอร์เซ็นต์)	15	17.9	17.9	16.93
4.อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ ชั่วโมง)	246.59	245.48	244.92	245.66

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายการ	ข้อมูลการทดสอบ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5.ความกว้างของการไถ (เมตร)	0.55	0.55	0.55	0.55
6.TFCความสามารถตามทฤษฎี ความกว้างของการไถ (ไร่ต่อชั่วโมง)	1.096	1.092	1.096	1.094
7.EFCความสามารถในการทำงาน จริง	1.013	1.019	1.020	1.017
8.Eff ประสิทธิภาพ(เปอร์เซ็นต์)	92.93	93.31	93.06	93.1

จากตารางที่ 1 พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลำพลังงานไฟฟ้า ระดับเกียร์ 1 (เกียร์ต่ำ) ในแปลงเกษตรเพื่อพรวนดินร่วนปนทราย ในพื้นที่ขนาด 200 ตารางเมตร โดยการไถ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังนี้ ความเร็วของล้อเฉลี่ยเท่ากับ 3.186 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, เวลาในการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 0.122 ไร่ต่อชั่วโมง, อัตราการสิ้นเปลืองเฉลี่ยเท่ากับ 16.93 เปอร์เซ็นต์, อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 245.66 วัตต์ต่อชั่วโมง, ความกว้างของการไถเฉลี่ยเท่ากับ 0.55 เมตร, TFC ความสามารถตามทฤษฎีความกว้างของการไถเฉลี่ยเท่ากับ 1.094 ไร่ต่อชั่วโมง, EFC ความสามารถในการทำงานจริงเฉลี่ยเท่ากับ 1.017 ไร่ต่อชั่วโมง, Eff ประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 93.1 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า เมื่อความเร็วต่ำและมีอัตราประสิทธิภาพสูงเนื่องจากน้ำหนักกดที่เหมาะสม และการไถพรวนดินมีการบังคับน้ำหนักกดให้พรวนดินในระดับที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด และค่าอัตราการสิ้นเปลืองมาตรฐานอยู่ที่ 10-14 เปอร์เซ็นต์ โดยเกียร์ 1 จะมีค่ามากกว่ามาตรฐาน ซึ่งบ่งบอกให้ทราบได้ว่ารถไถพรวนดินจะลดน้ำหนักอุปกรณ์ได้ แต่ถ้าลดจะทำให้ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงได้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลำพลังงานไฟฟ้า ระดับเกียร์ 2

รายการ	ข้อมูลการทดสอบ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.ความเร็วของล้อ(กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	4.90	4.93	4.88	4.91
2.เวลาในการทำงาน(ไร่ต่อชั่วโมง)	0.080	0.078	0.079	0.079
3. อัตราการสิ้นเปลือง (เปอร์เซ็นต์)	12.24	14	14.28	13.50
4.อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ต่อชั่วโมง)	158.5	157.4	157.9	157.98
5.ความกว้างของการไถ (เมตร)	0.55	0.55	0.55	0.55
6.TFCความสามารถตามทฤษฎี ความกว้างของการไถ (ไร่ต่อชั่วโมง)	1.686	1.697	1.697	1.693
7.EFC ความสามารถในการทำงาน จริง	1.556	1.592	1.575	1.574
8.Eff ประสิทธิภาพ(เปอร์เซ็นต์)	92.28	93.81	92.81	92.66

จากตารางที่ 2 พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า ระดับเกียร์ 2 พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า ระดับเกียร์ 2 (เกียร์สูง) ในแปลงเกษตรเพื่อพรวนดินร่วนปนทราย ในพื้นที่ขนาด 200 ตารางเมตร โดยการทำ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังนี้ ความเร็วของล้อเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 4.91 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, เวลาในการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 0.079 ไร่ต่อชั่วโมง, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 13.50 เปอร์เซ็นต์, อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 157.98 วัตต์ต่อชั่วโมง, ความกว้างของการไถเฉลี่ยเท่ากับ 0.55 เมตร, TFC ความสามารถตามทฤษฎีความกว้างของการไถเฉลี่ยเท่ากับ 1.693 ไร่ต่อชั่วโมง, EFC ความสามารถในการทำงานจริงเฉลี่ยเท่ากับ 1.574 ไร่ต่อชั่วโมง, Eff ประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 92.66 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า เมื่อความเร็วมากและมีอัตราประสิทธิภาพสูงเนื่องจากการไถพรวนดินมีการบังคับน้ำหนักพาดไถเพื่อให้พรวนดินในระดับที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด และค่าอัตราการสิ้นเปลืองมาตรฐานอยู่ที่ 10-14 เปอร์เซ็นต์ โดยเกียร์ 2 จะมีค่าที่อยู่ในมาตรฐาน ซึ่งบ่งบอกให้ทราบได้ว่าสามารถที่จะลดการสิ้นเปลืองให้ลดลงโดยไม่หมุนอยู่กับที่

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากการออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า พบว่า ได้เครื่องจักรกลการเกษตรที่สามารถอำนวยความสะดวก และทุ่นแรงให้กับเกษตรกรในการไถพรวนดินสำหรับแปลงเกษตรขนาดเล็ก สอดคล้องกับที่ ศาสนาคุณมไทย สำหรับเยาวชน ที่ได้ให้ความหมายของคำว่าเครื่องจักรกลการเกษตร เป็นเครื่องมือที่เกษตรกรใช้ในการทำงานการเกษตร เพื่อช่วยลดความยากลำบากในการทำงาน หรือลดการออกแรงให้น้อยลง และสอดคล้องกับที่ บัญญัติ เศรษฐฐิต (2531) ได้กล่าวไว้ว่า รถไถเดินตามนับได้ว่าเป็นเครื่องมือทุ่นแรงที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง เพราะสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว และสะดวกในทุกพื้นที่ รถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงชนิดบัสเลสดีซีมอเตอร์ เป็นต้นกำลังหลักในการสร้างแรงขับเคลื่อนรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ มงคล และคณะ (2564) ได้ศึกษาเรื่อง การออกแบบและพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ ที่มีการเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงชนิดบัสเลสดีซีมอเตอร์ Brushless DC Motor (BLDC) ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในแง่ของการให้พลังเชิงกลมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงชนิดอื่นที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าๆ กัน รถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า มีประสิทธิภาพสามารถใช้ในการพรวนดินเพื่อเตรียมดิน สำหรับการเพาะปลูกในแปลงเกษตรขนาดเล็ก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ผู้วิจัย ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดกระบวนการทางเทคโนโลยีของ สาขาการออกแบบและเทคโนโลยี สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2566) เข้ามาช่วยในการออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า ให้สามารถทำงานเพื่อตอบสนองความต้องการ เป็นเพราะกระบวนการดังกล่าว มีขั้นตอนและรูปแบบที่ครอบคลุมกระบวนการออกแบบและพัฒนา โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการกำหนดปัญหาหรือความต้องการ การรวบรวมข้อมูล เลือกวิธีการออกแบบและปฏิบัติการ ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข และประเมินผล ทำให้รถไถที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาขึ้นมามีประสิทธิภาพ สามารถใช้ในการพรวนดิน เพื่อเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูกในแปลงเกษตรขนาดเล็กได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ผลจากการออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กลังงานไฟฟ้า ได้เครื่องจักรกลการเกษตรขนาดเล็กที่สามารถอำนวยความสะดวก และทุ่นแรงให้กับเกษตรกร ในการไถพรวนดิน สำหรับแปลงเกษตรขนาดเล็ก โดยมีขนาด ความกว้าง 1.2 เมตร, ความยาว 1.5 เมตร และความสูง 1.41 เมตร น้ำหนักกรวม 300 กิโลกรัม ขนาดล้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์, กล่องคอนโทรลเลอร์ 100 แอมป์, แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ขนาด 30 แอมป์, ชุดส่งกำลังผ่านโซ่เฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ 1 : 7.806, เกียร์ 1 อัตราทด 16 : 1 ความเร็วรอบเฟลาเท่ากับ 29.7 rpm และเกียร์ 2 อัตราทด 12 : 1 ความเร็วรอบเฟลาเท่ากับ 42.2

rpm, มีแรงม้าของกำลังพรวนเท่ากับ 1.729 แรงม้า รถไถสามารถไถพรวนดินในดินร่วนปนทราย เพื่อพรวนดิน และเตรียมดินในการทำเกษตรขนาดเล็กในการปลูกพืช

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า ในสภาพดินร่วนปนทรายในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ขนาดพื้นที่เท่ากับ 200 ตารางเมตร จากการหาประสิทธิภาพการทำงานจากเกียร์ 1 พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ล้อ 3.186 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีเวลาในการทำงาน 0.122 ไร่ต่อชั่วโมง มีอัตราการสิ้นเปลือง 16.93 เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 245.66 วัตต์ต่อชั่วโมง ความกว้างของการไถ 0.55 เมตร มีความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี (TFC) 1.094 ไร่ต่อชั่วโมง มีความสามารถในการทำงานจริง (EFC) 1.017 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพ (EFF) 92.1 เปอร์เซ็นต์ และเกียร์ 2 พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ล้อ 4.91 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีเวลาในการทำงาน 0.079 ไร่ต่อชั่วโมง มีอัตราการสิ้นเปลือง 11.89 เปอร์เซ็นต์ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 157.98 วัตต์ต่อชั่วโมง ความกว้างของการไถ 0.55 เมตร มีความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี (TFC) 1.693 ไร่ต่อชั่วโมง มีความสามารถในการทำงานจริง (EFC) 1.574 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพ (EFF) 93.66 เปอร์เซ็นต์

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงวิชาการและสาธารณะ

6.1.1 ประโยชน์เชิงวิชาการ ควรมีการบูรณาการผลการวิจัยเข้ากับหลักสูตรการศึกษาในสาขาวิศวกรรม การเกษตรและวิศวกรรมเครื่องกล ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างองค์ความรู้ด้านนวัตกรรมเกษตรสมัยใหม่ อันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีรถไถพรวนดินพลังงานไฟฟ้า

6.1.2 ประโยชน์เชิงสาธารณะ การใช้รถไถพรวนดินพลังงานไฟฟ้าจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้คุณภาพอากาศในพื้นที่เกษตรกรรมดีขึ้น นอกจากนี้ การลดเสียงรบกวนจะช่วยปรับปรุงคุณภาพชีวิตของชุมชนเกษตรกรรม การประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการบำรุงรักษาในระยะยาวจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกรรายย่อย

6.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

6.2.1 การส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ควรมีการผลักดันนโยบาย "เกษตรกรรมคาร์บอนต่ำ" (Low-carbon Agriculture) โดยสนับสนุนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสะอาดในภาคเกษตรกรรม พร้อมทั้งส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในการกักเก็บพลังงานและระบบการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพลังงานหมุนเวียน

6.2.2 การสร้างมาตรฐานและการควบคุมคุณภาพ ควรมีการกำหนดมาตรฐานการผลิตรถไถพรวนดินพลังงานไฟฟ้าที่ครอบคลุมทั้งด้านประสิทธิภาพ และความปลอดภัย รวมถึงมีการจัดตั้งหน่วยงานกำกับดูแลเฉพาะทางเพื่อตรวจสอบและรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลการใช้งานในระยะยาว เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงมาตรฐานให้ทันสมัยอยู่เสมอ

6.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

6.3.1 ควรมีการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ โดยวิจัยและพัฒนาแบตเตอรี่ สำรองและพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีความจุสูง น้ำหนักเบา และมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น เช่น แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนรุ่นใหม่ หรือแบตเตอรี่แบบโซลิดสเตต และการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยวิจัยและพัฒนามอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้พลังงานน้อยลง เพื่อลดการใช้พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า

6.3.2 ควรมีการศึกษาและวิเคราะห์การใช้งานในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ทดสอบการใช้งานรถไถพรวนดินพลังงานไฟฟ้าในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น ดินเหนียว ดินทราย และดินร่วน เพื่อปรับปรุงการออกแบบให้เหมาะสมกับทุกสภาพแวดล้อม และการศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานใน

พื้นที่ภูเขา โดยวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงรถไถพรวนดินให้สามารถทำงานได้ดีในพื้นที่ภูเขาหรือพื้นที่ที่มีความลาดเอียงสูง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าของบทความ เอกสาร ตำราและหนังสือ ที่ผู้วิจัยใช้ในการสืบค้น ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ แผนกวิชาเทคนิคพื้นฐาน วิทยาลัยเทคนิครัตนบุรี ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ในการออกแบบ พัฒนา และสร้างรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กรวมไปถึงบ้านจบก ตำบลบ้านผือ อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์ ที่ให้การอนุเคราะห์แปลงเกษตรขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของรถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กรวมไปถึง อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ทรงคุณวุฒิต่าง ๆ ที่ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- บุรินทร์ เกิดทรัพย์. (2565). การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น. <https://shorturl.asia/lmZKn>
- บัญญัติ เศรษฐฐิติ. (2531). รถแทรกเตอร์ และ เครื่องมือทุ่นแรงในการเกษตร. ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. <https://shorturl.asia/8ouiJ>
- ฤเชษฐ์ ภูประดับศิลป์. (2565). เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า : มอเตอร์ไฟฟ้า. <https://www.nectec.or.th/news/news-public-document/epub-ev-motor.html>
- วิจิตร บุญยะโหดระ. (2566). มลภาวะจากท่อไอเสีย. <https://shorturl.asia/hl4NJ>
- วีรยุทธ เดิมสวัสดิ์, จักรกฤษณ์ จันทศิริ. (2561). การพัฒนารถสามล้อไฟฟ้าเพื่อคนพิการทางขา. สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. <https://shorturl.asia/xCXdq>
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2566). โครงสร้างราคาปลีกน้ำมัน. <https://shorturl.asia/suSoB>
- สถาบันยานยนต์. (2565). ความรู้ยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น. <https://shorturl.asia/RNSb1/>
- มงคล ลาดชูย์, ภาคิน ขบขัน, วสุพล กุลเกลี้ยง, ณัฐชัย โพธิ์. (2564). การออกแบบและพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ. <https://shorturl.asia/r6ol7>
- อรรถพล อารณพงษ์. (2559). การพัฒนาระบบรวบรวมข้อมูลสำหรับการทดสอบสมรรถนะของรถไถเดินตามในแปลงเกษตร. <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/7079>
- ยศพงษ์ ลออนวล และคณะ. (2558). การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า และผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- วุฒิชัย แพงคำรัก. (2559). คู่มือเครื่องต้นกำลังเกษตร. อ้างจากใน สำนักงานปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม <https://shorturl.asia/fK7P6>
- สาขาการออกแบบและเทคโนโลยี สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2566). กระบวนการเทคโนโลยี. https://designtechnology.ipst.ac.th/?page_id=1094
- Electric motors', Dana TM4. (2566). มอเตอร์ไฟฟ้า. https://www.nectec.or.th/wp-content/uploads/2022/09/NECTEC-EV-motor_epub.pdf

คุณค่าทางวิชาการ

คุณค่าทางวิชาการของงานวิจัย "การออกแบบและพัฒนารถไถพรวนดินเดินตามขนาดเล็กพลังงานไฟฟ้า" แสดงถึงความก้าวหน้าในการบูรณาการเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ากับภาคเกษตรกรรม ซึ่งเป็นการปฏิวัติแนวความคิดการใช้พลังงานในเครื่องจักรกลการเกษตร โดยมุ่งเน้นการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ โดยนวัตกรรมนี้ไม่เพียงแต่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ยังเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจหมุนเวียนในภาคเกษตร โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนร่วมกับระบบอัจฉริยะในการควบคุมการทำงาน ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และยกระดับมาตรฐานการทำเกษตรกรรมแบบแม่นยำสูง อีกทั้ง งานวิจัยนี้ยังเป็นการพัฒนานวัตกรรมทางการเกษตรที่สามารถเชื่อมโยงเทคโนโลยีดิจิทัล เข้ากับเครื่องจักรกลการเกษตร นำไปสู่การสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการออกแบบ นโยบายและกลยุทธ์การพัฒนาภาคเกษตรอย่างยั่งยืน ตอบโจทย์ความท้าทายทางด้านความมั่นคงทางอาหารและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในศตวรรษที่ 21

ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ในการคำนวณเสถียรภาพของลาดดิน

รัฐศักดิ์ ผลานิสงค์^{1*} พงศกร พรณรัตน์ศิลป์²

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น^{1*2}

อีเมล : Ratasak_ph@kkumail.com^{1*}

วันที่รับบทความ 20 มกราคม 2568

วันแก้ไขบทความ 14 กุมภาพันธ์ 2568

วันตอบรับบทความ 25 กุมภาพันธ์ 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ เพื่อให้ผู้วิเคราะห์สามารถเข้าใจถึงความสำคัญของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินได้ดียิ่งขึ้น โดยทำการศึกษาพารามิเตอร์จำนวน 9 อย่าง คือ 1) รูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ 2) หน่วยน้ำหนักของดิน 3) แรงยึดเหนี่ยวของดิน 4) มุมเสียดทานภายในของดิน 5) ความชันของลาดดิน 6) ความสูงของลาดดิน 7) ระดับน้ำหน้าลาดดิน 8) แรงภายนอกที่กระทำบนคันดิน และ 9) แรงแผ่นดินไหว ผลการศึกษาพบว่า วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีสมมูลโมเมนต์และวิธีสมมูลขีดจำกัด ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยใกล้เคียงกัน ในขณะที่วิธีสมมูลแรงให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำที่สุด การเลือกใช้หน่วยน้ำหนักของดินควรสอดคล้องกับลักษณะของดิน เนื่องจากความอ่อนไหวของหน่วยน้ำหนักจะมีผลเฉพาะกับการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดิน สำหรับแรงยึดเหนี่ยวของดินและมุมเสียดทานภายใน เมื่อค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เพิ่มสูงขึ้น ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ในด้านความชันและความสูง พบว่าการเพิ่มค่าความชันและความสูงส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลง ในขณะที่ระดับน้ำหน้าลาดดินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเพิ่มขึ้น โดยความอ่อนไหวของระดับน้ำหน้าลาดดินจะมีผลเฉพาะกับการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดิน สำหรับแรงภายนอกที่กระทำบนคันดินและแรงแผ่นดินไหว การเพิ่มของแรงดังกล่าวจะทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลง โดยความอ่อนไหวจากแรงภายนอกที่กระทำบนคันดินมีผลกระทบสูงสุดในการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดินและมุมเสียดทานภายใน

คำสำคัญ : เสถียรภาพของลาดดิน การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน พารามิเตอร์ ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ อัตราส่วนความปลอดภัย

Sensitivity of Parameters in Slope Stability Analysis

Ratasak Phalanisong^{1*}, Pongsakorn Punrattanasin²

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University^{1*,2}

E-mail : Ratasak_ph@kkumail.com^{1*}

Received 20 January 2025

Revised 14 February 2025

Accepted 25 February 2025

Abstract

This study investigates the sensitivity of parameters to enable analysts to better understand the significance of factors influencing the stability analysis of soil slopes. A total of nine parameters were examined: (1) the analysis method used, (2) soil unit weight, (3) soil cohesion, (4) soil internal friction angle, (5) slope inclination, (6) slope height, (7) water level at the slope face, (8) external forces acting on the embankment, and (9) seismic forces. The results show that the moment equilibrium method and the limit equilibrium method yield similar safety factor values, while the force equilibrium method produces the lowest safety factor. The selection of soil unit weight should correspond to the characteristics of the soil, as the sensitivity of this parameter only affects the calculation of soil cohesion. For soil cohesion and internal friction angle, an increase in these parameters results in a higher safety factor. Regarding slope inclination and height, increasing these values decreases the safety factor. Conversely, an increase in the water level at the slope face leads to a higher safety factor, although the sensitivity of the water level is specific to the calculation of soil cohesion. For external forces acting on the embankment and seismic forces, an increase in these forces reduces the safety factor. The sensitivity of external forces acting on the embankment has the most significant impact on the calculation of soil cohesion and internal friction angle.

Keywords : Slope Stability, Slope Stability Analysis, Parameter, Parameter Sensitivity, Factor Of Safety

1. บทนำ

การคำนวณเสถียรภาพของลาดดินเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในงานวิศวกรรมโยธา เนื่องจากเสถียรภาพของลาดดินมีผลกระทบโดยตรงต่อความปลอดภัยและความมั่นคงของโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ เช่น เขื่อน ถนน อาคาร และโครงสร้างที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ลาดชัน โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการเสียเสถียรภาพของลาดดินมีอยู่หลายปัจจัย ได้แก่ ธรณีวิทยา (สุประชา คามะพา และ พงศกร พวงชมพู, 2565) ความลาดชันของพื้นที่ คุณสมบัติของดิน ปริมาณน้ำฝน (ยศวิศ จันทรา และ พงศกร พวงชมพู, 2565) และการใช้ประโยชน์จากที่ดินซึ่งเกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในหลายพื้นที่ (กฤษณะ มีลักษณะสม และ พงศกร พวงชมพู, 2566) เช่น การศึกษาคุณสมบัติดินในพื้นที่ลาดเขาที่มีความเสี่ยงสูงในภาคเหนือและภาคตะวันตก โดยชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการคำนวณจากการคำนวณพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนี้ถือเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากพารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อการคำนวณค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดิน (ปรเมธี เดชปะตังเวลา, โกมิลย์ ชัยรัตนงานเดช และ พงศกร พวงชมพู, 2562) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์จึงเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ช่วยให้ทราบถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่มีต่อเสถียรภาพของลาดดิน และสามารถระบุพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบมากที่สุด เพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงการออกแบบให้มีความเหมาะสมและปลอดภัยมากขึ้น (วรรณวรงค์ รัตนนิคม และ สยาม ยิ้มศิริ, 2564)

ในปัจจุบัน มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน แต่ส่วนใหญ่ผู้วิเคราะห์ยังไม่เข้าใจในส่วนของการพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณเสถียรภาพของลาดดิน โดยทำการศึกษาพารามิเตอร์จำนวน 9 อย่าง ได้แก่ รูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ หน่ว้น้ำหนักของดิน แรงยึดเหนี่ยวของดิน มุมเสียดทานภายในของดิน ความชื้นของลาดดิน ความสูงของลาดดิน ระดับน้ำหน้าลาดดิน แรงภายนอกที่กระทำบนคันดิน และแรงแผ่นดินไหว ซึ่งการศึกษานี้ช่วยให้เกิดความเข้าใจผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีต่อเสถียรภาพของลาดดินและช่วยสนับสนุนการออกแบบในงานวิศวกรรมโยธาให้มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่าง ๆ และเป็นแนวทางให้ผู้ใช้งานในการออกแบบเสถียรภาพของลาดดิน รมั้ดระวังในการใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากความอ่อนไหวของพารามิเตอร์เหล่านี้

3. วิธีการวิจัย

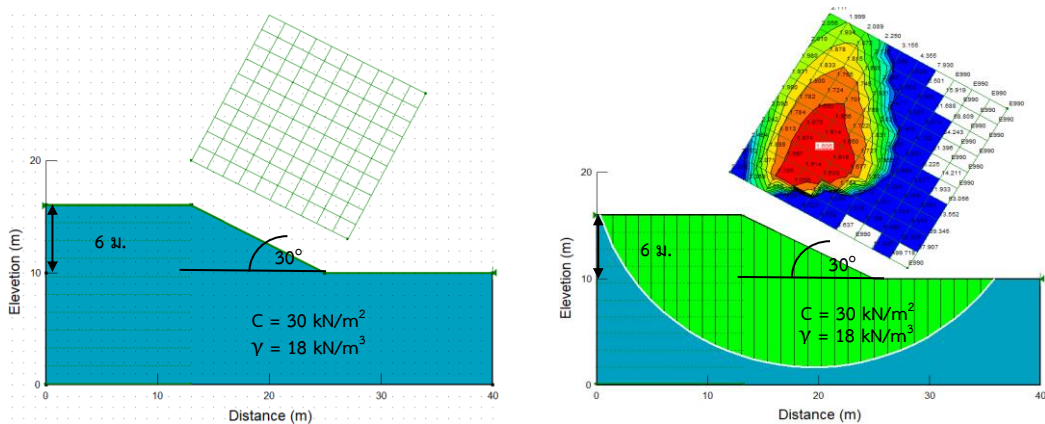
3.1 การศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Geo Studio (Student Edition) ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเพื่อหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

3.2 ในการคำนวณมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 1 เพื่อศึกษาว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์นั้นจะส่งผลต่อผลการคำนวณอย่างไร โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้

3.3 ในการคำนวณโดยโปรแกรมสำเร็จรูป จะคำนวณค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจากหลายตำแหน่งและเลือกใช้ค่าที่คำนวณได้ต่ำที่สุด ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

ลำดับที่	วิธีการวิเคราะห์	หน่วยน้ำหนักของดิน (kN/m ³)	แรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน (kN/m ²)	มุมเสียดทานภายใน (องศา)	ความชื้น (องศา)	ความสูง (เมตร)	ระดับน้ำ (%)	แรงภายนอก (kN/m ²)	แรงแผ่นดินไหว (g)
1. ความอ่อนไหวของรูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์	วิธีสมดุลแรงวิธีสมดุลโมเมนต์วิธีสมดุลขีดจำกัด	12, 14, 16, 18, 20, 22	-	30	30	6	-	-	-
	วิธีสมดุลแรงวิธีสมดุลโมเมนต์วิธีสมดุลขีดจำกัด	12, 14, 16, 18, 20, 22	30	-	30	6	-	-	-
2. ความอ่อนไหวของหน่วยน้ำหนักของดิน	วิธีสมดุลแรง	12, 14, 16, 18, 20, 22	-	30, 35, 40	30	6	-	-	-
	วิธีสมดุลแรง	12, 14, 16, 18, 20, 22	5, 10, 15	-	30	6	-	-	-
3. ความอ่อนไหวของแรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน	วิธีสมดุลแรง	18	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45	-	15, 30, 45, 60, 75, 90	2, 4, 6, 8, 10	-	-	-
4. ความอ่อนไหวของมุมเสียดทานภายใน	วิธีสมดุลแรง	18	-	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45	15, 30, 45, 60, 75, 90	2, 4, 6, 8, 10	-	-	-
5. ความอ่อนไหวของความชื้นของลาดดิน	วิธีสมดุลแรง	18	-	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45	15, 30, 45, 60, 75, 90	2, 4, 6, 8, 10	-	-	-
6. ความอ่อนไหวของความสูงของลาดดิน	วิธีสมดุลแรง	18	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45	-	15, 30, 45, 60, 75, 90	2, 4, 6, 8, 10	-	-	-
7. ความอ่อนไหวของระดับน้ำหน้าลาดดิน	วิธีสมดุลแรง	18	30	-	15, 30, 45, 60, 75, 90	4	0, 25, 50, 75, 100	-	-
	วิธีสมดุลแรง	18	-	30	15, 30, 45, 60, 75, 90	4	0, 25, 50, 75, 100	-	-
8. ความอ่อนไหวของแรงภายนอกที่กระทำบนคันดิน	วิธีสมดุลแรง	18	30	-	15, 30, 45, 60, 75, 90	4	-	0, 200, 400, 600, 800	-
	วิธีสมดุลแรง	18	-	30	15, 30, 45, 60, 75, 90	4	-	0, 200, 400, 600, 800	-
9. ความอ่อนไหวของแรงแผ่นดินไหว	วิธีสมดุลแรง	18	30	-	15, 30, 45, 60, 75, 90	4	-	-	0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 0.75, 1
	วิธีสมดุลแรง	18	-	30	15, 30, 45, 60, 75, 90	4	-	-	0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 0.75, 1

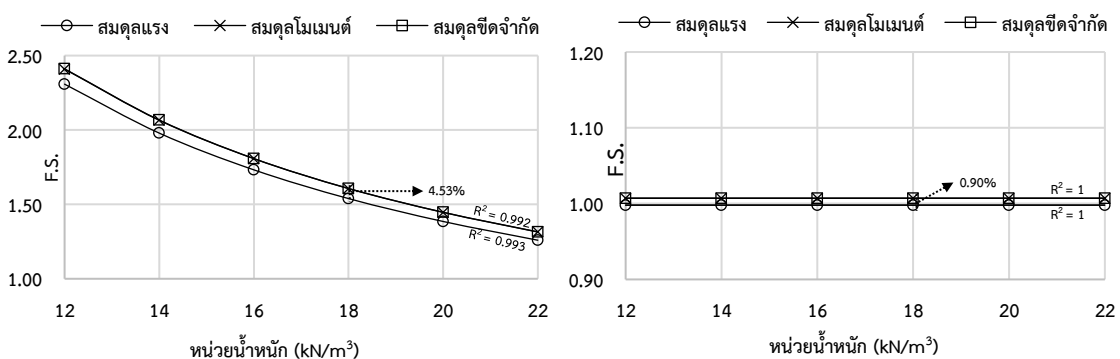


รูปที่ 1 ตัวอย่างผลคำนวณที่ได้ โปรแกรมจะแสดงค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ตำแหน่งต่าง ๆ

4. ผลการศึกษา

4.1 ความอ่อนไหวของวิธีการที่ใช้วิเคราะห์

หากใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 1 ลำดับที่ 1 จากการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ 3 วิธี คือ 1) วิธีสมมูลแรง (Janbu, N., 1973) 2) วิธีสมมูลโมเมนต์ (Bishop, A. W., and Morgenstern, N., 1960) และ 3) วิธีสมมูลขีดจำกัด (Spencer, E., 1967) จากรูปที่ 2(ก) เมื่อมีการใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่เท่ากัน ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีสมมูลโมเมนต์ และวิธีสมมูลขีดจำกัด ให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่วิธีสมมูลของแรงจะให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำที่สุด โดยมีค่าต่างจาก 2 วิธีแรกอยู่ 4.53% และจากรูปที่ 2(ข) การคำนวณใช้ค่ามุมเสียดทานภายใน พบผลการคำนวณที่ได้ในลักษณะเดียวกันกับที่คำนวณโดยแรงยึดเหนี่ยวของดิน โดยที่วิธีสมมูลโมเมนต์ และวิธีสมมูลขีดจำกัด ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่เท่ากัน และได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดจากการคำนวณด้วยวิธีสมมูลแรง โดยมีค่าต่างจากวิธีสมมูลโมเมนต์ และวิธีสมมูลขีดจำกัดอยู่ 0.90% ดังนั้น ในการคำนวณพารามิเตอร์ถัดไปจะใช้การคำนวณด้วยวิธีสมมูลแรง



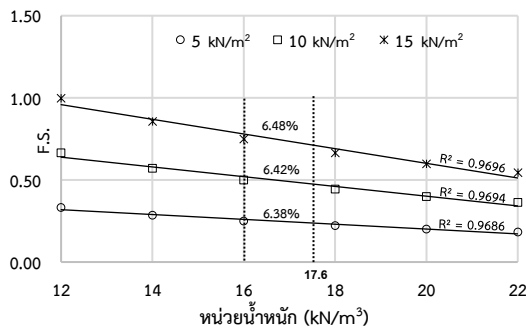
(ก) แรงยึดเหนี่ยวของดิน

(ข) มุมเสียดทานภายใน

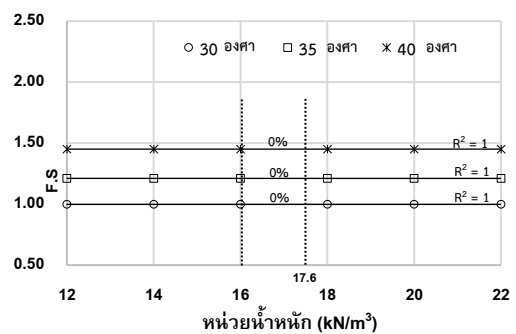
รูปที่ 2 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่อความอ่อนไหวของวิธีการวิเคราะห์

4.2 ความอ่อนไหวของหน่วยน้ำหนักของดิน

จากผลการวิเคราะห์รูปที่ 3(ก) การใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน 5 kN/m^2 โดยหน่วยน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มหน่วยน้ำหนักขึ้น 10% จาก 16 kN/m^3 เป็น 17.6 kN/m^3 พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลงประมาณ 6% และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินที่ 10 kN/m^2 และ 15 kN/m^2 แต่สำหรับการวิเคราะห์ที่ใช้ค่ามูเสียตทานภายในคงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าหน่วยน้ำหนักและมูเสียตทานภายในเท่ากับ 30 องศา, 35 องศา และ 40 องศา พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้มีค่าคงที่ ดังรูปที่ 3(ข) และไม่ได้เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามหน่วยน้ำหนัก ดังนั้น ความอ่อนไหวของหน่วยน้ำหนักเกิดขึ้นเฉพาะกับการคำนวณที่ใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน



(ก) แรงยึดเหนี่ยวของดิน

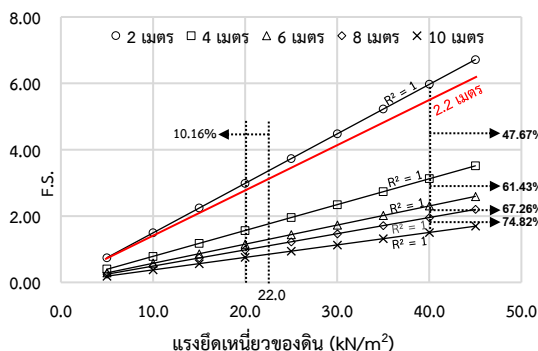


(ข) มูเสียตทานภายใน

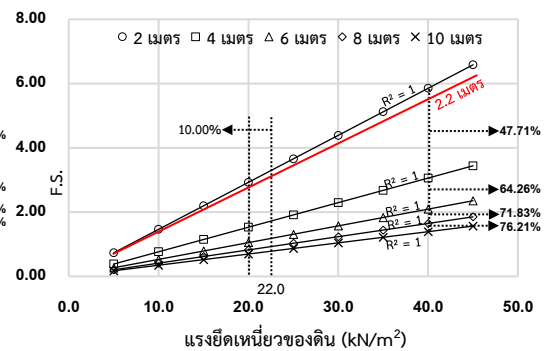
รูปที่ 3 ความอ่อนไหวของหน่วยน้ำหนักของดิน

4.3 ความอ่อนไหวของค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน

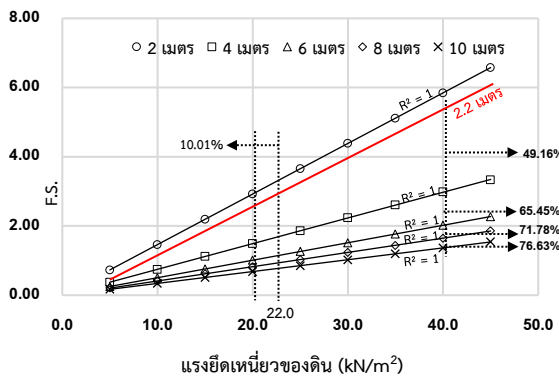
จากผลการศึกษาในรูปที่ 4(ก) เมื่อลาดดินมีความชัน 15 องศา และความสูง 2 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน และพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยเมื่อแรงยึดเหนี่ยวของดินเพิ่มขึ้น 10% จาก 20 kN/m^2 เป็น 22 kN/m^2 ที่ความสูง 2 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จะเพิ่มขึ้น 10.16% และหากวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง จาก 2 เมตร เป็น 4 เมตร, 6 เมตร, 8 เมตร และ 10 เมตร พบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับการคำนวณที่ความสูง 2 เมตร และในการศึกษาครั้งนี้ ยังได้ขยายการวิเคราะห์ไปกับความชัน 30 องศา, 45 องศา, 60 องศา, 75 องศา และ 90 องศา ผลการศึกษาได้แสดงไว้ในรูปที่ 4(ข) ถึง 4(ด) โดยผลการศึกษาที่ได้มีแนวโน้มเหมือนที่ศึกษาไว้กับที่ความชัน 15 องศา



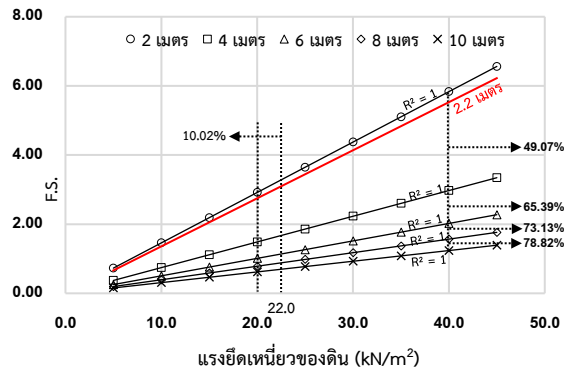
(ก) ความชัน 15 องศา



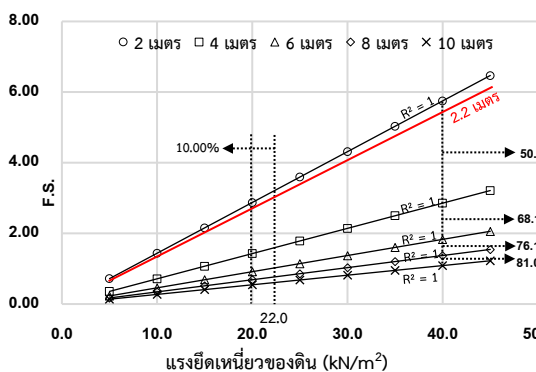
(ข) ความชัน 30 องศา



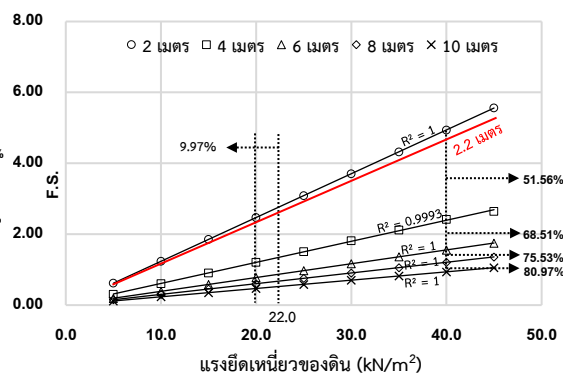
ค) ความชัน 45 องศา



ง) ความชัน 60 องศา



จ) ความชัน 75 องศา



ฉ) ความชัน 90 องศา

รูปที่ 4 ความอ่อนไหวของแรงยึดเหนี่ยวของดิน

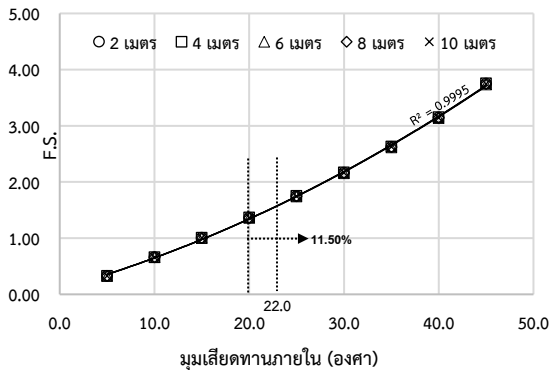
จากรูปที่ 4(ก) ถึง 4(ฉ) เมื่อนำอัตราส่วนความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น 10% จาก 20 kN/m² เป็น 22 kN/m² ของแต่ละความชันมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ดังตารางที่ 2 พบว่า เมื่อแรงยึดเหนี่ยวของดินเพิ่มขึ้น 10% ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงยึดเหนี่ยวของดิน 10.02%

ตารางที่ 2 การเพิ่มขึ้นของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเมื่อแรงยึดเหนี่ยวของดินเพิ่มขึ้น 10%

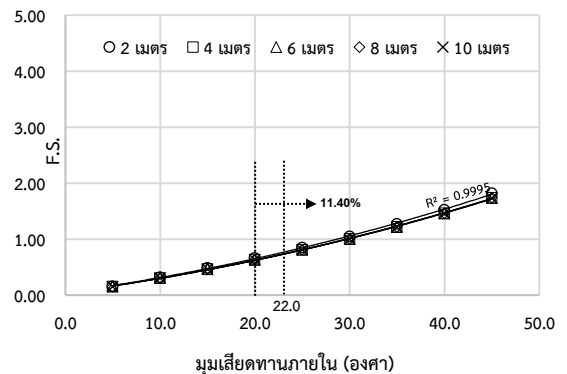
	ความชัน 15 องศา	ความชัน 30 องศา	ความชัน 45 องศา	ความชัน 60 องศา	ความชัน 75 องศา	ความชัน 90 องศา	เฉลี่ย องศา
การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน ความปลอดภัยที่ 10%	10.16%	10.00%	10.01%	10.02%	10.00%	9.97%	10.02%

4.4 ความอ่อนไหวของมุมเสียดทานภายใน

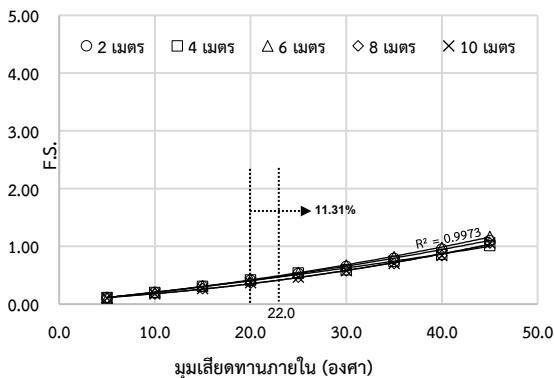
จากผลการศึกษาในรูปที่ 5(ก) ที่ความชัน 15 องศา และความสูง 2 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมเสียดทานภายใน โดยเมื่อมุมเสียดทานภายในเพิ่มขึ้น 10% จาก 20 องศา เป็น 22 องศา พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าเพิ่มสูงขึ้น 11.50% และหากวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง จาก 2 เมตร, เป็น 4 เมตร, 6 เมตร, 8 เมตร และ 10 เมตร พบแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับที่คำนวณความสูง 2 เมตร และเมื่อเพิ่มความชัน เป็น 30 องศา, 45 องศา, 60 องศา, และ 90 องศา ผลการศึกษาที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับการศึกษาที่ความชัน 15 องศา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5(ข) ถึง 5(ง)



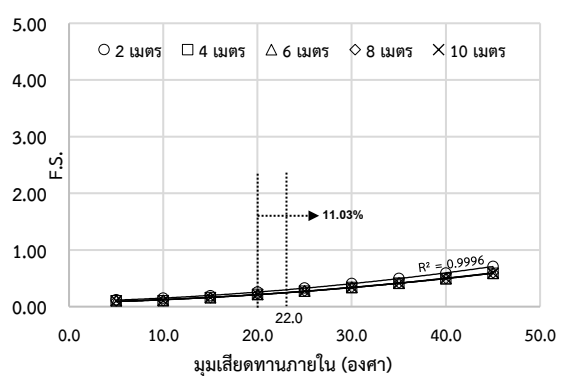
(ก) ความชัน 15 องศา



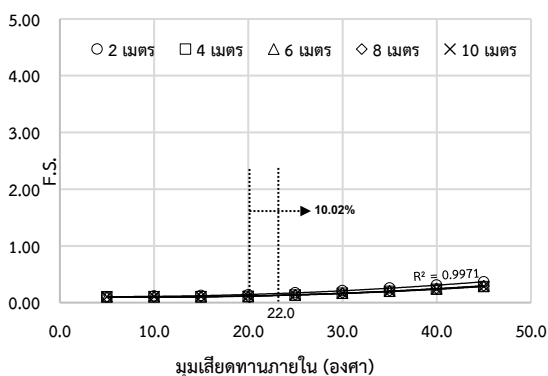
(ข) ความชัน 30 องศา



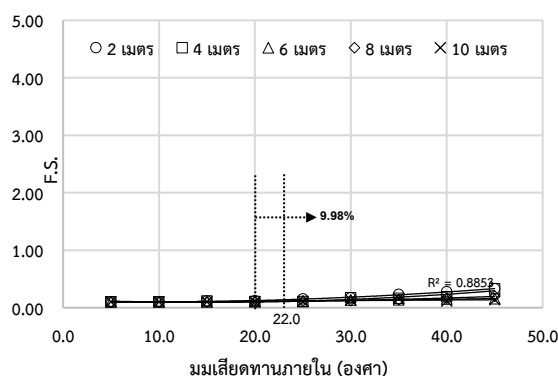
(ค) ความชัน 45 องศา



(ง) ความชัน 60 องศา



(จ) ความชัน 75 องศา



(ฉ) ความชัน 90 องศา

รูปที่ 5 ความอ่อนไหวของมุมเสียดทานภายใน

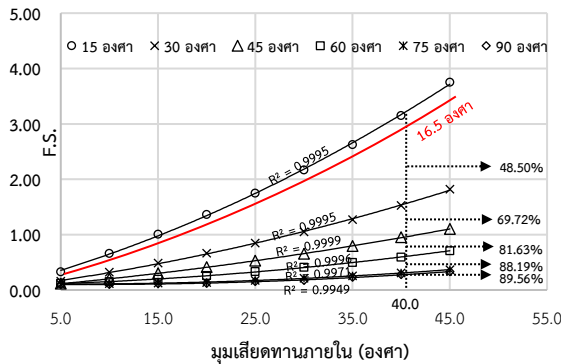
จากรูปที่ 5(ก) ถึง 5(ฉ) เมื่อนำอัตราส่วนความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น 10% จาก 20 องศา เป็น 22 องศา ของในแต่ละความชันมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ดังตารางที่ 3 พบว่า ในการคำนวณมุมเสียดทานภายในเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของมุมเสียดทานภายในที่ 10% ค่าอัตราส่วน ความปลอดภัย ที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น 10.87%

ตารางที่ 3 การเพิ่มขึ้นของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย เมื่อมุมเสียดทานภายในเพิ่มขึ้น 10 %

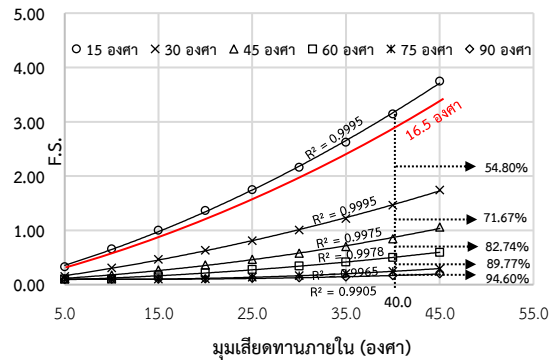
	ความชัน 15 องศา	ความชัน 30 องศา	ความชัน 45 องศา	ความชัน 60 องศา	ความชัน 75 องศา	ความชัน 90 องศา	เฉลี่ย องศา
การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน ความปลอดภัยที่ 10%	11.50%	11.40%	11.31%	11.03%	10.02%	9.98%	10.87%

4.5 ความอ่อนไหวของความชันของลาดดิน

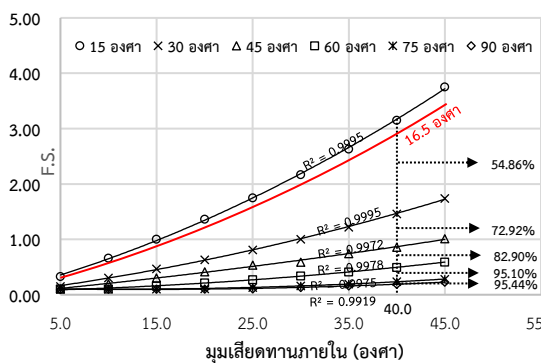
จากผลการศึกษาในรูปที่ 6(ก) เมื่อลาดดินมีความสูง 2 เมตร ที่ความชัน 15 องศา ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าลดลงตามมุมเสียดทานภายใน โดยเมื่อความชันมีค่าเพิ่มขึ้น 10% (เส้นสีแดง) จาก 15 องศา เป็น 16.5 องศา ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จะมีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 5 และหากวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันแต่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง จาก 2 เมตร เป็น 4 เมตร, 6 เมตร, 8 เมตร และ 10 เมตร พบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับการคำนวณที่ความชัน 15 องศา โดยผลการศึกษาได้แสดงไว้ในรูปที่ 6(ข) ถึง 6(จ) โดยผลการศึกษาที่ได้มีแนวโน้มเหมือนที่ศึกษาไว้กับที่ความสูง 2 เมตร



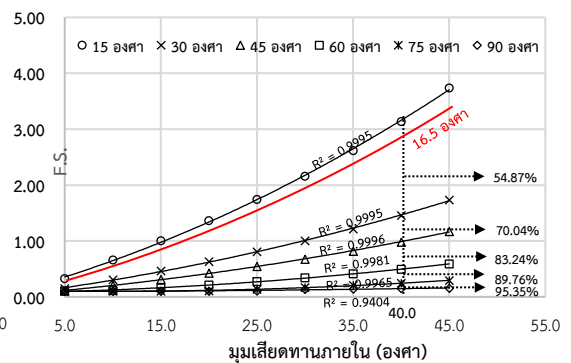
(ก) ความสูง 2 เมตร



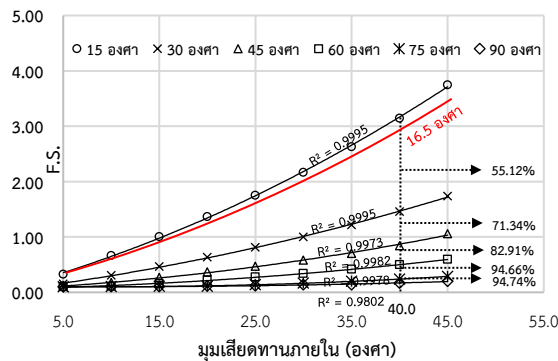
(ข) ความสูง 4 เมตร



(ค) ความสูง 6 เมตร



(ง) ความสูง 8 เมตร



(จ) ความสูง 10 เมตร

รูปที่ 6 ความอ่อนไหวของความชันของลาดดิน

จากรูปที่ 6(ก) ถึง 6(จ) เมื่อนำอัตราส่วนความปลอดภัยและความชันที่เพิ่มขึ้น 10% จาก 15 องศา เป็น 16.5 องศา ของแต่ละความสูงมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ดังตารางที่ 4 พบว่า ในการคำนวณมุมเสียดทานภายในเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความชันที่ 10% ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จะมีค่าลดลง 5.36%

ตารางที่ 4 การลดลงของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย เมื่อมุมเสียดทานภายในเพิ่มขึ้น 10 %

การเปลี่ยนแปลง ความชันในช่วง	การลดลงของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (%)						
	ความสูง 2 เมตร	ความสูง 4 เมตร	ความสูง 6 เมตร	ความสูง 8 เมตร	ความสูง 10 เมตร	ความสูง เฉลี่ย (เมตร)	ความต่างของ ความสูงเฉลี่ย ที่ 10%
15 องศา – 30 องศา	48.50	54.80	54.86	54.87	55.12	53.63	5.36

4.6 ความอ่อนไหวของความสูงของลาดดิน

จากการศึกษาในรูปที่ 4(ก) เมื่อลาดดินมีความชัน 15 องศา ที่ความสูง 2 เมตร เมื่อความสูงมีค่าเพิ่มขึ้นค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าลดลง โดยเมื่อความสูงมีค่าเพิ่มขึ้น 10% จาก 2.0 เมตร เป็น 2.2 เมตร (เส้นสีแดง) ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จะมีค่าลดลง และหากวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงความชันจาก 30 องศา, 45 องศา, 60 องศา, 75 องศา และ 90 องศา พบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยผลการศึกษาที่ได้มีแนวโน้มเหมือนที่ศึกษาไว้กับที่ความสูง 2 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4(ข) ถึง 4(ฉ)

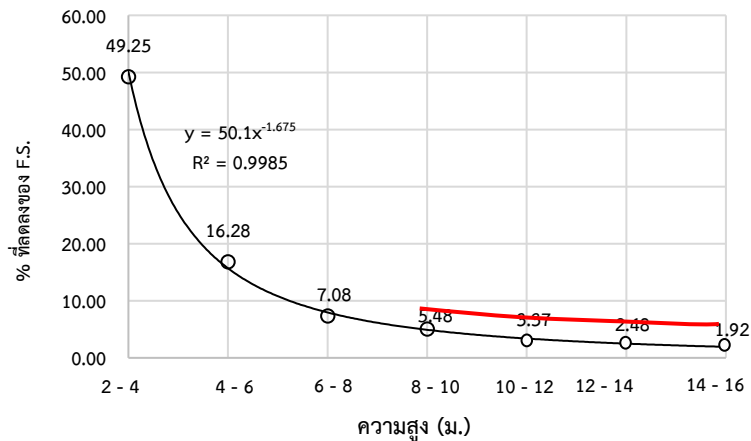
เมื่อวิเคราะห์อย่างละเอียดในรูปที่ 4(ก) ที่ความชันเดียวกันหากความสูงของลาดดินเพิ่มจาก 2 เมตร เป็น 4 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะลดลงประมาณ 48% และเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 6 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะลดลงประมาณ 16% เมื่อเทียบกับความสูงที่ 2 เมตร และเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจะลดน้อยลงเมื่อความชันเพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าจะลดลงประมาณ 7% และ 5% เมื่อความสูงเปลี่ยนจาก 8 เมตร เป็น 10 เมตร ตามลำดับ ความสัมพันธ์ในลักษณะนี้เกิดขึ้นกับรูปที่ 4(ข) – 4(ฉ) ผู้วิเคราะห์จึงทำการเฉลี่ยค่าเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของอัตราส่วนความปลอดภัยกับความสูง สามารถสรุปไว้ในตารางที่ 5 และจึงนำค่าที่ได้ไปเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 5 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจากความอ่อนไหวของแรงยึดเหนี่ยวของดิน

การเปลี่ยนแปลง ความสูงในช่วง (เมตร)	การลดลงของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (%)							
	ความชัน 15 องศา	ความชัน 15 องศา	ความชัน 15 องศา	ความชัน 15 องศา	ความชัน 15 องศา	ความชัน 15 องศา	ความชัน 15 องศา	ความต่าง ของความ ชันเฉลี่ย
2 - 4	47.67	47.71	49.16	49.07	50.35	51.46	49.25	4.92
4 - 6	61.43	64.26	65.45	65.39	68.15	68.51	65.53	1.62
6 - 8	67.26	71.83	71.78	73.13	76.15	75.53	72.61	0.70
8 - 10	74.82	76.21	76.63	78.82	81.08	80.97	78.09	0.54

จากผลการศึกษาในรูปที่ 4 และตารางที่ 5 นำมาวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยกับความสูงที่แตกต่างกัน พบว่า (เส้นสีดำ) ในช่วงความสูง 2 เมตร – 4 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะลดลงมากที่สุด ในช่วงความสูง 4 เมตร – 8 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีแนวโน้มชะลอการลดลง และในช่วงความสูง 10 เมตรขึ้นไป การเพิ่มของความสูง

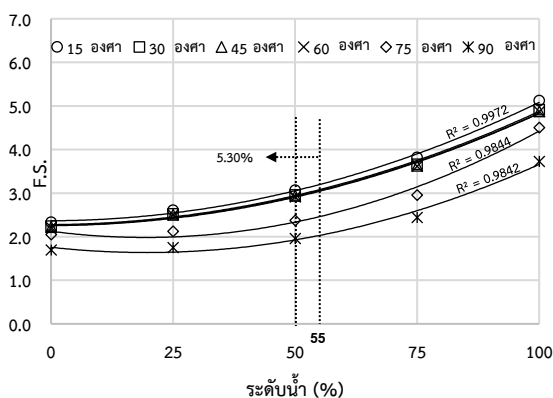
ไม่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของลาดดิน จากการวิเคราะห์ข้อมูล (เส้นสีแดง) สามารถพยากรณ์การลดลงของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยด้วยสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล $y = 50.1x^{-1.675}$



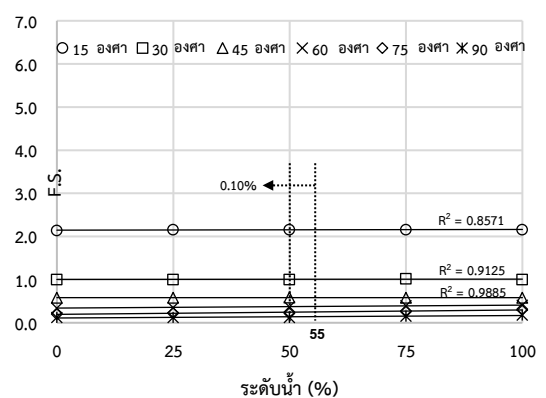
รูปที่ 7 เปอร์เซนต์ลดลงของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจากความอ่อนไหวของแรงยึดเหนี่ยวของดิน

4.7 ความอ่อนไหวของระดับน้ำที่หน้าลาดดิน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำหน้าลาดดิน จากการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดิน 30 kN/m^2 จากรูปที่ 8(ก) พบว่าเมื่อระดับน้ำหน้าลาดดินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเพิ่มขึ้น ที่ความชัน 15 องศา ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าสูงสุด โดยเมื่อระดับน้ำหน้าลาดดินเพิ่มขึ้น 10% จาก 50% เป็น 55% พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าสูงขึ้น 5.30% และจากการคำนวณมุมเสียดทานภายใน เมื่อระดับน้ำหน้าลาดดินเพิ่มขึ้นค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นที่ 10% เหมือนในกรณีแรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดินค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเพิ่มขึ้น 0.10% นั้นหมายความว่า ความอ่อนไหวของระดับน้ำหน้าลาดดินจะเกิดขึ้นเฉพาะกับการคำนวณที่ใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินแต่ไม่เกิดขึ้นกับการคำนวณมุมเสียดทานภายใน



(ก) แรงยึดเหนี่ยวของดิน = 30 kN/m^2

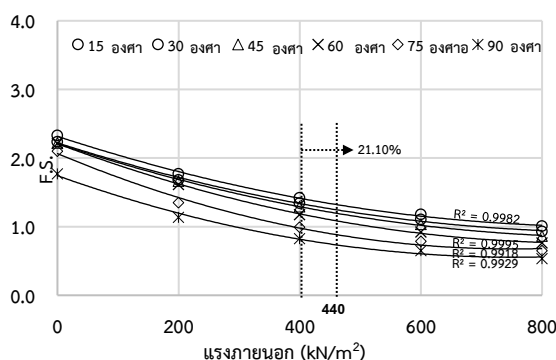


(ข) มุมเสียดทานภายใน = 30 องศา

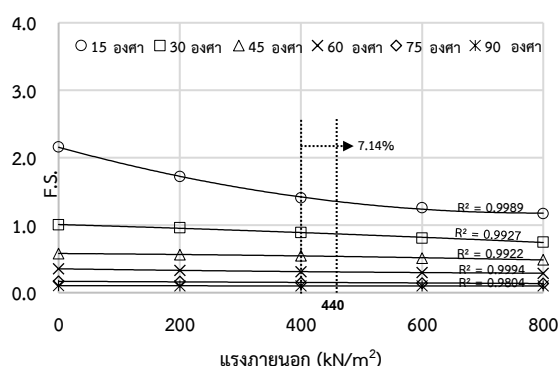
รูปที่ 8 ความอ่อนไหวของระดับน้ำหน้าลาดดิน

4.8 ความอ่อนไหวของแรงภายนอกที่มากกระทำบนคันดิน

จากผลการศึกษาในรูปที่ 9(ก) ที่ความชัน 15 องศา ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของแรงภายนอกที่มากกระทำบนคันดิน โดยเมื่อแรงยึดเหนี่ยวของดินเพิ่มขึ้น 10% จาก 400 kN/m^2 เป็น 440 kN/m^2 พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลง 21.10% และหากวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันกับการคำนวณมุมเสียดทานภายในพบว่า เมื่อแรงภายนอกมีค่าเพิ่มขึ้นค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มแรงภายนอกขึ้น 10% ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าลดลง 7.14% แสดงให้เห็นว่า ความอ่อนไหวของแรงภายนอกที่มากกระทำบนคันดินจะเกิดขึ้นกับการคำนวณที่ใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินและการคำนวณมุมเสียดทานภายใน



(ก) แรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน = 30 kN/m^2

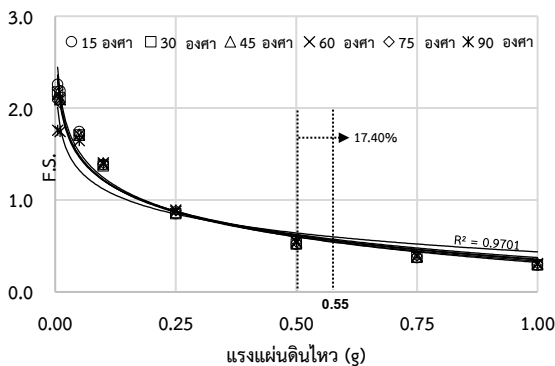


(ข) มุมเสียดทานภายใน = 30 องศา

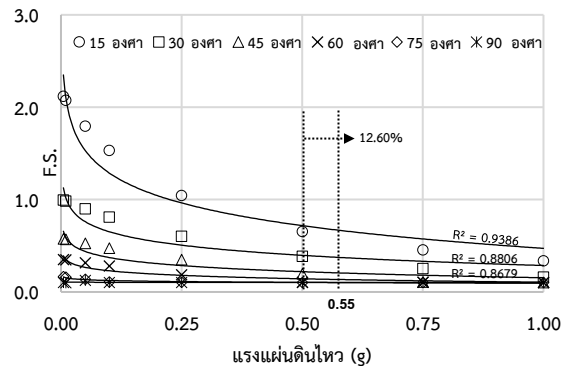
รูปที่ 9 ความอ่อนไหวของแรงภายนอก

4.9 ความอ่อนไหวของแรงแผ่นดินไหว

จากผลการศึกษาในรูปที่ 10(ก) ความอ่อนไหวของแรงแผ่นดินไหวจากการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดินที่ความชัน 15 องศา ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของแรงแผ่นดินไหว และจะมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันเมื่อความชันมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 30 องศา, 45 องศา, 60 องศา, 75 องศา และ 90 องศา โดยเมื่อแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น 10% จาก 0.50 g เป็น 0.55 g พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลง 17.40% และหากวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันกับการคำนวณมุมเสียดทานภายในพบว่า เมื่อแรงแผ่นดินไหวมีค่าเพิ่มขึ้นค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มแรงแผ่นดินไหวขึ้น 10% ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าลดลง 12.60% นั่นหมายความว่า ความอ่อนไหวของแรงแผ่นดินไหวจะเกิดขึ้นกับการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดินและมุมเสียดทานภายใน



(ก) แรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน = 30 kN/m²



(ข) มุมเสียดทานภายใน = 30 องศา

รูปที่ 10 ความอ่อนไหวของแรงแผ่นดินไหว

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากการศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ในการคำนวณเสถียรภาพของลาดดิน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 วิธีการที่ใช้วิเคราะห์ ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ 3 วิธี คือ 1) วิธีสมมูลแรง (Janbu, N., 1973) 2) วิธีสมมูลโมเมนต์ (Bishop, A. W., and Morgenstern, N., 1960) และ 3) วิธีสมมูลขีดจำกัด (Spencer, E., 1967) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ด้วยวิธีสมมูลโมเมนต์และวิธีสมมูลขีดจำกัดให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยใกล้เคียงกัน (พิทักษ์ชน ทันมั่ง และวีรยา นิมอ้อย, 2559) แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีสมมูลแรง จะให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด

5.2 หน่วยน้ำหนักของดิน ในการคำนวณการเพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนักที่ 10% พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจากการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดินมีค่าลดลงประมาณ 6% แต่จากการคำนวณค่ามุมเสียดทานภายในมีค่าคงที่ นั่นหมายความว่าความอ่อนไหวจากหน่วยน้ำหนักของดินมีผลต่อการคำนวณค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินแต่ไม่มีผลกับมุมเสียดทานภายใน

5.3 แรงยึดเหนี่ยวของดิน ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงยึดเหนี่ยวของดิน และพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยพบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าเพิ่มขึ้น 10.02%

5.4 มุมเสียดทานภายใน เมื่อมุมเสียดทานภายในมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าเพิ่มขึ้น 10.87%

5.5 ความลาดชันของลาดดิน เมื่อความชันมีค่าเพิ่มขึ้น 10% ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่คำนวณได้มีค่าลดลง 5.36%

5.6 ความสูงของลาดคันดิน เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น 10% ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลง 4.92%

5.7 ระดับน้ำหน้าลาดดิน เมื่อระดับน้ำหน้าลาดดินเพิ่มขึ้น 10% จากการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดิน พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับการคำนวณค่ามุมเสียดทานภายใน ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้มีค่าคงที่ และไม่ได้เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระดับน้ำ นั่นหมายความว่า ความอ่อนไหวของระดับน้ำจะเกิดขึ้นเฉพาะกับการคำนวณที่ใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน

5.8 แรงภายนอกที่กระทำบนคันดิน เมื่อแรงภายนอกเพิ่มขึ้น 10% จากการคำนวณค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลง 21.10% และจากการคำนวณมุมเสียดทานภายในค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลง 7.14% นั่นหมายความว่า ความอ่อนไหวของแรงภายนอกที่กระทำบนคันดินจะเกิดขึ้นกับการคำนวณที่ใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินและมุมเสียดทานภายใน

5.9 แรงแผ่นดินไหว ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะลดลงตามความรุนแรงของแผ่นดินไหว และเมื่อแรงแผ่นดินไหวมีค่าเพิ่มขึ้น 10% จากการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดินค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลง 17.40% และจากการคำนวณมุมเสียดทานภายในค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าลดลง 12.60% โดยความอ่อนไหวจากแรงแผ่นดินไหวจะเกิดขึ้นกับการคำนวณที่ใช้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดินและมุมเสียดทานภายใน

จากการศึกษาพบว่า ความอ่อนไหวจากแรงภายนอกที่กระทำบนคันดินจากการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวของดินจะเกิดผลกระทบต่อการคำนวณมากที่สุด และความอ่อนไหวจากหน่วยน้ำหนักของดินและระดับน้ำหน้าลาดดินจากการคำนวณมุมเสียดทานภายในจะเกิดผลกระทบในการคำนวณน้อยที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ GeoStudio 2012 ที่ให้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SLOPE/W (Student Edition) ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ในการคำนวณเสถียรภาพของลาดดิน

เอกสารอ้างอิง

- เกษมณี มีลักษณะสม และ พงศกร พวงชมพู. (2566). การวิเคราะห์สาเหตุการวิบัติเชิงลาดด้วยวิธีสมมูลจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และแนวทางการปรับปรุงแก้ไข กรณีศึกษา ทางหลวง 2159 ตอนชัยภูมิ-หัวเวียงดำ ที่ กม. 27+700. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 8(1), 112–124.
- ปรเมธี เดชปะตั้งเวสา และ โกมลีย์ ชัยรัตนงานเดช และ ดร.พงศกร พวงชมพู. (2562). การวิเคราะห์สาเหตุการวิบัติเชิงลาด และแนวทางการปรับปรุงแก้ไข: กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1194 ตอน แม่สะเรียง – แม่สามแลบ ที่ กม. 21+150 Study on Slope Failure of Highway Embankment No.1194 Mae Sariang -Mae Saplaep Route sta. 21+150. *วารสาร วิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 19(4), 127-138.
- พิทักษ์ชน ทันมั่ง และวีรยา นิมอ้อย. (2559). การเปรียบเทียบการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินด้วยวิธีสมมูลขีดจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 24(1), 184-196.
- ยศวัศ จันทรา และ พงศกร พวงชมพู. (2565). การศึกษาปัญหาเสถียรภาพเชิงลาดดินคันทางด้วยวิธีสมมูลขีดจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย -แม่แอ๊ได้ ที่ กม.26+200 -กม. 26+450. *วารสาร วิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 22(1), 38-50.
- วรรณวรงค์ รัตนานิคม , และสยาม ยิ้มศิริ. (2566). วิธีอย่างง่ายในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียวที่มีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึก. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี*, 2(2), 157-68.
- สุประชา คามะนา และ พงศกร พวงชมพู. (2565). การวิเคราะห์สาเหตุการวิบัติของเชิงลาดด้วยวิธีสมมูลจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และแนวทางการปรับปรุงการแก้ไข: กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย-แม่แอ๊ได้ ที่ กม.21+000. *วารสาร วิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 22(1), 13-25.
- Bishop, A. W., and Morgenstern, N. (1960). Stability coefficients for earth slopes”. *Geotechnique*, 10(4), 129–150. <https://doi.org/10.7939/R35M62D9F>
- Janbu, N. (1973). Slope stability computations, in Embankment-Dam Engineering: Casagrande Volume, Eds. Hirschfeld & Poulos. (pp. 47-86). John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Spencer, E. (1967). A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. *Geotechnique*, 17(1), 11-26. <https://doi.org/10.1680/geot.1967.17.1.11>

คุณสมบัติของคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็วที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิล จากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

จกฤษณ์ ศรีละคุณ¹ ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์² ปริญา จินตาประเสริฐ³ พัชรพล โพธิ์ศรี^{4*}
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น^{1 2 4*}
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น³
อีเมล : Patcharapol.po@rmu.ac.th^{4*}

วันที่รับบทความ 24 มีนาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 13 พฤษภาคม 2568

วันที่รับบทความ 23 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นส่วนผสม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมงานก่อสร้างที่ต้องรับกำลังอัดได้รวดเร็ว โดยมีส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สารลดน้ำพิเศษ ทราเยม่น้ำ มวลรวมธรรมชาติ มวลรวมรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป คัดขนาด 4.75 ถึง 19.0 มม. เพื่อใช้เป็นมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล โดยนำไปแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติ ในปริมาณร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนักมวลรวมหยาบธรรมชาติ บ่มตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดสอบกำลังอัด เมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง และ 28 วัน และทำการทดสอบการดูดซึมน้ำ ปริมาณโพรงอากาศ กำลังรับแรงดัด และโมดูลัสยืดหยุ่น ที่อายุ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า กำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง มีค่า 203-285 ksc และ 28 วัน มีค่า 375-455 ksc การดูดซึมน้ำมีค่า 2.85-6.17 % ปริมาณโพรงอากาศมีค่า 6.64-13.46 % กำลังรับแรงดัดมีค่า 72.5-89.0 ksc และโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่า 25.51-28.19 GPa เมื่อใช้มวลรวมรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นส่วนผสม แทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติร้อยละ 25 โดยน้ำหนักมวลรวมหยาบธรรมชาติ กำลังอัดเมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง มีค่า 245.2 ksc และ 28 วัน มีค่า 409.7 ksc ซึ่งส่วนผสมที่ได้เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป แผ่นพื้น เสา ผนังรับแรง ตามมาตรฐาน มอก.848-2546

คำสำคัญ : คอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็ว มวลรวมหยาบรีไซเคิล โมดูลัสยืดหยุ่น แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ



Properties of high early strength concrete containing coarse recycled aggregate from precast concrete slabs

Jarkgrid Srilakun¹ Songphol Songsaengrit² Prinya Chindaprasirt³ Patcharapol Posi^{4*}

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus^{1,2,4*}

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University³

E – mail : Patcharapol.po@rmuti.ac.th^{4*}

Received 24 March 2568

Revised 13 May 2568

Accepted 23 May 2568

Abstract

This research studied the properties of concrete containing recycled aggregate from precast concrete slabs as the mixture to be used as basic information in the construction industry that needs to receive high early compressive strength. The mixture is Portland cement, super plasticizer, river sand, natural coarse aggregate, recycled aggregate from precast concrete slabs, graded from 4.75 to 19.0 mm to be used as recycle concrete aggregate (RA). The RA was used to replace the natural coarse aggregate by 0, 25, 50, 75 and 100 % by weight. Incubate the sample in water at room temperature and test the compressive strength at the age of 24 hours and 28 days. And the water absorption, porosity, flexural strength and modulus of elasticity were tested at 28 days. The results of compressive strength at the age of 24 hours between 203-285 ksc and 28 days between 375-455 ksc. And the water absorption between 2.85-6.17 %, porosity between 6.64-13.46 %, flexural strength between 72.5-89.0 ksc and modulus of elasticity between 25.51-28.19 GPa were obtained. When using recycled aggregate from precast concrete slabs as a mixture, replacing 25 percent by weight of natural coarse aggregate, the compressive strength at 24 hours is 245.2 ksc and at 28 days is 409.7 ksc, which is an appropriate mixture for producing precast concrete structures, slabs, columns, load-bearing walls according to TIS 848-2546 standards

Keywords: high early strength concrete, coarse recycled aggregate, modulus of elasticity, precast concrete slabs

1. บทนำ

การก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยในปัจจุบันนิยมก่อสร้างเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นหลัก และหากจะพูดถึงเทคโนโลยีคอนกรีตที่ช่วยให้สร้างบ้านได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น แผ่นพื้นสำเร็จรูปถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของวัสดุสมัยใหม่ ที่ช่วยประหยัดค่าแรงและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เพราะสามารถนำมาติดตั้งที่หน้างานได้เลย โดยไม่ต้องใช้แบบหล่อ อีกทั้งยังได้มาตรฐานการผลิต เพราะผลิตและหล่อคอนกรีตมาจากโรงงานที่ได้มาตรฐาน และพร้อมติดตั้งที่บริเวณก่อสร้างได้เลย แผ่นพื้นคอนกรีตแบบสำเร็จรูปที่ผลิตมาจากโรงงาน สามารถนำมาใช้งานก่อสร้างได้ทันที ทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แต่ในบางครั้งในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นพื้นสำเร็จรูป จะมีผลิตภัณฑ์แผ่นพื้นที่ผลิตแล้วไม่ได้ตามมาตรฐานในการผลิตแผ่นพื้นสำเร็จรูป เช่น เกิดการแอ่นตัวที่มากเกินไป การแตกร้าว หรือบิ่นที่ขอบของตัวผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ไม่ได้ผ่านมาตรฐานเหล่านี้จะถูกนำไปทุบทำลายทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งเศษคอนกรีตเหล่านี้โดยปกติแล้วผู้ประกอบการจะนำไปทำเป็นวัสดุถมที่ในพื้นที่ลุ่ม

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อเป็นการใช้วัสดุให้คุ้มค่า และเป็นการนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ จึงได้นำเศษวัสดุคอนกรีตมาหมุนเวียนมาใช้ในการผลิตคอนกรีตอีกครั้ง และทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของ คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ เพื่อเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่า โดยการนำแผ่นพื้นคอนกรีตที่ผลิตแล้วไม่ได้ตามมาตรฐานนำมาย่อยให้เป็นเศษคอนกรีตรีไซเคิล และทำการคัดขนาดให้ได้ตามมาตรฐานของมวลรวมหยาบและนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป และเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาคอนกรีตที่ใช่มวลรวมหยาบรีไซเคิลอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อได้คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ
- 2.2 เพื่อได้สูตรผลิตคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ
- 2.3 เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาคอนกรีตที่ใช่มวลรวมหยาบรีไซเคิลเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างยั่งยืนต่อไป

3. วิธีการวิจัย

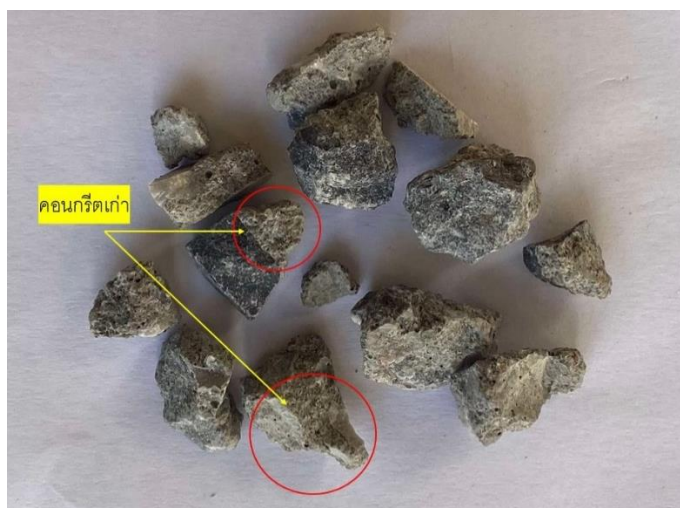
3.1 วัสดุ

- 3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
- 3.1.2 ทรายแม่น้ำ จังหวัดขอนแก่น มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.64 และ ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.36
- 3.1.3 มวลรวมหยาบธรรมชาติ เป็นหินปูนย่อย ขนาด 3/8 นิ้ว มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.71
- 3.1.4 มวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ ทำการย่อยและคัดขนาด 4.75 ถึง 12.5 มม.

มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.43

3.1.5 สารลดน้ำพิเศษ

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุดังแสดงในตารางที่ 1 หน่วยน้ำหนักของ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และ RA มีค่า 1,698, 1,472 และ 1,314 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ



ก. มวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ

รูปที่ 1 มวลรวมหยาบรีไซเคิล (RA)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

Property	Fine Agg.	Coarse Agg.	RA
Specific gravity	2.64	2.71	2.43
Median particle size (mm)	0.08 - 4.75	4.75 – 12.50	4.75 – 12.50
Fineness modulus	2.28	7.50	7.48
Unit weight (kg/m ³)	1,698	1,472	1,314
Water absorption (%)	0.36	0.64	6.36

3.2 สัดส่วนผสมและการผสมตัวอย่างทดสอบ

3.2.1 การทดลองครั้งนี้จะใช้ส่วนผสมทั้งหมด 5 ส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)

Mixes	OPC	Fine Agg.	NA	RA	Water	Pla
00RA	360	890	930	-	173	5.6
25RA	360	890	697	233	94	5.6

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Mixes	OPC	Fine Agg.	NA	RA	Water	Pla
50RA	360	890	465	465	174	5.6
75RA	360	890	233	697	94	5.6
100RA	360	890	-	930	174	5.6

OPC = ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, Fine Agg. = มวลรวมละเอียด, NA = มวลรวมหยาบธรรมชาติ, RA = มวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ, Pla. = สารลดน้ำพิเศษ

การผสมคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็วที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ เริ่มด้วยการนำปูนซีเมนต์และทรายใส่ลงไปในเครื่องผสม เปิดเครื่องผสม และผสมให้เข้ากัน แล้วทำการเติมมวลรวมหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ ทำการผสมจนเข้ากัน ต่อมานำสารลดน้ำพิเศษและน้ำผสมกันแล้วค่อยๆเติมทีละ 10 เปอร์เซ็นต์ จนน้ำหมดตามที่ออกแบบไว้ ต่อมาทำการทดสอบค่าการทางานได้ โดยควบคุมค่าการยุบตัวที่ 17.5 ± 2.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปทำการเติมลงในแบบหล่อโดยใช้แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบหา ค่ากำลังรับแรงอัด และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และแบบหล่อลูกบาศก์ ขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบหาความพรุนและการดูดซึมน้ำ และแบบหล่อคานคอนกรีตขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบหา ค่ากำลังรับแรงดัด เก็บตัวอย่างทดสอบไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วนำไปป็นน้ำจ้นครบตามระยะเวลาที่กำหนด

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1 กำลังอัด (Compressive Strength) ใช้ตัวอย่างแต่ละส่วนผสมจำนวน 3 ตัวอย่าง ทดสอบเมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง อายุครบ 28 วัน (ASTM C39/C39M-20, 2018)

3.3.2 ความพรุนและการดูดซึมน้ำ (Porosity and water absorption) ใช้ตัวอย่างแต่ละส่วนผสมจำนวน 3 ตัวอย่าง ทดสอบเมื่ออายุครบ 28 วัน (ASTM C642-13, 2013)

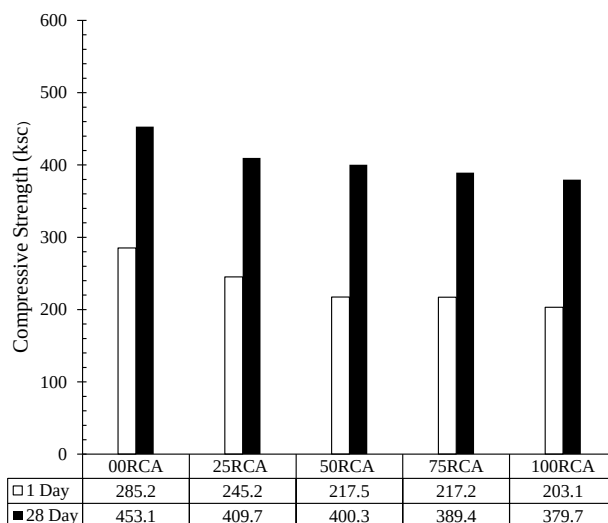
3.3.3 กำลังดัด (Flexural strength) ใช้ตัวอย่างแต่ละส่วนผสมจำนวน 3 ตัวอย่าง ทดสอบเมื่ออายุครบ 28 วัน (ASTM C78/C78M-16, 2016)

3.3.4 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ใช้ตัวอย่างแต่ละส่วนผสมจำนวน 3 ตัวอย่าง ทดสอบเมื่ออายุครบ 28 วัน (ASTM C469/C469M-14, 2014)

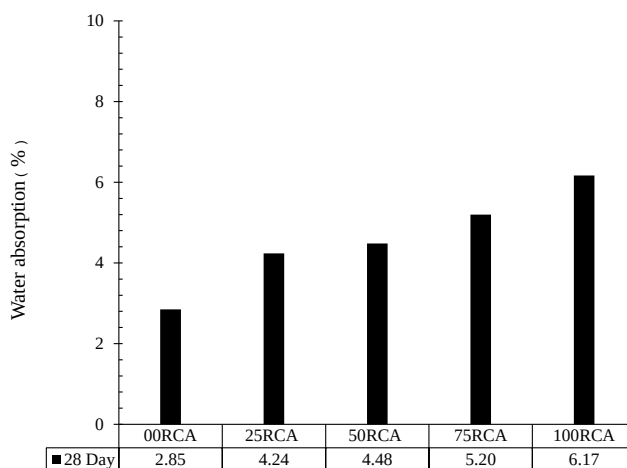
4. ผลการวิจัย

4.1 กำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็วที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ แสดงในรูปที่ 2 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จเพิ่มมากขึ้น กำลังรับแรงอัดจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นจะมีเศษของเมทริกซ์หรือมอร์ตาร์เดิมเกาะอยู่ตามผิวของมวลรวม (ดังแสดงในรูปที่1) ทำให้มีแรงยึดเกาะบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างมวลรวมและเมทริกซ์มีค่าต่ำ(Nuaklong P., Wongs A., Sata V., Boonserm K., Sanjayan J., Chindaprasit P., 2019) และเมื่อปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นเพิ่มมากขึ้น ทำให้กำลังรับแรงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง (Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W., 2015) ดังตัวอย่างกำลังรับแรงอัดที่อายุ 1 วัน เมื่อเปลี่ยนปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จที่

0, 25, 50, 75 และ 100 % โดยมีค่าเป็น 285, 245, 217, 217 และ 203 ksc ตามลำดับ และกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน เมื่อเปลี่ยนปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จที่ 0, 25, 50, 75 และ 100 % โดยมีค่าเป็น 453, 409, 400, 389 และ 379 ksc ตามลำดับ



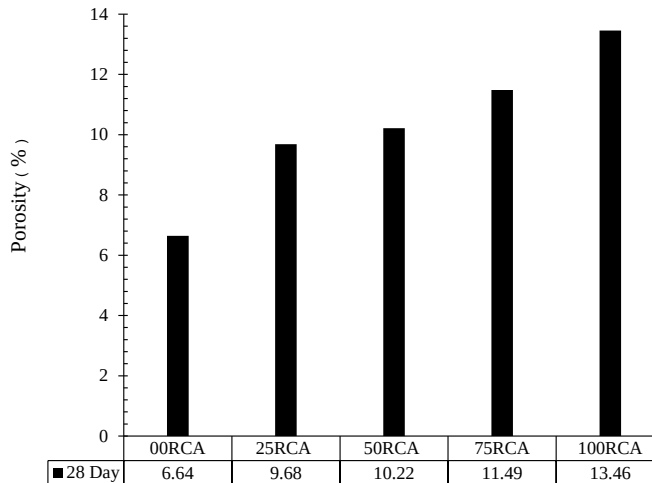
รูปที่ 2 ผลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ที่อายุ 1 และ 28 วัน



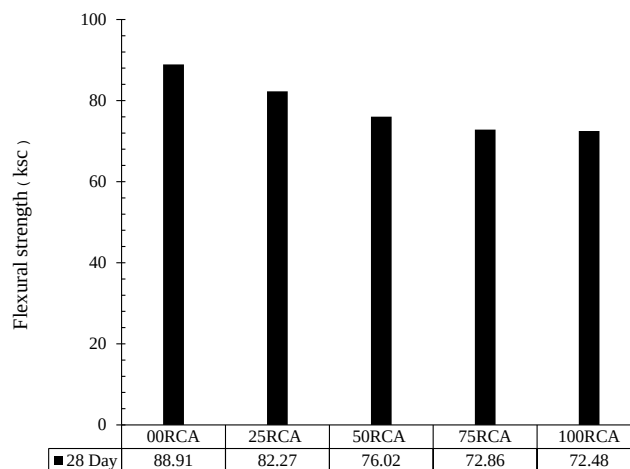
รูปที่ 3 ผลการดูดซึมน้ำของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

4.2 การดูดซึมน้ำและปริมาณโพรงอากาศ ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและปริมาณโพรงอากาศของคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็วที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ แสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จมากขึ้น ทำให้การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (Nuaklong P., Wongs A., Boonserm K., Ngohpok C., Jongvivatsakul P., Sata V., 2021) เนื่องจากปริมาณมวลรวมรีไซเคิลมีปริมาณโพรงอากาศที่เกิดจากเศษของมอร์ตาร์ที่ติดผิวของ

มวลรวม เมื่อปริมาณมวลรวมเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณโพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Pereira P., Evangelista L., de Brito J., 2012) ดังตัวอย่างการดูดซึมน้ำ ที่อายุ 28 วันเมื่อเปลี่ยนปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จที่ 0, 25, 50, 75 และ 100 % โดยมวล มีค่าเป็น 2.85, 4.42, 4.48, 5.20 และ 6.17 % ตามลำดับ และปริมาณโพรงอากาศที่อายุ 28 วัน เมื่อเปลี่ยนปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จที่ 0, 25, 50, 75 และ 100 % โดยมวล มีค่าเป็น 6.64, 9.68, 10.22, 11.49 และ 13.46 % ตามลำดับ



รูปที่ 4 ผลปริมาณโพรงอากาศของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

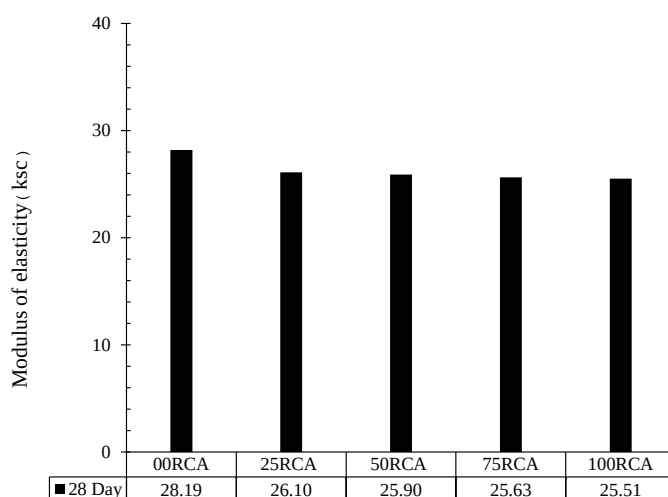


รูปที่ 5 ผลกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

4.3 กำลังรับแรงดัด ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็วที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ แสดงในรูปที่ 5 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ ที่มีความแข็งแรงต่ำเพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็วที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ มีแนวโน้มที่ลดลง (Ledesma E.F., Jiménez J.R., Fernández J.M., Galvín A.P., Agrela F., Barbudo A., 2014) ดังตัวอย่างกำลังดัดของคอนกรีต

ที่อายุ 28 วัน เมื่อเปลี่ยนปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จที่ 0, 25, 50, 75 และ 100 % โดยมวล มีค่าเป็น 88.91, 82.27, 76.02, 72.86 และ 72.48 ksc ตามลำดับ

4.4 โมดูลัสยืดหยุ่น ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น ของคอนกรีตที่รับกำลังอัดได้รวดเร็วที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ แสดงในรูปที่ 6 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จเพิ่มมากขึ้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีแนวโน้มลดลง ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน เมื่อเปลี่ยนปริมาณของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จที่ 0, 25, 50, 75 และ 100 % โดยมวล มีค่าเป็น 28.19, 26.10, 25.90, 25.63 และ 25.51 GPa ตามลำดับ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลง เหมือนค่ากำลังอัด เมื่อกำลังรับแรงอัดลดลง จึงทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลง (Khan M.Z.N., Hao Y., Hao H., Shaikh F.U.A., 2018) มากกว่านั้นโมดูลัสของความยืดหยุ่นได้รับผลกระทบจากคุณสมบัติของมวลรวม อัตราส่วนน้ำต่อสารยึดเกาะ และกำลังรับแรงอัด (Chi J.M., Huang R., Yang C.C., Chang J.J., 2003)



รูปที่ 6 ผลโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

5. อภิปรายผลและสรุปผล

ผลการศึกษาของงานวิจัย สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 เมื่อปริมาณของมวลรวมหยาบจากรีไซเคิลแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (RA) เพิ่มมากขึ้น ทำให้ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น มีแนวโน้มลดลง ในทางตรงกันข้าม เมื่อปริมาณของมวลรวมหยาบจากรีไซเคิลแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (RA) เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำ และปริมาณโพรงเพิ่มสูงขึ้น

5.2 การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณมวลรวมรีไซเคิลมีปริมาณโพรงอากาศที่เกิดจากเศษของมอร์ตาร์ที่ติดผิวของมวลรวม เมื่อปริมาณมวลรวมเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณโพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มสูงขึ้นด้วย

5.3 ค่ากำลังรับแรงดัด และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลงเหมือนค่ากำลังอัด เมื่อกำลังรับแรงอัดลดลง ทำให้ค่ากำลังรับแรงดัด และโมดูลัสยืดหยุ่นลดลง มากกว่านั้นโมดูลัสของความยืดหยุ่นได้รับผลกระทบจากคุณสมบัติของมวลรวม อัตราส่วนน้ำต่อสารยึดเกาะ และกำลังรับแรงอัด

5.4 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่มีส่วนผสมมวลรวมหยาบจากรีไซเคิลแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (RA) ที่เหมาะสมที่สุดคือ RA เท่ากับ 25 % ให้ค่ากำลังรับแรงอัด ที่ 1 วัน เท่ากับ 245.2 ksc และกำลังอัดที่ 28 วัน

เท่ากับ 409.7 ksc สามารถนำคอนกรีตไปผลิตเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ตามมาตรฐาน มอก.848-2546 ระบุกำลังอัดที่ 1 วันไม่น้อยกว่า 240 ksc. และกำลังอัดที่ 28 วันต้องไม่น้อยกว่า 350 ksc.

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ในการนำเศษคอนกรีตแผ่นพื้นมาใช้ ควรใช้คอนกรีตแผ่นพื้นที่มีกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกัน เพื่อลดผลกระทบจากกำลังของคอนกรีตที่เกาะที่มวลรวมรวมหยาบรีไซเคิล

6.2 ก่อนนำเศษคอนกรีตนำกลับมาใช้ใหม่ควรศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต ขอนแก่น และศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- ASTM C39/C39M-20. (2018). *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. Annual Book of ASTM Standard. Vol 04.02.
- ASTM C642-13. (2013). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.02.
- ASTM C78 / C78M - 16. (2016). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. Annual Book of ASTM Standard. vol 04.02.
- ASTM C469/C469M-14. (2014). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. Annual Book of ASTM Standard. Vol.02.01.
- Chi J.M., Huang R., Yang C.C., Chang J.J. (2003). Effect of aggregate properties on the strength and stiffness of lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 197-205.
- Khan M.Z.N., Hao Y., Hao H., Shaikh F.U.A. (2018). Mechanical properties of ambient cured high strength hybrid steel and synthetic fibers reinforced geopolymer composites. *Cement and Concrete Composites*, 85, 133-52.
- Ledesma E.F., Jiménez J.R., Fernández J.M., Galvín A.P., Agrela F., Barbudo A. (2014). Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 71, 289-98.
- Nuaklong P., Wongs A., Sata V., Boonserm K., Sanjayan J., Chindaprasirt P. (2019). Properties of high-calcium and low-calcium fly ash combination geopolymer mortar containing recycled aggregate. *Heliyon*, 5(9), e02513.
- Nuaklong P., Wongs A., Boonserm K., Ngohpok C., Jongvivatsakul P., Sata V. (2021). Enhancement of mechanical properties of fly ash geopolymer containing fine recycled concrete aggregate with micro carbon fiber. *Journal of Building Engineering*, 41, 102403.
- Pereira P., Evangelista L., de Brito J. (2012). The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 28(1), 722-729.
- Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W. (2015). Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. *Construction and Building Materials*, 81, 179-86.

คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยนี้ได้นำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยได้นำเศษวัสดุคอนกรีตมาหมุนเวียนมาใช้ในการผลิตคอนกรีตอีกครั้ง และทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของ คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ เพื่อเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่า โดยการนำแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้แล้ว หรือแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปที่ผลิตแล้วไม่ได้ตามมาตรฐานนำมาย่อยให้เป็นเศษคอนกรีตรีไซเคิล และทำการคัดขนาดให้ได้ตามมาตรฐานของมวลรวมหยาบและนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป หรือเศษแผ่นพื้นคอนกรีตที่เกิดจากการรื้อถอนอาคาร และเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลอย่างยั่งยืนต่อไป

ประสิทธิผลของโปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์เพื่อ ลดความเสี่ยงโรคออฟฟิศซินโดรมในบุคลากรวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งใน กรุงเทพมหานคร

สุคนธ์ ขาวกริบ^{1*} ปัญจพัชรกร บุญพร้อม²

อารีรัตน์ วรรณข³ ศิริประภา สมวงษ์⁴ อินจิรา นิยมธู⁵

สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม^{1*234}

สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม⁵

อีเมล : sukonk@siamtechno.ac.th^{1*}

วันที่รับบทความ 7 มีนาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 24 เมษายน 2568

วันตอบรับบทความ 8 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิผลของโปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์ในการลดความเสี่ยงโรคออฟฟิศซินโดรมในบุคลากรวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร การวิจัยนี้ใช้รูปแบบกึ่งทดลอง (Quasi-experimental Design) ดำเนินการทดลองเป็นเวลา 16 สัปดาห์ ใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คนที่สมัครใจเข้าร่วมโปรแกรม โปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประกอบด้วย 5 กิจกรรมหลัก ได้แก่ การสังเกตท่าทางการนั่งและสภาพแวดล้อมการทำงาน การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ ก่อนและหลังการปรับปรุง การกำหนดแนวทางการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์รายบุคคล การปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ และการประเมินผลก่อนและหลังใช้โปรแกรม เครื่องมือที่ใช้ คือ แบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ (Rapid Office Strain Assessment: ROSA) และแบบสอบถามประเมินระดับความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ (Pain Score) การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์เปรียบเทียบความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และความเจ็บปวดกล้ามเนื้อก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนงาน ด้วยสถิติ Paired t-test ผลการศึกษาพบว่าหลังการปรับปรุงสถานีนงานตามหลักการยศาสตร์ ค่าเฉลี่ยคะแนนความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ (ROSA Score) ลดลงจาก 7.37 เป็น 4.60 (p-value = .000) และระดับความเจ็บปวดกล้ามเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณคอ (p-value = .003) ไหล่/บ่า (p-value = .002) หลังส่วนบน (p-value = .024) และมือ/ข้อมือ (p-value = .038) ผลการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์มีประสิทธิผลในการลดความเสี่ยงโรคออฟฟิศซินโดรมและส่งเสริมสภาพแวดล้อมการทำงานที่เหมาะสม ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถต่อยอดประยุกต์ใช้โปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์เพื่อส่งเสริมสุขภาพในการทำงานให้แก่พนักงานที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์ในสำนักงานอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ : การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ การยศาสตร์ สถานีนงานคอมพิวเตอร์ ออฟฟิศซินโดรม



The Effectiveness of an Ergonomic Computer Workstation Improvement Program to Reduce the Risk of Office Syndrome among Employees of a Private College in Bangkok

Sukon Khawgrib^{1*}, Punpaphatporn Bunprom²,
Areerat Woranush³, Siraprapa Somwong⁴, Injira Niyomtoon⁵
Occupational Health and Safety Program,
Faculty of Health Sciences, Siam Technology College ^{1*2 3 4}
Public Health Program, Faculty of Health Sciences, Siam Technology College⁵
E – mail : sukonk@siamtechno.ac.th^{1*}

Received 7 March 2025

Revised 24 April 2025

Accepted 8 May 2025

Abstract

This study aims to evaluate the effectiveness of an ergonomic intervention program designed to improve computer workstations in reducing the risk of office syndrome among employees of a private college in Bangkok. The research follows a quasi-experimental design and was conducted over a 16-week period. The sample consisted of 30 volunteers who participated in the program. The ergonomic computer workstation improvement program comprised five main activities: observing sitting posture and working environment, assessing ergonomic risk before and after the intervention, determining individual ergonomic improvement guidelines, implementing workstation improvements, and conducting evaluations. The assessment tools utilized in this study include the Rapid Office Strain Assessment (ROSA) for ergonomic risk evaluation and a Pain Score questionnaire to measure musculoskeletal pain levels. Data analysis employed descriptive statistics, including percentages, means and standard deviations, as well as the Paired t-test to compare ergonomic risk and muscle pain levels before and after the intervention. The results demonstrated a significant reduction in the average ROSA score from 7.37 to 4.60 (p -value = .000) and a significant decrease in muscle pain levels in the neck (p -value = .003), shoulders/upper arms (p -value = .002), upper back (p -value = .024) and hands/wrists (p -value = .038). These findings indicate that the ergonomic computer workstation improvement program effectively reduces the risk of office syndrome and promotes a more suitable working environment. The data from this study can be further applied to enhance workplace health for office workers using computers in various organizations.

Keywords : Computer Workstation, Ergonomics, Ergonomic Risk Assessment, Office Syndrome

1. บทนำ

หลักการวิทยาศาสตร์เป็นแนวทางสำคัญในการออกแบบและปรับปรุงสถานียานเพื่อส่งเสริมสุขภาพและประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรในสำนักงาน โดยมีมาตรฐานระดับสากล เช่น ISO 9241-5 ซึ่งกำหนดหลักเกณฑ์ด้านการออกแบบสถานียานให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานหน้าจคอมพิวเตอร์ ทั้งในด้านการจัดวางอุปกรณ์การปรับระดับของโต๊ะและเก้าอี้ ตลอดจนการบริหารจัดการสภาพแวดล้อมการทำงาน เพื่อสนับสนุนท่าทางที่ถูกต้อง ลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (International Organization for Standardization. 2024) นอกจากนี้ องค์กรด้านสุขภาพและความปลอดภัย เช่น International Ergonomics Association (IEA) และ International Labour Organization (ILO) ได้เผยแพร่แนวทางด้านการวิทยาศาสตร์ที่เน้นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงาน พร้อมส่งเสริมการให้ความรู้แก่พนักงานเกี่ยวกับหลักการวิทยาศาสตร์ เพื่อป้องกันปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการทำงาน และลดผลกระทบจากพฤติกรรมการทำงานที่ไม่เหมาะสม (International Ergonomics Association. 2021) การกำหนดแนวทางตามมาตรฐานดังกล่าวสะท้อนถึงความสำคัญของการออกแบบสภาพแวดล้อมการทำงานที่คำนึงถึงหลักการวิทยาศาสตร์ในระดับสากล ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงทางสุขภาพและเพิ่มคุณภาพการทำงานในกลุ่มบุคลากรที่ใช้งานคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสำนักงานต่าง ๆ ที่พนักงานมักใช้เวลาทำงานหน้าจคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน ปัญหาด้านสุขภาพที่พบบ่อยในกลุ่มนี้คือกลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรม (Office Syndromes) ซึ่งเป็นผลกระทบที่สำคัญต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการทำงาน

กลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรมเป็นปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการทำงานซ้ำ ๆ หรืออยู่ในท่าทางที่ไม่เหมาะสม รวมถึงปัจจัยอื่น เช่น สภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสม ความเครียด การพักผ่อนไม่เพียงพอ และการรับประทานอาหารไม่ครบ กลุ่มอาการนี้ส่งผลกระทบต่อทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ อาการทางร่างกายสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ 1) อาการปวดกล้ามเนื้อเฉพาะส่วน เช่น ปวดคอ บ่า ไหล่ สะบัก ซึ่งอาการปวดสามารถระบุตำแหน่งได้ไม่ชัดเจนและมักมีอาการปวดร้าวทั่วไปบริเวณใกล้เคียง ความรุนแรงของอาการมีได้ตั้งแต่ปวดเล็กน้อยถึงปวดรุนแรงและทรมานมาก 2) อาการของระบบประสาทอัตโนมัติ เช่น ช้ำ วูบ เย็น เหน็บ ซีด ขนลุก และเหงื่อออกตามบริเวณที่ปวดร้าว ถ้าเป็นบริเวณคออาจมีอาการมึน งง หูอื้อ และตาพร่า 3) อาการทางระบบประสาทที่ถูกกดทับ เช่น อาการชาบริเวณแขนและมือ รวมถึงอาการอ่อนแรงหากมีการกดทับเส้นประสาทนานจนเกินไป (โรงพยาบาลศิริราช ปิยมหาราชการุณย์. 2564) อาการที่พบได้บ่อย คือ อาการปวดคอ ปวดไหล่ ปวดหลัง และปวดข้อมือ (ทรงฤทธิ์ทองมีขวัญ และสกุณตลา แซ่เตียว, 2561; Ehsani, Mosallanezhad & Vahedi, 2017) นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดความเครียดและความเมื่อยล้าทางจิตใจ อาการเหล่านี้ไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกาย แต่ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Kumar & Bezawada. 2019; Santoso, 2023) ข้อมูลสถานการณ์ในประเทศไทยระบุว่าประชากรมีภาวะเสี่ยงต่ออาการออฟฟิศซินโดรมถึง ร้อยละ 60 โดยเฉพาะพนักงานที่ใช้เวลาทำงานกับคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน (สำนักงานสื่อสารและตอบโต้ความเสี่ยง กรมอนามัย, 2558) การศึกษาหลายฉบับยืนยันความเชื่อมโยงระหว่างพฤติกรรมการทำงานกับคอมพิวเตอร์กับการเกิดปัญหาสุขภาพนี้ ตัวอย่างเช่น การศึกษาโดย มณีรัตน์ สอนม่วง (2564) พบว่า ท่าทางการทำงานที่มีความเสี่ยง และระยะเวลาในการใช้งานคอมพิวเตอร์มากกว่า 4 ชั่วโมงต่อวัน มีผลต่อการเกิดอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในบุคลากรสายสนับสนุนกรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งหนึ่งในภาคเหนือ ผลการศึกษาของ ทศน์พงษ์ ตันติปัญจพร ยาวลักษณ์ อยู่ณัณมัย ยุติ ทองมี และคณะ (2562) พบว่า ภาระงานคอมพิวเตอร์มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก โดยผู้ที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานานมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติสูงขึ้นในบริเวณคอ ไหล่ และข้อมือ อีกทั้งยังพบว่าอาการผิดปกตินี้มีความรุนแรงและมีผลกระทบต่อการทำงานของพนักงานสำนักงานอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การศึกษาวงกลมที่ก่อให้เกิดกลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรมโดย

Jongprasithporn, Yodpijit, Panichtamrong et al (2021) ในกลุ่มตัวอย่างคนไทย อายุระหว่าง 20-40 ปี พบว่าส่วนใหญ่ (ร้อยละ 71.79) มีความเสี่ยงสูงที่จะปวดหลังจากการเป็นออฟฟิศซินโดรม

เพื่อให้สามารถป้องกันและลดปัญหาดังกล่าว การนำหลักการวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสถานงานจึงเป็นแนวทางที่สำคัญ จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการปรับปรุงสถานงานตามหลักการวิทยาศาสตร์ พบว่าการนำหลักการดังกล่าวมาใช้สามารถลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (สุนิสา ชายเกลี้ยง และวรวรรณ ภูษาดา. 2559; Baydur, Ergor, Demiral et al. 2016; Jamjumrus & Nanthavanij, 2008) การศึกษาหลายชิ้นยืนยันประสิทธิผลของโปรแกรมการยศาสตร์ เช่น การศึกษาของสุนิสา ชายเกลี้ยง และวรวรรณ ภูษาดา (2559) แสดงให้เห็นว่าการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการยศาสตร์ในพนักงานศูนย์บริการข้อมูล (Call Center) เป็นเวลา 3 เดือน ส่งผลให้ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Baydur, Ergor, Demiral et al. (2016) ที่พบว่า การปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานโดยอาศัยการมีส่วนร่วมของพนักงานสามารถลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนถึงความสำคัญของการออกแบบและปรับปรุงสถานงานโดยใช้แนวทางตามหลักการยศาสตร์ เพื่อป้องกันอาการทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกที่เกิดจากพฤติกรรมการทำงานที่ไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีแนวทางและหลักฐานเชิงประจักษ์ถึงประสิทธิผลของการปรับปรุงสถานงานตามหลักการยศาสตร์ แต่ปัญหาความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และกลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรมยังคงเป็นปัญหาที่พบได้ในกลุ่มบุคลากรที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงได้นำองค์ความรู้จากการศึกษาก่อนหน้านี้มาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาโปรแกรมการปรับปรุงสถานงานคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยมุ่งเน้นการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมและท่าทางการทำงานให้สอดคล้องกับแนวทางด้านการยศาสตร์ในระดับสากล เพื่อส่งเสริมสุขภาพและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรที่ใช้คอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในกลุ่มบุคลากรที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์ในสำนักงานของวิทยาลัยเอกชนที่ทำการศึกษ พบว่ามีความเสี่ยงทางการยศาสตร์สูงโดยมีคะแนนความเสี่ยง (ROSA Score) ตั้งแต่ 5 คะแนนขึ้นไป (ร้อยละ 96.67) ปัจจัยเสี่ยงสำคัญจากท่าทางการนั่งทำงานที่ไม่เหมาะสมและการนั่งทำงานเป็นเวลานาน (สุนัช ขาวกริบ ปัญพพัชรกร บุญพร้อม นวลนิตย์ แสงสิริวุฒิ และคณะ, 2567) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัญหาด้านการยศาสตร์ดังกล่าวยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเป็นรูปธรรมในสถานการณ์จริงของวิทยาลัยแห่งนี้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวและจากความสำคัญของปัญหาความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และกลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรมในกลุ่มบุคลากรที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่พบความเสี่ยงสูงแต่ยังขาดการแก้ไขปัญหาย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยจึงสนใจทำการวิจัยประเมินประสิทธิผลของโปรแกรมการปรับปรุงสถานงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงโรคออฟฟิศซินโดรมในบุคลากรวิทยาลัยเอกชนแห่งนี้ การวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะให้เกิดการปรับปรุงท่าทางการทำงานและสถานงานคอมพิวเตอร์ของบุคลากรได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านการยศาสตร์ในการทำงานกับคอมพิวเตอร์เพื่อส่งเสริมสุขภาพอย่างยั่งยืนต่อไป

การศึกษานี้ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดยะลา (เลขที่ SCPHYLIRB-2565/147) โดยคำนึงถึงหลักจริยธรรมในการคุ้มครองข้อมูลและความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินประสิทธิผลของโปรแกรมการปรับปรุงสถานงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์และลดผลกระทบต่อความเสี่ยงของออฟฟิศซินโดรม ในบุคลากรที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์ในสำนักงานของวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร

3. วิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย เลือกใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental Design) เพื่อลดผลกระทบของการแทรกแซงในสภาพแวดล้อมจริง โดยไม่ต้องมีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบสมบูรณ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ May, Reed, Schwoerer et al. (2004) และ Esmaeili, Shakerian, Esmaeili et al. (2023) ซึ่งมีรูปแบบการศึกษาเช่นเดียวกัน โดยทำการศึกษาเพียงกลุ่มเดียว และใช้โปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นในกลุ่มตัวอย่างที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการ ประเมินระดับความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ ระดับความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ ก่อนและหลังใช้โปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานในสัปดาห์ที่ 16 สำหรับการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์รายบุคคลมุ่งเน้นการปรับสภาพแวดล้อมการทำงานให้สอดคล้องกับหลักการยศาสตร์ ได้แก่ การปรับระดับความสูงของโต๊ะและเก้าอี้ให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ใช้งาน เพื่อลดความเครียดของกล้ามเนื้อ การจัดวางหน้าจอคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในระดับสายตาเพื่อลดอาการปวดคอและไหล่ การปรับตำแหน่งแป้นพิมพ์และเมาส์ให้อึดต่อการใช้งานตามหลักการยศาสตร์ การส่งเสริมให้มีช่วงเวลาพักระหว่างการทำงานเพื่อผ่อนคลายกล้ามเนื้อ และการใช้เครื่องมือสนับสนุน เช่น ที่รองข้อมือหรือเก้าอี้ที่มีพนักพิงรองรับหลัง การดำเนินการปรับปรุงสถานีนงานเหล่านี้มีเป้าหมายเพื่อลดระดับความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และบรรเทาระดับความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อในกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากร ได้แก่ บุคลากรที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์ในสำนักงานของวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จำนวน 140 คน คำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G* Power 3 (Faul, Erdfelder, Lang et al. 2007) ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 27 ตัวอย่าง แต่เพื่อป้องกันการสูญหายของกลุ่มตัวอย่างระหว่างศึกษาจึงเพิ่มกลุ่มตัวอย่างอีกร้อยละ 10 ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเป็น 30 ตัวอย่าง ทำการรับสมัครอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัยและสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง มีเกณฑ์การคัดเลือก คือ เป็นบุคลากรที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ศึกษา ใช้เวลาปฏิบัติงานคอมพิวเตอร์หรืองานเอกสารเฉลี่ยมากกว่า 4 ชั่วโมงต่อวัน ปฏิบัติงานอยู่ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย ไม่เป็นผู้ที่มีอาการบาดเจ็บที่ส่วนร่างกายซึ่งต้องใช้งานขณะปฏิบัติงานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ได้แก่ คอ ไหล่ ข้อมือ หลังส่วนล่าง ขาและหัวเข่า ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ และยินยอมให้เก็บข้อมูล จนกว่าจะเสร็จสิ้นการศึกษาวิจัย

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) โปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นประกอบด้วย 5 กิจกรรม คือ 1) การสังเกตท่าทางการนั่งและสภาพแวดล้อมในการทำงานคอมพิวเตอร์ 2) การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ 3) การกำหนดแนวทางการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์รายบุคคล 4) ปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์รายบุคคล และ 5) การประเมินผล

2) แบบสอบถามประเมินระดับความเจ็บปวดกล้ามเนื้อที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยให้กลุ่มตัวอย่างประเมินตนเอง ประกอบด้วย ชุดคำถามข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ระยะเวลาการทำงาน ประเภทและระยะเวลาการใช้คอมพิวเตอร์ และชุดคำถามประเมินระดับความเจ็บปวดของอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ โดยการให้คะแนนความรุนแรงของอาการเจ็บปวดด้วย (Pain Score) แบบตัวเลข (Numeric Rating Scale: NRS) มีคะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 10 คะแนน 0 คือไม่มีอาการปวด 1 – 3 ปวดน้อย 4 – 6 ปวดปานกลาง 7 – 9 ปวดมาก และ 10 คือปวดมากที่สุด (Melzack & Katz. 2006) แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้รับการตรวจสอบความสอดคล้องและความตรงเชิงเนื้อหา (Indexes of Item-Objective Congruence: IOC) จากทรงคุณวุฒิหรือผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับรายการของข้อคำถาม จำนวน 3 ท่าน ผลการตรวจสอบพบว่า มีค่าความตรงของเนื้อหา เท่ากับ 0.94

3) เครื่องมือประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ ใช้แบบประเมิน Rapid Office Strain Assessment (ROSA) ประยุกต์จากแบบประเมินมาตรฐานสำหรับงานสำนักงานในผู้ใช้คอมพิวเตอร์ของ Sonne, Villalta & Andrews (2012) ประเมินโดยผู้วิจัยสังเกตท่าทางและสภาพแวดล้อมการทำงานของผู้เข้าร่วมวิจัยและให้คะแนน

ผลคะแนนของการประเมิน ROSA (ROSA Score) มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 คะแนนที่มากกว่า 5 แปลว่าเป็นจุดที่มีความเสี่ยงสูงควรมีการวิเคราะห์สถานการณ์งานเพิ่มเติมเพื่อการปรับปรุง และลดภาวะเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์เปรียบเทียบความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ ก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ ด้วยสถิติ Paired t-test

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการสำรวจข้อมูลทั่วไป ท่าทางและสภาพแวดล้อมการทำงานกับคอมพิวเตอร์

จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 83.33) อายุอยู่ระหว่าง 31–40 ปี (ร้อยละ 46.67) และ 41–50 ปี (ร้อยละ 40.00) ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดใช้คอมพิวเตอร์ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คอมพิวเตอร์พกพา คอมพิวเตอร์พกพาขนาดกลาง หรือสมาร์ตโฟน ในการทำงานหรือชีวิตประจำวันอย่างต่อเนื่องหรือมากกว่าครั้งละ 30 นาที โดยส่วนใหญ่ใช้คอมพิวเตอร์พกพาและคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (ร้อยละ 53.33 และ 46.67 ตามลำดับ) มีการใช้งานคอมพิวเตอร์ในเวลางานเฉลี่ย 6 ชั่วโมงต่อวัน และนอกเวลางานเฉลี่ย 3 ชั่วโมงต่อวัน

การสำรวจสังเกตท่าทางและสภาพแวดล้อมการนั่งทำงานของกลุ่มตัวอย่างก่อนการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีท่าทางการนั่งทำงานและการใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสมซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงส่งผลให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความสูงของเก้าอี้ไม่เหมาะสม (ร้อยละ 63.33) โดยส่วนใหญ่เก้าอี้ไม่สามารถปรับความสูงได้ส่งผลให้มุมเข่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 90 องศา เท้าไม่ถึงพื้น และพื้นที่ใต้โต๊ะคับแคบ ความลึกของเก้าอี้ไม่เหมาะสม (ร้อยละ 60.00) โดยเบาะนั่งไม่สามารถปรับระยะได้ทำให้ไม่สามารถปรับระยะระหว่างข้อพับเข่าและข้อเท้าได้ ที่พนักแขนไม่เหมาะสม (ร้อยละ 96.67) โดยที่พนักแขนไม่สามารถปรับระดับได้ ที่พนักแขนอยู่ในระดับสูงเกินไปทำให้ไหล่ยกขึ้น พนักพิงไม่เหมาะสม (ร้อยละ 66.67) โดยพนักพิงไม่สามารถปรับระดับได้ ทำให้มีท่าทางการนั่งไม่เหมาะสม เช่น เอียงไปข้างหน้ามากเกินไป ไม่มีที่รองเอวหรือที่รองเอวไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ประกอบกับพื้นที่ทำงานที่สูงเกินไปทำให้นั่งทำงานอยู่ในลักษณะไหล่ยก หน้าจอคอมพิวเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม (ร้อยละ 60.00) โดยส่วนใหญ่ตำแหน่งหน้าจอต่ำเกินไปทำให้ต้องก้มคอเพื่อมองจอภาพ มีการหมุนคอเพื่อมองจอภาพ และมีแสงสะท้อนบนหน้าจอ การใช้เมาส์มีตำแหน่งเมาส์อยู่ในแนวเดียวกับไหล่ (ร้อยละ 90.00) แต่ส่วนใหญ่ไม่มีที่รองข้อมือหรือที่รองข้อมือมีพื้นผิวแข็งหรือมีจุดกดทับในขณะใช้งานเมาส์ (ร้อยละ 73.33) และแป้นพิมพ์อยู่ในระดับไม่เหมาะสม (ร้อยละ 93.33) โดยมีระดับสูงเกินไป ไหล่ผู้ใช้อยู่ลักษณะยกขึ้น และที่วางแป้นพิมพ์ปรับระดับไม่ได้

นอกจากนี้จากการสำรวจระยะเวลาที่กลุ่มตัวอย่างใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ในแต่ละวันที่มีผลต่อการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อในแต่ละส่วน พบว่า มีการใช้พนักพิงเก้าอี้ จอคอมพิวเตอร์ เมาส์ และแป้นพิมพ์ มากกว่า 4 ชั่วโมงต่อวัน (ไม่ต่อเนื่อง) หรือใช้มากกว่า 1 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง

4.2 ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์

ผลการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของท่าทางการทำงานของกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิค ROSA ค่าคะแนนความเสี่ยง (ROSA Score) ก่อนการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีค่าคะแนนความเสี่ยงต่ำกว่า 5 คะแนน จัดอยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง จำนวน 1 คน (ร้อยละ 3.33) และกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จำนวน 29 คน มีค่าคะแนนความเสี่ยง ROSA ตั้งแต่ 5 คะแนนขึ้นไป โดยจัดอยู่ในระดับความเสี่ยงสูง จำนวน 15 คน (ร้อยละ 50.00) และอยู่ในระดับความเสี่ยงสูงมาก จำนวน 14 คน (ร้อยละ 46.67)

หลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีค่าคะแนนความเสี่ยงลดลง จัดอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ จำนวน 3 คน (ร้อยละ 10.00) อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง จำนวน 6 คน

(ร้อยละ 20.00) อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง จำนวน 21 คน (ร้อยละ 70.00) โดยหลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ไม่พบกลุ่มตัวอย่างที่มีความเสี่ยงในระดับสูงมาก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความเสี่ยงด้านการยศาสตร์จำแนกตามระดับคะแนน ROSA (ROSA Score) ก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ (n=30)

ระดับความเสี่ยง	ROSA Score	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง	
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
เสี่ยงต่ำ	1 – 2	0	0.00	3	10.00
เสี่ยงปานกลาง	3 – 4	1	3.33	6	20.00
เสี่ยงสูง	5 – 7	15	50.00	21	70.00
เสี่ยงสูงมาก	8 – 10	14	46.67	0	0.00

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนความเสี่ยง (ROSA Score) ของกลุ่มตัวอย่างก่อนและหลังปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ จำนวน 30 คน เท่ากับ 7.37 (S.D. เท่ากับ 1.377) และ 4.60 (S.D. เท่ากับ 1.102) ตามลำดับ ซึ่งเปรียบเทียบทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนความเสี่ยงด้วยสถิติ Paired t-test พบว่าคะแนนความเสี่ยงก่อนและหลังปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value เท่ากับ .000) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเสี่ยง ROSA Score ก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ (n=30)

ROSA Score	Mean	S.D.	t	p-value
ก่อน	7.37	1.377	8.537	.000*
หลัง	4.60	1.102		

หมายเหตุ : * p-value < .05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3 ผลการประเมินความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ

ผลการประเมินระดับความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ โดยการให้คะแนนความเจ็บปวด (Pain Score) หลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยของความเจ็บปวดกล้ามเนื้อบริเวณคอ ลดลงเหลือ 3.07 คะแนน บริเวณไหล่/บ่า ลดลงเหลือ 3.47 คะแนน บริเวณหลังส่วนบน ลดลงเหลือ 2.77 คะแนน แขนส่วนบน ลดลงเหลือ 1.60 คะแนน มือ/ข้อมือ ลดลงเหลือ 1.47 คะแนน และสะโพก/ต้นขา ลดลงเหลือ 1.70 คะแนน ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนความเจ็บปวดกล้ามเนื้อหลังปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ จำนวน 30 คน ด้วยสถิติ Paired t-Test พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนความเจ็บปวดกล้ามเนื้อบริเวณ คอ ไหล่/บ่า หลังส่วนบน และมือและข้อมือ ก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < .05) โดยบริเวณคอ p-value เท่ากับ .003 บริเวณไหล่/บ่า p-value เท่ากับ .002 บริเวณหลังส่วนบน p-value เท่ากับ .024 และบริเวณมือและข้อมือ p-value เท่ากับ .038 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม แม้ว่าค่าเฉลี่ยคะแนนความเจ็บปวดในบางตำแหน่ง ได้แก่ หลังส่วนล่าง ข้อศอก แขนส่วนล่าง หัวเข่า น่อง และเท้า/ข้อเท้า พบมี

แนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังการปรับปรุงสถานีนงาน แต่ผลจากการทดสอบทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > .05$) จึงสรุปได้ว่าความเจ็บปวดในตำแหน่งดังกล่าวก่อนและหลังการปรับปรุงไม่แตกต่างกันในเชิงสถิติ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ (Pain Score) จำแนกตามตำแหน่งกล้ามเนื้อ ก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ (n=30)

ตำแหน่งกล้ามเนื้อ		Mean	S.D.	t	p-value
คอ	ก่อนการปรับปรุง	4.83	2.601	3.236	.003*
	หลังการปรับปรุง	3.07	2.016		
ไหล่/บ่า	ก่อนการปรับปรุง	5.63	2.442	3.496	.002*
	หลังการปรับปรุง	3.47	2.047		
หลังส่วนบน	ก่อนการปรับปรุง	4.37	2.697	2.374	.024*
	หลังการปรับปรุง	2.77	2.208		
หลังส่วนล่าง	ก่อนการปรับปรุง	2.50	2.330	-.120	.905
	หลังการปรับปรุง	2.57	1.960		
แขนส่วนบน	ก่อนการปรับปรุง	2.37	2.580	1.290	.207
	หลังการปรับปรุง	1.60	2.044		
ข้อศอก	ก่อนการปรับปรุง	0.77	1.305	-.839	.408
	หลังการปรับปรุง	1.03	1.351		
แขนส่วนล่าง	ก่อนการปรับปรุง	0.83	1.440	-.441	.662
	หลังการปรับปรุง	0.93	1.484		
มือ/ข้อมือ	ก่อนการปรับปรุง	2.53	2.113	2.172	.038*
	หลังการปรับปรุง	1.47	1.697		
สะโพก/ต้นขา	ก่อนการปรับปรุง	2.27	2.243	1.080	.289
	หลังการปรับปรุง	1.70	1.822		
หัวเข่า	ก่อนการปรับปรุง	1.03	1.671	-.157	.877
	หลังการปรับปรุง	1.10	1.494		
น่อง	ก่อนการปรับปรุง	0.37	0.964	-.154	.879
	หลังการปรับปรุง	0.40	1.003		
เท้า/ข้อเท้า	ก่อนการปรับปรุง	0.37	0.850	-.501	.620
	หลังการปรับปรุง	0.47	1.074		

หมายเหตุ : * p-value น้อยกว่า .05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

: ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกลุ่มตัวอย่าง เช่น เพศ อายุงาน ดัชนีมวลกาย และค่าคะแนนประเมิน ROSA ก่อนการแทรกแซง ได้รับการเผยแพร่แล้วใน สุนทร ขวกริบ ปัญพพัชรกร บุญพร้อม นวลนิตย์ แสงศิริวุฒิ และคณะ (2567) ความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในบุคลากรที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์ในสำนักงานของวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งใน กรุงเทพมหานคร วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 9 (1): 166-178.

5. อภิปรายผลและสรุปผล

หลังจากการปรับปรุงสถานีนางานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่างเป็นเวลา 16 สัปดาห์ และทำการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยเทคนิค ROSA ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า โปรแกรมการปรับปรุงสถานีนางานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์สามารถลดระดับความเสี่ยงและอาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อในกลุ่มตัวอย่างบุคลากรได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนความเสี่ยง ROSA ลดลงจาก 7.37 เป็น 4.60 (p -value เท่ากับ .000) และจำนวนผู้ที่มีความเสี่ยงในระดับสูงมากลดลงเหลือ 0 แสดงถึงประสิทธิภาพของการปรับปรุงสถานีนางานในการลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และส่งเสริมสภาพแวดล้อมการทำงานที่เหมาะสม ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาโดย Lee, De Barros, Moriguchi De Castro et al. (2021) ที่พบว่า การปรับปรุงสถานีนางานตามหลักการยศาสตร์มีประสิทธิภาพในการลดความรุนแรงของอาการปวดกล้ามเนื้อบริเวณ คอ ไหล่ หลัง ส่วนบน และข้อมือ/มือ ในกลุ่มพนักงานออฟฟิศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < .05) และสอดคล้องกับการศึกษาของ ฌวรา เหล่าวานิชย์ ปวีณา มีประดิษฐ์ และทนต์ศักดิ์ ยิ่งรัตนสุข (2565) ที่พบว่าหลังจากการปรับปรุงสถานีนางานแบบมีส่วนร่วมของพนักงานสายสนับสนุน คะแนนความเสี่ยง ROSA ของสถานีนางานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < .001) และกลุ่มตัวอย่างมีความรู้สึกปวดไหล่ทั้งสองข้างลดลง

การประเมินระดับความเจ็บปวดกล้ามเนื้อของกลุ่มตัวอย่างหลังการปรับปรุงสถานีนางานคอมพิวเตอร์เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนความเจ็บปวดกล้ามเนื้อในบริเวณ คอ ไหล่/บ่า หลังส่วนบน และมือ/ข้อมือ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value เท่ากับ .003, .002, .024 และ .038 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นผลจากการปรับปรุงท่าทางการนั่งทำงานและการใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม งานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาโดย Senthilkumar & Nivetha (2018) ที่สนับสนุนว่าการปรับปรุงสถานีนางานตามหลักการยศาสตร์สามารถลดอาการเจ็บปวดและความพิการในผู้ใช้คอมพิวเตอร์ได้ แต่เป็นที่น่าสนใจที่ว่าการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Paired t-test ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในค่าเฉลี่ยคะแนนความเจ็บปวดกล้ามเนื้อบริเวณ หลังส่วนล่าง ข้อศอก แขนส่วนล่าง หัวเข่า น่อง และเท้า/ข้อเท้า ก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีนางานคอมพิวเตอร์ (p -value > .05) ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่า องค์ประกอบของโปรแกรมการปรับปรุงสถานีนางานตามหลักการยศาสตร์ที่ดำเนินการในระยะเวลา 16 สัปดาห์นี้ อาจมีผลกระทบที่เด่นชัดกว่าต่ออาการปวดในบริเวณส่วนบนของร่างกายและร่างกายส่วนบนที่ใช้งานกับคอมพิวเตอร์โดยตรง สำหรับบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยเสี่ยงหรือรูปแบบการแทรกแซงที่จำเพาะเจาะจงมากขึ้น หรือใช้ระยะเวลาในการแทรกแซงที่ยาวนานขึ้น เพื่อให้เกิดผลในการลดความเจ็บปวดที่ชัดเจนในบริเวณดังกล่าว

จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบสถานีนางานที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในสำนักงานที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลการศึกษาพบว่าโปรแกรมการปรับปรุงสถานีนางานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์สามารถลดระดับความเสี่ยงและอาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 โดยสามารถปรับปรุงท่าทางการนั่งทำงานและการใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม สามารถส่งเสริมสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดีขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากร การออกแบบสถานีนางานเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องคำนึงและเป็นข้อมูลอ้างอิงให้กับการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานในอนาคตเพื่อลดความเสี่ยงโรคออฟฟิศซินโดรม สอดคล้องกับหลายการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่า การใช้หลักการยศาสตร์ในการออกแบบสถานีนางานคอมพิวเตอร์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความสบายของผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงต้องได้รับการออกแบบตามหลักการยศาสตร์ และมีช่วงเวลาพักที่เหมาะสมขณะทำงาน (Jafri & Moeed, 2016) และถึงแม้ว่าผลการศึกษาจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของโปรแกรมในการลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์และอาการปวดกล้ามเนื้อในบางบริเวณ แต่การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรนำมาพิจารณาในการตีความและนำผลไปประยุกต์ใช้ ข้อจำกัดหลักประการหนึ่งคือ การที่ การศึกษานี้ไม่ได้มีการใช้กลุ่มควบคุม

(Control Group) ทำให้ไม่สามารถยืนยันได้อย่างสมบูรณ์ว่าโปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานเป็นปัจจัยเพียงอย่างเดียวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางบวกที่สังเกตได้ ปัจจัยภายนอกอื่น ๆ หรือผลจากการดำเนินชีวิตปกติในช่วงระยะเวลาการศึกษา 16 สัปดาห์ อาจมีส่วนร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเสี่ยงและอาการปวดได้ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างค่อนข้างเล็ก (30 ตัวอย่าง) และเป็นบุคลากรจากองค์กรเดียวกัน จึงอาจมีข้อจำกัดในการนำผลลัพธ์ไปใช้กับองค์กรอื่น

6. ข้อเสนอแนะ

การใช้โปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์ สามารถลดความเสี่ยงการเกิดโรคออฟฟิศซินโดรมโดยลดระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์และอาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อ นอกจากนี้พนักงานจำเป็นต้องมีความตระหนัก มีความรู้ความเข้าใจในการปรับท่าทางการนั่งปฏิบัติงานที่เหมาะสมและมีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดประสิทธิผลอย่างยั่งยืน ควรมีการต่อยอดพัฒนาเครื่องมือหรือวิธีการที่จะช่วยให้มีการคงไว้ซึ่งสถานีนงานที่เหมาะสมและพฤติกรรมการทำงานที่ถูกต้องอย่างยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ณวรา เหล่าวานิชย์ ปวีณา มีประดิษฐ์ และ ทนงศักดิ์ ยิ่งรัตนสุข. (2565). การประยุกต์ใช้หลักการยศาสตร์แบบมีส่วนร่วมในการปรับปรุงสภาพงานเพื่อลดความเสี่ยงของไหล่ในกลุ่มพนักงานสายสนับสนุนของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี. *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ*, 15(2), 73 – 89. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JSH/article/view/250719/175574>
- ทรงฤทธิ์ ทองมีขวัญ และ สกุนตลา แซ่เตียว. (2561). พฤติกรรมการป้องกันและการรับรู้ความเสี่ยงต่อการเกิดกลุ่มอาการคอมพิวเตอร์ซินโดรมของบุคลากรสายสนับสนุน. *วารสารพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม*, 19(37), 69-83. <https://e-library.siam.edu/e-journal/wp-content/uploads/2019/05/JNSU-vol19-no37-jul-dec2018-5.pdf>
- ทัศน์พงษ์ ตันติปัญจพร ยาวลักษณ์ อยู่นิ่ม ยุวดี ทองมี และ อรพรรณ กิริติโรจน์. (2562). ผลของภาระงานคอมพิวเตอร์ต่ออาการผิดปกติของรยางค์ส่วนบน คอ และหลัง จากการทำงานในกลุ่มพนักงานสำนักงาน. *ศรีนครินทร์เวชสาร*, 34(1), 60 – 67. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/SRIMEDJ/article/view/173306/124197>
- มนิรัตน์ สอนม่วง. (2564). อาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในบุคลากรสายสนับสนุน กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งหนึ่งในภาคเหนือ. *วารสารสุขภาพศึกษา*, 44(2), 282-295. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/muhed/article/view/248674/171785>
- โรงพยาบาลศิริราช ปิยมหาราชการณย์. (2564). ออฟฟิศซินโดรม ดูแล ป้องกัน รักษา อย่างไร ?. <https://www.siphospital.com/th/news/article/share/>
- สำนักงานสื่อสารและตอบโต้ความเสี่ยง กรมอนามัย. (2558). *ข่าวแจก กรมอนามัยเผยวัยทำงานร้อยละ 60 เสี่ยงโรคออฟฟิศซินโดรม แนะนำปรับสถานที่ทำงานน้อยๆ นำทำงานให้ถูกหลัก*. <https://anamai.moph.go.th/th/news-anamai/15815>
- สุคนธ์ ขาวกริบ ปัญพัชกร บุญพร้อม นวลนิตย์ แสงสิริวดี ศศิธร ลอเรนซ์ ่องอาจ งามดี และ อินจิรา นิยมธู. (2567). ความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในบุคลากรที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์ในสำนักงานของวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 9(1), 166 – 178. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/journalindus/article/view/252846/170596>

- สุนิสา ขายเกลี้ยง และ วรวรรณ ภูชาดา. (2559). ประสิทธิภาพของโปรแกรมการปรับปรุงตามหลักการยศาสตร์ในพนักงานศูนย์บริการข้อมูล. *ศรีนครินทร์เวชสาร*, 31(5), 325 – 331.
<https://www.thaiscience.info/journals/Article/SRMJ/10985718.pdf>
- Baydur H., Ergor A., Demiral Y., & Akalin E. (2016). Effects of Participatory Ergonomic Intervention on the Development of Upper Extremity Musculoskeletal Disorders and Disability in Office Employees Using a Computer. *Journal of Occupational Health*, 58(3), 297 – 309.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5356954/>
- Ehsani, F., Mosallanezhad, Z. & Vahedi, G. (2017). The Prevalence, Risk Factors and Consequences of Neck Pain in Office Employees. *Middle East J Rehabil Health Stud*, 4(2), e42031.
<https://brieflands.com/articles/mejrh-13139>
- Esmaeili, R., Shakerian, M., Esmaeili, S. V., Jalali, M., Pouya, A. B., & Karimi, A. (2023). A Multicomponent Quasi-experimental Ergonomic Interventional Study: Long-term Parallel Four-groups Interventions. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1), 107.
<https://doi.org/10.1186/s12891-023-06220-4>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: a Flexible Statistical Power Analysis Program for the Social, Behavioral and Biomedical Sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-91. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- International Ergonomics Association. (2021). *Principles and guidelines for human factors/ergonomics (HF/E) design*. https://iea.cc/wp-content/uploads/2021/06/Principles-and-Guidelines_June2021.pdf
- International Organization for Standardization. (2024). *ISO 9241-5: Ergonomics of human-system interaction - Part 5: Workstation layout and postural requirements (Second edition)*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/32cbd22c-db1d-4d4d-bde8-1a1a4d217cad/iso-9241-5-2024>
- Jafri, H., & Moeed, K. M. (2016). Ergonomic Design of Computer Workstation. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(5), 2152-2156.
<https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5457.pdf>
- Jamjumrus N, Nanthavanij S. (2008). Ergonomic Intervention for Improving Work Postures During Notebook Computer Operation. *J Hum Ergol (Tokyo)*, 37(1), 23-33.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19157157/>
- Jongprasithporn, M., Yodpijit, N., Panichtamrong, P., Ratanajarusiri, N. (2021). Analysis and Prevention of Office Syndrome of people in Thailand. In: Waldemar Karwowski, Tareq Ahram, Mario Milicevic, Darko Etinger and Krunoslav Zubrinic (eds) Human Systems Engineering and Design (IHSED2021): Future Trends and Applications. AHFE (2021). *International Conference. AHFE Open Access, vol 21. AHFE International, USA*.
<http://doi.org/10.54941/ahfe1001206>
- Kumar, G. R., & Bezawada, S. T. (2019). The Impact of Ergonomics on Employees' Productivity in the Architectural Workplaces. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(5C). <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i5C/E11570585C19>



- Lee, S., De Barros, F. C., Moriguchi De Castro, C. S., & De Oliveira Sato, T. (2021). Effect of an Ergonomic Intervention Involving Workstation Adjustments on Musculoskeletal Pain in Office Workers—a Randomized Controlled Clinical Trial. *Industrial Health*, 59(2), 78 – 85. https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth/59/2/59_2020-0188/_pdf/-char/en
- May, D. R., Reed, K., Schwoerer, C. E., & Potter, P. (2004). Ergonomic Office Design and Aging: a Quasi-experimental Field Study of Employee Reactions to an Ergonomics Intervention Program. *Journal of Occupational Health Psychology*, 9(2), 123 – 135. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.9.2.123>
- Melzack, R. & Katz, J. (2006). *Pain Assessment in Adult Patients*. In McMahon S.B. & Koltzenburg M. (Eds). *Wall and Melzack's Textbook of Pain*. 5th ed. Philadelphia : Elsevier Churchill Livingstone.
- Santoso, G. (2023). Ergonomics of Work Performance and Work Productivity Aspects. *International Journal of Integrative Sciences*, 2(4), 483 – 488. <https://doi.org/10.55927/ijis.v2i4.3726> Retrieved April 22, 2025.
- Senthilkumar, S. & Nivetha, A. (2018). A Study on Efficacy of an Ergonomic Intervention Programme on Pain and Disability among Computer Users. *International Journal of Academic Research and Development*, 3(1), 696 – 699. https://www.researchgate.net/publication/359158049_A_study_on_efficacy_of_an_ergonomic_intervention_programme_on_pain_and_disability_among_computer_users
- Sonne, M., Villalta, DL. & Andrews, D.M. (2012). Development and Evaluation of an Office Ergonomic Risk Checklist: ROSA–Rapid Office Strain Assessment. *Applied Ergonomics*, 43(1), 98 - 108 <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.03.008>

คุณค่าทางวิชาการ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการปรับปรุงสถานีนงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์มีประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยงของโรคออฟฟิศซินโดรมในบุคลากรวิทยาลัยเอกชน นอกจากนี้จะลดระดับความเจ็บปวดกล้ามเนื้อในบริเวณต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญแล้ว ผลการปรับปรุงยังทำให้สิ่งแวดล้อมการทำงานเหมาะสมขึ้น ซึ่งส่งผลให้บุคลากรมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในองค์กรอื่น ๆ เพื่อส่งเสริมสุขภาพและประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานในสำนักงานที่ใช้คอมพิวเตอร์ต่อไป

ไม่ทำอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและปัญญาประดิษฐ์ ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง

วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

อีเมล : wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th

วันที่รับบทความ 17 กุมภาพันธ์ 2568

วันแก้ไขบทความ 24 มีนาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 9 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไม่ทำอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยบูรณาการเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things :IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เพื่อช่วยในการตรวจจับและแจ้งเตือนสิ่งกีดขวางและทางต่างระดับในสภาพแวดล้อมจริง เพิ่มความปลอดภัยในการเดินทางของผู้ใช้งาน ระบบประกอบด้วย ESP32-CAM ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ IoT สำหรับบันทึกภาพและส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย Wi-Fi ไปยังระบบประมวลผล AI ที่พัฒนาโดยใช้แพลตฟอร์ม Teachable Machine โมเดล AI ได้รับการฝึกฝนให้สามารถจำแนกสิ่งกีดขวางและทางต่างระดับจำนวน 11 ประเภท ได้แก่ (1) บันไดภายในและภายนอกอาคาร (2) พุ่มพาท (3) ทางลาดหน้าอาคารสำหรับวีลแชร์ (4) โต๊ะ เก้าอี้ ชั้นหนังสือ ภายในอาคาร (5) คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เครื่องพิมพ์ (6) โต๊ะหินอ่อน ถังขยะ เส้าไฟฟ้า ต้นไม้ (7) รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถจักรยาน (8) ถนนทางเท้า (9) รั้ว ที่กัน (10) คน สัตว์ (11) สิ่งกีดขวางอื่น ๆ ระบบได้รับการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ชุดข้อมูลภาพที่เก็บจากสภาพแวดล้อมจริง และแบ่งออกเป็นชุดฝึก (Training set) และชุดทดสอบ (Testing set) พร้อมประเมินผลด้วย Confusion Matrix เพื่อคำนวณค่าวัดประสิทธิภาพ ได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-Score ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โมเดลมีความแม่นยำ (Accuracy) ในการจำแนกประเภททางต่างระดับและสิ่งกีดขวางอยู่ที่ 97.96% และ 96.08% ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของดัชนีประสิทธิภาพอยู่ที่ Precision 96.85%, Recall 96.42% และ F1-Score 96.63% เมื่อระบบตรวจพบสิ่งกีดขวางหรือความเปลี่ยนแปลงของระดับพื้น ระบบจะประมวลผลและส่งสัญญาณแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ไปยังมอเตอร์สั่นที่ติดตั้งบนด้ามจับของไม้เท้าเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งาน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับ AI ในการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง และมีส่วนช่วยในการยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ไม่ทำอัจฉริยะ ผู้พิการทางสายตา ปัญญาประดิษฐ์ อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง



Smart Cane with Internet of Things and Artificial Intelligence Technology for Obstacle Detection

Wadeenat Wannasawaskul

Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

E – mail : wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th

Received 17 February 2025

Revised 24 March 2025

Accepted 9 April 2025

Abstract

This research aims to develop a smart cane for visually impaired individuals by integrating Internet of Things (IoT) technology with Artificial Intelligence (AI) to enhance navigation safety and obstacle awareness in real-world environments. The system employs an ESP32-CAM as an IoT device for image acquisition and transmits data via Wi-Fi to an AI processing unit built using the Teachable Machine platform. The AI model was trained to classify 11 categories of obstacles and elevation changes, including: (1) indoor and outdoor stairs, (2) sidewalks, (3) wheelchair ramps, (4) indoor furniture (tables, chairs, bookshelves), (5) electronic devices (computers, televisions, printers), (6) outdoor objects (stone tables, trash bins, utility poles, trees), (7) vehicles (cars, motorcycles, bicycles), (8) roads and pavements, (9) fences and barriers, (10) people and animals, and (11) other miscellaneous obstacles. The model was trained and tested on a real-world image dataset, with performance evaluated using a confusion matrix to compute key metrics: Accuracy, Precision, Recall, and F1-Score. The results show that the model achieved an accuracy of 97.96% for elevation change detection and 96.08% for obstacle classification. The average values of the performance metrics are: Precision 96.85%, Recall 96.42%, and F1-Score 96.63%, indicating high reliability and robustness of the system in diverse environments. Upon detecting an obstacle or elevation change, the system processes the input in real-time and alerts the user via a vibration motor embedded in the cane handle. This research demonstrates the feasibility and effectiveness of combining IoT and AI technologies in the development of assistive devices, with potential to significantly improve the quality of life for visually impaired individuals.

Keywords : Smart cane, Visually impaired, Artificial Intelligence, Internet of Things

1. บทนำ

เทคโนโลยีช่วยเหลือการเดินทางสำหรับผู้พิการทางสายตา (Blind and Visually Impaired - BVI) ได้รับความสนใจอย่างมาก โดยมีการพัฒนาอุปกรณ์และระบบนำทางที่ใช้ ปัญญาประดิษฐ์ เช่น เซอร์ และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและอิสระในการเคลื่อนที่ของผู้พิการ งานวิจัยของ Tripathi et al. (2023) ทบทวนระบบช่วยเหลือการเดินทางสำหรับผู้พิการทางสายตา (BVI) โดยเน้นที่เทคโนโลยีหลักสี่สิ่งคือ ขวางและการนำทาง งานวิจัยจำแนกเทคโนโลยีออกเป็น (1) Vision-Based Technology ที่ใช้ AI และกล้อง เช่น Microsoft Kinect (2) Non-Vision-Based Technology ที่ใช้เซ็นเซอร์ เช่น RFID และ Ultrasonic และ (3) Hybrid-Based Technology ที่รวมทั้งสองระบบเพื่อเพิ่มความแม่นยำ เทคโนโลยี Vision-Based มีข้อจำกัดเรื่องแสง ขณะที่ Non-Vision-Based มีข้อจำกัดเรื่องระยะตรวจจับ ส่วน Hybrid-Based แม่นยำแต่มีต้นทุนสูง งานวิจัยแนะนำให้บูรณาการ AI, IoT และ Edge Computing เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและการใช้งานจริงในอนาคต งานวิจัยของ Zafar et al. (2022) วิเคราะห์อุปกรณ์ช่วยเหลือสำหรับผู้พิการทางสายตา (Visually impaired persons - VIPs) โดยจำแนกเป็น (1) อุปกรณ์ตรวจจับสิ่งกีดขวาง เช่น กล้อง Kinect และเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (2) อุปกรณ์นำทาง เช่น ระบบ GPS และนำทางอัจฉริยะ (3) อุปกรณ์ไฮบริด ที่รวมระบบตรวจจับและนำทาง เช่น ไม้เท้าอัจฉริยะ และ (4) อุปกรณ์ช่วยในกิจวัตรประจำวัน (ADL Devices) เช่น เครื่องอ่านข้อความเสียง (Text-to-Speech) และอุปกรณ์ระบุสกุลเงิน งานวิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของอุปกรณ์ในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน พบว่ายังไม่มีอุปกรณ์ใดที่สมบูรณ์แบบ และมีความท้าทายด้านความแม่นยำของเซ็นเซอร์ การลดความซับซ้อน และการทำให้เทคโนโลยีเข้าถึงง่ายขึ้น นักวิจัยเสนอให้พัฒนาอุปกรณ์ที่รวมฟังก์ชันที่หลากหลายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและปรับปรุงคุณภาพชีวิตของผู้พิการ งานวิจัยของ Chaple et al. (2024) ทบทวนการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการช่วยเหลือนักเดินทางสายตา (BVI) โดยเน้นที่ ระบบนำทางและการจดจำวัตถุ งานวิจัยสำรวจเทคโนโลยี เช่น ไม้เท้าอัจฉริยะ (Smart Stick) ที่ติดตั้ง GPS และเซ็นเซอร์ กล้อง RGB-D สำหรับจดจำวัตถุและผู้ช่วยเสียง AI (SKYE) ซึ่งช่วยให้ BVI รับรู้สภาพแวดล้อมและโต้ตอบกับอุปกรณ์อัจฉริยะ งานวิจัยยังกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ Convolutional Neural Networks (CNN) เพื่อพัฒนาระบบนำทางและแปลข้อความเสียง แม้ว่า AI จะมีศักยภาพสูง แต่ยังคงมีความท้าทาย เช่น ความแม่นยำในการจดจำภาพ การประมวลผลแบบเรียลไทม์ ต้นทุนอุปกรณ์ และข้อจำกัดของ Text-to-Speech นักวิจัยเสนอให้พัฒนาเทคโนโลยีที่รองรับ ภาษาต่างๆ และปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการเข้าถึงของผู้พิการ

ระบบนำทางช่วยเหลือนักเดินทางสายตา (Assistive Navigation Systems - ANS) ในงานวิจัยของ Tyagi et al. (2021) โดยจำแนกเทคโนโลยีออกเป็น (1) ระบบที่ใช้เซ็นเซอร์เป็นหลัก เช่น GPS, LIDAR และ RFID ซึ่งช่วยตรวจจับสิ่งกีดขวางแต่มีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ (2) ระบบที่ใช้การประมวลผลภาพเป็นหลัก เช่น Computer Vision และ CNNs ซึ่งให้ข้อมูลเชิงลึกแต่ต้องใช้พลังงานสูง (3) ระบบแบบไฮบริด ที่รวมเทคโนโลยีทั้งสองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแต่ยังมีต้นทุนสูง งานวิจัยแนะนำว่า AI, IoT, Cloud Computing และ Edge Computing จะเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนา ANS ในอนาคต แต่ยังคงมีความท้าทายด้าน พลังงาน ต้นทุน และความสามารถในการทำงานแบบเรียลไทม์ ที่ต้องได้รับการแก้ไขเพื่อให้เทคโนโลยีเข้าถึงได้ง่ายขึ้นและใช้งานได้ในทุกสภาพแวดล้อม งานวิจัยของ Lei et al. (2022) ศึกษาการ ตรวจจับช่องทางเดิน (Pedestrian Lane Detection) สำหรับระบบนำทางช่วยเหลือนักเดินทางสายตา โดยเปรียบเทียบ วิธีดั้งเดิม (Traditional Methods), การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning-Based Methods), และวิธีไฮบริด (Hybrid Methods) งานวิจัยได้พัฒนา ฐานข้อมูล PLVP3 เพื่อใช้ประเมินโมเดล เช่น FCNs U-Net DeepLabV3+ และ HRNet ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลที่ใช้ Deep Learning มีความแม่นยำสูงกว่าวิธีดั้งเดิม แต่ยังคงมีปัญหาด้าน ความเร็ว ความแม่นยำในสภาพแสงน้อย และพลังงานของอุปกรณ์ งานวิจัยแนะนำให้พัฒนา เทคนิคลดข้อผิดพลาด (False Positive Reduction) การเรียนรู้แบบปรับตัว

(Adaptive Learning) และการบูรณาการ AI กับ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีในอนาคต (Lei et al., 2022)

ในขณะที่งานวิจัยของ Lin et al. (2019) นำเสนอการช่วยเหลือที่แตกต่างออกไป ในบทความนี้ได้เสนอระบบสวมใส่ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา โดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning-Based Wearable Assistive System) เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้สภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น ระบบประกอบด้วย กล้อง RGBD หูฟัง หน่วยประมวลผลสำหรับการเรียนรู้เชิงลึก และอินเทอร์เฟซแบบสัมผัส ที่เชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน โดยใช้ Convolutional Neural Networks (CNNs) เพื่อสร้างแผนที่เชิงความหมาย (Semantic Map) และให้คำแนะนำเกี่ยวกับเส้นทางที่ปลอดภัย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถช่วยให้ผู้พิการเดินทางได้อย่างปลอดภัยทั้งในร่มและกลางแจ้ง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของระบบยังคงอยู่ที่ความแม่นยำของกล้อง RGBD ในสภาพแสงน้อย และการใช้พลังงานสูง งานวิจัยนี้เสนอให้พัฒนา Embedded Systems และเพิ่มเซ็นเซอร์เพิ่มเติม เช่น Sonar หรือ Bump Sensors เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบในอนาคต ในงานวิจัยของ Kumar & Jain (2022) นำเสนอ โมเดล Deep Learning สำหรับช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาในการนำทาง โดยใช้ อุปกรณ์สวมใส่ (Wearable Model) และ ไม้เท้าอัจฉริยะ (Smart Stick) ที่ทำงานร่วมกันเพื่อตรวจจับเส้นทางและสิ่งกีดขวาง ระบบนี้ใช้ YOLOv5 ในการจำแนกเส้นทางเป็น ทางตรง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา และใช้ GPS และ Ultrasonic Sensors สำหรับการนำทาง การทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลมีความแม่นยำ 89.24% และสามารถทำงานแบบ เรียวลไทม์ที่ 45 FPS นักวิจัยแนะนำให้ เพิ่มขนาดชุดข้อมูล ฝึกฝน RNNs เพื่อลดเวลาในการประมวลผล และพัฒนาให้รองรับ Edge Computing งานวิจัยนี้ช่วยให้ ผู้พิการสามารถเดินทางได้อย่างปลอดภัยและเป็นอิสระมากขึ้น โดยลดข้อจำกัดของ ไม้เท้าขาวและ สุนัขนำทาง ในงานวิจัยของ Bhosle et al. (2022) นำเสนอระบบไม้เท้าอัจฉริยะที่ใช้ ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์เรดาร์ อัลตราโซนิก และ GPS เพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวางและแปลงเป็นสัญญาณเสียง ระบบนี้มีน้ำหนักเบา กินไฟน้อย และใช้งานง่าย โดยมีระบบสั่นและเสียงเตือนเพิ่มเติมเพื่อแจ้งเตือนสิ่งกีดขวาง และในงานวิจัยของ Nataraj et al. (2024) พัฒนาระบบนำทางด้วยเสียงที่ใช้เซ็นเซอร์ ESP32-CAM และ GPS เพื่อตรวจจับวัตถุและให้ ข้อมูลเสียงแบบเรียลไทม์ ระบบนี้ใช้ HC-SR04 อัลตราโซนิก NodeMCU และ OpenCV เพื่อประมวลผลภาพและ แปลงเป็นเสียงแจ้งเตือน พร้อมด้วยระบบ GPS สำหรับติดตามตำแหน่งและแจ้งเตือนผู้ดูแล

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยจะพัฒนาระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยใช้ ESP32-CAM และโมเดล AI เพื่อให้สามารถจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง 11 ประเภท รวมถึงการแจ้งเตือน ผ่านมอเตอร์สั่นสะเทือนที่ติดตั้งบนด้ามจับ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพจากอาสาสมัครทั่วไปที่มีสุขภาพแข็งแรง และสามารถปฏิบัติตามคำแนะนำในการทดสอบได้อย่างถูกต้อง เพื่อความปลอดภัยของผู้ทดสอบ

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนานวัตกรรมไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยมีการออกแบบกระบวนการวิจัยให้ครอบคลุมทั้งด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (IoT) โดยเริ่มต้นจากการพัฒนาโมเดล AI สำหรับจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง ก่อนจะนำโมเดลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ IoT เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านมอเตอร์สั่นที่ติดตั้งบนไม้เท้า

3.1 การเก็บข้อมูลภาพและการเตรียมข้อมูล

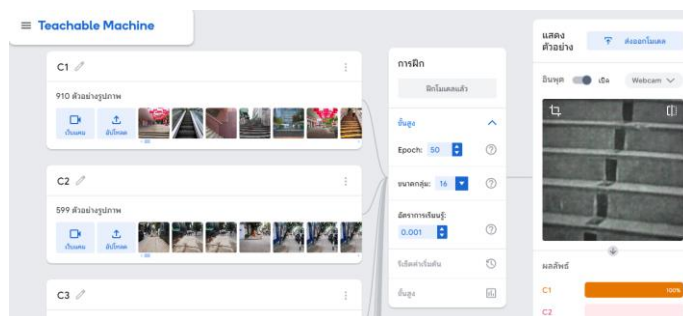
ข้อมูลภาพถ่ายถูกถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟนในสถานที่จริงทั้งในอาคารและนอกอาคาร รวมถึงพื้นที่ที่มีทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางหลากหลาย เช่น บันได ทางลาด พุตบาท เพอร์นิเจอร์ รถยนต์ และคน โดยมีการเก็บข้อมูลในสภาพแสงที่แตกต่างกัน (ภายในและภายนอกอาคาร) ข้อมูลที่รวบรวมทั้งหมดมีจำนวน 6,439 ภาพ ถูกแบ่งออกเป็น Training Set (80%) และ Test Set (20%) เพื่อใช้ในกระบวนการฝึกและทดสอบโมเดล ข้อมูลภาพถูกปรับขนาดเป็น 224x224 พิกเซล เพื่อให้เข้ากับโมเดลที่ออกแบบไว้ และทำการเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation) เช่น การหมุนภาพ (Rotation) การสะท้อนแนวนอน (Horizontal Flip) และการปรับค่าความสว่าง (Brightness Adjustment) เพื่อเพิ่มความหลากหลายให้กับชุดข้อมูล นอกจากนี้ ยังมีการกำจัดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ภาพเบลอหรือภาพที่มีแสงเกินไป ข้อมูลภาพถ่ายถูกแบ่งออกเป็น 11 คลาส มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของข้อมูลภาพถ่าย

ลำดับที่	ชื่อคลาส	คำอธิบาย	จำนวนภาพ	Training Set	Test Set
1	C1	บันไดภายในและภายนอกอาคาร	910	728	182
2	C2	พุตบาท	599	479	120
3	C3	ทางลาดหน้าอาคารสำหรับวีลแชร์	750	600	150
4	C4	โต๊ะ เก้าอี้ ชั้นหนังสือ ภายในอาคาร	770	616	154
5	C5	คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ เครื่องพิมพ์	540	432	108
6	C6	โต๊ะหินอ่อน ถังขยะ เส้าไฟฟ้า ต้นไม้	455	364	91
7	C7	รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถจักรยาน	400	320	80
8	C8	ถนน ทางเท้า	865	692	173
9	C9	รั้ว ที่กั้น	400	320	80
10	CA	คน สัตว์	200	160	40
11	CB	อื่น ๆ	550	440	115

3.2 การพัฒนาโมเดล AI และการประเมินผล

งานวิจัยนี้ใช้ Teachable Machine ซึ่งเป็นเครื่องมือที่พัฒนาโดย Google เพื่อสร้างโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) สำหรับการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง โมเดลที่พัฒนาขึ้นเป็นโมเดลประเภทการจำแนกภาพ (Image Classification) โดยมีการอัปโหลดข้อมูลภาพที่ถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟน ซึ่งแบ่งออกเป็น 11 คลาส Teachable Machine ใช้โครงสร้างโมเดล MobileNet ซึ่งเป็นโมเดลที่ผ่านการฝึกฝนมาก่อน (Pretrained Model) และมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานบนอุปกรณ์พกพาที่มีทรัพยากรจำกัด หลังจากการฝึกฝนเสร็จสิ้น โมเดลจะถูกส่งออก (Export) ออกมาในรูปแบบ TensorFlow Lite (.tflite) สำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ IoT และ TensorFlow.js สำหรับการใช้งานในเว็บเบราว์เซอร์ การสร้างโมเดลด้วย Teacher Machine แสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยการฝึกโมเดลดำเนินการโดยกำหนดรอบการฝึกฝน (Epochs) ไว้ที่ 50 รอบ และค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ถูกตั้งค่าโดยระบบอัตโนมัติ



รูปที่ 1 การสร้างโมเดลด้วย Teachable Machine

หลังจากการฝึกโมเดลเสร็จสิ้น ประสิทธิภาพของโมเดลได้รับการประเมินผ่านชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่เคยถูกใช้ในการฝึกมาก่อน เพื่อวัดความสามารถในการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางในสถานการณ์จริง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางได้อย่างแม่นยำ โดยค่าชี้วัดที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย Precision, Recall, และ F1-Score สำหรับแต่ละคลาส และผลรวมทั้งหมด โมเดลถูกวิเคราะห์เพิ่มเติมผ่าน Confusion Matrix เพื่อระบุข้อผิดพลาดในการจำแนก ซึ่งช่วยให้เข้าใจจุดอ่อนของโมเดลในบริบทของการใช้งานจริง ผลการทดสอบโมเดลแสดงได้ดังตารางที่ 2 – 3

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบโมเดลในรูปแบบ Confusion Matrix

คลาส	ผลการทำนายคลาส										
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB
C1	180	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	110	3	0	0	0	0	7	0	0	0
C3	0	6	144	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	149	0	5	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	98	0	0	0	0	0	10
C6	0	0	0	6	0	85	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	0	0	77	0	0	0	3
C8	0	5	2	0	0	0	0	166	0	0	0
C9	0	0	0	3	0	0	0	0	72	0	5
CA	0	0	0	0	0	0	0	3	0	37	0
CB	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	113

ผลการทดสอบโมเดลในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางทั้ง 11 คลาส โดยมีประสิทธิภาพสูงในหลายคลาส เช่น C1 และ CB ซึ่ง C1 มีจำนวนตัวอย่างถูกต้อง (True Positives) 180 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 182 ตัวอย่าง และ CB มีจำนวนตัวอย่างถูกต้อง 113 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 115 ตัวอย่าง มีข้อผิดพลาด (False Negatives) เท่ากันเพียง 2 ตัวอย่าง ส่วนข้อผิดพลาดส่วนใหญ่อยู่ในคลาส C2

และ C5 ซึ่งใน C2 ถูกคาดการณ์ผิดเป็น C8 ถึง 7 ตัวอย่าง ในทางกลับกัน C8 ถูกคาดการณ์ผิดเป็น C2 ถึง 5 ตัวอย่าง ส่วนใน C5 ถูกคาดการณ์ผิดเป็น CB ถึง 10 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบจากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโมเดลในการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางทั้ง 11 คลาส โดยมีค่าชี้วัดหลัก ได้แก่ Precision, Recall, และ F1-Score ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำและความสมบูรณ์ของการจำแนก โมเดลมีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดี โดยเฉพาะในคลาสที่ข้อมูลมีความชัดเจน เช่น C1 ซึ่งมี Precision สูงถึง 100% และ Recall 98.90% ส่งผลให้ F1-Score อยู่ที่ 99.45% นอกจากนี้ คลาส C7 และ CA ยังมี F1-Score สูงถึง 98.09% และ 96.10% ตามลำดับ คลาส C5, C7, C9 และ CA แสดงผลลัพธ์ที่ยอดเยียม โดยมี Precision เท่ากับ 100% ซึ่งหมายความว่าไม่มีข้อผิดพลาดใน FP (False Positives) อย่างไรก็ตาม โมเดลยังมีข้อจำกัดในคลาสที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น CB และ C2 โดย CB มี Precision ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับคลาสอื่น ๆ ที่ 86.26% แม้ว่า Recall จะอยู่ที่ 98.26% นอกจากนี้ คลาส C2, C9 และ CB ยังมีข้อผิดพลาดในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะในกรณีที่คาดการณ์ผิดในกลุ่มคลาสที่คล้ายกัน

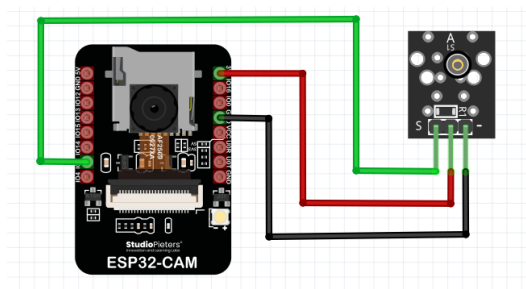
ตารางที่ 3 ผลการวัดประสิทธิภาพโมเดล

Class	TP	FP	FN	TN	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
C1	180	0	2	1111	99.85	100.00	98.90	99.45
C2	110	11	10	1162	98.38	90.91	91.67	91.29
C3	144	7	6	1136	98.99	95.36	96.00	95.68
C4	149	9	5	1130	98.92	94.30	96.75	95.51
C5	98	0	10	1185	99.23	100.00	90.74	95.15
C6	85	7	6	1195	98.99	92.39	93.41	92.90
C7	77	0	3	1213	99.77	100.00	96.25	98.09
C8	166	10	7	1110	98.69	94.32	95.95	95.13
C9	72	0	8	1213	99.38	100.00	90.00	94.74
CA	37	0	3	1253	99.77	100.00	92.50	96.10
CB	113	18	2	1160	98.45	86.26	98.26	91.87

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวม โมเดลมีค่า F1-Score โดยเฉลี่ยสูง ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการจำแนกข้อมูลได้ดี อย่างไรก็ตาม ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในคลาสที่มีความคล้ายคลึงกันชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการเพิ่มข้อมูลที่มีความหลากหลายหรือการปรับปรุงโมเดลให้เหมาะสมยิ่งขึ้นสำหรับการใช้งานในสถานการณ์จริง

3.2 การพัฒนาระบบไม้เท้าอัจฉริยะและการทดสอบใช้งานจริง

ไม้เท้าสำหรับผู้พิการทางสายตาที่พัฒนานี้ถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการเดินทาง โดยมีการผสมผสานเทคโนโลยี IoT และ AI เพื่อช่วยในการตรวจจับทางต่างระดับและแจ้งเตือนสิ่งกีดขวาง ESP32-CAM ถูกเลือกใช้เป็นฮาร์ดแวร์หลัก เนื่องจากมีขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ และสามารถจับภาพพร้อมประมวลผลได้ในตัว โมดูลนี้ถูกติดตั้งบริเวณส่วนบนของไม้เท้าเพื่อจับภาพเส้นทางด้านหน้า ขณะที่มอเตอร์สั่นถูกติดตั้งใกล้กับด้ามจับเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านแรงสั่นสะเทือนเมื่อพบทางต่างระดับ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการพัฒนาถูกออกแบบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรระบบไม้เท้าอัจฉริยะ

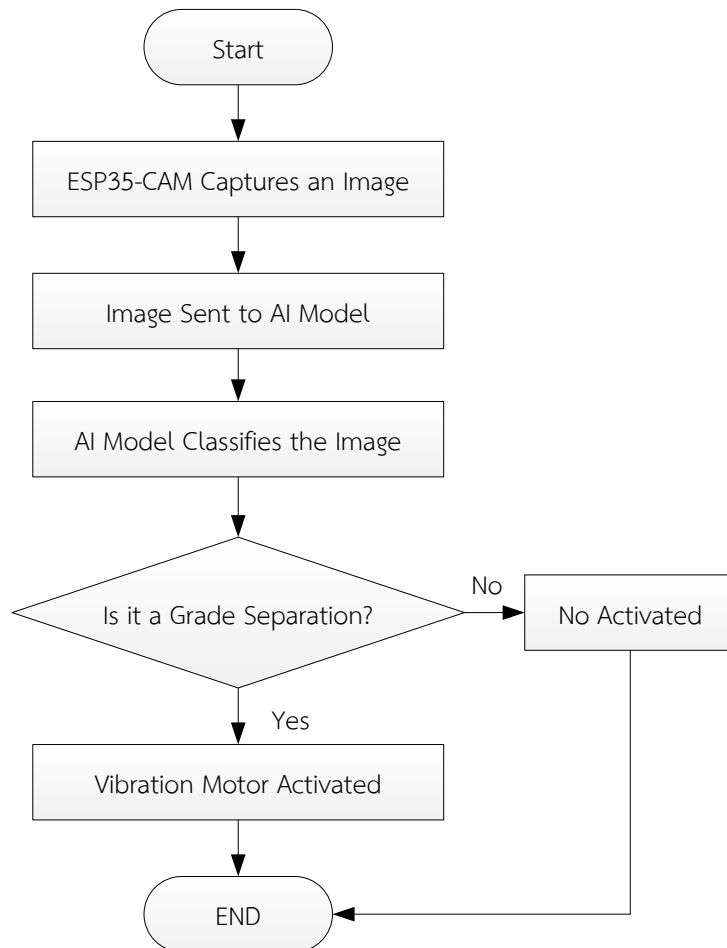
จากรูปที่ 2 มอเตอร์สันสะเทือนทำงานที่แรงดัน 2.5-3.8 V กระแส 75m A ซึ่งสามารถใช้แรงดันไฟฟ้า 3V3 จาก ESP32-CAM ได้ แต่กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาก่อนข้างต่ำจึงต้องต่อทรานซิสเตอร์เพื่อเพิ่มกระแสขับมอเตอร์ และเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปจนสามารถใช้ตัวต้านทาน 1-5 k Ω เพื่อลดทอนกระแสไฟฟ้าได้ ในขณะที่มอเตอร์ หมุนอาจเกิดไฟกระชากจากแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดของมอเตอร์สร้างขึ้นอย่างฉับพลัน จึงต้องใช้ไดโอดต่อขนานแบบ ไบอัสกลับ (Reversed bias) เพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลย้อนเข้าไปที่ตัวประมวลผล และใส่ตัวเก็บประจุ 0.1 μ F เพื่อ ดูดซับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อกับขดลวดของมอเตอร์

ระบบไม้เท้าอัจฉริยะนี้ทำงานโดย ESP32-CAM จะจับภาพแบบเรียลไทม์และส่งข้อมูลไปยังโมเดล AI ที่สร้าง จาก Teachable Machine โมเดลดังกล่าวสามารถจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง เช่น บันได ทางลาด พุต พาท เฟอร์นิเจอร์ รถยนต์ หรือคน เมื่อโมเดลพบทางต่างระดับในเส้นทาง ESP32-CAM จะส่งคำสั่งให้มอเตอร์สัน ทำงานเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งาน ระบบทั้งหมดได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่แบบพกพา และมีการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า อย่างปลอดภัยเพื่อรองรับการใช้งานในระยะยาว ในกระบวนการพัฒนา ซอฟต์แวร์สำหรับ ESP32-CAM ถูกเขียนใน Arduino IDE โดยเริ่มจากการตั้งค่าการเชื่อมต่อ Wi-Fi และการโหลดโมเดล AI ในรูปแบบ TensorFlow Lite ที่สร้างจาก Teachable Machine การทดสอบระบบดำเนินการในสภาพแวดล้อมจริงทั้งภายในอาคารและกลางแจ้ง โดยครอบคลุมระยะการตรวจจับ 1-3 เมตร และแบ่งคลาสทั้งหมด 11 คลาส ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) ทางต่างระดับ (2) สิ่งกีดขวาง โดยแบ่งกลุ่มมีรายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดของข้อมูลภาพถ่าย

ลำดับที่	ชื่อคลาส	กลุ่ม
1	C1	ทางต่างระดับ
2	C2	ทางต่างระดับ
3	C3	ทางต่างระดับ
4	C4	สิ่งกีดขวาง
5	C5	สิ่งกีดขวาง
6	C6	สิ่งกีดขวาง
7	C7	สิ่งกีดขวาง
8	C8	สิ่งกีดขวาง
9	C9	สิ่งกีดขวาง
10	CA	สิ่งกีดขวาง
11	CB	สิ่งกีดขวาง

ระบบไม้เท้าอัจฉริยะนี้ถูกออกแบบมาให้สามารถตรวจจับและจำแนกทางต่างระดับในเส้นทางของผู้ใช้งาน โดยการทำงานเริ่มต้นจาก ESP32-CAM ซึ่งติดตั้งอยู่บนไม้เท้าสำหรับผู้พิการทางสายตา ทำหน้าที่จับภาพบริเวณด้านหน้าแบบเรียลไทม์ ภาพที่ได้จะถูกส่งไปยังโมเดล AI ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยใช้ Teachable Machine เพื่อทำการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง โมเดลถูกออกแบบให้สามารถแยกกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ ทางต่างระดับ และ สิ่งกีดขวาง หากระบบพิจารณาแล้วว่าภาพดังกล่าวเป็นทางต่างระดับ ESP32-CAM จะส่งสัญญาณไปยังมอเตอร์สั่นที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้ามจับไม้เท้าเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานทันที ระบบทั้งหมดได้รับการออกแบบให้ทำงานแบบเรียลไทม์และมีความแม่นยำสูงเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุขณะเดินทาง การใช้มอเตอร์สั่นเป็นตัวแจ้งเตือนช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ถึงทางต่างระดับได้โดยไม่ต้องใช้การมองเห็น ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในสถานการณ์จริงที่ต้องการการตอบสนองรวดเร็ว ขั้นตอนการทำงานแสดงได้ดังแผนผังงานในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานของระบบ

แผนผังการทำงานของระบบไม้เท้าอัจฉริยะนี้แสดงให้เห็นกระบวนการตรวจจับทางต่างระดับและการแจ้งเตือนผ่านมอเตอร์สั่น ระบบเริ่มต้นด้วยการเปิดใช้งาน (Start) และให้ ESP32-CAM ทำการจับภาพของสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ เมื่อได้ภาพแล้ว ข้อมูลจะถูกส่งไปยัง โมเดล AI ซึ่งได้รับการฝึกฝนให้สามารถจำแนกประเภทของพื้นผิวและสิ่งกีดขวางได้อย่างแม่นยำ หลังจากการประมวลผล โมเดลจะทำการจำแนกภาพและ

วิเคราะห์ว่าภาพดังกล่าวเป็นทางต่างระดับหรือไม่ หากโมเดลระบุว่าภาพที่ได้รับเป็น "ทางต่างระดับ" (Grade Separation) ระบบจะสั่งให้ มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ทำงานเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานให้ทราบถึงอุปสรรคที่อยู่เบื้องหน้า อย่างไรก็ตาม หากผลลัพธ์ของการจำแนกพบว่าไม่มีทางต่างระดับ ระบบจะไม่ดำเนินการใด ๆ และรอรับภาพใหม่จาก ESP32-CAM เพื่อดำเนินการตรวจสอบต่อไป กระบวนการนี้ดำเนินไปแบบ วนซ้ำ (Looping Process) เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ใช้งานจะได้รับการแจ้งเตือนอย่างทันท่วงทีเมื่อมีสิ่งกีดขวางหรือทางต่างระดับที่ต้องระวัง

4. ผลการวิจัย

หลังจากการพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะ ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในสภาพแวดล้อมจริง ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร โดยเน้นการทดสอบความสามารถในการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง 2 กลุ่มหลัก คือ ทางต่างระดับ และ สิ่งกีดขวาง ผู้ทดสอบประกอบด้วยอาสาสมัครจำนวน 10 คน โดยในการทดสอบนี้ไม่ได้ใช้ผู้พิการทางสายตาจริง เนื่องจากข้อจำกัดด้านความปลอดภัยและจริยธรรม ซึ่งอาจเกิดอันตรายจากการที่ผู้พิการทางสายตาไม่สามารถมองเห็นสิ่งกีดขวางได้อย่างชัดเจน แม้ว่าจะมีไม้เท้าอัจฉริยะช่วยแจ้งเตือน แต่ในสภาพแวดล้อมจริง อาจมีปัจจัยอื่นๆ เช่น พื้นผิวที่ไม่เรียบ เสียงรบกวน หรือสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนไหว ซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยของผู้ทดสอบ จึงเลือกใช้อาสาสมัครทั่วไปที่มีสุขภาพแข็งแรง และสามารถปฏิบัติตามคำแนะนำในการทดสอบได้อย่างถูกต้อง การทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดสอบไม้เท้าอัจฉริยะด้วยอาสาสมัคร

การทดสอบดำเนินการโดยให้ผู้ทดสอบถือไม้เท้าอัจฉริยะเดินในเส้นทางที่กำหนดไว้ ซึ่งมีทั้งทางต่างระดับและมีการจัดวางสิ่งกีดขวางประเภทต่างๆ เช่น บันได ทางลาด พุตบาท เฟอร์นิเจอร์ รถยนต์ หรือคน โดยมีระยะการตรวจจับตั้งแต่ 1 ถึง 3 เมตร ผลการทดสอบในตารางที่ 5 และสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของระบบเพิ่มเติมได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบไม้เท้าอัจฉริยะ

สิ่งกีดขวาง	ทางต่างระดับ	สิ่งกีดขวาง
ทางต่างระดับ	48	2
สิ่งกีดขวาง	1	49

ตารางที่ 6 ค่าประสิทธิภาพของระบบ

การจำแนก	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
ทางต่างระดับ	97.00	97.96	96.00	96.97
สิ่งกีดขวาง	97.00	96.08	98.00	97.03

จากผลการทดสอบ พบว่าระบบไม้เท้าอัจฉริยะมีความแม่นยำในการจำแนก ทางต่างระดับ และ สิ่งกีดขวาง ในระดับที่น่าพอใจ โดยมีค่า Accuracy เท่ากันที่ 97.00% ระบบมีความสามารถในการจำแนก ทางต่างระดับ ได้แม่นยำกว่า (Precision 97.96%) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่โมเดล AI ได้รับการฝึกฝนด้วยข้อมูลภาพถ่ายสิ่งกีดขวาง ประเภท ทางต่างระดับ ที่มีความหลากหลายมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ระบบยังมีข้อผิดพลาดในการจำแนกทางต่างระดับ อยู่บ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สิ่งกีดขวางที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับทางต่างระดับ เช่น ทางลาดสำหรับวีลแชร์ ซึ่งอาจทำให้ระบบจำแนกเป็น ถนน ได้

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากการพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการตรวจจับและแจ้งเตือนทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง ระบบใช้ ESP32-CAM สำหรับบันทึกภาพและส่งข้อมูลไปประมวลผลด้วยโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ได้รับการฝึกฝนให้สามารถจำแนกประเภทของสิ่งกีดขวางได้ 11 ประเภท ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า โมเดลปัญญาประดิษฐ์มีความแม่นยำในการจำแนกทางต่างระดับอยู่ที่ 97.96% และสามารถจำแนกสิ่งกีดขวางได้อย่างถูกต้องถึง 96.08% ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำของระบบ นอกจากนี้ ระบบแจ้งเตือนผ่านมอเตอร์สั่นที่ติดตั้งบนด้ามจับสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อตรวจพบทางต่างระดับหรือสิ่งกีดขวาง การทดสอบและประเมินผลยืนยันว่าไม้เท้าอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานจริงได้ ช่วยให้ผู้ใช้พิการทางสายตามีความปลอดภัยมากขึ้นในการเดินทาง และสามารถใช้ชีวิตประจำวันได้อย่างสะดวกสบายยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อช่วยเหลือคนพิการทางสายตาซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lei (2022) ที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI ร่วมกับ IoT และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Kumar & Jain (2022) ที่ใช้ไม้เท้าอัจฉริยะด้วย YOLOv5 มีความแม่นยำ 89.24% แต่งานวิจัยนี้โมเดลมีความแม่นยำในการจำแนกประเภททางต่างระดับและสิ่งกีดขวางอยู่ที่ 97.96% และ 96.08% ตามลำดับ

ไม้เท้าอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นนี้มีศักยภาพสูงในการช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาให้สามารถเดินทางได้อย่างปลอดภัยและสะดวกยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังมีแนวทางเพิ่มเติมในการพัฒนาต่อยอด โดยเฉพาะการเพิ่มระบบแจ้งเตือนด้วยเสียง การพัฒนาโมเดล AI ให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น การใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และการออกแบบให้ไม้เท้ามีความทนทานและใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น การทำงานร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านผู้พิการและการทดสอบในสถานการณ์จริงจะเป็นปัจจัยสำคัญในการยกระดับเทคโนโลยีนี้ให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Bhosle, P., Pal, P., Khobragade, V., Singh, S. K., & Kenekar, P. (2022). Smart Navigation System Assistance for Visually Impaired People. *2022 International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT)*, 1-5.
- Chaple, S., Raut, V., & Patni, J. C., et al. (2024). Artificial intelligence on visually impaired people: A comprehensive review. *Proceedings of the 2024 5th International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*, 304–308. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICV62344.2024.00052>
- Kumar, N., & Jain, A. (2022). A deep learning-based model to assist blind people in their navigation. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 21, 95-114.
- Lei, Y., Phung, S. L., & Bouzerdoun, A., et al. (2022). Pedestrian lane detection for assistive navigation of vision-impaired people: Survey and experimental evaluation. *IEEE Access*, 10, 101071–101089. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3208128>
- Lin, Y., Wang, K., & Yi, W., et al. (2019). Deep learning-based wearable assistive system for visually impaired people. *Proceedings of the 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, 2549–2557. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCVW.2019.00312>
- Nataraj, B., Prabha, K. R., Abinaya, R., Rani, R. D., & Christina, V. S. (2024). Smart Cane with Object Recognition System. *2024 5th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, 1438-1443.
- Tripathi, S., Singh, S., & Tanya, T., et al. (2023). Analysis of obstruction avoidance assistants to enhance the mobility of visually impaired person: A systematic review. *Proceedings of the 2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication (AISC)*, 134–142. IEEE. <https://doi.org/10.1109/AISC56616.2023.10085416>
- Tyagi, N., Sharma, D., & Singh, J., et al. (2021). Assistive navigation system for visually impaired and blind people: A review. *Proceedings of the 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Machine Vision (AIMV)*, 1–5. IEEE. <https://doi.org/10.1109/AIMV53313.2021.9670951>
- Zafar, S., Asif, M., & Ahmad, M. B., et al. (2022). Assistive devices analysis for visually impaired persons: A review on taxonomy. *IEEE Access*, 10, 13354–13366. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3146728>

คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างของการผสมผสานเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับอุปกรณ์ช่วยเหลือทางการแพทย์ โดยนำเสนอแนวทางใหม่ในการใช้ ESP32-CAM และโมเดล AI เพื่อจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา และยังแสดงให้เห็นถึงแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือทางการแพทย์ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ และอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปต่อยอดในงานวิจัยด้านเทคโนโลยีเพื่อสุขภาพและการช่วยเหลือผู้พิการในอนาคต

รายละเอียดและคำแนะนำการเตรียมบทความเสนอการตีพิมพ์
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Industrial Technology Journal, Surindra Rajabhat University

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ได้เปิดรับบทความจากนักวิชาการ นักวิจัยและนักศึกษา ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย มีกำหนดการตีพิมพ์ปีละ 2 ครั้ง คือ ในรอบเดือน มกราคม – มิถุนายน และรอบเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม โดยยินดีรับบทความที่มีขอบเขตเนื้อหาเกี่ยวข้องกับศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและสหวิทยาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยทุกบทความจะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิไม่น้อยกว่า 2 ท่าน

ขั้นตอนการดำเนินงานจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

1. รับต้นฉบับจากผู้สนใจตีพิมพ์บทความผ่านระบบ ThaiJo (<https://www.tci-thaijo.org/index.php/journalindus/login>)
2. กองบรรณาธิการตรวจสอบความสมบูรณ์ความถูกต้องและคุณภาพของบทความต้นฉบับ
3. กองบรรณาธิการเตรียมต้นฉบับจัดส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviews) ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง ไม่น้อยกว่าสองท่านต่อหนึ่งบทความ ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้แต่ง (Authors) จะไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (Double – blind Peer Reviews) โดยบทความที่ลงตีพิมพ์นั้นจะต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งสองท่านหรือสองในสามท่าน
ทั้งนี้ ความคิดเห็นเกี่ยวกับบทความมีดังนี้
 - Accept Submission = รับตีพิมพ์บทความโดยให้กองบรรณาธิการพิจารณาอีกครั้ง
 - Revisions Required = แก้ไขบทความโดยให้บรรณาธิการพิจารณาอีกครั้ง
 - Resubmit for Review = ผู้แต่งต้องแก้ไขบทความส่งกลับมาให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบอีกครั้ง
 - Resubmit Elsewhere = ปฏิเสธรับตีพิมพ์บทความ กรณีที่ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตของวารสาร และการเตรียมบทความ ทั้งนี้ให้ผู้แต่งส่งบทความตีพิมพ์ในวารสารอื่น
 - Decline Submission = ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ
 - See Comments = พิจารณาข้อเสนอแนะของผู้ประเมินบทความ
4. กองบรรณาธิการส่งต้นฉบับที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วพร้อมสรุปผลการประเมินคุณภาพต้นฉบับและจัดส่งผู้แต่งเพื่อปรับปรุงแก้ไข พร้อมให้ชี้แจงการปรับแก้ไขกลับมายังกองบรรณาธิการ
5. กองบรรณาธิการตรวจสอบการปรับปรุงแก้ไขความถูกต้อง และรูปแบบการเขียนต้นฉบับ
6. บรรณาธิการตอบรับการตีพิมพ์และเผยแพร่ต้นฉบับดังกล่าวผ่านระบบฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์กลาง (<https://www.tci-thaijo.org/index.php/journalindus/login>) จากนั้น จะออกหนังสือตอบรับการตีพิมพ์บทความอย่างเป็นทางการจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์อีกครั้ง
7. กองบรรณาธิการรวบรวมต้นฉบับและตรวจสอบความถูกต้อง ก่อนจัดส่งโรงพิมพ์เพื่อจัดทำวารสารฉบับร่าง
8. กองบรรณาธิการตรวจสอบความถูกต้องของวารสารฉบับร่างจากโรงพิมพ์อีกครั้ง จากนั้นจึงส่งตีพิมพ์เผยแพร่

9. กองบรรณาธิการเผยแพร่วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ผ่านระบบฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์กลาง (<https://www.tci-thaijo.org/index.php/journalindus/login>) และจัดส่งวารสารฉบับตีพิมพ์ให้กับผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่ง และหน่วยงานอื่น ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ทางวิชาการต่อไป

หลักเกณฑ์ในการส่งบทความของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

1. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ
2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียนแบบ หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่นโดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)
3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในหัวข้อ “คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียนบทความเพื่อการพิจารณาตีพิมพ์” ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น
5. กรณีมีข้อเสนอนั้นจากผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอนั้นของผู้ทรงคุณวุฒิ และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการ

คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียนบทความเพื่อการพิจารณาตีพิมพ์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ รับบทความที่มีขอบเขตเนื้อหาในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยรับบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทความที่รับพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ มีสองลักษณะ และความยาวของบทความควรเป็นดังนี้

- 1) บทความวิจัย (Research Article) ประมาณ 15 หน้า ต่อบทความ
- 2) บทความทางวิชาการ (Article) ประมาณ 10 หน้า ต่อบทความ

ผู้เขียนสามารถจัดเตรียมต้นฉบับเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่บทความภาษาไทยจะต้องมีชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด อีเมล บทคัดย่อและคำสำคัญเป็นภาษาอังกฤษด้วย โดยบทความที่เสนอจะต้องพิมพ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมเวิร์ดโปรเซสเซอร์ ใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK กำหนดตั้งค่าหน้ากระดาษซ้าย 2 เซนติเมตร ขวา 1.5 เซนติเมตร บน 2 เซนติเมตร ล่าง 1.5 เซนติเมตร กำหนดการตั้งแท็บ คือ 1.00 1.59 2.06 2.54 และ 3.02 เซนติเมตร ลงบนกระดาษขนาด B5 (182 x 257 mm) พิมพ์ต้นฉบับแบบขาว - ดำ โดยยึดรูปแบบการพิมพ์ตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารนี้ โดยขนาดและรูปแบบให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบตัวอักษรภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

รายการ	แบบอักษรและขนาด	การจัดตำแหน่ง	ลักษณะตัวอักษร
ชื่อเรื่อง	TH Sarabun PSK 18 pt	กึ่งกลาง	ตัวหนา
ชื่อและที่อยู่ผู้เขียน	TH Sarabun PSK 14 pt	กึ่งกลาง	ตัวหนา
หัวข้อ	TH Sarabun PSK 14 pt	ชิดซ้าย	ตัวหนา
เนื้อเรื่อง	TH Sarabun PSK 14 pt	กระจายแบบไทย	ตัวธรรมดา
ชื่อรูป	TH Sarabun PSK 14 pt	ชิดซ้าย	ตัวหนาเฉพาะคำว่า รูปที่ x
ชื่อตาราง	TH Sarabun PSK 14 pt	ชิดซ้ายอยู่เหนือตาราง	ตัวหนาเฉพาะคำว่า ตารางที่ x
ชื่อเอกสารอ้างอิง	TH Sarabun PSK 14 pt	ชิดซ้าย	ตัวธรรมดา

บทความภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน โดยหลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทยในข้อความ และถ้าในบทความมีศัพท์เทคนิคหรือศัพท์เฉพาะให้ใช้คำทับศัพท์ และ/หรือ ศัพท์บัญญัติ พร้อมวงเล็บคำศัพท์ภาษาอังกฤษนั้นด้วย

การเขียนภาษาอังกฤษเพื่ออธิบายศัพท์ทางเทคนิคให้เขียนในวงเล็บภาษาอังกฤษต่อท้ายคำศัพท์นั้น ๆ โดยอธิบายเพียงครั้งแรกที่ศัพท์นั้นปรากฏในบทความ โดยใช้ตัวพิมพ์เล็ก (Small Letter) ยกเว้นชื่อเฉพาะ ชื่อคน หรือ อักษรย่อที่ต้องใช้หรือขึ้นต้นด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ (Capital Letter)

การพิมพ์จะไม่มีการเว้นบรรทัด เว้นแต่หากต้องการขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นหนึ่งบรรทัดหรือการแทรกตารางหรือรูปภาพและเว้นอีกหนึ่งบรรทัดก่อนจะขึ้นย่อหน้าใหม่หลังการแทรกตารางหรือรูปภาพดังกล่าว

การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่องให้ใช้เลขกำกับนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับกับหัวข้อย่อย เช่น 1.1 เป็นต้น

สำหรับการอ้างอิงเอกสารต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งบทความ ทั้งนี้ให้ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 11 เอกสารอ้างอิง (References)

เอกสารต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งบทความ ทั้งนี้บทความประเภทต่าง ๆ ในวารสารเล่มนี้ มีหัวข้อโดยประมาณ ดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)	บทความวิชาการ (Article)
1. ชื่อเรื่อง (Title) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ	1. ชื่อเรื่อง (Title) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
2. รายชื่อผู้เขียน (Authors) สถานที่ทำงาน (Addresses) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และที่อยู่อีเมลของนักวิจัยหลัก (E - mail Address)	2. รายชื่อผู้เขียน (Authors) สถานที่ทำงาน (Addresses) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และที่อยู่อีเมลของนักวิจัยหลัก (E - mail Address)
3. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ	3. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
4. บทนำ (Introduction)	4. ประเด็นหัวข้อ/เนื้อหาสาระ
5. วัตถุประสงค์ (Research Objectives)	5. สรุป (Conclusion)
6. วิธีการวิจัย (Methodology)	6. เอกสารอ้างอิง (References)
7. ผลการวิจัย (Results)	
8. อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion)	
9. ข้อเสนอแนะ (Suggestion)	
10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) - ถ้ามี	
11. เอกสารอ้างอิง (References)	
12. คุณค่าทางวิชาการ (Academic Value)	

1. ชื่อเรื่อง (Title)

ควรกะทัดรัดไม่ยาวจนเกินไป ถ้าบทความเป็นภาษาไทย ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2. รายละเอียดผู้แต่งบทความ

2.1 รายชื่อผู้เขียน (Authors) ให้เขียนชื่อเต็ม นามสกุลเต็ม ของผู้แต่งครบทุกคน ทั้งบทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2.1.1 ไม่ใส่ตำแหน่งทางวิชาการ ยศ ตำแหน่งทางทหาร สถานภาพทางการศึกษา หรือ คำนำหน้าชื่อหรือท้ายชื่อ และไม่ต้องระบุสถานภาพผู้แต่ง เช่น นักศึกษาปริญญาเอก หรืออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นต้น

2.1.2 ให้ใส่ตัวเลขเป็นตัวยกกำกับท้ายนามสกุลของผู้แต่งทุกคน และใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) เฉพาะผู้รับผิดชอบบทความ (คนที่ 1)

2.2 สถานที่ทำงาน (Addresses) ระบุชื่อคณะและสถาบันการศึกษาของผู้เขียนบทความทุกคนในกรณีที่มีผู้เขียนหลายคน ให้ใส่ตัวเลขเป็นตัวยกกำกับท้ายสถานที่ทำงานของผู้แต่งทุกคน และใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) เฉพาะสถานที่ทำงานของผู้รับผิดชอบบทความ (คนที่ 1)

2.3 ที่อยู่อีเมลของนักวิจัยหลัก (E - mail Address) ระบุอีเมลที่ใช้ติดต่อของผู้รับผิดชอบบทความหลัก ทั้งนี้ตัวอย่างการเขียนรายละเอียดผู้แต่งบทความ

ในบทความภาษาไทยและบทความภาษาอังกฤษให้พิมพ์เช่นเดียวกับรายละเอียดผู้แต่งบทความเพียงแต่แปลเป็นภาษาอังกฤษ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ รูปที่ 2

บัญชา ชื่นจิต^{1*} นวัตร โพธิสาร²
 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์^{1*}
 คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์²
 อีเมล : Bancha@srru.ac.th^{1*}

รูปที่ 1 ตัวอย่างการพิมพ์รายละเอียดผู้แต่งบทความเป็นภาษาไทย

Bancha Chunjit^{1*} Nawattakorn Phothisar²
 Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University^{1*}
 Faculty of Management technology, Rahanangala University of
 Technology Isan Surin Campus²
 E – mail : Bancha@srru.ac.th^{1*}

รูปที่ 2 ตัวอย่างการพิมพ์รายละเอียดผู้แต่งบทความเป็นภาษาอังกฤษ

3. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

บทคัดย่อภาษาไทย และบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ต้องมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 350 คำ และมีความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด โดยพิมพ์เว้นที่ว่าง 1 บรรทัดต่อจากรายละเอียดผู้แต่งบทความ และเป็นบทคัดย่อประกอบด้วยวัตถุประสงค์ (Objective) วิธีการวิจัย (Methods) สรุปผลการวิจัย (Conclusion) และคุณค่าหรือการนำไปใช้ประโยชน์

คำสำคัญ (Keywords) มีคำสำคัญ 3 - 5 คำ ที่ครอบคลุมชื่อเรื่องที่ศึกษา เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นหาข้อมูลและจัดเรียงคำสำคัญตามตัวอักษร ส่วนการเขียน Keywords ภาษาอังกฤษ ควรถูกต้องและชัดเจนตามหลักภาษา สอดคล้องกับคำสำคัญภาษาไทย โดยพิมพ์เว้นที่ว่าง 1 บรรทัดต่อบทคัดย่อ

4. บทนำ (Introduction)

เป็นส่วนของเนื้อหาที่อธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย ทั้งนี้ ควรอ้างอิงเอกสารและงานวิจัยที่มีความทันสมัยและความถูกต้องที่เกี่ยวข้องด้วยเพื่อให้มีน้ำหนักและเกิดความน่าเชื่อถือ โดยเป็นการอ้างอิงแทรกในเนื้อหา (In - text Citation) แบบนามปีที่ใช้ระบบ APA (American Psychological Association citation style)

5. วัตถุประสงค์ (Research Objectives)

วัตถุประสงค์มีความชัดเจนสอดคล้องกับชื่อบทความและอยู่ในกรอบของเรื่องที่ศึกษาวิจัย ไม่ควรเกิน 3 ข้อ

6. วิธีกรวิจัย (Methodology)

อธิบายถึงกระบวนการวิจัยอย่างละเอียดและชัดเจน เช่น ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ขอบเขตการศึกษา เครื่องมือที่ใช้และการเก็บรวบรวมข้อมูล และสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งถ้าต้องการอ้างถึงสมการ ผู้แต่งต้องพิมพ์ด้วยฟังก์ชันในการเขียนสมการในเวิร์ดโปรเซสเซอร์ เช่น Math Type หรือเครื่องมือสมการอื่น ๆ และห้ามบันทึกสมการเป็นรูปภาพเด็ดขาด โดยรูปแบบอักษรในสมการต้องเป็น Times New Roman ขนาด 12 point

สมการทุกสมการจะต้องมีหมายเลขที่อยู่ในวงเล็บกำกับและเรียงตามลำดับ หมายเลขสมการต้องอยู่ชิดขอบขวาของคอลัมน์ โดยพิมพ์เว้นที่ว่าง 1 บรรทัด ก่อนและหลังการเขียนสมการ ดังตัวอย่าง

$$f_{imp}^{TM^2} = \frac{\sqrt{\left(\frac{x_{mn}}{a}\right)^2 + \left(\frac{x_{mn}}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{L}\right)^2}}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (1)$$

การนิยามและอธิบายตัวแปรในสมการให้ใช้รูปแบบอักษรหรือสัญลักษณ์ที่เหมือนกันกับที่ปรากฏในสมการทั้งแบบอักษรและขนาดอักษร

7. ผลการวิจัย (Results)

เสนอผลการวิจัยที่ตรงประเด็นตามวัตถุประสงค์การวิจัย โดยการบรรยายในเนื้อเรื่อง หรือแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมด้วยภาพประกอบ ตาราง กราฟ หรือแผนภูมิ ตามความเหมาะสม

7.1 ข้อกำหนดเกี่ยวกับรูป ต้องมีความกว้างไม่เกินขอบหน้ากระดาษ โดยารรค 1 บรรทัด ก่อนและหลังรูป กรณีที่เป็นรูปขนาดใหญ่จะลงเต็มหน้ากระดาษทางขวาก็ได้ โดยให้จัดรูปแบบให้เหมาะสมและชัดเจน รูปกราฟหรือแผนภูมิต่าง ๆ ควรวาดด้วยลายเส้นคมชัดบนพื้นที่สีขาว รูปถ่ายต้องเป็นรูปจริงและเป็นรูปขาวดำเท่านั้น รูปประกอบแต่ละรูปจะต้องมีหมายเลขกำกับและมีคำบรรยายประกอบที่มีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด โดยจัดชิดซ้ายได้รูปที่ หากรูปมีตัวอักษร ขนาดของอักษรต้องมีขนาดที่อ่านได้และไม่ควรมีขนาดเล็กกว่าขนาดอักษรที่เป็นเนื้อเรื่อง (14 point) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 สายอากาศในการทดลองโดยมีสายโพรบเป็นสายวัดที่ต่อเข้ากับ Network Analyzer

7.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับตาราง เว้นที่ว่าง 1 บรรทัด ก่อนและหลังการเขียนตาราง ใช้ขนาดของตัวเลขและตัวอักษร 14 point ควรตีเส้นในตารางให้เรียบร้อย ตารางแต่ละตารางจะต้องมีหมายเลขกำกับและมีคำบรรยายตารางความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด พิมพ์ชิดขอบซ้ายเหนือตารางนั้น ๆ ดังตัวอย่างในตารางที่ 1 - 2

8. อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion)

ชี้แจงผลวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์หรือสมมุติฐานการวิจัย วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการวิจัยให้เข้ากับหลักทฤษฎีสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลการวิจัยของผู้อื่นที่มีอยู่ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

9. ข้อเสนอแนะ (Suggestion)

ระบุข้อเสนอแนะหรือการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทั้งประเด็นคำถามวิจัยซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) – ถ้ามี

ระบุสั้น ๆ ว่างานนี้ได้รับทุนสนับสนุนและความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง (ถ้ามี) โดยให้ละเว้นการกล่าวขอบคุณบุคลากรหรืออาจารย์ที่ปรึกษา

11. เอกสารอ้างอิง (References)

การเขียนบรรณานุกรมแบบ APA 7th เป็นรูปแบบการเขียนอ้างอิงแบบนาม-ปี โดยการระบุชื่อผู้เขียนและตามด้วยปีที่เขียน

การอ้างอิงชื่อผู้เขียนก่อนข้อความ

	ภาษาอังกฤษ	ภาษาไทย
ผู้แต่ง 1 คน	Last Name (Year) or Organization (Year)	ชื่อ นามสกุล (ปีพิมพ์) หรือ องค์กร (ปีที่พิมพ์)
ตัวอย่าง	Abrams (2018)	สรญา แสงเย็นพันธ์ (2565)
ผู้แต่ง 2 คน	Last Name ¹ and Last Name ² (Year)	ชื่อ นามสกุล ¹ และ ชื่อ นามสกุล ² (ปีพิมพ์)
ตัวอย่าง	Wegener and Petty (1994)	ธีรศักดิ์ อุปรมัย อุปไมยอริชัย และ สุชาติ บางวิเศษ (2563)
ผู้แต่ง 3+ คน	Last Name et al., (Year)	ชื่อ นามสกุล และคณะ (ปีที่พิมพ์)
ตัวอย่าง	Harris et al., (2018)	สรญา แสงเย็นพันธ์ และคณะ (2565)

- กรณีไม่ปรากฏปีที่พิมพ์ ให้ใส่ (ม.ป.ป.) หรือ (n.d.)
- กรณีพิมพ์ครั้งที่ 1 ไม่ต้องระบุครั้งที่พิมพ์
- กรณีไม่ปรากฏสถานที่พิมพ์ ให้ใส่ (ม.ป.ท.) หรือ (n.p.)

การลงชื่อผู้เขียน

ผู้เขียน 1 คน

ชื่อ นามสกุล./ (ปีพิมพ์)/ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่)/สำนักพิมพ์.

Author, A. A. (Year)./Title of the book/(Edition ed.)/Publisher.

ผู้เขียน 2 คน

ชื่อ นามสกุล¹ และชื่อ นามสกุล²./ (ปีพิมพ์)/ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่)/สำนักพิมพ์.

Author, A. A.¹ & Author, B. B.² (Year)./Title of the book/(Edition ed.)/Publisher.

ผู้เขียน 3-20 คน (โดยให้ใส่ชื่อ นามสกุลให้ครบทุกคน)

ชื่อ นามสกุล¹, ชื่อ นามสกุล², ³, ⁴, ⁵, ⁶, ⁷, ⁸, ⁹, ¹⁰, ¹¹, ¹², ¹³, ¹⁴, ¹⁵, ¹⁶, ¹⁷, ¹⁸, ¹⁹, และชื่อ นามสกุล²⁰./ (ปีพิมพ์)/
 /////ชื่อเรื่อง(พิมพ์ครั้งที่)/สำนักพิมพ์.

Author, A. A.¹, Author, B. B.², ³, ⁴, ⁵, ⁶, ⁷, ⁸, ⁹, ¹⁰, ¹¹, ¹², ¹³, ¹⁴, ¹⁵, ¹⁶, ¹⁷, ¹⁸, ¹⁹, และ Author, U. U.²⁰./
 ///// (Year)./ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่)/สำนักพิมพ์.

ผู้เขียนมากกว่า 21 คน

ชื่อ นามสกุล¹, ชื่อ นามสกุล^{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, ...}ชื่อ นามสกุล^N./ (ปีพิมพ์).
/////ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์.

Author, A. A.¹, Author, B. B.^{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, ...} Author, Z. Z.^N./ (Year).
/////ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์.

1. หนังสือ

ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง./ (พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์.

Author, A. A. (Year)./Title of the book/(Edition ed.)/Publisher

ตัวอย่าง

ชำนาญ ปาณวงษ์. (2567). *ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ : จากแนวคิดทฤษฎีสู่การปฏิบัติ* (พิมพ์ครั้งที่ 3).

/////สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ชัยรัตน์ มदनาค. (2567). *แคลคูลัส 1*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

Schmidt, N. A., & Brown, J. M. (2017). *Evidence-based practice for nurses: Appraisal and application of research* (4th ed.). Jones & Bartlett Learning, LLC.

กรณีที่ผู้แต่งเป็นนิติบุคคล เช่น หน่วยงาน องค์กร บริษัท หรือเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดพิมพ์ ใส่ชื่อย่อ ในส่วนของสำนักพิมพ์ หรือผู้รับผิดชอบในการจัดพิมพ์ได้ เช่น WHO, มหาวิทยาลัย, สถาบัน, กรม, โรงพยาบาล

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2564). *คู่มือการตรวจสอบการออกแบบและก่อสร้างอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. กรม.

World Health Organization. (2021). *World Health Statistics report 2021 monitoring health for the SDGs, sustainable development goals*. WHO

1.1 บทความหรือบทในหนังสือ (Book chapter)

ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ชื่อบทหรือชื่อบทความ./ใน/ชื่อบรรณาธิการ./ (บ.ก.), ชื่อหนังสือ./ (น./xx-xxx)./สำนักพิมพ์.

Author, A. A. (Year)./Title of the chapter./In Editor/(Eds.)/Title of the book/
///// (pp.xx-xxx)./Publisher.

ตัวอย่าง

วัลลภ สุขสวัสดิ์. (2561). แนวความคิดเรื่องชนชั้นนำทางการเมืองของกิตาโน มอสกา กับชนชั้นนำทางการเมือง

/////เมืองไทยในยุคมาลามาไทย. ใน วัชรพล ศุภจักรวัฒนา และวัชรพล พุทธิรักษา (บ.ก.), *ว่าด้วยทฤษฎี*

/////รัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์ร่วมสมัย (พิมพ์ครั้งที่ 2). (น. 47-68). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วรวรรณ จิตต์ธรรม. (2565). โรคหัวใจพิการแต่กำเนิดที่พบได้บ่อย. ใน วรวรรณ จิตต์ธรรม, จิรนนท์ วีรกุล,

/////ญาคินี อภิรักษ์นภานนท์ และชุตินา ผ่องสวามัญ (บ.ก.), *กุมารเวชศาสตร์ในเวชปฏิบัติ Pediatrics in*

/////practice. (น. 243-280). พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.

1.2 หนังสือแปล

ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่องหนังสือภาษาต้นฉบับ/[ชื่อหนังสือภาษาไทย]/ (พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

แบร์รี สมาร์. (2555). *Michel Foucault* [มิเชล ฟูโกต์]. ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน).

1.3 E-book

1.3.1 หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ไม่มี DOI

ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์). /ชื่อหนังสือ./ (พิมพ์ครั้งที่). /URL
 Author, A. A. (Year). /Title of the book./ (Edition ed.). /URL

ตัวอย่าง

จักรพันธ์ เพ็ชรภูมิ. (2562). พฤติกรรมสุขภาพ : แนวคิด ทฤษฎี และการประยุกต์ใช้.

//////// (พิมพ์ครั้งที่ 3). <https://www.ookbee.com>

Haslam, S. (2003). *Research Methods and Statistics in Psychology* (SAGE Foundations

//////// of Psychology series). <http://www.amazon.com>

1.3.2 บทความหรือบทในหนังสือ (Book chapter) ในรูปแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้แต่งในบท./ (ปีพิมพ์). /ใน/ ชื่อบรรณาธิการ./ (บ.ก.). /ชื่อหนังสือ (พิมพ์ครั้งที่. น. /xx-xx). /URL
 Author, A. A. (Year). /Title of the chapter./ In Editor/ (Eds.). /Title of the book/ (Edition ed.,
 ////////// pp./xx-xxx). /URL

ตัวอย่าง

วัลลภ สุขสวัสดิ์. (2561). แนวความคิดเรื่องชนชั้นนำทางการเมืองของกิตาโน มอสก้า กับชนชั้นนำทางการ

//////// เมืองไทยในยุคมาลามาไทย. ใน วัชรพล ศุภจักรวัฒนา และวัชรพล พุทธิรักษา (บ.ก.), ว่าด้วยทฤษฎี

//////// รัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์ร่วมสมัย (พิมพ์ครั้งที่ 2., น. 47-68).

//////// <https://www.mebmarket.com/ebook-273573-ว่าด้วยทฤษฎีรัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์>
 ////////// ร่วมสมัย.

1.3.3 หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่มี DOI

ชื่อ นามสกุล./ (ปีพิมพ์). /ชื่อหนังสือ./ (พิมพ์ครั้งที่). /<https://doi.org/xxxxxxx>
 Author, A. A. (Year). /Title of the book./ (Edition ed.). /<https://doi.org/xxxxxxx>

ตัวอย่าง

Chu, Z. (2022). *People-Oriented Education Transformation*. <https://doi.org/10.1007/978-981-16->

//////// 6353-6

2. วิทยานิพนธ์

2.1 วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ที่ไม่ได้ตีพิมพ์

Unpublished thesis or dissertations are usually sourced directly from the university in print form. Reference format

ชื่อ นามสกุล./ (ปีที่เผยแพร่). /ชื่อวิทยานิพนธ์/ [วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์หรือวิทยานิพนธ์
 ////////// ปริญญามหาบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. /ชื่อมหาวิทยาลัย.
 Author, A. A. (Year). /Title/ [Unpublished doctoral or master's thesis]. /Name of the Institution
 ////////// awarding the degree.

ตัวอย่าง

สรญา แสงเย็นพันธ์. (2559). *การพัฒนารูปแบบการเขียนบรรณานุกรมออนไลน์* [วิทยานิพนธ์ปริญญา

//////// มหาบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยนเรศวร

Stewart, Y. (2000). *Dressing the tarot* [Unpublished master's thesis]. Auckland University of Technology.

2.2 วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตจากเว็บไซต์ ไม่อยู่ในฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์

ชื่อ นามสกุล./ (ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎบัณฑิต หรือวิทยานิพนธ์ปริญา
/////////มหาบัณฑิต, /ชื่อมหาวิทยาลัย]./ชื่อเว็บไซต์./URL

ตัวอย่าง

วันชนะ จุปรจง. (2560). ระบบสนับสนุนการประมาณการสัมผัสแคตเมียมผ่านการบริโภคอาหาร (วิทยานิพนธ์
/////////ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร). ThaiLIS. https://tdc.thailis.or.th/tdc/search_result.php

Miller, T. (2019). *Enhancing readiness: An exploration of the New Zealand Qualified Firefighter*
/////////Programme [Master's thesis, Auckland University of Technology]. Tuwhera.

/////////https://openrepository.aut.ac.nz/handle/10292/12338

2.3 วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตจากฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์

ชื่อ นามสกุล./ (ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/(หมายเลข UMI หรือ เลขลำดับอื่น ๆ)
/////////[วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎบัณฑิต หรือวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,
/////////ชื่อมหาวิทยาลัย]./ชื่อฐานข้อมูล

ตัวอย่าง

Becker, J. C. (2013). *Landscape-level influences on community composition and ecosystem*
/////////function in a large river ecosystem (Publication No. 3577776) [Doctoral dissertation,
/////////Graduate Council of Texas State University – San Marcos]. ProQuest Dissertations
/////////and Theses Global.

3. วารสาร

3.1 วารสารแบบเล่ม

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่/(เลขของฉบับที่)./เลขหน้า.

ตัวอย่าง

วิชัย พานิชย์สวาย, สมุน ไวยบุญญา, พัชรพร ศุภกิจ, และรัตนกร หลวงแก้ว. (2562). ผลของการใช้บทเรียน PISA
/////////ที่มีต่อความสามารถด้านทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนระดับประถมศึกษา.
/////////วารสารการวิจัยพัฒนาชุมชน (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์), 12(3), 133-160.

3.2 วารสารออนไลน์

3.2.1 กรณีไม่มีเลข DOI

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่/(เลขของฉบับที่)./เลขหน้า. สืบค้นจาก หรือ
///////// <https://www.xxxxxxxx>

ตัวอย่าง

Pattaratumrong, M., & Wongkhamhaeng, K. (2019). The Molecular Identification of Nephtys
 // species (Polychaeta: Phyllodocida) from Songkhla Lake, Southern Thailand. *Naresuan
 // University Journal: Science And Technology (NUJST)*, 27(3), 1-9.
 // https://www.journal.nu.ac.th/NUJST/article/view/Vol-27-No-3-2019-1-9

3.2.2 กรณีมีเลข DOI

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่/(เลขของฉบับที่)/, เลขหน้า.
 // https://doi: xxxxxxxx

ตัวอย่าง

Chantana, C. (2019). A Cooling System for a Mushroom House for Use in the Upper Central
 // Region Climate of Thailand. *Naresuan University Journal: Science And Technology
 // (NUJST)*, 27(3), 10-19. https://doi:10.14456/nujst.2019.22

4. รายงานการประชุมเชิงวิชาการที่มี Proceeding**4.1 ในรูปแบบรูป Book Chapter**

ชื่อ นามสกุล./ (ปี)./ชื่อบทความ./ใน/ชื่อบรรณาธิการ./ (บ.ก.)./ชื่อการประชุม./ (น./เลขหน้า)./
 //สถานี่.
 Contributor, A. & Contributor, B./ (Year)./Title./In/ Editor / (Ed. หรือ Eds.), *Conference Name./*
 // (pp./xx-xxx)./Location.

กรณีมีเลข DOI หรือ URL ให้เติมต่อท้ายจากฐานข้อมูล ตัวอย่าง ชื่อฐานข้อมูล./https://doi.org/xxxx

ตัวอย่าง

วิเศษ กลัปกลาย, อลิสา คุ่มเคี่ยม, และอมลวรรณ วีระธรรมโม. (2553). ผลการพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูป
 // เรื่อง ภาษาไทยถิ่นใต้ ตำบลเตราะบอน อำเภอสายบุรีจังหวัดปัตตานี สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3.
 // ใน มนัส สุวรรณ (บ.ก.), *การจัดการเรียนรู้ การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. รายงานสืบเนื่องจาก
 // การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 53.* (น. 3-14). บัณฑิตวิทยาลัย
 // มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

Bedenel, A.-L., Jourdan, L., & Biernacki, C. (2019). Probability estimation by an adapted genetic
 // algorithm in web insurance. In R. Battiti, M. Brunato, I. Kotsireas, & P. Pardalos (Eds.),
 // *Lecture notes in computer science: Vol. 11353. Learning and intelligent optimization.*
 // (pp. 225-240). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05348-2_21

4.2 ในรูปแบบวารสาร

ชื่อ นามสกุล./ (ปี)./ชื่อเรื่อง:/ชื่อเรื่องย่อย./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่/(เลขของฉบับที่)/, เลขหน้า./URL
 Contributor, A. & Contributor, B./ (Year)./Title:/ Sub-title./Journal./เลขของปีที่/(เลขของฉบับที่)/
 //เลขหน้า./URL

ตัวอย่าง

Herculano-Houzel, S., Collins, C. E., Wong, P., Kaas, J. H., & Lent, R. (2008). The basic nonuniformity of the cerebral cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(34), 12593-12598. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0805417105>

5. เอกสารประกอบการประชุม/การประชุมวิชาการ ที่ไม่มี proceeding (Symposium)

ชื่อ นามสกุล./ (วันที่/เดือน/ปี)./เรื่องการประชุม./ใน/ชื่อ/(ประธาน)/ชื่อการประชุม/[Symposium]./ชื่องานที่จัด
/////////ประชุม/สถานที่ประชุม
Contributor, A. & Contributor, B./ (Year,/Month/day)./Title of contribution./In/Chair name/(Chair),/
/////////Title of the Symposium/[Symposium]./Conference Name,/Location.

ตัวอย่าง

Cochrane, T. & Narayan, V. (2019, February 14–15). Evaluation the CMALT cMOOC: An agile and scalable professional development framework. In R. Shekhawat (Chairs). *Breakout session* [Symposium]. Scholarship of Technology Enhanced Learning Symposium, Auckland, New Zealand.

6. การนำเสนองานวิจัยหรือการนำเสนอโปสเตอร์ (Paper/ Poster Presentation)

ชื่อ นามสกุล./ (วัน,/เดือน/ปี)./ชื่อเอกสาร หรือโปสเตอร์/[เอกสารนำเสนอในที่ประชุม หรือ โปสเตอร์นำเสนอ
/////////ในที่ประชุม]./ชื่อการประชุม/สถานที่.
Presenter, A & Presenter, B./ (Year,/Month/day)./Title of conference paper or poster/[Paper
/////////presentation or Poster presentation]./Conference Name,/Location.

กรณีมีเลข DOI หรือ URL ให้เติมต่อท้ายจากสถานที่ ตัวอย่าง ชื่อสถานที่./<https://doi.org/xxx>

6.1 Paper presentation

ตัวอย่าง

Mason, I. & Missingham, R. (2019, October 21–25). *Research libraries, data curation, and workflows* [Paper presentation]. eResearch Australasia Conference, Brisbane, QLD, Australia. <https://bit.ly/2v1CjRg>

6.2 Poster presentation

ตัวอย่าง

McGoudall, J., Durbin, P., Schlatter, T., McGale, M. & Jerabek, A. (2019, October 21–25). *Dataverse 'Installation Personas': A UX concept adopted to enable the navigation of Dataverse installations, for the purpose of sharing ideas and technical experiences by the international community* [Poster presentation]. eResearch Australasia Conference, Brisbane, QLD, Australia. https://conference.eresearch.edu.au/wp-content/uploads/2019/10/Janet-McDougall-eRA2019_McDougall_Janet.pdf



7. รายงานการประชุม/การสัมมนา/อภิปราย

ชื่อหน่วยงานที่จัดประชุม./ (ปีพิมพ์)/ ชื่อเรื่องการประชุม./ ชื่อการประชุม./ สถานที่จัดประชุม.

ตัวอย่าง

ที่ประชุมคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยของรัฐ. (2565). การประชุมสามัญที่ประชุมคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 //////////มหาวิทยาลัยของรัฐ และมหาวิทยาลัยในกำกับของรัฐ. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับ.
 //////////บัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 53. มหาวิทยาลัยนเรศวร

8. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อผู้แต่ง./ (วัน/เดือน/ปี)/ ชื่อคอลัมน์./ ชื่อหนังสือพิมพ์./ เลขหน้า.

ตัวอย่าง

ทีมาว่าไรดี. (21 กุมภาพันธ์ 2565). จับตามผลกระทบโควิดระลอกสามทำคนไทยหนึ่งท่วม. เดลินิวส์. 1.

9. เว็บไซต์

ชื่อ นามสกุลผู้เขียน./ (วัน/เดือน/ปีที่เผยแพร่)/ ชื่อบทความ./ ชื่อเว็บไซต์./ URL

Author, A. A./ (Year, Month date)/ Title of the work: Subtitle./ Website name./ URL

ตัวอย่าง

สุรชาติ บำรุงสุข. (7 สิงหาคม 2566). สงครามยูเครน : สงครามร้อนแรกในสงครามเย็นใหม่. สำนักพิมพ์
 //////////มหาวิทยาลัยนเรศวร. <https://www.nupress.grad.nu.ac.th/สงครามยูเครน>
 สรณา แสงเย็นพันธ์. (2566). 10 เว็บไซต์จับคู่สื่อ ออกแบบงานได้สวยทันตา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
 //////////นเรศวร. <https://www.nupress.grad.nu.ac.th/จับคู่สื่อ/hypedxup.com>
 วรวิรัช มหามนตรี. (2565). เทคนิคการสรุปความ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
 //////////<https://www.nupress.grad.nu.ac.th/การสรุปความ>
 Sparks, D. (2019). *Women's wellness: Lifestyle strategies ease some bladder control problems*.
 //////////Mayo Clinic. <https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/womens-wellness-lifestyle->
 //////////[strategies-ease-some-bladder-control-problems/](https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/womens-wellness-lifestyle-strategies-ease-some-bladder-control-problems/)
 กรณีที่ไม่มีวันที่เผยแพร่ปรากฏ ให้ใส่ (ม.ป.ป.) หรือ (n.d.)
 กรณีที่มีปรากฏเฉพาะ พ.ศ. หรือ ค.ศ. ให้ใส่แค่ (ปี) เท่านั้น
 กรณีชื่อผู้เขียนและชื่อเว็บไซต์เป็นชื่อเดียวกัน ให้ตัดชื่อเว็บไซต์ออก

9.1 เว็บไซต์ไม่ระบุปีที่เผยแพร่

ตัวอย่าง

Athletics New Zealand. (n.d.). *Form a new club*. <http://www.athletics.org.nz/Clubs/>
 //////////Starting-a-New-Club

9.2 Wikipedia

ชื่อเรื่อง./ (วัน/เดือน/ปีที่เผยแพร่)/ ใน วิกิพีเดีย./ URL

Title./ (Year, Month date)/ In Wikipedia./ URL

ตัวอย่าง

Oil painting. (2019, December 8). In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?/////////title=Oil_painting&oldid=929802398

หนูทองขาว. (10 มีนาคม 2556). หนูทองขาว. ใน *วิกิพีเดีย*. <https://th.wikipedia.org/wiki/หนูทองขาว/////////วันเดือนปีเผยแพร่จะอยู่ล่างสุดของเว็บไซต์> “This page was last edited on”

10. Social media

10.1 Twitter ตัวอักษร

Author, A. A./[@username]./(Year,/Month/date หรือ n.d.)./*เนื้อหาของโพสต์ 20 คำแรก*./[Tweet].
/////////Twitter./URL

ตัวอย่าง

Arder, J. [@jacindaardern]. (2018, October 15). *I salute you, @Kereru4PM #BirdOfTheYear*
//////// [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/jacindaardern/status/1051569120066469889>

10.2 Twitter รูปภาพและวิดีโอ

Author, A. A./[@username]./(Year,/Month/date หรือ n.d.)./*เนื้อหาของโพสต์ 20 คำแรก*./[Image or
/////////Video attached] [Tweet]. Twitter./URL

ตัวอย่าง

Figure.NZ [@figurenz]. (2019, October 15). *Looking forward to resting up over the holidays?*
////////[sleeping face emoji] [beach with umbrella emoji] NZ #Health Survey figures show about
////////70% of adults meet sleep duration... [Image attached] [Tweet]. Twitter.
/////////https://twitter.com/FigureNZ/status/1207422765986279424

10.3 Facebook post

Author, A. A./(@username)./(Year,/Month/date หรือ n.d.)./*เนื้อหาของโพสต์ 20 คำแรก*./[Video or Image attached].
/////////Facebook./URL

ตัวอย่าง

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2565). *[Book Overview] ศิลปะและวิทยาศาสตร์ของการลงทุนเน้นคุณค่าโดย*
/////////ผศ. ดร.สัมพันธ์ เนตยานันท์... [Video]. Facebook. [https://www.facebook.com/](https://www.facebook.com/NU.publishing.house/videos/500261141462779)
/////////NU.publishing.house/videos/500261141462779

10.4 Instagram

Author, A. A./[@username]./(Year,/Month/date หรือ n.d.)./*เนื้อหาของโพสต์ 20 คำแรก*./[Photograph].
/////////Instagram./URL

New Zealand Police [newzealandpolice]. (2019, November 15). *Class of 2019 // Wellington dog*
/////////section [paw prints emoji] #fridayfloop [Photograph]. Instagram.
/////////https://www.instagram.com/p/B43CL_-J9pN/

10.5 YouTube หรือ streaming video

Uploader, U. U./ (Year, Month Day). / *Title of work*. / [Video]. / YouTube.URL

ตัวอย่าง

MSNBC. (2020, January 7). *Julián Castro endorses Elizabeth Warren*. [Video]. YouTube.

/////////https://www.youtube.com/watch?v=Uk2Tzc8H5po

11. ราชกิจจานุเบกษา

ชื่อกฎหมาย. / (วัน/เดือน/ปี). / *ราชกิจจานุเบกษา* / เล่ม/ตอนที่/หน้า/เลขหน้า.

ตัวอย่าง

ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่ง

/////////ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2564. (7 มกราคม 2565).

/////////ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 139 ตอนพิเศษ 4 ง หน้า 22-50.

12. โปรแกรมซอฟต์แวร์/แอปพลิเคชัน

12.1 มีเวอร์ชัน

ชื่อผู้พัฒนา. (ปีที่เผยแพร่). *ชื่อโปรแกรม* (เวอร์ชัน) [ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์, แอปพลิเคชันมือถือ,

/////////เว็บไซต์แอปพลิเคชัน]. ผู้ให้บริการ. URL

Author. (Year). *Title of Software* (Version number) [Computer software, Mobile application,

/////////Web application]. Publisher. URL

ตัวอย่าง

กรณีที่ผู้พัฒนาเป็นองค์กร

- IBM Corporation. (2023). SPSS Statistics (Version 29.0) [Computer software]. IBM
/////////Corporation. https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software
- Meta Platforms. (2024). Facebook (Version 479.1.0) [Mobile App]. Meta Platforms, Inc.
/////////https://apps.apple.com/th/app/facebook/id284882215
- Trello, Inc. (2023). Trello (Version 4.0) [Web application]. Atlassian.
/////////https://www.trello.com

ตัวอย่าง

กรณีที่ผู้พัฒนาเป็นบุคคล

- Smith, J. (2022). DataAnalyzer (Version 20.0)[Computer software]. Data Solutions.
/////////https://www.datasolutions.com/analyzer

กรณีที่ไม่มีผู้พัฒนาหรือผู้ให้บริการที่ชัดเจน

- GIMP. (2023). GIMP (Version 10.0.1) [Computer software]. https://www.gimp.org

12.2 ไม่มีเวอร์ชัน

ชื่อผู้พัฒนา. (ปีที่เผยแพร่). *ชื่อโปรแกรม*. [ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์, แอปพลิเคชันมือถือ, เว็บไซต์แอปพลิเคชัน].

/////////ผู้ให้บริการ. URL

Author. (Year). *Title of Software* Computer software. [Mobile application, Web application].

/////////Publisher. URL

ตัวอย่าง

กรณีผู้พัฒนาเป็นองค์กร

- อินสไปก้า. (2015). *อักขราวิสุทธิ*. [เว็บแอปพลิเคชัน]. อินสไปก้า. <https://www.akarawisut.com>
- Slack Technologies. (2022). *Slack*. [Web application]. Salesforce. <https://www.slack.com>

ตัวอย่าง

กรณีผู้พัฒนาเป็นบุคคล

- Smith, J. (2022). *DataAnalyzer*. [Computer software]. Data Solutions. <https://www.datasolutions.com/analyzer>

ตัวอย่าง

กรณีที่ไม่มีผู้พัฒนาหรือผู้ให้บริการที่ชัดเจน

- GIMP. (2023). *GIMP*. [Computer software]. <https://www.gimp.org>

13. Generative AI

ชื่อบริษัทผู้พัฒนา/ผู้เขียนโมเดลนี้. (ปีที่ใช้). ชื่อของโมเดล (version ที่ใช้) [Large language model].

////////URL for AI

ตัวอย่าง

OpenAI. (2024). *ChatGPT* (September 16 version) [Large language model].

////////<https://chat.openai.com/chat>

Anthropic. (2024). *Claude* (September 20 version) [Large language model]. <https://claude.ai/new>

การอ้างอิงในเนื้อหา (In-Text Citation)

การอ้างอิงแบบท้ายประโยค หรือวงเล็บ (parenthetical citation) : (OpenAI, 2023)

การอ้างอิงแบบบรรยาย (narrative citation) : OpenAI (2023)

**รูปแบบของบทความเพื่อการพิจารณาตีพิมพ์
ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์**

ขนาด 18 pt
ตัวหนา

เว้น 1 บรรทัด

ชื่อ – สกุล ผู้แต่งบทความคนที่^{1*} ชื่อ – สกุล ผู้แต่งบทความคนที่²
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์^{1*}
คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตสุรินทร์²

ขนาด 14 pt
ตัวหนา

อีเมล : Bancha@sru.ac.th^{1*}

เว้น 1 บรรทัด

บทคัดย่อ

ขนาด 14 pt ตัวหนา

การจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับ ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดตามรูปแบบที่กำหนด ในกรณีบทความเป็นภาษาไทย ต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทย ควรมีย่อหน้าเดียวไม่ควรเกิน 250 คำ บทคัดย่อควรกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของบทความ ผลลัพธ์ หรือสรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย คำสำคัญที่เป็นภาษาไทยไม่ต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างคำ

ขนาด
14 pt
ตัวบาง

เว้น 1 บรรทัด

คำสำคัญ : คำสำคัญ1 คำสำคัญ2 คำสำคัญ3

ขนาด 14 pt

A Manuscript Preparation Guideline for Paper Submitted
to Industrial Technology Academic Journal,
Surindra Rajabhat University

ขนาด 18 pt
ตัวหนา

เว้น 1 บรรทัด

Author^{1*}, Author²

Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University^{1*}

Faculty of Management Technology, Rajamangala University of

Technology Isan Surin Campus²

E – mail : Bancha@srru.ac.th^{1*}

ขนาด 14 pt
ตัวหนา

เว้น 1 บรรทัด

Abstract

ขนาด 14 pt ตัวหนา

This Is an instruction for manuscript preparation. Please follow this guideline strictly. For a Thai article, an abstract in English must accompany the Thai version. The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important.

ขนาด
14 pt
ตัวบาง

เว้น 1 บรรทัด

Keywords : Keywords1, Keywords2, Keywords3

ขนาด 14 pt

บทนำ {ขนาด 14 pt ตัวหนา

Introduction {14 pt bold

{ขนาด 14 pt ตัวบาง

วัตถุประสงค์ {ขนาด 14 pt ตัวหนา

Research Objectives {14 pt bold

{ขนาด 14 pt ตัวบาง

วิธีการวิจัย {ขนาด 14 pt ตัวหนา

Methods {14 pt bold

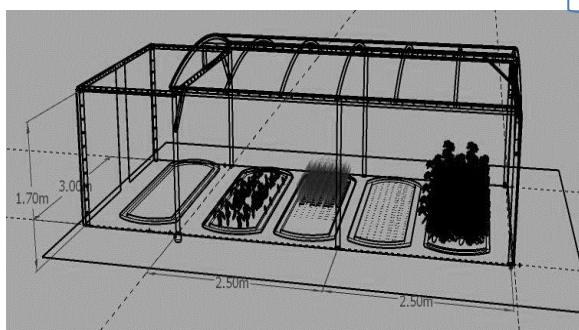
{ขนาด 14 pt ตัวบาง

ผลการวิจัย {ขนาด 14 pt ตัวหนา

Results {14 pt bold

{ขนาด 14 pt ตัวบาง

{เว้น 1 บรรทัด



{เว้น 1 บรรทัด

รูปที่ 1 การออกแบบเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำเกษตรปลอดสารพิษของผู้สูงอายุ

ตารางที่ 1 ข้อมูลแสดงตารางผสมปฏิกิริยาคอนกรีต

– เว้น 1 บรรทัด

ส่วนผสม	ปฏิกิริยาส่วนผสม(กก./ม ³)				ค่ายุบตัว คอนกรีต (ม.ม.)
0.61	น้ำ	ซีเมนต์	หิน	ทราย	90
	200	327	1056	740	

หมายเหตุ : ในส่วนหมายเหตุใช้ TH SarabunPSK ขนาด 12 pt ตัวธรรมดา

อภิปรายผลและสรุปผล {ขนาด 14 pt ตัวหนา

Discussion and Conclusion {14 pt bold

ขนาด 14 pt ตัวบาง

ข้อเสนอแนะ {ขนาด 14 pt ตัวหนา

Suggestion {14 pt bold

ขนาด 14 pt ตัวบาง

กิตติกรรมประกาศ {ขนาด 14 pt ตัวหนา

(ຄໍ້າມື).

..... } ขนาด 14 pt ตัวบ

เอกสารอ้างอิง {ขนาด 14 pt ตัวหนา

References {14 pt bold

1 ซม. ขนาด 14 pt ตัวบาง

คุณค่าทางวิชาการ {ขนาด 14 pt ตัวหนา

Academic Value { 14 pt bold

.....

.....

.....

ขนาด 14 pt ตัวบาง

จริยธรรมการตีพิมพ์

จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการ (Publication Ethics)

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร (Editor Roles and Responsibility)

1. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่ตนรับผิดชอบ และไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่อื่นมาแล้ว
2. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีระเบียบวิธีวิจัยที่ถูกต้อง และให้ผลที่น่าเชื่อถือ โดยนำผลของการวิจัยมาเป็นตัวชี้ว่าสมควรตีพิมพ์เผยแพร่หรือไม่
3. บรรณาธิการต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง
4. เมื่อบรรณาธิการตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น จะต้องระงับการประเมินและติดต่อผู้เขียน เพื่อพิจารณาตอบรับหรือปฏิเสธการตีพิมพ์
5. หากบรรณาธิการตรวจพบว่า บทความมีการลอกเลียนบทความอื่นโดยมิชอบ หรือมีการปลอมแปลงข้อมูล ซึ่งสมควรถูกถอดถอน แต่ผู้เขียนปฏิเสธที่จะถอนบทความ บรรณาธิการสามารถดำเนินการถอนบทความได้โดยไม่ต้องได้รับความยินยอมจากผู้เขียน ซึ่งถือเป็นสิทธิและความรับผิดชอบต่อบทความของ บรรณาธิการ
6. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียน และผู้ประเมินบทความแก่บุคคลอื่น ๆ
7. บรรณาธิการต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนบทความและผู้ประเมินบทความ

บทบาทและหน้าที่ของผู้เขียนบทความ (Author Ethical Responsibilities)

1. บทความที่จะได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อนและไม่ส่งต้นฉบับ บทความซ้ำซ้อนกับวารสารอื่น
2. เนื้อหาของบทความจะต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวารสาร
3. บทความต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น
4. ผู้เขียนบทความต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่น หากมีการนำผลงานเหล่านั้นมาใช้ในบทความของตนเอง เช่น ภาพ ตาราง เป็นต้น
5. ผู้เขียนบทความต้องตรวจสอบความถูกต้องของรายการเอกสารอ้างอิง ทั้งในแง่ของรูปแบบและเนื้อหา
6. ผู้เขียนบทความจะต้องปรับบทความตามรูปแบบและขนาดตัวอักษรตามแบบฟอร์ม (template) ของวารสาร
7. ผู้เขียนบทความที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการบทความจริง
8. ผู้เขียนบทความไม่ควรนำเอกสารวิชาการที่ไม่ได้อ่านมาอ้างอิง หรือใส่ไว้ในเอกสารอ้างอิง และควรอ้างอิง เอกสารเท่าที่จำเป็นอย่างเหมาะสม ไม่ควรอ้างอิงเอกสารที่มากเกินไป
9. การกล่าวขอบคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือในกิตติกรรมประกาศนั้น หากสามารถทำได้ผู้เขียนบทความควรขออนุญาตจากผู้ที่เกี่ยวข้องประสงคจะขอบคุณเสียก่อน

10. ในบทความ ผู้เขียนบทความจะต้องไม่รายงานข้อมูลที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ไม่ว่าจะเป็นการสร้างข้อมูลเท็จ หรือการปลอมแปลง บิดเบือน รวมไปถึงการตกแต่ง หรือ เลือกแสดงข้อมูลเฉพาะที่ สอดคล้องกับข้อสรุป

บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ (Reviewer Roles and Responsibilities)

1. ผู้ประเมินบทความต้องไม่เปิดเผยข้อมูลในบทความแก่บุคคลอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการ ประเมินบทความ
2. ผู้ประเมินบทความควรรับประเมินบทความเฉพาะสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ และหากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนกัน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่นๆ ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการ ทราบ
3. หากผู้ประเมินบทความมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนบทความ ผู้ประเมินบทความจะต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ

คณะกรรมการจัดการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกานต์ พวงไพบูลย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทรงศักดิ์ มีสิทธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภินันท์ชัย โจมสติ

อาจารย์ธาริณี มีเจริญ

นายพงศกร เดชศิริ

ดร.วณดา เผ่าศิริ

นายสังเวียน ก้อนทอง

นางสาวกนิษฐา ชิมทอง

นายโปเสก ภาณุรัตน์

นางสมจิตร ปานทอง

นางวริศราภรณ์ อารยางกูร

นางสาวสุนทราภรณ์ เนินแก้ว

นางสาวแสงเดือน ธรรมวัตร

เทคโนโลยีสร้างสรรค์
มุ่งเน้นวิชาการ
บริการท้องถิ่น



INDUSTRIAL TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

186 ม.1 ถนนสุรินทร์ - ปราสาท ต.นอกเมือง
อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000
Tel. 044-514601 Fax : 044-514601
www.industrial-journal.srru.ac.th