



วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

UTK RESEARCH JOURNAL

ปีที่ 17 เล่มที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566
Vol.17 No.1 January - June 2023



วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

โทรศัพท์ 02 287 9600 ต่อ 3111

<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/rmutk/index>

ISSN (Online) 2651-2130

ISSN 1906-0874

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Rajamangala University of Technology Krungthep Research Journal

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566 Vol 17 No.1 January – June 2023

เจ้าของ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทน์มณี
ศาสตราจารย์ญาณวิทย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง
ศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ชินณะราศรี
ศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ทิพย์ปรีกมาศ
ดร.สิริเบญญา กอวัฒนา
รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิระ ขอบจิตต์เมตต์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ บุตรดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชุตติเจือจัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ศิวารุช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ สงวนพวง
นางสาวประภาพร ร้อยพรมมา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
กรรมการสภามหาวิทยาลัยผู้ทรงคุณวุฒิ
กรรมการสภามหาวิทยาลัยผู้ทรงคุณวุฒิ
กรรมการสภามหาวิทยาลัยผู้ทรงคุณวุฒิ
กรรมการสภามหาวิทยาลัยผู้ทรงคุณวุฒิ
กรรมการสภามหาวิทยาลัยผู้ทรงคุณวุฒิ
ที่ปรึกษาอาวุโส
รองอธิการบดี
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ดร.ดิเรก บุญธรรม

รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ จ้าวสุวรรณ

ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง
ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกผาลิน
รองศาสตราจารย์ ดร. ประสาท เนืองเฉลิม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล เย็นฤดี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ศรีน้อย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฟ้าใส วิวัฒนวงศ์วนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพงษ์ สว่างศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุเทน คณะวาปี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพัฒน์ พลอัน

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566

Vol 17 No.1 January – June 2023

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กอบศักดิ์ กาญจนางค์กุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลมาศ บำรุงเศรษฐพงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทร์ฉาย
ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชาญณรงค์ ตระกูลสรณคณัน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

เจ้าหน้าที่ประจำวารสาร

นางสาวเกตุวดี อุเทน
นางนาฏนภา จรัส
นางสาวกนกวรรณ วอนเพียร
นางสาววันทนา ประดิษฐานธรรม
นายวีระวัฒน์ ราษฎร์สภา
นางสาวนุชนารถ สิมมาลา

นางวิไรรัตน์ ราษฎร์สภา
นางจันทนา สังข์อู่
นางสาวอัจฉรา จินดาจำนง
นายวันนิวัติ วันทนา
นางสาวพัชรินทร์ พัฒนโกครัตนา
นางสาวอารดา อุปนันท์

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ความเป็นมา

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ISSN 1906 - 0874 เป็นวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา ได้มีการจัดทำวารสารอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ พ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2 ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โดยเผยแพร่เป็นราย 6 เดือน ซึ่งตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับละ 10-12 บทความ) และมีการดำเนินงาน จัดพิมพ์บทความประเภทต่าง ๆ ได้แก่ บทความวิจัย (Research paper) และ บทความวิชาการ (Academic paper)

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ เป็นบทความที่สร้างองค์ความรู้ และมีคุณภาพในทางวิชาการสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอ้างอิงได้ เพราะผ่านการพิจารณาถ่วงถ่วงและประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จากหลากหลายสถาบัน 3 ท่าน ซึ่งเป็นการประเมินแบบไม่แสดงชื่อผู้แต่งและผู้ประเมิน (Double blinded) ก่อนที่จะเผยแพร่สู่สาธารณชน จึงทำให้วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ เป็นวารสารวิชาการที่มีคุณภาพ

กองบรรณาธิการ วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ จัดทำวารสารเป็นรูปเล่มฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่ให้กับสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย นอกจากนี้ยังสามารถสืบค้นเพื่ออ้างอิงหรืออ่านบทความที่เปี่ยมด้วยองค์ความรู้ได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk>

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research paper) และบทความวิชาการ (Academic paper) ที่มีคุณภาพของอาจารย์นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสาขาต่าง ๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย ได้แก่
 - 1.1. Environment Chemistry
 - 1.2. General Engineering
 - 1.3. Applied Mathematics
 - 1.4. Renewable Energy, Sustainability and the Environment
 - 1.5. Biomaterials
2. เพื่อส่งเสริมและเป็นกลไกการขับเคลื่อนงานวิจัย ทำให้เกิดผลงานวิจัยที่เข้าไปสู่การพัฒนาต่อภาคสังคมชุมชน และนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนเพื่อต่อยอดและเกิดความเชื่อมโยงระหว่างงานวิจัยงานวิชาการ ซึ่งนำมาสู่การเกิดประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และตอบสนองต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทย

นโยบายการรับบทความ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ มีความยินดีที่จะรับบทความจากอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ที่เขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ซึ่งผลงานที่ส่งมาขอตีพิมพ์ต้องไม่เคยเผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น

การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

ข้อความที่ปรากฏอยู่ในแต่ละบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเล่มนี้ เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละท่าน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพแต่อย่างใด ความรับผิดชอบด้านเนื้อหา และการตรวจร่างบทความแต่ละบทความเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียนแต่ละท่านจะต้องรับผิดชอบต่อบทความของตนเองแต่ผู้เดียว

กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์มีให้นำเนื้อหา หรือข้อคิดเห็นใด ๆ ของบทความในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ ไปเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการ อย่างเป็นลายลักษณ์อักษร ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสาร

ผู้ประสงค์จะส่งบทความกรุณาอ่านรายละเอียดการส่งบทความที่คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ ซึ่งได้ระบุไว้ในเล่มวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ หรือ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> และสามารถส่ง Online ได้โดยกรอกรายละเอียดให้ครบถ้วนในระบบการส่งบทความ Online หากต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม ติดต่อได้ที่

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ ๒ ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ ๑๐๑๒๐
โทร. ๐ ๒๒๘๖ ๙๖๐๐ ต่อ ๑๑๗๗ โทรสาร ๐ ๒๒๘๗ ๙๖๘๔
E-mail: utk_research_journal@mail.rmutk.ac.th
www.rdi.rmutk.ac.th

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ (ทุก 6 เดือนต่อฉบับ)
ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน
ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

การเผยแพร่

เผยแพร่ผ่านระบบออนไลน์
<https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk>

สารบัญ

หน้า

ผลของสารสะท้อนน้ำต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงสร้างสรรค์จากผ้าไหมทอมือ The effect of water repellent on the development of creative products from handwoven silk.....	1
พิชญ์ ศรีวิเศษ, ชนิษฐา เจริญลาภ	
ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดินด้วยจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ Efficiency of Contaminated Glyphosate Reduction in Soil by Selective Microbes.....	15
พรจิรา การภักดี, ศศิธร หาสิน, อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์, อภิษฎา สวัสดิ์	
Development of 4-DoF Robotic Arm Control System with Voice Command for Grasp Assistance	22
Teerawit Assawasillapakul, Nutdanai Singkhleewon, Kanlaya Thanasin	
Development of Prototypical Indoor Real-time Location System for Medical Equipment Management Based on BLE Devices	33
Teerawit Assawasillapakul, Nutdanai Singkhleewon, Kanlaya Thanasin, Amonrat Khambun	
วิธีการจัดสรรตารางกับการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณ Allocation Table Method for Solving Intuitionistic Fuzzy Transportation Problem.....	44
ดร.ณิ หันวิสัย	
เครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที Automated aquarium controller with IoT.....	60
สุรเทพ แป้นเกิด , สุภาชี ดวงใส	

สารบัญ

หน้า

การพยากรณ์ปริมาณความต้องการเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมในคลังเวชภัณฑ์ โดยการกำหนดงบประมาณประจำปีด้วยสเปรดชีท กรณีศึกษา โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล Forecasting the Appropriate Demand for Medical Supplies in the Medical Inventory for Identifying the Annual Budgeting Using Spreadsheets: A Case Study of Tambon Health Promoting Hospital 79 ประภาพรณ เกษราพงศ์, จักรินทร์ กลั่นเงิน, คัมภีร์ราญา ลือศักดิ์, ธนพร ฉายสุวรรณ

ผลของสารสะท้อนน้ำต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงสร้างสรรค์จากผ้าไหมทอมือ

The effect of water repellent on the development of creative products from handwoven silk

พิชญา ศรีวิเศษ และชนิษฐา เจริญลาภ*

Pichaya Sriwiset, and Khanittha Charoenlarp*

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
Faculty of Textile Industries, Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand
*Corresponding Author Khanittha.C@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเป๋าจากผ้าไหมทอมือที่ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ ดำเนินการวิจัยโดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและสมบัติของผ้าไหมทอมือที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารสะท้อนน้ำสองชนิด ได้แก่ สารสะท้อนน้ำฟลูออโรคาร์บอน (FC) และสารสะท้อนน้ำปราศจากฟลูออโรคาร์บอน (FCF) ออกแบบและผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์กระเป๋าจากผ้าไหมทอมือที่ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ รวมทั้งศึกษาความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่งสะท้อนน้ำของสารทั้งสองชนิดเป็นสภาวะเดียวกัน คือ ใช้ความเข้มข้น 70 กรัมต่อลิตร บีบอัดผ้าด้วยลูกกลิ้งที่มีค่าร้อยละการบีบอัดเท่ากับ 75 อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาที ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาที ผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FCF มีสมบัติที่ดีกว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FC ในเรื่องของการสะท้อนน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ และความคงทนต่อแรงฉีกขาด ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FC มีสมบัติที่ดีกว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FCF ในเรื่องความคงทนต่อการซัก โดยผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FCF มีค่ามอดุลัส 141.17 องศา ความชื้นสัมพัทธ์ 20.81 ความทนต่อแรงฉีกขาดในแนวเส้นด้ายพุ่ง 97.47 นิวตัน แนวเส้นด้ายยืน 63.6 นิวตัน มีความคงทนต่อการซัก 3 รอบ ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FC มีค่ามอดุลัส 135.3 องศา ความชื้นสัมพัทธ์ 13.6 ความทนต่อแรงฉีกขาดในแนวเส้นด้ายพุ่ง 97.03 นิวตัน แนวเส้นด้ายยืน 60.57 นิวตัน มีความคงทนต่อการซักมากกว่า 5 รอบ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเป๋าเลือกใช้สารสะท้อนน้ำประเภท FCF เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการซักบ่อยครั้งและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า ผลการประเมินแบบความพึงพอใจในด้านผลิตภัณฑ์จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 152 คน มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์กระเป๋าผ้าไหมทอมือที่มีสมบัติสะท้อนน้ำในระดับมาก โดยมีความพึงพอใจด้านความสวยงาม ด้านความเหมาะสมของวัสดุ ด้านประโยชน์การใช้สอย และด้านความสะดวกในการบำรุงรักษา เท่ากับ 4.43 ± 0.76 , 4.34 ± 0.77 , 4.38 ± 0.74 และ 4.38 ± 0.75 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ผ้าไหมทอมือ การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ การพัฒนาผลิตภัณฑ์

ABSTRACT

The purpose of this research was to produce a prototype of a hand-woven silk bag with water repelling finishing. This research studied the optimum conditions and properties of

Received 01-03-2023
Revised 04-04-2023
Accepted 12-04-2023

handwoven silk finishing with two types of water repellent reagents such as fluorocarbon reagent (FC) and fluorocarbon free reagent (FCF), design and made-up the prototype of handwoven silk bags that finished with water repellent reagents and study satisfaction of respondents with this product. The results showed that both types of water repellent reagents had the same optimum conditions at a concentration of 70 g/l, compressed the fabric with the padding machine at 75 % pick up, dry at 120 °C for 2 minutes, followed by curing at 165 °C for 2 minutes. Fabrics finished with FCF have better water repellent property, color intensity (K/S) and tear strength than fabrics finished with FCF. Fabrics finished with FCF had a contact angle of 141.2 degree, color intensity (K/S) 20.81, tear strength in weft yarn 97.47 N, 63.6 N of warp, and fastness for 3 cycles of washing. The fabric finished with FC had a contact angle of 135.3 degree, color intensity (K/S) 13.6, tear strength in weft yarn 97.03 N, 60.57 N of warp yarn, and fastness more than 5 cycles of washing. In the development of bag products, FCF was used because the bag is a product that does not require frequent washing and FCF was more environmentally friendly than FC. Assessing satisfaction with product prototypes by 152 respondents found that there was a high level of average satisfaction with the product, with satisfaction in aesthetics, suitability of materials, usability, and maintenance equal to 4.43 ± 0.76 , 4.34 ± 0.77 , 4.38 ± 0.74 and 4.38 ± 0.75 respectively.

Keyword: Handwoven Silk, Water repelling finishing, Product development

1. บทนำ

การทอผ้าในประเทศไทยเป็นงานศิลปะหัตถกรรมพื้นบ้านที่มีแพร่หลายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ โดยในแต่ละภาคมีวิธีการ และลักษณะเฉพาะถิ่นที่สืบทอดกันมาตั้งแต่โบราณในรูปแบบที่แตกต่างกัน ผ้าทอนอกจากจะเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้วยังเป็นผลงานด้านศิลปะอีกแขนงหนึ่งที่บ่งบอกประเพณีและวัฒนธรรมของกลุ่มชนในสังคมนั้น ๆ ความงามในลวดลาย ความประณีตของฝีมือ การประยุกต์วัสดุอุปกรณ์ แสดงให้เห็นภูมิปัญญาท้องถิ่นและอารยธรรมความเจริญของกลุ่มชนที่สืบทอดมรดกทางวัฒนธรรมการทอผ้าจนเป็นเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น ทั้งนี้กลุ่มทอผ้าบ้านอันแดก ตำบลกั้งแอน จังหวัดสุรินทร์ มีวัฒนธรรมการทอผ้าสืบทอดต่อกันมา แทบทุกครัวเรือนได้รับการถ่ายทอดมรดกภูมิปัญญาการทอผ้าไหมแบบโบราณ สืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคน จากการลงพื้นที่เพื่อสำรวจสภาพการผลิตและการจำหน่ายผ้าไหมของกลุ่มในปัจจุบันยังประสบ

ปัญหาในหลาย ๆ ด้าน ชาวบ้านไม่สามารถทำให้ผ้าไหมมีมูลค่าเพิ่มขึ้น บางผลิตภัณฑ์ล้นตลาดเพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมือน ๆ กัน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ผ้าชิ้นผ้าพันคอ เนื่องจากขาดการศึกษาความต้องการของผู้บริโภค และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลาย ทันสมัย จึงทำให้ไม่สามารถขายสินค้าผ้าไหมได้มากเท่าที่ควร ด้วยปัญหาและความสำคัญของผ้าไหมสุรินทร์ดังกล่าว ปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้สิ่งทอและผลิตภัณฑ์สิ่งทอให้มีตลาดที่กว้างขวางขึ้น นอกจากการออกแบบแล้ว การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความร่วมสมัยโดยนำหลักการทางนวัตกรรมสิ่งทอ หรือหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้ามามีส่วนร่วมในการออกแบบผ้าพื้นเมืองเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ให้ได้ผลงานทางหัตถอุตสาหกรรมที่มีความน่าสนใจมากขึ้น เช่น ผ้าทอไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อรา แบคทีเรีย ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต รวมไปถึงผ้าที่มีสมบัติสะท้อนน้ำในส่วนการตกแต่งเพื่อให้ผ้ามีคุณสมบัติในการกันน้ำ

ได้นั้น ปัจจุบันมีการนำหลักการด้านนาโนเทคโนโลยี มาปรับปรุงพื้นผิววัสดุโดยการเลียนแบบปรากฏการณ์การกลิ้งของน้ำบนใบบัว (Lotus effect) ทำให้วัสดุไม่เปียกน้ำและมีคุณสมบัติทำความสะอาดตนเองได้ (Self-cleaning) เพื่อใช้เคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ เช่น เคลือบผิวเซรามิก กระดาษ ผ้า และไม้ เป็นต้น [1-2] ในส่วนของอุตสาหกรรมสิ่งทอ สารสะท้อนน้ำที่ใช้มีหลายประเภท ได้แก่ พาราฟิน (Paraffin) แวกซ์ (Wax) กรดสเตียริกเมลามีน (Stearic acid melamine) ไพริดีเนียม (Pyridinium) ซิลิโคน (Silicone) และสารฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น [3] ทั้งนี้สารประกอบฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารกลุ่ม พอลิฟลูออโรอัลคิล (Polyfluoroalkyl substances, PFASs) ได้รับความนิยมในการนำมาตกแต่งสะท้อนน้ำบนสิ่งทอ เนื่องจากให้มุมสัมผัส (Contact angle) ของน้ำมีค่ามากที่สุด [3-4] ในขณะเดียวกันก็มีความสามารถในการระบายอากาศได้ดี และยังคงทำให้ผ้ามีผิวสัมผัสที่ดี [5-7] ทั้งนี้มีรายงานว่ามีการใช้สาร PFASs ในการผลิตสิ่งทอคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของการใช้สาร PFASs ทั่วโลก [8] แต่เนื่องจากสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนมีผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม มีการตรวจพบสาร PFASs ในหลากหลายตัวกลางสิ่งแวดล้อม โดยพบในตัวอย่างที่เก็บจากอ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ ทะเล มหาสมุทร รวมถึงแผ่นน้ำแข็ง [9] และจากการศึกษาการปนเปื้อนในระบบนิเวศวิทยาแหล่งน้ำทั้ง 3 ตัวกลาง ได้แก่ น้ำ ตะกอนท้องน้ำ และสัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำ [10-11] แสดงให้เห็นการสะสมและถ่ายทอดสาร PFASs ผ่านระบบห่วงโซ่อาหาร โดยมีการศึกษาทางระบาดวิทยาที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของระดับสาร PFASs บางชนิดในร่างกายกับผลกระทบต่อสุขภาพ ได้แก่ การเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ การเกิดภูมิแพ้ ความสามารถในการทำงานของไต โรคหัวใจและหลอดเลือด การเพิ่มขึ้นของระดับโทรอยด์ฮอร์โมน และระดับคอเลสเตอรอล [12] งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำผ้าไหมทอมือตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำสอง

ชนิดคือสารสะท้อนน้ำที่ประกอบด้วยสารฟลูออโรคาร์บอน และสารปราศจากฟลูออโรคาร์บอน

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

2.1.1 วัตถุดิบ และสารเคมี

ผ้าไหมทอมือจากกลุ่มทอผ้าบ้านอันแดก ตำบล กังแอน อำเภอบราสาท จังหวัดสุรินทร์

สารตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำสองชนิด คือสารที่มีฟลูออโรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมีชื่อทางการค้าว่า Threegard TG6 ในงานวิจัยนี้ใช้แทนด้วย สาร FC (สาร Fluorocarbon) และสารที่ไม่มีฟลูออโรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมีชื่อทางการค้าว่า FCF-02 ในงานวิจัยนี้ใช้แทนด้วย สาร FCF (สาร fluorocarbon free) ผลิตโดยบริษัทบริษัท ทรี ดี ซี บิสซิเนส จำกัด

ผงซักฟอกตามมาตรฐาน AATCC 135

2.1.2 อุปกรณ์

เครื่องบีบอัดสาร (Padding) ยี่ห้อ Copower รุ่น P-A1

เครื่องดึงหน้าผ้าและอบลมร้อน (Stenter) ยี่ห้อ Copower รุ่น M-6

เครื่องทดสอบการฉีกขาด (Elmendorf Tear Tester) ยี่ห้อ TEXTTEST AG รุ่น FX 3750

เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ BONITA รุ่น BMB224

เครื่องวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (Contact Angle measurement) ยี่ห้อ Data Physics รุ่น OCA-15EC

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer Color Meter) ยี่ห้อ Datacolor รุ่น 600™

เครื่องตัดชิ้นงานตัวอย่างแบบใบมีดทรงกลม (Circular Sample Cutter) ยี่ห้อ James H. Heal รุ่น 230/10

เครื่องซักผ้าแบบมีแกนกลาง ยี่ห้อ Whirlpool รุ่น 3LWTW4815FWO

เครื่องอบผ้า ยี่ห้อ Whirlpool รุ่น 3XWE D5705SW

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 เตรียมตัวอย่างผ้าไหมทอมือ

ซักทำความสะอาดผ้าไหมทอมือแล้วตัดตัวอย่างผ้าให้เป็นชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 12 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว เย็บขอบขึ้นทดสอบเพื่อกันขอบผ้าลุ่ยทุกด้าน

2.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำผ้าไหมทอมือ

(1) ศึกษาปริมาณสารสะท้อนน้ำ

ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารทั้งสองชนิด ในช่วง 0, 40, 50, 60, 70, 80, 90, และ 100 กรัมต่อลิตร ใช้วิธีการจุ่มบิ๊บอัดสาร (Pad) เข้าไปในผ้าด้วยเครื่องบิ๊บอัดสาร ที่มีค่าร้อยละการบิ๊บอัด (% Pick up) เท่ากับ 75 อบแห้ง (Dry) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาที ให้ความร้อนเพื่อทำปฏิกิริยา (Cure) ที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาที วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้า เลือกความเข้มข้นที่ให้ความมุมสัมผัสของหยดน้ำสูงที่สุด (ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

(2) ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เตรียมสารเคมีสะท้อนน้ำในปริมาณที่ได้จากการศึกษาในข้อที่ (1) บิ๊บอัดสารเข้าไปในผ้าด้วยสภาวะเดียวกับการทดลองข้อที่ (1) แปรผันอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 150, 165 และ 180 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาที วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้า (ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

2.2.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและการสะท้อนน้ำของผ้าไหมทอมือ

การเปรียบเทียบสมบัติผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ ดังนี้

(1) ทดสอบมุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้า

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D7490-13 [13] โดยในการวัดมุมสัมผัสใช้น้ำปริมาตร 2 ไมโครลิตรต่อ น้ำ 1 หยด วัดมุมสัมผัสของน้ำ 3 ตำแหน่ง กระจายทั่วทั้งผ้าไหมทอมือ ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส บันทึกผลและคำนวณหาค่าเฉลี่ย

(2) น้ำหนักผ้า

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3776 – 96 option C [14] โดยตัดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องตัดชิ้นใบมีดทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.6 เซนติเมตร สุ่มตัด 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งมีพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร นำชิ้นงานทดสอบไปชั่งน้ำหนัก คำนวณน้ำหนักผ้าเป็นกรัมต่อตารางเมตร (GSM) ดังสมการที่ (1)

$$GSM (gm/m^2) = \frac{M}{A} \times 10000 \quad (1)$$

M = น้ำหนักของชิ้นงาน (กรัม)

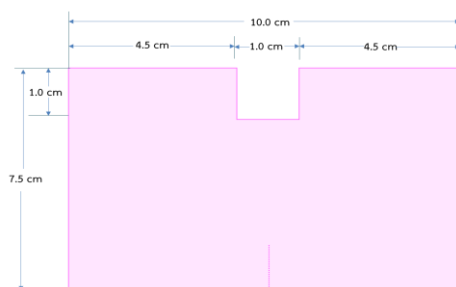
A = พื้นที่ของชิ้นงาน (ตารางเซนติเมตร)

(3) การทดสอบแรงฉีกขาดของผ้า

ทดสอบหาแรงฉีกขาดของผ้าทอ ตามมาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 18-2553 [15] โดยตัดชิ้นทดสอบตามขนาดดังแสดงในภาพที่ 1 ในแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง อย่างน้อยด้านละ 3 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่างผ้า ทดสอบผ้าด้วยเครื่องทดสอบการฉีกขาดแบบเอลเมนดอร์ฟ บันทึกค่าที่ได้เป็นหน่วยเซนตินิวตัน (cN) และนำไปคำนวณเป็นหน่วย นิวตัน (N) ดังสมการที่ (2)

$$\text{แรงฉีกขาด (นิวตัน)} = \frac{F}{100} \quad (2)$$

เมื่อ F = แรงฉีกขาด (เซนตินิวตัน)



ภาพที่ 1 ขนาดชิ้นทดสอบในการทดสอบแรงฉีกขาด

(4) การทดสอบความเข้มสีของผ้า

ทดสอบความเข้มของสีของผ้าไหมด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยพับชิ้นทดสอบซ้อนกัน 4 ชั้น (ไม่ให้แสงผ่านได้) วัดซ้ำ 3 ครั้งต่อชิ้นตัวอย่าง วัดค่าสีโดยระบุสีเป็นค่าตัวเลขด้วยระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ และ

ระบุความเข้มสี (color strength) ในรูปของ K/S ตามสมการของ Kubelka-Munk [16]

ระบุสีเป็นค่าตัวเลขด้วยระบบสี CIE L*a*b*

L* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

L = 0 สีที่ได้จะมีดเป็นสีดำ

L = 100 สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว

a* ใช้กำหนดสีแดง หรือสีเขียว

a เป็น + วัดภูมิสีออกแดง

a เป็น - วัดภูมิสีออกเขียว

b* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน

b เป็น + วัดภูมิสีออกเหลือง

b เป็น - วัดภูมิสีออกน้ำเงิน

การวัดค่าความเข้มสีบนวัสดุสิ่งทอ ใช้เทคนิคการวัดการสะท้อนของแสงและแสดงในรูปของ K/S : ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสง (R) ดังสมการที่ (3)

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (3)$$

K = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง

S = สัมประสิทธิ์ของการกระจายแสง

R = ค่าการสะท้อนแสง

(5) การทดสอบความคงทนต่อการซัก

ทดสอบการซักตามมาตรฐาน AATCC 135

[17] ทดสอบการซัก 5 รอบ แล้วนำไปทดสอบมุม

สัมผัสของหยดน้ำบนผ้า เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสก่อนและหลังการซัก

(6) สันฐานวิทยาของผ้า

ตรวจสอบสันฐานของผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.2.4 ความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์

ศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์กระเป๋จากผ้าไหมทอมือที่ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำโดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ สอบถามกลุ่มตัวอย่างที่เป็นสตรีที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปี ขึ้นไป ใช้สถิติ F-test ในการวิเคราะห์ปัจจัยส่วนบุคคลที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์

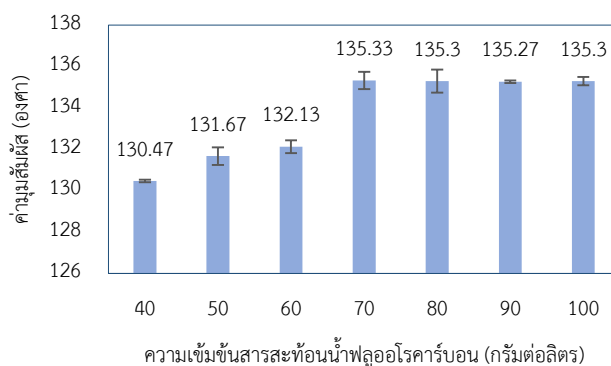
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่ง

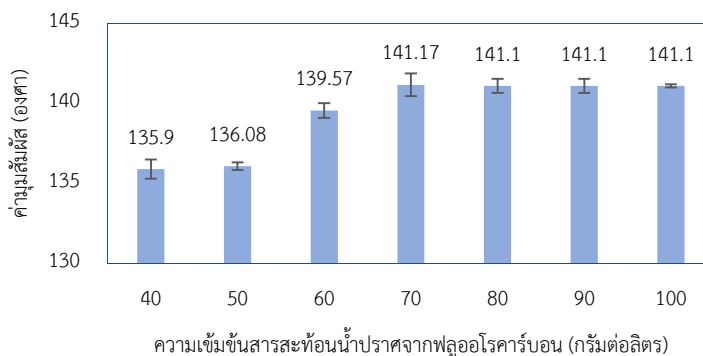
สำเร็จสะท้อนน้ำผ้าไหมทอมือ

3.1.1 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสม

ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการตกแต่งผ้าไหมทอมือด้วยสารสะท้อนน้ำ FC และ FCF ใช้เครื่องบีบอัด อบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาที ให้ความร้อน (cure) ที่ 165 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาที ได้ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 2 -3



ภาพที่ 2 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้าที่ตกแต่งด้วย สาร FC ที่ความเข้มข้นต่างกัน



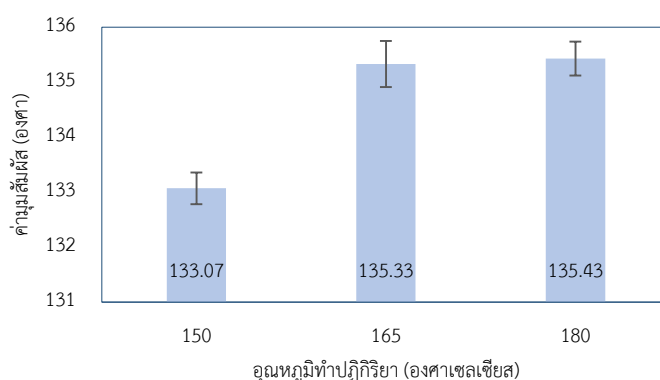
ภาพที่ 3 ค่ามัมส์ของหยดน้ำบนผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FCF ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการทดลองพบว่าประเภทและความเข้มข้นของสารสะท้อนน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญ เพื่อให้ได้สมบัติการสะท้อนน้ำที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kawser Parveen Chowdhury ที่ศึกษาผลของความเข้มข้นของการตกแต่งสะท้อนน้ำผ้าฝ้ายถักด้วยสารที่ปราศจากฟลูออโรคาร์บอนและฟลูออโรคาร์บอน [3] ในการทดลองนี้สาร FCF ทำให้ผ้ามีสมบัติที่สะท้อนน้ำมากกว่า เมื่อความเข้มข้นของสารสะท้อนน้ำมากขึ้น ค่ามัมส์ระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในการ pad dry cure 1 รอบ ความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับสารสะท้อนน้ำทั้งสอง

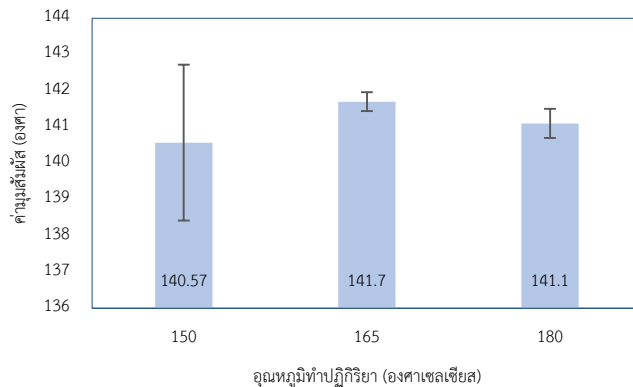
ชนิด คือ 70 กรัมต่อลิตร และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นถึงจุดหนึ่งค่ามัมส์เริ่มคงที่ เนื่องจากความสามารถของพื้นผิวของผ้ารับปริมาณสารที่ถูกบีบอัดและแทรกซึมเข้าสู่ผิวผ้าและยึดติดกับผ้าได้ในปริมาณจำกัด

3.1.2 ศึกษาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ศึกษาอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการตกแต่งผ้าไหมทอมือด้วยสารสะท้อนน้ำ FC และ FCF ความเข้มข้น 70 กรัมต่อลิตร อบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาที แปรผันอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาได้ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4 -5



ภาพที่ 4 ค่ามัมส์ของหยดน้ำบนผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FC เข้มข้น 70 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยาต่างกัน



ภาพที่ 5 ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FCF เข้มข้น 70 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่างกัน

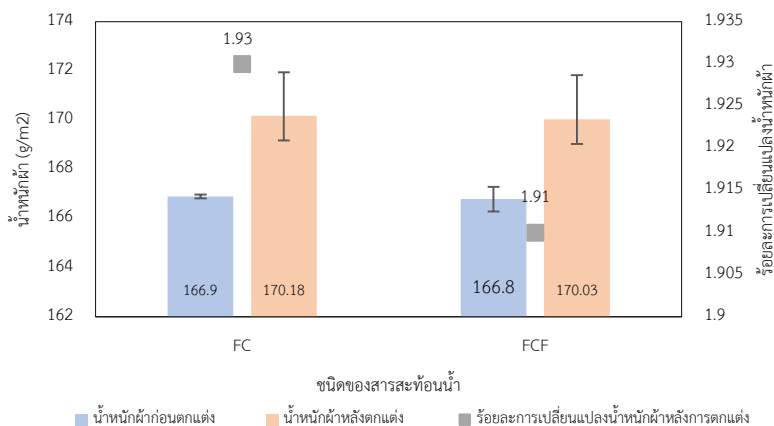
ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของสารสะท้อนน้ำ มีผลต่อคุณสมบัติการสะท้อนน้ำของผ้าไหมทอมือ ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สารสะท้อนน้ำทำปฏิกิริยายึดติดกับพื้นผิวผ้าได้ดีขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Smita Bait และคณะ ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในการเคลือบพอลิเอสเตอร์ด้วยพอลิยูรีเทนสูตรน้ำ [18] โดยเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำจะเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสามารถ

สะท้อนน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 165 และ 180 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกัน งานวิจัยนี้เลือกอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 165 องศาเซลเซียส

3.2 สมบัติของผ้าไหมทอมือที่ตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ

3.2.1 น้ำหนักผ้า

ชั่งน้ำหนักผ้าไหมทอมือก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 6



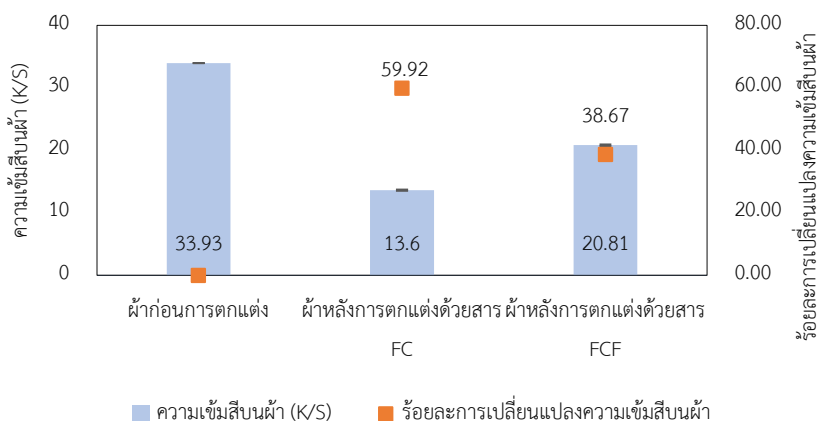
ภาพที่ 6 น้ำหนักของผ้าก่อนและหลังตกแต่งสะท้อน น้ำด้วยสาร FC และสาร FCF

ผลการทดลองพบว่าผ้าไหมทอมือหลังการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC และสาร FCF มีน้ำหนักผ้าเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.93 และ 1.91 ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการจุ่มอัดสารสะท้อนน้ำเข้าไปในผืนผ้าและการที่น้ำหนักผ้าเพิ่มขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากในขั้นตอนการจุ่มอัด ได้จุ่มบีบอัดสารเข้าไปในผ้าด้วยเครื่องบีบอัดด้วยลูกกลิ้ง ค่าร้อยละการบีบอัดเท่ากับ 75 ทำให้ปริมาณสารที่

เข้าไปในเนื้อผ้ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้มีรายงานว่าชนิดของสารสะท้อนน้ำไม่มีผลต่อน้ำหนักผ้า แต่จะมีผลต่อสมบัติทางเชิงกลของผ้า [3]

3.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์

วัดความชื้นสัมพัทธ์ของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ FC และ FCF ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความชื้นสัมพัทธ์ก่อนและหลังตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC และสาร FCF

ผลการทดลองพบว่าผ้าไหมทอมือหลังการตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำด้วยสาร FC และสาร FCF ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง โดยการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์หลังการตกแต่งลดลงมากกว่าการตกแต่งด้วยสาร FCF โดยความชื้นสัมพัทธ์ลดลงร้อยละ 59.92 และ 38.67 ตามลำดับ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์

ขึ้นกับโครงสร้างของสารสะท้อนน้ำที่เคลือบอยู่รอบๆ เส้นใย [19]

3.2.3 ค่าสีบนผ้า

วัดค่าสีบนผ้าก่อนและหลังการตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ FC และสาร FCF ได้ผลแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสีบนผ้าก่อนและหลังตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ FC และสาร FCF

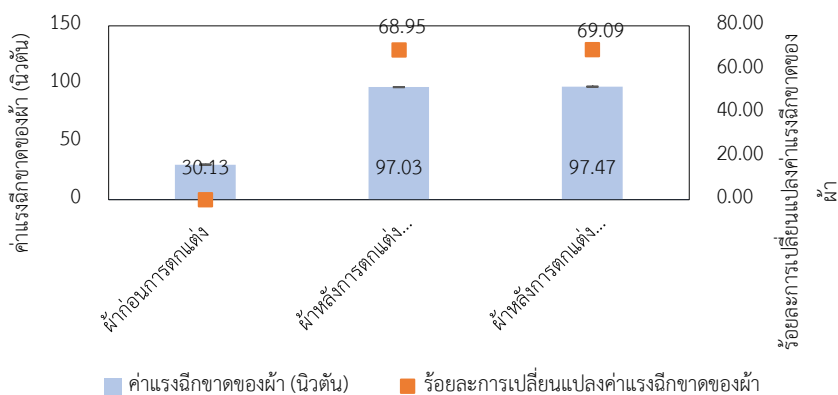
ค่าสี	ก่อนการตกแต่งสะท้อนน้ำ		หลังการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC		หลังการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FCF	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
สีของผ้า (L*)	56.76	0.42	64.76	0.49	44.91	0.31
สีของผ้า (a*)	55.95	0.26	12.16	0.37	30.30	0.33
สีของผ้า (b*)	-20.75	0.32	-8.57	0.26	-14.74	0.25

ผลการทดลองพบว่าผ้าไหมทอมือหลังการตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ FC มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FCF มีค่าความสว่างลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงเจดสีบนผ้าจะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือสารสะท้อนน้ำทำให้เจดสีแดงของผ้าลดลง และมีเจดสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น โดยผ้าที่ตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FCF มีเจดสีออกแดงมากกว่าผ้าที่ตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC การเปลี่ยนแปลงของสีที่แตกต่างกันอาจเกิดจากสารทั้งสองชนิดมีโครงสร้างและขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ทำให้พื้นผิวผ้ามีความขรุขระต่างกัน ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของผิวผ้า

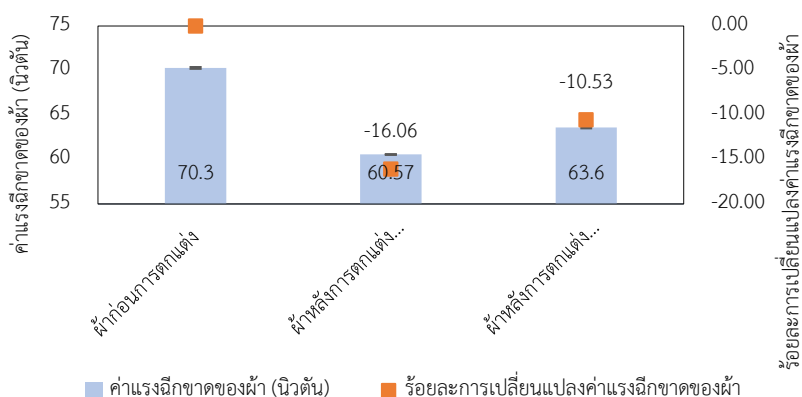
โดยจากการศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารสะท้อนน้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสีบนผ้า ภายหลังการเคลือบ โดย Gunesoglu และคณะ [19] สรุปว่าสารเคลือบที่มีขนาดของอนุภาคเล็ก มีผลต่อการสะท้อนแสงของพื้นผิวสูงขึ้น และทำให้ผ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสีได้น้อยกว่า

3.2.4 ค่าแรงฉีกขาดของผ้า

วัดค่าแรงฉีกขาดในแนวเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ FC และสาร FCF ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 8 – 9



ภาพที่ 8 ค่าแรงฉีกขาดในแนวเส้นด้ายพุ่งของผ้าก่อนและหลังตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC และสาร FCF



ภาพที่ 9 ค่าแรงฉีกขาดในแนวเส้นด้ายยืนของผ้าก่อนและหลังตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC และสาร FCF

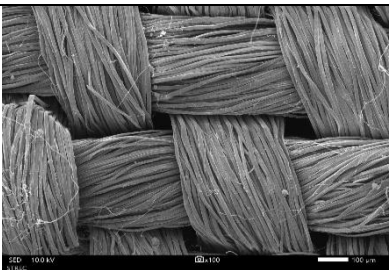
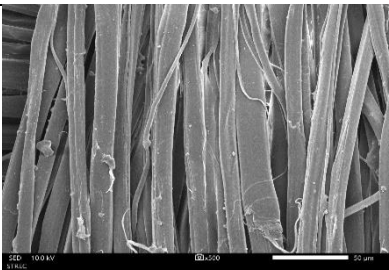
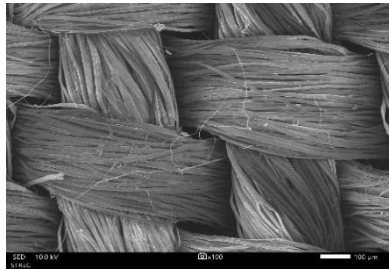
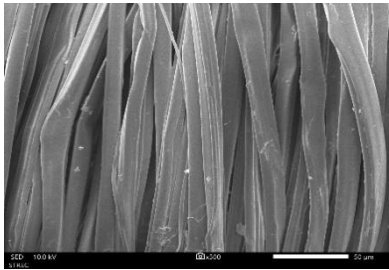
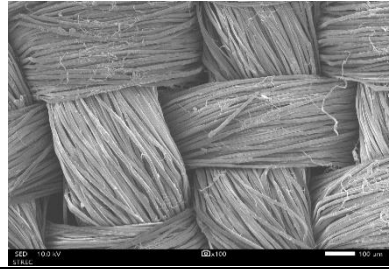
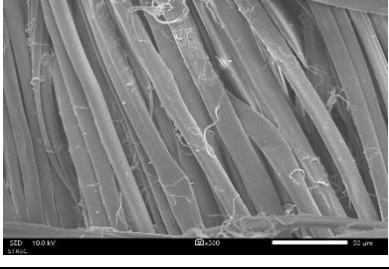
ผลการทดลองพบว่าการตกแต่งสะท้อนน้ำทำให้ผ้าหลังการตกแต่งมีค่าแรงฉีกขาดในแนวเส้นด้ายพุ่งเพิ่มขึ้น และมีค่าแรงฉีกขาดในแนวเส้นด้ายยืนลดลง ทั้งนี้แรงฉีกขาดขึ้นกับระดับการเคลื่อนไหว (degree of mobility) ภายในโครงสร้างของเส้นใย เมื่อได้รับแรงเฉือน ระดับการเคลื่อนไหวในโครงสร้างจะช่วยกระจายความเครียดไปทั่วพื้นที่ทำให้ต้านการฉีกขาดได้สูง [3,18] การเคลือบสารสะท้อนน้ำลงบน

ผ้า อาจส่งผลต่อระดับการเคลื่อนไหวภายในโครงสร้างของเส้นใยทำให้ค่าแรงฉีกขาดของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป

3.2.5 สันฐานวิทยาของผ้า

ตรวจสอบสันฐานวิทยาของผ้าก่อนและหลังตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะพื้นผิวของผ้าที่ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยสารสะท้อนน้ำต่างกัน

สารสะท้อนน้ำ	ลักษณะพื้นผิว	
	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 500 เท่า
ก่อนตกแต่งสำเร็จ		
สาร FC เข้มข้น 7.0 g/L Dry 120°C 2 min Cure 165 °C 2 min		
FCF-02 เข้มข้น 7.0 g/L Dry 120°C 2 min Cure 165 °C 2 min		

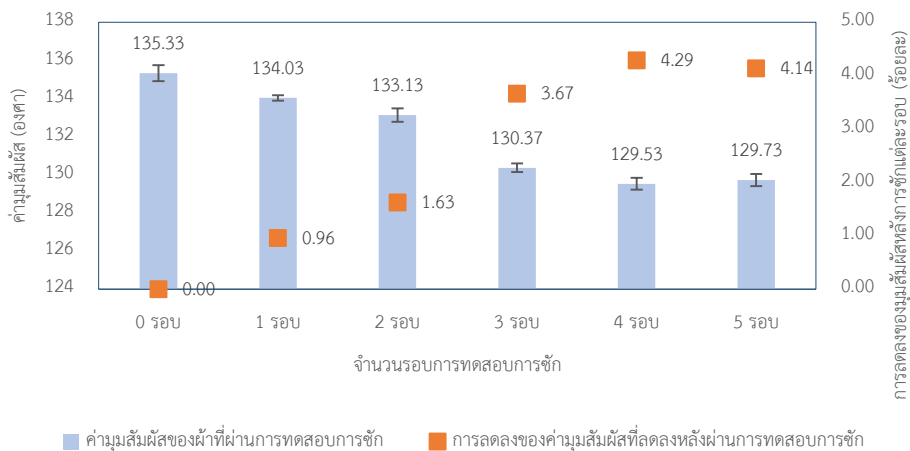
เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นผิวของผ้าที่ตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำต่างกัน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของผ้าตลอดจนขนาด

ช่องว่างของเส้นด้ายมีการเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสารสะท้อนน้ำที่ใช้ โดยช่องว่างของเส้นด้ายมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้สารตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านช่องว่างของเส้นด้าย ทั้งนี้พบว่า

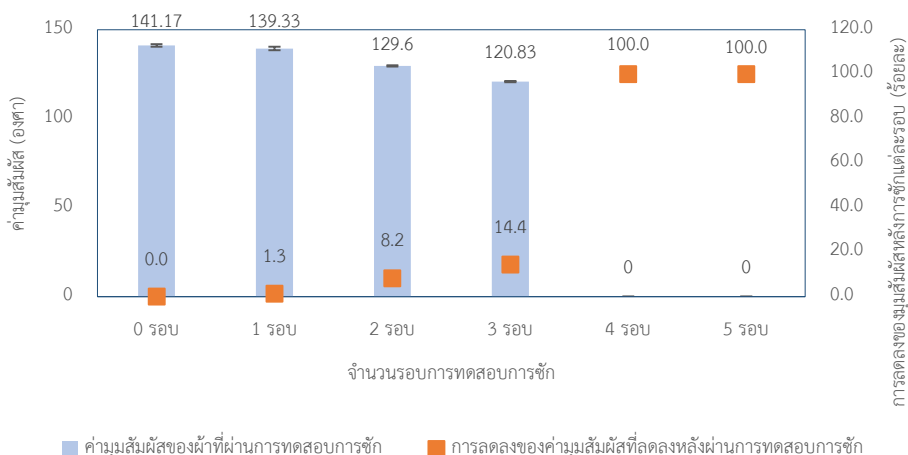
ช่องว่างของเส้นด้ายเมื่อตกแต่งผ้าด้วยสาร FCF มีขนาดเล็กกว่าการตกแต่งผ้าไหมทอมือด้วยสาร FC ซึ่งส่งผลทำให้ผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FCF มีความสามารถในการสะท้อนน้ำได้มากกว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FC ทั้งนี้การเกาะติดของสารสะท้อนน้ำขึ้นกับโครงสร้างและขนาดของอนุภาคของสารสะท้อนน้ำ [3,19]

3.2.6 ความคงทนต่อการซัก

เปรียบเทียบสมบัติความคงทนต่อการซักของผ้าที่ผ่านตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC และสาร FCF โดยทดสอบการซัก 5 รอบ นำผ้าก่อนและหลังการซักไปทดสอบมุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้า ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 10 – 11



ภาพที่ 10 ค่ามุมสัมผัสและร้อยละการลดลงของมุมสัมผัสภายหลังการซักของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสาร FC



ภาพที่ 11 ค่ามุมสัมผัสและร้อยละการลดลงของมุมสัมผัสภายหลังการซักของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสาร FCF

ผลการทดลองพบว่าผ้าไหมทอมือที่ตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยสาร FC มีความคงทนต่อการซักมากกว่าผ้าไหมทอมือที่ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วย

สาร FCF โดยผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร FCF มีความคงทนต่อการซักเพียงสามรอบเท่านั้นหลังจากนั้นความสามารถในการสะท้อนน้ำจะหมดไปในขณะที่ผ้า

ที่ตกแต่งด้วยสาร FC ภายหลังการซักไปห้ารอบแล้วยังมีสมบัติการสะท้อนน้ำได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากสาร FC ทำปฏิกิริยาติดติดกับผิวผ้าได้แข็งแรงมากกว่าสาร FCF

3.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

นำผ้าไหมทอมือลายยกดอกพริกไทย ตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ FCF แล้วนำไปให้ผู้ประกอบการด้านเย็บกระเป๋าผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบกระเป๋าทรงกลม ดังภาพที่ 12 และทดสอบความสามารถสะท้อนน้ำของผลิตภัณฑ์โดยการหยดน้ำลงบนผลิตภัณฑ์ได้ผลแสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 12 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบผ้าไหมทอมือ



ภาพที่ 13 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบผ้าไหมทอมือที่มีสมบัติสะท้อนน้ำ

นำผลิตภัณฑ์ต้นแบบผ้าไหมทอมือที่มีสมบัติสะท้อนน้ำสอบถามผู้บริโภคที่เป็นสตรี โดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ มีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 152 ราย พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอาชีพทำงานบริษัท จำนวน 68 คน คิดเป็นร้อยละ 44.74 รองลงมาเป็นนักศึกษา จำนวน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 21.71 อาชีพรับราชการ/วิสาหกิจ จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 18.42 และมีอาชีพอิสระ จำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 15.13 ผู้ตอบแบบสอบถามมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในภาพรวมต่อผลิตภัณฑ์กระเป๋าผ้าไหมทอมือที่มีสมบัติกันน้ำในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.29 ± 0.76 และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้านความสวยงามมากที่สุด (4.43 ± 0.76) รองลงมาเป็นความพึงพอใจด้านประโยชน์การใช้สอย และด้านการบำรุงรักษา โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากัน (4.38 ± 0.74) และมีความพึงพอใจด้านวัสดุน้อยที่สุด (4.38 ± 0.74) ผลจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์กระเป๋าผ้าไหมทอมือที่มีสมบัติกันน้ำ จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคลพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอายุ การศึกษา อาชีพ รายได้ และสถานภาพที่แตกต่างกันมีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์กระเป๋าผ้าไหมทอมือที่มีสมบัติกันน้ำ ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์กระเป๋าผ้าไหมทอมือที่มีสมบัติกันน้ำ สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในทุกช่วงวัย และทุกระดับอาชีพ

4. สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์กระเป๋าจากผ้าไหมทอมือด้วยสารสะท้อนน้ำ พบว่าประเภทและความเข้มข้นของสารสะท้อนน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญเพื่อให้ได้สมบัติการสะท้อนน้ำที่ดี ทั้งนี้สารสะท้อนน้ำทั้งสองชนิดใช้สภาวะที่เหมาะสมเหมือนกัน คือ ความเข้มข้น 70 กรัมต่อลิตร จุ่มบิอัดสารเข้าไปในผ้าด้วยเครื่องบีบอัดลูกกลิ้ง ค่าร้อยละการบีบอัดเท่ากับ 75 อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 2 นาทีให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 165 องศา

เซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 2 นาที ในสภาวะเดียวกัน
นี้ผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ FCF มีสมบัติที่
ดีกว่าผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ FC ในเรื่อง
ของการสะท้อนน้ำ ความเข้มข้นผ้า และความคงทน
ต่อแรงฉีกขาด ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ
FC มีสมบัติที่ดีกว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยสารสะท้อนน้ำ
FCF ในเรื่องความคงทนต่อการซัก ในการพัฒนา
ผลิตภัณฑ์กระเป๋าลูกเต๋าใช้สารสะท้อนน้ำประเภท
FCF เป็นทางเลือกที่ดีกว่า สาร FC เนื่องจากเป็น
ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการซักบ่อยครั้งและมีความเป็น
มิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า

ข้อเสนอแนะ

- (1) ศึกษาผลของจำนวนครั้งในการเคลือบผ้า
ด้วยสารสะท้อนน้ำ
- (2) การนำผ้าทอมือของชุมชนไปพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายในการสร้างอาชีพ
เพื่อเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มทอผ้าไหมบ้านอันแดก
ตำบลก้างแอน อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ความอนุเคราะห์
ห้องทดสอบทางสิ่งทอ

6. อ้างอิง

1. Chang H, Tu K, Wang X, Liu J. Facile
Preparation of stable superhydrophobic
coatings on wood surfaces using silica-
polymer nanocomposites. *BioResources*.
2015;10(2):2585–2596.
2. Ogihara H, Xie J, Okagaki J, Saji T. Simple
method for preparing superhydrophobic
paper: spray-deposited hydrophobic
silica nanoparticle coatings exhibit high
water-repellency and transparency.
Langmuir ACS J Surf Colloids. 2012;
28(10):4605–8.

3. Chowdhury KP. Performance evaluation
of water repellent finishes on cotton
fabrics. *Int J Text Sci*. 2018;7(2):48–64.
4. Ghosh J, Islam MdR, Chakraborty A. A
qualitative analysis of different types of
water repellent agent used on cotton
fabric. *Eur Sci J ESJ* [Internet]. 2020 Feb
29 [cited 2021 May 29];16(6). Available
from: [http://eujournal.org/index.php/esj
/article/view/12790](http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/12790)
5. Lee HJ, Michielsens S. Preparation of a
superhydrophobic rough surface. *J
Polym Sci Part B Polym Phys*. 2007;
45(3):253–61.
6. Li ZR, Fu KJ, Wang LJ, Liu F. Synthesis of
a novel perfluorinated acrylate copoly-
mer containing hydroxyethyl sulfone as
crosslinking group and its application on
cotton fabrics. *J Mater Process Technol*.
2008;205(1):243–8.
7. Roe B, Zhang X. Durable hydrophobic
textile fabric finishing using silica
nanoparticles and mixed silanes. *Text
Res J*. 2009;79(12):1115–22.
8. UNEP. POPS/PORC.15/7Add.1 Report of
the persistent organic pollutants review
committee on the work of its fifteenth
meeting. [Internet]. 2019 [cited 2023 Feb
26]. Available from: [http://chm.pops.
int/TheConvention/POPsReviewCommit
tee/Meetings/POPRC15/](http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC15/)
9. Ahrens L. Polyfluoroalkyl compounds in
the aquatic environment: a review of
their occurrence and fate. *J Environ
Monit JEM*. 2011;13(1):20–31.
10. Ahrens L, Gashaw H, Sjöholm M,
Gebrehiwot SG, Getahun A, Derbe E, et

- al. Poly- and perfluoroalkylated substances (PFASs) in water, sediment and fish muscle tissue from Lake Tana, Ethiopia and implications for human exposure. *Chemosphere*. 2016;165:352–7.
11. Lam NH, Cho CR, Kannan K, Cho HS. A nationwide survey of perfluorinated alkyl substances in waters, sediment and biota collected from aquatic environment in Vietnam: Distributions and bioconcentration profiles. *J Hazard Mater*. 2017;323(Pt A):116–27.
12. จิรา คงปราน. สารเพอร์ฟลูออโรอัลคิลและโพลีฟลูออโรอัลคิลกับการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย. *วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา*. 2561;13(2):151–67.
13. ASTM. ASTM D 7490-13: Standard test method for measurement of the surface tension of solid coatings, substrates and pigments using contact angle measurements. 2022. [cited 2023 Feb 26]. Available from: https://www.astm.org/d3776_d3776m-20.html
14. ASTM. Standard test methods for mass per unit area (weight) of fabric [Internet]. 2023 [cited 2023 Feb 26]. Available from: https://www.astm.org/d3776_d3776m-20.html
15. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 121 เล่ม 18-2553 แรงฉีกขาดของผ้าทอโดยใช้เครื่องทดสอบแบบเอลเมนต์อร์ฟ [Internet]. 2023 [cited 2023 Feb 26]. Available from: <https://service.tisi.go.th/standard-shop/web/index.php?r=site>
16. Samanta P. Basic principles of colour measurement and colour matching of textiles and apparels. Intechopen. DOI: 10.5772/intechopen.101442. [Internet] 2021. [cited 2023 April 2]. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/80062>
17. AATCC. AATCC 135 : Test Method for Dimensional Changes of Fabrics after Home Laundering [Internet]. 2018 [cited 2023 Feb 26]. Available from: <https://global.ihs.com>
18. Pandit S, Basuk M, Ruhela D, Bait S. Effect of curing temperature on development of water based polyurethane coated Polyester. 2018;5(4):967-973.
19. Güneşoğlu C, Kut D, Orhan M. Effect of the particle size of finishing chemicals on the color assessment of treated cotton fabrics. *J Appl Polym Sci*. 2007;104(4):2587–94.

ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดินด้วยจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ Efficiency of Contaminated Glyphosate Reduction in Soil by Selective Microbes

พรจิรา การภักดี¹, ศศิธร หาสิน¹, อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์², อภิขยา สวัสดิ์^{1*}
Pornjira Kanparkdee¹, Sasitorn Hasin¹, Ananya Popradit², Apichaya Sawasdee^{1*}

¹สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

²สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

¹Program in Innovation of Environmental Management, College of Innovative Management,

Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

²Program in Environmental Studies, College of Innovative Management,

Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

*02 909 3021 E-mail: apichaya.s@vru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดินด้วยจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* โดยในการดำเนินงานวิจัยจะทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินที่นำมาใช้ในงานวิจัย จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดิน ออกแบบการทดลองโดยแปรผันความเข้มข้นของไกลโฟเสตเพื่อติดตามความเปลี่ยนแปลง เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้น เก็บตัวอย่างดินเพื่อไปวิเคราะห์ปริมาณของไกลโฟเสตด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC) และนำมาคำนวณประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตจากผลการวิจัยพบว่า คุณสมบัติดินที่ใช้ในการวิจัยมีลักษณะเป็นดินเหนียว และค่าอินทรีย์วัตถุในดินตัวอย่างมีปริมาณ 26 กรัมต่อ กิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่าพีเอช 6.58 ซึ่งเป็นกรดอ่อน ในส่วนการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตนั้นพบว่า เมื่อใช้ปริมาณของจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ 10 กรัม และความเข้มข้นของไกลโฟเสต 240 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม นั้น จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดไกลโฟเสตมากกว่าการใช้ความเข้มข้นของไกลโฟเสต 120 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม คือ ร้อยละ 91.69 และ ร้อยละ 90.81 ตามลำดับ ดังนั้น จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการไกลโฟเสตที่ตกค้างในดินที่เกิดขึ้นในภาคเกษตรโดยใช้จุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ จากงานวิจัยนี้ได้

คำสำคัญ : จุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ ไกลโฟเสต ประสิทธิภาพการกำจัด

ABSTRACT

This research studied the efficiency of glyphosate reduction in soil contamination by selective microbes. The selective microbes consisted of *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*. In this research was examined the physical and chemical properties in the soil. Then, the efficiency of glyphosate reduction in soil was investigated. The experimental design was varied the concentration of glyphosate within 7 days. Soil samples were collected

Received 19-02-2023

Revised 16-03-2023

Accepted 18-04-2023

to glyphosate analysis by gas chromatography (GC) and calculated the efficiency of glyphosate reduction. The results showed that soil properties were clay and organic matter in sample soil was 26 g/kg within medium level. In term of pH was 6.58 as weak acid. Regarding glyphosate contamination reduction, 10 g of selective microbes and 240 mg/kg of glyphosate concentration was found the greatest removal efficiency of glyphosate compared to 120 mg/kg of glyphosate concentration as 91.69 and 90.81%, respectively. Therefore, this research can also apply to glyphosate management in the agricultural sector by selective microorganisms from this research.

Keyword: Selective microbes; Glyphosate; Removal efficiency

1. บทนำ

ไกลโฟเสต ($C_{12}H_{14}N_2^{+2}$) เป็นหนึ่งในสารกำจัดวัชพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในวงกว้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด [1] เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำการเกษตร [2] มีความสามารถในการละลายสูงในตัวทำละลายที่ขบขันและความสามารถในการเคลื่อนที่สูงช่วยให้การชะล้างไกลโฟเสตลงสู่ดินอย่างรวดเร็ว ซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินและการสะสมในเนื้อเยื่อพืชดินเสื่อมโทรม ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ และเป็นผลคุกคามชีวิตมนุษย์และสัตว์ [3] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าไกลโฟเสตสามารถเปลี่ยนแปลงความหลากหลายของกลุ่มจุลินทรีย์ ทั้งยังเพิ่มจำนวนประชากรของเชื้อราก่อโรคพืชอีกด้วย แม้ว่าการใช้ไกลโฟเสตยังปลอดภัยกว่าการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทอื่น แต่เมื่อใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดผลกระทบเรื้อรังต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ทั้งยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศบนบกและทางน้ำ และเนื่องจากไกลโฟเสตนั้นสามารถถูกดูดซับ (Adsorption) กับดินที่มีอินทรีย์วัตถุ จึงทำให้ไกลโฟเสตสามารถตกค้างได้เป็นระยะเวลานาน [4-10] โดยเฉพาะอย่างยิ่งไกลโฟเสตสามารถตกค้างในดินเหนียวมากกว่า 1 ปี เนื่องจากดินเหนียวมีสารอินทรีย์วัตถุมาก แต่อย่างไรก็ตามจะถูกชะล้างได้เร็วในดินทราย [6-7,11]

อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้นยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเกษตรกร ดังนั้นการนำ

เทคโนโลยีมาช่วยในการลดการตกค้างของสารเคมีจึงเป็นทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำจุลินทรีย์ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในการจัดการกับสารกำจัดศัตรูพืชนั้นมีจำนวนมาก ดังนี้ *Aerobacter aerogenes*, *Trichoderma viridae*, *Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Arthrobacter* sp. และ *Bacillus* sp. สามารถกำจัด DDT นอกจากนี้ *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Achromobacterium* sp., *Sphingomonas* sp. และ *Arthrobacter* sp. ยังสามารถกำจัด Carbofuran ซึ่งเป็นสารกลุ่ม Carbamate ได้ [12-15] และได้มีการรวบรวมจุลินทรีย์ที่สามารถย่อย Organophosphorus โดยพบว่าแบคทีเรียและเชื้อราหลายชนิดสามารถย่อยได้ เช่น *Pseudomonas* sp. และ *Flavobacterium* sp. สามารถย่อยได้ทั้ง Chlorpyrifos, Parathion, Methyl parathion และ Glyphosate ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพ คือ จุลินทรีย์ตัดสายพันธุ์ จะเป็นทางเลือกที่สามารถลดการตกค้างของสารเคมี เนื่องจากมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์จำนวนมาก เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา แอคติโนไมซีต และจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่นๆ สามารถย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชได้ [16] ผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เช่น Enzymatic degradation เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในศึกษาประสิทธิภาพการลด

ไกลโฟเสตในดิน โดยใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 จุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์

จุลินทรีย์ผสมที่ผ่านการคัดสายพันธุ์ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* ที่สามารถย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปของสารไกลโฟเสตในดิน ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ได้รับการพัฒนาจากอาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ร่วมกับบริษัทเอกชน

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ: การวิเคราะห์ประเภทของดินโดยการแจกกระจายขนาดของอนุภาคดิน (Particle size distribution) ด้วยวิธีไปเพตต์ [17] และนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ดังสมการที่ 1-3

สมการคำนวณ ปริมาณอนุภาคขนาดทรายทรายแป้ง และดินเหนียวในดิน

$$1) \text{ ร้อยละอนุภาคทราย} = \frac{(100 \times A)}{W} \quad (1)$$

$$2) \text{ ร้อยละอนุภาคดินเหนียว} = \frac{(100 \times A)}{W} \quad (2)$$

$$3) \text{ ร้อยละอนุภาคทรายแป้ง} = 100 - (\%sand + \%Clay) \quad (3)$$

โดยที่

W = น้ำหนักดินหลังอบ (กรัม)

A = น้ำหนักอนุภาคทรายหลังอบ (กรัม)

B = น้ำหนักอนุภาคดินเหนียวหลังอบ (กรัม)

H = ความสูงในการดูดสารแขวนลอยในกระบอกตวง (มิลลิเมตร)

2.2.2 สมบัติทางเคมี: ค่าความเป็นกรดต่างในดิน (pH) โดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบค่าพีเอชคือ Soil pH meter

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสต

การศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสต จะออกแบบการทดลองเพื่อติดตามความเปลี่ยนแปลงของไกลโฟเสตที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังจากการเติมจุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์ดำเนินการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ โดยแบ่งออกเป็น 2 ทรีตเมนต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณของจุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์และไกลโฟเสตที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ทรีตเมนต์	ปริมาณของจุลินทรีย์คัสดสายพันธุ์ (กรัม)	ปริมาณของไกลโฟเสต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1*	0	240
2*	0	120
3	10	240
4	10	120

หมายเหตุ * คือ Control

โดยนำไกลโฟเสตใส่ในตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนของดินในที่ใช้ในการเกษตร ดำเนินการทดลองในภาชนะขนาด 20 × 30 เซนติเมตร ในปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 1 และติดตามการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 7 วันตลอดระยะเวลาการดำเนินการวิจัย จากนั้นเก็บตัวอย่างดิน และเตรียมดินตัวอย่างดิน โดยใช้ 1M NaOH ในการสกัดตัวอย่างดิน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณของไกลโฟเสตด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC) คอลัมน์ Fused-silica capillary โดยใช้ Helium เป็นก๊าซตัวพา (Carrier gas) ที่ Flow rate 0.7 มล./นาที [18]

จากนั้นนำมาคำนวณประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตดังสมการที่ 4

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดไกลโฟเสต} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่

C_i = ความเข้มข้นของไกลโฟเสตที่เวลาเริ่มต้น

C_f = ความเข้มข้นของไกลโฟเสตที่เวลา t

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ โดยวิธีการแจกกระจายขนาดอนุภาคดินพบว่าดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และเมื่อพิจารณาค่าอินทรีย์วัตถุในดินตัวอย่างพบว่ามีปริมาณ 26 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ในส่วนค่าความเป็นกรดด่างมีค่าพีเอช 6.58 ซึ่งมีค่าเป็นกรดอ่อน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

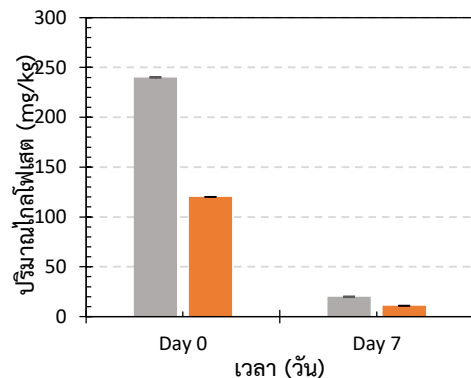
แหล่งเก็บ ตัวอย่าง ดิน	พารามิเตอร์			
	ค่าพี เอช	การแจกกระจาย ขนาดอนุภาคดิน (%)		
		ทราย	แป้ง	เหนียว
ดินจาก พื้นที่นา ข้าว	6.58	14	28	58

ซึ่งค่าพีเอชนั้นมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายพาราคอตของจุลินทรีย์ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของมัลลิกา ชีระกุล และคณะ พบว่า ที่ค่าพีเอช 5 มีประสิทธิภาพการย่อยสลายไกลโฟเสต 41.17% แต่เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 6 ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเป็น 81.31% และจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 8 โดยมีค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายไกลโฟเสต 75.77% สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ เนื่องจากค่าพีเอชในดินมีค่า 6.58 ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดนั้นสูงสุด 91.69% [19]

3.2 ประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสต

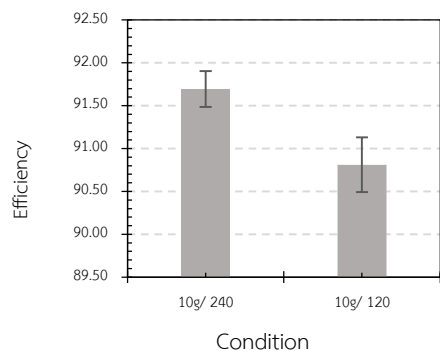
จากการเก็บข้อมูลการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสต โดยใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์คัตสายพันธุ์ *Pedococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* พบว่า การเติมจุลินทรีย์คัตสายพันธุ์ 10 กรัม ที่ความเข้มข้นของไกลโฟเสตเริ่มต้น 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นั้น

สามารถลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตได้ในวันที่ 7 ซึ่งมีไกลโฟเสตคงเหลือ 19.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 11.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณไกลโฟเสตที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้จุลินทรีย์คัตสายพันธุ์ 10 กรัม ความเข้มข้นของไกลโฟเสตเริ่มต้น 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดไกลโฟเสตที่สภาวะควบคุม (Control) ไกลโฟเสตสามารถย่อยสลายไปได้เพียง ร้อยละ 2.47-10.17 ในส่วนชุดการทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์และไกลโฟเสตที่แตกต่างกันนั้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่าร้อยละ 85 ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดไกลโฟเสตโดยใช้จุลินทรีย์คัตสายพันธุ์

สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Yu XM, Yu T, Yin GH, et al. [20] โดยระบุว่า *Bacillus subtilis* สามารถย่อยสลายไกลโฟเสตได้ โดยใน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นพบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายไกลโฟเสตของ *Bacillus subtilis* นั้นอยู่ที่ 71.57% ในระยะเวลา 96 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไกลโฟเสตในงานวิจัยนี้สูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของระยะเวลาการบำบัดนั้นมียะเวลามากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งในการจัดการไกลโฟเสตในสิ่งแวดล้อมนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การใช้วิธีทางกายภาพ การใช้วิธีทางชีวภาพ การใช้กระบวนการออกซิเดชันรีดักชัน เป็นต้น [21] จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ในการย่อยสลายไกลโฟเสต ซึ่งถือเป็นทางเลือกที่ต้นทุนต่ำ ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของกลุ่มจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการย่อยสลายไกลโฟเสต คือ *Aerobacter aerogenes*, *Trichoderma viridae*, *Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Arthrobacter* sp. และ *Bacillus* sp. สามารถกำจัด DDT นอกจากนี้ *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Achromobacterium* sp., *Sphingomonas* sp. และ *Arthrobacter* sp. ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณากับจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* พบว่าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์นี้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไกลโฟเสตได้ดี และใช้ระยะเวลาอันสั้นแบบที่เรียสามารถใช้ไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอนไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ผ่าน 2 Pathway คือ Glyphosate oxidoreductase และ C-P lyase [22] โดยใน Glyphosate oxidoreductase pathway นั้น ไกลโฟเสตจะถูกเปลี่ยนเป็น Glyoxylic acid ($C_2H_2O_3$) และ Aminomethyl-phosphonic acid (AMPA) จากนั้น AMPA จะเข้าสู่ C-P lyase pathway และสามารถเปลี่ยนเป็นเมทิลามีนและฟอสเฟตซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำฟอสเฟตไปใช้เป็นธาตุอาหารได้ นอกจากนี้เมื่อไกลโฟเสตเข้าสู่ C-P lyase pathway จะทำให้ไกลโฟเสตถูกเปลี่ยนเป็น ฟอสเฟตและSarcosine ซึ่ง

Sarcosine นั้น สามารถเปลี่ยนเป็น Formaldehyde และ Glycine ต่อไป [21]

ไกลโฟเสตไม่เพียงแต่มีผลกระทบในดิน ยังมีผลกระทบต่อแหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น โพรโตซัว หอย และปลา [23] มีการรายงานถึงผลกระทบของไกลโฟเสตในปลา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมในปลา ยังมีการรายงานผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการได้รับไกลโฟเสตในผิวน้ำ พันธุ์ที่มีการให้บริการทางระบบนิเวศ เช่น การผสมเกสรอีกด้วย นอกจากนี้ไกลโฟเสตถูกพบในอาหารสัตว์ รวมถึงอาหารของมนุษย์อีกด้วย จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการตกค้างของไกลโฟเสตส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการตกค้างของไกลโฟเสตส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมทั้งในดินและในแหล่งน้ำ เป็นอย่างมาก นำไปสู่การตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงถือเป็นวิธีการที่สามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการตกค้างของไกลโฟเสตได้ทางหนึ่ง และนำไปสู่การจัดการสารเคมีตกค้างในดินที่เกิดขึ้นในภาคเกษตรได้ ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมดินก่อนการทำ เกษตรปลอดภัยได้อีกด้วย

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนของไกลโฟเสตในดินด้วยจุลินทรีย์ผสมคัดสายพันธุ์ ประกอบด้วย *Pediococcus* sp. *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis* ซึ่ง จากผลการวิจัยพบว่า การใช้จุลินทรีย์คัดสายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการลดไกลโฟเสตได้มากกว่าร้อยละ 85 ภายในระยะเวลา 7 วัน ดังนั้นจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์นี้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไกลโฟเสตได้ดี และใช้ระยะเวลาอันสั้นแบบที่เรียสามารถใช้ไกลโฟเสตเป็นแหล่งคาร์บอนไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gill JPK, Sethi N, Mohan A. Analysis of the glyphosate herbicide in water, soil and food using derivatising agents. *Environ Chem Lett*. 2017;15(1):85-100.
- [2] Zhang C, Hu X, Luo J, et al. Degeneration Dynamics of Glyphosate in Different Types of Citrus Orchard Soils in China. *Molecules*. 2015;20(1): 1161-75.
- [3] Singh S, Kumar VA, Gill JPK, et al. Herbicide Glyphosate: Toxicity and Microbial Degeneration. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(20):7519.
- [4] Banks ML, Kennedy AC, Kremer RJ, et al. Soil microbial community response to surfactants and herbicides in two soils. *Soil Ecol*. 2014;(74):12-20.
- [5] Cassigneul A, Benoit P, Bergheaud V, et al. Fate of glyphosate and degradates in cover crop residues and underlying soil: A laboratory study. *Sci Total Environ*. 2016;(545-546):582-90.
- [6] Okada E, Costa JL, Bedmar F. Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no- till and conventional tillage. *Geoderma*. 2016;(263):78-85.
- [7] Sidoli P, Baran N, Angulo-Jaramillo R. Glyphosate and AMPA adsorption in soil: laboratory experiments and pedotransfer rules. *Environ Sci Pollut Res*. 2016;23(6):5733-42.
- [8] Simonsen L, Fomsgaard IS, Svensmark, B, et al. Fate and availability of glyphosate and AMPA in agricultural soil. *J Environ Sci Health B*. 2008;43(5):365-75.
- [9] Sviridov AV, Shushkova TV, Ermakova IT, et al. Microbial degradation of glyphosate herbicides (Review). *Appl Biochem Microbiol*. 2015;51(2):183-90.
- [10] Travaglia C, Masciarelli O, Fortuna J, et al. Towards sustainable maize production: Glyphosate detoxification by *Azospirillum* sp. and *Pseudomonas* sp. *Crop Protection*. 2015;77(6):102-9.
- [11] Bergstrom L, Borjesson E, Stenstrom J, et al. Laboratory and lysimeter studies of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a sand and a clay soil. *J Environ Qual*. 2011;40(1):98-108.
- [12] Porto AM, Melga GZ, Kasemodel MC, et al. Biodegradation of Pesticides. *Pesticides in the Modern World – Pesticides Use and Management*. 1st ed. Rijeka: In Tech; 2011.
- [13] Singh BK, Walker A, Morgan JA, et al. Microbial degradation of organophosphorus compounds. *FEMS Microbiol Rev*. 2006;30(3):428-71.
- [14] Singh BK, Walker A, Morgan JA, et al. Effects of soil pH on the biodegradation of chlorpyrifos and isolation of a chlorpyrifos- degrading bacterium. *Appl Environ Microbiol*. 2003;(69):5198-5206.
- [15] Singh BK, Walker A, Morgan JA, et al. Biodegradation of chlorpyrifos by *Enterobacter* strain B- 14 and its use in bioremediation of contaminated soil.

- Appl Environ Microbiol. 2004;70(8):4855-63.
- [16] Huang Y, Xiao L, Li F, et al. Microbial Degradation of Pesticide Residues and an Emphasis on the Degradation of Cypermethrin and 3-phenoxy Benzoic Acid: A Review. *Molecules*. 2018;23(9):2313.
- [17] USDA Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Laboratory Methods Manual. No. 42. Version 4.0. Washington DC: Soil Survey Investigation Report; 2004.
- [18] Borjesson E, Torstensson L. New methods for determination of glyphosate and (aminomethyl)phosphonic acid in water and soil. *J Chromatogr A*. 2000;886(1-2):207-16.
- [19] Teerakun M, Saraphirom P, Reungsang A. Optimization of Paraquat Degradation by Microbial Consortium from Rhizosphere Soil. *EAU Herit J*. 2017;11(2):90-99.
- [20] Yu XM, Yu T, Yin GH, et al. Glyphosate biodegradation and potential soil bioremediation by *Bacillus subtilis* strain Bs-15. *Genet Mol Res*. 2015;14(4):14717-30.
- [21] Castrejon-Godinez ML, Tovar-Sanchez E, Valencia-Cuevas L, et al. Glyphosate Pollution Treatment and Microbial Degradation Alternatives, a review. *Microorganisms*. 2021;9(11):2322.
- [22] Singh S, Kumar VA, Singh J, Kinetic study of the biodegradation of glyphosate by indigenous soil bacterial isolates in presence of humic acid, Fe (III) and Cu (II) ions. *J Environ Chem Eng*. 2019;7(3):103098.
- [23] Van Bruggen AHC, He MM, Shin K, et al. Environment and health effects of the herbicide glyphosate. *Sci Total Environ*. 2018;616-617(3):255-68.

Development of 4-DoF Robotic Arm Control System with Voice Command for Grasp Assistance

Teerawit Assawasillapakul^{1*}, Nutdanai Singkhleewon¹, Kanlaya Thanasin¹

¹Smart Technology Program, Department of Computer, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok
teerawit.as@bsru.ac.th

ABSTRACT

The objective of this research was to develop and examine the robotic arm system and speech recognition system controlled by microcontroller for object grasp control with voice command. The efficiency tests were movement efficiency of robotic arm, efficiency of speech recognition system, and performance of robotic arm control with voice commands.

The results revealed that robotic arm control with voice command system has the efficiency of robotic arm joints control for accurate movements in workspace as designed with 4 joints. In the speech recognition system, 10 voice commands were remembered to encode to the robotic arm control system efficiently with more than 90% accuracy. In consequence, the system that was developed can be used for grasp tasks in a robot workspace.

Keywords: Robotic arm/ Speech recognition/ Microcontroller

1. INTRODUCTION

For the past decade of societies among industrial robot, people also pay attention in research of robotics which emphasize interaction with humans or users. The main characteristic of this typical robot is having a robotic arm as the main component for support work or service in many ways as they were programmed.

Refer to ability in picking up the object as same as industrial robot robotic arm only the smaller size and abate performance, user able to adapt the smaller robotic arm in their housework. Most of them will create direct interaction with the user, for instance give robot the demand by remote controller or switch on control panel. Nevertheless, in humanity daily life some activities require specific skills but not all of us have the same level of ability such as repair or maintenance.

If there was an operating assistant and supporter, they would fill the gap of laxation in some abilities to improve the performance.

As soldering electronic device which need the perfect solder mark as designed without any default otherwise the circuit will be work for full efficiency so the user must have the concentrate and accuracy to place marked component, but user had to hold soldering and lead tools with both hands while it is hardly to place them in correct position. If there are assistants or professional supporters in that process, it will decrease the production time and increase the effectiveness of work.

From the above example, researchers had accommodated the concept of arm type robot standard logic and system to be supporter in grasping object in several works which necessary hold more than two equipment.

Received 10-12-2022

Revised 13-01-2023

Accepted 20-01-2023

Furthermore, researcher had included the memorizing of user voice as command in controlling arm robot in various movements that increase efficiency in interaction with robot and convenient for user in any activities which require assistant in grasping object.

The control of robotic arms is the subject of a wide range of studies and applications that were on exhibit in the middle of the most recent years [1]. A physically controlled arm that has been designed to behave like a human arm is known as a programmed arm [2-4]. A voice-controlled robotic arm that assists people in their daily routines is a working prototype [5-6].

These prototype systems suggest robotic arm that can understand voice commands from people. The robot capacity to communicate with people using their natural mode of communication is improved by speech recognition technology which is a valuable advantage [7-9].

The manipulator, the voice recognition module, and the microcontroller are the three separate components that make up the overall system. The system uses a voice-encoder module which is affordable and simply functional to convey prepared commands based on activities that are taken. The servo motors, which are positioned and maintained in various directions, are used to control the movement of the robotic arm. Microcontrollers are used to control robot movement and other signal control [10].

Moreover, the voice Google assistant can be implemented on the system. Any

language can access this implementation, the effectiveness of using longer sentences and phrases was tested and the result was found to be successful but depend on internet using that restrict some utilization of system [11-13]. Therefore, simple control functions in the offline system can be developed in the non-complex commands from user such as speech voice like ‘up’ and ‘down’. The conversion of human speech into machine-understandable language is done using a voice recognition module. The voice can be recognized by the module which up to 80 voice commands are supported and the user must train the module before the voice command translation [14-15].

2. MATERIALS AND METHODS

The development of a robotic arm control system with voice command for grasp assistance involves three systems: the robotic arm system, the voice recognition system, and the main control system. When the user issues a voice command to the robotic arm, the specific keyword is recorded by the voice recognition system, which then analyzes the command into a data signal for response. After that signal will be sent to microcontroller board which control the robot by sending control signal to motor driver board for servo motors driving. The arm robot can adjust to different orientation and grasp object for user supporting in many tasks. The system process will be explained as shown diagram in Figure 1.

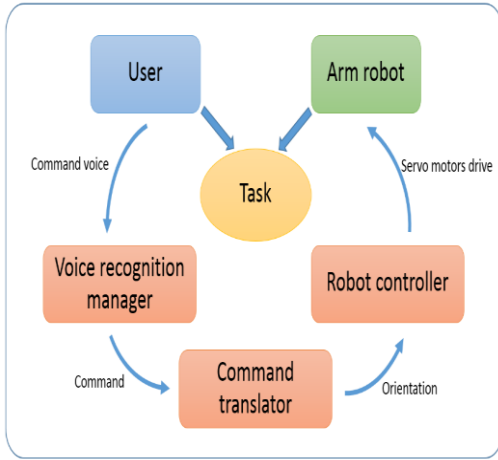


Figure 1. Research system block diagram

The mechanical design of the robotic arm uses a four-joint revolute articulated arm and installs the voice recognition system at once. The structure of the robotic arm is made from stainless steel to provide strength and rust resistance, along with a movement design that involves the rotation of four servo motors to drive the joint to the intended point.

Starting with the first joint which contains θ_1 to represent the rotation position of the base of robotic arm. The second joint contains θ_2 , which represents the controller point of the overall rotation of the robotic arm for upward and downward movement. The third joint contains θ_3 , which represents the rotation point for horizontal movement, and the last joint contains θ_4 , which controls the rotation for

grasping objects and allows them to be turned to another angle. The direction of rotation for each motor is shown in Figure 2.

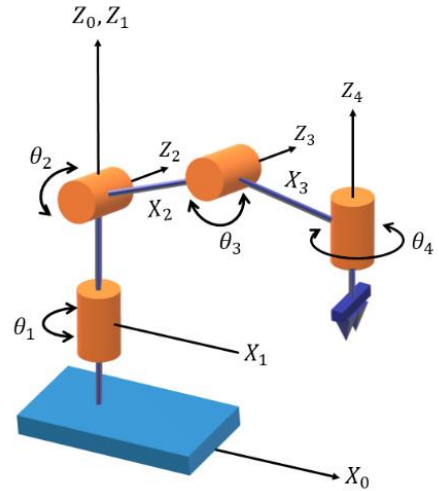


Figure 2. Arm robot joints direction design in this research

Referring to Figure 2, the relationship between each angle can be found from the following equation, where P_x , P_y , and P_z are the position coordinates, and a_1 , a_2 , and a_3 are the link lengths of the robotic arm in the workspace. These values can be used to control the angles of the servo motors.

As a result of the design of robotic arm, the workspace of robot will be as shown in Figure 3

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{P_y}{P_x} \right) \quad (1)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{(P_z - a_1)(a_2 + a_3 \cos \theta_3) - \sqrt{P_x^2 + P_y^2} a_3 \sin \theta_3}{\sqrt{P_x^2 + P_y^2} (a_2 + a_3 \cos \theta_3) + (P_z - a_1) a_3 \sin \theta_3} \right) \quad (2)$$

$$\theta_3 = \pm \cos^{-1} \left(\frac{P_x^2 + P_y^2 + (P_z - a_1)^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2a_3} \right) \quad (3)$$

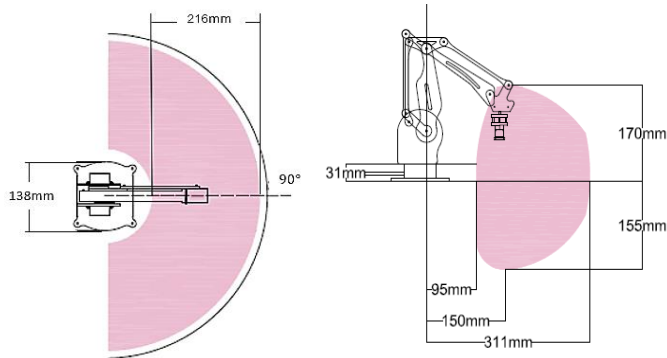


Figure 3. Robotic arm workspace.

From Figure 3 , the robotic arm workspace in horizontal plane X-Y covers the 21.6cm radiance of half ring shape area with limitation of base rotate at 180° . The original setting point of base rotation was 90° , allowing it to rotate 90° to the left and right sides. In the side view, the robotic arm has the ability to grasp objects within the shaded area, which ranges from the shortest length of 95mm to the longest length of 311mm away from the base rotation point. When the robotic arm is installed to work on the edge of a desk, its workspace will be 170mm above and 155mm below the desk. To reduce the weight and task load on the second joint, a mechanical method was used to install the motor at the base of the robot, with power transmission by a shaft to drive the arm, as shown in Figure 4.

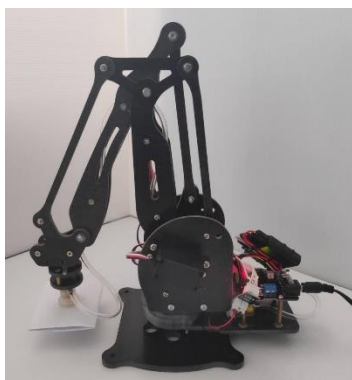


Figure 4. Structure of improved robotic arm

In the electronic circuit design, a 12VDC switching power supply is used for the main power supply of other devices. The voice recognition module V3 translates the voice signal from microphone and transmits the data to Arduino through serial communication via Rx pin 2 and Tx pin 3. The Arduino then compares the code with the programmed command and transmits a signal out via pin 4,5,6, and 7 to control all four servo motors, which drive the movement of the robotic arm. The grasp function is made using a suction cup and vacuum pump, which is controlled by pin 8 of the Arduino and transfers energy through the In/Out pin of the driver motor board. The system always uses a 3.5mm microphone to connect to the voice recognition module, as shown in Figure 5.

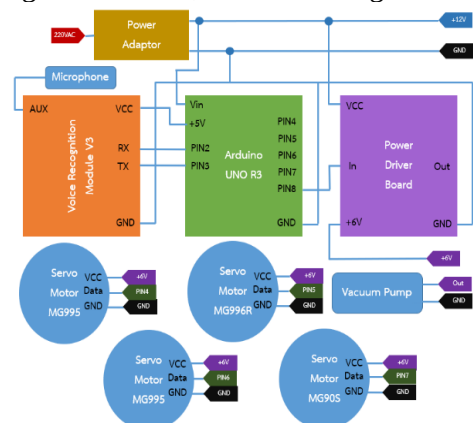


Figure 5. Electronics circuit diagram

The voice recognition system starts by training the voice recognition module V3 to memorize voice commands for controlling the movement of the robotic arm in different posture, using 10 designed phases of voice commands. The voice recognition module V3 conveys the command code to the microcontroller board Arduino for system control. The controller is programmed with the variables of the devices, the initial servo motor angle value for the orientation of the robotic arm, and parameters for modeling equations as well as position coordinates in the operating area of the robotic arm (P_x , P_y , P_z). The system waits for voice commands from the voice recognition module V3, compares the speech, converts each of the 10 commands to an integer number between 0 and 9, stores the value in a variable called 'data', and uses that variable to analyze the conditions for adjusting the driving angle of the servo motors and the operation of the vacuum pump. The robotic arm system will carry out the previous movement until a 'Stop' command is given. The system works in a cycle, repeating the process of waiting for voice commands until the system is terminated. The order of system operation can be seen in Figure 6

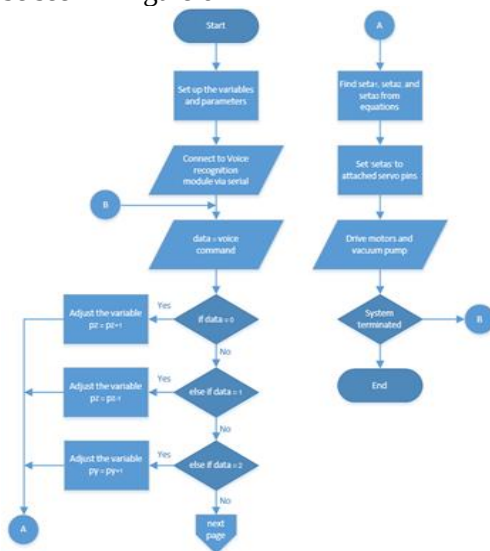


Figure 6. System operation flow chart

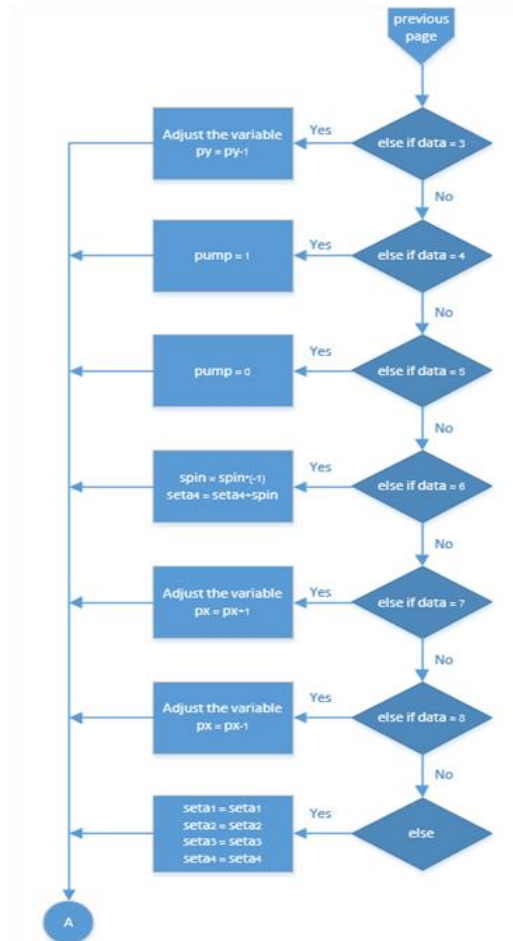


Figure 6. System operation flow chart (continued from previous page)

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1 Voice recognition efficiency test

This test aims to determine the efficiency, correctness, and accuracy of the translation of user voice commands into code numbers 0-9, which are then used to define the movement of the robotic arm. The method involves speaking the voice commands through the microphone within a maximum radius of 50cm, with a total of 10 designed commands, and speaking each command 20 times. Afterwards, the

information is verified using the Arduino IDE application with the Serial Monitor function to check whether the commands were correctly translated into code numbers, as seen in Figure 7. The results are shown in Table 1.

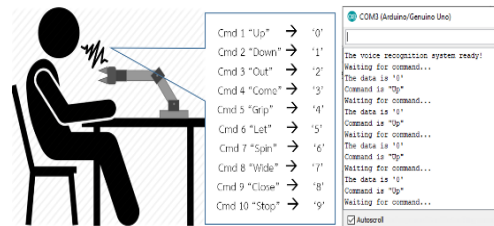


Figure 7. An user send voice command to the system with 10 commands

Table 1. Voice recognition system efficiency test result

	commands									
	up	down	out	come	grip	let	spin	wide	close	stop
Correction	100%	95%	100%	90%	95%	95%	100%	95%	100%	100%

The results showed that the voice recognition system correctly converted the given commands into code numbers without converting them into other, undefined numbers. Therefore, the calculation of the correctness of code number conversion showed that the voice recognition system had an efficiency of above 90%, which is sufficient for use in the robotic arm control system.

3.2 Robotic arm system efficiency test

The test used the method of identifying joint rotation degree for individual joint via serial communication and then measured the actual joint rotation degree. The extent of rotation degree and original value of each joint will be shown in Table 2 and the results appear in Figures 8 - 11.

Table 2. Rotation range and initial value of each robotic arm joint in degree

Joint number	Rotation range (degree)	Default (degree)
1	0 - 180	90
2	0 - 105	0
3	0 - 80	0
4	0 - 180	90

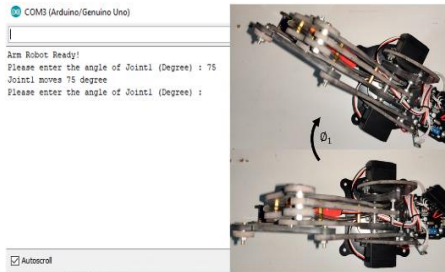


Figure 8. Comparison rotaion angle of the first joint



Figure 10. Comparison rotaion angle of the third joint

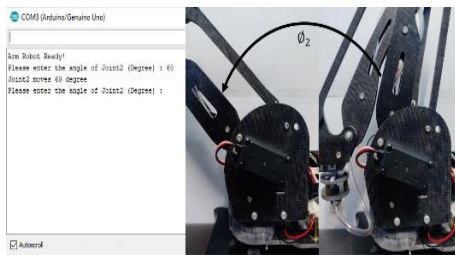


Figure 9. Comparison rotaion angle of the second joint

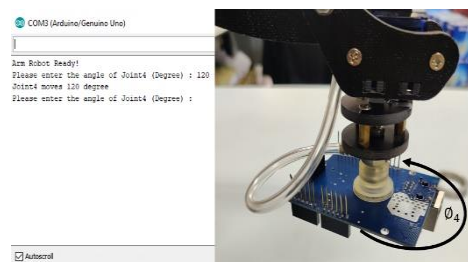


Figure 11. Comparison rotaion angle of the fourth joint

Referring to Figure 8, the results of the commanded rotation angle show that the robotic arm is able to effectively move to the set angle when

the rotation angle is set to low speed. The results of the rotation angle control and speed for each joint of the robotic arm can be seen in Figure 12.

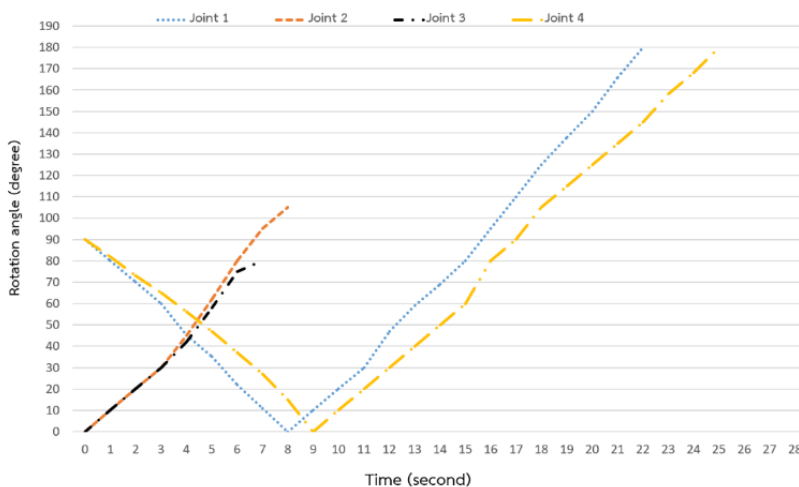


Figure 12. Comparison of each rotation speed in each joint

From Figure 12, it can be seen that the speed of the 1st-3rd joints is similar due to the use of the same type of servo motor and similar control values, except for the 4th joint, which has a slower rotation speed than the others.

3.3 Robotic arm control with voice recognition system efficiency test

The experiment involved giving voice commands through the microphone to control the robotic arm to work in a quiet place. Each command was given 20 times. The results of this experiment are shown in Figure 10, which demonstrate that the robotic

arm was able to operate all commands without any errors.

The operation of the robotic arm will repeat the latest voice command until a new command is given. To give the robotic arm a new voice command, a 'stop' command must be given every time to stop the previous action.

From Figures 10 and 11, it can be seen that the robotic arm can be used for control operation and is able to grasp objects with smooth surfaces weighing 50g-200g using 10 voice commands, as shown in Table 3

Table 3. Relation of robotic arm operation and voice command

Command	End effector movement for object grasping of robotic arm
"Up"	Move upward follow +Z Axis
"Down"	Move downward follow -Z Axis
"Out"	Move outward from the user follow +Y Axis
"Come"	Move inward to the user follow -Y Axis
"Grip"	Order suction pad to grasp the object
"Let"	Order suction pad to release the object
"Spin"	Order joint 4 to rotate in cw/ccw direction
"Wide"	Move outward from arm robot base follow +X Axis
"Close"	Move inward to arm robot base follow -X Axis
"Stop"	Stop the operating in that posture

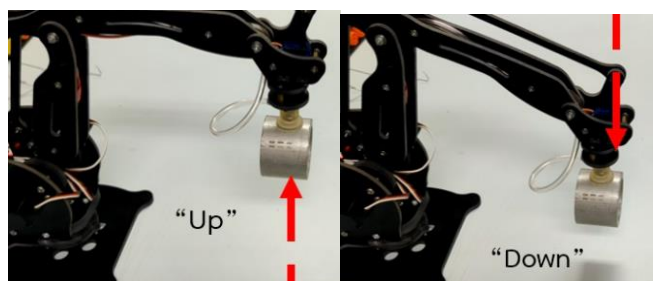


Figure 13. Robotic arm Operation in "up" and "down" command

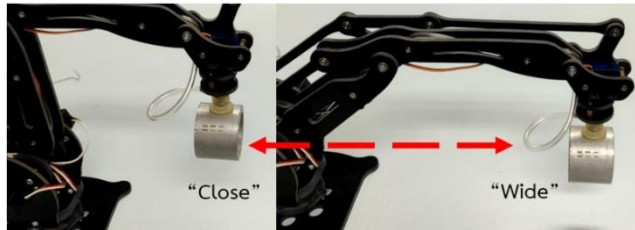


Figure 14. Robotic arm Operation in “close” and “wide” command

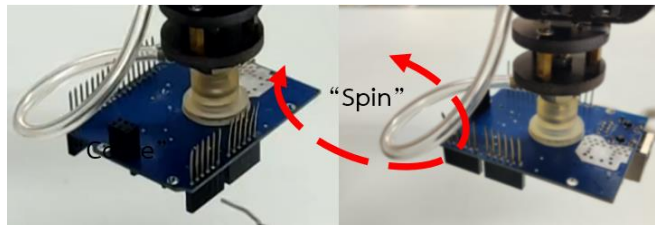


Figure 15. Robotic arm Operation in “spin” command

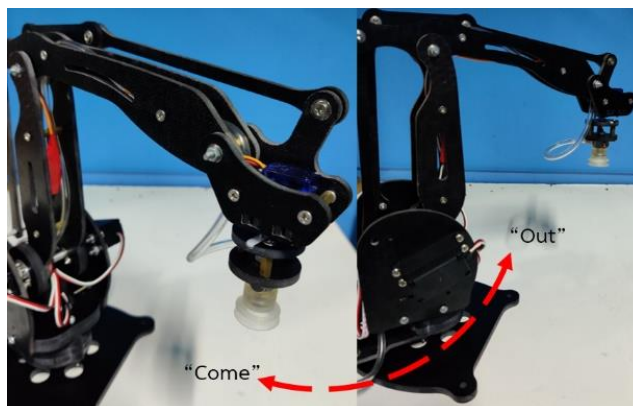


Figure 16. Robotic arm Operation in “come” and “out” command

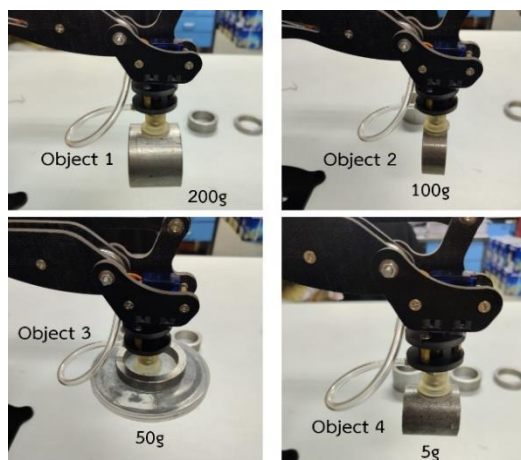


Figure 17. Grasping object control in different shape and weight objects

According to the results, the prototype of the robotic arm system was developed using 3 main modules: 1) servo motors, 2) microcontroller, and 3) voice recognition module. It can effectively perform voice control to grasp objects, similar to the research of Akçınar et al. [5], Anggraeni et al. [7], Kandalafi [8], Kanash et al. [10], and John et al. [15] who developed arm robots that can be controlled using speech recognition to provide grasping assistance. In contrast, this research uses an alternate method of grasping objects using a suction pad and can control the orientation of the end effector. Additionally, the robot system can work as a standalone system, receiving action commands from the user without the need for external modules such as mobile phones, as in the work of Ngoc-Hoang Tran [11], Sowmiya et al. [12], and Utkarsh et al. [13], which used the Google Assistant and Android application for voice recognition but had constraints due to internet connections.

4. CONCLUSIONS

The results of the efficiency experiment of the robotic arm operation show that the arm is able to effectively move in three dimensions across the workplace within an average time of maximum 10 degrees per second. The user can give voice commands for 10 commands to control the robotic arm to grasp and move objects with smooth surfaces weighing up to 200g. During the process of giving voice commands to the robotic arm, it was observed that sometimes it was necessary to repeat the voice commands to instruct the system as desired. The likely cause of this situation was the misalignment of the voice command and the voice recognition module's waiting time for the command

5. ACKNOWLEDGMENTS

This report is the part of development of arm robot control system with voice command for grasp assistance research, the researcher had appreciated for kind and support from department of computer electronics technology, faculty of science, Bansomdejchaopraya Rajabhat University for research accomplished.

6. REFERENCES

- [1] IEEE/RSJ. International Conference on Intelligent Robots and Systems. International Conference on Intelligent Robots and Systems; 2017.
- [2] Craig JJ. Introduction to Robotics. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall; 2005.
- [3] Moran ME. Evolution of robotic arms. Journal of Robotic Surgery 1. 2007:103–111.
- [4] Kurfess TR. Robotics and Automation Handbook. New York: CRC Press; 2018.
- [5] Akçınar D, Arıtürk MK, Yıldırım T. Speaker Dependent Voice Controlled Robotic Arm. Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA). 2018:1-5.
- [6] Salim A, Ananthraj CR, Salprakash P, et al. Voice Controlled Robotic Arm. International Research Journal of Engineering and Technology. 2017;4(04):2121-2124.
- [7] Anggraeni D, Sanjaya WSM, Nurasyidiek MYS, et al. The Implementation of Speech Recognition using Mel-Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) and

- Support Vector Machine (SVM) method based on Python to Control Robot Arm. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018 ;(288):012042.
- [8] Kandalafi N, Kalidindi PS, Narra S, et al. Robotic arm using voice and Gesture recognition. IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 2018:1060-1064.
- [9] Rendyansyah, Prasetyo AP, Sembiring S. Voice Command Recognition for Movement Control of a 4-DoF Robot Arm. Jurnal Teknik Elektro. 2022;14(2):118-124.
- [10] Kanash RS, Alavi SE, Abed AA. Design and Implementation of Voice Controlled Robotic ARM. International Conference on Communication & Information Technology (ICICT). 2021:284-289.
- [11] Tran NH. Voice Recognition to Control and Monitor Robotic Arm on IoT by Using Smartphone. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021; 1194:012004.
- [12] Sowmiya BB, Sujith KV, Tanushree S, et al. Arduino Based Voice Controlled Robotic Arm and Wheels. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education. 2021;12(12):2452-2457.
- [13] Utkarsh SB, Aniket A, Deshpande1, et al. Concept Development for IoT Based Robotic Arm. International Journal of Research Publication and Reviews. 2022;3(5):3193-3199.
- [14] Salim A, Ananthraj CR, Salprakash P, et al. Voice Controlled Robotic Arm. International Research Journal of Engineering and Technology. 2017;4(04):2121-2124.
- [15] John RA, Varghese S, Shaji ST, et al. Assistive Device for Physically Challenged Persons Using Voice Controlled Intelligent Robotic Arm. 2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). 2020:806-810.

Development of Prototypical Indoor Real-time Location System for Medical Equipment Management Based on BLE Devices

Teerawit Assawasillapakul¹, Nutdanai Singkhleewon^{1*},

Kanlaya Thanasin¹, Amonrat Khambun¹

¹Faculty of Sciences and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

¹1061 Itsaraphap Rd, Hiranruchi, Thonburi District, Bangkok

Mar6666@hotmail.com

Abstract

Generally, healthcare is considered the fastest growing business and largest service industry in the world. However, hospitals are typically large buildings with various equipment spread over multiple floors. The positioning and tracking of assets in indoor environments have great potential to assist staff in locating needed equipment without wasting time searching for it. Therefore, this research proposes the development of the prototypical indoor real-time location system (RTLS) based on Bluetooth Low-Energy technology devices for any equipment tracking in test scenario. The ESP32 microcontroller is used as the transceiver node in each room to receive the MAC address of the HM-10 beacon attached to the equipment within range and transmit data to a web server. A data filter is applied to reduce noise from Received Signal Strength value for distance between node and beacon calculation. The efficiency test results show that the average distance error between beacon and node is around 3 m, and the maximum duration of location updating from node to node in the scenario is no more than 15 seconds. It can be concluded that if equipment with beacon is in the tracking area of the node, then the presence status of the equipment in each room can be correctly transmitted to the web server.

Keywords : Real-time Location Tracking System, Medical Equipment Location Tracking System, Bluetooth Low Energy Devices, Indoor Tracking System.

Received 03-03-2023

Revised 24-04-2023

Accepted 28-04-2023

1. INTRODUCTION

Mobile technology has the potential to solve a wide range of everyday issues. NFC, GPS, Wi-Fi, and beacons are examples of developing mobile technologies that are becoming increasingly essential in daily life. Among these technologies, beacons that use Bluetooth Low Energy (BLE) to broadcast small pieces of information have become the most recent version of wireless technology. BLE consumes low energy and can transmit various types of data, including ambient and micro-location data for asset tracking. This technology can be used for Real-Time Location System (RTLS), which collects data from tags and map locations using algorithms based on Received Signal Strength Indicator (RSSI) measurements. The recent advancements in healthcare have motivated researchers to improve accessibility, especially in preventing equipment absence during medical demands.

Azeez, A. et al. [1] developed a real-time location system (RTLS) that combines hardware, sensors, and software to collect, analyze, and provide location data for moving objects in real-time. The RTLS uses both fixed nodes and mobile computer units to gather information for navigation,

monitoring, and tracking applications. Ewing, A. et al. [2] demonstrated the application of RTLS in healthcare, where various entities such as patients, employees, medical equipment, samples, and prescriptions can be tracked in real-time. According to their research published in the 2017 Systems and Information Engineering Design Symposium [2], RTLS provides accurate timestamps and location information, calculated using distance, range, duration, or direction. The utilization of RTLS helps to estimate average wait time and optimize patient flow, as reported by Ramirez [3] in his research, "A Business case for using Real Time Locating Systems for Medical Equipment". This leads to an improvement in the efficiency of medical services.

According to a study by Wang, B.T. et al. [4], the cost of RTLS infrastructure can be reduced if it can be reused in healthcare settings, such as when Wi-Fi infrastructure has already been installed. However, adding additional Access Points (APs) to increase detection range and precision will increase the total cost of ownership. On the other hand, BLE-based RTLS is found to be more cost-effective than active RFID in terms of ease of use and widespread adoption, as noted in the study

by Osman, M. et al. [5], BLE offers superior characteristics for various environments, including lower cost and high accuracy for nearby proximity tracking applications. Additionally, the widespread use of Bluetooth Low Energy (BLE) as a communication protocol in mobile and wearable devices for Personal Area Network (PAN) systems further supports the scalability, simplicity, and low cost of BLE-based RTLS, making it a promising option for RTLS deployment in the healthcare industry.

The goal of this research is to develop a framework for a location-based service using beacons and microcontrollers with BLE, which will be developed on affordable devices to track the real-time location of medical assets on a floor plan map. This will improve many processes in medical treatment and reduce equipment absence issues by providing quick access to assets in case of maintenance, normal use, or emergencies. In addition, the immediate dispatch of assistance to patients and medical professionals in the event of an emergency can be facilitated by knowing the location of assets

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Design the hardware infrastructures.

The location tracking system uses Beacon devices as tags to monitor the location of devices within a building. The system will identify locations using ESP32 Node devices, which will detect beacons and send information to a computer display. The prototypical system has two components: the tracking device hardware and the display information system. In this article, will not discuss the development of this information system.

1. The ESP32 is a microcontroller board optimized for developing IoT applications that require both Wi-Fi and dual-mode Bluetooth. With its dual-core or single-core Tensilica Xtensa LX6 microprocessor, built-in antenna switches, and various RF components, the ESP32 offers high efficiency and versatility for developers. Additionally, its inclusion of the powerful ESP8266 microcontroller makes it a popular choice for projects that require low-power and high performance.

Small radio transmitters, known as beacons, that use Bluetooth technology can detect physical locations and trigger actions on nearby smart devices by transmitting contextual data. As shown in Figure 1(B), the HM-10 iBeacon-2032 is a standalone

Bluetooth Smart proximity beacon that uses iBeacon technology and is housed in a CR2032 battery-sized package. The identity and additional bytes can be used to track the

beacon, determine its physical location, or initiate location-based activities on the device, such as a push notification or social media check-in

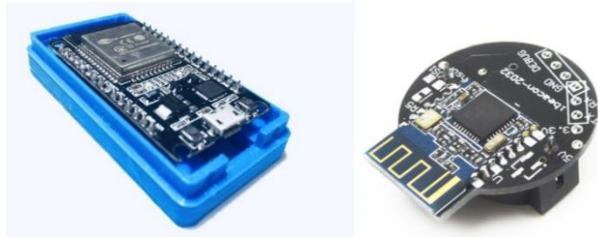


Figure 1. A) Node ESP32 B) Beacon

The design of the location tracking system is depicted in Figure 2. It starts by establishing the positions of each "node" in the database. Then, the nodes will link to the network and pick up Bluetooth signals from nearby "beacons" within a range of 2.5 meters. When a connection is made, the node and beacon exchange information, with the node retrieving the MAC address of the beacon and verifying it against the database's records. This data is then

displayed on a computer screen as a list of devices and their current positions. The verification process (shown in Figure 3) starts by logging the status of the device connected to the beacon, then using the obtained beacon data to compare it to the system's records to determine the device's location. The information is constantly updated in real-time, enabling continuous monitoring of the device's location

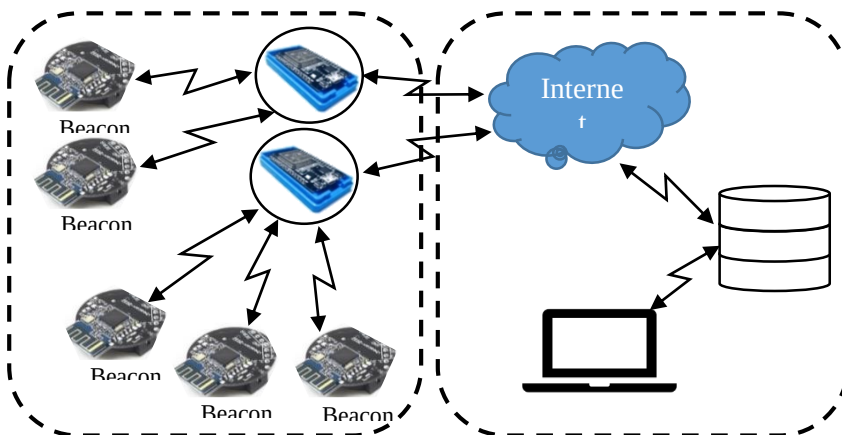


Figure 2. Diagram of prototypical location tracking system

2.2 The software development

From Figure 3, once the configuration in the device account is complete, the beacon device status will be sent to the server via the internet. This allows the device status information to continue to be recorded in the location tracking database. The device detection system will then restart its search for

surrounding devices until either the internet connection is lost, or the system is stopped.

While the solution to find the distance between BLE devices is to use a log-distance path loss model, which estimates the distance based on the RSSI value and the signal strength at a reference distance. The formula for this model is:

$$distance(in\ meters) = 10^{((MeasuredPower-RSSI)/(10*n))} \quad \dots (1)$$

where: 1) Measured Power is the RSSI value at a reference distance (In the test used value = -69, known as the 1 Meter RSSI). 2) RSSI is the RSSI value being measured. 3) n is the path loss exponent, which is a measure of the loss of signal strength over distance (2-4 dBm).

However, the use of RSSI alone can lead to inaccurate results due to external factors such as interference. The solution to this problem is to use a median filter to filter out the noise and improve the accuracy of the measurement.

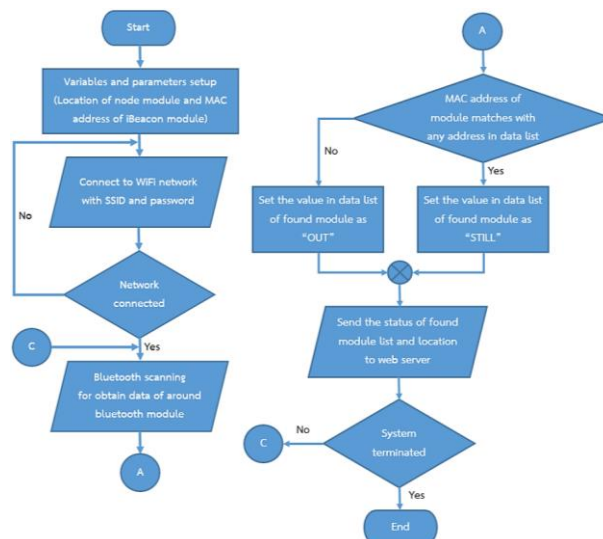


Figure 3. Data communication flow chart

2.3 RESULTS AND DISCUSSION

Initial evaluation of the measured distances between the beacon and node was carried out in 3 sample open space rooms, where a node was installed in each room.

The beacon was then relocated to various rooms to determine the distance between the devices as measured by the node. The findings of this study are presented in Figure 4.

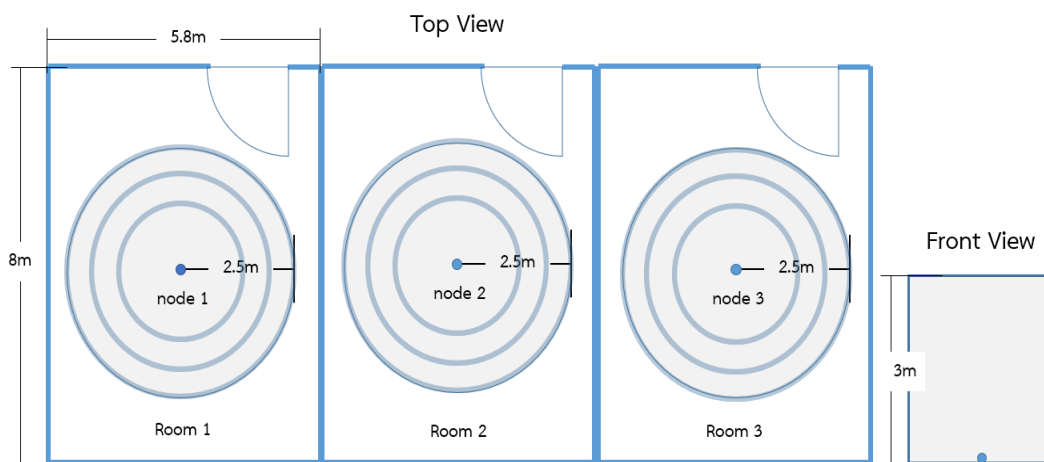


Figure 4. Evaluation of the ability to detect beacon devices in sample locations.

As indicated in Figure 4, the results showed that the node was capable of correctly identifying the beacon device through its device ID and could accurately determine the distance between the node and the beacon when they were in close range proximity 2-5 meters. This level of accuracy was deemed sufficient for determining the location of the device within the designated area.

This research scenario was carried out at Building 9, Floors 8 and 9 of Bansomdejchaopraya Rajabhat University. 16 nodes were installed in various rooms and 10 beacons were placed in a simulated medical device box and distributed to different rooms, then moved between them as shown in Figures 5 and 6.

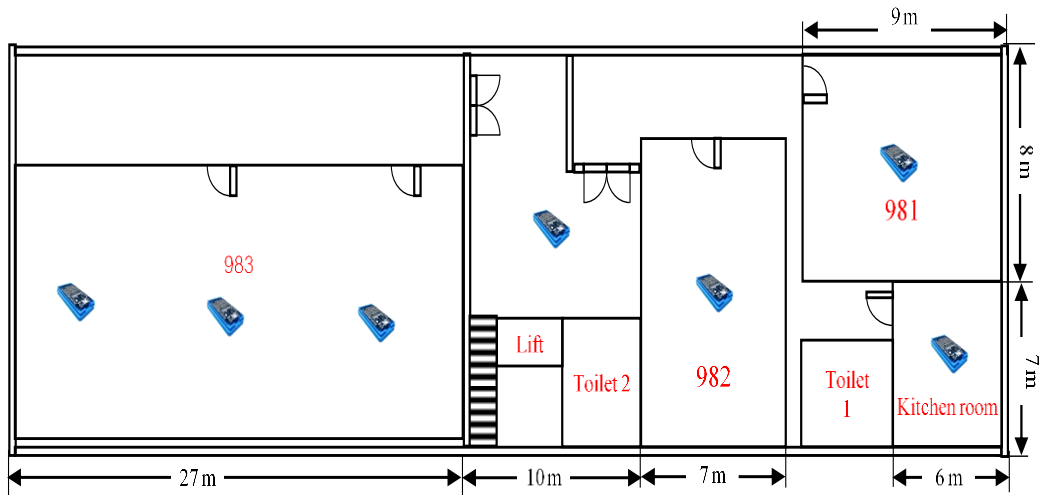


Figure 5. Devices location on 8th floor scheme.

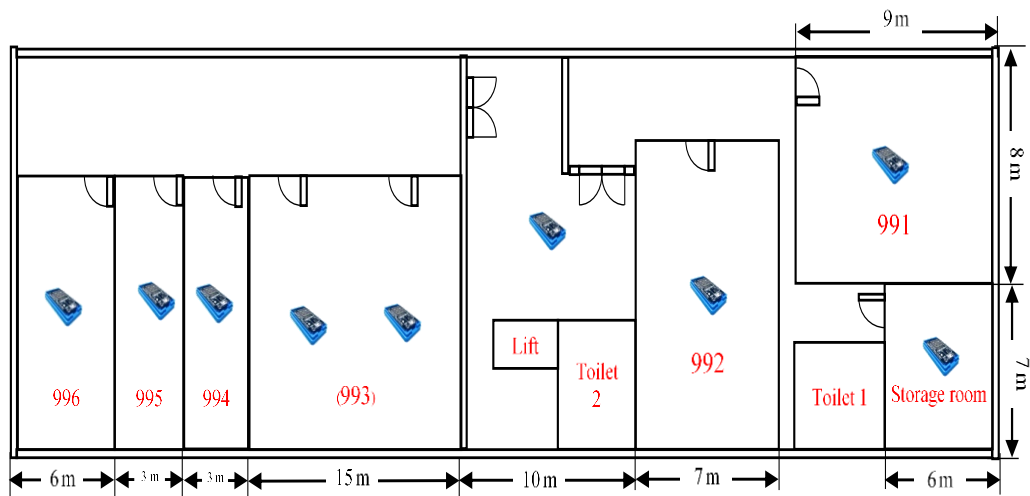


Figure 6. Devices location on 9th floor scheme.

The distance values obtained from using the RSSI method to measure the distance between every beacon and node were not the same as the real distance due to several external factors affecting the strength of the signal and leading to

inaccurate distance calculations. These factors include obstacles, interference, and the presence of other wireless signals. Despite this, the location of the beacons can still be determined in the scenario, as shown in Table 1, 2, and Figure 7.

Table 1: Result of the beacons detection on the 8th floor.

Device detection test on 8 th floor				
981	982	983	Lobby	Kitchen room
Detected	Detected	Detected	Detected	Detected

Table 2: Result of the beacons detection on the 9th floor.

Device detection test on 9 th floor							
991	992	993	994	995	996	Lobby	Storage room
Detected	Detected	Detected	Detected	Detected	Detected	Detected	Detected

DATE	DEVICE NAME	ID CODE	↑ CURRENT AREA	STATUS	ACTION
24 Nov 2021 - 04:24	Electrosurgical units	ESUNIT-ER0000-60-002	981-1	out	History
24 Nov 2021 - 04:23	Syringe Pump	SYRPUM-PED000-60-003	981-1	stay	History
24 Nov 2021 - 04:22	Defibrillators	DEFIRIB-LR0000-60-001	981-1	stay	History
24 Nov 2021 - 04:22	HamiltonC1	C10000-CE0000-60-002	981-1	stay	History
24 Nov 2021 - 04:19	Secretion Suction,Mobile	SUCMOB-ICU000-60-001	981-1	stay	History
24 Nov 2021 - 04:08	Infant Incubator	INFINC-PED000-60-002	982-In	out	History
24 Nov 2021 - 03:54	Patient Monitor	PATMON-AN0000-60-001	981-1	stay	History
08 Feb 2022 - 11:28	Electrocardiograph	EKG000-MW1000-60-001	992-Front	stay	History
08 Feb 2022 - 10:36	Bennett	840000-ICU000-60-003	995	out	History
07 Feb 2022 - 16:23	Patient Monitor	PATMON-PED000-60-016	981-1	out	History

Figure 7. Simulated medical equipment location information display.

As the results, the average error in distance between the beacon and node is approximately 2-3 meters, and the maximum duration for updating the location from node to node in the scenario is no more than 15 seconds.

The prototype system was tested in an experiment and demonstrated the ability to function as a real-time location system (RTLS), using a combination of hardware, sensors, and software to collect, analyze, and provide location data for moving objects in real-time. These results are consistent with a study by Azeez, A. et al [1], which found an average error in distance between the beacon and node of approximately 2-3 meters and a maximum duration of 15 seconds for updating location information from node to node.

From the results, it can be applied in healthcare, as demonstrated by Ewing, A. et al. [2], where patients, employees, medical equipment, samples, and prescriptions can be tracked in real-time. This technology provides accurate timestamps and location information, calculated using distance, range, duration, or direction, as reported in the 2017 Systems and Information Engineering Design Symposium. The utilization of RTLS helps to estimate average wait time and optimize patient

flow, leading to an improvement in the efficiency of medical services, as noted in research by Ramirez [3].

While the cost of RTLS infrastructure can be reduced if it can be reused in healthcare settings, adding additional Access Points (APs) to increase detection range and precision will increase the total cost of ownership, according to Wang, B. et al. [4]. However, BLE-based RTLS is a promising option for RTLS deployment in the healthcare industry due to its scalability, simplicity, and low cost, as noted in a study by Osman, M. et al. [5]. BLE offers superior characteristics for various environments, including lower cost and high accuracy for nearby proximity tracking applications. The widespread use of Bluetooth Low Energy (BLE) as a communication protocol in mobile and wearable devices for Personal Area Network (PAN) systems further supports the adoption of BLE-based RTLS in the healthcare industry.

3. CONCLUSIONS

The proposed real-time location system (RTLS) based on Bluetooth Low-Energy technology devices and the ESP32 microcontroller is a cost-effective solution for indoor equipment tracking in healthcare.

The average distance error between the beacon and the node was found to be around 3 m, and the maximum duration of location updating was no more than 15 seconds. The results showed that the presence status of the equipment in each room can be correctly transmitted to the web server if the equipment is within the tracking area of the node.

These findings indicate that the system could be applied in healthcare to track patients, employees, medical equipment, samples, and prescriptions in real-time. The utilization of RTLS can help to optimize patient flow, reduce wait times, and improve the efficiency of medical services. While additional access points may increase the cost of ownership, BLE-based RTLS offers a promising, low-cost option with scalability and high accuracy for proximity tracking applications in the healthcare industry. The widespread use of BLE in mobile and wearable devices further supports the adoption of BLE-based RTLS in healthcare.

The development of this location-based service can improve medical treatment processes and reduce equipment absence issues by providing quick access to assets. In emergency situations, the location of assets can also aid in the immediate

dispatch of assistance to patients and medical professionals.

4. ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank Thailand Science Research and Innovation in funding the research scholarship and the Bansomdejchaopraya Rajabhat university for supporting this research.

5. REFERENCES

- [1] Azeez A, Jabbar S, Sulttan M, et al. Wireless indoor localization systems and techniques: survey and comparative study. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2016;3(2):392-409.
- [2] Ewing A, Rogus J, Chintagunta P, et al. A systems approach to improving patient flow at UVA Cancer Center using Real-Time Locating System. 2017 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS). 2017;259-264.
- [3] Ramirez M. A Business Case for Using Real Time Locating Systems for Medical Equipment. CMBES Proceedings 41. 2018.
- [4] Wang B, Toobaei M, Danskin R, et al. Evaluation of RFID and Wi-Fi

- technologies for RTLS applications in healthcare centers. 2013 Proceedings of PICMET'13: Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET). 2013;2690-2703.
- [5] Osman MS, Azizan A, Hassan KN, et al. BLE-based real-time location system integration with hospital information system to reduce patient waiting time. 2021 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE). 2021;1-6

วิธีการจัดสรรตารางกับการแก้ปัญหการขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณ

Allocation Table Method for Solving Intuitionistic Fuzzy Transportation Problem

ดร.ณิ หันวิสัย
Darunee Hunwisai

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
Department of Applied Mathematics, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University
under the Royal Patronage, Pathum Thani, Thailand
Corresponding author. Tel. 08 3056 5113, E-mail: darunee.hun@vru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหการขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณ (Intuitionistic fuzzy transportation) เมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีความคลุมเครือหรือมีความไม่แน่นอน ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหการขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณ ภายใต้ตัวเลขแบบฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม (Triangular intuitionistic fuzzy number) ใช้วิธีเซนต์รอยด์ของตัวเลขฟัซซี่ (Centroid of fuzzy number) ในการหาค่าที่เป็นตัวแทนของตัวเลขแบบฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม จากนั้นหาผลลัพธ์เบื้องต้น (Basic feasible solution) สำหรับการหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยใช้วิธีการจัดสรรตาราง (Allocation table method) นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบและปรับปรุงค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้น้อยที่สุดด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง (Modified distribution method) ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่นำเสนอภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความคลุมเครือ สามารถหาคำตอบที่ถูกต้องและเหมาะสมได้

คำสำคัญ : ปัญหาขนส่ง, ฟัซซี่สหัชญาณ, วิธีการจัดสรรตาราง

Abstract

The objective of research is to determine a solution to the intuitionistic fuzzy transportation problem, in which transportation costs are uncertain or ambiguous. The centroid of triangular intuitionistic fuzzy number was proposed for the representative value of the intuitionistic fuzzy cost. After that, the allocation table method was used to find a basic feasible solution for the fuzzy transportation problems. Moreover, the distribution method was used to check and improve transportation costs to a minimum. According to the study's findings, the approach can produce appropriate and accurate solutions when used in an environment of ambiguity.

Keywords: Transportation problems, Intuitionistic fuzzy, Allocation table method

Received 01-03-2023

Revised 07-03-2023

Accepted 18-04-2023

1. บทนำ

ปัจจุบันจะพบว่าธุรกิจบริการขนส่งสินค้ามีแนวโน้มเติบโตมากขึ้นเรื่อย ๆ การแข่งขันด้านราคามีแนวโน้มรุนแรงขึ้นเนื่องจากผู้ประกอบการที่มีจำนวนมากและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ผู้ประกอบการที่ทำธุรกิจการขนส่งสินค้า มีความต้องการที่จะขนส่งสินค้าให้ได้ในปริมาณที่มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการขนส่งให้น้อยที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องทราบข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ชัดเจน ในการขนส่งสินค้าแต่ละเที่ยว แต่ในสถานการณ์ปัจจุบันจะพบว่าต้นทุนในการขนส่งที่เกิดขึ้นไม่คงที่ มีความผันผวน สาเหตุอาจเนื่องมาจากความผันผวนของค่าเชื้อเพลิง ระยะทางของการขนส่ง การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล หรือสถานการณ์การระบาดของโรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นส่งผลต่อการขนส่งสินค้าในปัจจุบัน ผู้ประกอบการที่มีอำนาจในการตัดสินใจหาข้อมูลที่ชัดเจนจึงทำให้ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่ง การแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ผ่านมาจำเป็นต้องทราบต้นทุนในการขนส่ง ความสามารถในการผลิต และความต้องการสินค้าที่มีความชัดเจน ซึ่งตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1) \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\geq b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned}$$

โดยที่

c_{ij} แทนค่าขนส่งต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

x_{ij} แทนปริมาณของสินค้าที่ขนส่งจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

a_i แทนปริมาณของสินค้าของแหล่งต้นทางที่ i

b_j แทนปริมาณความต้องการสินค้าของจุดหมายปลายทางที่ j [1]

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (1) มีข้อจำกัดที่ค่าขนส่งต่อหน่วยต้องเป็นค่าใช้จ่ายที่แน่นอน แต่เนื่องจากในสถานการณ์ปัจจุบันค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีความไม่แน่นอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้กับสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ภายใต้สถานการณ์ที่ไม่แน่นอนและมีความคลุมเครือนี้สามารถแก้ปัญหาได้โดย

นำแนวคิดของ Bellman RE และ Zadeh LA [2] ที่เรียกว่าฟัซซี่ หรือเป็นการตัดสินใจในสภาพแวดล้อมที่คลุมเครือมาช่วยแก้ปัญหา ต่อมา Atanassov KT [3] ได้นำเสนอแนวคิดแบบเซตฟัซซี่สหัชญาณซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปหรือเป็นส่วนขยายของฟัซซี่เซตของ Zadeh LA ซึ่งในเซตฟัซซี่สหัชญาณได้มีการกำหนดระดับของการเป็นสมาชิกและระดับของการไม่เป็นสมาชิกพร้อมกัน แนวคิดการแก้ปัญหาการขนส่งโดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นได้รับการพัฒนาเป็นครั้งแรกโดย Hitchcock FL [4] หลักการดังกล่าวได้รับการพัฒนาและวิจัยอย่างต่อเนื่อง นักวิจัยหลายคนใช้ฟัซซี่เซตและฟัซซี่สหัชญาณในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดในการวางแผน การจัดตารางเวลา การขนส่ง เป็นต้น Dinagar SD และ Palanivel K [5] ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการขนส่งในสภาพแวดล้อมที่คลุมเครือด้วยตัวเลขฟัซซี่สี่เหลี่ยมคางหมูและซึ่งได้พัฒนาวิธีการเพื่อค้นหารูปแบบแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดของตัวเลขฟัซซี่ Samuel AE และ Raja P [6] ได้ศึกษาและนำเสนอวิธีการปัญหาการขนส่งฟัซซี่ที่ไม่สมดุล ในกรณีต้นทุนการขนส่ง อุปสงค์และอุปทาน แสดงด้วยตัวเลขฟัซซี่สามเหลี่ยมและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีอื่น ๆ Srinivas B และ Ganesan G [7] ได้นำเสนอวิธี

แก้ปัญหาที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการขนส่งที่เป็นแบบฟuzzy ซึ่งหาด้วยวิธีการกระจายที่พัฒนา ขึ้นใหม่ Singh SK และ Yadaw SP [8] ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหา การขนส่งแบบฟuzzy ซึ่งหาด้วยวิธีการพัฒนาวิธีการ แก้ปัญหาพื้นฐานและพัฒนาวิธีการปรับปรุงผลลัพธ์ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด Hunwisai D และ Kumam P [9] นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งที่เป็นแบบฟuzzy โดยเทคนิคการจัดอันดับที่แข็งแกร่งและใช้วิธี ATM เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้การเสนอวิธีการหา ผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาการขนส่ง Ahmed MM, Khan AR, Uddin MS และคณะ [10] ได้แนะนำวิธีการ จัดสรรตารางสำหรับการค้นหาผลลัพธ์เบื้องต้น ซึ่งเป็น อีกวิธีหนึ่ง ที่ให้ผลลัพธ์ที่เทียบเท่าหรือดีกว่าวิธีการหา ผลลัพธ์เบื้องต้นที่มีมาก่อน

จากความไม่แน่นอนของค่าใช้จ่ายในการ ขนส่งสินค้าที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อ การตัดสินใจในการขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการ เพราะ ถ้าข้อมูลมีความไม่แน่นอนย่อมส่งผลกระทบต่อ ค่าขนส่งที่อาจมีต้นทุนที่สูงขึ้นได้ ดังนั้นในบทความนี้จึง ขอเสนอวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy ซึ่งหา ด้วยวิธีเซตทอรัยในการหาค่าที่เป็นตัวแทน ของตัวเลขฟuzzy จากนั้นวิธีการจัดสรรตารางจะถูก นำมาใช้เพื่อหาผลลัพธ์เบื้องต้นของค่าใช้จ่ายในการ ขนส่ง นอกเหนือจากนี้ได้ทำการตรวจสอบ และ ปรับปรุงผลลัพธ์ให้มีความค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด ด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง ประโยชน์ที่ได้จาก งานวิจัยนี้จะทำให้ได้เครื่องมือที่ช่วยในการแก้ปัญหา การขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนของค่าขนส่งที่อาจ เกิดขึ้นได้ และสามารถนำไปใช้ได้กับข้อมูลที่ใช้จ่าย ในการขนส่ง อุปสงค์และอุปทานมีค่าที่แน่นอนได้อีก ด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบ ฟuzzy โดยใช้วิธีการจัดการจัดสรรในการหาผลลัพธ์

เบื้องต้นและวิธีการกระจายแบบดัดแปลงในการ ปรับปรุงผลลัพธ์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎี เอกสารและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการขนส่ง และการ แก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy
- 2) ศึกษาวิธีการหาผลลัพธ์เบื้องต้นด้วย วิธีการจัดสรรตาราง และศึกษาวิธีการตรวจสอบและ ปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการกระจายแบบ ดัดแปลง
- 3) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำไปใช้ในการ แก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy
- 4) ทดสอบการหาคำตอบด้วยวิธีการจัดสรร ตาราง ตรวจสอบผลลัพธ์และปรับปรุงค่าใช้จ่ายใน การขนส่ง
- 5) นำเสนอการหาผลลัพธ์และการปรับปรุง ผลลัพธ์เบื้องต้น

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฟuzzy เซต (Fuzzy set)

ฟuzzy เซตถูกคิดค้นขึ้นในปีค.ศ. 1965 โดย Zadeh [11] ฟuzzy เซตเป็นเซตที่มีขอบเขตแบบ คลุมเครือ มีความไม่แน่นอน โดยที่ฟuzzy เซตยอมให้ มีการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกในเซต (Degree of membership) อยู่ระหว่าง 0 และ 1 การ กำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกลักษณะนี้ต้องอาศัย ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับฟuzzy เซต ฟังก์ชัน μ_A เรียกว่า ฟังก์ชัน ความเป็น สมาชิก (Membership function) ของฟuzzy เซต A นิยาม ดังต่อไปนี้

นญม 1 กำนหนดให้ X เป็นเซตไม่ว่าง ฟัซซี่เซต $\tilde{A}$ ใน X คือคู่อันดับ $(x, \mu_{\tilde{A}})$ และ $\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$ เรียก $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ว่าระดับความเป็นสมาชิกรของ x ใน ฟัซซี่เซต $\tilde{A}$ ดังนั้นค่า $[0,1]$ คือ ระดับความเป็นสมาชิกรของ x ในฟัซซี่เซต $\tilde{A}$ [11]

นญม 2 จะเรียกฟัซซี่เซต $\tilde{A}$ ว่าเป็นตัวเลขฟัซซี่ ถ้ามี่สมบัติสอดคล้องดังต่อไปนี้

- 1) เป็นเซตย่อยของจำนวนจริง
- 2) เป็นเซตปกติ (Normal set) ที่มีจำนวนจริง x ซึ่งทำให้ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$
- 3) เป็นเซตนูน (Convex) นั่นคือ สำหรับทุกจำนวนจริง x และ y และ $\lambda \in [0,1]$

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x + (1-\lambda)y) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(y))$$

- 4) $\mu_{\tilde{A}} : R \rightarrow [0,1]$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง โดยที่

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} l(x) ; x \in (-\infty, c) \\ 1 ; x = c \\ r(x) ; (c, \infty) \end{cases}$$

โดยที่ l เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนช่วง $(-\infty, c)$ และ r เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและลดลงอย่างสม่ำเสมอบนช่วง (c, ∞) [12]

นญม 3 กำนหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ใช่เซตว่าง เซตฟัซซี่สหัชญาณ (Intuitionistic fuzzy set) A ในเซต X เขียนแทนด้วย

$\tilde{A}^* = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}^*}(x), \nu_{\tilde{A}^*}(x) \rangle \mid x \in X \}$ โดยที่ $\mu_{\tilde{A}^*} : X \rightarrow [0,1]$ และ $\nu_{\tilde{A}^*} : X \rightarrow [0,1]$ เรียก $\mu_{\tilde{A}^*}(x)$ และ $\nu_{\tilde{A}^*}(x)$ ว่าระดับความเป็นสมาชิกร (Membership degree) และระดับความไม่เป็นสมาชิกร (Non-membership degree) ของ x ที่ $\tilde{A}^* \subseteq X$ ตามลำดับ และสำหรับทุกจำนวน $x \in X$ จะได้ว่า $0 \leq \mu_{\tilde{A}^*}(x) + \nu_{\tilde{A}^*}(x) \leq 1$ [13]

นญม 4 ตัวเลขฟัซซี่

$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle$ จะเรียกว่าเป็นตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม ถ้ามี่ฟังก์ชันความน่าจะเป็นดังนี้

$$\mu_{\tilde{A}^*}(x) = \begin{cases} \frac{x - a_l}{a_{c^*} - a_l} ; a_l \leq x \leq a_{c^*} \\ 1 ; x = a_{c^*} \\ \frac{a_r - x}{a_r - a_{c^*}} ; a_{c^*} \leq x \leq a_r \\ 0 ; x > a_r \text{ และ } x < a_l \end{cases}$$

และ

$$\nu_{\tilde{A}^*}(x) = \begin{cases} \frac{a_{c^*} - x}{a_{c^*} - a'_l} ; a'_l \leq x \leq a_{c^*} \\ 0 ; x = a_{c^*} \\ \frac{x - a_{c^*}}{a'_r - a_{c^*}} ; a_{c^*} \leq x \leq a'_r \\ 1 ; x > a'_r \text{ และ } x < a'_l \end{cases}$$

$$\text{เมื่อ } a'_l \leq a_l \leq a_{c^*} \leq a_r \leq a'_r \quad [14]$$

จากนญม 4 ตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม

$$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle \text{ ถ้ามี่}$$

$a_l = a'_l$ และ $a_r = a'_r$ แล้วจะได้ว่า

$\tilde{A}^* = (a_l, a_{c^*}, a_r)$ เรียกว่าเป็นตัวเลขฟัซซี่สามเหลี่ยม (Triangular fuzzy number)

นญม 5 ตัวเลขฟัซซี่

$$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle \text{ และ}$$

$$\tilde{A}^* = \langle (b_l, b_{c^*}, b_r); (b'_l, b'_{c^*}, b'_r) \rangle \text{ เป็นตัวเลข}$$

ฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม และ $\xi \neq 0$ การ

ดำเนินการระหว่างตัวเลขฟัซซี่และการคูณเชิง

สเกลาร์บนตัวเลขฟัซซี่ เป็นดังนี้

1. $\tilde{A} * \oplus \tilde{B} = \langle (a_l + b_l, a_{c*} + b_{c*}, a_r + b_r); (a'_l + b'_l, a'_{c*} + b'_{c*}, a'_r + b'_r) \rangle$
2. $\tilde{A} * \ominus \tilde{B} = \langle (a_l - b_l, a_{c*} - b_{c*}, a_r - b_r); (a'_l - b'_l, a'_{c*} - b'_{c*}, a'_r - b'_r) \rangle$
3. $\xi \tilde{A} = \begin{cases} \langle (\xi a_l, \xi a_{c*}, \xi a_r); (\xi a'_l, \xi a'_{c*}, \xi a'_r) \rangle, & \xi > 0 \\ \langle (\xi a_r, \xi a_{c*}, \xi a_l); (\xi a'_r, \xi a'_{c*}, \xi a'_l) \rangle, & \xi < 0 \end{cases}$

[14]

นิยาม 6 กำหนดให้ (α, λ) - เซตตัด (Cut set) ของ ตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม

$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c*}, a_r); (a'_l, a'_{c*}, a'_r) \rangle$ เป็นเซตย่อยชัดแจ้ง (Crisp subset) บนจำนวนจริง ซึ่งนิยามโดย

$$\tilde{A}^*_{\alpha}^{\lambda} = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}^*}(x) \geq \alpha, v_{\tilde{A}^*}(x) \leq \lambda\}$$

และ $\alpha, \lambda \in [0, 1]$ [14]

3.2 เซนทรอยด์ของตัวเลขฟัซซี่

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอเซนทรอยด์ของ ตัวเลขฟัซซี่ คัดค้นโดย Wang YM, Yang J, Xu DL และคณะ [15]

นิยาม 7 ให้ $\tilde{A}^*$ เป็นตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณ เซนทรอยด์ของ $\tilde{A}^*$ คือ $\frac{D}{N}$ โดยที่

$$D = \int_{a_l}^{a_l} \frac{1-f(x)}{2} x dx + \int_{a_l}^{a_{c*}} \frac{g(x)-f(x)+1}{2} x dx + \int_{a_{c*}}^{a_r} \frac{h(x)-k(x)+1}{2} x dx + \int_{a_r}^{a'_r} \frac{1-k(x)}{2} x dx$$

และ

$$N = \int_{a_l}^{a_l} \frac{1-f(x)}{2} dx + \int_{a_l}^{a_{c*}} \frac{g(x)-f(x)+1}{2} dx + \int_{a_{c*}}^{a_r} \frac{h(x)-k(x)+1}{2} dx + \int_{a_r}^{a'_r} \frac{1-k(x)}{2} dx$$

กำหนดให้ $g: R \rightarrow [0, 1]$, $h: R \rightarrow [0, 1]$

$f: R \rightarrow [0, 1]$ และ $k: R \rightarrow [0, 1]$

โดยที่ f และ g เป็นฟังก์ชันเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และ h และ k เป็นฟังก์ชันลดอย่างสม่ำเสมอ [15]

จากนิยาม 4 โดยการแทนค่าตัวเลขฟัซซี่

สหัชญาณสามเหลี่ยม

$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c*}, a_r); (a'_l, a'_{c*}, a'_r) \rangle$ ในนิยาม 7

จะได้เซนทรอยด์ของตัวเลขฟัซซี่ จัดรูปใหม่ได้ ดังนี้

$$\frac{1}{3} \left[\frac{(a'_r - a'_l)(a_{c*} - 2a'_r - 2a'_l) + (a_r - a_l)(a_l + a_{c*} + a_r) + 3(a_r^2 - a_l^2)}{a'_r - a'_l + a_r - a_l} \right] \quad (2)$$

ข้อสังเกต จากตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม

$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c*}, a_r); (a'_l, a'_{c*}, a'_r) \rangle$ ถ้า

$a_l = a'_l$ และ $a_r = a'_r$ แล้วจะได้ว่า

$\tilde{A}^* = (a_l, a_{c*}, a_r)$ ดังนั้นเซนทรอยด์ของตัวเลขฟัซซี่

สามเหลี่ยม $\tilde{A}^*$ จะได้เป็น $\frac{a_l + a_{c*} + a_r}{3}$

ในบทความนี้กำหนดให้สัญลักษณ์ $C(\tilde{A}^*)$ แทนเซนทรอยด์ของตัวเลขฟัซซี่ $\tilde{A}^* C(\tilde{A}^*)_{ij}$ แทน

ค่าขนส่งแบบฟัซซี่ต่อหน่วยในการขนส่งทรัพยากร จากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

3.3 การแก้ปัญหาเส้นทางขนส่ง

ปัญหาการขนส่ง (Transportation problems) เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากร สินค้าหรือวัตถุดิบ จากแหล่งผลิตที่ เป็น

แหล่งต้นทาง (Sources) ไปยังจุดหมายปลายทาง (Destinations) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสียค่าใช้จ่าย ในการขนส่งให้น้อยที่สุดภายใต้ ความ

ต้องการสินค้าและข้อจำกัดในการผลิตสินค้า การใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จำเป็นที่จะต้องทราบต้นทุน ในการขนส่ง ความสามารถในการผลิต และ ความต้องการสินค้าที่มีความชัดเจน ซึ่งสามารถ คำนวณต้นทุนค่าขนส่งทั้งหมดได้จากสมการและ ข้อจำกัดต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\geq b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} &\text{ แทนต้นทุนการขนส่งทั้งหมด} \\ c_{ij} &\text{ แทนค่าขนส่งต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าจาก} \\ &\text{แหล่งต้นทางที่ } i \text{ ไปยังจุดหมายปลายทางที่ } j \\ x_{ij} &\text{ แทนปริมาณของสินค้าที่ขนส่งจากแหล่งต้น} \\ &\text{ทางที่ } i \text{ ไปยังจุดหมายปลายทางที่ } j \\ a_i &\text{ แทนปริมาณของสินค้าของแหล่งต้นทางที่ } i \\ b_j &\text{ แทนปริมาณความต้องการสินค้าของจุดหมาย} \\ &\text{ปลายทางที่ } j \end{aligned}$$

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (1) มีข้อจำกัดที่ค่าขนส่งต่อหน่วยต้องเป็นตัวเลขที่แน่นอน แต่เนื่องจากสถานการณ์ในปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายมีความไม่แน่นอนหรือเป็นแบบฟัซซี่ จึงต้องมีการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาเพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำที่สุด ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Minimize } \tilde{Z} &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} \\ \text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq \alpha_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\geq \beta_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{โดยที่ } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} \text{ แทนต้นทุนการขนส่งฟัซซี่}$$

ทั้งหมด

$\tilde{c}_{ij}$ แทนค่าขนส่งต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j
 x_{ij} แทนปริมาณของสินค้าที่ขนส่งจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

α_i แทนปริมาณของสินค้าของแหล่งต้นทางที่ i

β_j แทนปริมาณความต้องการสินค้าของจุดหมายปลายทางที่ j

ถ้า $\sum_{i=1}^m \alpha_i = \sum_{j=1}^n \beta_j$ แล้วกล่าวได้ว่าเป็นปัญหาการ

ขนส่งฟัซซี่สมดุล และถ้า $\sum_{i=1}^m \alpha_i \neq \sum_{j=1}^n \beta_j$ แล้ว

กล่าวได้ว่าเป็นปัญหาการขนส่งฟัซซี่ไม่สมดุล

3.4 วิธีการแก้ปัญหาการขนส่ง

3.4.1 การหาผลลัพธ์เบื้องต้น

วิธีการหาผลลัพธ์เบื้องต้นในที่นี้ เลือกใช้วิธีการจัดสรรตารางของ Ahmed MM, Khan AR, Uddin MS และคณะ [10] มีขั้นตอนดังนี้
ขั้นตอนที่ 1: สร้างตารางการขนส่งจากปัญหาการขนส่งฟัซซี่ที่กำหนด จากนั้นนำตัวเลขที่ได้จากการใช้เซนทรอยด์ ใส่ลงในตารางให้ครบทุกช่อง

ขั้นตอนที่ 2: จากตารางในขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบดูว่าปัญหาการขนส่งมีความสมดุลหรือไม่ ถ้าไม่สมดุลต้องทำให้สมดุลก่อน

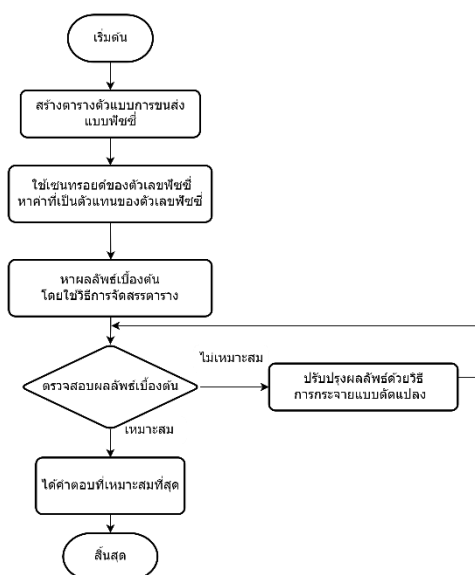
ขั้นตอนที่ 3: จากตารางในขั้นตอนที่ 1 เลือกค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่เป็นจำนวนคี่ต่ำสุด (ตัวเลขอาจเป็นจำนวนเต็ม / ทศนิยม / เศษส่วน) จากทุกช่องของตารางการขนส่ง ในกรณีที่ค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนคี่ทั้งหมด ให้นำ 2 หาค่าใช้จ่ายในทุกช่องของตารางการขนส่ง จนสามารถได้ค่าใช้จ่ายที่เป็นจำนวน

คือ ตารางใหม่ที่ได้จะเรียกว่าตารางการจัดสรร โดยมีค่าใช้จ่ายที่เป็นจำนวนคี่ปรากฏอยู่

ขั้นตอนที่ 4: จากตารางการจัดสรร ในครั้งแรกจะเริ่มต้นโดยการเลือกจัดสรรให้กับค่าใช้จ่ายที่เป็นจำนวนคี่ที่ต่ำที่สุดจากตารางการจัดสรรในขั้นตอนที่ 3 ทำการขนส่งให้มากที่สุด โดยเป็นไปตามเงื่อนไขและข้อจำกัดของอุปสงค์และอุปทาน จากนั้นลบแถวหรือคอลัมน์ที่จัดสรรให้เสร็จสมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 5: ต่อมาให้พิจารณาทำการขนส่งในช่องที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในอันดับถัดไป ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนจัดสรรครบทั้งทางด้านอุปสงค์และอุปทาน

ขั้นตอนที่ 6: คำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งในทุกเส้นทาง หลังจากการจัดสรรตารางเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 1 การแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาการขนส่งแบบพีซีซี

3.4.2. การตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้นและการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น

ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้นที่คำนวณได้ และทำการปรับปรุงผลลัพธ์ โดยใช้วิธีการกระจายแบบดัดแปลง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: จากตารางแสดงผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการจัดสรรตาราง พิจารณาช่องที่ถูกจัดสรร (Basic cell) และไม่ถูกจัดสรร (Non basic cell) ทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่า $\tilde{C}_{ij} = R_i + K_j$ เมื่อ $\tilde{C}_{ij}$ คือ ค่าใช้จ่ายของช่องที่ ij , R_i คือสัมประสิทธิ์ของแถวแนวนอนที่ i , K_j คือสัมประสิทธิ์ของแถวตั้งที่ j และกำหนดให้ $R_1 = 0$

ขั้นตอนที่ 3: กำหนดให้ $E_{ij} = \tilde{C}_{ij} - R_i - K_j$ หา E_{ij} ของช่องที่ไม่ถูกจัดสรร (Non basic cell) ทุกช่อง

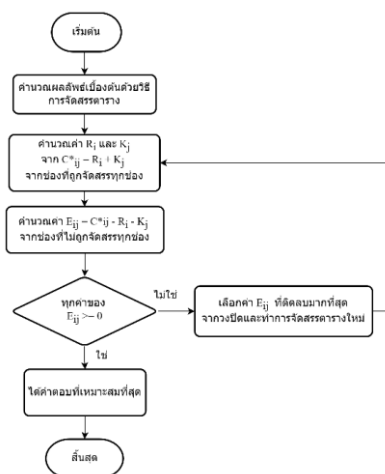
ขั้นตอนที่ 4: พิจารณาค่าของ E_{ij} ถ้า $E_{ij} \geq 0$ แสดงว่าผลลัพธ์ที่ได้เบื้องต้นเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด หากค่า E_{ij} ที่คำนวณได้มีค่า $E_{ij} < 0$ (ทุกช่องหรือบางช่อง) แสดงว่ามีช่องที่สามารถจัดสรรและลดค่าขนส่งให้น้อยลงกว่าเดิมได้อีก

ขั้นตอนที่ 5: ในกรณีที่มีค่า $E_{ij} < 0$ จะทำการเลือกช่องที่ให้ ค่า E_{ij} เป็นลบมากที่สุด จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6: ทำการจัดสรรค่าใหม่ โดยการสร้าง วงปิด (Closed loop) โดยในตอนแรกเริ่มต้น วงปิดด้วยการเลือกช่องว่างและเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวนอนด้วยช่องมุมที่ถูกเลือกและกลับมาที่ช่องว่างในตอนเริ่มต้นเพื่อทำวงปิดให้สมบูรณ์ ใช้เครื่องหมาย “+” และ “-” ที่มุมของวงปิดในช่องว่างแรกที่เลือกไว้จะกำหนดให้ใช้เครื่องหมาย “+”

ขั้นตอนที่ 7: หาค่าการจัดสรรต่ำสุดจากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” หลังจากนั้นนำค่าที่ถูกเลือกไปจัดสรรในช่องที่เลือกไว้ โดยนำค่านี้นี้ไปบวกเข้ากับช่องที่มีเครื่องหมาย “+” และนำค่านี้นี้ไปลบออกจากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” จะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่จะต้องทำการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 8: หลังจากทำการจัดสรรในขั้นตอนที่ 7 แล้ว ให้ทำการตรวจสอบค่าที่ได้จากตารางอีกครั้ง ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนสุดท้าย จนได้ค่า $E_{ij} \geq 0$ ทุกค่า หากพบว่ายังมีค่าลบเหลืออยู่จะต้องทำการปรับปรุง ผลลัพธ์และตรวจสอบผลลัพธ์ จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด นั่นคือต้องได้ $E_{ij} \geq 0$ ทุกค่า



ภาพที่ 2 การแสดงการตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้น และการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ค่าใช้จ่ายในการขนส่งภายใต้สถานการณ์ที่ต้นทุนค่าขนส่งมีความไม่แน่นอน โดยในสถานการณ์จริงข้อมูลที่นำมาคำนวณจะได้มาจากการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่ง อุปสงค์และอุปทาน ซึ่งเป็นการนำข้อมูลย้อนหลังมาพิจารณาว่าตัวเลขที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงใดแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์ ในตัวอย่างนี้กำหนดปัญหาให้อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นแบบฟังก์ชันหยาบสามเหลี่ยม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 บริษัทต้องการขนส่งสินค้าจากโรงงานไปยังศูนย์กระจายสินค้า โดยที่ให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้น้อยที่สุด โดยมีการขนส่งสินค้าจากโรงงาน 3 แห่งคือ F_1 , F_2 และ F_3 ไปสู่ศูนย์กระจายสินค้า 3 แห่งคือ W_1 , W_2 และ W_3 แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการขนส่งแบบฟิชชี (ค่าขนส่งมีหน่วยเป็นบาท)

	W_1	W_2	W_3	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	$\langle(5,7,10);(4,7,12)\rangle$	$\langle(9,10,12);(8,10,14)\rangle$	$\langle(3,5,7);(1,5,10)\rangle$	160
F_2	$\langle(7,10,12);(5,10,13)\rangle$	$\langle(4,6,10);(3,6,13)\rangle$	$\langle(10,12,13);(8,12,16)\rangle$	180
F_3	$\langle(6,8,10);(4,8,11)\rangle$	$\langle(7,8,13);(5,8,15)\rangle$	$\langle(7,11,13);(4,11,15)\rangle$	175
ความต้องการ (β_j)	155	190	170	515

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าขนส่งสินค้าแสดงเป็นตัวเลขแบบฟิชชีสหัชฐานสามเหลี่ยม ดังนั้นหากต้องการหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด จำเป็นต้องหาค่าที่เป็นตัวแทนของตัวเลขฟิชชีสหัชฐานสามเหลี่ยมก่อน ในที่นี้จะใช้วิธีเซนทรอยด์เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งใหม่ดังนี้

พิจารณาเส้นทาง F_1 ไปยัง W_1 คือ $\langle(5,7,10);(4,7,12)\rangle$ หาค่าใช้จ่ายในการขนส่งใหม่โดยการแทนค่าลงในสมการ

$$\frac{1}{3} \left[\frac{(a'_r - a'_l)(a_{c*} - 2a'_r - 2a'_l) + (a_r - a_l)(a_l + a_{c*} + a_r) + 3(a_r^2 - a_l^2)}{a'_r - a'_l + a_r - a_l} \right]$$

คำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งใหม่ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} C(\tilde{c}_{11}^*) &= C\langle(5,7,10);(4,7,12)\rangle \\ &= \frac{1}{3} \left[\frac{(12-4)(7-2(12)-2(4)) + (10-5)(5+7+10) + 3(12^2-4^2)}{12-4+10-5} \right] \\ &= 7.54 \end{aligned}$$

ค่าขนส่งสินค้าจากเส้นทาง F_1 ไปยัง W_1 เขียนแทนด้วย $C(\tilde{c}_{11}^*)$ จากการคำนวณโดยวิธีเซนทรอยด์จะได้ว่า $C(\tilde{c}_{11}^*) = 7.54$ บาทต่อหน่วย ในทำนองเดียวกันในเส้นทางอื่น ๆ จะได้ค่าขนส่งใหม่ดังนี้ คือ $C(\tilde{c}_{12}^*) = 10.56$, $C(\tilde{c}_{13}^*) = 5.23$,

$$C(\tilde{c}_{21}^*) = 19.46, C(\tilde{c}_{22}^*) = 7.08$$

$$C(\tilde{c}_{23}^*) = 11.91, C(\tilde{c}_{31}^*) = 7.79,$$

$$C(\tilde{c}_{32}^*) = 9.33 \text{ และ } C(\tilde{c}_{33}^*) = 10.12$$

นำค่าขนส่งใหม่ที่ได้ออกในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าขนส่งใหม่โดยวิธีเซนทรอยด์

	W_1	W_2	W_3	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	7.54	10.56	5.23	160
F_2	9.46	7.08	11.91	180
F_3	7.79	9.33	10.12	175
ความต้องการ (β_j)	155	190	170	515

จากตารางที่ 2 พบว่า $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = \sum_{j=1}^3 \beta_j = 515$

นั่นคือเป็นปัญหาการขนส่งฟิชชีแบบสมดุล

ขั้นตอนต่อไปจะทำการคำนวณผลลัพธ์เบื้องต้นโดยใช้วิธีการจัดสรรตารางดังนี้

จากตารางที่ 2 พบว่าเส้นทางจาก F_1 ไปยัง W_3 เป็นเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนคี่ต่ำสุด

คือ 5.23 บาทต่อหน่วย ดังนั้นเลือกเส้นทางนี้เป็นเส้นทางเริ่มต้นในการจัดสรร โดยจะจัดสรรบนเส้นทางนี้ให้มากที่สุด จากโรงงาน F_1 มีสินค้า 160 หน่วย และศูนย์กระจายสินค้า W_3 รับสินค้าได้ 170 หน่วย ดังนั้นจัดสรรให้ขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_1 ไปยัง W_3 จำนวน 160 หน่วย ซึ่งทำให้สินค้าจากโรงงาน F_1 ส่งสินค้าครบเต็มจำนวนแล้ว ไม่สามารถส่งให้กับศูนย์กระจายสินค้าอื่นได้ ทำให้เหลือโรงงานที่จะทำการจัดส่งสินค้าต่อไปอีก 2 โรงงาน ในขณะที่ศูนย์กระจายสินค้า W_3 ยังสามารถรับสินค้าได้อีก 10 หน่วย จากนั้นเลือกเส้นทางที่เหลือคือ โรงงาน F_1 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 , W_2 และ W_3 โรงงาน F_2 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 , W_2 และ W_3 จากเส้นทางดังกล่าวมาพบว่า เส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดรองลงมาคือ โรงงาน F_2 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_2 ดังนั้น จาก F_2 ไปยัง W_2 จัดสรรสินค้าเป็นจำนวน 180 หน่วย ซึ่งทำให้สินค้าจากโรงงาน F_2 ส่งสินค้าครบเต็มจำนวนแล้ว ไม่สามารถส่งให้กับศูนย์กระจายสินค้าอื่นได้ ในขณะที่ศูนย์กระจาย

ตารางที่ 3 การหาผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการจัดสรรตาราง

	W_1	W_2	W_3	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	7.54	10.56	5.23	160
F_2	9.46	7.08	11.91	180
F_3	7.79	9.33	10.12	175
ความต้องการ (β_j)	155	190	170	515

จากตารางที่ 3 จะได้ว่า โรงงาน F_1 ส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_3 เป็นจำนวน 160 หน่วย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $x_{13}=160$ โรงงาน F_2 ส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_2 เป็นจำนวน

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566

สินค้า W_2 ยังสามารถรับสินค้าได้อีก 10 หน่วย ในตอนนี้เหลือเส้นทางที่ต้องพิจารณาอีก 3 เส้นทาง คือการขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_1 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 , W_2 และ W_3 เลือกเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดลำดับถัดไปคือ โรงงาน F_1 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 จัดสรรสินค้าเป็นจำนวน 155 หน่วย ทำให้สินค้าจากโรงงาน F_3 มีสินค้าเหลืออีก 20 หน่วย ดังนั้นพิจารณาเส้นทางที่ยังเหลืออยู่อีก 2 เส้นทาง คือขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_3 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_2 และ W_3 ดังนั้นเลือกเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดลำดับถัดไปคือ จากโรงงาน F_3 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_2 จัดสรรสินค้าจำนวน 10 หน่วย ทำให้ศูนย์กระจายสินค้า W_2 รับสินค้าครบตามจำนวน และในลำดับสุดท้ายขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_3 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_3 จัดสรรสินค้าจำนวน 10 หน่วย ทำให้โรงงาน F_3 ส่งสินค้าได้ครบตามจำนวนและ W_3 ได้รับสินค้าเต็มจำนวน แสดงผลการจัดสรรการขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทาง ดังตารางที่ 3

180 หน่วย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $x_{22}=180$ โรงงาน F_{31} ส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 , W_2 และ W_3 เป็นจำนวน 155, 10, และ 10 หน่วย ตามลำดับ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์

$x_{31}=155$, $x_{32}=10$ และ $x_{33}=10$ ตามลำดับ

ดังนั้นคำนวณค่าขนส่งรวมทั้งหมดที่ได้จากวิธีการ
จัดสรรตาราง ดังนี้

$$\begin{aligned}\tilde{Z} &= \tilde{C}_{13}^* x_{13} + \tilde{C}_{22}^* x_{22} + \tilde{C}_{31}^* x_{31} + \tilde{C}_{32}^* x_{32} \\ &\quad + \tilde{C}_{33}^* x_{33} \\ &= (5.23 \times 160) + (7.07 \times 180) + (7.79 \times 155) \\ &\quad + (9.33 \times 10) + (10.12 \times 10) \\ &= 3,513.15 \text{ บาท}\end{aligned}$$

จากผลลัพธ์เบื้องต้นที่คำนวณได้ ขั้นตอนต่อไปจะ
ทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด
หรือไม่ และทำการปรับปรุงผลลัพธ์ดังกล่าวด้วย
วิธีการกระจายแบบดัดแปลง ดังนี้

ตารางที่ 4 ค่า R_i และ K_j

	W_1	W_2	W_3	กำลังการผลิต (α_i)	R_i
F_1	7.54	10.56	5.23	160	$R_1=0$
F_2	9.46	7.08	11.91	180	$R_2=2.64$
F_3	7.79	9.33	10.12	175	$R_3=4.89$
ความต้องการ (β_j)	155	190	170	515	
K_j	$K_1=2.9$	$K_2=4.44$	$K_3=5.23$		

ขั้นตอนต่อไปคำนวณหาค่า E_{ij} จากช่องที่ไม่ถูก
จัดสรร (Non basic cell) หาได้จาก

$$\begin{aligned}E_{ij} &= \tilde{C}_{ij}^* - R_i - K_j \text{ พิจารณา } E_{11} \\ E_{11} &= \tilde{C}_{11}^* - R_1 - K_1 \\ &= 7.54 - 0 - 2.9 \\ &= 4.64\end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันช่องที่ไม่ถูกจัดสรรอื่น ๆ จะ
สามารถหาค่า E_{ij} ได้ดังนี้ $E_{12}=6.12$, $E_{21}=3.92$

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่ามีช่องที่ถูก
จัดสรร (Basic cell) เรียบร้อยแล้วนำมาคำนวณหา
ค่า R_i และ K_j ซึ่งคำนวณได้จาก $\tilde{C}_{ij}^* = R_i + K_j$

โดยที่ $\tilde{C}_{ij}^*$ คือ ค่าใช้จ่ายของช่องที่ ij , R_i คือ
สัมประสิทธิ์ของแถวแนวนอนที่ i , K_j คือ
สัมประสิทธิ์ของแถวตั้งที่ j และกำหนดให้
 $R_1 = 0$ คำนวณ $\tilde{C}_{13}^*$ จากสูตร $\tilde{C}_{ij}^* = R_i + K_j$

$$\tilde{C}_{13}^* = R_1 + K_3$$

$$5.23 = 0 + K_3$$

$$K_3 = 5.23$$

ในทำนองเดียวกันในช่องที่ถูกจัดสรรอื่น ๆ หาค่า R_i
และ K_j ได้ดังนี้ $R_2=2.64$, $R_3=4.89$, $K_1=2.9$
และ $K_2=4.44$ แสดงดังตารางที่ 4

และ $E_{23}=4.04$ จากผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่า ค่า E_{ij}
มีค่าเป็นจำนวนบวกทุกค่า นั่นคือ $E_{ij} \geq 0$ แสดง
ว่าในการคำนวณผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการจัดสรร
ตารางได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้ว จึงไม่ต้องทำการ
ปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นใหม่ ดังนั้นได้ค่าขนส่งรวม
ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 3,513.15 บาท

ตัวอย่างที่ 2 กำหนดให้มีการกระจายสินค้าจาก
โรงงาน 3 แห่งคือ F_1 , F_2 และ F_3 ไปสู่ศูนย์กระจาย

สินค้า 4 แห่งคือ W_1, W_2, W_3 และ W_4

แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลการขนส่งแบบฟิชชี (ค่าขนส่งมีหน่วยเป็นบาท)

	W_1	W_2	W_3	W_4	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	$\langle(10,15,20);$ $(6,15,21)\rangle$	$\langle(13,20,30);$ $(8,20,35)\rangle$	$\langle(30,38,45);$ $(27,38,50)\rangle$	$\langle(35,40,50);$ $(23,40,55)\rangle$	80
F_2	$\langle(53,55,60);$ $(50,55,63)\rangle$	$\langle(30,35,47);$ $(28,35,50)\rangle$	$\langle(40,45,55);$ $(38,45,61)\rangle$	$\langle(10,25,40);$ $(8,25,43)\rangle$	75
F_3	$\langle(12,24,35);$ $(10,24,35)\rangle$	$\langle(40,50,60);$ $(35,50,65)\rangle$	$\langle(35,45,50);$ $(30,45,65)\rangle$	$\langle(10,25,37);$ $(9,25,40)\rangle$	95
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250

จากตารางที่ 5 ใช้วิธีเซนต์รอยด์คำนวณค่าขนส่งใหม่ (ทำเช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1)

กำหนดค่าขนส่งใหม่ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าขนส่งใหม่โดยวิธีเซนต์รอยด์

	W_1	W_2	W_3	W_4	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	14.4	21	38.07	40.08	80
F_2	56	37.52	47.47	25.18	75
F_3	23.32	50	45.67	24.36	95
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250

จากตารางที่ 6 พบว่า $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = \sum_{j=1}^4 \beta_j = 250$

กล่าวได้ว่าเป็นปัญหาการขนส่งฟิชชีสมดุล
ขั้นตอนต่อไปจะต้องหาผลลัพธ์เบื้องต้น โดยใช้วิธี

ตารางการจัดสรรเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 1 ซึ่งใน
ที่นี้จะแสดงเฉพาะผลลัพธ์เบื้องต้นที่ได้หาผลลัพธ์ไว้
แล้ว ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การหาผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการจัดสรรตาราง

	W_1	W_2		W_3	W_4		กำลังการผลิต (α_i)	
F_1	14.4	21	80	38.07	40.08		80	
F_2	56	37.52	10	47.47	60	25.18	5	75
F_3	23.32	50	50	45.67	24.36	45	95	
ความต้องการ (β_j)	50	90		60	50		250	

จากตารางที่ 7 คำนวณค่าขนส่งรวมทั้งหมดที่ได้จากวิธีการจัดสรรตาราง ดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{Z} &= \tilde{C}_{12}^* \times_{12} + \tilde{C}_{22}^* \times_{22} + \tilde{C}_{23}^* \times_{23} + \tilde{C}_{24}^* \times_{24} \\ &\quad + \tilde{C}_{31}^* \times_{31} + \tilde{C}_{34}^* \times_{34} \\ &= (21 \times 80) + (37.52 \times 10) + (47.47 \times 60) \\ &\quad + (25.18 \times 5) + (23.32 \times 50) + (24.36 \times 45) \\ &= 7,291.50 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ขั้นตอนต่อไปจะทำการตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้นที่ได้ด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง ดังนี้

จากตารางที่ 7 คำนวณค่า R_i และ K_j ได้เป็น $R_1=0$, $R_2=16.52$, $R_3=15.7$, $K_1=7.62$, $K_2=21$, $K_3=30.95$ และ $K_4=8.66$ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า R_i และ K_j

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	กำลังการผลิต (α_i)	R _i		
F ₁	14.4	21	80	38.07	40.08	80	R ₁ =0	
F ₂	56	37.52	10	47.47	60	25.18	5	R ₂ =16.52
F ₃	23.32	50	50	45.67	24.36	45	95	R ₃ =15.7
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250			
K _j	K ₁ =7.62	K ₂ =21	K ₃ =30.95	K ₄ =8.66				

จากตารางที่ 8 คำนวณหาค่า E_{ij} จาก
ช่องที่ไม่ถูกจัดสรร ได้เป็น $E_{11}=6.78$, $E_{13}=7.12$,
 $E_{14}=31.42$, $E_{21}=31.86$, $E_{32}=13.3$ และ
 $E_{33}=-0.98$

จากการคำนวณค่า E_{ij} พบว่าค่า E_{ij} ที่
ติดลบคือ E_{33} ดังนั้นเริ่มต้นที่ช่อง (3,3) (แถวที่ 3
คอลัมน์ที่ 3) ทำวงปิดที่ช่อง (3,3) ไปยัง (3,4)
ไปยัง (2,4) ไปยัง (2,3) และกลับมาที่ (3,3)

หลังจากนั้นใส่เครื่องหมาย “+” และ “-” สลับกัน
ตามลำดับ ขั้นตอนต่อไปหาคำตอบที่น้อยที่สุดใน
วงปิดที่มีเครื่องหมาย “-” ปรากฏอยู่ในที่นี้จะ
พบว่า ตัวเลข 45 เป็นตัวเลขที่น้อยที่สุดที่มี
เครื่องหมาย “-” ลำดับต่อไปให้นำค่า 45 ไปบวก
เข้ากับค่าในช่องที่มีเครื่องหมาย “+” และนำ 45
ไปลบออกจากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” ทำเช่นนี้จน
ครบวงปิด แสดงดังตารางที่ 9 และ 1

ตารางที่ 9 การสร้างวงปิด

	W_1	W_2	W_3	W_4	กำลังการผลิต (α_i)		
F_1	14.4	21	80	38.07	40.08	80	
F_2	56	37.52	10	- 47.47	+ 25.18	5	75
F_3	23.32	50	50	+ 45.67	- 24.36	45	95
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250		

ตารางที่ 10 การปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น

	W_1	W_2	W_3	W_4	กำลังการผลิต (α_i)			
F_1	14.4	21	80	38.07	40.08	80		
F_2	56	37.52	10	47.47	15	25.18	50	75
F_3	23.32	50	50	45.67	45	24.36	95	
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250			

จากตารางที่ 10 ทำการตรวจสอบค่า E_{ij} อีกครั้งพบว่าค่า $E_{ij} \geq 0$ ทุกค่า นั่นคือได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้ว (หากยังพบว่ามีค่า ติดลบอยู่จะต้องปรับปรุงผลลัพธ์และตรวจสอบผลลัพธ์ใหม่อีกครั้งจนกว่าจะได้ค่า $E_{ij} \geq 0$ ทุกค่า) นำค่าที่ได้จากตารางไปคำนวณค่าขนส่งที่น้อยสุด ดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{Z} &= \tilde{C}_{12}^* \times 12 + \tilde{C}_{22}^* \times 22 + \tilde{C}_{23}^* \times 23 + \tilde{C}_{24}^* \times 24 \\ &\quad + \tilde{C}_{31}^* \times 31 + \tilde{C}_{33}^* \times 33 \\ &= (21 \times 80) + (37.52 \times 10) + (47.47 \times 15) \\ &\quad + (25.18 \times 50) + (23.32 \times 50) + (45.67 \times 45) \\ &= 7,247.40 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า จากการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นทำให้มีการปรับปริมาณสินค้า และเส้นทางในการขนส่งใหม่ในบางเส้นทาง ซึ่งส่งผลให้มีความใช้จ่ายรวมทั้งหมดในการขนส่งลดลงจากเดิมจาก 7,291.50 บาท ลดลงเหลือ 7,247.40 บาท

การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งแบบฟuzzy ได้รับความนิยมนเป็นอย่างมาก โดยเป็นเครื่องมือหรือวิธีการในการหาค่าขนส่งที่ดีที่สุดหรือน้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่ข้อมูลมีความไม่แน่นอนหรือมีความคลุมเครือ [4-8] งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy โดยการกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นแบบฟuzzy สามเหลี่ยมสหสัญญา จากนั้นใช้วิธีเซนต์รอยด์ [15] เพื่อหาค่าที่เป็นตัวแทนของตัวเลขฟuzzy และนำเทคนิคการจัดสรรตาราง [10] ที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์เบื้องต้น ทำการตรวจสอบผลลัพธ์และปรับปรุงค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้

5. สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy โดยใช้วิธีการ

จัดสรรตารางและ วิธีการกระจายแบบดัดแปลงในการปรับปรุงผลลัพธ์ จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy สหสัญญาได้ ซึ่งวิธีการที่ได้นำเสนอนี้ จะทำให้ผู้ประกอบการทางธุรกิจการขนส่งสินค้ามีเครื่องมือที่ช่วยในการแก้ปัญหาการขนส่ง เป็นประโยชน์สำหรับการคาดการณ์ต้นทุนการขนส่งภายใต้สถานการณ์ที่ข้อมูลมีความไม่แน่นอนหรือมีความคลุมเครือ นอกจากนี้ยังสามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ได้กับสถานการณ์ปัญหาที่ข้อมูลค่าใช้จ่ายมีความชัดเจนได้เช่นเดียวกัน ซึ่งหากข้อมูลมีความชัดเจนขั้นตอนของการหาค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมจะเริ่มต้นตั้งแต่การคำนวณหาผลลัพธ์เบื้องต้นโดยใช้วิธีการจัดสรรตาราง จนกระทั่งถึงขั้นตอนของการตรวจสอบและปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นโดยใช้วิธีการกระจายแบบดัดแปลง ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dantzig GB. Linear Programming and Extensions. New Jersey. Princeton university press; 1963.
- [2] Bellman RE, Zadeh LA. Decision making in a fuzzy environment. Manage Sci. 1970; 17(4):141-64.
- [3] Atanassov KT. Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Set Syst. 1986; 20(1):87-96.
- [4] Hitchcock FL. The distribution of a product several sources to numerous localities. J Math Phys. 1941; 20(1-4):224-30.

- [5] Dinagar SD, Palanivel K. The transportation problem in fuzzy environment. International Journal of Algorithms Computing and Mathematics. 2009; 2(3):65-71.
- [6] Samuel AE, Raja P. Optimization of Unbalanced Fuzzy Transportation Problem. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences. 2016; 11(11):533-40.
- [7] Srinivas B, Ganesan G. Optimal solution for intuitionistic fuzzy transportation problem via revised distribution method. Int J Math Tends Technol. 2015; 19(2):150-61.
- [8] Singh SK, Yadav SP. A new approach for solving intuitionistic fuzzy transportation problem of type-2. Ann Oper Res. 2016;243: 349-63.
- [9] Hunwisai D, Kumam P. A method for solving a fuzzy transportation problem via robust ranking technique and ATM. Cogent Math. 2017; 4:1–11.
- [10] Ahmed MM, Khan AR, Uddin MS, et al. A new approach to solve transportation problems. Open J. Optim. 2016; 5(1):22–30.
- [11] Zadeh LA. Fuzzy sets. Inf Control. 1965; 8(3):338-56.
- [12] Dubois D, Prad H. Operation on fuzzy numbers. Int J Syst Sci. 1978; 9(6):613-26.
- [13] Atanassov KT. Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Set Syst. 1986; 20(1):87–96.
- [14] Mondal SP, Roy TK. First order non homogeneous ordinary differential equation with initial value as triangular intuitionistic fuzzy number. Journal of Uncertain Systems. 2015; 9(4):274-85.
- [15] Wang YM, Yang J., Xu DL, et al. On the centroids of fuzzy numbers. Fuzzy Sets Syst. 2006; 157:919-26.

เครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที

Automated aquarium controller with IoT

สุรเทพ แป้นเกิด¹, สุภาชี ดวงใส^{1*}

Suratep Pangerd¹, Supasee Duangsai^{1*}

¹สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

*Corresponding Author. Tel. 08 4323 3869 E-mail: supasee.d@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที เพื่อเพิ่มความสะดวกในการควบคุมปริมาณการให้อาหาร และลดเวลาการเฝ้าสังเกตปลา เครื่องควบคุมที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ 1) เครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติ และ 2) แอปพลิเคชันการใช้งานเครื่องให้อาหารปลา วัดคุณภาพของน้ำ และระบบเฝ้าสังเกตพฤติกรรม โดยเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติการออกแบบเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ node MCU ระบบ servo motor ปลอ่ยอาหารชุดเซ็นเซอร์วัดระดับอาหารชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับคุณภาพน้ำ TDS และชุดโมดูลกล้อง ส่วนแอปพลิเคชันการให้อาหารออกแบบใน 2 ฟังก์ชัน คือ การควบคุมด้วยตนเองและระบบอัตโนมัติโดยแอปพลิเคชันให้อาหารปลาแบบ 3 เวลา เครื่องควบคุมนี้สื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยเซิร์ฟเวอร์ Blynk การทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการให้อาหารปลาใน 3 เวลาไม่มีความผิดพลาด และอาหารที่ปลอ่ยในแต่ละครั้งมีปริมาณ 1 กรัม คิดเป็น 81 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่พอเหมาะสำหรับการกินอาหารของปลา ดังนั้น เครื่องควบคุมตู้ให้อาหารปลาอัตโนมัติด้วยไอโอทีสามารถใช้เป็นต้นแบบเครื่องให้อาหารปลา และประยุกต์ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์การผลิตเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ : เครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไอโอที เซ็นเซอร์ TDS

ABSTRACT

This research focuses on developing an automatic fish feeder control system using IoT (Internet of Things) technology. The aim is to provide the convenience, control the quantity of fish food, and minimize the time spent on fish monitoring. The prototype machine consists of two primary components: an automatic fish tank control system and an application for managing the fish feeder, monitoring water quality, and observing fish behavior.

The automatic fish tank control system is designed with four key components: the node MCU microcontroller, servo motor system for food dispensing, a set of sensors to measure food levels, a set of TDS water quality sensors, and a camera module. The feeding application offers two functions: manual control and an automatic system to provide fish feeding at three different time intervals.

Both systems communicate using internet network utilizing via Blynk server. Experimental results revealed no errors in fish feeding during the three different time intervals.

Received 23-05-2023

Revised 15-06-2023

Accepted 22-06-2023

Each feeding session dispensed 1 gram of food, which accounted for 81 percent of the suitable quantity for the fish's feeding behavior.

Consequently, the automatic fish feeder control system, employing IoT technology, can serve as a prototype for fish feeding devices and has the potential for commercial production applications.

Keyword: Automatic fish feeder control system, Microcontroller, IoT, TDS sensor

1. บทนำ

การเลี้ยงปลาในตู้ปลาเป็นกิจกรรมที่สร้างความเพลิดเพลินและการสร้างธุรกิจให้แก่ผู้เลี้ยง อีกทั้งยังช่วยสร้างความสวยงามให้แก่สถานที่ต่าง ๆ ได้อีกด้วย การเลี้ยงปลาในตู้ปลา ผู้เลี้ยงจำเป็นต้องคอยให้อาหารเป็นเวลาและต้องเอาใจใส่ดูแลความสะอาดของสภาพน้ำในตู้ปลาอย่างสม่ำเสมอโดยทั่วไป ผู้เลี้ยงต้องคอยสังเกตปริมาณอาหารที่เหมาะสมและสังเกตคุณภาพน้ำเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อเจริญเติบโตของปลา รวมถึงสุขภาพของปลาด้วย ซึ่งการเลี้ยงปลาสวยงามตามบ้าน อาจมีข้อจำกัดในเรื่องเวลาของผู้เลี้ยง อาจไม่มีเวลาดูแลปลาเท่าที่ควร

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนานวัตกรรมต่าง ๆ มาช่วยให้มีความสะดวกสบายในการเลี้ยงสัตว์มากขึ้น โดยการนำระบบอัตโนมัติและระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง [1] ด้วยในสภาวะการแข่งขันทางเศรษฐกิจ ในปัจจุบัน ระบบไอโอทีคืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกัน ด้วยระบบอินเทอร์เน็ต การเชื่อมโยงนี้สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รวมไปถึงการเชื่อมโยงการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งแตกต่างจาก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในอดีต โดยเป็นเพียงสื่อกลาง เพื่อการส่งและแสดงข้อมูลเท่านั้น แต่เทคโนโลยีปัจจุบันมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก เชื่อมโยงทุกสรรพสิ่งให้มีความใกล้ชิดกันมากยิ่งขึ้น[2] อาทิ การให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ ที่สามารถสั่งให้อาหารและรายงานอาหารใกล้หมดไปยังสมาาพโฟนได้ รวมถึงการให้อาหารปลาตรงตามเวลาและการ

ตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยการใช้ระบบอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ผู้เลี้ยงปลาสามารถตรวจสอบดูความถูกต้องของตัวป้อนอาหารปลาและกำหนดเวลาการให้อาหารปลา รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยเซ็นเซอร์วัดระดับสารปนเปื้อนในน้ำ นอกจากนี้ตู้ปลานั้นก็เปรียบเสมือนบ้านของปลา ดังนั้นจึงต้องคอยดูแล คุณภาพ สภาพแวดล้อมในตู้ปลา เพื่อให้การเลี้ยงปลาสวยงามมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากวิวัฒนาการ การสื่อสารที่พัฒนาขึ้น ผสมกับความสามารถของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มมากขึ้นจึงเป็นโอกาสให้เกิดการประยุกต์ใช้ระบบในด้านอื่น เช่นการประยุกต์ใช้ระบบไอโอทีในการเกษตร เพื่อความคุมโรงเพาะเห็ด ด้านการควบคุมพัดลม ความชื้น และปั้มน้ำ ซึ่งมีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของเห็ด[4]

จากปัญหาดังกล่าวผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที ที่มีตารางเวลาให้อาหารปลาอัตโนมัติได้ทั้งแบบตั้งเวลาและให้ด้วยตนเอง สามารถนำจ่ายอาหารปลาตามช่วงเวลาที่กำหนดโดยใช้วงจรจับเวลามาควบคุม รวมถึงตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้เซ็นเซอร์วัดคุณภาพน้ำ มีระบบตรวจสอบแบบทันทีทันใดผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือด้วยแอปพลิเคชัน Blynk และมีกล้องคอยติดตามพฤติกรรมของปลา เพื่อให้ผู้เลี้ยงปลาสามารถทราบถึงพฤติกรรม การกินอาหารและเห็นภาพพฤติกรรมได้จากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือได้

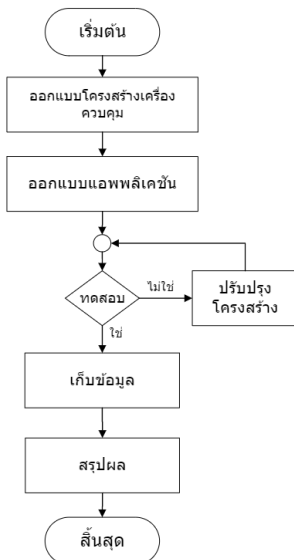
2. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการจัดทำเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที ผู้วิจัยโดยมีวัตถุประสงค์ 2 ข้อ ได้แก่

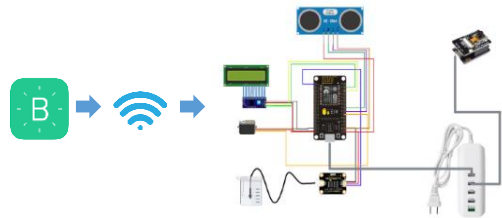
- 1) เพื่อพัฒนาเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที
- 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องควบคุมการให้อาหารปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที

2.1 หลักการที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้าง

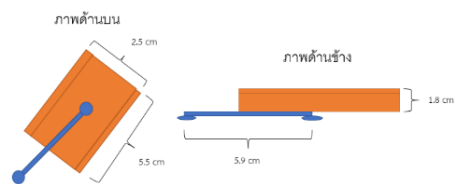
การออกแบบเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที โดยผู้วิจัยได้ออกแบบองค์ประกอบโดยรวมด้วยอุปกรณ์ดังนี้ node MCU ESP8266 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง โดยมี Breadboard เป็นตัวเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุต ได้แก่ 1) ปลั๊กไฟ 2) USB จ่ายไฟ 5V 3) เซนเซอร์วัดระยะ Ultrasonic HC-SR04 เพื่อวัดระยะปริมาณอาหาร 4) Sensor TDS meter เพื่อวัดคุณภาพของน้ำ 5) กล้อง Camera module เพื่อติดตามดูพฤติกรรมของปลาสวยงาม และในส่วนของการแสดงผล มี 1) จอ LCD แบบ I2C 2) แอปพลิเคชัน Blynk โดยใช้แสดงผลค่าสถานะต่าง ๆ [5][6] ดังภาพที่ 2



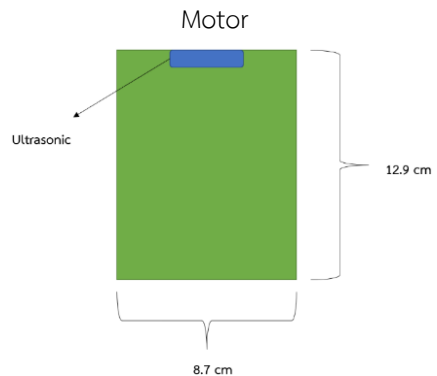
ภาพที่ 1 ผังการทำงาน



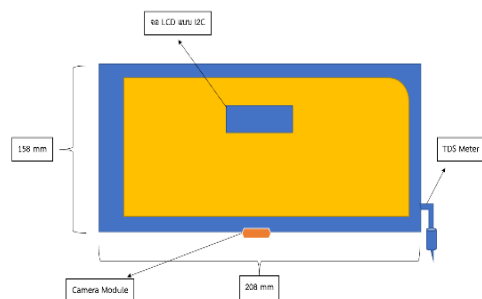
ภาพที่ 2 ไดอะแกรมระบบการทำงานของเครื่องควบคุม



ภาพที่ 3 การออกแบบที่ปล่อยอาหารโดยใช้ Servo



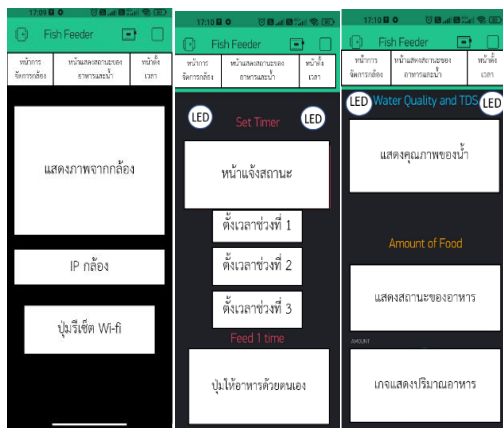
ภาพที่ 4 กล่องใส่อาหารและตรวจสอบสถานะของอาหาร



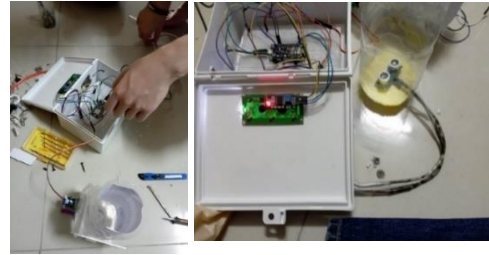
ภาพที่ 5 กล่องใส่จอและตัววัดคุณภาพของน้ำ

2.1.1 โครงสร้างควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติ อันดับแรกออกแบบระบบฝาเปิด โดยผู้วิจัยออกแบบที่ปล่อยอาหารโดยใช้ Servo motor ในการปล่อยอาหารขนาดกว้าง 2.5 ซม. ความยาว 5.5 ซม. และความยาวของขาฝาเปิดต่อกับ Servo Motor ยาว 5.9 ซม. (ดังภาพที่ 3) ส่วนอันดับที่สองออกแบบระบบตรวจสอบสถานะอาหาร โดยใช้ตัววัดระยะ Ultrasound HC-SR04 module เพื่อใช้ในการวัดระยะและตรวจสอบสถานะอาหาร โดยติดตั้งกับฝาปิดอาหารที่มีขนาดความกว้าง 8.7 ซม. และส่วนสูง 12.9 ซม. (ดังภาพที่ 4) ส่วนสุดท้ายเป็นการออกแบบกล่องเพื่อประกอบจอและระบบวัดคุณภาพของน้ำ โดยใช้ sensor TDS meter ติดตั้งกับกล่องอเนกประสงค์ มีขนาดกว้าง 20.8 ซม. ความสูง 15.8 ซม. (ดังภาพที่ 5)

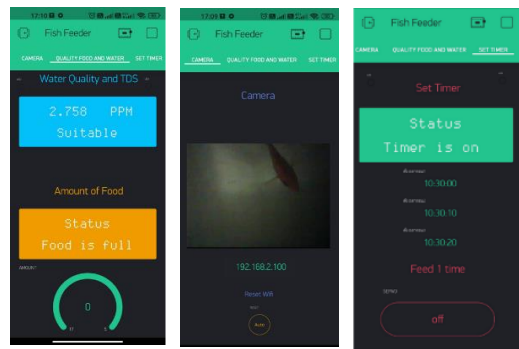
2.1.2 โครงสร้างของแอปพลิเคชัน Blynk ควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที โดยแบ่งหน้าแอปพลิเคชันทั้งหมด 3 หน้า ประกอบด้วย 1) หน้าแสดงภาพกล้องและตั้งค่าเครือข่าย 2) หน้าแสดงสถานะของอาหารและคุณภาพของน้ำ 3) หน้าควบคุมการตั้งเวลาให้อาหาร ซึ่งสามารถตั้งได้ 3 เวลาและป้อนให้อาหารแบบแมนนวล



ภาพที่ 6 โครงสร้างของแอปพลิเคชัน Blynk



ภาพที่ 7 ฮาร์ดแวร์เครื่องควบคุม ฯ

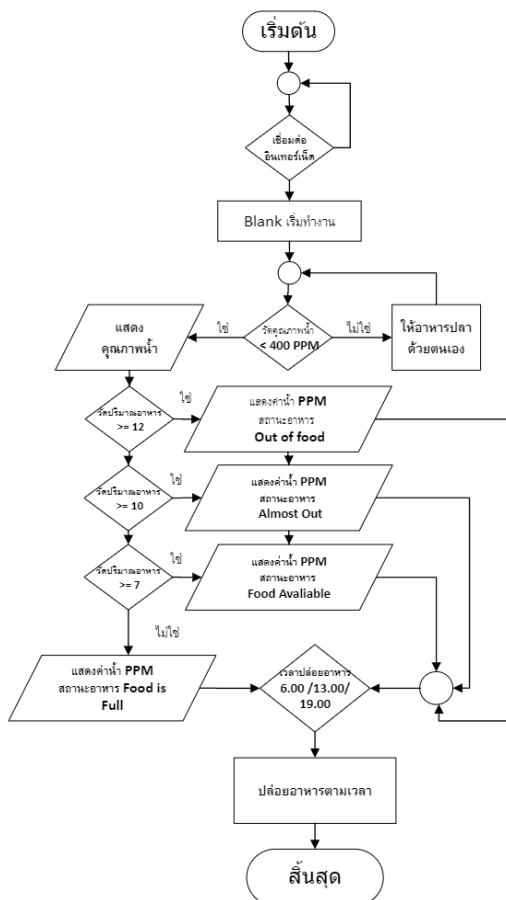


ภาพที่ 8 ซอฟต์แวร์เครื่องควบคุม ฯ

2.1.3 ทดลองการทำงานของเครื่องโดยนำปลาสวยงาม โดยผู้วิจัยได้นำปลาหมอนกแก้ว ขนาดความยาวประมาณ 10 ซม. มาปล่อยในตู้ปลาอัตโนมัติจำนวน 1 ตัวและใช้กล้อง IP Camera ในการติดตามดูพฤติกรรม จากนั้นทำการตั้งเวลาทั้งหมด 3 ช่วง ได้แก่ 06.00 น. 13.00 น. และ 19.00 น. เป็นแบบการให้อาหารอัตโนมัติ โดยการตั้งเวลาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดและจำนวนปลา จากนั้นมีการเขียนเงื่อนไข การตรวจสอบอาหารปลาหากอุปกรณ์วัดจากเซ็นเซอร์ถึงอาหารในกล่องมากกว่าเท่ากับ 12 ซม. จะถือว่าอาหารหมด มากกว่า 10 ซม. จะถือว่าอาหารเกือบจะหมด แต่ถ้ามากกว่าเท่ากับ 7 ซม. จะถือว่าอาหารเต็ม โดยการปล่อยอาหารแต่ละครั้งจะให้อาหาร 1 ครั้งต่อช่วงเวลา โดยการปล่อยอาหารจะไปสัมพันธ์กับค่า TDS โดยเกณฑ์ประกาศกรมอนามัยด้านเคมีทั่วไป ค่ามาตรฐานของน้ำประปาไม่เกิน 500 ppm [7] การวัดค่าน้ำหากค่า น้ำมากกว่า 400 ppm อุปกรณ์ปล่อยอาหารจะไม่

ทำงาน แต่ยังสามารถปล่อยอาหารผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ด้วยตนเอง ซึ่งตัวเลขสถานะทุกอย่างจะโชว์ในจอ LCD 16*8 และ แอปพลิเคชัน Blynk [8]

2.1.4 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่อง โดยการทดสอบการทำงานของเครื่องให้อาหารจำนวน 100 ครั้งและให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ 3 เวลา โดยการหาค่าเฉลี่ยในการจ่ายอาหารจำนวน 30 ครั้ง จากนั้นบันทึกผลการทำงาน เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องควบคุม



ภาพที่ 9 ผังการทำงานของเครื่อง

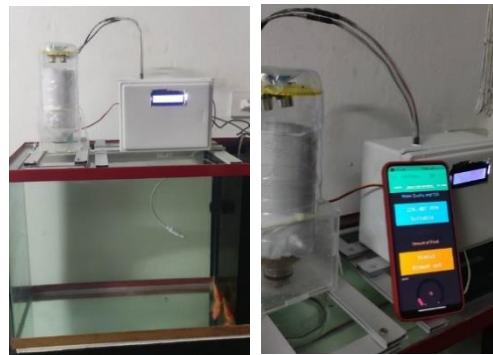
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการวิจัยการพัฒนาเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที ใช้แนวคิดของอินเทอร์เน็ตของ

สรรพสิ่งที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยฯ ปรากฏผลดังนี้

3.1 ผลการพัฒนาเครื่องควบคุมตู้ให้อาหารปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักตามวัตถุประสงค์

3.1.1 ผลการพัฒนาเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที การออกแบบระบบควบคุมการทำงาน ใช้ node MCU ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยประมวลผล 32 bit มีขนาดเล็กประหยัดพลังงาน ราคาถูก สามารถเขียนโปรแกรมรับค่าและอ่านจากพอร์ตแบบดิจิทัล PWM I2C ADC มีโมดูลสื่อสารโปรโตคอล 802.11n ความถี่ 2.4 GHz รับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตพัฒนาได้โดยใช้ภาษา C++ นำมาควบคุมและสั่งการระบบควบคุมการจ่ายอาหาร คุณภาพน้ำใช้เซ็นเซอร์ TDS Meter และเชื่อมโปรแกรม Blynk ซึ่งสอดคล้องกับ ยุติธรรม ประมวลและวศิน โชติ เรื่องการพัฒนาต้นแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติโดยใช้แนวคิดอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง [1] และสอดคล้องกับ Izzeldin I. Mohd และคณะ [9] ในการใช้โปรแกรม Blynk ในการแสดงผล ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เครื่องควบคุมตู้ให้อาหารปลาอัตโนมัติฯ

3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวอุปกรณ์เครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที โดยการทดสอบประสิทธิภาพจะแบ่งออกเป็น 7 ส่วนดังนี้

3.2.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมในการจ่ายอาหารของเครื่องควบคุมตู้ให้อาหารปลาอัตโนมัติด้วย

ไอโอที โดยใช้การทดสอบโดยการหาค่าเฉลี่ยในการ
จ่ายอาหารจำนวน 30 ครั้ง โดยปริมาณที่เหมาะสม
ต่อความต้องการคือ 1 กรัม ดัง ตารางที่ 1

3.2.2 ผลการทดสอบความถูกต้องในการ
จ่ายอาหาร จำนวน 100 ครั้ง ของข้อทั้ง 3 รูปแบบ
เรียงจากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจ่าย มากที่สุด
ไปจนถึงน้อยที่สุด พบว่า ค่ามากที่สุดคือ การจ่าย
อาหารในปริมาณ 1 กรัม เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องใน
การจ่ายอยู่ที่ 81 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การจ่าย
อาหารในปริมาณ 1.9 กรัม เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
ในการจ่าย อยู่ที่ 61 เปอร์เซ็นต์ และ น้อยที่สุดคือ
การจ่ายอาหารในปริมาณ 0.6 กรัม เปอร์เซ็นต์ความ
ถูกต้องในการจ่ายอยู่ที่ 55 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2

3.2.3 การทดสอบการให้อาหารอัตโนมัติ
โดยการตั้งเวลา โดยผู้จัดทำโครงการทำการตั้งเวลาไว้
ที่ 6.00 น. 13.00 น. และ 19.00 น. โดยทำการ
ทดสอบเป็นเวลา 1 อาทิตย์ ดังตารางที่ 3 โดย
สอดคล้องกับ Devi Ratnasari และคณะ ได้กล่าวว่า
ในการเลี้ยงปลาน้ำจืดในตู้ นั้นเราต้องใส่ใจสุขภาพของ
ปลาโดยสังเกตเวลาให้อาหารและความสะอาดของตู้
ปลา ระบบที่สามารถพัฒนาเพื่อช่วยเจ้าของปลาใน
การจัดการกับปัญหาในการเลี้ยงปลา คือ ระบบ
ตรวจสอบการให้อาหารอัตโนมัติตามกำหนดเวลา
และเครื่องเปลี่ยนน้ำอัตโนมัติเมื่อน้ำขุ่น พัฒนาระบบ
โดยใช้ node MCU ESP8266 เป็นศูนย์กลางควบคุม
[10][11]

3.2.4 การทดสอบการให้อาหารอัตโนมัติ
โดยการให้อาหารด้วยตนเอง โดยผู้จัดทำโครงการทำ
การทดสอบกดยังงานให้อาหารด้วยตนเองเป็น
จำนวน 20 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะหยุดก่อนกดครั้ง
ต่อไปเป็นเวลา 5 วินาที พบว่าเครื่องให้อาหารปลา
เครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที สามารถจ่าย
ได้ในทุก ๆ ครั้งที่ทำการกดสั่งจ่ายอาหาร โดยไม่พบ
ปัญหาใด ๆ ในการทดสอบการให้อาหารอัตโนมัติโดย
การให้อาหารด้วยตนเอง โดยสอดคล้องกับจิรวัฒน์
แท่นทองและคณะ [11]

ตารางที่ 1 ผลปริมาณที่เหมาะสมในการจ่ายอาหาร
จำนวน 30 ครั้ง

ครั้งที่	ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ปริมาณ (กรัม)
1	1	16	1
2	1	17	0.7
3	1	18	1
4	1	19	1
5	1	20	1.3
6	1	21	1
7	1	22	1
8	0.7	23	0.7
9	1.3	24	0.7
10	1	25	1
11	1	26	1
12	1	27	1
13	1	28	1
14	1	29	1
15	1	30	1
ปริมาณการจ่ายอาหาร			1

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบความถูกต้องในการ
จ่ายอาหาร 3 รูปแบบ

ที่	รูปแบบ	ร้อยละความถูกต้อง
1	การจ่ายอาหารใน ปริมาณ 1.9 กรัม	61
2	การจ่ายอาหารใน ปริมาณ 1 กรัม	81
3	การจ่ายอาหารใน ปริมาณ 0.6 กรัม	55

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบให้อาหารอัตโนมัติโดยการ
ตั้งเวลา

วันที่	ช่วงเวลาที่ 6.00 น.	ช่วงเวลาที่ 13.00 น.	ช่วงเวลาที่ 19.00 น.
1	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ
2	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ
3	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ
4	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ
5	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ
6	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ
7	สำเร็จ	สำเร็จ	สำเร็จ

3.2.5 การทดสอบกล่องขนาดเล็กของ
เครื่องควบคุมให้อาหารปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที
โดยเปิดการใช้งานกล่องไว้เป็นเวลา 1 อาทิตย์ โดยไม่
มีการปิดการใช้งานเลย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกล่องขนาดเล็ก

วันที่	การทำงาน
1	ทำงาน
2	ทำงาน
3	ทำงาน
4	ทำงาน
5	ทำงาน
6	ทำงาน
7	ทำงาน

3.2.6 การทดสอบตัววัดคุณภาพน้ำของ
เครื่องควบคุมให้อาหารปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที ทดสอบโดย
การนำตัววัดคุณภาพน้ำของเครื่องควบคุมให้อาหาร
ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอทีจุ่มลงในน้ำที่มีค่า ppm ต่ำ
กว่า 400 กับ น้ำที่มีค่า ppm สูงกว่า 400 และดูว่ามี
การแสดงผลของค่าคุณภาพน้ำตรงตามที่กำหนดไว้
หรือไม่ จากการทดสอบพบว่า การแสดงผลค่าทั้ง 2
ค่า ตรงตามที่กำหนดไว้ โดยการทดสอบสอดคล้องกับ
จักรพรรธ อบรมและคณะเรื่องระบบปรับปรุงคุณภาพ
น้ำสำหรับตู้ปลาสวยงามโดยใช้เทคโนโลยี

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยการวัดค่าคุณภาพของ
น้ำ เพื่อให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำมี ประสิทธิภาพ
มากขึ้น สามารถนำไปประยุกต์เป็นประโยชน์ในงาน
ต้นแบบเกษตรอัจฉริยะได้ [3]

3.2.7 การทดสอบสถานะการแจ้งเตือนตาม
ระยะอาหารของเครื่องควบคุมให้อาหารปลาอัตโนมัติด้วยไอ
โอที โดยสถานะของอาหารนั้นจะแสดงตามลำดับ
ดังนี้ ตั้งแต่ระยะ 6 ซม. ลงไปจะแสดงสถานะอาหาร
เต็ม ถ้าระยะ 7 ซม. ขึ้นไปจะแสดงสถานะมีอาหาร
ถ้าระยะ 15 ซม. ขึ้นไปจะแสดงสถานะอาหารใกล้
หมด และถ้าระยะ 17 ซม. ขึ้นไปจะแสดงสถานะ
อาหารหมด โดยผู้จัดทำโครงการได้ทำการทดสอบ
โดยการเติมอาหารจนเต็มและดูสถานะของอาหารว่า
ตรงตามที่แสดงหรือไม่และทยอยนำอาหารออกตาม
ระยะที่กำหนดเพื่อตรวจสอบว่าสถานะแสดงตรงตาม
ระยะที่ตั้งเอาไว้หรือไม่ โดยพบว่ามีการแสดงสถานะ
ตรงตามที่ตั้งไว้ในทุกระยะ โดยไม่พบปัญหาใด ๆ ใน
การทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับ Emmanuel Gbenga
Dada และคณะ ได้กล่าวว่า เครื่องให้อาหารปลาที่ใช้
ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรองรับอาหารประเภท
ต่างๆ ได้ หมายความว่า การปล่อยฟีดอาจแตกต่างกัน
อีกทั้งอัตราที่ปลาจะหมดตู้ขึ้นอยู่กับเวลาที่กำหนด
และปริมาณที่กำหนดของเจ้าของปลา ในตอนท้าย
ของการทดสอบ การทำงานของเครื่องให้อาหารปลา
อัตโนมัติเป็นที่น่าพอใจ [12] และยังสอดคล้องกับผล
การทดลองของชนาภา เทพเสนาและคณะ [13] ที่
ทดสอบการจ่ายอาหารตามระดับคุณภาพน้ำ โดยเมื่อ
คุณภาพของน้ำมีค่าเกินกว่าที่ 500 PPM โดยผู้วิจัยได้
ทำการทดสอบโดยการใส่คอรีนลงในน้ำเพื่อให้ค่า
PPM เกิน 400 ผลปรากฏว่าตัวเครื่องทดสอบจะ
ไม่สามารถให้อาหารแบบอัตโนมัติได้ แต่สามารถให้
อาหารด้วยตนเองได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ
จิรวัฒน์ แทนทองและคณะ [11] ได้กล่าวว่าเครื่องให้
อาหารแมวสามารถให้อาหารและน้ำแมวแบบ
กึ่งอัตโนมัติเพื่อให้เกิดความสะดวกในการให้อาหาร
และน้ำเป็นเวลาหลายวัน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลทดสอบการจ่ายอาหารตามระดับคุณภาพน้ำ

การทดสอบที่	ค่าคุณภาพน้ำ (ppm)	การให้อาหารแบบตั้งเวลา
1	225	ได้
2	1175	ไม่ได้

4. สรุปผลการทดลอง

เครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอทีจัดทำขึ้นเพื่อสร้างเครื่องให้อาหารปลาและดูแลปลาสวยงามอัตโนมัติผ่านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และเพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องควบคุมตู้ปลาอัตโนมัติด้วยไอโอที ด้วยความสามารถของเครื่องยังช่วยแก้ปัญหาการให้อาหารของผู้เลี้ยงปลาสวยงามที่ไม่สามารถให้อาหารปลาได้เป็นเวลาหลายวัน โดยงานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE และ แอปพลิเคชัน Blynk โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมตู้ให้อาหารปลาอัตโนมัติด้วยไอโอทีพบว่าอยู่ในระดับดี สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้มีระบบเปลี่ยนน้ำอัตโนมัติหรือการพัฒนาเพื่อให้อาหารปลาแก่สัตว์เลี้ยงชนิดอื่นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย ในครั้งนี้

6. อ้างอิง

- [1] ยุติธรรม ประมะ และวศิน โชติ.การพัฒนาต้นแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติโดยใช้แนวคิดอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. 2564;13(18):75-88.
- [2] กรมประชาสัมพันธ์ [อินเทอร์เน็ต].กรุงเทพฯ.กรมประชาสัมพันธ์;2563[เข้าถึงเมื่อ 2 ม.ค. 2566].เข้าถึงได้จาก: <http://km.prd.go.th/iot-platform/>

- [3] จักรพันธ์ ออบมา, พลวัฒน์ พรหมสร้างมิ่ง, นิวัตร อังควิเศษพันธ์ ,อดิสร นวลอ่อน, สมชาติ โสณะแสง. ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับตู้ปลาสวยงามโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง.วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม.2566;16(1):26-33.
- [4] ธรัช อาริราษฎร์, วรภา อาริราษฎร์.ระบบไอโอทีสำหรับการตรวจสอบความชื้นและอุณหภูมิเพื่อส่งเสริมการเพาะเลี้ยงเห็ดในโรงเรือนให้มีผลผลิตที่สมบูรณ์.วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ.2563;6(1):7-17.
- [5] วิวัฒน์ มีสุวรรณ.อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษาInternet of Things on Education.วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม.2559;4(2):83-92.
- [6] กอบเกียรติ สระอุบล. พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อินเตอร์มีเดีย;2561.
- [7] กรมอนามัย [อินเทอร์เน็ต].กรุงเทพฯ.การประกาศส่วนภูมิภาค;2563[เข้าถึงเมื่อ 25 ม.ค. 2566].เข้าถึงได้จาก: https://wr.pwa.co.th/data/_uploaded/file/Law/Department_of_Health_DrinkingWaterQuality2563.pdf
- [8] พรwana รัตนชูโชค.การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยใช้ IoT เพื่อติดตามคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชัน.วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.2562;11(1):78-92.
- [9] Izzeldin I. Mohd, Nurul Hikmah Binti Azizan, Nazar Elfadil.Design and Development of Microcontroller Based Automatic Fish Feeder System. IJESC. 2020 ; 10(4) : 25380-25383.
- [10] Ratnasari, D., Mardhiyyah, R., & Pramudwiatmoko, A. 2020. IoT Prototype Development of Automatic Fish Feeder and

Water Replacement. International Journal of Engineering, Technology and Natural Sciences, 2 (2): 51-55

[11] จิรวัดน์ แท่นทอง, สุกลักษณ์ ตาแก้ว, กนกลักษณ์ ศรพระขรรค์ชัย.การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมเครื่องให้อาหารสัตว์เลี้ยงด้วยการประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง. Journal of Information Science and Technology. 2562; 9(1): 28-40

[12] Emmanuel Gbenga Dada, Nnoli Chukwukelu Theophine, Adebimpe Lateef Adekunle. Arduino UNO Microcontroller Based Automatic Fish Feeder. The Pacific Journal of Science and Technology. 2018; 19(1): 168-174.

[13] ชนาภา เทพเสนา, อาทิตย์ คุณศรีสุข, สมพร ชื่นชูวงศ์. การพัฒนาระบบการให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติสำหรับการเลี้ยงปลานิล. วารสารแก่นเกษตร. 2565; 50(1): 124-137.

[13] สุปติ ศิริขอนแก่นและสาธิต อติโต. ปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินธุรกิจร้านค้าปลาสวยงามในจังหวัดขอนแก่น. วารสารเกษตรพระวรุณ. 2563; 17(1): 137-146

[15] สมพล สุขเจริญพงษ์, กสมล ชนะสุข, ศานติดิฐ สถาพรเจริญและวีรศักดิ์ นาชัยดี. การส่งเสริมและอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามเพื่อการส่งออกในจังหวัดนครปฐม. วารสารมหาวิทยาลัยคริสเตียน. 2558; 21(2): 203-214

การศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าของรอยเชื่อม เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20

Study of Efficiency of Drilling Hole by Using EDM Process of Weld on AISI P20 Tool Steel

สมชาย วนไทยสงค์¹ เอนก สุทธิฤทธิ์² เอกชัย รอดพิสา³ เถลิง พลเจริญ⁴ และ พิชัย จันทรมณี^{5*}

Somchai Wonthaisong¹, Anek Suttirit², Ekkachai Rodpisa³, Thaloeng Poljaroen⁴

and Pichai Janmanee^{5*}

^{1,2,3,5*} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

^{1,2,3,5*} Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Krungthep

⁴ Industrial Management Technology Faculty of Engineering Thonburi University

*Corresponding Author. E-mail: Pichai.j@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการเจาะรูด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (EDM) สำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 ที่ผ่านการเชื่อมซ่อมด้วยการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (GMAW) ด้วยการใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง ภายใต้การปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ ได้แก่ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ จากนั้นประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานในรูปของอัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด (EWR) ความหยาบผิว (Ra) และลักษณะรูเจาะเข้า-ออก ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่ารูเจาะของรอยเชื่อม SMAW ที่ถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองมีอัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด 22.439 มม.²/นาที และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด 98% ที่ใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ สำหรับรอยเชื่อม GMAW ที่ถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองแดงมีความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 4.0198 ไมโครเมตร ที่ใช้กระแสไฟฟ้า 3.5 แอมแปร์ ลักษณะรูเจาะของทั้งสองรอยเชื่อม SMAW และ GMAW จากการใช้อิเล็กโทรดทั้งสองประเภทและทั้งหมดของการปรับค่ากระแสไฟฟ้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเข้ามากกว่า 1 มม. และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูออกน้อยกว่า 1 มม.

คำสำคัญ : เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20, อัตราการขจัดเนื้องาน, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด, ความหยาบผิว

ABSTRACT

This research aims to study the optimal factors for drilling hole in the process of electrical discharge machining (EDM). The specimens were tool steel grade AISI P20 which was repaired by welding of shield metal arc welding (SMAW) and gas metal arc welding (GMAW). Tool electrode in the experimental testing was the brass and copper. The discharge current was

Received 02-06-2023

Revised 22-06-2023

Accepted 28-06-2023

adjusted 3 levels consisted of 2.5, 3 and 3.5 Ampere in order to evaluated material removal rate (MRR), electrode wear ratio (EWR), roughness of machined surface (Ra) and appearance of entrance and exit of drilled hole, respectively. The experimental results were found that the electrical discharge machining for drilling hole with brass electrode on the welded specimen of shield metal arc welding (SMAW) had the highest materials removal rate of 22.439 mm²/min and electrode wear ratio of 98% at the discharge current of 3 Ampere. The lowest roughness of machined surface on the specimen of gas metal arc welding (GMAW) by approximately 4.0198 micrometer occurred at the discharge current of 3.5 Ampere with the copper electrode. The characteristic of drilled hole for both welded specimens were found that the dimensional of entrance hole was larger than 1 mm and exist hole was smaller than 1 mm for any level of discharge current.

Keyword: AISI P20 tool steel, Material removal rate, Electrode wear ratio, Surface roughness

1. บทนำ

การใช้เทคโนโลยีที่หลากหลายถูกนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดต้นทุน ลดเวลา เพิ่มผลผลิต และตอบสนองความต้องการของภาคการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เช่น ยานยนต์ วัสดุอุตสาหกรรมและเครื่องจักร บรรจุภัณฑ์ และอื่นๆ ซึ่งมีความยากในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนประกอบสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการแปรรูปแม่พิมพ์สำหรับโลหะและพลาสติกที่รูปร่างซับซ้อนและไม่สามารถใช้วิธีการตัดเฉือนด้วยวิธีทั่วไปได้ เนื่องจากชิ้นส่วนดังกล่าวเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและต้องใช้กระบวนการที่ค่อนข้างแม่นยำสูง จึงนิยมผลิตด้วยขั้นตอนการใช้เครื่องเจาะรูด้วยไฟฟ้า (Drill EDM) ซึ่งเป็นการแปรรูปโลหะด้วยกระบวนการกัดเซาะเนื่องจากเนื้อวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงด้วยไฟฟ้า [1] โดยใช้หลักการทางความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าส่งผ่านวัสดุตัวนำที่เรียกว่า “Electrode” จึงทำให้เกิดการหลอมละลายของเนื้อโลหะออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กภายใต้ของเหลวกึ่งตัวนำที่เรียกว่าสาร “Dielectric” ซึ่งจะเกิดการกัดเนื้องานหรือการหลอมละลายของเนื้อโลหะในบริเวณที่เล็กมากระหว่างอิเล็กโทรด (Electrode) และเนื้อโลหะ โดยสามารถควบคุมผิวชิ้นงานที่ขจัดออกมีลักษณะรูปร่างเหมือนอิเล็กโทรดที่ได้ในการแปรรูป

[2-3] ฉะนั้น การแปรรูปวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel) โดยการเจาะด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (Drill EDM) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการแปรรูปชิ้นงานประเภทวัสดุแม่พิมพ์ที่มีคุณสมบัติความแข็งแรงค่อนข้างสูงที่ยากต่อการตัดเฉือน [4] เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเกี่ยวกับแม่พิมพ์ สำหรับการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแม่พิมพ์งานร้อนและเย็น [5-6] ฉะนั้น โอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการผลิตสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา หรือการเสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นเวลานานของชิ้นส่วนประกอบแม่พิมพ์ดังกล่าว เช่น การเกิดรอยแตกร้าว การสึกหรอ และอื่นๆ จึงนำไปสู่กระบวนการซ่อมบำรุงและซ่อมแซมส่วนที่เกิดความเสียหายด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์ก เนื่องจากต้นทุนค่อนข้างต่ำและใช้กันอย่างแพร่หลายในการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ [7-8] ที่เกิดความเสียหายจากสาเหตุต่างๆ

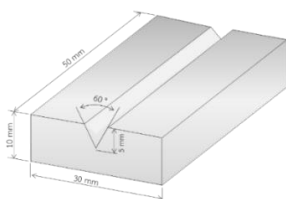
ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจาะรูวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด AISI P20 ซึ่งผ่านกระบวนการเชื่อมซ่อมด้วยการเชื่อมไฟฟ้า และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส

โดยใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง โดย ประเมินและวิเคราะห์ผลการทดลองจาก อัตราการ ขจัดเนื้องาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ค่า ความหยาบผิวเฉลี่ย และขนาดรูเจาะเข้า-ออก ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์

วัสดุทดสอบเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 ผ่านกระบวนการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 925-900°C ใช้เวลาประมาณ 4-8 ชั่วโมง, ค่าความแข็ง 318HV, ความหนาแน่น = 6.52g/cm³, ความจุความร้อนจำเพาะที่ 100°C = 0.54J/g°C และส่วนผสมทางเคมี C = 0.35-0.45%, Si = 0.20-0.40%, Mn = 1.30-1.60%, Cr = 1.80-2.10%, Mo = 0.15-0.25% [6] ชิ้นงานทดสอบมีขนาดความกว้าง ความยาว .มม 30 ถูกเตรียมเป็นชิ้นงาน .มม 10 และความหนา .มม 50 รอยเชื่อมในลักษณะร่องตัววี(V-shaped groove) ด้วยมุมบากรวมร่อง .มม 5 องศา ความลึก 60 บริเวณกลางชิ้นงานทดสอบดังภาพที่ 1 (ก) และ (ข) ชิ้นงานทดสอบถูกดำเนินการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (Shield metal arc welding, SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (Gas metal arc welding, GMAW) ตามเงื่อนไขการเชื่อมดังตารางที่ และแสดงลักษณะรอยเชื่อมดัง 1ภาพที่ 2



(ก) ขนาดวัสดุ



(ข) ร่องรอยบาก

ภาพที่1 ขนาดและลักษณะของชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊ส (GMAW)

เงื่อนไข	รายละเอียด	
กระบวนการเชื่อม	SMAW	GMAW
ลวดเชื่อม	AWS A5.1 E6013	DIN 8555 MSG6-4Z-60
ขนาดลวดเชื่อม	2.6 mm	1.2 mm
แรงดันไฟฟ้า	35 V	6 V
กระแสไฟ	90 A	100 A
แก๊สปกคลุม		Ar75%+CO ₂ 25%



ภาพที่ 2 ลักษณะรอยเชื่อมสำหรับทดสอบ

วัสดุอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง คือ ทองเหลือง (Brass) และทองแดง ((Cu) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม5 ความยาว .0 มมและ .เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (Electrical discharge machine, EDM) เป็นเครื่องจักรแบบควบคุมด้วยตัวเลข (Computer numerical control) แบบ Small hole electrical discharge machine (SHEDM) ยี่ห้อ JOEMARS รุ่น JM325D แสดงดังภาพที่3

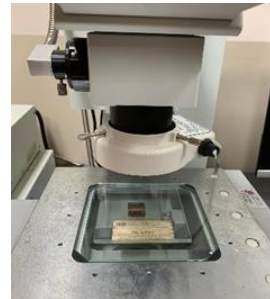


ภาพที่3 เครื่องเจาะรูขนาดเล็กโดยการกัดเซาะเนื้อโลหะด้วยไฟฟ้า (SHEDM) และอิเล็กโทรด

2.2 การออกแบบการทดลอง

การเจาะรูของชิ้นงานทดสอบที่ถูกเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม SMAW และ GMAW ที่ความ

หนารอยเชื่อม 5 มม. สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลือง (Brass electrode) และอิเล็กโทรดทองแดง (Cu electrode) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. โดยถูกกำหนดปัจจัยคงที่ ได้แก่ เวลาเปิด (On-time) 12 ไมโครวินาที (μ s), เวลาปิด (Off-time) 5 ไมโครวินาที (μ s), ระยะห่าง (Gap) 2 มม., เวลางาน (Working time) 18~19 นาที (s), การสึกหรออิเล็กโทรด (Electrode wear) 55~58% และความลึกเจาะ (Depth) 10 มม. เพื่อให้เหมาะสมกับการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4 กล้องจุลทรรศน์ (Olympus STM6)

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานและคุณภาพผิวงานรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW จากการใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

2.3 ประเมินผลประสิทธิภาพการทำงาน

1) อัตราการจัดنيعงาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละเงื่อนไข โดยถูกกำหนดด้วยผลการประเมิน [9-10] ดังนี้

อัตราการจัดنيعงาน ในการแปรรูปชิ้นงานคำนวณจากสมการที่ (1)

$$MRR = \frac{\text{ปริมาตรเนื้องานที่ถูกขจัดออกไป}}{\text{เวลาที่ใช้}} \quad \dots (1)$$

อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด สามารถคำนวณจากสมการที่ (2)

$$EWR = \frac{\text{ระดับความลึกของชิ้นงานที่แท้จริง}}{\text{ระยะที่อิเล็กโทรดสึกหรอออกไป}} \times 100 \quad \dots (2)$$

2) คุณภาพความหยาบผิวเฉลี่ย และขนาดรูเจาะ การประเมินคุณภาพผิวของรูเจาะถูกวัดค่าความหยาบผิวบริเวณผนังรูเจาะจากภาคตัดขวาง (Cross section) ของรูเจาะด้วยกล้องจุลทรรศน์ Laser confocal microscope แบบ 3 มิติในระดับนาโนเมตร และถูกวัดขนาดรูเจาะด้านบน (รูเข้า) และด้านล่าง (รูออก) จากการเจาะด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Olympus STM6 ดังภาพที่ 4

3. อภิปรายผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า (EDM) สำหรับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI P20 ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) และ (GMAW) โดยถูกสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ และประเมินผลประสิทธิภาพการทำงาน อัตราการจัดنيعงาน อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ค่าความหยาบผิว และลักษณะของรูเจาะเข้า-ออกสามารถอภิปรายผลการทดลองได้ ดังนี้

3.1 ประสิทธิภาพการทำงานอัตราการจัดنيعงาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

ตารางที่ 2 แสดงอัตราการจัดنيعงาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด สำหรับรอยเชื่อม SMAW จากการสปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง พบว่าอิเล็กโทรดทองเหลืองมีอัตราการจัดنيعงานสูงกว่าอิเล็กโทรดทองแดง แต่มีอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงทุกระดับการปรับค่ากระแสไฟฟ้า สำหรับรอยเชื่อม GMAW ที่ใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงสปาร์คด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ พบว่า

อัตราการกำจัดเนื้องานของอิเล็กโทรดทองเหลืองมีค่าสูงกว่าอิเล็กโทรดทองแดง ในทางตรงกันข้ามสำหรับอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองแดงมีค่าสูงกว่าอิเล็กโทรดทองเหลืองทุกสภาวะการปรับค่ากระแสไฟฟ้า แสดงผลอัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดดังตารางที่ 3

การเปรียบเทียบอัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม SMAW แสดงดังกราฟภาพที่ 5 พบว่าการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ มีอัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงสุดเท่ากับ $22.439 \text{ mm}^2/\text{min}$ และ 98% และมีอัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลงเมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 2.5 และ 3.5 แอมแปร์ สำหรับอิเล็กโทรดทองแดงที่ใช้สปรัดคักรอยเชื่อม SMAW แสดงดังกราฟภาพที่ 6 พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ ให้อัตราการกำจัดเนื้องานสูงสุดเท่ากับ 9.069 และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำสุดเท่ากับ

ตารางที่ 2 อัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสำหรับรอยเชื่อม SMAW

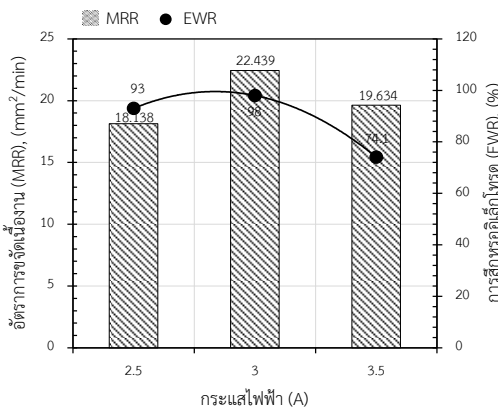
อิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (A)	MRR (mm^2/min)	EWR (%)
ทองเหลือง (Brass)	2.5	18.138	93
	3	22.439	98
	3.5	19.634	74.1
ทองแดง (Cu)	2.5	7.853	162.8
	3	9.069	158.5
	3.5	7.853	161.4

158.5% ซึ่งแตกต่างจากการปรับค่ากระแสไฟฟ้าเป็น 2.5 และ 3.5 แอมแปร์ ส่งผลต่ออัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งมีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamonpong and Pichai [11] จากการปรับปรุงประสิทธิภาพการตัดเฉือนสำหรับการเจาะรูลึกในกระบวนการตัดเฉือนไฟฟ้าโดยใช้ขั้นตอนอิเล็กโทรดทรงกระบอก

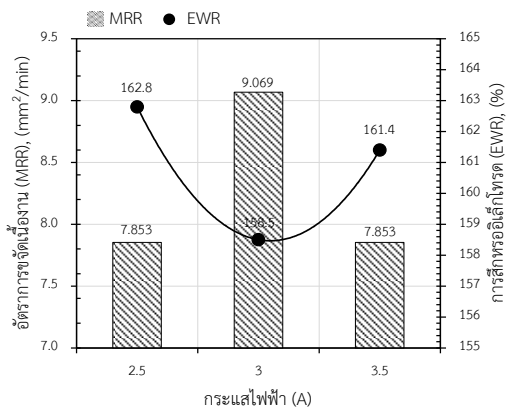
ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบการปรับค่ากระแสไฟฟ้าและอัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม GMAW พบว่าการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ มีอัตราการกำจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงสุดเท่ากับ $22.439 \text{ mm}^2/\text{min}$ และ 100.4% เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 2.5 และ 3.5 แอมแปร์ พบว่าประสิทธิภาพการทำงานอัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด ลดลงอย่างชัดเจนซึ่งมีความแตกต่าง

ตารางที่ 3 อัตราการกำจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสำหรับรอยเชื่อม GMAW

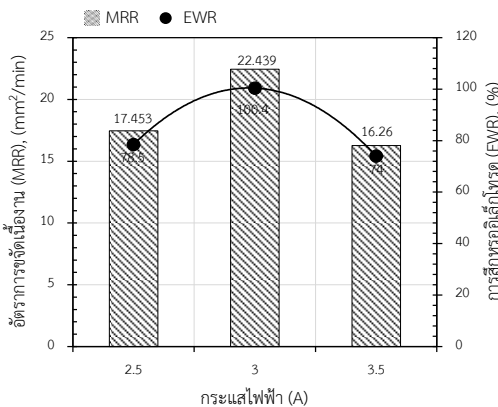
อิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (A)	MRR (mm^2/min)	EWR (%)
ทองเหลือง (Brass)	2.5	17.453	78.5
	3	22.439	100.4
	3.5	16.26	74
ทองแดง (Cu)	2.5	10.471	169.9
	3	9.069	156.4
	3.5	7.479	147.7



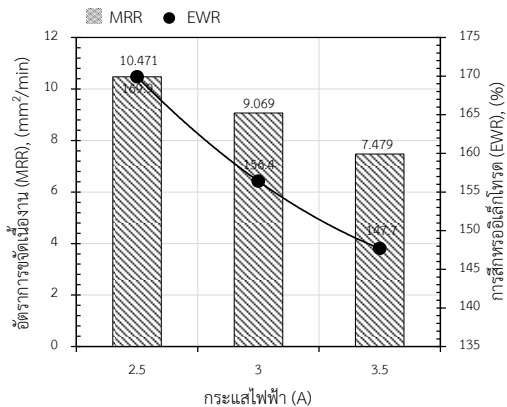
ภาพที่ 5 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม SMAW



ภาพที่ 6 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองแดงสำหรับรอยเชื่อม SMAW



ภาพที่ 7 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อม GMAW



ภาพที่ 8 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดทองแดงสำหรับรอยเชื่อม GMAW

จากรอยเชื่อม GMAW ที่มีแนวโน้มของค่าประสิทธิภาพการทำงานที่ถูกประเมินทั้งสองลดลงและมีค่าอัตราการขจัดเนื้องาน และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดสูงสุดเท่ากับ 10.471 mm³/min และ 169.9% เมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มจาก 2.5 – 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ แสดงดังกราฟภาพที่ 8

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการเจาะรูของรอยเชื่อมและการใช้อิเล็กโทรดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน พบว่าอัตราการขจัดเนื้องานสามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองสำหรับรอยเชื่อมทั้งสองประเภท และเกิดอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด

ค่อนข้างสูงเมื่อใช้อิเล็กโทรดทองแดง เนื่องจากอิทธิพลของคุณสมบัติด้านค่าการนำไฟฟ้า ความแข็ง และส่วนผสมทางเคมีของวัสดุอิเล็กโทรดมีความแตกต่างกัน [12] จึงส่งผลต่อความสามารถในการสปาร์คที่เห็นผลได้อย่างชัดเจนดังข้างต้น

3.2 ความหยาบผิวเฉลี่ยและขนาดของรูเจาะ

ความหยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะสำหรับรอยเชื่อม SMAW และ GMAW ที่ถูกดำเนินการภายใต้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง และกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันแสดงผลดังตารางที่ 4 พบว่าความหยาบ

ผิวเฉลี่ยของรอยเชื่อม SMAW ที่ถูกสปาร์คด้วย
อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 2.5
– 3.5 แอมแปร์ มีค่าประมาณ 4.1538 – 6.6412

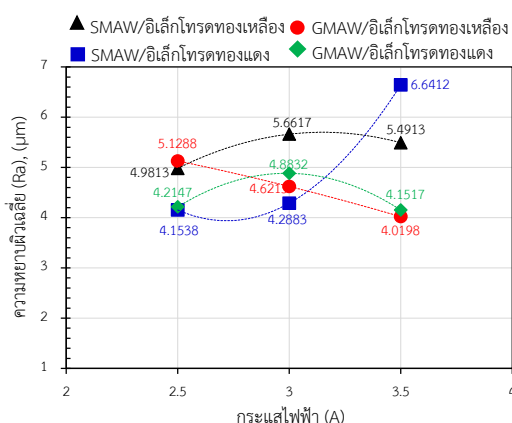
μm สำหรับรอยเชื่อม GMAW ใช้อิเล็กโทรด
ทองเหลืองและทองแดง ให้ความหยาบผิวเฉลี่ยในช่วง
4.0198 - 5.1288 μm

ตารางที่ 4 ความหยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะรอยเชื่อมด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง

กระแสไฟฟ้า (A)	ความหยาบผิวเฉลี่ย, (μm)			
	รอยเชื่อม SMAW/ อิเล็กโทรดทองเหลือง	รอยเชื่อม SMAW/ อิเล็กโทรดทองแดง	รอยเชื่อม GMAW / อิเล็กโทรดทองเหลือง	รอยเชื่อม GMAW / อิเล็กโทรดทองแดง
2.5	4.9813	4.1538	5.1288	4.2147
3	5.6617	4.2883	4.6215	4.8832
3.5	5.4913	6.6412	4.0198	4.1517

ตารางที่ 5 ขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อมด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง

กระแสไฟฟ้า (A)	ขนาดรูเจาะ (mm)							
	รอยเชื่อม SMAW				รอยเชื่อม GMAW			
	อิเล็กโทรดทองเหลือง		อิเล็กโทรดทองแดง		อิเล็กโทรดทองเหลือง		อิเล็กโทรดทองแดง	
	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก	รูเข้า	รูออก
2.5	1.1006	0.6794	1.3016	0.5706	1.1183	0.7377	1.2716	0.5327
3	1.1946	0.7639	1.2366	0.6255	1.2084	0.8740	1.2822	0.5485
3.5	1.196	0.6622	1.2907	0.6413	1.2069	1.014	1.2781	0.6044



ภาพที่ 9 ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผนังรูเจาะด้วย
อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดง

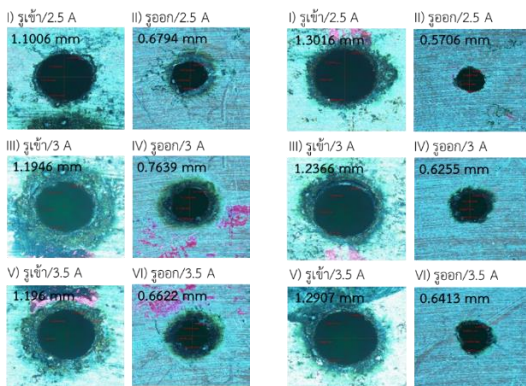
ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการ
ปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองและความ

หยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะรอยเชื่อม SMAW และ
GMAW ที่ถูกใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงที่
กระแสไฟฟ้าแตกต่างกัน พบว่าความหยาบผิวเฉลี่ย
ของผนังรูเจาะรอยเชื่อม GMAW, อิเล็กโทรด
ทองเหลืองและทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 3.5 แอมแปร์
มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.0198 และ 4.1517 μm และมี
แนวโน้มสูงขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าลดลงตามลำดับ เมื่อ
เปรียบเทียบกับรอยเชื่อม SMAW,อิเล็กโทรดทอง
เหลืองและทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ มี
ความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 4.9813 และ
4.1538 μm และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการปรับค่า
กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

ขนาดของรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม
SMAW และ GMAW ที่ผ่านกระบวนการกัดเซาะด้วย
ไฟฟ้า (EDM) โดยใช้อิเล็กโทรดทองเหลืองและ
ทองแดง ซึ่งถูกกำหนดการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า 3

ระดับ คือ 2.5, 3 และ 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ ถูก
วัดจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ
แสดงผลขนาดรูเจาะเข้าและออกดังตารางที่ 5 พบว่า
ขนาดรูเข้าของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW ที่ถูกส
ปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองมีค่ามากกว่า 1 มม.

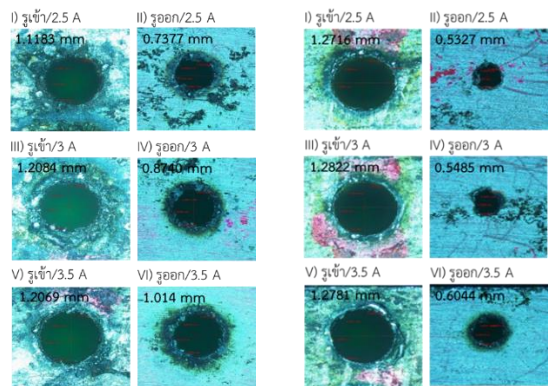
และขนาดรูออกมีค่าน้อยกว่า 1 มม. ซึ่งเป็นขนาดของ
เส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองก่อน
ทำการสปาร์คขึ้นงาน และมีขนาดรูเข้าและออก
ใกล้เคียงกันกับการใช้อิเล็กโทรดทองแดง



(ก) อิเล็กโทรดทองเหลือง (ข) อิเล็กโทรดทองแดง

ภาพที่ 10 ขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม

SMAW



(ก) อิเล็กโทรดทองเหลือง (ข) อิเล็กโทรดทองแดง

ภาพที่ 11 ขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอยเชื่อม

GMAW

ภาพที่ 10 (ก) (I-III-V) แสดงลักษณะรูเจาะของ
รอยเชื่อม SMAW อิเล็กโทรดทองเหลือง และ
กระแสไฟฟ้า 2.5, 3, 3.5 แอมแปร์ ตามลำดับ พบว่า
มีลักษณะรูเข้ามีขนาดใหญ่ขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่
เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับรูออก (ภาพที่
10 (ก) (II-IV-VI) พบว่ามีขนาดเล็กกว่ารูเข้าประมาณ
36-45% สำหรับขนาดรูเจาะเข้าและออกของรอย
เชื่อม GMAW อิเล็กโทรดทองแดง และกระแสไฟฟ้า
2.5 - 3.5 แอมแปร์ ดังภาพที่ 10 (ข) พบว่ามีขนาดรู
เข้าและออกคล้ายกับรอยเชื่อม SMAW อิเล็กโทรด
ทองเหลือง (ภาพที่ 10 (ก)) แต่มีลักษณะรูเข้าใหญ่
กว่าและรูออกเล็กกว่าเล็กน้อย เมื่อถูกเปรียบเทียบ
ระหว่างรอยเชื่อมเดียวกันและอิเล็กโทรดที่แตกต่างกัน

ภาพที่ 11 แสดงลักษณะรูเจาะเข้าและออกของ
รอยเชื่อม GMAW พบว่ามีลักษณะและขนาดรูเข้า-
ออก คล้ายกับรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW (ภาพที่
10) โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูออกมีขนาดเล็กกว่ารูเข้า

ค่อนข้างมาก เนื่องจากเกิดการสีกหรือค่อนข้างมาก
บริเวณปลายอิเล็กโทรดจึงทำให้อิเล็กโทรดเกิดการ
เปลี่ยนรูปร่างที่มีลักษณะเป็นความเรียวจึงส่งผล
กระทบต่อลักษณะของรูเจาะออกมีขนาดเล็กลงตาม
กระแสไฟฟ้าที่ลดลงเช่นกัน ซึ่งมีความแตกต่างจาก
รูเจาะเข้าที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มม. หรือมีค่าระหว่าง
1.1183 - 1.2822 มม. เนื่องจากเป็นบริเวณเริ่มต้น
การสปาร์คที่อาจเกิดการกัดเซาะค่อนข้างรุนแรงจาก
ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกัดเซาะด้วยไฟฟ้า
และเกิดอัตราการสีกหรือของอิเล็กโทรดค่อนข้างน้อย
หรือการสปาร์คระหว่างผิวข้างของอิเล็กโทรดกับผนัง
ขึ้นงานกับช่วงเวลาเริ่มต้นถึงสิ้นสุดการสปาร์ค จึง
ทำให้บริเวณรูเข้ามีขนาดใหญ่กว่ารูออกของทั้งสอง
ชนิดอิเล็กโทรดที่ถูกใช้กับรอยเชื่อม SMAW และ
GMAW อย่างเห็นได้ชัดเจน [13-14]

4. สรุปผลการวิจัย

1) อัตราการขจัดเนื้องานสูงสุด และอัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรด สำหรับรอยเชื่อม SMAW มีค่าเท่ากับ $22.439 \text{ mm}^2/\text{min}$ และ 98% สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ สำหรับรอยเชื่อม GMAW มีค่าเท่ากับ $22.439 \text{ mm}^2/\text{min}$ และ 100.4% สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

2) ความหยาบผิวเฉลี่ยของผนังรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองแดงที่กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ $4.1538 \mu\text{m}$ และรอยเชื่อม GMAW สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ $4.0198 \mu\text{m}$

3) ขนาดรูเจาะของรอยเชื่อม SMAW และ GMAW สปาร์คด้วยอิเล็กโทรดทองเหลืองและทองแดงภายใต้การปรับค่ากระแสไฟฟ้า 2.5 - 3 แอมแปร์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเข้ามากกว่า 1 มม. และมีรูออกน้อยกว่า 1 มม. สำหรับทุกเงื่อนไขการทดลองที่ถูกกำหนด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Boonloed TH, Sawai D. High temperature tensile properties of hot-pressed inconel 718. Department of metallurgical engineering. Faculty of engineer. Chulalongkorn university. 1999.
- [2] Yusuf K, H. Selçuk H, Mevlüt K. An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surfaces roughness in electrical discharge machining (EDM). Springer-

Verlag London Limited (Electronic). 2006(28):1118-21.

- [3] Thomas B. Technology of electrical discharge machining. Druckerei Helene 6102. 1991:11-53.
- [4] Bissacco G, Valentincic J, Hansen H.N., et al. Towards the effective tool wear control micro-EDM milling. Int J Adv Manuf Technol. 2010; 47:3-9.
- [5] Ngangkham D, Shrikrishna N.J. Electric discharge alloying of titanium and aluminium on AISI P20 mold steel. Surface & Coatings Technology. 2020;405:(125157):126515
- [6] Viswanathan G, Praveen R, Prabhu L, et al. Evaluating the machining parameters for milling P20 HH mould steel using a specific end mill. Materials Today: Proceedings 46(17). 2021;8248-8253.
- [7] Li-Ho Ch, Chang-Hui W, Heng Ch. Wear behavior of nitrocarburized JIS SKD61 tool steel. Wear 253. 2002:778-86.
- [8] Sir-Alexci S, Albert M.S, Wilson T.P. et al. Arc Welding Procedures on Steels for Molds and Dies. Procedia engineering 100. 2015:584-91.
- [9] กมลพงศ์ แจ่มกมล, พิชัย จันทรมณี. การศึกษาพารามิเตอร์ในการกัดเจาะวัสดุด้วยไฟฟ้าสำหรับเหล็กกล้าแม่พิมพ์ AISI P20. KKU Engineering journal. 2013;40(1):95-103.
- [10] พิชัย จันทรมณี, อภิวัฒน์ มุตตาระ. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการโอดีเอ็มทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยทากูชิเทคนิค. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8. วันที่ 22-23 เมษายน 2553.
- [11] Kamonpong J, Pichai J. Improving machining performance for deep hole

- drilling in the electrical discharge machining process using a step cylindrical electrode. Appl. Sci. 2021;11(5):2084.
- [12] Hardeep S, Jujhar S, Shubham SH, et al. Parametric optimization of MRR & TWR of the Al6061/SiC MMCs processed during die-sinking EDM using different electrodes. Materials Today: Proceedings 48(5). 2021;1001-1008.
- [13] Tahsin T.O. Manufacturing of micro holes by using micro electric discharge machining. A Thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of atilim university. In partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in the department of mechatronics engineering. 2008.
- [14] Ngangkham D, Shrikrishna N.J. Surface alloying of Ti-6Al-4V on P20 mold steel using electric discharge processing (EDP). Materials Today: Proceedings 5(2) . 2018;8523–8531.

การควบคุมคลังเวชภัณฑ์โดยกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ที่เหมาะสม
ตามงบประมาณประจำปีด้วยสเปรดชีต กรณีศึกษา โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
Inventory control of Medical Supplies by Determine Appropriate Quantity of
Medical Supplies Reimbursement Following the Annual Budget Using
Spreadsheet: A Case Study of Tambon Health Promoting Hospital

ประภาพรณ เกษราพงศ์¹, จักรินทร์ กลั่นเงิน^{1*}, คัมภีร์ราญา ลือศักดิ์², ธนพร ฉายสุวรรณ²
Prapapan Ketsarapong¹, Jakkarin Klunngien^{1*}, Kumpreraya Luesak²,
Thanaporn Chaysuwan²

¹หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการการผลิตและอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม,
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

¹Industrial and Production Management Research Unit, Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Thailand

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Thailand

*Corresponding author, E-mail: jakkarin.k@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมตามงบประมาณประจำปีสำหรับการจัดการคลังเวชภัณฑ์ กรณีศึกษา โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลด้วยสเปรดชีต โดยการประยุกต์ใช้การพยากรณ์ 2 วิธี คือ วิธีการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลครั้งเดียว และวิธีแยกส่วนประกอบ เพื่อกำหนดเป็นตัวอย่างพยากรณ์สำหรับการคาดการณ์ความต้องการเวชภัณฑ์ที่เหมาะสม จากข้อมูลอนุกรมเวลาที่เกิดขึ้นตั้งแต่เดือนตุลาคม 2562 ถึงเดือน มิถุนายน 2565 จากนั้น กำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์แต่ละรายการด้วยแนวคิดระบบสั่งซื้อแบบรอบเวลาการสั่งคงที่ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ แนวคิดที่นำเสนอสามารถลดระดับคงคลังเวชภัณฑ์ลงได้ร้อยละ 24.69 เมื่อเทียบกับระดับคงคลังที่แท้จริง ซึ่งสามารถลดจำนวนเวชภัณฑ์ที่มีระดับคงคลังมากเกินไป ความต้องการลงได้ร้อยละ 31.58 และสามารถเพิ่มจำนวนเวชภัณฑ์ที่มีระดับคงคลังเพียงพอต่อความต้องการร้อยละ 76.47 ทั้งนี้ หากพิจารณาถึงมูลค่าคงคลังรวม แนวคิดที่นำเสนอสามารถลดมูลค่าคงคลังรวมเมื่อเปรียบเทียบกับคงคลังรวมที่แท้จริงลดลง 399,980.76 บาท หรือลดลงร้อยละ 50.49 นอกจากนี้ แนวคิดที่นำเสนอยังถูกพัฒนาให้เป็นกรอบแนวคิดเพื่อช่วยตัดสินใจด้วยด้วยสเปรดชีตเพื่อความเป็นมิตรกับผู้ใช้ในทางปฏิบัติอีกด้วย

คำสำคัญ: การพยากรณ์ ระบบสั่งซื้อแบบรอบเวลาการสั่งคงที่ สเปรดชีต

Abstract

The objective of this research was to determine the quantity of medical supplies reimbursement appropriate to the annual budget for medical supplies management, a case study of Tambon health promoting hospital using spreadsheet. Two forecasting methods, which are a single exponential smoothing and a decomposition, were applied to formulate a

Received 06-06-2023

Revised 27-06-2023

Accepted 30-06-2023

forecasting model for optimum medical supplies demand forecasting based on the time series data collected for each month from October 2019 to June 2022. Then determine each medical supplies requisition quantity with the fixed order period system concept. The result is that the proposed concept can reduce the medical inventory level by 24.69% compared to the actual inventory level. It can reduce the number of medical supplies that are over-demanded by 31.58% and can increase the number of medical supplies that are sufficiently inventoried to demand by 76.47%. However, considering the total inventory value, the proposed concept can reduce the total inventory value compared to the actual total inventory by 399,980.76 baht or a decrease of 50.49 percent. In addition, the concept proposed has been developed as conceptual framework to help decision-making with a spreadsheet to be user-friendly in practice as well.

Keywords: Forecasting, Fixed Order Period System, Spreadsheet

1. บทนำ

โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) เป็นหน่วยงานซึ่งให้บริการทางสาธารณสุขที่อยู่ภายใต้กระทรวงสาธารณสุข สังกัดสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด และสำนักงานสาธารณสุขอำเภอภารกิจหลักของ รพ.สต. คือ การปฐมพยาบาลเบื้องต้น (Primary Care) และการฟื้นฟูสมรรถภาพ เช่น การตรวจรักษาพยาบาลขั้นต้น การฝากครรภ์ การให้บริการสร้างเสริมภูมิคุ้มกันโรค การดูแลโภชนาการ งานอนามัยโรงเรียน การคุ้มครองผู้บริโภค การคัดกรองภาวะผิดปกติ การดูแลผู้พิการ ผู้สูงอายุ การฟื้นฟูสมรรถภาพ ฯลฯ [1, 2] ทั้งนี้ การบริการทางด้านการรักษาพยาบาลจำเป็นต้องใช้เวชภัณฑ์ (Medical Supplies) หมายถึง ยา วัสดุ และอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อใช้ในการบำบัดผู้ป่วย หากการเบิกจ่ายเวชภัณฑ์ไม่สัมพันธ์กับความต้องการย่อมส่งผลกระทบต่อบริการทางสาธารณสุขอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้น การบริหารจัดการคลังเวชภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการบริการทางด้านการรักษาพยาบาล

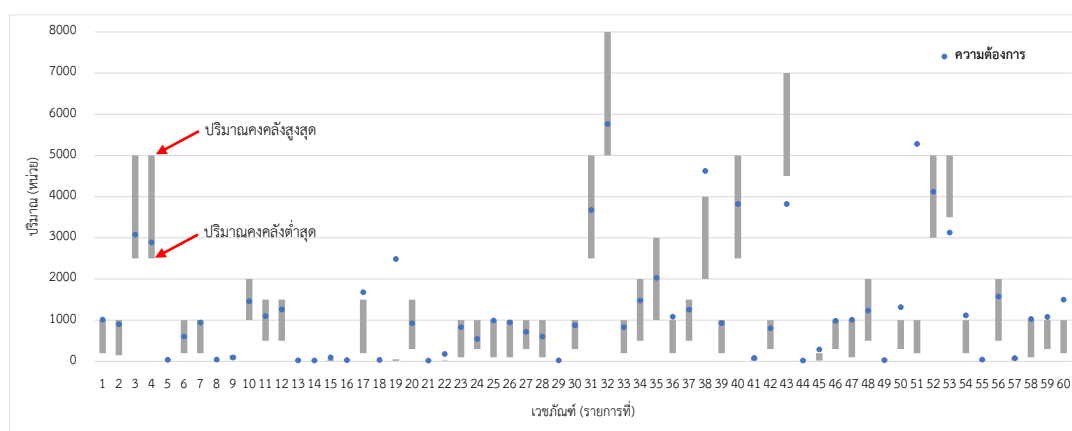
สินค้าคงคลัง ถือว่าเป็นส่วนสำคัญของการลงทุนด้านทรัพยากร และมีความสำคัญมากในแง่ของปริมาณ นอกจากนี้ยังมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกิจกรรมขององค์กรอีกด้วย [3] การจัดการสินค้าคง

คลังจะต้องติดตามปริมาณการจัดเก็บสินค้าและปริมาณการสั่งสินค้าที่เหมาะสมกับปริมาณความต้องการสินค้าเพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ที่สินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการหรือมีปริมาณสินค้าในคลังมากเกินไปความต้องการ [4-6] ทั้งนี้ การจัดการคลังเวชภัณฑ์ คือ ส่วนของการควบคุมเวชภัณฑ์ในมุมมองของการเก็บรักษา การเบิก และการจ่ายเวชภัณฑ์ ซึ่งเวชภัณฑ์ในคลังจะไม่มีประโยชน์ในตัวเองได้นอกจากถูกนำไปใช้บริการทางการแพทย์พยาบาล ดังนั้น เพื่อให้การเบิกและการจ่ายเวชภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการ การประมาณความต้องการในเวชภัณฑ์ที่แม่นยำย่อมมีความสำคัญอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้ เทคนิคการพยากรณ์สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series) ถูกนำมาใช้คาดการณ์ความต้องการเวชภัณฑ์ในอนาคต [3,4] ค่าคาดการณ์ปริมาณความต้องการในอนาคตถูกนำไปกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมในรอบเวลาถัดไปเป็นค่าพยากรณ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Minitab

รพ.สต. กรมศึกษา มีนโยบายสำหรับควบคุมคลังเวชภัณฑ์ โดยมีการกำหนดปริมาณเวชภัณฑ์ยาขั้นต่ำสำหรับการสำรองระหว่างรอการเบิก และปริมาณเวชภัณฑ์สูงสุดเพื่อไม่ให้ระดับคลังสูงเกินไปอย่างไรก็ดี จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของ รพ.สต.

กรณีศึกษา พบว่า คลังเวชภัณฑ์มีเวชภัณฑ์ยาทั้งหมด 60 รายการ โดยมีเวชภัณฑ์ยาจำนวน 19 รายการ ที่มีปริมาณคงคลังมากเกินความต้องการ และมีเวชภัณฑ์ยาจำนวน 2 รายการ ที่มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ (ต่ำกว่าระดับเวชภัณฑ์ขั้นต่ำ) และมีเวชภัณฑ์ยาจำนวน 39 รายการ ที่มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ (ดังภาพที่ 1) จากการศึกษาปัญหาเบื้องต้น พบว่าการบริหารจัดการยา尚无นโยบายในการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อยาสำหรับใช้ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เช่น ระบบการ

ตรวจสอบคงคลังยา ยังต้องอาศัยการตรวจสอบด้วยบุคคล การเบิกจ่ายยายังไม่มีการคำนวณหาปริมาณ และช่วงเวลาการเบิกจ่ายที่เหมาะสม ทั้งนี้ การเบิกเวชภัณฑ์ยาของ รพ.สต. กรณีศึกษา มีการเบิกเวชภัณฑ์ในทุกเดือน แต่เนื่องจากรูปแบบการบริหารของ รพ.สต. ซึ่งเป็นหน่วยงานภาครัฐ การเสนอเพื่อจัดสรรเวชภัณฑ์ยาแต่ละชนิดจะถูกกำหนด ณ ต้นปีงบประมาณ ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการประมาณความต้องการเวชภัณฑ์ยา



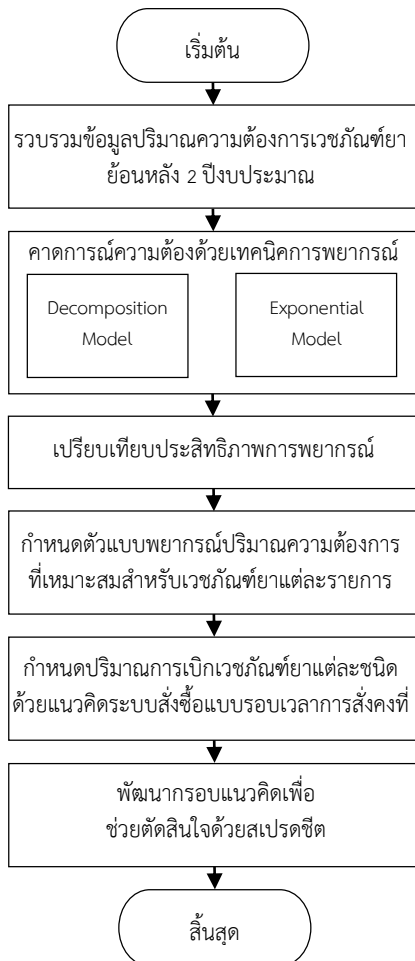
ภาพที่ 1 ปริมาณเวชภัณฑ์ยาในคลังเปรียบเทียบกับระดับคงคลังตามนโยบาย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมคลังเวชภัณฑ์ตามงบประมาณประจำปีด้วยสเปรดชีต โดยการกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ยาที่เหมาะสมด้วยระบบสั่งซื้อแบบรอบเวลาการสั่งซื้อคงที่ (Fixed Order Period System) ซึ่งคาดการณ์ความต้องการเวชภัณฑ์ยาแต่ละชนิดด้วยการพยากรณ์เชิงปริมาณโดยข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series) จากนั้นพัฒนากรอบแนวคิดเพื่อช่วยให้การตัดสินใจของผู้ตัดสินใจง่ายขึ้นด้วยสเปรดชีต

2. การดำเนินงานวิจัย

การออกแบบการควบคุมคลังเวชภัณฑ์ตามงบประมาณประจำปีด้วยสเปรดชีต เริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลรายเดือนของปริมาณความต้องการ

เวชภัณฑ์แต่ละรายการตั้งแต่เดือนตุลาคม 2562 ถึงเดือนมิถุนายน 2565 แล้วสร้างตัวแบบพยากรณ์เพื่อคาดการณ์ปริมาณความต้องการในเวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการด้วยการพยากรณ์เชิงปริมาณด้วยข้อมูลอนุกรมเวลา จากนั้น กำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ด้วยแนวคิดระบบสั่งซื้อแบบรอบเวลาการสั่งซื้อคงที่ สุดท้าย พัฒนาโปรแกรมควบคุมคลังเวชภัณฑ์เพื่อช่วยให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจสามารถตัดสินใจภายใต้สารสนเทศที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ขั้นตอนการดำเนินงานแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 การพยากรณ์ปริมาณความต้องการเวชภัณฑ์

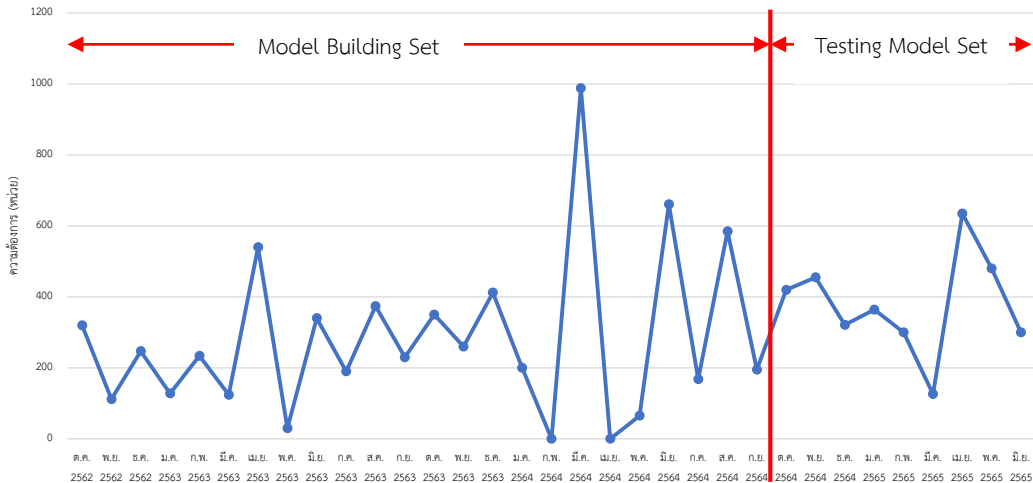
การพยากรณ์ (Forecasting) คือ การใช้ข้อมูลในอดีตเพื่อคาดการณ์เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการพยากรณ์ถือเป็นพื้นฐานในการวางแผนและการตัดสินใจเพื่อกำหนดปริมาณความต้องการที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาหรือเรียกว่าอนุกรมเวลา (Time Series) การพยากรณ์ความต้องการเวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการที่มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดจะถูกกำหนดเป็นตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับสำหรับงานวิจัยนี้ โดยงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบการพยากรณ์ 2 วิธี คือ วิธีการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลครั้งเดียว และวิธีแยก

ส่วนประกอบ ทั้งนี้ ข้อมูลความต้องการเวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) ข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์ (Model Building Set) เป็นข้อมูลความต้องการเวชภัณฑ์ยารายเดือนตั้งแต่ เดือนตุลาคม 2562 ถึง เดือนกันยายน 2564 และ (2) ข้อมูลสำหรับทดสอบตัวแบบ (Testing Model Set) เป็นข้อมูลความต้องการเวชภัณฑ์ยารายเดือนตั้งแต่เดือนตุลาคม 2564 ถึง เดือนมิถุนายน 2565 สำหรับตัวอย่างการแบ่งข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างและทดสอบตัวแบบพยากรณ์ ดังภาพที่ 3 นั่นคือ ข้อมูลความต้องการในเวชภัณฑ์ยารายการที่ 10 โดย ข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์ถูกใช้เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ และข้อมูลสำหรับทดสอบตัวแบบถูกใช้สำหรับทดสอบความแม่นยำของตัวแบบ ด้วยวิธีการพยากรณ์ ต่อไปนี้

2.1.1 วิธีการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลครั้งเดียว (Single Exponential Smoothing Method) เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลพยากรณ์ที่ไม่มีลักษณะของแนวโน้มหรือฤดูกาลที่ชัดเจน ข้อมูลที่เหมาะสมจะมีการเปลี่ยนแปลงช้าตามระยะเวลา ค่าพยากรณ์จะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก โดยค่าน้ำหนักจะลดลงแบบเอ็กโปเนนเชียลเมื่อเวลาผ่านไป สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา [7] วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีการกำหนดค่าคงที่ของการปรับเรียบให้แก่ข้อมูล (Smoothing Constant หรือ α) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สมการที่ 1 แสดงวิธีการหาค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลครั้งเดียว

$$F_t = \alpha D_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-1} \quad (1)$$

โดยที่ F_t คือ ค่าพยากรณ์ที่เวลา t
 α คือ ค่าคงที่ของการปรับเรียบ
 D_{t-1} คือ ค่าความต้องการที่เวลา $t-1$
 t คือ เวลา



ภาพที่ 3 ปริมาณความต้องการรายเดือนสำหรับเวกซ์การที่ 10

2.1.2 วิธีแยกส่วนประกอบ เป็นวิธีการที่สามารถแยกอนุกรมเวลาออกเป็น 4 ส่วน คือ แนวโน้ม (Trend) ความผันแปรตามวัฏจักร (Cycle) ความผันแปรตามฤดูกาล (Seasonal) และความผันแปรที่ไม่แน่นอน (Irregular) ขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา คือ การศึกษาแบบจำลองเพื่อแสดงพฤติกรรมของตัวแปรในช่วงเวลาหนึ่งและระบุปัจจัยสำคัญ จากนั้นประเมินว่าปัจจัยเหล่านั้นมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของตัวแปรในช่วงเวลาหนึ่งอย่างไร [8] การพยากรณ์ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบสามารถจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ วิธีแยกส่วนประกอบเชิงบวก (Additive Decomposition) ดังสมการที่ (2) และวิธีแยกส่วนประกอบเชิงคูณ (Multiplicative Decomposition) ดังสมการที่ (3)

$$F_t = T_t + C_t + S_t + I_t \quad (2)$$

$$F_t = T_t \times C_t \times S_t \times I_t \quad (3)$$

โดยที่ F_t คือ ค่าพยากรณ์ที่เวลา t
 T_t คือ ค่าปัจจัยแนวโน้ม
 C_t คือ ค่าปัจจัยตามวัฏจักร
 S_t คือ ค่าปัจจัยฤดูกาล
 I_t คือ ค่าความผันแปรที่ไม่แน่นอน

2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์

เทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับเวกซ์การที่ยาแต่ละชนิด คือ เทคนิคพยากรณ์ที่ให้ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลา t ได้ใกล้เคียงข้อมูลจริงที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์จากค่าผิดพลาด 3 รูปแบบ คือ ค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Squared Error: MSE) และค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ดังสมการที่ (4)-(6) ตามลำดับ [5, 9]

$$MAD = \left(\sum_{t=1}^n |D_t - F_t| \right) / n \quad (4)$$

$$MSE = \left(\sum_{t=1}^n (D_t - F_t)^2 \right) / n \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{100 \left(\sum_{t=1}^n |D_t - F_t| \right) / D_t}{n} \quad (6)$$

โดยที่ D_t คือ ค่าความต้องการที่เวลา t
 F_t คือ ค่าพยากรณ์ที่เวลา t
 t คือ เวลา

2.3 การกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ยา

การเบิกเวชภัณฑ์ยาของ รพ.สต. กรณีศึกษา มีขั้นตอนการเบิกในทุกเดือน ในการคำนวณปริมาณ การเบิกใหม่ด้วยระดับคงคลังปลอดภัย (Safety Stock) ซึ่งจะตรงตามระดับบริการ โดยความต้องการ เวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการในช่วงเวลานั้นไม่แน่นอนและเป็นอิสระต่อกัน [10] ดังนั้น รูปแบบการ เบิกเวชภัณฑ์ยาของกรณีศึกษาจะเป็นแบบระบบ สั่งซื้อแบบรอบเวลาการสั่งคงที่ นั่นคือ รอบเวลา สำหรับการเบิกเวชภัณฑ์ยาแต่ละครั้งจะเท่ากัน แต่ ปริมาณของการเบิกนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามความ ต้องการเวชภัณฑ์ยา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$Q_t = F_t(T + L) + ss - O \quad (7)$$

โดยที่ Q_t คือ ปริมาณการเบิกในแต่ละรอบ
 T คือ รอบเวลาการเบิก
 L คือ ช่วงเวลานำ
 ss คือ ระดับคงคลังปลอดภัย
 O คือ ระดับของคงคลังในมือ
 ทั้งนี้ ระดับคงคลังปลอดภัยสำหรับงานวิจัยนี้ คือ ระดับคงคลังขั้นต่ำตามนโยบายของ รพ.สต. กรณีศึกษา

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 ตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับ เวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการ

รพ.สต. กรณีศึกษา มีกระบวนการสำหรับการ เบิกเวชภัณฑ์ยาโดยอาศัยข้อมูลย้อนหลังเพื่อ ประเมินความต้องการในเวชภัณฑ์แต่ละรายการด้วย ประสิทธิภาพของผู้รับผิดชอบ โดยมีการกำหนด

ระดับคงคลังต่ำสุดและสูงสุดของเวชภัณฑ์แต่ละ รายการสำหรับการแจ้งเตือน จากข้อมูลเบื้องต้น ดังที่ กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1 นั่นคือ มีเวชภัณฑ์ยาจำนวน 19 รายการ ที่มีปริมาณคงคลังมากเกินความต้องการ และมี 2 รายการ ที่มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความ ต้องการนั้นเป็นผลมาจากการคาดการณ์ความ ต้องการเวชภัณฑ์ยาที่ผิดพลาด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึง ทำการเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ 2 เทคนิค คือ วิธีการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลครั้งเดียว (ค่าคงที่ของการปรับเรียบ คือ 0.1 0.3 และ 0.5) และ วิธีแยกส่วนประกอบ (เชิงบวก และเชิงคูณ) เพื่อ กำหนดเป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมต่อเวชภัณฑ์ ยาแต่ละรายการ ด้วยการวัดประสิทธิภาพการ พยากรณ์จากค่าผิดพลาด 3 รูปแบบ คือ ค่าเฉลี่ย ความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลัง สอง และค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ ตารางที่ 1 แสดงการวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ สำหรับเวชภัณฑ์ยารายการที่ 10

จากตารางที่ 1 วิธีการพยากรณ์ที่มีความ เหมาะสมสำหรับเวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการ คือ วิธีการพยากรณ์ที่มีค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดของแต่ละ วิธีการวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ เช่น เวชภัณฑ์ ยารายการที่ 10 พบว่า วิธีแยกส่วนประกอบแบบคูณ ให้ค่า MAD MSE และ MAPE ที่น้อยที่สุดเมื่อ เปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์แบบอื่น แสดงว่าวิธี แยกส่วนประกอบแบบคูณ คือ ตัวแบบพยากรณ์ที่ เหมาะสมกับการคาดการณ์ความต้องการในเวชภัณฑ์ ยารายการที่ 10 สำหรับเวชภัณฑ์รายการอื่นสามารถ พิจารณาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมได้ด้วยวิธีการ เดียวกันนี้ ซึ่งสามารถสรุปตัวแบบพยากรณ์ที่ เหมาะสมสำหรับเวชภัณฑ์แต่ละรายการ ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์สำหรับเวชภัณฑ์ยารายการที่ 10

เวชภัณฑ์	ค่าผิดพลาด	การปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลครั้งเดียว			วิธีแยกส่วนประกอบ	
		$\alpha=0.1$	$\alpha=0.3$	$\alpha=0.5$	Additive	Multiplicative
10.	MAD	173.9	196.3	220.3	126.6	100.9*

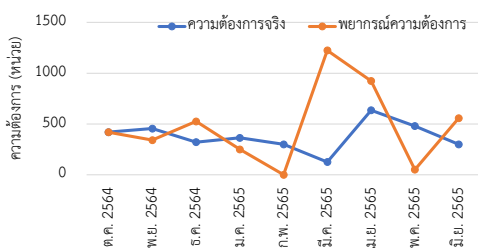
	MSE	56,389.8	67,345.1	83,892.1	48,731.3	38,957.2*
	MAPE	84.4	103	118.7	59.2	39.5*

หมายเหตุ * คือ ค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดของแต่ละวิธีการวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์

ตารางที่ 2 ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับเวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการ

ตัวแบบ		เวชภัณฑ์ยา (รายการที่)
วิธีปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลครั้งเดียว	$\alpha=0.1$	2, 26, 27, 30, 32, 37, 38, 40, 49
	$\alpha=0.3$	-
	$\alpha=0.5$	-
วิธีแยกส่วนประกอบ	Additive	3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 16, 24, 33, 35, 39, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58
	Multiplicative	1, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 29, 31, 34, 36, 42, 44, 46, 59, 60

เมื่อกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับเวชภัณฑ์แต่ละรายการแล้วทำการทดสอบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยการทดสอบการพยากรณ์เทียบกับข้อมูลสำหรับทดสอบตัวแบบ ดังภาพที่ 4 ผลลัพธ์การพยากรณ์ พบว่า วิธีแยกส่วนประกอบแบบคูณ สามารถพยากรณ์ความต้องการล่วงหน้า 9 เดือนด้วยร้อยละความแม่นยำ คือ 73.79



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับความต้องการจริงสำหรับการทดสอบตัวแบบ

3.2 ผลการกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ยา

การกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการ เริ่มต้นจากคาดการณ์ปริมาณความต้องการเป็นรายเดือนล่วงหน้า 1 ปีงบประมาณด้วยตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเวชภัณฑ์ยา (ดัง

ตารางที่ 2) จากนั้น คำนวณปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ยาแต่ละรายการในแต่ละรอบ โดยรอบการเบิกเวชภัณฑ์ยาทุกเดือน และช่วงเวลานำเฉลี่ย 20 วัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

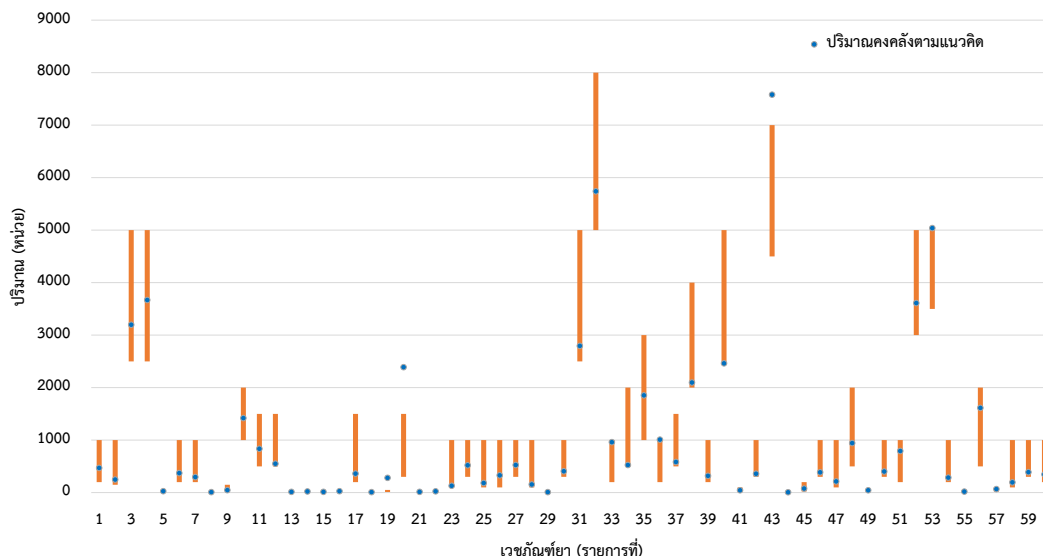
จากตารางที่ 3 พบว่า ระดับคงคลังตามแนวคิดที่นำเสนอ ณ ปลายปีงบประมาณมีจำนวนเวชภัณฑ์โดยเฉลี่ย คือ 8,589 หน่วย ในขณะที่ระดับคงคลังที่แท้จริงโดยเฉลี่ย คือ 11,404 หน่วย ทั้งนี้ แนวคิดที่นำเสนอสามารถลดระดับคงคลังเวชภัณฑ์ลงได้ร้อยละ 24.69 หากเปรียบเทียบกับความต้องการ พบว่า ระดับคงคลังตามแนวคิดที่นำเสนอ นั้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการใช้เวชภัณฑ์ได้ทุกรายการ โดยความต้องการสำหรับเวชภัณฑ์ยาโดยเฉลี่ย คือ 2,628 หน่วย หากพิจารณาอัตราส่วนระดับคงคลังตามแนวคิดที่นำเสนอต่อความต้องการเวชภัณฑ์ คือ 3.27 และสามารถลดจำนวนเวชภัณฑ์ที่มีปริมาณคงคลังมากเกินไปความต้องการจาก 19 รายการเหลือ 6 รายการ และเวชภัณฑ์ยาที่มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการเพิ่มขึ้นจาก 39 รายการ เป็น 51 รายการ อย่างไรก็ตาม ยังพบว่ามีเวชภัณฑ์ยา 3 รายการที่มีปริมาณต่ำกว่าระดับคงคลังปลอดภัย ดังภาพที่ 5

ตารางที่ 3 ปริมาณคงคลังตามแนวคิดเปรียบเทียบกับความต้องการจริง ณ ปลายปีงบประมาณ (หน่วย)

เวชภัณฑ์(รายการที่)	แนวคิดที่นำเสนอ			ความต้องการที่แท้จริง	คลังเวชภัณฑ์ที่แท้จริง	เวชภัณฑ์(รายการที่)	แนวคิดที่นำเสนอ			ความต้องการที่แท้จริง	คลังเวชภัณฑ์ที่แท้จริง
	ความต้องการ	ปริมาณการเบิก	คลังเวชภัณฑ์				ความต้องการ	ปริมาณการเบิก	คลังเวชภัณฑ์		
1.	2,260.9	5,081.2	4,216	1,352	8,445	18.	2.7	44.5	71	2	332
2.	108.3	1,358.8	2,229	40	8,050	19.	9.0	86.7	2,532	66	22,304
3.	9,409.7	35,097.9	28,780	9,403	28,689	20.	12,160.9	21,565.1	21,508	1,460	8,907
4.	14,409.2	44,388.4	33,004	13,511	25,383	21.	12.6	97.8	113	9	182
5.	43.8	216.5	229	37	361	22.	1.0	40.4	219	1	1,611
6.	928.5	3,012.8	3,327	470	7,616	23.	570.7	1,629.2	1,168	920	6,871
7.	175.5	1,806.7	2,662	10	9,725	24.	3,295.0	7,376.6	4,682	3,510	5,175
8.	7.9	50.7	78	9	376	25.	0.0	800.0	1,634	520	9,676
9.	484.1	763.3	419	460	726	26.	1,024.4	2,314.7	2,945	390	7,880
10.	4,292.3	14,543.8	12,763	3,391	12,470	27.	2,176.5	5,544.8	4,724	1,800	6,641
11.	2,651.1	8,019.9	7,509	1,760	9,648	28.	21.5	835.8	1,395	140	5,381
12.	283.8	4,472.9	4,950	1,041	10,307	29.	1.0	45.7	69	1	209
13.	31.1	131.7	118	39	233	30.	784.1	3,595.2	3,657	566	7,236
14.	83.7	219.4	189	57	187	31.	4,274.1	26,463.4	25,137	5,919	32,839
15.	0.0	80.0	128	53	728	32.	17,014.6	67,198.6	51,641	21,717	47,199
16.	97.9	234.0	226	43	262	33.	370.7	2,083.5	8,644	419	6,958
17.	0.0	1,600.0	3,250	30	15,100	34.	470.3	4,675.7	4,718	1,372	14,309

ตารางที่ 3 (ต่อ)

เวชภัณฑ์(รายการที่)	แนวคิดที่นำเสนอ			ความต้องการที่แท้จริง	คลังเวชภัณฑ์ที่แท้จริง	เวชภัณฑ์(รายการที่)	แนวคิดที่นำเสนอ			ความต้องการที่แท้จริง	คลังเวชภัณฑ์ที่แท้จริง
	ความต้องการ	ปริมาณการเบิก	คลังเวชภัณฑ์				ความต้องการ	ปริมาณการเบิก	คลังเวชภัณฑ์		
35.	9,549.9	23,908.6	16,677	8,240	16,082	48.	4,221.1	10,156.8	8,485	3,351	9,755
36.	0.0	8,000.0	9,064	20	9,716	49.	212.4	498.1	389	145	273
37.	982.9	5,472.3	5,234	1,277	10,290	50.	190.9	2,684.5	3,609	507	11,264
38.	598.5	16,834.7	18,875	940	40,310	51.	174.9	1,887.6	7,118	140	47,380
39.	421.7	2,123.5	2,869	350	7,895	52.	6,403.6	33,662.1	32,494	6,592	36,506
40.	7,010.7	31,662.6	22,166	12,019	31,614	53.	20,092.6	61,322.6	45,342	19,646	25,902
41.	197.6	410.4	381	128	747	54.	199.4	1,602.8	2,561	160	9,762
42.	540.0	3,300.0	3,225	1,267	6,707	55.	28.6	125.1	165	9	391
43.	33,532.1	91,768.8	68,221	28,166	32,751	56.	7,839.3	15,893.8	14,504	3,095	11,710
44.	1.0	40.2	42	11	202	57.	231.7	520.2	589	30	681
45.	179.1	446.7	684	110	2,473	58.	28.7	840.6	1,743	188	8,922
46.	869.2	3,651.5	3,482	731	8,666	59.	8.6	2,414.3	3,490	4	9,704
47.	84.7	918.8	1,903	40	9,026	60.	0.0	1,600.0	3,100	0	13,500



ภาพที่ 5 ปริมาณเวชภัณฑ์ยาในคลังจากแนวคิดที่นำเสนอเปรียบเทียบกับระดับคงคลังตามนโยบาย

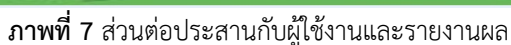
3.3 การออกแบบสเปรดชีตสำหรับการควบคุมคลังเวชภัณฑ์

สเปรดชีตสำหรับการควบคุมคลังเวชภัณฑ์ยาถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้ที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาผ่านวิซวลเบสิกฟอว์แอปพลิเคชัน (Visual Basic for Applications, VBA) ในรูปแบบสเปรดชีตโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ (1) ส่วนของฐานข้อมูลและส่วนของการคำนวณ และ (2) ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) และรายงานผล (ดังภาพที่ 6 และ 7 ตามลำดับ)

ส่วนของการคำนวณ (ภาพที่ 6) คือ ส่วนของการบันทึกข้อมูลความต้องการในเวชภัณฑ์ยาตามรอบเวลา (คอลัมน์ G) แสดงค่าพยากรณ์ความต้องการตามตัวแบบที่เหมาะสม (คอลัมน์ I) จากนั้นจะแสดงปริมาณการส่งตามรอบการเบิกเวชภัณฑ์ (คอลัมน์ K) ซึ่งส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (ภาพที่ 7)

คือ ส่วนของการรับข้อมูลและรายงานผล โดยรายงานสารสนเทศที่จำเป็นให้กับผู้ใช้งาน นั่นคือ ส่วนของการค้นหารายชื่อเวชภัณฑ์ และปริมาณเวชภัณฑ์คงเหลือ ณ ปลายปีงบประมาณ ส่วนของการระบุความต้องการเวชภัณฑ์ ณ ปีงบประมาณปัจจุบัน (เซลล์ F7-F18) เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับพยากรณ์ความต้องการเวชภัณฑ์ยาในรอบปีงบประมาณถัดไป จากนั้น ค่าพยากรณ์ที่ได้จะถูกใช้สำหรับกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ในปีงบประมาณถัดไป (เซลล์ H7-H18) ทั้งนี้ ปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ที่มีค่าลบ คือ คงคลัง ณ รอบเวลานั้นมีปริมาณความต้องการเพียงพอ จึงไม่จำเป็นต้องมีการตั้งเบิกเวชภัณฑ์ในรอบดังกล่าว ซึ่งถือว่าเป็นสารสนเทศ (Information) ให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจต่อไป

ภาพที่ 6 ส่วนการคำนวณปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ยาด้วยสเปรดชีต



งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดการคลังเวชภัณฑ์ โดยการกำหนดปริมาณการเบิกเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมด้วยแนวคิดระบบสั่งซื้อแบบรอบเวลาการสั่งซื้อที่ ทั้งนี้ การจัดการคลังเวชภัณฑ์ตามแนวคิดที่นำเสนอสามารถลดอัตราส่วนความต้องการเวชภัณฑ์ต่อระดับคงคลังได้เมื่อเทียบกับระดับคงคลังที่แท้จริง นั่นคือ อัตราส่วนความต้องการเวชภัณฑ์ต่อระดับคงคลังตามแนวคิดที่นำเสนอ คือ 3.26 มีมูลค่าคงคลังรวม 792,180.92 บาท ในขณะที่ อัตราส่วนความ

อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าการประยุกต์ใช้แนวคิดที่นำเสนอ นั้น มีเวชภัณฑ์ยาจำนวน 3 รายการที่มีปริมาณต่ำกว่าระดับคงคลังปลอดภัย ซึ่งเป็นผลมา

จากการกำหนดระดับคงคลังปลอดภัยที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น ควรมีการพิจารณาระดับคงคลังปลอดภัยที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่มีเพิ่มมากขึ้น จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยต่อไปควรพิจารณาถึงระดับคงคลังปลอดภัยตามรอบเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รหัสโครงการวิจัย KUSRCBR66-2011

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุทธิศา อาภาเกษัช. ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาระบบบริการในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลของจังหวัดสุพรรณบุรี. วารสารวิชาการสาธารณสุขชุมชน. 2563;6(3):86-95.
- [2] ภาณุพันธ์ โพธิ์ชัย. ปัจจัยความสำเร็จการขับเคลื่อนการดำเนินงาน รพ.สต.ติดดาว เขตอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา. วารสารวิชาการสาธารณสุขชุมชน. 2563;6(2):168-177.
- [3] Hajeb HR, and Banafi M. Predicting the efficiency of inventory management using artificial neural networks. International Journal of Management, Accounting and Economics. 2022;9(11):703-718.
- [4] ช่อผกา โพธิ์ร่มไทร และ ปวีณา เชาวลิทวงศ์. ระบบสนับสนุนการบริหารสินค้าคงคลังสำหรับธุรกิจขายสินค้าตกแต่งบ้าน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม. 2565;15(3):36-45.
- [5] จักรินทร์ กลั่นเงิน, ประภาพรณ เกษราพงศ์ และ สิริวงศ์ กลั่นคำสอน. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมคลังวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์: กรณีศึกษา. ใน การประชุมวิชาการราชภัฏ กรุงเทพมหานครด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 7; วันที่ 6-8 กรกฎาคม 2565; นครราชสีมา; 2565. น.320-326.
- [6] จักรินทร์ กลั่นเงิน และ ประภาพรณ เกษราพงศ์. การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าเพื่อควบคุมสินค้าคงคลัง: กรณีศึกษา ธุรกิจค้าส่ง-ค้าปลีก. ใน การประชุมวิชาการชาয়งานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555, วันที่ 17-19 ตุลาคม 2555; เพชรบุรี; 2555. น.150-154.
- [7] Liu H, Li C, Shao Y, et al. Forecast of the trend in incidence of acute hemorrhagic conjunctivitis in China from 2011-2019 using the Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) and Exponential Smoothing (ETS) models. Journal of Infection and Public Health. 2020;13(2):287-294.
- [8] Laung-lem K, and Thanarak P. Forecasting of biodiesel prices in Thailand using time series decomposition method for long term from 2017 to 2036. International Journal of Energy Economics and Policy. 2021;11(4): 593-600.
- [9] ณัฏพล อธิประยูร, อำไพ ทองธีรภาพ, และ เสาวภา ชัยพิทักษ์. การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับอนุกรมเวลาที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นและไม่คงที่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2563;28(2):197-207.
- [10] Taylor B.W. Introduction to management science. 13rd ed. Pearson Education, Inc.; 2013.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ รับบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้องเป็นต้นฉบับ ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ และผลงานวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างเคร่งครัด

1. หลักเกณฑ์การส่งบทความ

1.1 บทความเปิดรับทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

1.2 บทความมีรูปแบบการเขียนตามที่กำหนดไว้

1.3 บทความวิชาการต้องมีความยาวประมาณ 12-20 หน้า ในรูปแบบ 1 คอลัมน์

บทความวิจัย ต้องมีความยาวประมาณ 10-15 หน้า ในรูปแบบ 1 คอลัมน์

1.4 การส่งบทความ เพื่อผ่านการพิจารณาก่อนกรองและประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องผ่าน รูปแบบ Online

โดยจัดส่งไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ผ่าน <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> เริ่มจากการกรอกข้อมูลตามแบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาให้สมบูรณ์ บทความจะได้รับการพิจารณาก่อนกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ และเมื่อบทความได้รับการแก้ไข (หากมี) อย่างเหมาะสม ผู้เขียนจะต้องส่งบทความเข้ามายัง <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> เพื่อดำเนินการในส่วนอื่นต่อไป

2. ประเภทของบทความที่ตีพิมพ์

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารมี 2 ประเภท คือ

2.1 บทความวิจัย (Research Paper) เป็นบทความที่มีลักษณะและรูปแบบการวิจัยตามหลักวิชาการ เช่น ตั้งสมมติฐาน โดยระบุวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน ได้ค้นคว้าทดลองอย่างมีระบบ และสรุปผลการวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.2 บทความวิชาการ (Academic Paper) เป็นบทความที่มีลักษณะเชิงวิเคราะห์หรือวิจารณ์ จากการทบทวนเอกสาร จากประสบการณ์หรือความชำนาญของผู้เขียน และเสนอแนวคิดใหม่บนพื้นฐานวิชาการ อันก่อให้เกิดองค์ความรู้หรือสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์

3. รูปแบบการพิมพ์บทความ

3.1 ระยะขอบ

ขอบบน (Top Margin) 1 นิ้ว หรือ 2.54 ซม.

ขอบล่าง (Bottom Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

ขอบขวา (Right Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

ขอบซ้าย (Left Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

3.2 กระดาษ

ขนาด B5 (JIS) 18.2 x 25.7 ซม.

3.3 รูปแบบตัวอักษร

บทความภาษาไทย ใช้ TH SarabunPSK

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ Time New Roman

3.4 ชื่อเรื่อง

บทความภาษาไทย ใช้ชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษควรเป็นชื่อที่สั้น กระทัดรัด ได้ใจความตรงกับวัตถุประสงค์และเนื้อเรื่อง)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเรื่อง ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.5 ชื่อผู้เขียนและชื่อผู้ร่วมงาน

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.6 สถานที่ทำงาน เบอร์โทรศัพท์ และ E-mail

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 12 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 10 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.7 คำว่า บทคัดย่อ/Abstract

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา

3.8 เนื้อความใน บทคัดย่อ/Abstract

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)

3.9 เนื้อความทั้งหมด (แบ่งเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่างระหว่างคอลัมน์ 0.3 นิ้ว หรือ 0.7 ซม.)

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวปกติ

3.10 ชื่อหัวเรื่องใหญ่

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

3.11 ชื่อหัวเรื่องย่อย

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

3.12 คำว่า กิตติกรรมประกาศ/Acknowledgement และคำว่า เอกสารอ้างอิง/Reference (ใส่หมายเลขลำดับหัวเรื่องด้วย)

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา

3.13 สมการหรือพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

ควรเขียนโดยใช้ Equation Editor โดยจัดแยกบรรทัด และมีเลขกำกับอยู่ในวงเล็บเล็ก จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word

4. ส่วนประกอบของบทความแต่ละประเภท

4.1 บทความวิจัย

A. ส่วนปก

1. **ชื่อบทความ (Title)** ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระทัดรัด ไม่ยาวเกินไป ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ชื่อเต็ม นามสกุลเต็ม ของผู้เขียนทุกคน สำหรับผู้เขียน
ประสานงานให้ใส่ที่อยู่ให้ละเอียด พร้อมทั้งหมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร และ E-mail
address ที่สามารถติดต่อได้
3. **ตัวเลขยก** ให้เขียนไว้บนนามสกุล เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียน
4. **บทคัดย่อ (ABSTRACT)** ควรจัดทำเป็นร้อยแก้วย่อหน้าเดียว สั้น ตรงประเด็น
ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา ได้แก่ วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลการวิจัยและการ
อภิปรายผล เป็นต้น ถ้าบทความเป็นภาษาไทยจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและ
ภาษาอังกฤษ โดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน มีความยาวไม่เกิน 1,000 คำ
5. **คำสำคัญ (keywords)** ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เป็นคำสำคัญที่สามารถใช้ในการ
สืบค้น ในระบบฐานข้อมูล

หมายเหตุ : เนื้อหาส่วนปกจะต้องเขียนให้อยู่ในกระดาษ จำนวน 1 หน้า เท่านั้น

B. ส่วนเนื้อหา

1. **บทนำ (INTRODUCTION)** เพื่ออธิบายถึงความสำคัญของปัญหา และวัตถุประสงค์
ของการวิจัย รวมถึงการทบทวนวรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. **วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (MATERIALS AND METHODS)/วิธีดำเนินการวิจัย
(RESEARCH METHODOLOGY)** อธิบายเครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัยให้
ชัดเจน
 - บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ควรอธิบายเกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี
และวิธีการที่ใช้ในการวิจัย
3. **ผลการวิจัยและอภิปรายผล/ ผลการทดลองและอภิปรายผล (RESULT AND
DISCUSSION)** เสนอผลการทดลอง อย่างชัดเจน และตรงประเด็น ควรมีรูปภาพ/
หรือตารางประกอบ การอธิบายผลในตารางและรูปภาพ ต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน รูปภาพ
และตารางของบทความที่เป็นภาษาไทย ให้บรรยายเป็นภาษาไทย รูปภาพและ
ตารางของบทความที่เป็นภาษาอังกฤษ ให้บรรยายเป็นภาษาอังกฤษ
 - เป็นการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควร
อ้างอิงทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ เพื่อให้
ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการ
นำไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
 - รูปภาพ/กราฟ ให้อยู่ในเนื้อเรื่องของบทความ ขนาดตัวอักษรสามารถอ่านได้ชัดเจน
เหมาะสมกับขนาดของรูปภาพ/กราฟ โดยบันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล JPG มีความ
ละเอียดไม่ต่ำกว่า 300 dpi เท่านั้น ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับ และใน
กรณีที่เป็นรูปถ่ายเส้นให้วาดโดยใช้หมึกสีดำที่มีความคมชัด หมายเลขรูปภาพ/
กราฟให้เป็นเลขอารบิก และอยู่ด้านล่างของรูปภาพ/กราฟ
 - ตาราง ให้อยู่ในเนื้อเรื่องของบทความ หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก และอยู่
ด้านบนของตาราง
4. **บทสรุป (CONCLUSION)** สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการวิจัย

5. **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ความช่วยเหลือให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพียงสั้นๆ (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)
6. **เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)** เป็นรายการเอกสารอ้างอิงที่ใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัยที่ได้รับการตรวจสอบเพื่อนำมาเตรียมรายงาน และมีการอ้างอิงถึงเฉพาะเอกสารที่ปรากฏในบทความเท่านั้น การอ้างอิงให้จัดเรียงตามลำดับที่อ้างอิงเป็นตัวเลขในเครื่องหมาย [x] และให้เริ่มต้นเรียงลำดับเอกสารจากที่พบในเนื้อหาออกเป็น [1] หากผู้เขียนมีมากกว่า 3 คน ให้ใส่ชื่อ 3 คนแรก แล้วตามด้วย และคณะหรือ et al.

การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องของบทความ (In-text Citations) การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่อง ให้ใช้ระบบแวนคูเวอร์ (Vancouver style) สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

<http://library.md.chula.ac.th/guide/vancouver2011.pdf>

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

หนังสือหรือตำรา

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง (Author)./ชื่อหนังสือ (Title of the book)./ครั้งที่พิมพ์ (Edition)./เมืองที่พิมพ์ (Place of Publication):สำนักพิมพ์ (Publisher);ปี (Year).

- Janeway CA, Travers P, Walport M, Shlomchik M. Immunobiology. 5th ed. New York: Garland Publishing; 2001.
- รังสรรค์ ปัญญาญะ. โรคติดเชื้อของระบบประสาทกลางในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์; 2536.

บทความจากวารสาร (Articles in Journals)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง (Author)./ชื่อบทความ (Title of the article)./ชื่อวารสาร (Title of the Journal)./ปีที่พิมพ์ (Year);เล่มที่ของวารสาร (Volume):หน้า (Pages).

- ขนิษฐา ดำรงกิจ, ใหม่ น้อยพิทักษ์, วิบูลย์ ตั้งโรตมณกุล และคณะ. การศึกษาสมบัติทางกลและส่วนผสมทาง เคมีของรอยเชื่อมเหล็กแรงสูงไฟ. วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ. 2561;12(1):119-31.
- White AR, Treenate D, Kiatgungwalgrai A, et al. The effects of accent familiarity on english as a foreign language students' word recognition and comprehension of the english language. UTK Res J. 2559;10(2):21-30.

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Material)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง (Author)./ชื่อบทความ (Title of the article) [ประเภทของสื่อ/วัสดุ]./สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์ (Year) [เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วันที่]./จาก (Available from): <http://.....>

- Foley KM, Gelband H, editors. Improving palliative care for cancer [Internet]. Washington: National Academy Press; 2001 [cited 2002 Jul 9]. Available from: <https://www.nap.edu/catalog/10149/improving-palliative-care-for-cancer>.
- “กำเนิด” ระบบหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้า มิติใหม่แห่งการบริการด้านสาธารณสุขเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของคนไทย [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: สปสช.; 2552. [เข้าถึงเมื่อ 25 มีนาคม 2554]. จาก: www.localfund.in.th/files/NHSO-intro1-6.pdf

การอ้างอิงบทความที่นำเสนอในการประชุม หรือสรุปผลการประชุม (Conference paper)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้เขียน./ชื่อเรื่อง./ใน(In):/ชื่อบรรณาธิการ./บรรณาธิการ./ชื่อหนังสือ./ชื่อการประชุม./วัน เดือน ปีที่ประชุม./สถานที่จัดประชุม./สถานที่พิมพ์./สำนักพิมพ์./ปีที่พิมพ์./น./เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายของบทที่อ้าง.

- ชีระ ฤชตระกูล. Coagulopathy in liver diseases. ใน: ปิยะวัฒน์ โกมลมิศร์, ทวีศักดิ์ แทนวันดี, อนุชิต จุฑาทุทธิ, บรรณาธิการ. Vascular diseases of the liver. การประชุมวิชาการประจำปี ครั้งที่ 4 Vascular diseases of the liver; วันที่ 12-14 มีนาคม 2552; เพชรบุรี.กรุงเทพฯ: สมาคมโรคตับ (ประเทศไทย); 2552. น.1-13.

4.2 บทความวิชาการ

A. ส่วนปก

มีส่วนประกอบเหมือนบทความวิจัย

B. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (INTRODUCTION) เป็นส่วนของที่มาของมูลเหตุของการเขียนบทความ
2. วิธีการศึกษา/วิธีดำเนินการ (METHOD) (ถ้ามี) เป็นการอธิบายวิธีการศึกษา หรือ การดำเนินการตามประเภทของบทความวิชาการ
3. ผลการศึกษา/ผลการดำเนินการ (RESULT AND DISCUSSION) เป็นการเสนอผล อย่างชัดเจน ตามประเด็นโดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษาหรือดำเนินการ
4. สรุป (CONCLUSION) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. เอกสารอ้างอิง (REFERENCES) ใช้ตามที่วารสารกำหนด

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Review)

ประจำปี 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ก้อนแพง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ฝอยทอง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรพงษ์ จิตตะโคตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญยุทธ์ กาญจนพิบูลย์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ หรั่งเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เผ่าชู	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ฉลองรัตนสกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนิษฐา ยี่ม่นาค	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉียบบุฒิ รัตนวิไลสกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญพิศ กลิ่นหรั่ง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐญา คัมภีร์พัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระยุทธ เตียนธนา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชาติ จุลเพ็ญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชรินทร์ ทิพย์วรรณกร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ ทองขาว	ดร.กฤษฎา เหล็กดี
ดร.เอกตินัย จันทศรี	ดร.คชพงศ์ สุमानนท์
ดร.ภัสส์กฤษณ์ จิตมัทธนกุล	ดร.กวีวัชร ทัตติวงษ์
ดร.พิชามญช์ น้อยสุวรรณ	ดร.อดิสร ศิริคำ

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)..... นามสกุล.....

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ

เรื่อง (ภาษาไทย).....

.....

เรื่อง (ภาษาอังกฤษ).....

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาไทย)

1.
2.
3.

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาอังกฤษ)

1.
2.
3.

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก..... หมู่ที่..... ซอย.....

ถนน..... ตำบล/แขวง..... อำเภอ/เขต..... จังหวัด.....

รหัสไปรษณีย์..... E-mail..... โทรศัพท์.....

โทรสาร..... โทรศัพท์ (มือถือ).....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ ☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความจริง

โดยขอรับรองว่ารูปภาพและข้อความทั้งหมดในบทความนี้ ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ใด ๆ และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำบทความนี้ส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นอีกเป็นการซ้ำซ้อนการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนบทความโดยตรง ทั้งนี้ผู้เขียนเข้าใจในนโยบายการรับบทความของวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพแล้ว และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มทร. กรุงเทพ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ลงชื่อ.....
(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง
.....
โดย
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
ปีที่..... ฉบับที่ (..... - พ.ศ.)

(.....)

บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขั้นตอนการจัดทำวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

