

FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

Vol. 8 No. 1 January - June 2022

Research Article

The Performance and Power Requirement Evaluation of Combine Harvester
for Off-Season Rice (Phitsanulok-2 Cultivar) 1

Nuttaphon Sokudlor Somposh Sudajan Chaiyan Junsiri Kittipong Laloon

Attasit Soihin Peeranat Ansuree Singrun Charee and Sakda Jumpana

The Design and Development of a Radio-Controlled Lawnmower 12

Chainarong Lomchangkum Jagraphon obma and Prasit Sopa

Semi-Automatic Biomass Pellets from Agricultural Waste 21

Boonyarid Buarabut

Implementation of Smart Robotic Arms in Small Betta Aquaculture Systems 32

Peerapon Chanhom Surathep Nilnond Wipada Wongsuriya

Peerasak Phaophang and Pattanapong Sinpaithoon

The Storage Location Identification and The Importance of Door Usage
on I/O Products for Multi-Level Warehouse 45

Suticha Intanon Arthit Apichottanakul Surached Thuankaewsing

and Komkrit Pitiruek

The Application of Electrical Energy from Solar Cells to Automatic Humidity
Control System in Mushroom Farms 58

Krisorn Ruaypom and Roitis Yartjaroen

Layout Design to Determine Storage Location for an Agriculture Warehouse
in the Recirculating Aquaculture System 69

Phutthangkul Khaiwthong and Komkrit Pitiruek



Farm Engineering And Automation Technology
Research Group , Khon Kaen University

FEAT JOURNAL

วารสาร

วิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยี

การควบคุมอัตโนมัติ

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL



Vol. 8 No. 1 January - June 2022

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2565

ISSN 2408-0985

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ เป็นแหล่งข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ในระบบออนไลน์ และบทความทุกเรื่องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิแบบ double blinded มีกำหนดตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม - ธันวาคม) โดยกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รับผลงานทางวิชาการที่มีเนื้อหาครอบคลุมด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ และวารสารวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติตอบรับบทความวิจัย และบทความทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษซึ่งไม่เคยเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน ทุกๆ บทความได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ในสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ความรู้ ผลงานทางวิชาการ และงานวิจัย ในด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร. ชัยยันต์	จันทร์ศิริ	สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. ชนิษฐา	คำวิลัยศักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. กัลยากร	ขวัญมา	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.วาณิส	ลีลาภัทร	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ธนา	ราษฎร์ภักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.วีรชัย	อาจหาญ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร.นิยม	กำลังดี	สำนักวิชาวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ผศ.คำรณ	พิทักษ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.วิภาดา	สนองราษฎร์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.สิริวิชัย	เดชะเจษฎารังสี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ฤกษ์ชัย	ศรีวรมาศ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.จักรมาศ	เลาหวนิช	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.จำเริญ	เกณท์สาคร	ภาควิชาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บรรณาธิการ

ฝ่ายจัดการวารสาร

สำนักงาน

รศ.ดร. รัชพล สันติวรการ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นางสาวปญญาศา ไชยบท

กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมืองขอนแก่น
จ.ขอนแก่น 40002

กำหนดเผยแพร่

พิมพ์ที่

ISSN

ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม

โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

: 2408 - 0985

Farm Engineering and Automation Technology Journal is an open access and peer-reviewed (double blinded) journal published twice a year by Farm Engineering and Automation Technology Research Group, Khon Kaen University (January - June and July - December). We welcome submission from all fields of Farm Engineering and Automation Technology. The journal accepts Thai/English manuscripts of original research and review articles, which have never been published elsewhere. Every published manuscripts are reviewed by at least 3 experts in the relevant field. Our purpose in to promote and disseminate knowledge, academic work and research in Farm Engineering and Automation Technology.

Editorial Board

Assoc.Prof.Dr.Chaiyan Chansiri	Department of Agricultral Engineering	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Khanita Khamwilaisak	Department of Chemical Engineering	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Kulyakorn Khunmar	Department of Environmental Engineering	Khon Kaen University
Dr.Watis Leelapatra	Department of Computer Engineering	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Thana Radpukdee	Department of Industrial Engineering	Khon Kaen University
Asst.Prof.Dr.Weerachai Arjharn	School of Mechanical Engineering	Suranaree University of Technology
Asst.Prof.Dr.Niyom Kamlangdee	School of Science	Walailak University
Asst.Prof.Kumron Pitaks	Department of Industrial Engineering	Prine of Songkla University
Asst.Prof.Dr.Wipada Sanongraj	Department of Environmental Engineering	Ubon Ratchathani University
Asst.Prof.Dr.Sirivit Taechajedcadarungsri	Department of Mechanical Engineering	Ubon Ratchathani University
Asst.Prof.Rerkchai Srivoramas	Department of Civil Engineering	Ubon Ratchathani University
Assoc.Prof.Dr.Juckamas Laohavanich	Department of Mechanical Engineering	Maharakham University
Asst.Prof.Dr.Rampai Gaensakoo	Department of Biotechnology	Maharakham University

Editor-in-chief Assoc.Prof.Dr.Ratchaphon Suntivarakorn Khon Kaen University

Production team Ms.Bhunyisa Chaiyabot

Editorial Office Farm Engineering and Automation Technology Research Group, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University,123 Moo16 Mittraphap Road, Nai Mueang Sub-district, Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen Province, 40002

Publication Frequency Biannual (Issue 1, January - June, Issue 2, July - December)

Printing House Khon Kaen University Printing

ISSN : 2408-0985

จุดมุ่งหมายและขอบเขต

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หรือ FEAT JOURNAL (Farm Engineering and Automation Technology Journal) เป็นวารสารทางวิชาการ ซึ่งบทความทุกเรื่องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น (peer-reviewed journal) แบบ double blinded วารสารรับผลงานทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับ (original) ในด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อเผยแพร่เทคโนโลยีที่มีคุณค่าแก่นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป โดยวารสารเคร่งครัดในเรื่องผลงานวิชาการที่เป็นต้นฉบับ และไม่ใช้ผลงานที่คัดลอกโดยวารสารมีกำหนดออกทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น มีการเผยแพร่ในรูปแบบเล่มสำหรับจัดส่งให้หน่วยงานหรือผู้ที่สนใจ และเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เว็บไซต์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/featkku/index>

ขอบเขตของเนื้อหาที่ตีพิมพ์ในวารสาร ประกอบด้วยบทความที่เกี่ยวข้อง ในประเด็นดังต่อไปนี้

1. Farm Engineering and Technology
2. Automation Technology
3. Environmental Technology and Management
4. Energy Conservation and Alternative Energy Technology
5. Agricultural Machine Design
6. Material Engineering Technology
7. Innovation Technology for Farm and related Industries
8. Logistics
9. Farm and related Industries Management
10. Related Topics for Farm Engineering and Automation Technology

จัดทำและเผยแพร่โดย กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Farm Engineering and Automation Technology: FEAT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.เมืองขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002 โทร. 090-024-4998 Email: feat.kku@gmail.com

บทบรรณาธิการ

เรียน ท่านสมาชิกวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ
และผู้อ่านทุกท่าน



วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (Farm Engineering and Automation Technology Journal: FEAT Journal) ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – มิถุนายน 2565 ฉบับนี้เป็นปีที่ 8 ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นที่จะเผยแพร่องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติให้นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไปได้ทราบ และสามารถเรียนรู้ นำไปต่อยอดความรู้ และแก้ไขปัญหาในการทำงานด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติได้วารสารนี้ มีกำหนดตีพิมพ์ทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในฉบับนี้มีบทความวิจัยจำนวน 7 บทความ ซึ่งท่านสามารถติดตามและอ่านบทความต้นฉบับได้ที่เว็บไซต์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/featkku/index>

กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารเล่มนี้จะเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติให้แก่ผู้สนใจทั่วไปได้ และขอขอบพระคุณนักวิจัยที่ได้ส่งบทความมาลงตีพิมพ์ หากมีคำติชมหรือข้อเสนอแนะใดเกี่ยวกับวารสาร สามารถติดต่อได้โดยตรงที่กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผ่านเว็บไซต์ข้างต้น หรือ Email: feat.kku@gmail.com

รองศาสตราจารย์ ดร.รัชพล สันติวรากร

บรรณาธิการ

ratchaphon@kku.ac.th

24 มิถุนายน 2565

จริยธรรมของการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติจะแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อพิจารณาคุณภาพของบทความทุกบทความ อย่างน้อย 3 ท่าน ที่มีความเชี่ยวชาญหรือเกี่ยวข้องกับเนื้อหาของบทความและไม่ใช่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่งบทความ โดยการประเมินผู้ทรงคุณวุฒิเป็นแบบ double blinded คือ มีการปกปิดชื่อเจ้าของบทความแก่ผู้ทรงคุณวุฒิ และเจ้าของบทความไม่ทราบชื่อของผู้ทรงคุณวุฒิ ผลการประเมินมี 5 แบบ คือ รับผิดชอบบทความ ให้ผู้แต่งแก้ไข โดยให้บรรณาธิการพิจารณาต่อ ให้ผู้แต่งแก้ไขโดยผู้ประเมินขอพิจารณาอีกครั้ง ให้ผู้แต่งส่งบทความให้วารสารอื่น และไม่รับผิดชอบบทความ ดังนั้น เพื่อให้การสื่อสารทางวิชาการเป็นไปอย่างถูกต้อง สอดคล้องกับมาตรฐานการตีพิมพ์นานาชาติ จึงได้กำหนดจริยธรรมของการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยไว้สำหรับการดำเนินงานของวารสาร โดยทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์อย่างเคร่งครัด ตามบทบาทหน้าที่ดังนี้

บทบาทหน้าที่ของผู้เขียน

1. ผลงานของผู้เขียนต้องเป็นผลงานที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
2. ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่นหากมีการนำข้อความใดๆ มาใช้ในผลงานของตนเองรวมทั้งต้องทำเอกสารอ้างอิงไว้ท้ายบทความ
3. ผู้เขียนต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในวารสาร
4. ผู้เขียนที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคนต้องเป็นผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจริง
5. ผู้เขียนต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมานำเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาของบทความของตนเอง
6. ผู้เขียนต้องยินยอมโอนลิขสิทธิ์ให้แก่วารสารก่อนการตีพิมพ์ และไม่นำผลงานไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่น ๆ หลังจากที่ได้รับการตีพิมพ์กับวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติแล้ว
7. หากมีการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง ผู้เขียนจะต้องแนบหนังสือรับรองที่ได้รับอนุญาตให้ทำการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการใช้สัตว์ทดลองตามแต่กรณีและระบุหมายเลขหรือรหัสการรับรองลงในบทความ

บทบาทหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อเข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาเนื้อหาบทความที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพบทความในกระบวนการประเมินและคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์
2. บรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความและผู้เขียนในด้านเชื้อชาติเพศ ศาสนา วัฒนธรรม การเมือง และสังกัดของผู้เขียน
3. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้เขียนหรือผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเอง
4. บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประโยชน์ของผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียน
5. บรรณาธิการต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด

บทบาทหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องคำนึงถึงคุณภาพบทความเป็นหลักพิจารณาบทความภายใต้หลักการและเหตุผลทางวิชาการ โดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัว และไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้เขียน
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากผลงานทางวิชาการที่ตนเองได้ทำการประเมิน
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของผลงานวิชาการที่รับประเมินอย่างแท้จริง
4. หากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบพบว่าบทความที่รับประเมินเป็นบทความที่คัดลอกผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที
5. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาประเมินที่กำหนด รวมถึงไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้

บทความวิจัย

การประเมินสมรรถนะการทำงานและกำลังที่ใช้ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว ในแปลงข้าวนาปรังพันธุ์พิษณุโลก 2	1
ณัฐพล ไสกุศลเลาะ สมโภชน์ สุดาจันทร์ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ กิตติพงษ์ ลาคุณ อรรถสิทธิ์ สร้อยหิน พิรณัฐ อ้นสุรีย์ สิงห์ขวัญ ชารี และ ศักดิ์ดา จำปานา	
การออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ	12
ชัยณรงค์ หล่มช้างคำ จักรพงษ์ ออบมา และ ประสิทธิ์ ไสภา	
เครื่องอัดแท่งชีวมวลจากเศษวัสดุทางการเกษตรแบบกึ่งอัตโนมัติ	21
บุญฤทธิ์ บัวระบติ	
การประยุกต์ใช้เซนเซอร์อุณหภูมิในระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก	32
พีรพล จันทร์หอม สุรเทพ นิลนนท์ วิภาดา วงศ์สุริยา ภีรศักดิ์ เผ่าผาง และ พัฒนพงษ์ สิ้นธุ์ไพฑูรย์	
การระบุตำแหน่งการวางสินค้าและความสำคัญของตำแหน่งประตูที่ใช้ในการ เคลื่อนย้ายสินค้าเข้า-ออกสำหรับคลังสินค้าที่มีการจัดเก็บแบบหลายระดับ	45
สุทิมา อินทนนท์ อาทิตย์ อภิชาติธนกุล สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์ และ คมกฤษ ปิติฤกษ์	
การประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในการควบคุมความชื้นอัตโนมัติ ในโรงเพาะเห็ด	58
ไกรสร รวยป้อม และ ร้อยทิศ ญาติเจริญ	
การออกแบบแผนผังเพื่อกำหนดตำแหน่งจัดเก็บในคลังสินค้าการเกษตร	69
พุทรากรูร เขียวทอง และ คมกฤษ ปิติฤกษ์	

Research Article

The Performance and Power Requirement Evaluation of Combine Harvester for Off-Season Rice (Phitsanulok-2 Cultivar)	1
<i>Nuttaphon Sokudlor Somposh Sudajan Chaivan Junsiri Kittipong Laloon Attasit Soihin Peeranat Ansuree Singrun Charee and Sakda Jumpana</i>	
The Design and Development of a Radio-Controlled Lawnmower	12
<i>Chainarong Lomchangkum Jagraphon obma and Prasit Sopa</i>	
Semi-automatic biomass pellets from agricultural waste	21
<i>Boonyarid Buarabut</i>	
Implementation of smart robotic arms in small betta aquaculture systems	32
<i>Peerapon Chanhom Surathep Nilnond Wipada Wongsuriya Peerasak Phaophang and Pattanapong Sinpaithoon1</i>	
The storage location identification and the importance of door usage on I/O products for multi-level warehouse	45
<i>Suticha Intanon Arthit Apichottanakul Surached Thuankaewsing and Komkrit Pitiruek</i>	
The Application of Electrical Energy from Solar cells to Automatic Humidity Control System in Mushroom Farms	58
<i>Krisorn Ruaypom and Roitis Yartjaroen</i>	
Layout Design to Determine Storage Location for an Agriculture Warehouse	69
<i>Phutthangkul Khaiwthong and Komkrit Pitiruek</i>	



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประเมินสมรรถนะการทำงานและกำลังที่ใช้ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว
ในแปลงข้าวนาปรังพันธุ์พิษณุโลก 2

The Performance and Power Requirement Evaluation of Combine Harvester for Off-
Season Rice (Phitsanulok-2 Cultivar)

ณัฐพล ไส้กุดเลาะ¹⁾ สมโภชน์ สุดาจันทร์^{1,2)} ชัยยันต์ จันทร์ศิริ^{1,2)*} กิตติพงษ์ ลาโลน^{1,2)} อรรถสิทธิ์ ศรีออยหิน¹⁾

พีรณัฐ อันสุรีย์⁴⁾ สิงห์วิญ ชาติ³⁾ และ ศักดิ์ดา จำปানা³⁾

Nuttaphon Sokudlor¹⁾ Somposh Sudajan^{1,2)} Chaiyan Junsiri^{1,2)*} Kittipong Laloon^{1,2)}

Attasit Soihin¹⁾ Peeranat Ansuree⁴⁾ Singrun Charee³⁾ and Sakda Jumpana³⁾

¹⁾สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²⁾ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

³⁾สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

⁴⁾สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

¹⁾Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University.

²⁾Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science,
Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand.

³⁾Department of Agricultural machinery Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-
Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

⁴⁾Department Agricultural machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture
Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima.

Received: 2 February 2021

Revised: 13 June 2021

Accepted: 14 June 2022

Available online: 24 June 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงาน และกำลังของเครื่องเกี่ยว นวดข้าว (พันธุ์พิษณุโลก-2) การศึกษามุ่งเน้น 2 ปัจจัยเป็นหลัก คือ ความเร็วขับเคลื่อน 3 ระดับ ได้แก่ 3 4 และ 5 กม./ชม. และความเร็วเครื่องยนต์ 3 ระดับ ได้แก่ 1200 1400 และ 1600 รอบต่อนาที (ความเร็วลูกนวด 450 525 และ 600 รอบต่อนาที) ค่าชี้ผลในการศึกษา ได้แก่ ความสามารถในการทำงาน ความสูญเสียรวม และ กำลังที่ต้องการ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ : ผลการศึกษาพบว่าความเร็วขับเคลื่อน ความเร็วเครื่องยนต์ และ ปฏิกริยาสัมพันธ์ มีความแตกต่างทางสถิติที่นัยสำคัญของความสามารถในการทำงาน และกำลังที่ต้องการ ส่วนเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวมมีผลเฉพาะความเร็วขับเคลื่อน เมื่อเพิ่มความเร็วขับเคลื่อน 4- 5 กม./ชม. ด้วยความเร็วเครื่องยนต์ 1400-1600 รอบ/วินาที พบว่า ความสามารถในการทำงานอยู่ในช่วง 5.94-8.79 ไร่/ชม. และกำลังที่ใช้ในเครื่องเกี่ยวนวดอยู่ในช่วง 17.62-23.15 กิโลวัตต์ ผลการทดสอบสมรรถนะและกำลังเครื่อง เกี่ยวนวดข้าวแบบต่อเนื่องในแปลง พบว่า เมื่อความเร็วขับเคลื่อนเฉลี่ย 4.77 กม./ชม. ทำให้ความสามารถ ในการทำงานเฉลี่ย 8.34 ไร่/ชม. เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวมเฉลี่ย 4.08 % และกำลังที่ต้องการของเครื่องเกี่ยว นวดข้าวในพื้นที่เฉลี่ย 16.42 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วเครื่องยนต์ 1430 รอบ/วินาที

คำสำคัญ : เครื่องเกี่ยวนวดข้าว ความเร็วขับเคลื่อน กำลังที่ต้องการ

Abstract

The purpose of this research was to study and test the factors affecting working performance and the power of the combine harvester (Phitsanulok-2). The study focused mainly on 2 factors: 3 levels of driving speeds, namely 3, 4 and 5 km/h, and 3 engine speeds, namely 1200, 1400 and 1600 rpm (threshing drum speed at 450, 525, and 600 rpm). The working capacity, total grain losses and power requirement were indicated. The results could be summarized as follows; The results showed that the driving speed, engine speed and interaction had significant statistical differences in working capacity and the power requirement. The percentage of total grain losses was influenced only by the driving speed. When increasing the drive speed of 4-5 km/h with an engine speed of 1400-1600 rev/s, it was found that the working capacity in the range of 5.94-8.79 rai/h and the power used in the combine harvester was in the range of 17.62. -23.15 kW. The continuous test of performance and power requirement of the rice combine harvester revealed that at an average driving speed of 4.77 km/ h, the average working capacity of 8.34 rai /h with average total grain losses of 4.08 %. The average power requirement for the whole machine during field operation at 1430 rpm was 16.42 kW.

Keywords : Rice combine harvester: Driving speed: Power requirement

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญมากที่สุดของประเทศทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศผู้ผลิตข้าวรายใหญ่มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งหมดประมาณ 70 ล้านไร่ ผลผลิตราว 31 ล้านตันข้าวเปลือก คิดเป็นมูลค่าประมาณ 350,000 ล้านบาท ทั้งยังส่งออกมากเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก [1] ดังนั้น ข้าวจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยทั้งทางด้านการบริโภค อุสาหกรรมและการส่งออก การผลิตข้าวมีหลายขั้นตอน การเก็บเกี่ยวเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณของผลผลิต จากปริมาณการผลิตข้าวที่มีอยู่เป็นจำนวนมากหากเกิดความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายทางเศรษฐกิจของประเทศทั้งในด้านปริมาณและมูลค่าเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันเกษตรกรนิยมเก็บเกี่ยวข้าวอยู่ 2 ระบบ คือ การเกี่ยวโดยแรงงานคนและนวดด้วยเครื่องนวด และการเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าว [2] การเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวกำลังได้รับความนิยมจากเกษตรกรอย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มการใช้เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ เพราะการใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีโอกาสช่วยลดความสูญเสียลงได้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณครึ่งหนึ่งของความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวโดยแรงงานคนพร้อมทั้งช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวอีกประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ [3] ปัญหาการขาดแคลนแรงงานทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวเข้ามามีบทบาทมากในการเก็บเกี่ยวข้าว การประกอบารรับจ้างของผู้ประกอบการจะใช้ระบบรับจ้างคิดอัตราเหมาจ่ายต่อไร่เพื่อให้ได้จำนวนไร่ต่อวันที่มากทำให้ผู้ประกอบการรับจ้างจึงปรับแต่งเครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น โดยที่ผู้ขับเคลื่อนไม่ทราบหรือไม่ตระหนักถึงผล

ของความสูญเสียจากการทำงานที่เกิดขึ้น โดยที่ความสูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานที่มีความแปรปรวนค่อนข้างสูงเนื่องจากการปรับแต่งเครื่องที่ไม่เหมาะสมสภาพพืชที่มีความแตกต่างกัน จากการใช้งานของการปรับระดับการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งในการปฏิบัติงานของผู้ขับเคลื่อนเกี่ยวนวดข้าวมักปรับแต่งเครื่องและหรือใช้ความเร็วในการขับเคลื่อนสูงสุดเท่าที่เครื่องจะสามารถปฏิบัติงานได้ [4] จากการศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่มีกำลังขับเคลื่อนแตกต่างกัน 5 ขนาด [5] พบว่า ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในแต่ละขนาดคือการเก็บเกี่ยวข้าวในแปลงที่มีสภาพเป็นดินเลน เครื่องเกี่ยวนวดข้าวส่วนใหญ่ไม่มีแรงมากพอที่จะตะกุดดินเมื่อเกิดการติดหล่ม แนวทางหนึ่งที่เจ้าของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวนิยมปฏิบัติคือการปรับแต่งปั๊มหัวฉีดของเครื่องยนต์เพื่อให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีกำลังแรงม้าเพิ่มขึ้น [6] วิธีการนี้แม้จะสามารถเพิ่มกำลังงานได้แต่ขณะเดียวกันก็ส่งผลเกี่ยวเนื่องไปยังกลไกการทำงานอื่น ๆ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว นอกจากนี้ยังทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ เกิดการเสื่อมสภาพที่เร็วขึ้นอีกด้วย [7] อย่างไรก็ตามนอกจากการเพิ่มแรงม้าให้แก่เครื่องยนต์เพื่อเพิ่มกำลังงานให้แก่เครื่องนวดข้าวเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานให้มากขึ้นแล้วนั้น การปรับปรุงความแข็งแรงของโครงสร้างช่วงล่างของเครื่องนวดข้าวเพื่อลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องนวดข้าวก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถลดภาระกำลังเครื่องยนต์ให้แก่เครื่องนวดข้าวและทำให้เครื่องนวดข้าวสามารถทำงานได้ในภูมิประเทศที่ลำบากได้ (เช่น ดินติดหล่ม หรือพื้นที่ดินอ่อนนุ่มที่ก่อให้เกิดอุปสรรคในการทำงาน) โดยที่ไม่จำเป็นต้องปรับแต่ง

เครื่องยนต์ [8] จากข้อมูลข้างต้นชี้ให้เห็นว่า สภาพการทำงานของเครื่องเกี่ยววนดข้าวทั้งด้านสมรรถนะการทำงาน ประสิทธิภาพ ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการเก็บเกี่ยว และความสูญเสียจากการเกี่ยวโดยใช้เครื่องเกี่ยววนดข้าวเป็นอย่างมาก ดังนั้นการศึกษาสมรรถนะการทำงานและกำลังที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องเกี่ยววนดข้าวเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ทราบเพื่อที่จะได้เป็นข้อมูลสำหรับนำไปประกอบการตัดสินใจในการปฏิบัติงานอย่างเหมาะสม อีกทั้งยังเป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องเกี่ยววนดข้าวต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเก็บข้อมูลในพื้นที่

การศึกษานี้ได้ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลในช่วงเดือน พฤษภาคม ถึง มิถุนายน 2561 โดยข้าวที่ใช้ศึกษาคือข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ซึ่งเป็นข้าวที่นิยมปลูกกันทั่วพื้นที่เขตชลประทานของประเทศไทย [9] ปลูกด้วยวิธีการหว่าน จากแปลงเกษตรกรรมในเขตจังหวัดขอนแก่น การทดลองและเก็บข้อมูลปัจจัยด้านพืชประกอบด้วย ความสูงต้นข้าว ความสูงเอียง ความสูงตอซัง ความหนาแน่นต้นข้าว ผลผลิต ความชื้นของเมล็ด ความชื้นของฟาง และอัตราส่วนเมล็ดต่อฟาง

2.2 การเตรียมเครื่องเกี่ยววนดข้าว

การดำเนินการโดยใช้เครื่องเกี่ยววนดข้าวแบบไหลตามแกนของศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีส่วนประกอบและอุปกรณ์การทำงานหลัก ดังแสดงในตารางที่ 1 มีรายละเอียดของเครื่องดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องเกี่ยววนดข้าวที่ใช้ทดสอบ

หัวข้อ	ลักษณะ/ส่วนประกอบ
ขนาดมิติเครื่อง	ความกว้าง 3.60 ม. ความยาว 6.95 ม. ความสูง 2.83 ม.
ชุดต้นกำลัง	เครื่องยนต์ดีเซล 260 กำลังม้า ถ่ายทอดกำลังระบบไฮโดรสแตติก
ชุดหัวเกี่ยว	หน้ากว้างหัวเกี่ยว 3.0 ม. ล้อโน้มแบบซี่โน้ม ระบบการตัดแบบใบมีดเคลื่อนที่ไปมา
ชุดนวดแบบไหลตามแกน	ความยาวลูกนวดรวมใบพัดขับ ฟาง 1925 มม. ลักษณะใบพัดส่งฟาง ใบเลี้ยวตรง 10 ใบ เส้นผ่าศูนย์กลางลูกนวดถึงปลายซี่นวด 680 มม. ความสูงซี่นวด 88 มม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางซี่นวด 11 มม. ระยะห่างระหว่างซี่นวด 70 มม. จำนวนแถบซี่นวด 10 มม. จำนวนซี่นวดในแต่ละแถบ 26 มม.
	ระยะห่างระหว่างปลายซี่นวดกับตะแกรงล่าง 10 มม. ขนาดของซี่ตะแกรง 7 มม. ระยะช่องว่างระหว่างซี่ตะแกรง 18 มม.
	ครีบบวงเดือน 5 ครีบบ มุมเอียงของแผ่นครีบบวงเดือน 68 องศา
ตะแกรงทำความสะอาด	ขนาดรูตะแกรง 16 มม.
พัดลมทำความสะอาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง 360 มม. จำนวนใบพัดต่อชุด 5 ใบ ความกว้างใบพัดลม 140 มม. ความยาวใบพัดลม 700 มม. พัดลมจำนวน 2 ชุด

2.3 การเตรียมเครื่องมือวัดกำลังในแต่ละระบบ ของเครื่องเกี่ยววนดข้าว

เนื่องจากเครื่องเกี่ยววนดข้าว มีส่วนประกอบหลักประกอบด้วย 1) ชุดต้นกำลัง 2) ระบบขับเคลื่อนและบังคับเลี้ยว 3) ชุดนวดและทำความสะอาด 4) ชุดหัวเกี่ยว และ 5) ชุดคอลล่าเลียง เพื่อให้สามารถวัดกำลังงานที่ใช้จริงในส่วนต่าง ๆ จึงต้องทำการติดตั้งเครื่องมือในระบบเกี่ยว ระบบนวด และระบบขับเคลื่อน โดยในการทดสอบได้เตรียมเครื่องมือวัดโดยการติดตั้ง Torque Transducer ซึ่งประกอบด้วย slip ring และ stain gages เข้ากับเพลลาเครื่องยนต์ เพลาลอยขับระบบชุดนวด และเพลลาขับคอลล่าเลียง และชุดหัวเกี่ยว จากนั้นต่อเข้ากับ Data logger (Spider 8 strain amplifier) ซึ่งรับสัญญาณและบันทึกจาก Torque Transducer [10, 11] การทำงานของเครื่องมือวัดถูกควบคุมด้วยโปรแกรมผ่านระบบคอมพิวเตอร์ บันทึกค่าสัญญาณทางไฟฟ้าในหน่วย mV/V (มิลลิโวลต์ต่อโวลต์) ด้วยโปรแกรม Catman Easy ผ่านทาง Monitor จากนั้นบันทึกผล และสอบเทียบค่าของเครื่องมือวัดกับค่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ การทดสอบสุ่มตัวอย่างแรงบิดการทำงานจากช่องทางออกสัญญาณ เพลลาเครื่องยนต์ เพลาลอยขับระบบชุดนวด และเพลลาขับคอลล่าเลียงและชุดหัวเกี่ยวเมื่อใช้เครื่องเกี่ยววนดข้าว นำตัวอย่างที่สุ่มได้มา หาค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดเพื่อคำนวณในสมการหาค่ากำลัง โดยค่ากำลังงานที่เพลลาคำนวณจากสมการที่ 1 ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการวัดกำลัง และการสุ่มตัวอย่างขณะทดสอบ [12]

$$P = 2\pi NT/60000$$

(1)

เมื่อ P = กำลังงานที่ใช้ (kW)

N = ความเร็วการหมุนของเพลลา (rpm.)

T = แรงบิดที่เกิดขึ้นในเพลลา (N-m.)

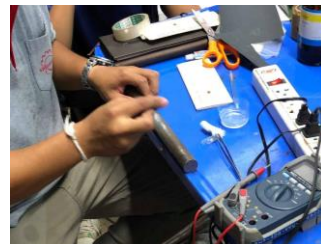
ผลการสอบเทียบค่าของเครื่องมือวัดกับค่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ได้ผลการสอบเทียบโดยที่ y คือค่าแรงบิด และ x คือกระแสไฟฟ้า ดังนี้

เพลลาเครื่องยนต์ : $y = 2108.4x - 0.7386$,
 $R^2 = 0.9999$

เพลาลอยขับชุดนวด : $y = 1331.2x - 1.4473$, $R^2 = 0.9999$

เพลาล่าเลียง : $y = 504.36x - 0.7854$,
 $R^2 = 0.9999$

เพลลาหัวเกี่ยว : $y = 485.55x + 2.6639$,
 $R^2 = 0.9952$



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือวัดกำลัง(ก-จ) และการสุ่มตัวอย่างที่ออกทางท้ายเครื่องเกี่ยววนดข้าว(ฉ)

2.4 แผนการทดสอบ

การทดสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานและกำลังที่ใช้ของเครื่องเกี่ยววนดข้าว การวัดกำลังกระทำที่ความเร็วเพลารองยนต์ 1200 1400 และ 1600 รอบ/นาที ซึ่งเป็นเพลาลอยขับระบบชุดขนาดด้วยความเร็ว 960 1120 1280 รอบ/นาที (ความเร็วลูกนวด 450 525 600 รอบ/นาที หรือความเร็วลูกนวด

ที่ปลายขึ้นวด 18.06 20.68 และ 23.30 ม./วินาที) การวางแผนการทดสอบโดยใช้ RCBD 3x3 factorial experiment [13, 16] เป็นการศึกษปัจจัยการทำงาน 2 ปัจจัย คือ ความเร็วขับเคลื่อน(ความเร็วในการเคลื่อนที่) 3 ระดับ ได้แก่ 3 4 5 กม./ชม. และ ความเร็วเครื่องยนต์ 3 ระดับ ได้แก่ 1200 1400 และ 1600 รอบ/นาที โดยกำหนดให้เพลาลอยขับคอแล่เฉียง 220 รอบ/นาที และเพลาลอยหัวเกี่ยว 130 รอบ/นาที ตามลำดับ

2.5 วิธีการดำเนินการ

มีการดำเนินการดังนี้

(1) การดำเนินงานก่อนการทดสอบ การหาความสูงต้นข้าว ความสูงเอียง มุมเอียงต้นข้าว โดยการสุ่มวัด จำนวน 100 ซ้ำ สุ่มตัวอย่างเพื่อหาความชื้นของเมล็ดข้าว ความชื้นฟาง และอัตราส่วนเมล็ดต่อฟาง ในแปลงทดสอบ จำนวน 5 ซ้ำ หาความหนาแน่นต้นข้าว โดยการนับจำนวนต้นข้าวในกรอบเก็บข้อมูล ขนาดหนึ่งตารางเมตร จำนวน 20 ซ้ำ การเก็บข้อมูลปัจจัยด้านพืชทำการเก็บกระจายให้ครอบคลุมพื้นที่การทดสอบ

(2) การดำเนินงานขณะทำการทดสอบ การเตรียมการทดสอบโดยการปรับตั้งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่และค่าความเร็วเพลารองยนต์ตามแผนการทดสอบ ทำการทดสอบโดยจับเวลาแต่ละรอบการทดสอบ ขณะทดสอบทำการเก็บสัญญาณข้อมูลเพื่อหาแรงบิดและกำลังตามแผนการทดสอบ สุ่มตัวอย่างแรงบิดการทำงานจากช่องทางออกสัญญาณของเพลารองยนต์ เพลาลอยขับระบบชุดขนาด เพลาลอยคอแล่เฉียงและเพลาลอยหัวเกี่ยวเมื่อใช้เครื่องเกี่ยววนดข้าว นำตัวอย่างที่สุ่มได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณในสมการหาค่ากำลัง และเก็บข้อมูลสมรรถนะของรถเกี่ยววนดข้าว ทำการเก็บตัวอย่าง

จากช่องทางออกฟาง โดยการใช้ถุงตาข่ายรองวัสดุ จากช่องที่ถูกขั้บทิ้งเป็นระยะทางไม่ต่ำกว่า 10 เมตร จำนวน 3 ขั้บ เพื่อหาความสูญเสียจากการนวด การคัดแยกและทำความสะอาด

(3) การดำเนินงานหลังทำการทดสอบ การหา ความสูงตอซึ่งข้าวโดยการสุ่มวัดความสูงตอซึ่งข้าว ในพื้นที่แปลงข้าวที่ทำการเก็บเกี่ยวหลังทดสอบ จำนวน 100 ขั้บ นำไปหาความสูงตอซึ่งข้าวเฉลี่ย การหาการสูญเสียจากชุดหัวเกี่ยวโดยวางกรอบเก็บ ข้อมูลขนาด 0.5×2.0 ม. วางไว้บริเวณระยะห่าง ระหว่างล้อแทรก เก็บเมล็ดข้าวที่ร่วงบริเวณกรอบ เก็บข้อมูลนำไปชั่งน้ำหนักบนตีกข้อมูล เพื่อเก็บ ข้อมูลเมล็ดข้าวเปลือกที่ร่วงจากการเกี่ยวกระทำ 3 ขั้บ

(4) ทดสอบสมรรถนะการทำงานและกำลัง ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในพื้นที่ต่อเนื่อง [14] โดยใช้ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

2.6 ค่าชี้ผลการศึกษา

ค่าชี้ผลการศึกษาที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ ความสามารถในการทำงาน (ไร่/ชม.) เปอร์เซ็นต์ ความสูญเสียรวมจากการทำงาน และกำลังที่ต้องการเครื่องเกี่ยวนวดข้าว (กิโลวัตต์) [15, 17]

3. ผลการศึกษาและอภิปราย

การเก็บข้อมูลในพื้นที่ ความสูงต้นข้าวพันธุ์ พิษณุโลก 2 (ข้าวนาปรัง) ที่ทำการศึกษในช่วง 35.0 ถึง 64.0 ซม. (เฉลี่ย 54.23 ซม.) และมีมุม เอียงต้นข้าวระหว่าง 10.73 ถึง 55.62 องศาจาก แนวตั้ง (เฉลี่ย 19.51 องศาจากแนวตั้ง) ความหนาแน่นต้นข้าวมีค่าระหว่าง 308,800 ถึง 521,600 ต้น/ไร่ (เฉลี่ย 399,440 ต้น/ไร่) ผลผลิตสุกในช่วง 572.88 ถึง 734.49 กก./ไร่ (เฉลี่ย 649.72 กก./ไร่)

โดยมีความสูงตอซึ่งในช่วง 23.0 ถึง 40.0 ซม. (เฉลี่ย 34.98 ซม.) ความชื้นของเมล็ด (ฟาง) เฉลี่ย 28.84(54.86) เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และ อัตราส่วนเมล็ดต่อฟางเฉลี่ย เท่ากับ 0.56

3.1 ผลการศึกษา ความเร็วขับเคลื่อน และ ความเร็วเครื่องยนต์ที่มีผลต่อการสมรรถนะ การทำงานและกำลังของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูล ความสามารถในการทำงาน เปอร์เซ็นต์ความ สูญเสียรวม และกำลังที่ต้องการเครื่องเกี่ยวนวดข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2 3 4 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า (ตารางที่ 2) ความเร็วขับเคลื่อน และความเร็ว เครื่องยนต์ ต่างก็มีผลต่อความสามารถในการ ทำงานทางทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 1% และมี Interaction ระหว่างความเร็วขับเคลื่อน และ ความเร็วเครื่องยนต์ที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยมีความเร็วขับเคลื่อนเป็นอิทธิพลหลัก รองลงมาเป็น ความเร็วเครื่องยนต์ ส่วนตารางที่ 3 พบว่า มีเฉพาะ ความเร็วขับเคลื่อนที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความ สูญเสียรวมจากการทำงานในทางสถิติที่ระดับ นัยสำคัญ 1% ส่วนความเร็วเครื่องยนต์ และ Interaction ระหว่างความเร็วขับเคลื่อน และ ความเร็วเครื่องยนต์ไม่มีผลในทางสถิติ และตารางที่ 4 พบว่า ความเร็วขับเคลื่อน ความเร็วเครื่องยนต์ และ Interaction ระหว่างความเร็วขับเคลื่อน และ ความเร็วเครื่องยนต์ ต่างก็มีผลต่อกำลังที่ใช้เครื่อง เกี่ยวนวดข้าว ในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 1%

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ความสามารถในการทำงาน (ไร่/ชม.)

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Block	2	0.057	0.028	0.254	0.779
ความเร็ว ขับเคลื่อน (A)	2	57.257	28.628	255.961**	0.000
ความเร็ว เครื่องยนต์ (B)	2	1.800	0.900	8.045**	0.004
A * B	4	1.374	0.343	3.070*	0.047
Error	16	1.790	0.112		
Corrected Total	26	62.276			

** แตกต่างทางสถิติที่นัยสำคัญ 1%, * แตกต่างทางสถิติที่
นัยสำคัญ 5%

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน เปอร์เซ็นต์เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวม

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Block	2	1.754	0.877	0.688	0.517
ความเร็ว ขับเคลื่อน(A)	2	17.555	8.778	6.887 **	0.007
ความเร็ว เครื่องยนต์ (B)	2	2.096	1.048	0.822 ns	0.457
A * B	4	4.619	1.155	0.906 ns	0.484
Error	16	20.394	1.275		
Corrected Total	26	46.417			

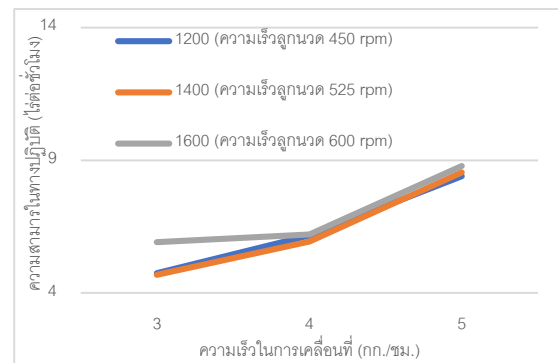
** แตกต่างทางสถิติที่นัยสำคัญ 1%, ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนกำลังที่ ต้องการเครื่องเกี่ยวนวดข้าว (กิโลวัตต์)

Source	df	SS	MS	F	Sig.
Block	2	1.472	0.736	1.323	0.294
ความเร็ว ขับเคลื่อน(A)	2	201.550	100.775	181.075**	0.000
ความเร็ว เครื่องยนต์(B)	2	448.237	224.119	402.702**	0.000
A * B	4	53.357	13.339	23.968**	0.000
Error	16	8.905	0.557		
Corrected Total	26	713.521			

** แตกต่างทางสถิติที่นัยสำคัญ 1%

จากข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะและกำลังเครื่อง
เกี่ยวนวดข้าว ดังภาพที่ 2 3 และ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า
เมื่อความเร็วขับเคลื่อน (ความเร็วการเคลื่อนที่) เพิ่มขึ้น
จาก 3 ถึง 5 กม./ชม. ที่ระดับความเร็วเครื่องยนต์ 1200
1400 1600 รอบ/นาที ทำให้ความสามารถในการทำงาน
ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวทางปฏิบัติเฉลี่ยเพิ่มขึ้น อยู่
ในช่วง 4.65 - 8.40 ไร่/ชม. 4.69 - 8.55 ไร่/ชม. และ 5.91
- 8.79 ไร่/ชม. ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวม
เฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 1.96 - 3.18% 1.49 - 3.45% และ
1.26 - 3.95 % ตามลำดับ [18] และกำลังที่ต้องการของ
เครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 6.39 - 16.14
11.47-18.89 และ 20.89-23.15 กิโลวัตต์ ตามลำดับ
เมื่อพิจารณาที่ความเร็วเครื่องยนต์เป็น 1400-1600
รอบ/นาที (ความเร็วลูกนวด 20.68-23.30 ม./วินาที)
และความเร็วขับเคลื่อนเพิ่มขึ้น 4 ถึง 5 กม./ชม. ได้
ความสามารถเครื่องเกี่ยวนวดข้าวทางปฏิบัติเฉลี่ย
ในช่วง 5.94 ถึง 8.79 ไร่/ชม. เปอร์เซ็นต์ความสูญเสีย
รวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.22 - 3.95% และใช้กำลังเครื่อง
เกี่ยวนวดข้าวอยู่ระหว่าง 17.62 ถึง 23.15 กิโลวัตต์
หรือพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 2.63 - 2.97 กิโลวัตต์-
ชั่วโมง/ไร่ หรือกิโลจูล/ไร่

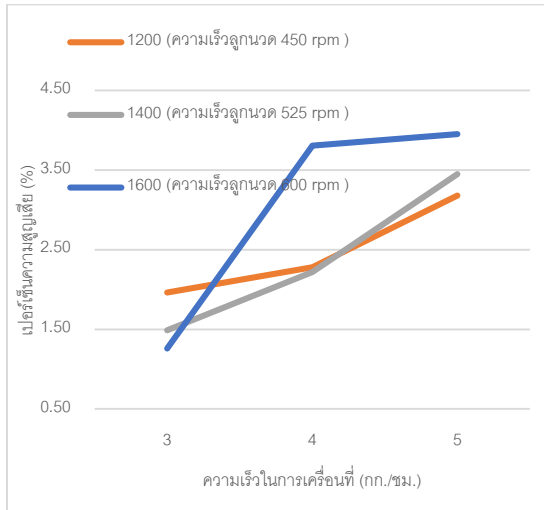


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว

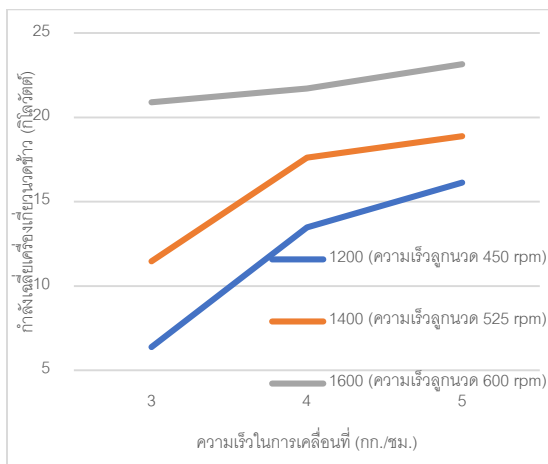
ในการเคลื่อนที่(ความเร็วขับเคลื่อน)

กับความสามารถในการทำงานเฉลี่ย

ที่ความเร็วเครื่องยนต์ 1200 1400 1600 รอบ/นาที



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่(ความเร็วขับเคลื่อน)กับเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวมเฉลี่ยที่ความเร็วเครื่องยนต์ 1200 1400 1600 รอบ/นาที



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่(ความเร็วขับเคลื่อน)กับกำลังที่ต้องการที่ความเร็วเครื่องยนต์ 1200 1400 1600 รอบ/นาที

3.2 ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานและกำลังของเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวในพื้นที่ต่อเนื่อง

การทดลองและเก็บข้อมูลในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน 2562 แปลงปลูกโดยวิธีการหว่าน พันธุ์พิษณุโลก 2 ความสูงต้นข้าวที่ทำการศึกษในช่วง 58 ถึง 92.0 ซม. (เฉลี่ย 76.20 ซม.) และมีมุมเอียงต้นข้าวระหว่าง 16.05 ถึง 42.72 องศาจากแนวดิ่ง (เฉลี่ย 28.53 องศาจากแนวดิ่ง) ความหนาแน่นต้นข้าว มีค่าระหว่าง 270,400 ถึง 281,600 ต้น/ไร่ (เฉลี่ย 273,920 ต้น/ไร่) ผลผลิตสุทธิในช่วง 731.20 ถึง 749.23 กก./ไร่(เฉลี่ย 740.87 กก./ไร่) โดยมีตอสูงในช่วง 41.00 ถึง 48.00 ซม. (เฉลี่ย 44.68 ซม.) ความชื้นของเมล็ด (ฟาง) เฉลี่ย 31.73(66.03) เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และอัตราส่วนเมล็ดต่อฟางเฉลี่ย เท่ากับ 0.51 เมื่อนำเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวทดสอบในสภาพแปลงต่อเนื่อง (ประมาณ 8 ไร่) ขับเคลื่อนด้วยความเร็วเฉลี่ย 4.77 กม./ชม. ทำให้ความสามารถในการทำงานในทางปฏิบัติเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.06 -8.61 ไร่/ชม. เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.05-4.10 % กำลังเฉลี่ยเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวอยู่ในช่วง 16.04-16.80 กิโลวัตต์ หรือพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 1.95-2.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ไร่ หรือกิโลจูล/ไร่ เนื่องจากสภาพแปลงข้าวต้นตั้ง ไม่ล้ม ความสูงและความหนาแน่นของต้นข้าวสม่ำเสมอ ทำให้การเกี่ยวขนาดข้าวโดยใช้เครื่องเกี่ยวขนาดง่าย ทำงานสะดวก และใช้กำลังน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของพืชต่าง ๆ [11] กำหนดให้ความเร็วเพลาลูกเบี้ยวเครื่องยนต์ 1300-1400 รอบ/นาที ความเร็วเพลาลอยขับเคลื่อน 1040-1120 รอบ/นาที (ความเร็วรอบลูกเบี้ยว 450-500 รอบ/นาที) ความเร็วคอล์ยเฉลี่ย 220 (รอบ/นาที) และความเร็วหัวเกี่ยว 130 รอบ/นาที ตามลำดับ

4. สรุปผล

ผลการศึกษาและทดสอบเครื่องเกี่ยวนวดข้าว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ความเร็วขับเคลื่อน ความเร็วเครื่องยนต์ และ Interaction มีความแตกต่างทางสถิติที่นัยสำคัญของความสามารถในการทำงาน และกำลังที่ต้องการ ส่วนเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวมมีผลเฉพาะความเร็วขับเคลื่อน

2) สมรรถนะการทำงานและกำลังที่ต้องการของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว พบว่า เมื่อความเร็วขับเคลื่อน 4-5 กม./ชม. และความเร็วเครื่องยนต์ 1400-1600 รอบ/นาที ได้ความสามารถในการทำงานอยู่ในช่วง 5.94 -8.79 ไร่/ชม. และกำลังที่ต้องการอยู่ในช่วง 17.6 2-23.15 กิโลวัตต์

3) ผลการทดสอบในสภาพต่อเนื่องเมื่อขับเคลื่อนด้วยความเร็วเฉลี่ย 4.77 กม./ชม. และความเร็วเครื่องยนต์เฉลี่ย 1430 รอบ/นาที พบว่า ความสามารถในการทำงานเฉลี่ยในช่วง 8.06-8.61 ไร่/ชม. เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวมเฉลี่ย 4.05-4.10 % กำลังเฉลี่ยเครื่องเกี่ยวนวดข้าว 16.04-16.80 กิโลวัตต์ หรือพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 1.95-2.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ไร่ หรือกิโลจูล/ไร่

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตร และวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400 ให้การสนับสนุนทุนวิจัย สถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/bappdata/files/Outlook%20Q1_2563.pdf
- [2] วินิต ชินสุวรรณ, สมชาย ขวนอุดม, วราจิต พยอม. การประเมินความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวข้าว. วารสารวิจัย มข. 2544; 6(1): 59-67.
- [3] วินิต ชินสุวรรณ, นิพนธ์ ป้องจันทร์, สมชาย ขวนอุดม, วราจิต พยอม. ผลของอัตราการใช้และความเร็วรถเกี่ยวที่มีต่อสมรรถนะการนวดของเครื่องนวดข้าวแบบไหลตามแกน. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 2546; 10(1): 9-14.
- [4] วินิต ชินสุวรรณ, นิพนธ์ ป้องจันทร์, สมชาย ขวนอุดม, วราจิต พยอม. ผลของดัชนีล้อโน้มที่มีต่อความสูญเสียในการเกี่ยวของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 2547; 11(1): 7-9.
- [5] จุฬาลักษณ์ อยู่ประสพโชค. การประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2558.
- [6] สาทิศ เวณจันทร์, จารุวัฒน์ มงคลธนทรศ, มานพ คันทามารัตน์ และ ทฤษฎี จันทรมานิตย์. 2548; วิจัยและพัฒนาเครื่องเกี่ยวนวดข้าวขนาดเล็ก. กลุ่มทดสอบและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตร สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. 27 p.

- [7] อติศักดิ์ ไสวอมร. การวิเคราะห์ความเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวข้าวโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2559.
- [8] คงเดช พะสีนาม, พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, ครุฑ วาทกิจ, จุฑญศักดิ์ สมพงษ์ และยงยุทธ เสี่ยงดัง. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ 2559; 2(2): 97-106.
- [9] กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. พื้นที่เป้าหมายส่งเสริมการปลูกข้าว ภายใต้การผลิตและการตลาดข้าวครบวงจรปี 2562/63 รอบที่ 1. เอกสารรายงาน กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ; 2562.
- [10] Sudajan S, Salokhe VM, Triratanasirichai K. Effect of Type of Drum, Drum Speed and Feed Rate on Sunflower Threshing. Biosystems Engineering. 2002; 83(4): 413–21.
- [11] Kalsirisilp R. Modification and performance evaluation of Thai-made rice combine harvester. [MEn Thesis]. Asian Institute of Technology: Bangkok Thailand; 2000.
- [12] Hunt D. Farm Power and Machinery. 9th Edition, Iowa State University Press, Ames, IOWA; 1995.
- [13] Box GE, Hunter WG and Hunter JS. Statistics for Experimenters. John Wiley and Sons: New York; 1978.
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องเกี่ยวนวดข้าว: กรุงเทพฯ; 2540.
- [15] RNAM. Test codes & Procedures for Farm Machinery Technical Series No. 12 Second Edition, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific; 1995.
- [16] Gomez KA and Gomez AA. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd Edition, John Wiley & Sons: New York; 1984.
- [17] FAO Production yearbooks. 1993; 4.
- [18] Junsiri C and Chinsuwan W. Prediction Equation for Header Losses of Combine Harvesters When Harvesting Thai Hom Mali Rice. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 2009; 31(6): 613-20.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

The Design and Development of a Radio-Controlled Lawnmower

ชัยณรงค์ หล่มช้างคำ^{1)*} จักรพันธ์ ออบมา²⁾ และ ประสิทธิ์ โสภา¹⁾Chainarong Lomchangkum^{1)*} Jagraphon obma²⁾ and Prasit Sopa¹⁾¹⁾สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น²⁾สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น¹⁾Department of Food and Biological Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University
of Technology Isan Khon Kaen Campus²⁾Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University
of Technology Isan Khon Kaen Campus

Received: 27 October 2021

Revised: 13 February 2022

Accepted: 9 March 2022

Available online: 24 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ รวมถึงการทดสอบสมรรถนะการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ ผลการออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ ต้นแบบ โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างรถตัดหญ้า ล้อขับเคลื่อน มอเตอร์เกียร์ ชุดวงจรควบคุม และแบตเตอรี่ ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ โดยใช้ขนาดความสูงของหญ้า 3 ระดับ คือ 6 9 และ 12 cm พบว่า ขนาดความสูงของหญ้าที่ 6 cm สามารถตัดหญ้าได้มากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มขนาดความยาวของหญ้าเป็น 9 และ 12 cm ความสามารถในการตัดหญ้าจะลดลงตามลำดับ เนื่องจากความสูงของหญ้าที่สูงขึ้น โดยความเร็วในการขับเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ± 0.41 m/s ความสามารถในการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ± 0.47 rai/hr ประสิทธิภาพในการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ $94.63 \pm 1.33\%$ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 1.60 ± 0.65 L/rai อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ± 0.15 kW.hr มีความสูญเสียหลังการตัดเฉลี่ยเท่ากับ $5.37 \pm 1.52\%$ และเปอร์เซ็นต์การตัดขาด 100%

คำสำคัญ: รถตัดหญ้า วิชยบังคับ คลื่นวิทยุ การควบคุมแบบไร้สาย

Abstract

The purposes of this research were to design and develop a radio-controlled lawnmower including testing the competency of a radio-controlled lawnmower. The result of designing and developing a radio-controlled lawnmower by a prototype radio-control which consists of a lawnmower structure, wheels, gear motor, control circuit, and battery. The result of testing the competency of a radio-controlled lawnmower by using three-level of grass height which are 6, 9, and 12 cm said that a lawnmower was working with its highest efficiency with 6 cm grass. The competency of a lawnmower when used to cut 9 and 12 cm grass are respectively lower because of the increase of grass height. The moving speed average is 1.00 ± 0.41 m/s. The competency average is 1.00 ± 0.47 rai/hr. The efficiency average is $94.63 \pm 1.33\%$. The fuel waste average is 1.60 ± 0.65 L/rai. The electric power waste average is 0.16 ± 0.15 kW.hr. The loss after cutting the average is $5.37 \pm 1.52\%$ and 100% of the cut off average.

Keywords: Lawn mower: Radio-Controll: Radio Wave: Remote control

*ติดต่อ: lomchangkum.c@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 087-945-1522

1. บทนำ

ประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศแบบร้อนชื้น เหมาะกับการทำเกษตรกรรม ทำไร่ ทำนา และทำสวน มีพื้นดินอุดมสมบูรณ์ปกคลุมไปด้วยพืช เช่น หญ้า จัดว่ามีส่วนที่ทำให้พื้นดินมีความชุ่มชื้น ในสนามหญ้าบางส่วนต้องการให้หญ้ามี แต่ต้องมีการควบคุมให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะกับสนาม เช่น สนามฟุตบอล สนามเด็กเล่น หรือสนามนั่งพักผ่อนบริเวณบ้านที่อยู่อาศัย ซึ่งเมื่อดูแลแล้วจะทำให้เกิดความเย็นตาสบายใจ ในส่วนของหญ้าเมื่อปล่อยทิ้งไว้นานวัน ก็ยิ่งเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงต้องมีการควบคุมให้หญ้านั้นมีความพอดีกับสนามที่ใช้ เนื่องจากสมัยปัจจุบันการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีทางด้านสิ่ง

อำนวยความสะดวกได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับมนุษย์ โดยเฉพาะรถตัดหญ้าที่มีการผลิตออกมาใช้กันอย่างแพร่หลายมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมต่อการใช้งาน การใช้รถตัดหญ้าแบบเดิม ๆ ที่มีขายกันอยู่ตามท้องตลาด ผู้ที่ใช้เครื่องต้องใช้วิธีการเดิน และแบบวิธีการสะพานเครื่องตัดหญ้าท่ามกลางแสงแดดที่ร้อนขึ้นทุกวันจากผลกระทบจากภาวะโลกร้อน [1-2]

รถตัดหญ้า คือเครื่องยนต์หรือเครื่องมือกลที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกลได้ เป็นหนึ่งในเครื่องต้นกำลังที่สำคัญสามารถจัดส่งกำลัง เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนไ้มัดด้วยความเร็ว โดยใช้ส่วนที่มีความคมของใบมีดเป็นตัวตัดหญ้า รถตัดหญ้าเป็นเครื่องยนต์เล็กมีจำนวน 1 สูบ 4 จังหวะ

โดยใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการใช้งาน เครื่องยนต์เล็กสามารถทำงานให้เราได้หลายอย่างในด้านต่าง ๆ ในต่างประเทศได้มีการนำเครื่องยนต์เล็กมาใช้งานทางด้านการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม เช่น เครื่องพ่นสารเคมี เครื่องสูบน้ำ เลื่อยยนต์ และในปัจจุบันการพัฒนาระบบควบคุมด้วยวิทยุบังคับ หรือระบบควบคุมแบบไร้สายได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและเข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมากไม่ว่าจะเป็นการใช้งานในวิทยุ โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ ระบบสื่อสารดาวเทียม ยานอวกาศ หรือระบบคอมพิวเตอร์ [3]

ประโยชน์ของการใช้ระบบควบคุมวิทยุบังคับแทนมนุษย์ คือลดความเสี่ยงในการทำงานของพื้นที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และอุบัติเหตุจากการทำงานใกล้เครื่องจักรในบริเวณดังกล่าวด้วยเหตุผลหลักที่ใช้ระบบควบคุมวิทยุบังคับ คืออำนวยความสะดวกและคล่องตัวในการทำงานนั่นเองมีการพัฒนาประยุกต์ใช้ในการเกษตรกรรมหลายอย่าง เช่น งานวิจัยเรืออัตโนมัติสามารถเคลื่อนที่ไปตามจุดที่กำหนด โดยใช้คนบังคับจากระยะไกลผ่านคลื่นวิทยุ หรือรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ และงานวิจัยการออกแบบหุ่นยนต์พ่นยากำจัดวัชพืชแบบไร้สายที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ [4]

จากความเป็นไปได้ที่กล่าวมาข้างต้น ระบบควบคุมด้วยวิทยุบังคับแทนแรงงานคนน่าจะเป็นประโยชน์ทางด้านการปฏิบัติงาน ลดการออกแรง ลดความเมื่อยล้าจากการเดินตามรถเข็นตัดหญ้า และการอยู่กลางแจ้งเป็นเวลานาน ๆ ดังนั้น งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการออกแบบโครงสร้างให้มีความแข็งแรงลดแรงการสั่นสะเทือน สามารถปรับระดับใบมีด

ตัดและติดตั้งระบบการขับเคลื่อนให้สามารถเดินหน้าถอยหลัง เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาได้ โดยใช้ระบบการควบคุมด้วยวิทยุบังคับ ให้สามารถทำการเปิด-ปิด และเร่งเครื่องยนต์สำหรับตัดหญ้าได้ โดยใช้รีโมทในการควบคุม เพราะในบางช่วงที่ทำการตัดหญ้าอาจมีความจำเป็นต้องเร่งเครื่องยนต์ นอกจากนี้รถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับต้นแบบยังสามารถใช้ในการรดน้ำในสนามหญ้า ใช้สำหรับดับเพลิงในสถานที่แคบได้ โดยใช้สายยางยึดติดกับโครงตัวรถ และอาจเป็นแนวในการต่อยอดและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับเครื่องตัดหญ้าในเกษตรกรรมของไทยต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

หลังจากได้ทำการศึกษาและตรวจเอกสารสำหรับการออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้า ตลอดจนปัญหาข้อจำกัดต่าง ๆ และข้อมูลที่สำคัญอื่น ๆ ที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าแบบวิทยุบังคับ [5, 6] ได้การกำหนดเกณฑ์และรายละเอียดในการออกแบบรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างตัวรถตัดหญ้า ล้อขับเคลื่อน มอเตอร์เกียร์ชุดวงจรควบคุม และแบตเตอรี่ มีรายละเอียดของการออกแบบดังนี้

2.1.1 โครงสร้างรถตัดหญ้า เป็นชิ้นส่วนที่รองรับและติดตั้งประกอบชิ้นส่วน อุปกรณ์ต่าง ๆ มีความกว้างความยาว สูง (50 x 100 x 32 cm) เป็นโครงสร้างที่ติดตั้งมีความแข็งแรงไม่เกิดการสั่นสะเทือนต่อการรองรับ ในการจับยึดและรองรับน้ำหนักของชิ้นส่วนที่เป็นชุดส่งกำลังชุดรับสัญญาณ และแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการประกอบโครงรถตัดหญ้าด้วยการเชื่อมไฟฟ้า ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างรถตัดหญ้าควบคุม
ด้วยวิทยุบังคับ

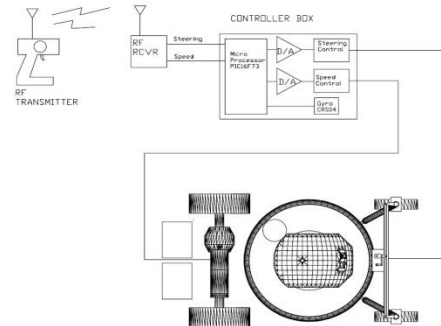
2.1.2 ล้อขับเคลื่อน (ล้อหลัง) เป็นชิ้นส่วนที่รองรับน้ำหนักของรถตัดหญ้าทั้งหมดและทำการหมุนขับเคลื่อนเพื่อให้รถตัดหญ้าเคลื่อนที่ได้ทั้งเดินหน้าและถอยหลัง โดยได้รับกำลังมาจากมอเตอร์เกียร์ล้อขับเคลื่อน ล้อหลัง 2 ล้อ มีขนาด 8 in หน้ากว้าง 2 cm ล้อหน้า 2 ล้อ ขนาด 5 in หน้ากว้าง 2 cm สามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 50 kg

2.1.3 มอเตอร์เกียร์ มีข้อดีคือ ให้ความสะดวกในการติดตั้ง ความเร็วรอบที่แม่นยำ สลับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าน้อยลงไม่ต้องเติมน้ำมันหล่อลื่น รวมทั้งยังไม่ต้องกังวลกับปัญหาสายพานขาด ขนาดกำลังไฟฟ้า 100 W 24 V ความเร็วรอบ 40 rpm แรงบิด 11.16 N.m และอัตราทด 26.25:1



รูปที่ 2 มอเตอร์เกียร์

2.1.4 ชุดวงจรควบคุม คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย รีเลย์ 4 ตัว ไตเวอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ รีโมทบังคับ ดังรูปที่ 3 รีชีฟเวอร์ตัวรับสัญญาณโดยออกแบบวงจรควบคุมตามแบบของ [7] Jay,1981 และสามารถส่งสัญญาณได้ 200 m



(a)



(b)

รูปที่ 3 (a) วงจรควบคุม (b) รีโมทบังคับ



รูปที่ 4 ใบมีดตัด

2.1.5 แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่สะสมพลังงาน และจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ เพื่อขับเคลื่อนให้รถตัดหญ้าเคลื่อนที่ ขนาด 12 V จำนวน 2 ลูก ต่อวงจรแบบกระแสดตรงในการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ได้ 1 hr ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบตเตอรี่ไฟฟ้า

2.2 การทดสอบและประเมินผลการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

การทดสอบและประเมินผลการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ ได้กำหนดขั้นตอนการทดสอบ 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 การทดสอบอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ ในขณะตัดหญ้า อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ ในขณะตัดหญ้าเป็นความสามารถของการเคลื่อนที่ของรถตัดหญ้าต่อเวลาในการตัดหญ้า โดยกำหนดขนาดความยาวของหญ้า 3 ระดับ คือ 6 9 และ 12 cm ทำการทดสอบโดยใช้หลักแฉวงเป็นอุปกรณ์การทดสอบ โดยเริ่มจับเวลาเมื่อรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ดังรูปที่ 6 จำนวนตัวอย่างละ 10 ซ้ำ บันทึกผล แล้วนำข้อมูลไปคำนวณหาอัตราเร็วในการตัดหญ้า คำนวณได้จากสมการที่ (1) [8]

$$V = \frac{S}{t} \quad (1)$$

เมื่อ V = อัตราความเร็วในการตัดหญ้า (m/min)

S = ระยะทางในการเคลื่อนที่ (m)

t = เวลาในการเคลื่อนที่ (min)



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 7 (a) ระดับความสูงของหญ้า (b) ความกว้างของใบมีด (c) การควบคุมรถตัดหญ้า

2.2.2 การทดสอบความสามารถในการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ เป็นการประเมินผลการทำงานของรถตัดหญ้า ค่าชี้ผลการทดสอบประกอบด้วย ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ ประสิทธิภาพในการทำงาน อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของ

แบตเตอรี่ เพอร์เซ็นความสูญเสียจากการตัดและการเลี้ยวหัวแปลง และเปอร์เซ็นต์การตัดขาด ขนาดความยาวของหญ้าที่ใช้ทดสอบ 3 ระดับ คือ 6.9 และ 12 cm พื้นที่ในการทดสอบขนาด 20 m² โดยใช้พื้นที่เดียวกัน รูปแบบวิธีการตัดหญ้า คือ การตัดหญ้าแบบวนจากด้านนอกเข้าด้านใน พื้นที่ทำการตัด ดังรูปที่ 9 ตามวิธีการทดสอบของ [3] Sritham et al., 2003 จำนวนตัวอย่างละ 10 ซ้ำ บันทึกผล แล้วนำข้อมูลไปคำนวณดังสมการที่ (2-6)

2.2.3 การทดสอบความสามารถในการทำงานของรถตัดหญ้าบังคับวิทยุ ผู้วิจัยได้หาความสามารถในเรื่องของเวลาในการตัดหญ้าโดยเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญ้าแบบเซ็น และรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

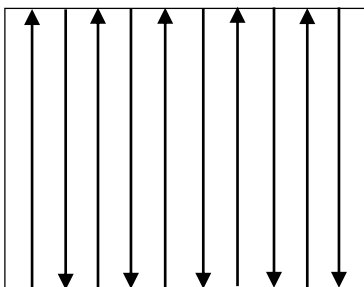


[1]



(b)

รูปที่ 8 (a) เครื่องตัดหญ้าแบบรถเซ็น (b) รถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ



รูปที่ 9 รูปแบบวิธีการตัดหญ้าทางยาวสลับหัวแปลง

$$\text{ความสามารถในการทำงานเชิง} = \frac{\text{หน้ากว้างความยาวของพื้นที่ (rai/hr)}}{\text{พื้นที่ทางหญ้า}} \quad (2)$$

$$\text{ความสามารถในการทำงานเชิง} = \frac{\text{หน้ากว้างความยาวของพื้นที่ (rai/hr)}}{\text{พื้นที่จริง}} \quad (3)$$

$$\text{ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ (L)/rai}}{\text{พื้นที่เครื่องจักรกลทำงานในแปลง}} \quad (4)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสูญเสีย} = \frac{\text{พื้นที่เครื่องจักรกลทำงานในแปลง (rai/hr)}}{\text{เวลาในการทำงาน}} \quad (5)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การตัดขาด} = \frac{\text{น้ำหนักของหญ้าที่ตัดได้ทั้งหมด (kg)}}{\text{น้ำหนักของหญ้าที่ตัดได้ทั้งหมด + น้ำหนักหญ้าที่ตัดไม่ขาด (kg)}} \times 100\% \quad (6)$$

2.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้หลักการทางสถิติวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) ANOVA โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยใช้วิธีของ Duncan เป็นตัวเปรียบเทียบ ตามรูปแบบแผนการทดสอบที่กล่าวมา เป็นตัววิเคราะห์ข้อมูล

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

จากการกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบและจากผลการศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบแล้ว จึงได้ออกแบบรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ ดังรูปที่ 10 โดยมีส่วนประกอบหลักประกอบด้วย 1. โครงรถตัดหญ้า 2. ล้อขับเคลื่อนล้อหลัง 3. ล้อขับเคลื่อนล้อหน้า 4. มอเตอร์เกียร์ 5. ชุดควบคุมวงจร 6. เครื่องตัดหญ้า และ 7. ตัวปรับระดับของใบมีดตัดหญ้า



รูปที่ 10 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

3.2 ผลการทดสอบและประเมินผลการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

การทดสอบและประเมินผลการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะและข้อจำกัดของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ สามารถแยกพิจารณาตามค่าชี้ผลการทดสอบต่าง ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบและประเมินผลการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ การเคลื่อนที่ในขณะตัดหญ้า โดยกำหนดขนาดความยาวของหญ้า 3 ระดับ คือ 6 9 และ 12 cm พบว่า ขนาดความสูงของหญ้าที่ 6 cm สามารถตัดหญ้าได้มากที่สุดแต่เมื่อเพิ่มขนาดความยาวของหญ้าเป็น 9 และ 12 cm ความสามารถในการตัดหญ้าจะลดลงตามลำดับ

เนื่องจากความสูงของหญ้าที่สูงขึ้นทำให้ตัวรถตัดหญ้าเกิดแรงต้านระหว่างหญ้ากับตัวรถ จึงส่งผลให้กำลังในการขับเคลื่อนช้าลง พลังที่ใช้มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยความเร็วในการขับเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ± 0.41 m/s ความสามารถในการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ± 0.47 rai/hr ประสิทธิภาพในการทำงาน $94.63 \pm 1.33\%$ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 1.60 ± 0.65 L/rai อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ± 0.15 kW.hr โดยแบตเตอรี่อยู่ได้นาน 1 hr มีค่าความสูญเสียหลังการตัดเฉลี่ยเท่ากับ $5.537 \pm 1.52\%$ และเปอร์เซ็นต์การตัดขาด 100% รีชาร์ตแบตเตอรี่ 15 min ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ [7] และ [3]

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบและประเมินผลการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ โดยเฉลี่ย

พื้นที่ทดสอบ 20 m ²							
ความสูงของหญ้า (cm)	อัตราเร็วในการขับเคลื่อน (m/s)	ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ (rai/hr)	ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ (%)	ค่าความสูญเสียหลังการตัด (%)	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (L/rai)	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW.hr)	เปอร์เซ็นต์ของหญ้าที่ตัดขาด (%)
6	$1.00^a \pm 0.41$	$1.00^a \pm 0.47$	$94.63^a \pm 1.33$	$5.37^a \pm 1.52$	$1.60^a \pm 0.65$	$0.16^a \pm 0.15$	$100.00^a \pm 0.00$
9	$0.80^b \pm 0.45$	$0.81^b \pm 0.45$	$91.99^b \pm 2.98$	$8.01^b \pm 3.68$	$1.97^b \pm 0.60$	$0.21^b \pm 0.64$	$98.40^b \pm 3.49$
12	$0.66^c \pm 0.25$	$0.67^c \pm 0.30$	$90.93^c \pm 2.54$	$9.07^c \pm 3.25$	$2.26^c \pm 0.33$	$0.28^c \pm 0.30$	$96.15^c \pm 2.40$

* ตัวอักษรที่เหมือนกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ส่วนผลการทดสอบการเปรียบเทียบเวลาทำงานของเครื่องตัดหญ้าแบบเซ็น และรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ ในพื้นที่ทดสอบขนาด 20 m² ทำการทดสอบความสูงของหญ้า 3 ระดับ จากตารางที่ 2 พบว่าใช้เครื่องตัดหญ้าแบบเซ็น ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 3 min 31 s และเมื่อใช้รถตัดหญ้าบังคับวิทยุใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 3 min 24 s ซึ่งผลของการตัดหญ้าโดยใช้รถตัดหญ้าบังคับวิทยุนั้นใช้เวลาเฉลี่ยในการทำงานน้อยกว่าการใช้รถตัดหญ้าแบบเซ็น

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบเวลาทำงานของเครื่องตัดหญ้าแบบเซ็น และรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับโดยเฉลี่ย

ความสูงของหญ้า (cm)	ระยะเวลาในการตัดหญ้า (min) ในพื้นที่ทดสอบ 20 m ²	
	ใช้เครื่องตัดหญ้าแบบเซ็น	ใช้รถตัดหญ้าบังคับวิทยุ
6	2 min 32 s	2 min 24 s
9	3 min 33 s	3 min 32 s
12	4 min 29 s	4 min 18 s
ค่าเฉลี่ย	3 min 31s	3 min 24 s

และเมื่อนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยกำหนดให้ราคาการตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ 30,000 Baht อายุการใช้งาน 3 year ความสามารถตัดหญ้าได้ 1rai/hr ทำงานวันละ 6 hr และ 90 day/year จำนวนผู้ปฏิบัติงาน 1 par พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 75 rai/year นั่นคือเกษตรกรหรือผู้รับจ้างจะต้องตัดหญ้าอย่างน้อยให้ได้ 75 rai/year ทุกปี เป็นระยะเวลา 3 year สำหรับระยะเวลาการคืนทุน พบว่ารถตัดหญ้าแบบวิทยุบังคับสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 0.40 year หรือ 1 mon

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบและประเมินผลการทำงานของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ การใช้ขนาดความสูงของหญ้า 3 ระดับ คือ 6 9 และ 12 cm พบว่า ขนาดความสูงของหญ้าที่ 6 cm สามารถตัดหญ้าได้มากที่สุด โดยใช้ระยะทาง ชนิดของหญ้าและพื้นที่เดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มขนาดความยาวของหญ้าเป็น 9 และ 12 cm ความสามารถในการตัดหญ้าจะลดลงเนื่องจากความสูงของหญ้าที่มากขึ้นทำให้ล้อรถและแรงต้านระหว่างหญ้ากับตัวรถทำให้เสียกำลังในการขับเคลื่อน และต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น โดยความเร็วในการขับเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ $1.00 \pm 0.41 \text{ m/s}$ ความสามารถในการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ $1.00 \pm 0.47 \text{ rai/hr}$ ประสิทธิภาพในการทำงาน $94.63 \pm 1.33\%$ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ $1.60 \pm 0.65 \text{ L/rai}$ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ $0.16 \pm 0.15 \text{ kW.hr}$ มีความสูญเสียหลังการตัดเฉลี่ยเท่ากับ $5.37 \pm 1.52\%$ เปอร์เซ็นต์การตัดขาด 100% และสัญญาณได้ถึง 200 m ส่วนผลการทดสอบการเปรียบเทียบเวลาทำงานของเครื่องตัดหญ้าแบบเซ็น และรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ การตัดหญ้าโดยใช้รถตัดหญ้าบังคับวิทยุนั้นใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าการใช้รถตัดหญ้าแบบเซ็น โดยใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 3 min 24 s โดยรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับนี้มีจุดคุ้มทุนในการผลิตอยู่ที่ 75 rai/year มีระยะเวลาการคืนทุนภายในระยะเวลาประมาณ 0.40 year หรือ 1 mon

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น สำหรับสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Prappai W, Mawong S, and Wongprasert A. The Lawn Mower Control by Computer. (Bachelor of Engineering, Curriculum). Chonburi: Burapha University; 2011.
- [2] Pornwarakhachonkul K, Rachkratok C, Wongsr T and Niyomphant S. Radio controlled lawn mower. Industrial Technology Journal. 2020; 5(1): 51 - 60.
- [3] Sritham P, Sarangkham R, Cherdchai D and Sritham S. The Design and Construction of remote control lawn mower by radio wave. The 5th Rajamangala University of Technology National Conference; 2003 March 17-19; Thailand. 2003.
- [4] Addoddorn C. The Design and Construction of Wireless Spray Weeds Robot Controlled by Microcontroller. KKU Engineering Journal. 2010; 37(1): 19-27.
- [5] Shigley JE, Mischke CR. Mechanical Engineering Design. 5th ed: McGraw-Hill. 1989.
- [6] Krutz G, Thomson L, and Claar P. Design of Agricultural Machinery. John Wiley and Sons. New York: Chichester Brisbane, Toronto, Singapore; 1994.
- [7] Jay. Small Engine-operation and service. Chicago: American Technical. Motion Japan Rolling Bearing; 1981.
- [8] Nontasriwiwat S. The development of a radio-controlled lawnmower. [Thesis]. Lopburi: Thepsatri Rajabhat University; 2005.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

เครื่องอัดแท่งชีวมวลจากเศษวัสดุทางการเกษตรแบบกึ่งอัตโนมัติ

Semi-automatic biomass pellets from agricultural waste

บุญฤทธิ์ บัวระบติ

Boonyarid Buarabut

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ตำบลพลวง อำเภอเขาฉิมชัญญ จังหวัดจันทบุรี 22210

Department of Mechanical Technology, Faculty of Agricultural Industry Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Tambon Pluang, Amphur Khaokhitchakut Chanthaburi 22210, Thailand.

Received: 5 November 2021

Revised: 4 February 2022

Accepted: 9 March 2022

Available online: 24 June 2022

บทคัดย่อ

เครื่องอัดแท่งชีวมวลจากเศษวัสดุทางการเกษตรแบบกึ่งอัตโนมัติ มีมิติของเครื่องขนาด 50x80x53 เซนติเมตร น้ำหนักเครื่องเปล่า 42 กิโลกรัม ทำการทดสอบอัดแท่งกับวัสดุทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิด คือ ใบปาล์มสด ใบกล้วยสด และใบตองเต้าสด ที่ความเร็วรอบสกรูอัด 290 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ร้อยละ 96.75 ความสามารถในการอัดแท่งชีวมวลสูงสุด 43.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แท่งชีวมวลที่ได้จากเครื่องอัดแท่งชีวมวล มีลักษณะหกเหลี่ยม ขนาด 5x10 เซนติเมตร ให้ค่าความร้อน 4,238 3,597 และ 4,025 แคลลอรี่ต่อกรัม ตามลำดับ และทำการทดสอบต้มน้ำสามารถทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงสุด 87 องศาเซลเซียส ในช่วงระยะเวลา 20-27 นาที มีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรอยู่ที่ 180-205 ชั่วโมงต่อปี และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 43-49 ชั่วโมงต่อปี

คำสำคัญ: กึ่งอัตโนมัติ เศษวัสดุทางการเกษตร ชีวมวล

Abstract

Semi-automatic biomass pellets from agricultural waste The machine's dimensions are 50x80x53 cm, the weight of the machine 42 kg, Tests were conducted on 3 agricultural materials: fresh palm leaves, fresh banana leaves and fresh Mallotus barbatus leaves, at speeds Compression Screws 290 rpm. Machine performance 96.75% biomass compression capacity up to 43.8 kg per hour. Biomass pellets obtained from biomass bar presses Hexagonal, 5x10 cm, heating values 4,238, 3,597 and 4,025 calories per gram, respectively, and water boiling tests can bring water to a maximum temperature of 87 degrees Celsius. During the 20-27-minute period, the machine pay-back period is 180-205 hours per year and the break-even point is 43-49 hours per year.

Keywords: Semi-automatic: Agricultural waste: Biomass

*ติดต่อ: boonyarid_bu@rmutto.ac.th โทรศัพท์: 087-148-3234

1. บทนำ

ณ ปัจจุบันการทำการเกษตรของประเทศไทย มีพื้นที่ทำการเกษตร 149.25 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 46.53 จากพื้นที่ทั้งหมด 320.696 ล้านไร่ [1] ซึ่งในหลายพื้นที่มักพบกับปัญหาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการทำการเกษตรหรือแม้แต่วัชพืชขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นในพื้นที่เพาะปลูก ทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องหาวิธีการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งโดยส่วนมากแล้วเกษตรกรมักจะทำการฉีดพ่นด้วยสารเคมีกำจัดวัชพืช ซึ่งง่ายต่อการบริหารจัดการของเกษตรกร แต่อีกทางหนึ่งก็เป็นการเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายในการทำการเกษตร และอาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่อาจมีสารเคมีตกค้างในผลผลิต อาจนำไปสู่การไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และส่งผลให้ผลผลิตอาจไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการส่งออก ซึ่งจากปัญหาเศษวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการทางการเกษตร หากมีวิธีการบริหารจัดการที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการให้กับเกษตรกรได้ก็จะเป็นผลดีกับเกษตรกร โดยหากนำมาผลิตเป็นชีวมวล อาจสามารถลดค่าใช้จ่าย

และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรได้อีกทางหนึ่งด้วย หากกล่าวถึงชีวมวล ปัจจุบันมีความต้องการเป็นอย่างมากทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ รวมถึงมีการสนับสนุนจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อลดปัญหาการตัดไม้เพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงทางความร้อน จากการศึกษาคุณสมบัติของชีวมวลจากทะลายปาล์มน้ำมันให้ค่าความร้อน 4,383 แคลลอรี่ต่อกกรัม [2] รวมถึงการศึกษาชีวมวลจากผักตบชวาที่ให้ค่าความร้อนระหว่าง 4,700-5,700 แคลลอรี่ต่อกกรัม [3] และจากการศึกษา [5] ได้นำเปลือกมังคุดมาผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถให้ค่าความร้อนสูงถึง 5,920 แคลลอรี่ต่อกกรัม และมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทย [6] คาดว่ามีประมาณ 60 ล้านตัน ซึ่งหากมีการนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำการแปรสภาพอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการให้กับเกษตรกร ซึ่งจะทำให้ปัญหาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางภาคการเกษตรลดน้อยลง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดแท่งชีวมวลจากเศษวัสดุทางการเกษตรแบบกึ่งอัตโนมัติ ประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องศึกษาคุณสมบัติของแท่งชีวมวล และประเมินความคุ้มค่าในการทำงาน

2. วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอัดแท่งชีวมวล

โครงสร้างทำจากเหล็กฉากขนาด 5 x 5 x 0.3 เซนติเมตร และมีมิติของเครื่องขนาด 50 x 80 x 53 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 โดยใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์กระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ 13.7 แอมป์ 2.2 กิโลวัตต์ คำนวณจากสมการที่ (1) และ (2) (ดังรูปที่ 1ก1)

$$I = \frac{P}{V} \times PF \times \text{eff.} \quad (1)$$

$$P = V \times I \times PF \times \text{eff.} \quad (2)$$

โดยที่

I = กระแสมอเตอร์ (แอมป์)

V = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

PF = ตัวประกอบกำลังของมอเตอร์

eff. = ประสิทธิภาพของมอเตอร์

ในการออกแบบหาอัตราทด (ดังรูปที่ 1ก2) และความเร็วรอบในการหมุนของสกรุนำวัสดุ (ดังรูปที่ 1ก6) คำนวณจากสมการที่ (3) และ (4)

$$I = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

โดยที่

I = อัตราทด (รอบต่อนาที)

n_1 = ความเร็วรอบพูลเลย์ขับ (รอบต่อนาที)

n_2 = ความเร็วรอบพูลเลย์ตาม (รอบต่อนาที)

โดยที่

$$Q_s = k \frac{\pi}{4} ((D_f - D_s)^2 p n w C) \quad (4)$$

Q_s = อัตราขนถ่ายวัสดุ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

k = ประสิทธิภาพในการบรรจุวัสดุลง

ระหว่างเกลียว = 1

D_f = เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว (เซนติเมตร)

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลากลียว

(เซนติเมตร)

p = ระยะห่างระหว่างเกลียว (เซนติเมตร)

n = ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

w = น้ำหนักของวัสดุ (กิโลกรัม)

C = แฟคเตอร์เนื่องจากมุมเอียงตามแนวรอบ = 1

ทำการสร้างแท่งอัดชีวมวล ด้วยกระบอกลูกเหล็กทรงกลมด้านในรูปทรงหกเหลี่ยมกลวงเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 1ก7) รุกกลวงด้านในแท่งชีวมวลขนาด 0.5 เซนติเมตร และทำการตัดแท่งเชื่อมเพลิงชีวมวลด้วยหัวตัดใบมีดเฉียง 45 องศา โดยรับแรงจากปั๊มลมขนาด 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วส่งผ่านลมไปยังกระบอกลูกสูบ นิวแมติกส์แบบทางเดียว ขนาด 2.54 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 1ก3) คำนวณจากสมการที่ (5) และ (6) โดยระยะ ความยาวของแท่งชีวมวลถูกกำหนดระยะความยาวด้วย Limit switch (ดังรูปที่ 1ก4)

$$A = \frac{D^2 \times \pi}{4} \quad (5)$$

$$Vt = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

โดยที่

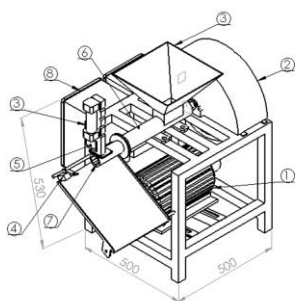
A = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (ตารางเซนติเมตร)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ

(เซนติเมตร)

Vt = ความเร็วของลูกสูบ (เมตรต่อนาที)

Q = อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่ลูกสูบ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบ

ก) ส่วนประกอบเครื่องต้นแบบ ข) เครื่องต้นแบบ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องอัดแท่งชีวมวล มีข้อมูลจำเพาะของเครื่อง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอัดแท่งชีวมวล แบบกึ่งอัตโนมัติ

	มิติเครื่องจักร
ความกว้าง	50 เซนติเมตร
ความยาวยาว	80 เซนติเมตร
ความสูง	53 เซนติเมตร
น้ำหนัก	45 กิโลกรัม
ความยาวใบมีด	10 เซนติเมตร
ระยะชักลูกสูบ	30 เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางสกรูอัด	9 เซนติเมตร
มอเตอร์	2.2 กิโลวัตต์

ปีมลม 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.2 ประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องอัดแท่งชีวมวล

2.2.1 เตรียมตัวอย่างและการทดสอบตัวอย่าง

ในการทดสอบประกอบด้วย ใบปาล์มสด (ดังรูปที่ 2 ก) ใบกล้วยสด (ดังรูปที่ 2 ข) และใบตองเต้าสด (ดังรูปที่ 2 ค) โดยวัสดุทดสอบผ่านกระบวนการสับย่อยลดขนาด ด้วยเครื่องสับย่อยใบมีดแนวตั้ง น้ำหนักชนิดละ 45 กิโลกรัม



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

อัตราส่วนผสมของตัวอย่าง วัสดุทดสอบ : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำเปล่า โดยใบปาล์มสดใช้อัตราส่วนผสม 1:0.5:0.5 ใบกล้วยสดใช้อัตราส่วนผสม 1:0.5:0.25 และใบตองเต้าสดใช้อัตราส่วนผสม 1:1:0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งอัตราส่วนผสมที่นำมาใช้กับตัวอย่างแต่ละชนิด ผ่านการทดสอบหาอัตราส่วนที่ผสมมาแล้วตัวอย่างละ 3 อัตราส่วนผสม โดยทำการวิเคราะห์จากลักษณะทางกายภาพของแท่งชีวมวล (การคงรูป) หลังการอัดแท่ง และนำอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดของแต่ละชนิดมากำหนดอัตราส่วนผสมในการทดสอบนำส่วนผสมทั้งหมดมาทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวด้วยเครื่องกวนผสมแบบใบกวนแนวนอน เป็นระยะเวลา 10 นาที ก่อนทำการอัดแท่ง

2.2.2 การทดสอบอัดแท่งชีวมวล

1) ทำการทดสอบอัดแท่งชีวมวล จากวัสดุทดสอบ ทั้ง 3 ชนิด ด้วยอัตราส่วนผสมที่กำหนดโดยการอัดแท่งชีวมวลแบบต่อเนื่อง เฉลี่ยครั้งละ 5.5 กิโลกรัม

2) ทำการอัดแท่งชีวมวลด้วยความเร็วรอบของสกรูอัด 290 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่ให้ค่าความสามารถของเครื่องและลักษณะทางกายภาพของแท่งชีวมวลได้ดีที่สุด โดยความเร็วรอบที่เหมาะสมมาจากการทดสอบหาความเร็วรอบในการทดสอบเบื้องต้น จำนวน 3 ความเร็วรอบ คือ 240, 290 และ 360 รอบต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งมีช่วงความเร็วรอบในการอัดใกล้เคียงกับ [7] ที่มีช่วงความเร็วรอบ อยู่ในช่วง 200 – 500 รอบต่อนาที ปรับเปลี่ยน ความเร็วรอบด้วยการเปลี่ยนขนาดพูลเลย์ตัวตาม (n_2) ดังสมการที่ 3 ทำการทดสอบอัดวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 3 ซ้ำ ทำการประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องอัดแท่งชีวมวล และหาค่าความสามารถของเครื่อง ดังสมการที่ (7) (8) (9) (10) และ (11) [8] ดังนี้

$$Ar = \frac{L}{T} \times 100 \quad (7)$$

$$Pr = \frac{N}{T} \times 100 \quad (8)$$

$$Qr = \frac{Q}{q} \times 100 \quad (9)$$

$$OEE = \frac{Ar}{100} \times \frac{Pr}{100} \times \frac{Qr}{100} \times 100 \quad (10)$$

$$Cp = \frac{c}{t} \quad (11)$$

โดยที่

Pr = ประสิทธิภาพการทำงาน (ร้อยละ)

Ar = อัตราความเร็วรอบในการใช้งาน (ร้อยละ)

Qr = อัตราคุณภาพ (ร้อยละ)

OEE = ประสิทธิภาพเครื่องจักรโดยรวม (ร้อยละ)

Cp = ความสามารถของเครื่อง (ร้อยละ)

T = เวลาที่เครื่องจักรอัดแท่งชีวมวล (ชั่วโมง)

L = เวลาการเดินทางเครื่องอัดแท่งชีวมวล (ชั่วโมง)

N = เวลาเดินเครื่องสุทธิ (ชั่วโมง)

= (เวลาเดินเครื่องเปล่า - L)

O = จำนวนแท่งชีวมวลที่ได้ตามข้อกำหนด (แท่ง)

q = จำนวนแท่งชีวมวลทั้งหมด (แท่ง)

c = น้ำหนักวัตถุดิบ (กิโลกรัม)

t = เวลาในการอัดแท่งชีวมวล (ชั่วโมง)

3) ทำการเก็บและบันทึกผลข้อมูล เวลา น้ำหนัก ความชื้น และลักษณะทางกายภาพของแท่งชีวมวล ดังสมการที่ (12) (13) และ (14)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (12)$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (13)$$

$$C.V. = \frac{S.D.}{\bar{x}} \times 100 \quad (14)$$

โดยที่

$\sum_{i=1}^n x_i$ = ผลรวมของข้อมูลจากการวัดแท่งชีวมวล (ความยาว, ความกว้าง)

n = จำนวนแท่งชีวมวลทั้งหมด (แท่ง)

2.3 ศึกษาคุณสมบัติของแท่งชีวมวล และประเมินความคุ้มค่าในการทำงาน

ทำการลดความชื้นแท่งชีวมวล ด้วยเครื่องอบแบบอากาศร้อนเวียนกลับ (Fluidized bed) [9] เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแท่งชีวมวลไปทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ดังสมการที่ (15) (16) (17) (18) (19) และ (20) ตามลำดับ

2.3.1 คำนวณหาค่าความร้อน ตามมาตรฐาน (ASTM D5865)

นำตัวอย่างแท่งชีวมวลมาทำการคำนวณหาค่าความร้อนแบบ Normal หาค่า Gross heat of combustion [10] ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter โดยคำนวณค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงได้ดังสมการที่ (15)

$$Q_t = \frac{TW - c_1 - c_2 - c_3}{m} \quad (15)$$

โดยที่

Q_t = ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงรวม

(แคลลอรี่ต่อกรัม)

T = ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

W = ค่าสมมูลย์ทางพลังงานของแคลลอรี่

มิเตอร์ (2,426 แคลลอรี่ต่อองศาเซลเซียส)

m = มวลของแท่งชีวมวลตัวอย่าง (กรัม)

c_1 = ค่าความร้อนที่เกิดจากการดไนตริก

(แคลลอรี่ต่อเซนติเมตร)

c_2 = ค่าความร้อนที่เกิดจากการดซัลฟูริก

(แคลลอรี่ต่อเซนติเมตร)

c_3 = ค่าความร้อนที่เกิดจากขดลวดไฟฟ้า

(แคลลอรี่ต่อเซนติเมตร)

2.3.2 คำนวณหาปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน (ASTM D3173)

นำตัวอย่างแท่งชีวมวลมาทำการคำนวณหาค่าความชื้น ดังสมการที่ (16)

$$M = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \quad (16)$$

โดยที่

M = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2.3.3 คำนวณหาปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน (ASTM D3174)

นำตัวอย่างแท่งชีวมวลมาทำการคำนวณหาปริมาณเถ้าดังสมการที่ (17)

$$As = \frac{(K-Dc)}{F} \times 100 \quad (17)$$

โดยที่

As = ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)

K = น้ำหนักของเถ้าและถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

Dc = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

F = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

2.3.4 คำนวณหาปริมาณสารระเหยตามมาตรฐาน (ASTM D3175)

นำตัวอย่างแท่งชีวมวลมาทำการคำนวณหาปริมาณสารระเหย ดังสมการที่ (18) และ (19)

$$Wc = \frac{(G-h)}{G} \times 100 \quad (18)$$

โดยที่

Wc = น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป (ร้อยละ)

G = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

h = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$$Lp = Wc - M \quad (19)$$

โดยที่

Lp = ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)

2.3.5 คำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน (ASTM D3172)

นำตัวอย่างแท่งชีวมวลมาทำการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว ดังสมการที่ (20)

$$Fc = (M + As) + Lp \quad (20)$$

โดยที่

Fc = ปริมาณคาร์บอนคงที่ (ร้อยละ)

วิเคราะห์ความหนาแน่นของแท่งชีวมวล ดังสมการ (21)

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (21)$$

โดยที่

ρ = ความหนาแน่นของแท่งชีวมวล

(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m = มวลของแท่งชีวมวล (กรัม)

v = ปริมาตรของแท่งชีวมวล

(ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2.3.6 คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อน

นำแท่งชีวมวลมาทำการหาประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อน (หุงต้ม) [11] ดังสมการที่ (22)

$$HU = \frac{[m_1 c (T_2 - T_1)] + (m_1 - m_2)L}{mQ} \times 100 \quad (22)$$

โดยที่

HU = ประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละ)

m_1 = น้ำหนักเริ่มต้นของน้ำ (กรัม)

m_2 = น้ำหนักน้ำที่เหลือ (กรัม)

c = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ

(1 แคลลอรี่ต่อองศาเซลเซียส)

L = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

(540 แคลลอรี่ต่อกรัม)

m = มวลของแท่งชีวมวลเริ่มต้น (กรัม)

T_1 = อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำสุดท้าย (องศาเซลเซียส)

2.3.7 ประเมินความคุ้มค่าในการทำงาน

ทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ของการใช้เครื่องอัดแท่งชีวมวล [12] ดังสมการที่ (23) และสมการที่ (24) ระยะเวลาคืนทุนเครื่องอัดแท่งชีวมวล (Pay-back period)

$$PBP = \frac{P}{R} \quad (23)$$

โดยที่

PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ชั่วโมงต่อปี)

P = ราคาเครื่องจักร (บาท)

R = กำไรสุทธิต่อปี (บาทต่อปี)

จุดคุ้มทุนเครื่องอัดแท่งชีวมวล (Break-even point)

$$BEP = \frac{Fc}{Bc - Vc} \quad (24)$$

โดยที่

BEP = จุดคุ้มทุน (ชั่วโมงต่อปี)

Fc = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

Bc = อัตราการรับจ้าง (บาทต่อชั่วโมง)

Vc = ค่าใช้จ่ายในการทำงาน

(บาทต่อชั่วโมง)

3. ผลการวิจัย

เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบกึ่งอัตโนมัติ ทำการทดสอบกับวัสดุทดสอบ 3 ชนิด คือ ใบปาล์มสด ใบกล้วยสด และใบตองเต้าสด ตามลำดับ ได้ผลการทดสอบแท่งชีวมวลดังนี้

1) ลักษณะทางกายภาพของแท่งชีวมวล (ดังรูปที่ 3ก) น้ำหนัก ความเร็ว และความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดแท่งชีวมวล จากการทดสอบแท่งชีวมวลจำนวน 315 แท่ง ดังตารางที่ 2-4



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของแท่งชีวมวล

ก) แท่งชีวมวลจากใบปาล์มสด

ข) แท่งชีวมวลจากใบกล้วยสด

ค) แท่งชีวมวลจากใบตองเต้าสด

ตารางที่ 2 น้ำหนักเฉลี่ยของแท่งซีเมนต์ (กรัม)

	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.	%C.V.
ใบปาล์มสด	115.0	171.0	147.4	10.8	7.3
ใบกล้วยสด	8.0	19.0	13.8	2.1	15.2
ใบตองเต้าสด	21.7	65.2	39.2	6.9	17.6

ตารางที่ 3 ความเร็วเฉลี่ยของการอัดแท่งซีเมนต์ (วินาที)

	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.	%C.V.
ใบปาล์มสด	8.0	19.0	13.85	2.10	15.22
ใบกล้วยสด	8.0	19.0	13.78	2.05	14.8
ใบตองเต้าสด	10.0	18.0	13.56	4.78	13.16

ตารางที่ 4 ความสามารถของเครื่องในการอัดแท่งซีเมนต์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.	%C.V.
ใบปาล์มสด	21.79	65.25	39.26	6.93	17.65
ใบกล้วยสด	29.93	80.10	43.85	7.30	16.66
ใบตองเต้าสด	24.20	59.04	40.32	6.28	15.59

2) ผลการทดสอบคุณสมบัติของแท่งซีเมนต์ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแท่งซีเมนต์

	Wbc	Wac	Mc	ρ	Hv	As	Vc	Fc
PL	147.47	133.45	9.507	0.029	4,237	15.23	45.13	69.867
BL	164.13	151.35	7.786	0.065	3,597	11.25	49.94	68.976
MbL	149.29	137.60	7.830	0.029	4,025	13.67	38.60	60.100

โดยที่

Wbc = น้ำหนักเปียกต่อแห้ง (กรัม)

Wac = น้ำหนักแห้งต่อแห้ง (กรัม)

Mc = ความชื้น (ร้อยละ)

Hv = ค่าความร้อน (แคลลอรี่ต่อกรัม)

As = ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)

Vc = ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)

Fc = ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)

ρ = ความหนาแน่น

(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

PL = ใบปาล์ม

BL = ใบกล้วย

MbL = ใบตองเต้า

3) ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิและเวลาในการต้ม น้ำ เริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิของน้ำสูงสุด และลักษณะแห้งชีวมวลขณะเผาไหม้

Typ	water	Time	Temperatur	Characteristi
e	maximum	(min)	e rise rate	c while
	Temperatur	Avg.	(°C min ⁻¹)	burning
	e		Avg.	500g Time ⁻¹
	(°C)			
PL	87	27.3	3.18	ติดไฟง่าย
		0		เผาไหม้เร็ว
BL	76	20.3	3.73	ติดไฟยาก
		5		เผาไหม้เร็ว
MbL	82	22.1	3.70	ติดไฟง่ายเผา
		5		ไหม้เร็ว

4) ผลการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดแท่งชีวมวล ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งชีวมวลโดยรวม

Availability	Performance	Quality	OEE
Rate (%)	Efficiency(%)	Rate (%)	(%)
99.87	99.87	97.00	96.75

5) ผลการประเมินความคุ้มค่าในการทำงานของเครื่องอัดแท่งชีวมวล มีต้นทุนคงที่ 25,000 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี และมีค่าเสื่อมราคาร้อยละ 5 ต่อปี ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการประเมินความคุ้มค่าในการทำงานของการอัดแท่งชีวมวลทั้ง 3 ชนิด

	PBP	BEP
	(ชั่วโมงต่อปี)	(ชั่วโมงต่อปี)
ใบปาล์มสด	205.6	49.1
ใบกล้วยสด	180.8	43.2
ใบตองเต้าสด	199.2	47.5

4. อภิปรายผลการทดสอบ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบกึ่งอัตโนมัติ มีกำลังการผลิตสูงสุด ประมาณ 43.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าความสามารถใกล้เคียงกับ [4]

ซึ่งแท่งชีวมวลที่ได้ทำการทดสอบทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากเศษวัสดุทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ [13] ดัง รูปที่ 4 พบว่ามีค่าความร้อนใกล้เคียงกับเศษวัสดุทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้ความร้อนทางเลือกให้กับเกษตรกรได้



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความร้อน

ที่มา : สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2550.

และหากทำการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลในเชิงอุตสาหกรรม วัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,597- 4,237 แคลลอรี่ต่อกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขายแท่งชีวมวล [14] โดยมีค่าความร้อนระหว่าง 3,000 – 5,000 แคลลอรี่ต่อกรัม ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าหากมีการนำวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดไปอัดแท่งชีวมวล ก็จะสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย และทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

5. สรุปผลการทดสอบ

เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่สร้างขึ้นทำการทดสอบอัดแท่งชีวมวล รูปทรงหกเหลี่ยมที่มีความเร็วรอบ 290 รอบต่อนาที ความสามารถในการอัดแท่งชีวมวล 43.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมงมีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องร้อยละ 96.75 ให้ค่าความร้อน

ระหว่าง 3,597 - 4,237 แคลลอรี่ต่อกรัม จากการทดสอบต้มน้ำสามารถทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงสุด 87 องศาเซลเซียส ในช่วงระยะเวลา 20 - 27 นาที โดยมีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรอยู่ที่ 180 - 205 ชั่วโมงต่อปี และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 43 - 49 ชั่วโมงต่อปี

6. กิตติกรรมประกาศ

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. เนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ; 2563.
- [2] ธราพงษ์ วิจิตรานันต์ และ สวัสดิ์ จันทรานุกัษ. การผลิตถ่านอัดก้อนที่มีคุณภาพสูงจากวัสดุเหลือใช้โดยใช้เครื่องอัดแท่งชนิดเกลียว. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2543.
- [3] นพพร สุกใจธรรม. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2553.
- [4] ผกามาศ น้อยสุวรรณ, กันตพงษ์ แซ่โล, พีรณัฐ อันสุรีย์ และ กิตติพงษ์ ลาคุณ. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของกากหม้อกรองในกระบวนการผลิตน้ำตาลสำหรับขึ้นรูปเป็นชีวมวลอัดเม็ด. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ. 2564; 7(2): 105-19.

- [5] สังเวย เสวกวิหारी. ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร; 2555.
- [6] The Bangkok insight. ชีวมวล พลังงานสีเขียวเป็นมิตรต่อโลก. The Bangkok insight Editorial Team. (สื่อบนออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 1 กันยายน 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.thebangkokinsight.com>.
- [7] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น. การพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านในรูปแบบเกลียวอัดเย้นสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตกาแฟชุมชนและการหาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงจากผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง. 2559; 9(1): 34-48.
- [8] อนุศักดิ์ ฉันทไพศาล. การบำรุงรักษา. ซีอีอูเคชั่น: กรุงเทพฯ; 2557.
- [9] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง. มผช. 238/2547. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [10] Fuel Calorimetry Test. Department of Food Technology. Faculty of Agricultural Industrial Technology Rajamangala University of Technology Tawan-Ok ; 2021.
- [11] Thanapol T. Community-Based Renewable Energy from Biomass Briquettes Fuel from Coconut Leaf. Journal of Science and Technology. 2015; 23(3): 418-31.
- [12] จตุรงค์ ลังกาพันธุ์. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการใช้เครื่องจักรกลเกษตรเบื้องต้น. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี: ปทุมธานี; 2563.
- [13] งานพัฒนาพลังงานจากไม้. รวบทคัดย่องานวิจัย พ.ศ. 2525-2550. กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้; 2550.
- [14] SME in Focus ส่องตลาด Biomass 'ที่พีเอ็นกรีน' ผู้เปลี่ยนขยะเกษตรเป็นเชื้อเพลิง. SME Social Planet. (สื่อบนออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 1 กันยายน 2564]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.bangkokbanksme.com>



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์อัจฉริยะในระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก

Implementation of smart robotic arms in small betta aquaculture systems

พีรพล จันทร์หอม¹⁾ สุรเทพ นิลนนท์^{2)*} วิภาดา วงศ์สุริยา¹⁾ ภีรศักดิ์ เผ่าผาง¹⁾ และ พัฒนพงษ์ สิ้นธุ์ไพฑูรย์¹⁾Peerapon Chanhom¹⁾ Surathep Nilnond^{2)*} Wipada Wongsuriya¹⁾ Peerasak Phaophang¹⁾and Pattanapong Sinpaithoon¹⁾¹⁾หน่วยวิจัยระบบอัจฉริยะและการแปลงผันพลังงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

²⁾ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์¹⁾Smart System Research and Energy Conversion Research Unit Faculty of Industrial Education,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

²⁾Electrical Engineering Department, Kasetsart University.

Received: 9 December 2021

Revised: 25 April 2022

Accepted: 26 April 2022

Available online: 24 June 2022

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลากัดในขวดโหล ด้วยการประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์แบบโอเพ่นซอร์ส ทำงานร่วมกับอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ 1) การออกแบบระบบเปลี่ยนน้ำและให้อาหาร 2) การปรับปรุงซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำ สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงาน ได้กำหนดกรณีศึกษาขึ้นมา 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 เป็นการทดสอบความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ ส่วนกรณีที่ 2 เป็นการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและการให้อาหาร และกรณีที่ 3 เป็นการทดสอบการทำงานในภาพรวม ผลการทดสอบการทำงานตามโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์นั้น สามารถควบคุมตำแหน่งและทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

คำสำคัญ: แขนหุ่นยนต์ ระบบควบคุม การเพาะเลี้ยงปลากัด ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This research paper presents the development of a small betta aquaculture system. The purpose of this research is to reduce water-changing and food-feeding time by using the open-source robotic arm with the designed equipment. The development consists of 2 parts: 1) the designing of water-changing and the food-feeding equipment. and 2) the software enhancements to control the robot arm to move more accurately. There are three case studies: Case 1 to test the accuracy of horizontal motion, Case 2 to test the functionality of the water-changing and food-feeding equipment, and Case 3 to test the overall functionality. The test results show the command and position control performance as well as the integration with the developed equipment which can work according to the specified conditions.

Keywords: Robot arm: Control system: Betta aquaculture: Micro controller

*ติดต่อ: E-mail: surathep.n@ku.th เบอร์โทรศัพท์: 081-741-6449

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตปลาสวยงามที่เป็นที่ต้องการของตลาดโลกอยู่หลายชนิด ปลาสวยงามที่มีมูลค่าส่งออกอยู่อันดับที่ 1 ของไทย คือ ปลากัด ซึ่งจากข้อมูลสถิตินำเข้าและส่งออกสัตว์น้ำ ผ่านสนามบินสุวรรณภูมิปี พ.ศ.2561 [1] ปลากัดมีปริมาณการส่งออกสูงที่สุด คิดเป็นมูลค่า 11,896,273.70 บาท และในเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 จากการประชุมคณะกรรมการ (กรม.) มีมติเห็นชอบให้ปลากัดไทยเป็นสัตว์น้ำประจำชาติ [2] โดยปลากัดไทยที่เสนอให้เป็นสัตว์น้ำประจำชาติมีชื่อว่า *Betta splendens* ชื่อสามัญ “Siamese Fighting Fish” หรือ “Siamese Betta”

โดยมีนโยบายส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและการสร้างนวัตกรรมด้านการเพาะพันธุ์ ซึ่งนำไปสู่การค้าเชิงพาณิชย์และก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ การเพาะเลี้ยงปลากัดไทยจึงกลายเป็นอาชีพที่สร้างความมั่นคงให้กับชุมชนได้

เทคนิคการเพาะเลี้ยงปลากัดเพื่อให้ได้คุณภาพดีสำหรับส่งออกในปริมาณมาก จำเป็นจะต้องแยกเลี้ยงจำนวน 1 ตัวต่อ 1 ขวดแก้วขนาดเล็กเพื่อป้องกันปลากัดกัดกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งฟาร์มเพาะเลี้ยงปลากัดต้องใช้เวลาเปลี่ยนน้ำและให้อาหาร 3-4 ชั่วโมงต่อปลากัด 2,000 ตัว



รูปที่ 1 การเพาะเลี้ยงปลากัดเพื่อการส่งออกในปัจจุบัน [3]

การเพาะเลี้ยงปลากัดลักษณะดังกล่าว เกษตรกรจะใช้เวลาค่อนข้างมากในการเปลี่ยนน้ำและให้อาหาร การพัฒนาเครื่องมือสำหรับอำนวยความสะดวกในขั้นตอนการเพาะเลี้ยงนี้ จะช่วยลดเวลาในการทำงานและทำให้เกษตรกรสามารถนำเวลาที่เหลือไปศึกษาและพัฒนาสายพันธุ์ปลากัดให้ดียิ่งขึ้นได้อีก โดยจากการศึกษาข้อมูลที่ผ่านมา การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงปลากัดมักจะเน้นไปที่การพัฒนาอุปกรณ์อำนวยความสะดวก เช่น การประยุกต์ใช้ขวดน้ำดื่มพลาสติกดัดแปลงเป็นขวดใสไร้แรงดันแบบบีบแทนการหยอดด้วยเข็มนหรือการบากคอขวดเพื่อช่วยในการเปลี่ยนน้ำได้ไวขึ้น เป็นต้น ซึ่งในส่วนนี้นั้นยังสามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้

ปัจจุบัน หลายงานวิจัยมีการประยุกต์อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติแบบโอเพนซอร์ส (Open-source) อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) รวมถึงระบบที่พัฒนาขึ้นเอง มาใช้ในงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากยิ่งขึ้นเช่น การใช้หุ่นยนต์ในการทำความสะดวกตาข่ายที่ใช้เลี้ยงปลาเพื่อลดเวลาการเลี้ยงดูและการสูญเสีย [4] การประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์ประเภท Cartesian ช่วยฉีดวัคซีนเพื่อรักษาสัตว์น้ำ

ที่ป่วย [5] และการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ร่วมกับระบบ IoT เพื่อช่วยตรวจสอบและแยกปลาป่วยออกจากพื้นที่เลี้ยง [6]

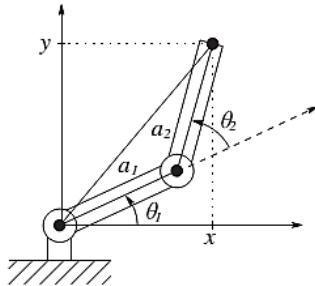
จากที่กล่าวมาในช่วงต้น ระบบควบคุมอัตโนมัติได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาและเพิ่มผลผลิตในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และมีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากระบบควบคุมอัตโนมัติในปัจจุบัน มีราคาที่ไม่สูงมากนัก และถูกพัฒนาให้มีความเสถียร สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก โดยประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์แบบโอเพนซอร์ส ทำงานร่วมอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ในงานวิจัย เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการในการเพาะเลี้ยงปลากัด รวมถึงปรับปรุงระบบควบคุมให้มีความแม่นยำ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบเอาไว้ ซึ่งขั้นตอนในการพัฒนาจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2. วิธีการวิจัย

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติและข้อจำกัดของแขนหุ่นยนต์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย [7] เพื่อกำหนดพื้นที่ในการทำงานและคำนวณหาจำนวนขวดในระบบการเพาะเลี้ยง จากนั้นจะอธิบายแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา รวมถึงวิธีการปรับปรุงระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และส่วนสุดท้ายจะนำเสนอกรณีศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะในการทำงานของระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การคำนวณจลศาสตร์ผกผันและคุณสมบัติของแขนหุ่นยนต์

เนื่องจากแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Articulated Manipulator (RRR) [9] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แขนหุ่นยนต์และโครงสร้างแขนหุ่นยนต์ [8]

ซึ่งในการทดลองนั้น เราทราบพิกัดของขดโหลปลายกีด แต่ยังไม่ทราบค่ามุมแต่ละข้อของแต่ละแขนกล ดังนั้นจึงต้องใช้ในการคำนวณแบบจลศาสตร์ผกผัน (Inverse Kinematics) [8] ในการคำนวณหาค่ามุมของข้อต่อต่าง ๆ ของแขนกล เมื่อกำหนดตำแหน่งและทิศทางของปลายแขน ที่สัมพันธ์กับฐานมาให้โดยใช้สมการ (1-4)

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2} := D \quad (1)$$

$$\sin \theta_2 = \pm \sqrt{1 - D^2} \quad (2)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{1 - D^2}}{D} \quad (3)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(y/x) - \tan^{-1}\left(\frac{a_2 \sin \theta_2}{a_1 + a_2 \cos \theta_2}\right) \quad (4)$$

และใช้หลักการคำนวณหาจาโคเบียนผกผัน (Inverse Jacobian, J^{-1}) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นของปลายแขน ($\dot{x}$) และความเร็วเชิงมุมของแต่ละข้อต่อ ($\dot{\theta}$) ดังแสดงใน (5)

$$\dot{\theta} = J^{-1} \dot{x} \quad (5)$$

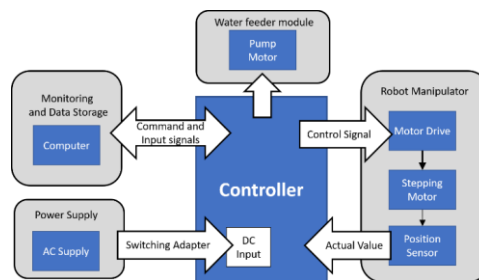
โดย J^{-1} หาได้จากสมการ (6)

$$J^{-1} = \frac{1}{a_1 a_2 \sin \theta_2} \cdot \begin{bmatrix} a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ -a_1 \cos \theta_1 - a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & -a_1 \sin \theta_1 - a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (6)$$

นอกจากนี้โครงสร้างแขนหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้ต้องแข็งแรงและมั่นคง แต่มีขนาดเล็กและสามารถควบคุมได้ง่าย ดังนั้น แขนหุ่นยนต์จึงถูกออกแบบด้วยโปรแกรมออกแบบสามมิติและขึ้นรูปต้นแบบด้วยเครื่อง Rapid-prototype ด้วยวัสดุพลาสติก PLA ซึ่งมีความแข็งแรง แขนหุ่นยนต์ขับเคลื่อนด้วยสเต็ปมอเตอร์รุ่น NEMA 17 มีแรงบิดสูงสุด 42 นิวตัน/ตร.ซม. โดยมีแรงดันไฟฟ้าขณะใช้งาน 12 โวลต์ ส่วนมือจับ (Gripper) ได้ออกแบบให้เหมาะกับการจับวัตถุและเคลื่อนที่ในแนวราบ สามารถติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมได้ ดังรูปที่ 2 ในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในระบบควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์ จะประกอบไปด้วย มอเตอร์, ลิมิทสวิตช์, ชุดควบคุม (Arduino 2560) และมอเตอร์ไดรฟ์บอร์ด (RAMPS 1.4) ส่วนภาพรวมของระบบการควบคุมของแขนหุ่นยนต์และ

อุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารจะแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหน้าที่แสดงผลการทำงาน, จัดเก็บข้อมูลและส่งคำสั่งและสัญญาณไปยังชุดควบคุม โดยชุดควบคุมจะทำการสัญญาณ

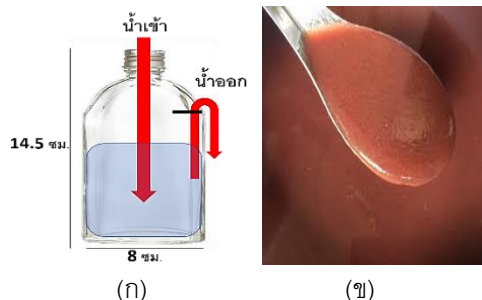
ควบคุมไปยังมอเตอร์โรตารีที่แขนหุ่นยนต์ให้ทำการขับเคลื่อนแต่ละแกนให้เคลื่อนที่ โดยส่งสัญญาณที่วัดได้จาก encoder กลับไปยังชุดควบคุมเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาด



รูปที่ 3 ระบบการควบคุมของแขนหุ่นยนต์ (Robotic control system)

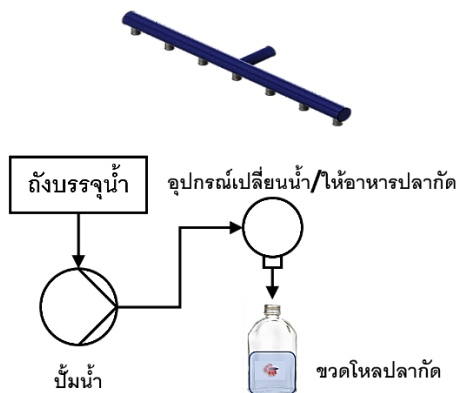
2.2 การพัฒนาอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา

การเปลี่ยนน้ำโดยทั่วไปเกษตรกรจะทำการปล่อยน้ำใหม่เข้าไปดันน้ำเก่าออกผ่านรอยบากข้างขวดดังรูปที่ 4 (ก) โดยจำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำเป็นประจำทุกๆ 2-3 วัน เพื่อช่วยให้ปลากัดมีความสดชื่น ส่วนการให้อาหารปลากัดนั้น นิยมให้ไรแดงน้ำจืดดังรูปที่ 4 (ข) ด้วยการหยอดทีละขวด โดยจะให้อาหารวันละ 2 เวลา เพื่อให้ปลากัดมีความสมบูรณ์

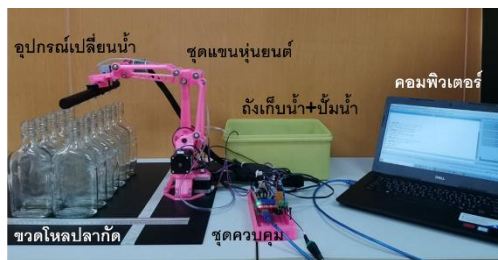


รูปที่ 4 (ก) การเปลี่ยนน้ำแบบ Overflow และ (ข) ไรแดงน้ำจืด

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารเพื่อใช้งานร่วมกับแขนหุ่นยนต์ โดยเลียนแบบวิธีการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารดังกล่าว ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 300 มม. เจาะรูใส่ท่อพลาสติกขนาดเล็กจำนวน 7 ท่อ แต่ละท่อห่างกัน 40 มม. ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถเปลี่ยนน้ำและให้อาหารได้ครั้งละหลายขวด ดังรูปที่ 5 โดยอุปกรณ์ที่ออกแบบจะติดตั้งที่ปลายแขนหุ่นยนต์ เรียกได้ว่าเป็น End-of-arm Tooling (EOAT) ประเภทหนึ่ง โดยจะเชื่อมต่อกับท่อฟีด (Feeder tube) และปั๊มน้ำขนาดเล็กที่วางอยู่ในถังเก็บน้ำ ส่วนแขนหุ่นยนต์จะเชื่อมต่อกับชุดควบคุมและคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่อระหว่างแขนหุ่นยนต์กับอุปกรณ์ต่างๆ จะแสดงดังรูปที่ 5 และ 6



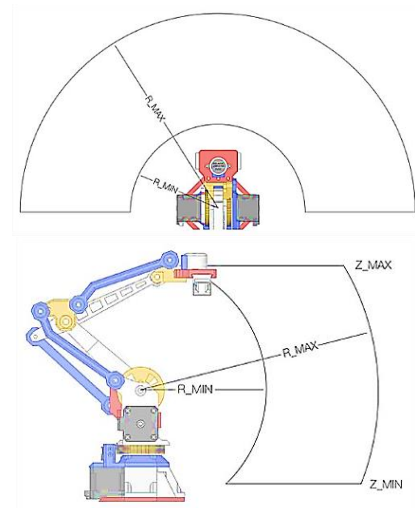
รูปที่ 5 อุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา และ
Fluid Diagram



รูปที่ 6 ระบบเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา

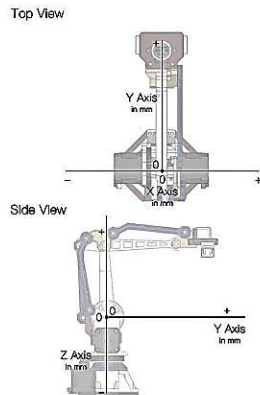
2.3 ขอบเขตพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในระบบเพาะเลี้ยงปลากัด

ในงานวิจัยนี้แขนหุ่นยนต์จะมีขอบเขตการกวาดวงแคบ (R_{MIN}) และวงกว้าง (R_{MAX}) เท่ากับ $[77.5024 \text{ มม.}, 226.0938 \text{ มม}]$ ส่วนขอบเขตการเคลื่อนที่แกน Z (Z_{MIN}, Z_{MAX}) อยู่ที่ $[-140 \text{ มม.}, 150 \text{ มม.}]$ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขอบเขตการทำงานของแขนหุ่นยนต์

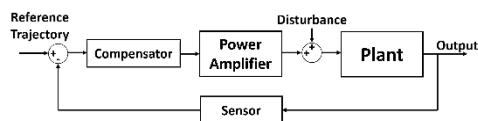
การคำนวณขอบเขตพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในระบบเพาะเลี้ยงปลากัดนั้น เริ่มจากการหาจำนวนสเต็ปที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Total traveling step) ก่อน ด้วยการกำหนดให้ ลิมิทสวิตช์ (Limit switch) ในแกน X เป็นจุดเริ่มต้น (แกน X, Y, และ Z แสดงในรูปที่ 7) จากนั้นส่งคำสั่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่จนสัมผัสลิมิทสวิตช์แกน X (เซตเป็นค่าเริ่มต้น 0) จากนั้นสั่งให้แขนเคลื่อนที่ไปจนสุดขอบเขตการทำงาน บันทึกค่าการเคลื่อนที่ที่อ่านได้ ทำเช่นเดียวกับแกน Y และ Z ก็จะได้ จำนวนสเต็ปที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนคือ 1020, 1900, และ 3640 สเต็ป ตามลำดับ จากนั้นกำหนดตำแหน่ง Home position ในที่นี้กำหนดให้แขนหุ่นยนต์ที่ 1 กับ 2 ทำมุมตั้งฉาก (90°) ดังรูปที่ 8 ดังนั้น ในระบบเพาะเลี้ยงปลากัดของงานวิจัยนี้ จะมีตำแหน่ง Home ที่พิกัด (0, 195, 140) และมีขอบเขตพื้นที่การทำงานประมาณ 152 ตารางเซนติเมตร หรือสามารถวางขวดเพาะเลี้ยงปลากัดประมาณ 14 ขวด



รูปที่ 8 ตำแหน่ง Home position

2.4 การปรับปรุงระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์

เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารเพื่อใช้งานร่วมกับแขนหุ่นยนต์ จึงต้องปรับปรุงระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์จากระบบเดิม เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ คือ ตัวชดเชยจะรับค่าความผิดพลาด ระหว่างเส้นทางอ้างอิงและเอาต์พุตที่อ่านค่าได้ จากนั้นจึงสร้างสัญญาณผ่านตัวขยายกำลังไปที่แขนหุ่นยนต์เพื่อลดค่าความผิดพลาดให้เป็นศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

งานวิจัยนี้ใช้การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation) มาช่วยในการประมาณค่าตำแหน่ง y โดยสามารถหาได้จาก (7)

$$y = y_1 + \frac{(x-x_1)(y_1-y_0)}{x_1-x_0} \quad (7)$$

โดยที่ x_0 และ y_0 คือตำแหน่งเริ่มต้น
 x_1 และ y_1 คือตำแหน่งที่สุดท้าย
 x คือ จุดที่ใช้เริ่มประมาณค่า
 y คือ ตำแหน่งที่ได้จากการประมาณค่า

2.4.1 การเขียนโปรแกรมควบคุม

การเขียนโปรแกรมควบคุมจะใช้ภาษา C+ ด้วย Arduino Software (IDE) [9] ในส่วนของโค้ดสำหรับการเขียน Arduino เพื่อกำหนดค่า Channel และ Parameter ต่าง ๆ ให้แขนหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบเอาไว้ แสดงรายละเอียดได้ตามตารางที่ 1 และ 2

2.4.2 G code/ M code

การทำงานของแขนหุ่นยนต์และอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา มีขั้นตอนแสดงตาม Flow Chart รูปที่ 10 และเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ YAT ซึ่งเป็นโอเพนซอร์ส [10] ในการสร้าง G-code และ M-code เพื่อสั่งให้แขนหุ่นยนต์ทำงานตามที่ต้องการ โดย YAT ได้ถูกออกแบบเพื่อใช้เชื่อมต่อการทำงานอุปกรณ์ด้วยโปรโตคอลต่าง ๆ เช่น RS-232/422/423/485 รวมถึง TCP/IP Client/ Server/ AutoSocket, USB Ser/HID เป็นต้น

ตารางที่ 1 Channel ควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์

Axis	Channel number			
	Stepper	Enable drive	Max axis	Min axis
X	54	38	2	3
Y	60	56	15	14
Z	46	62	19	18

ตารางที่ 2 Channel ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

Water Pump	Fan
63	9

ตัวอย่างการเขียน G-code ให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่ง Home (0,195,140) ไปยังตำแหน่ง A (0,200,40) ไปยังตำแหน่ง B (0,295,40) และทำการเปิดปั๊มเป็นเวลา 20 วินาทีจากนั้นปิดปั๊ม มีรายละเอียดดังนี้

G0Z-100 :ให้ปลายแขนเคลื่อนที่ลงไปที่ Z=-100

G0Y200 :ให้ปลายแขนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าไปที่

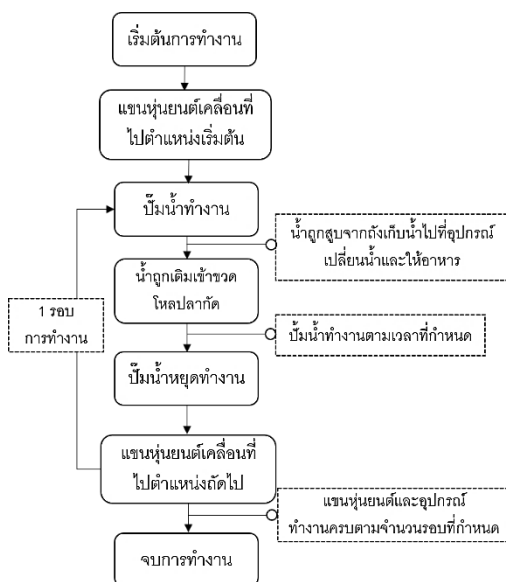
Y=200 (จุด A)

G0Y295 :ให้ปลายแขนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าไปที่

Y=295 (จุด B)

M1G4S20 :สั่งปั๊มน้ำทำงานเป็นเวลา 20วินาที

M2 :สั่งปั๊มน้ำหยุดทำงาน



รูปที่ 10 Flow Chart การทำงานของการทำงานของแขนหุ่นยนต์และอุปกรณ์

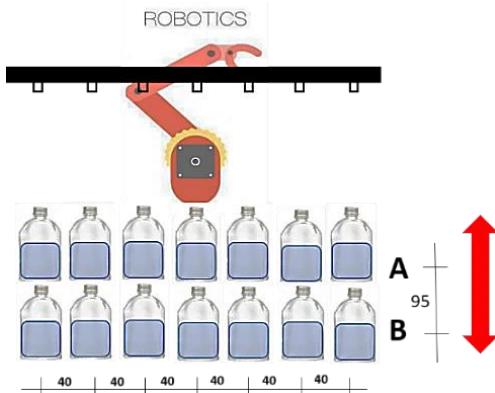
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

เพื่อแสดงสมรรถนะในการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย จึงได้กำหนดกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 ทดสอบความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ ส่วนกรณีที่ 2 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและการให้อาหาร และกรณีที่ 3 ทดสอบการทำงานในภาพรวม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 กรณีที่ 1 การทดสอบความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ

กรณีศึกษานี้แบ่งเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 การเคลื่อนที่ในแนวราบ (แกน Y) ก่อนติดตั้งอุปกรณ์ และการทดลองที่ 2 การเคลื่อนที่ในแนวราบหลังติดตั้งอุปกรณ์ ทั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจากการเคลื่อนที่ก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อนำมาพิจารณาความแม่นยำในการเคลื่อนที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดลองที่ 1 เริ่มต้นจากการเรียงขวดเพาะเลี้ยงปลากัดในขอบเขตพื้นที่การทำงานตามที่กำหนดเอาไว้ในหัวข้อ 2.3 ซึ่งแถว A และ B มีระยะห่างกัน 95 มม. ดังแสดงในรูปที่ 11 จากนั้นจึงเขียนคำสั่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวราบสลับไป-มา ระหว่างแถว A และ B โดยกำหนดให้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ระหว่างแถว A และ B อยู่ที่ 31.66 มม.ต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่แขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ทำให้โครงสร้างเสียหาย



รูปที่ 11 ขอบเขตการทำงาน

ในการทดลองนี้ จะกำหนดให้ทำการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ (โดยเคลื่อนที่จากแถว A ไปแถว B และจากแถว B กลับมาที่แถว A คิดเป็น 1 รอบ) และจับเวลาทำงานตั้งแต่เริ่มทำงานจนสิ้นสุดคำสั่ง เพื่อเก็บข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ สำหรับคำนวณหาความคลาดเคลื่อน ค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนตาม

$$\text{ความคลาดเคลื่อน} = \frac{(\text{ค่าที่วัดได้จากการทดลอง} - \text{ค่าจริง})}{\text{ค่าจริง}} \times 100 \quad (8)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ย} = \frac{\text{ผลรวมข้อมูลทั้งหมด}}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}} \quad (9)$$

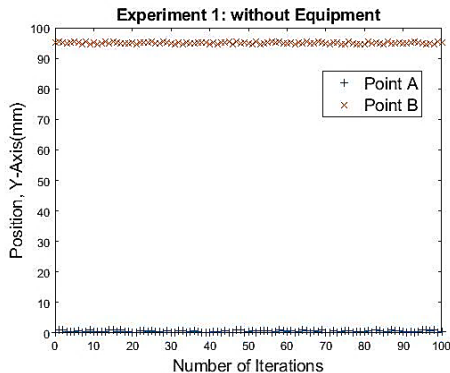
$$\text{ความแปรปรวน} = \frac{\sum (\text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่าเฉลี่ย})^2}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}} \quad (10)$$

โดยข้อมูลที่ได้อาจจะแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ว่ามีมากน้อยเพียงใด

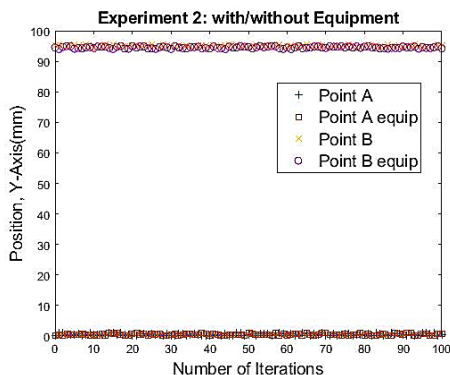
การทดลองที่ 2 มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 แต่จะมีการติดตั้งอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลา ซึ่งตัวอุปกรณ์จะมีน้ำหนักรวมประมาณ 65 กรัม จากนั้นจึงบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่เพื่อคำนวณหาความคลาดเคลื่อน และทำการพิจารณาเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1

จากการทดลองที่ 1 เมื่อแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ครบจำนวน 100 รอบ ตามที่กำหนดไว้ ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบโดยรวม จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งพบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดไว้เพียงเล็กน้อย (0 ที่ตำแหน่งแถว A และ 95 มม. ที่ตำแหน่งแถว B) โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 1.75 (แถว A) และ 0.005 (แถว B)

ในส่วนของการทดลองที่ 2 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบหลังครบจำนวน 100 รอบ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าเมื่อติดตั้งอุปกรณ์เข้าไป การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบจะมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดไว้มากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 4.86 (แถว A) และ 0.57 (แถว B) โดยค่าความแปรปรวน, ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนที่ของการทดลองที่ 1 และ 2 สรุปได้ตามตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้ ยังอยู่ในช่วงที่รับได้ เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอยู่ในช่วง ± 0.5 มม. ซึ่งน้อยมากสำหรับการใช้งานที่ไม่คำนึงถึงความแม่นยำมากนัก จากผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ดังเห็นได้จากความแม่นยำระหว่างก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์จะมีความคลาดเคลื่อนน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก ในงานวิจัยได้ปรับปรุงระบบควบคุมในส่วนของการควบคุมความเร็วให้เหมาะสมกับระบบที่ใช้งาน



รูปที่ 12 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบระหว่างแถว A และ B ก่อนติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 13 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบระหว่างแถว A และ B หลังติดตั้งอุปกรณ์

ตารางที่ 3 ค่าความแปรปรวน (Variance) และค่าเฉลี่ย (Mean) จากการทดลองที่ 1 และ 2

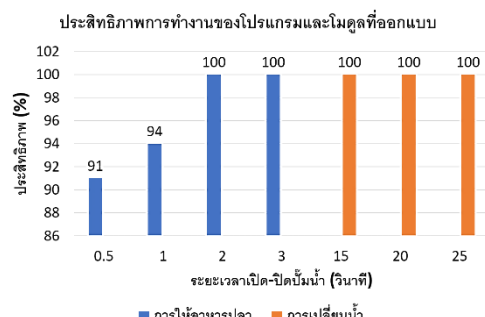
การทดลองที่	ตำแหน่ง	ความแปรปรวน (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1	A	0.085	0.175	1.75
	B	0.084	95.005	0.005
2	A	0.084	0.486	4.86
	B	0.082	94.452	0.57

3.2 กรณีที่ 2 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและการให้อาหาร

กรณีศึกษาที่ 2 เป็นการทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งของชุดปั๊มที่ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะเป็นการแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการเปิด-ปิดของชุดปั๊ม ได้ตามที่ต้องการแบบไว้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้กระบวนการในการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารนั้น ปกติจะมีลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์และการทำงานของชุดปั๊มที่คล้ายกัน แต่จะแตกต่างกันเฉพาะระยะเวลาในการเปิด-ปิด ของปั๊มน้ำ โดยการให้อาหารจะใช้เวลานานกว่าการเปลี่ยนน้ำ ดังนั้น ในการทดสอบนี้ จึงกำหนดให้ระบบที่พัฒนาขึ้นทำงานโดยกำหนดให้ปั๊มเปิด-ปิด ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อบันทึกข้อมูลสำหรับพิจารณาความแม่นยำในการทำงานและข้อจำกัดในการทำงาน

ลักษณะการทดสอบกรณีที่ 2 นี้จะคล้ายกับกรณีที่ 1 โดยตอนเริ่มต้น กำหนดให้ตัวอุปกรณ์อยู่ที่ตำแหน่งแถว A จากนั้นตัวควบคุมจะสั่งงานให้ปั๊มน้ำทำงาน เพื่อส่งน้ำผ่านอุปกรณ์ไปยังขวดโหลเป็นเวลา 25 วินาที จากนั้นจึงสั่งงานให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนไปยังแถว B และสั่งงานให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อส่งน้ำผ่านอุปกรณ์ไปยังขวดโหลอีกครั้งเป็นเวลา 25 วินาที เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานในแถว A และ B แล้ว จึงสั่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่กลับไปยังแถว A (นับเป็น 1 รอบ) โดยจะทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 100 รอบ จากนั้นจะทำการทดลองซ้ำแบบเดิม แต่ลดระยะเวลาเปิด-ปิดของปั๊มลงเป็น 20 15 3 2 1 และ 0.5 ตามลำดับ

ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำ และการให้อาหารแสดงในรูปที่ 14 ที่เวลา 2 – 25 วินาที ชุดปั๊มจะสามารถตอบสนองต่อคำสั่งของตัวควบคุมได้ร้อยละ 100 (จากการทดสอบ 100 รอบ) อย่างไรก็ตาม ที่เวลา 1 – 0.5 วินาที ชุดปั๊มจะตอบสนองต่อคำสั่งของตัวควบคุมได้ลดลง โดยมีอัตราความแม่นยำที่ร้อยละ 94 และ 91 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากชุดปั๊มน้ำที่ใช้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งมาจากตัวควบคุมต่ำทำให้ตอบสนองต่อสัญญาณจากตัวควบคุมได้ช้าตามไปด้วย ดังนั้น ระยะเวลาเปิด-ปิดปั๊มน้ำสำหรับให้อาหารปลาในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้ไม่ต่ำกว่า 2 วินาที



รูปที่ 14 ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ออกแบบ

3.3 กรณีที่ 3 การทดสอบการทำงานในภาพรวม

กรณีศึกษา นี้ เป็นการทดสอบความสามารถในการประสานการทำงานระหว่างแขนหุ่นยนต์และอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีไฟล์ซอร์ตการทำงานตามรูปที่ 9 โดยหลักการที่ใช้หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปิด-ปิดปั๊มน้ำคือ ใช้การดูปริมาณน้ำและอาหารที่เหมาะสมถ้ามากเกินไปจะ

เป็นการสิ้นเปลืองและถ้าน้อยเกินไปการเปลี่ยนน้ำก็ยังมีน้ำเก่าเหลืออยู่หรือปลาได้รับอาหารน้อยเกินไป โดยระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนน้ำคือประมาณ 20 วินาที และระยะเวลาในการให้อาหารปลากัดคือประมาณ 2 วินาที โดยประมาณเวลาในการเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลากับพื้นที่ใช้งาน (การทดสอบ 1 รอบ และ 100 รอบ) แสดงดังตารางที่ 4

4. สรุป

งานวิจัยได้พัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลากัดขนาดเล็ก โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ 1) การออกแบบระบบอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหาร

ตารางที่ 4 ขอบเขตพื้นที่การทำงาน และเวลาในการเปลี่ยนน้ำ/ให้อาหารปลาของแขนหุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้น

จำนวนขวด	พื้นที่ใช้งาน (ตร.ซม)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	
		เปลี่ยนน้ำ	ให้อาหาร
14	152	43.01	5.14
1400	15200	4356	516

2) การปรับปรุงซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์ ผ่านการเขียนคำสั่ง G-Code และ M-Code ด้วยซอฟต์แวร์ YAT ตัวอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาที่พัฒนาขึ้น ออกแบบให้เหมาะสมกับกระบวนการเพาะเลี้ยงปลากัดที่นิยมใช้กันทั่วไป ทั้งในส่วนของการเปลี่ยนน้ำและการให้อาหารปลา และเพื่อทดสอบสมรรถนะในการทำงานของระบบ งานวิจัยได้กำหนดกรณีศึกษาขึ้นมา 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 ทดสอบความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ กรณีที่ 2 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนน้ำและการให้อาหาร และกรณีที่ 3 ทดสอบการทำงานใน

ภาพรวมทั้งหมด จากผลการทดสอบทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า แขนหุ่นยนต์หลังติดตั้งอุปกรณ์ยังสามารถเคลื่อนที่ในตำแหน่งที่กำหนด โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ ± 0.5 มม. จากตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งน้อยมากสำหรับการใช้งานที่ไม่คำนึงถึงความแม่นยำมากนัก ในส่วนของการทำงานในภาพรวมการทำงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีพื้นที่การทำงาน 152 ตร.ซม. สามารถเปลี่ยนน้ำและให้อาหารปลาได้จำนวน 14 ขวด โดยมีระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 48.15 วินาที โดยการทดสอบการทำงานทั้งหมดนี้ จะทำการทดสอบจำนวน 100 รอบการทำงาน ซึ่งระบบสามารถทำงานตามคำสั่งได้ถูกต้อง 100% ซึ่งแสดงให้เห็นสมรรถนะทั้งในการสั่งการการควบคุมตำแหน่ง รวมถึงการประสานการทำงานกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นทำงานได้ตามที่ออกแบบเป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้ทีมผู้วิจัยเน้นไปที่การออกแบบและพัฒนาต้นแบบแขนหุ่นยนต์และอุปกรณ์ให้อาหารและเปลี่ยนน้ำ ในส่วนของอนาคตจะเป็นการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้แขนหุ่นยนต์ทำงานต่อเนื่องในพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น และจะนำการประเมินจากผู้ใช้งานจริงมาร่วมประเมินประสิทธิภาพด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานของหน่วยวิจัยระบบอัจฉริยะ และการแปลงแผนพลังงาน สำหรับจัดทำงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ด้านตรวจสัตว์น้ำท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ. สถิติการนำเข้า ส่งออกสัตว์น้ำ ท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ เดือนมิถุนายน 2561: 1-18.
- [2] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. ขอเสนอให้ปลดกัณฑ์ไทยเป็นสัตว์น้ำประจำชาติ. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2564] เข้าถึงได้จาก: https://www.soc.go.th/wp-content/uploads/slkupload/v62_62.pdf
- [3] สำนักงานประมงจังหวัดนครปฐม. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 5 มิถุนายน 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/site2/fpo-nakhonpathom>.
- [4] Osaka T, Yakushiji H and Hirata D. Underwater cleaning robot and auxiliary cleaning work machine. European Patents EP2251102A1.USA. 2010; Nov: 17.
- [5] Lee DG, Cha BJ, Park SW, Kwon MG, Xu DC, Kim HJ. Development of a vision-based automatic vaccine injection system for flatfish. Aquacultural Engineering. 2013; 54: 78-84.
- [6] Antonucci F and Costa C. Precision aquaculture: a short review on engineering innovations. Aquaculture International. 2020; 28: 41-57.

- [7] 20sffactory. [Internet]. [Cited 2021 September 7]. Available from: https://github.com/20sffactory/community_robot_arm
- [8] Spong MW, Hutchinson S and Vidyasagar M. Robot Modeling and Control, 2nd Ed. USA: John Wiley & Sons Ltd; 2020.
- [9] Arduino. [Internet]. [Cited 2021 September 1]. Available: <https://www.arduino.cc>.
- [10] YAT. Swiss federal SBFI project. [Internet]. [Cited 2021 June 20]. Available: <https://sourceforge.net/projects/y-a-terminal/>.
- [11] Lucas JS, Southgate PC and Tucker CS. Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants, 3rd Edition, USA: Wiley-Blackwell. 2019.
- [12] Yue K and Shen Y. An overview of disruptive technologies for aquaculture. Aquaculture and Fisheries. 2022; 7(2): 111-20.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การระบุตำแหน่งการวางสินค้าและความสำคัญของตำแหน่งประตูที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายสินค้าเข้า-ออกสำหรับคลังสินค้าที่มีการจัดเก็บแบบหลายระดับ

The storage location identification and the importance of door usage
on I/O products for multi-level warehouse

สุทิมา อินทนนท์¹⁾ อาทิตย์ อภิโชติธนกุล²⁾ สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์³⁾ และ คมกฤช ปิติฤกษ์^{1)*}

Suticha Intanon¹⁾ Arthit Apichottanakul²⁾ Surached Thuankaewsing³⁾ and Komkrit Pitiruek^{1)*}

¹⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²⁾ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

¹⁾ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University.

²⁾ Department of Production Technology, Faculty of Technology, Khon Kaen University.

³⁾ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology ISAN, Khon Kaen Campus.

Received: 25 January 2022

Revised: 12 May 2022

Accepted: 25 May 2022

Available online: 24 June 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอตัวแบบการวางผังคลังสินค้ามาใช้จัดวางสินค้าสำหรับคลังสินค้าที่มีการจัดเก็บแบบชั้นเดียว และได้นำเสนอรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวางผังคลังสินค้าแบบหลายชั้น ภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนการใช้งานประตูเข้า-ออก เพื่อตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้งานประตูที่ส่งผลต่อตำแหน่งการจัดวางสินค้า จากการทดสอบปรับเปลี่ยนสัดส่วนการใช้งานของประตูเข้า-ออกคลังสินค้าที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีรูปแบบการจัดวางสินค้าในคลังสินค้าที่แตกต่างกันไปด้วย ดังนั้น รูปแบบคณิตศาสตร์ที่เสนอจึงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าสำหรับคลังสินค้าที่มีการจัดวางทั้งแบบชั้นเดียวและหลายชั้น โดยมีระยะทางรวมเฉลี่ยในการเคลื่อนย้ายสินค้าทั้งแบบชั้นเดียวและหลายชั้นลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 30.97% และ 37.05% เมื่อเปรียบเทียบกับผังการวางสินค้าในรูปแบบเดิมสำหรับการจัดเก็บแบบชั้นเดียวและหลายชั้น ตามลำดับ

คำสำคัญ: การบริหารจัดการคลังสินค้า คลังสินค้าแบบหลายระดับ อัตราส่วนน้ำหนักประตูคลังสินค้า ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า

Abstract

For this paper, we adopted the warehouse layout model for locating the single-floor inventory and proposed mathematical model for multi-level warehouse layout under the fractional door usage condition in order to determine the influence of door usage on the product location. The experiment on I/O different doors' weight resulted in different product placements. Consequently, the proposed model provided the better result both for single level and multi-level warehouses. The expected travel distance for both single and multi-level warehouses were decreased by 30.97% and 37.05%, respectively compared to the existing product placement for single-floor storage and multi-floor warehouse.

Keywords: Warehouse management: Multi-floor storage: Warehouse door weight ratio: Storage location

*ติดต่อ: E-mail: komkri@kku.ac.th, โทรศัพท์: 043-202-697

1. บทนำ

การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 3 (third industrial revolution) ไปสู่การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 (fourth industrial revolution) หรือมีอีกชื่อหนึ่งว่า อุตสาหกรรม 4.0 (industry 4.0) ซึ่งเป็นนวัตกรรมเทคโนโลยีไฮบริด เป็นการนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาผสมกับโลกการผลิต ซึ่งได้บังคับให้ระบบการผลิตและการบริการต้องมองหาวิธีการที่เป็นนวัตกรรมเพื่อปรับปรุงรูปแบบกระบวนการทำงานแบบเดิม [1-3] ผู้นำธุรกิจและผู้บริหารระดับสูงได้ตระหนักเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงนี้และพยายามที่จะทำการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางธุรกิจและเปลี่ยนแปลงการทำงานในเชิงนวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง [4] และอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้ได้ให้ความสำคัญด้านต้นทุนการผลิต คุณภาพและการส่งมอบ เพื่อให้สามารถแข่งขันกับ

คู่แข่งได้ รวมถึงสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเพื่อให้เป็นที่พึงพอใจของลูกค้า [5] ซึ่งการที่ธุรกิจต่างต้องการที่จะมุ่งเน้นถึงความต้องการของลูกค้า คลังสินค้าจึงเป็นจุดเชื่อมความสำคัญระหว่างกลยุทธ์และผู้ผลิตรวมไปถึงผู้บริโภค [6] อีกทั้งคลังสินค้ายังมีความสำคัญในตัวเองเนื่องจากมีเรื่องของผลกำไรที่น่าสนใจมาเกี่ยวข้อง [7] โดยคลังสินค้านี้มีหน้าที่หลัก คือ การรับการจัดเก็บ การหยิบ และการขนส่ง [8] โดยมีวัตถุประสงค์ของการจัดการคลังสินค้าคือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคลังสินค้า [9] และด้วยคลังสินค้าเองมีบทบาทสำคัญในระบบห่วงโซ่อุปทาน [10] และเป็นปัจจัยด้านต้นทุนที่สำคัญสำหรับบริษัทคลังสินค้านี้มีเป้าหมายหลัก คือ การควบคุมการไหลของสินค้า ซึ่งสินค้าต้องได้รับการจัดการอย่างระมัดระวัง มิเช่นนั้นอาจส่งผลต่อ

เวลาและต้นทุน [11] ซึ่งการดำเนินงานของคลังสินค้านั้นจะต้องใช้แรงงานจำนวนมากหรือต้องใช้เงินทุนที่สูง และประสิทธิภาพการทำงานจะส่งผลต่อผลิตภาพและต้นทุนของคลังสินค้าตลอดจนห่วงโซ่อุปทานทั้งหมด [12] ผู้จัดการคลังสินค้าจึงมักจะสนใจที่จะให้บริการที่มีคุณภาพสูงแก่ลูกค้าด้วยต้นทุนขั้นต่ำ [13] ทำให้คลังสินค้ามีบทบาทสำคัญที่จะเป็นตัวทำให้ธุรกิจในปัจจุบันประสบความสำเร็จหรือล้มเหลว [10] ดังนั้นคลังสินค้าจึงต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับอัตราการผลิตอย่างมาก เพื่อให้เกิดการทำงานอย่างเหมาะสม ซึ่งการจัดการและควบคุมสินค้าคงคลังเป็นกุญแจสำคัญในเพิ่มประสิทธิภาพคลังสินค้า โดยเป้าหมายหลักของการจัดการและควบคุมสินค้าคงคลังคือการเพิ่มประสิทธิภาพของเป้าหมาย 3 ประการ ได้แก่ การบริการลูกค้า ต้นทุนสินค้าคงคลัง และต้นทุนการดำเนินงาน โดยระดับของการบริการต้องอยู่ในระดับสูงในขณะที่ต้นทุนสินค้าคงคลังและต้นทุนการดำเนินงานต้องอยู่ในระดับที่ต่ำ [14] และการจัดการคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มความสามารถของการแข่งขันในการตลาด [15] โดยนักวิจัยส่วนใหญ่ต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้าโดยการวางแผน ปรับปรุงแก้ไขกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องในเรื่องการจัดการคลังสินค้า

The storage location assignment problem (slap) หรือปัญหาการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสรรผลิตภัณฑ์ไปยังช่องจัดเก็บในคลังสินค้า ลดต้นทุนการจัดการและทำให้เกิดการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยกลไกการจัดสรรจะเป็นไปตามหลักการที่ว่าผลิตภัณฑ์

มีความต้องการสูงจะได้รับการจัดสรรในช่องถัดจากประตูเข้าออก เพื่อลดเวลาในการจัดการ [13] โดยการกำหนดพื้นที่จัดเก็บในการจัดการคลังสินค้าเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดผลิตภัณฑ์ให้กับสถานที่จัดเก็บ เนื่องจากสินค้าต้องถูกวางลงในที่เก็บสินค้าก่อนจึงจะสามารถหยิบสินค้ามาเพื่อตอบสนองคำสั่งซื้อของลูกค้าได้ ซึ่งกุญแจสำคัญคือวิธีกำหนดนโยบายที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดพื้นที่จัดเก็บสินค้าเพื่อให้เป็นไปตามมาตรการและมีประสิทธิภาพที่ต้องการ เช่น ระยะทางในการขนส่งทั้งหมด เวลาการขนถ่ายทั้งหมด การใช้พื้นที่จัดเก็บ เป็นต้น [16] และจากการได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [17] ได้นำเสนอขั้นตอนการศึกษาเพื่อการจัดสรรพื้นที่ของคลังสินค้าหลายแห่งเพื่อลดต้นทุนการจัดการวัสดุให้เหลือน้อยที่สุด [18] ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นที่การจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า เนื่องจากคลังสินค้าของบริษัทที่ได้ทำการศึกษา มีตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังที่ไม่เหมาะสม ทำให้การไหลของรถประโยชน์ของพื้นที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ เป็นผลทำให้การทำงานภายในคลังสินค้าเกิดความล่าช้า [19] ได้มีการทำการบริหารจัดการพื้นที่ภายในคลังสินค้าและการบริหารพื้นที่ขายที่หน้าร้าน เนื่องจากการบริหารจัดการพื้นที่ภายในของคลังสินค้าไม่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณการเบิกจ่าย [20] ทำการปรับปรุงระบบบริหารจัดการคลังสินค้าเพื่อกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้า [21] ได้หาตำแหน่งการจัดเก็บของสินค้าสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพของคลังสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บวัตถุดิบ และในส่วนของการกำหนดตำแหน่งที่ตั้ง [22] ได้ทำการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานใน

นิคมอุตสาหกรรมโดยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed-integer linear programming) [23] ทำการปรับปรุงการออกแบบคลังสินค้าโดยใช้เทคนิค ABC Analysis ผสมกับเทคนิคการจัดสรรที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และออกแบบคลังสินค้าให้เหมาะสมกับโรงงาน [24] ทำการปรับปรุงผังการจัดเก็บสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานในกระบวนการรับ-จ่ายสินค้า [25] ได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบการวางแผนผังของตลาดสดโดยใช้รูปแบบจำลองมอนติคาร์โลเพื่อศึกษาสภาพการณ์ปัจจุบันและวิเคราะห์รูปแบบการวางแผนผังของตลาดสด และเมื่อกล่าวถึงในส่วนของการจัดเก็บสินค้านั้น ปัจจุบันได้มีรูปแบบการจัดเก็บสินค้าแบบหลากหลายรวมไปถึงการจัดเก็บสินค้าแบบหลายชั้น ซึ่งเมื่อกล่าวถึงในส่วน of คลังสินค้าหรือรูปแบบตึกอาคารในหลาย ๆ บริษัทหรือองค์กรก็ได้มีการออกแบบตัวอาคารแบบหลายชั้นเนื่องจากเหตุผลบางประการ เช่น มีพื้นที่การใช้สอยไม่เพียงพอ การรองรับการขยายองค์กร หรือเรื่อง สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ [26] โดยสิ่งสำคัญของปัญหาการจัดวางของพื้นที่คือพื้นที่ที่มีจำกัด จึงมีแนวโน้มที่จะมีการปรับปรุงพื้นที่การใช้สอยเพื่อให้เป็นแบบหลายชั้นขึ้นมา [27] และเช่นเดียวกับคลังสินค้าที่มีการจัดเก็บสินค้าแบบหลายชั้นก็สามารถตอบสนองความต้องการในการเก็บสินค้าได้มากขึ้น และประหยัดพื้นที่การใช้สอยมากขึ้น

จากการทบทวนศึกษาวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า นักวิจัยส่วนใหญ่ต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้าโดยการวางแผน

ปรับปรุงแก้ไข กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องในเรื่องการจัดการคลังสินค้า โดยในส่วนของการทำงานด้านการวางสินค้าเมื่อได้ตำแหน่งในการจัดวางสินค้าแล้ว ไม่ได้มีการศึกษาต่อว่าหลังจากที่ได้ตำแหน่งของการวางสินค้าออกมาแล้วนั้น ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำหนักการใช้งานของประตูเข้า/ออกของคลังสินค้า จะทำให้มีผลกระทบต่อการจัดวางสินค้าหรือไม่ ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการใช้ประตูเข้า/ออก ว่าถ้าหากมีการใช้ประตูในอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไปจะมีผลกระทบต่อการจัดวางสินค้าอย่างไร ซึ่งจะทำให้การศึกษาทั้งการจัดเก็บสินค้าแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้น โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดการของคลังสินค้ากรณีศึกษาโรงงานยาสูบแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจด้านการส่งเสริมการเพาะปลูกและส่งออกใบยาสูบที่มีกิจกรรมด้านโลจิสติกส์ เช่น การขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ การจัดเก็บสินค้า เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ จึงมีความจำเป็นอย่างมากในการบริหารจัดการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นการลดต้นทุนในระบบโลจิสติกส์ของทางบริษัทเอง

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ศึกษารูปแบบการวางแผนผังคลังสินค้า โดยจะพิจารณารูปแบบการจัดวางคลังสินค้าเชิงปริมาณโดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดที่ตั้งของผลิตภัณฑ์สำหรับการจัดเก็บในคลังสินค้า ซึ่งได้แก่การจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง (dedicated storage) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า รวมไปถึงการทำการวิเคราะห์การใช้ประตูเข้า/ออกของคลังสินค้าเพื่อหาผลกระทบต่อการจัดเก็บสินค้าด้วย

2. การดำเนินงานวิจัย

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาในข้างต้นเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางสินค้าและเพื่อต้องการทราบว่า การใช้ประตูในการเข้าออกคลังสินค้ามีผลต่อการตัดสินใจในการวางสินค้าหรือไม่ ในหัวข้อนี้จึงจะนำเสนอการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่เหมาะสม เพื่อหาความสำคัญของการใช้ประตูเข้าออกคลังสินค้าว่าประตูมีผลต่อการตัดสินใจในการวางสินค้าหรือไม่ โดยมีขั้นตอนและกระบวนการดังนี้

2.1 ศึกษาข้อมูลคลังสินค้าและรูปแบบการจัดเก็บสินค้า

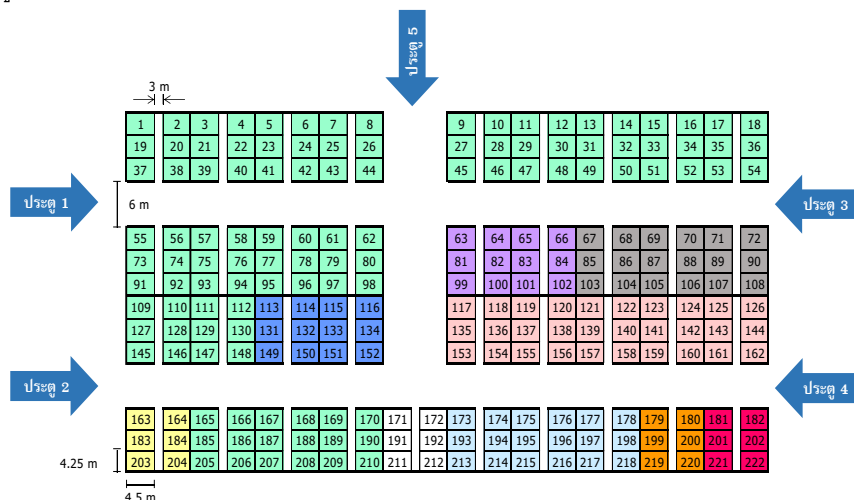
สินค้าในโรงงานกรณีศึกษาสามารถแบ่งกลุ่มสินค้าได้ทั้งหมดออกเป็น 9 กลุ่ม โดยแบ่งกลุ่มสินค้าตามการเคลื่อนไหวตามปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้า ซึ่งใช้หลักการจัดประเภทสินค้าตามลำดับความสำคัญของสินค้า (abc analysis) รวมไปถึงความต้องการของสินค้าเพื่อทำการจัดวางสินค้า ดังตารางที่ 1 และหลักการจัดวางสินค้าในคลังสินค้าได้มีการแบ่งกลุ่มออกเป็นทั้งหมด 9 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลูกค้ารายสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มสินค้าแต่ละรายการ และสีของสินค้าแต่ละชนิด พร้อมจำนวนช่องสินค้าที่ต้องการทำการจัดวาง

รายการสินค้า	กลุ่มสินค้า	จำนวนช่องสินค้าที่ต้องการทำการจัดวาง
AB	A	6
AD	A	108
AC	B	18
CC	B	30
BB	B	18
BE	C	6
AA	C	12
DD	C	12
BC	C	6
ว่าง	-	6

2.2 หาจำนวนเหตุการณ์ที่จะใช้สำหรับทำการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการทำการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น ทางผู้วิจัยได้จำลองเหตุการณ์ทั้งหมดจำนวน 136 เหตุการณ์ ซึ่งได้มาจากวิธีการจัดหมวดหมู่ Combination ซึ่งหมายถึง การนำอัตราส่วนน้ำหนักของประตูที่มีความแตกต่างกันทั้งหมดหรือ



รูปที่ 1 แผนผังแสดงตำแหน่งการจัดวางสินค้าในปัจจุบัน

บางส่วนมาจัดหมู่ โดยมีอัตราส่วนน้ำหนักของการใช้ประตู ได้แก่ 100, 80, 60, 50, 40 และ 20 ซึ่งในทางปฏิบัติคือถ้าให้อัตราส่วนน้ำหนักเป็น 100 หมายความว่า จะใช้เพียงประตูเดียวเท่านั้น หรือถ้าใช้ประตูที่มีส่วนน้ำหนักเป็น 80 หมายความว่า จะมีการใช้ประตูหนึ่ง 80 เปอร์เซนต์ และอีกประตู 20 เปอร์เซนต์ โดยไม่ถือตำแหน่งหรือลำดับก่อนหลังเป็นสำคัญ จำนวนวิธีจัดหมู่ของประตู 5 ประตู ซึ่งแตกต่างกันทั้งหมด ให้มีหมู่ละ r ประตู ($r < 5$ หรือ $r = 5$) เท่ากับ $\frac{5!}{(5-r)!r!}$ เหตุการณ์ หรือ $c(5,r) = \frac{5!}{(5-r)!r!}$

โดย หมู่ที่ 1 มีการเปิด 1 ประตู

จะได้ $c(5,1) = \frac{5!}{(5-1)!1!} = 5$ เหตุการณ์

หมู่ที่ 2 มีการเปิด 2 ประตู

จะได้ $c(5,2) = \frac{5!}{(5-2)!2!} = 10$ เหตุการณ์

แต่สามารถเปิดได้ 5 รูปแบบ คือ 80:20, 20:80, 60:40, 40:60 และ 50:50 ทำให้หมู่ที่ 2 มี $5 \times 10 = 50$ เหตุการณ์

หมู่ที่ 3 มีการเปิด 3 ประตู

จะได้ $c(5,3) = \frac{5!}{(5-3)!3!} = 10$ เหตุการณ์

แต่สามารถเปิดได้ 6 รูปแบบคือ 20:20:60, 20:60:20, 20:40:40, 40:20:40, 40:40:20 และ 60:20:20 ทำให้หมู่ที่ 3 มี $6 \times 10 = 60$ เหตุการณ์

หมู่ที่ 4 มีการเปิด 4 ประตู

จะได้ $c(5,4) = \frac{5!}{(5-4)!4!} = 5$ เหตุการณ์

แต่สามารถเปิดได้ 4 รูปแบบ คือ 20:20:20:40, 20:40:20:20, 20:20:40:20 และ 40:20:20:20 ทำให้หมู่ที่ 4 มี $5 \times 4 = 20$ เหตุการณ์

หมู่ที่ 5 มีการเปิด 5 ประตู

จะได้ $c(5,5) = \frac{5!}{(5-5)!5!} = 1$ เหตุการณ์

ซึ่งรวมทั้ง 5 หมู่จะได้เท่ากับ $5+50+60+20+1 = 136$ เหตุการณ์

2.3 รูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่เหมาะสมสำหรับการจัดวางสินค้าแบบหลายชั้น

จากงานวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [28] และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เหมาะสมกับคลังสินค้ากรณีศึกษา และได้พัฒนาและประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาการวางตำแหน่งสินค้าที่เหมาะสมสำหรับคลังสินค้าแบบชั้นเดียวและหลายชั้น ดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^n \frac{T_j}{S_j} \sum_{k=1}^q \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^m p_i d_{ikl} x_{jkl} \quad (1)$$

สมการที่ (1) แสดงสมการเป้าหมายเพื่อให้ระยะทางที่คาดหวังน้อยที่สุดสำหรับคลังสินค้าแบบหลายชั้น

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^n x_{jkl} = 1 \quad k = 1, \dots, q, l = 1, \dots, r \quad (2)$$

สมการที่ (2) คือผลรวมตัวแปรของตำแหน่งในการเลือกจัดวางสินค้าคือ 1

$$\sum_{k=1}^q \sum_{l=1}^r x_{jkl} = S_j \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

สมการที่ (3) คือผลรวมตัวแปรของตำแหน่งที่จัดวางสินค้ามีค่าเท่ากับจำนวนตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า

$$x_{jkl} = (0,1) \text{ for all } j, k \text{ and } l$$

กำหนดค่าดัชนี (indices)

i : จุดรับเข้า/ส่งออก i ($i = 1, 2, 3, \dots, m$)

j : ผลิตภัณฑ์ j ($j = 1, 2, 3, \dots, n$)

k : ตำแหน่งการจัดเก็บ q ($q = 1, 2, 3, \dots, q$)

l : ตำแหน่งชั้นการจัดเก็บ r ($r = 1, 2, 3, \dots, r$)

n : ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

m : จำนวนจุดรับเข้า/ส่งออกทั้งหมด

q : ตำแหน่งการจัดเก็บทั้งหมด

r : ตำแหน่งชั้นการจัดเก็บทั้งหมด

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (parameters)

S_j : จำนวนตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าสำหรับ
ผลิตภัณฑ์ j

T_j : จำนวนการเข้า/ออกตำแหน่งการจัดเก็บสำหรับ
ผลิตภัณฑ์ j

p_i : เปอร์เซ็นต์การเดินทางรับเข้า/ส่งออกของตำแหน่ง
การจัดเก็บไปถึง/ออกจากรับเข้า/ส่งออกจุด i

d_{ikl} : ระยะทางที่ใช้เคลื่อนที่จากจุดรับเข้า/ส่งออก i
ไปตำแหน่งการจัดเก็บ k ตำแหน่งชั้นการจัดเก็บ l
ตัวแปรตัดสินใจ (decision variable)

$$x_{jkl} \begin{cases} = 1 & \text{ถ้า ผลิตภัณฑ์ } j \text{ ถูกกำหนดให้จัดเก็บ} \\ & \text{ที่ตำแหน่ง } k \text{ ชั้นจัดเก็บ } l \\ = 0 & \text{ถ้า ผลิตภัณฑ์ } j \text{ ไม่ถูกกำหนดให้จัดเก็บ} \\ & \text{ที่ตำแหน่ง } k \text{ ชั้นจัดเก็บ } l \end{cases}$$

3. ผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางสินค้าสำหรับคลังสินค้าแบบชั้นเดียวจาก 136 เหตุการณ์ที่ปรับเปลี่ยนตามอัตราส่วนน้ำหนักการใช้งานของประตูเข้าออกพบว่าเมื่อนำค่าระยะทางที่คาดหวังจากสมการเป้าหมายมาเปรียบเทียบแล้วได้คำตอบที่ดีที่สุดสิบอันดับแรกดังตารางที่ 2 และสามารถแสดงการจัดวางตำแหน่งสินค้าที่เหมาะสมของค่าระยะทางที่คาดหวังที่ดีที่สุดสิบอันดับแรกของการจัดวางสินค้าสำหรับคลังสินค้าแบบหลายชั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 และสามารถแสดงการจัดวางตำแหน่งสินค้าที่เหมาะสมของค่าระยะทางที่คาดหวังที่ดีที่สุดได้ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่าอัตราส่วนน้ำหนักการใช้งานประตูเข้า/ออกในสมการเป้าหมายที่มีค่าระยะทางที่คาดหวังที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกสำหรับคลังสินค้าชั้นเดียว

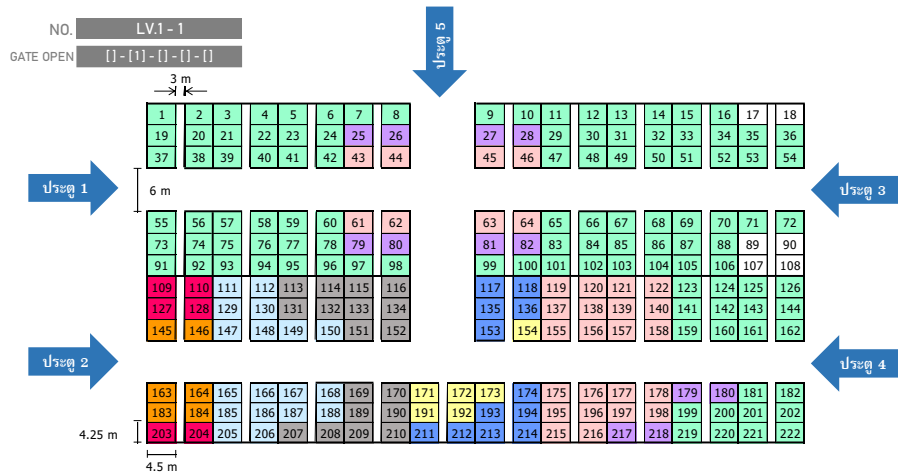
ลำดับ	ประตู					ระยะทางที่คาดหวัง (เมตร)
	1	2	3	4	5	
1	0	100	0	0	0	12,672
2	100	0	0	0	0	12,807
3	0	0	0	100	0	13,148
4	0	0	100	0	0	13,279
5	0	0	0	0	100	13,368
6	80	0	0	0	20	14,080
7	20	0	0	0	80	14,602
8	0	0	80	0	20	14,888
9	0	0	20	0	80	15,179
10	0	80	0	0	20	15,232

ตารางที่ 3 แสดงค่าอัตราส่วนน้ำหนักการใช้งานประตูเข้า/ออกในสมการเป้าหมายที่มีค่าระยะทางที่คาดหวังที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกสำหรับคลังสินค้าหลายชั้น

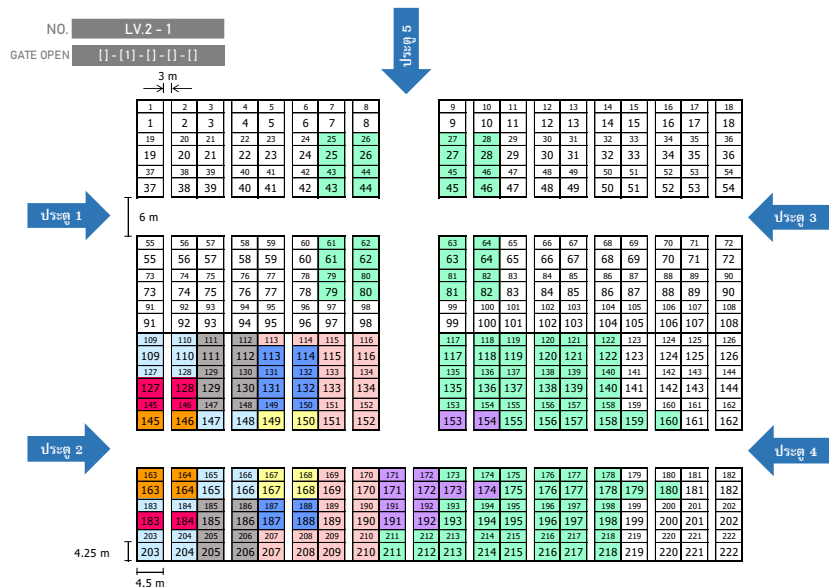
ลำดับ	ประตู					ระยะทางที่คาดหวัง (เมตร)
	1	2	3	4	5	
1	0	100	0	0	0	8,909
2	0	0	0	100	0	8,980
3	100	0	0	0	0	9,060
4	0	0	100	0	0	9,112
5	80	0	0	0	20	10,865
6	0	0	80	0	20	11,438
7	0	0	0	0	100	11,527
8	0	80	0	0	20	12,378
9	20	0	0	0	80	12,549
10	60	0	0	0	40	12,637

และเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะทางที่คาดหวังของการจัดวางสินค้าแบบเดิมและการจัดวางสินค้าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเปรียบเทียบโดยที่อัตราส่วนน้ำหนักการใช้ประตูที่เท่ากันจาก 136 เหตุการณ์ พบว่าระยะทางที่คาดหวังของการจัดวางสินค้าที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดีกว่าการจัดวางสินค้าแบบเดิมทั้งหมด 136 เหตุการณ์

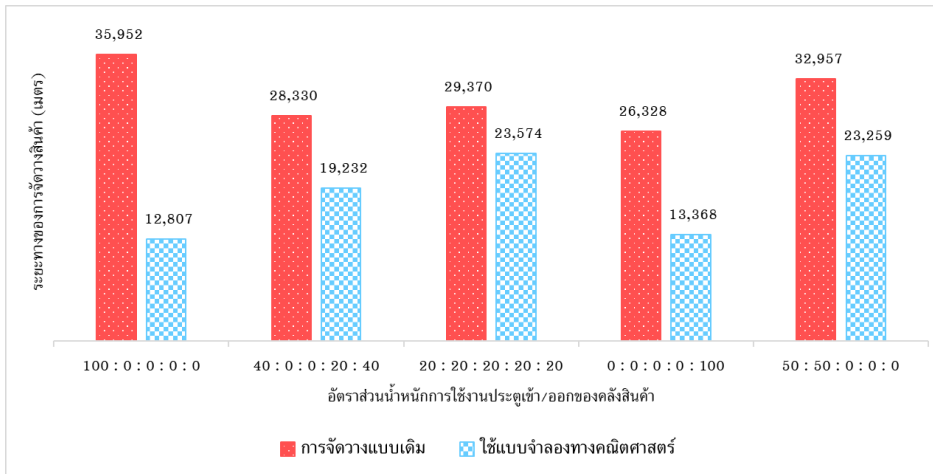
คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งแบบการจัดวางสินค้าแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้น โดยจะมีการยกตัวอย่าง 5 เหตุการณ์ที่จะแสดงให้เห็นค่าระยะทางเดิมที่เปรียบเทียบกับค่าระยะทางที่คาดหวังจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคลังสินค้าแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้น ดังรูปที่ 4 และ 5



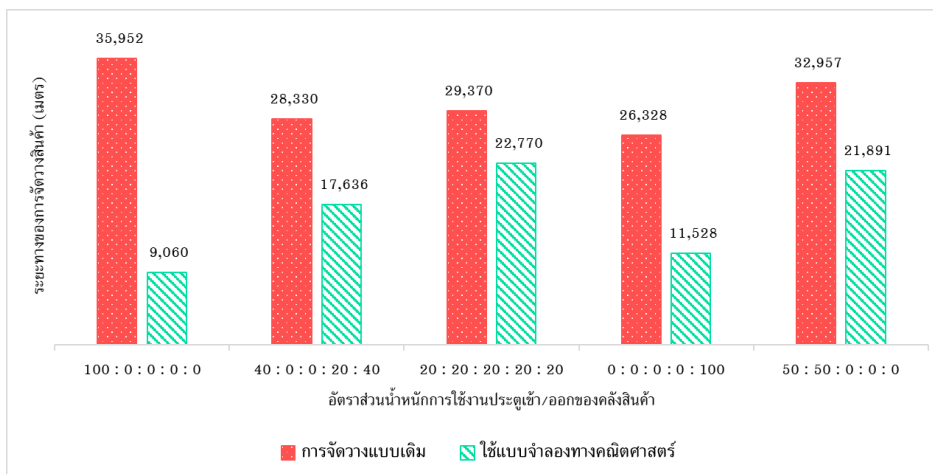
รูปที่ 2 การจัดวางตำแหน่งสินค้าที่เหมาะสมของค่าระยะทางที่คาดหวังที่ดีที่สุดสำหรับคลังสินค้าแบบชั้นเดียว



รูปที่ 3 การจัดวางตำแหน่งสินค้าที่เหมาะสมของค่าระยะทางที่คาดหวังที่ดีที่สุดสำหรับคลังสินค้าแบบหลายชั้น



รูปที่ 4 เปรียบเทียบระยะทางของการจัดวางสินค้าแบบเดิมและการจัดวางสินค้าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจัดวางสินค้าแบบชั้นเดียว



รูปที่ 5 เปรียบเทียบระยะทางของการจัดวางสินค้าแบบเดิมและการจัดวางสินค้าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจัดวางสินค้าแบบหลายชั้น

4. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยเพื่อหาตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่เหมาะสมและการวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำหนักรการใช้งานประตู่เข้า/ออกของคลังสินค้าเพื่อหาผลกระทบต่อการจัดเก็บสินค้า โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการหาตำแหน่งการจัดวาง เมื่อทำการทดลองแล้วพบว่า การจัดวางสินค้าทั้งแบบคลังสินค้าชั้นเดียว และคลังสินค้าหลายชั้น จะได้ระยะทางที่คาดหวังที่น้อยที่สุดเมื่ออัตราส่วนน้ำหนักรการใช้งานประตู่ที่ 2 เป็น 100 และประตู่ที่ 1,3,4 และ 5 เป็น 0 โดยแบบชั้นเดียวจะมีค่าระยะทางที่คาดหวัง 12,672 เมตร และแบบหลาย

ชั้นมีค่าระยะทางที่คาดหวัง 8,909 เมตร และจากการให้อัตราส่วนน้ำหนักของประตูแต่ละประตู เมื่อมีการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมด้วย แล้วนั้นพบว่าการจัดวางตำแหน่งของสินค้าที่มีความสำคัญมากที่สุดจะถูกจัดอยู่ใกล้ประตูที่มีอัตราส่วนน้ำหนักมาก และเมื่อทำการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำหนักการใช้ประตูเมื่อทำการวิเคราะห์การจัดวางร่วมกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว พบว่าการจัดวางของสินค้าได้มีการเปลี่ยนตำแหน่งการจัดเก็บไปจากเดิม แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนน้ำหนักของการใช้ประตูเข้า/ออกมีผลต่อการจัดวางสินค้า ทั้งนี้เพราะในการจัดวางสินค้า ซึ่งหากต้องการจัดสินค้าโดยเรียงลำดับสินค้าตามความต้องการแล้วนั้น สินค้าที่มีความต้องการสูงที่สุดจึงถูกจัดใกล้ประตูเข้า/ออก เพื่อลดเวลาและระยะทางในการจัดเคลื่อนที่ซึ่งสอดคล้องกับกลไกการจัดสรรสินค้าไปยังช่องจัดเก็บในคลังสินค้าของปัญหาการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บดังที่ [29] ที่ได้ทำการวิจัยเพื่อลดระยะทางและระยะเวลาในการจัดส่งเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือในธุรกิจ โดยการกำหนดผังการจัดวางสินค้า การรวมใบสั่งซื้อเป็นชุด และการกำหนดเส้นทางการหยิบสินค้าในคลังสินค้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาเหล่านี้จะช่วยลดระยะทางในการเดินทางได้อย่างมาก นอกจากนี้ ในส่วนของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้นั้น ช่วยให้ระยะทางในการเคลื่อนที่ในคลังสินค้าลดลงทั้งหมด 136 เหตุการณ์จาก 136 เหตุการณ์ คิดเป็น 100% ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบกับระยะทางการเคลื่อนที่ของคลังสินค้าแบบเดิมทั้งแบบชั้นเดียวและหลายชั้น โดยระยะทางการเคลื่อนที่ของคลังสินค้าแบบชั้น

เดียวลดลงจาก 3,994,382 เมตร เหลือ 2,757,305 เมตร คิดเป็นลดลงเฉลี่ย 30.97 เปอร์เซ็นต์ และระยะทางการเคลื่อนที่ของคลังสินค้าแบบหลายชั้นลดลงจาก 3,994,382 เมตร เหลือ 2,514,557 เมตร คิดเป็นลดลงเฉลี่ย 37.05 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่สำหรับการจัดวางสินค้าในรูปแบบเดิมก่อนปรับปรุง การจัดเก็บแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้นที่นำเสนอ

รูปแบบการจัดวางสินค้า	ระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย (เมตร)	% ปรับปรุง
1. แบบเดิม	3,994,382	-
2. แบบชั้นเดียว	2,757,305	30.97
3. แบบหลายชั้น	2,514,557	37.05

เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการกำหนดความต้องการของสินค้าที่แน่นอน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วทางโรงงานกรณีศึกษาอาจจะมีความต้องการของสินค้าที่ไม่แน่นอนเกิดขึ้น ซึ่งการจัดวางตำแหน่งสินค้าอาจจะมีความเปลี่ยนแปลงตามความต้องการของสินค้า และในการจัดเก็บสินค้าแบบหลายชั้นทางผู้วิจัยได้กำหนดความต้องการสินค้าเท่ากับการจัดเก็บสินค้าแบบชั้นเดียว ซึ่งหากเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่การจัดเก็บแล้วแบบชั้นเดียวจะใช้พื้นที่ 97.30% แบบหลายชั้นจะใช้พื้นที่ในการจัดเก็บเพียง 48.65% ซึ่งในอนาคตอาจจะมีการใช้พื้นที่ของคลังสินค้าแบบหลายชั้นมากขึ้นทำให้การจัดวางสินค้าอาจมีการเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงเป็นไปได้อย่างดี จากความกรุณาของบุคคลหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษา สนับสนุนการทำวิจัย ขอขอบพระคุณรุ่นพี่ เพื่อน และ น้องทุกคน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ คำปรึกษาและกำลังใจด้วยดีมาโดยตลอด และ ขอขอบคุณครอบครัวที่ช่วยสนับสนุน เป็นกำลังใจ และผลักดันให้มีความมุ่งมั่นในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Delaram J, Valilaia OF. A novel solution for manufacturing interoperability fulfillment using interoperability service providers. In: Tseng MM, Tsai HY, Wang Y, editors. The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems; 2017 May 3-5; Taichung City, Taiwan. Red Hook, NY: Curran Associates; 2017. p.774-9.
- [2] Delaram J, Valilai OF. An architectural view to computer integrated manufacturing systems based on Axiomatic Design Theory. Computers in Industry. 2018; 100: 96-114.
- [3] Aghamohammadzadeh E, Malek M, Valilai OF. A novel model for optimisation of logistics and manufacturing operation service composition in cloud manufacturing system focusing on cloud-entropy. International Journal of Production Research 2020; 58(7) : 1987-2015.
- [4] Tabatabaei SK, Valilai OF, Abedian A, Khalilzadeh M. A novel framework for storage assignment optimization inspired by finite element method. PeerJ Computer Science. 2021; 7: e378. doi: 10.7717/peerj-cs.378.
- [5] Athikulrat K. Increasing warehouse management efficiency by material handling case study of oil palm filling plant. KMUTT Research and Development Journal 2018; 41: 225-34.
- [6] Bartholdi JJ III, Hackman ST. Warehouse & distribution science. Atlanta: Supply Chain and Logistics Institute; 2019.
- [7] Bruccoleri M, Cannella S, Porta GL. Inventory record inaccuracy in supply chains: the role of workers' behavior. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 2014; 44(10): 796-819.
- [8] Gu J, Goetschalckx M, McGinnis LF. Research on warehouse operation: a comprehensive review. European Journal of Operational Research. 2007; 177(1): 1-21.
- [9] Tompkins JA, White JA, Bozer YA, Tanchoco JMA. Facilities planning. 4th ed. Welter J, editor. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2010.
- [10] Frazelle E. Supply chain strategy: the logistics of supply chain management. New York: McGraw-Hill Education; 2002.
- [11] Ramaa A, Subramanya KN, Rangaswamy TM. Impact of warehouse management system in a supply chain. International Journal of Computer Applications. 2012; 54(1): 14-20.

- [12] Fontana ME, López JCL, Cavalcante CAV, Noriega JJS. Multi-criteria assignment model to solve the storage location assignment problem. *Investigacion Operacional* 2020; 41(7): 1019-29.
- [13] Guerriero F, Pisacane O, Rende F. Comparing heuristics for the product allocation problem in multi-level warehouses under compatibility constraints. *Applied Mathematical Modelling* 2015; 39(23-24): 7375-89.
- [14] Wild T. Best practice in inventory management. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2002.
- [15] Kittithreerapronchai O, Phumchusri N. Warehouse management system. *Engineering Journal*. 2014; 5(2): 49-62.
doi: 10.4186/ejth.2013.5.2.49.
- [16] Kasemset C, Sudphan J. Warehouse storage assignment: the case study of a plastic bag manufacturer. In: Pace T, editor. *IEEM 2014. Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*; 2014 Dec 9-12; Selangor Darul Ehsan, Malaysia. Piscataway, NJ: IEEE; 2014. p.219-22.
- [17] Johnson RV. Spacecraft for multi-floor layout planning. *Management Science* 1982; 28: 407-17.
- [18] Srikan M, Monthatipkul C. Efficiency improvement of location assignment of products in a warehouse: a case study of Srithai Superware Public Company Limited, Suksawad branch. *WMS Journal of Management*. 2013; 2(3): 8-20.
- [19] Sukhsupat H, Chandraprakaikul W. Warehouse and selling point area management: case study of XXX., Ltd [Thesis]. Bangkok: University of the Thai Chamber of Commerce Din Daeng, Logistics Management; 2015.
- [20] Cherdchom U, Peerapattana P. The improvement of warehouse management system to determine storage location for the product: a case study of northeast distribution center. *Journal of Science and Technology Ubon Ratchathani University*. 2019; 21(2): 65-74.
- [21] Paveenchana C, Phumchusri N. Optimal storage locations for warehouse efficiency improvement in a haircare manufacturer. *Engineering Journal*. 2019; 23(5): 141-68.
- [22] นิรุทธิ์ วัฒนะแสง, กสิณ รังสิกรรพุม. แบบจำลองค่าที่ดีที่สุดสำหรับการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมโดยพิจารณาต้นทุนด้านความเสี่ยงจากเหตุอุกฉุก. *วารสารวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. 2564; 16(1): 81-93.

- [23] Tippayawong KY, Sopadang A, Patitad P. Improving warehouse layout design of a chicken slaughterhouse using combined ABC class based and optimized allocation techniques. In: Ao SI, Gelman L, Hukins DWL, Hunter A, Korsunsky AM, editors. WCE 2013. Proceedings of the World Congress on Engineering; 2013 Jul 3-5; London, United Kingdom. Hong Kong: Newswood Limited; 2013. p. 479-83.
- [24] Palapan S, Pichitlamken J. Improvement of storage layout for operational efficiency in goods receiving and goods shipping process: case study of dairy milk storage. In: Manisri C, Ruttanasanwongs P, editors. Industrial Challenges in ASEAN Economic Community. Proceedings of IE Network Conference; 2012 Oct 17-19; Cha-am, Phetchaburi. Thailand: Thai Industrial Engineering Journal; 2012. p. 1960-8.
- [25] กสิณ รังสิกรรพม. การวิเคราะห์รูปแบบการวางแผนผังตลาดสดด้วยเทคนิคแบบจำลองมอนติคาโล. วิศวกรรมสาร มก. 2562; 32: 71-82.
- [26] Izadinia N, Eshghi K. A robust mathematical model and ACO solution for multi-floor discrete layout problem with uncertain locations and demands. Computers & Industrial Engineering. 2016; 96: 237-48.
- [27] Bozer YA, Meller RD, Erlebacher SJ. An improvement-type layout algorithm for single and multiple-floor facilities. Management Science. 1994; 40: 918-32.
- [28] Tompkins JA, White JA, Bozer YA, Tanchoco JMA. Facilities planning. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2010.
- [29] Kübler P, Glock CH, Bauernhansl T. A new iterative method for solving the joint dynamic storage location assignment, order batching and picker routing problem in manual picker-to-parts warehouses. Computers & Industrial Engineering 2020; 147: 106645. doi: 10.1016/j.cie.2020.106645.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
ในการควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเพาะเห็ด

The Application of Electrical Energy from Solar cells
to Automatic Humidity Control System in Mushroom Farms

ไกรสร รวยป้อม และ ร้อยทิศ ญาติเจริญ*

Krisorn Ruaypom and Roitis Yartjaroen*

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

Department of Mechanical Technology, Faculty of Agricultural Industry Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok.

Received: 3 February 2022

Revised: 4 April 2022

Accepted: 5 April 2022

Available online: 24 June 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาการประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในการควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเพาะเห็ด มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบระบบพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และระบบควบคุมความชื้น ทดสอบกับโรงเพาะเห็ดที่มีขนาด กว้าง 2 × ยาว 4 × สูง 3 เมตร ติดตั้งระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติโดยใช้ระบบพ่นหมอกเป็นระบบเพิ่มความชื้น ลักษณะการควบคุมเป็นแบบ 2 ตำแหน่ง (on-off) ซึ่งรับสัญญาณจากหัววัดความชื้นแบบ IC ส่งสัญญาณควบคุมมายังชุดควบคุมความชื้นที่ทำงานอัตโนมัติ สามารถควบคุมการเพิ่มความชื้นให้กับโรงเพาะเห็ดด้วยหัวพ่นหมอก โดยผ่านรีเลย์ซึ่งใช้แหล่งพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบโดยการตั้งค่าควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเพาะเห็ดไม่ให้ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยนำก้อนเห็ดใส่โรงเพาะเห็ดทั้ง 2 โรงเรือน ผลการทดสอบโรงเรือนควบคุมความชื้นอัตโนมัติมีความชื้นโดยเฉลี่ย เท่ากับ 80.70 เปอร์เซ็นต์ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

โดยเฉลี่ยเท่ากับ 29.42 วัตต์ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบควบคุมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20.34 วัตต์ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.63 แอมป์แปร์ กระแสไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบควบคุมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.06 แอมป์แปร์

คำสำคัญ: โรงเรือน ควบคุมอัตโนมัติ เซลล์แสงอาทิตย์ ความชื้น

Abstract

The application of electrical energy from solar cells to automatic control humidity in mushroom. Objective to test the system, the electric power from the solar cell to the test in mushroom house sizes width 2 × length 4 × high 3 meters. The installation of humidity control systems automatically using misting system increases humidity control features a two position (on-off), which receives the signal from the probe moisture IC sends control signals to control moisture automation can control. Add moisture to the house through a fog nozzle relay using energy from the electrical energy by the solar cells. Testing by the control relative humidity in the house is less than 80 percent of the water before they mushroom house and two greenhouse. Test results are automatically sheds moisture control humidity average of 80.70 percent. Electrical energy by the solar cells. Electric power produced by an average of 29.42 watts of power for the system average 20.34 watts of electricity by an average of 1.63 ampere of electricity use in the system average was 1.06 ampere, enough to use.

Keywords: Greenhouse, Automatic control, Solar cell, Humidity

*ติดต่อ: E-Mail: krisorn_pt@hotmail.com, yart_3@hotmail.com

1. บทนำ

ปัจจุบันเห็ดที่เรานิยมรับประทานกันมีอยู่มากมายหลายชนิด ความนิยมในการรับประทานมีมากขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยรูปแบบ และรสชาติเฉพาะตัวที่แตกต่างจากอาหารประเภทพืชผักด้วยกัน รวมทั้งการที่คนมานิยมรับประทานอาหารแบบมังสวิรัตกันมากขึ้นก็ทำให้เห็ดถูกนำมาใช้ปรุงอาหารแทนเนื้อสัตว์มากขึ้นตามไปด้วย มีงานวิจัยหลายงานที่ยืนยันว่าเห็ดมีคุณสมบัติป้องกันโรคได้ เป็นยารักษาโรคต่าง ๆ ใน

เห็ดมีสารบางอย่างที่ช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดหัวใจ และช่วยในการต้านมะเร็งหลาย ๆ ชนิดด้วยการเจริญเติบโตของเห็ดขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีเป็นสิ่งสำคัญมีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิตหากสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมได้ตามความต้องการจะทำให้เห็ดเจริญเติบโตมีคุณภาพที่ดีและส่งผลให้ได้ผลผลิต

ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งความชื้นที่ดีในการเจริญเติบโตของเห็ดจะอยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 80 – 90% [1-3] กระแสการประหยัดพลังงานการใช้พลังงานทางเลือกกำลังเป็นประเด็นหลักหากสามารถนำมาใช้จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่ถูกใช้งาน และมีศักยภาพในการผลิตพลังงานหากใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม [4] พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้โดยตรงเพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาการประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในการควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเพาะเห็ดและปรับสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมตามความต้องการทำให้มีการเจริญเติบโตที่ดี [5] โดยนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงเรือนให้มีความเหมาะสมกับระบบการเจริญเติบโตของผลผลิตนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็น ทำให้สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมได้ โดยใช้ระบบควบคุมที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงเกิดความผิดพลาดน้อย ผลผลิตจึงมีการเจริญเติบโตที่ดี มีคุณภาพที่ดีขึ้นและเป็นการอนุรักษ์พลังงาน และเป็นการนำพลังงานทางเลือกมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า

2. วิธีการการวิจัย

2.1 การสร้างโรงเรือน

1) โรงเรือนที่ใช้ในการทดสอบและเก็บข้อมูลเป็นโรงเรือนมีลักษณะ เป็นรูปทรงจั่วทำจากเหล็กทอกลมอบสังกะสีสามารถถอดประกอบได้ มีขนาดกว้าง 2 x ยาว 4 x สูง 3 เมตร จำนวน 2 โรงเรือน ดังภาพที่ 1

2) นำสแลนสีดำกรองแสง 80 เปอร์เซนต์ ใช้คลุมรอบตัวโรงเรือนเพื่อใช้ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และเพื่อป้องกันแมลง



ภาพที่ 1 โรงเรือนที่ใช้ในการทดสอบ

2.2 ติดตั้งระบบสร้างความชื้นสัมพัทธ์

1) ทำการติดตั้งชุดหัวพ่นหมอก ที่ส่วนบนของโรงเรือน มีลักษณะเป็นหัวฉีดละอองแบบ 4 ทิศทาง แรงดันที่ใช้งาน 2.5 บาร์ อัตราการไหล 28 ลิตรต่อชั่วโมง พ่นละอองขนาด 90-105 ไมครอน ทำหน้าที่เพิ่มปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ติดตั้งหัวพ่นหมอกในโรงเรือนควบคุม

2) ติดตั้งปั้มน้ำ DC 12V แรงดันสูงสุด 4.8 บาร์ อัตราการไหลสูงสุด 4 ลิตรต่อนาที ต่อเข้ากับถังน้ำทรงกระบอกขนาด 200 ลิตร เพื่อใช้ในระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้ปั้มน้ำ DC 12V ดูดและส่งมายังหัวพ่นหมอก ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ติดตั้งปั้มน้ำเข้ากับถังน้ำ 200 ลิตร

3) ติดตั้งหัววัดความชื้นสัมพัทธ์ลักษณะเป็น IC ภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนเพื่อทำหน้าที่วัดความชื้นและส่งสัญญาณมายังเครื่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 หัววัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

4) ชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น AB-104TH ใช้วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 ถึง 120 องศาเซลเซียส และวัดความชื้นได้ตั้งแต่ 0-90 เปอร์เซ็นต์ และทำหน้าที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยรับสัญญาณเข้ามา (In put) จากหัววัดความชื้นแล้วส่งสัญญาณออกไป (Out put) ควบคุมด้วย Relay ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ติดตั้งชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

2.3 ติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

1) ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัล (Mono Crystal) 40 Watt 12 V เข้ากับโครงสร้างสูง 1.50 เมตร หันทางทิศตะวันตกและเอียงทำมุมกับพื้นประมาณ 10-18 องศา เพื่อที่จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าและนำไปใช้ในการควบคุมความชื้นในโรงเรือน [6] ดังภาพที่ 6



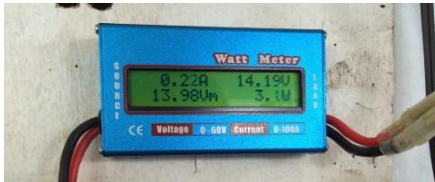
ภาพที่ 6 ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัล (Mono Crystal) 40 W 12 V

2) ติดตั้งเครื่องควบคุมการชาร์จรุ่น TPS-546 เพื่อให้ทำในการชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่มีความสม่ำเสมอป้องกันการเสียหายที่เกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงเกินไป [7] ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ติดตั้งเครื่องควบคุมการชาร์จ

3) ติดตั้งมิเตอร์วัดไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น WDC 001 เพื่อวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปจากแบตเตอรี่ [8] ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ติดตั้งมิเตอร์วัดไฟฟ้ากระแสตรง

2.4 ติดตั้งชุดวัดความชื้นสัมพัทธ์

1) ติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ AP 105 รุ่น V 1 จะทำหน้าที่วัดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์โดยรับสัญญาณ Input จากหัววัดความชื้นสัมพัทธ์แล้วส่งสัญญาณ Output ควบคุมโดย Relay[9]ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนที่ไม่ควบคุม และภายนอก

ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ทำการติดตั้งหัววัดความชื้นสัมพัทธ์ไว้และต่อสายสัญญาณมายังชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อทำการวัดค่าและควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน

ในการทดสอบได้ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ [10] [11] เมื่อถึงค่าที่ตั้งไว้ชุดควบคุมจะส่งสัญญาณควบคุมยังรีเลย์ที่ควบคุมการทำงานของปั๊มเพื่อส่งน้ำไปยังหัวพ่นหมอกที่ใช้ในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน โดยที่ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนแต่ละระบบจะแยกทำงานเป็นอิสระต่อกัน ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 Block diagram ของระบบควบคุม

2.5 การทดสอบ

นำก้อนเชื้อเห็ดเข้าในโรงเรือนที่ควบคุมและไม่ควบคุม โรงเรือนละ 200 ก้อน ตั้งค่าที่เครื่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนที่ควบคุมไม่ให้ความชื้นสัมพัทธ์กว่า 80 เปอร์เซ็นต์บันทึกค่าที่ได้ทั้งหมด คือ

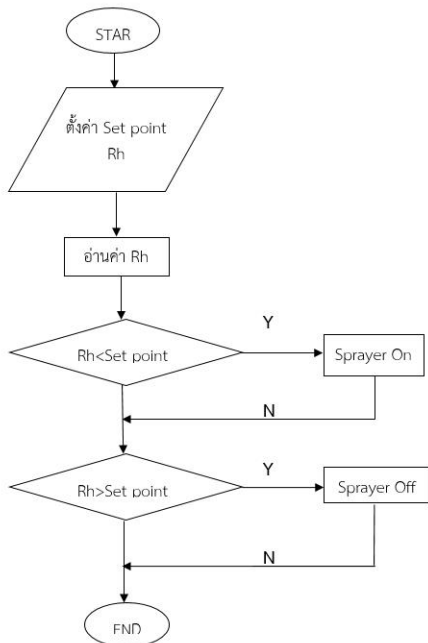
1.1 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนที่ควบคุม โรงเรือนที่ไม่ควบคุม และสภาพอากาศภายนอก ทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00น. ถึง 18.00.น.

1.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ในโรงเรือนที่ควบคุม 20 วัน

1.3 ค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ที่ผลิตได้จากแผง

โซลาร์เซลล์และที่ใช้งานจากแบตเตอรี่ 20 วัน

ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมสภาพความชื้นสัมพัทธ์เป็นลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยที่ชุดควบคุมการทำงานจะตรวจสอบค่าแล้วส่งสัญญาณมาควบคุมอุปกรณ์ [12] ในระบบ ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุม
ความชื้นสัมพัทธ์

2.6 การคำนวณหาอุปกรณ์ในระบบโซลาร์เซลล์ และระบบสร้างความชื้นสัมพัทธ์



1. หัวพ่นหมอก (Nozzle)

เนื่องจากในโรงเรือนมีขนาดพื้นที่ กว้าง 2 x ยาว 4 x สูง 3 เมตร จึงเลือกใช้ หัวพ่นหมอกขนาด แรงดันใช้งาน 2 บาร์ อัตราการไหล 28 ลิตรต่อชั่วโมง พ่นละอองขนาด 90–105 ไมครอน จำนวน 2 ตัว เพื่อให้ละอองหมอกครอบคลุมพื้นที่ภายในโรงเรือน [13]

2. ปั๊มน้ำ (Pumps)

เนื่องจากในระบบใช้หัวพ่นหมอกแรงดัน 2 บาร์ อัตราการไหล 28 ลิตรต่อชั่วโมง พ่น ละออง 90–105 ไมครอน จึงเลือกใช้ปั๊มน้ำ DC 12V รุ่น SEAFLO-21 กระแสไฟฟ้า [14] 1.5-2.6 แอมป์ กำลังไฟฟ้า 31 วัตต์

3. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

ขนาดของแผง = ค่าการใช้พลังงานทั้งหมด / 5 ชั่วโมง (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้ใน 1 วัน)

พลังงานที่ใช้ คือ ปั๊มน้ำ กำลังไฟฟ้า 31 วัตต์

ชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ย 5 ชั่วโมงต่อวัน

$$\text{วิธีการคำนวณ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{จำนวนอุปกรณ์} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน}}{5}$$

$$= \frac{31 \times 1 \times 5}{5} = 31 \text{ วัตต์}$$

เนื่องจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 31 วัตต์ ไม่มีจึงเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 40 วัตต์

4. เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charger Control)

แผงโซลาร์เซลล์มีขนาด 40 วัตต์ 2.23 แอมป์แปร์ต้องมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่ากระแสไฟฟ้า (Amp) ที่ไหลผ่านจากโซลาร์เซลล์สู่แบตเตอรี่ควรใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ขนาด 4 แอมป์

5. แบตเตอรี่ (Battery)

$$\text{ความจุของแบตเตอรี่} = \frac{\text{กำลังวัตต์รวม}}{\text{แรงดัน Battery} \times 0.6 \times 0.85}$$

การใช้งานกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่ = 0.6

ประสิทธิภาพของ Inverter = 0.85

วิธีการคำนวณ [15][16]

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{จำนวนอุปกรณ์} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน}}{\text{แรงดันแบตเตอรี่} \times 0.6 \times 0.85}$$

$$= \frac{31 \times 1 \times 5}{12 \times 0.6 \times 0.85} = 25.3 \text{ แอมป์แปร์}$$

เนื่องจากแบตเตอรี่ขนาด 25.3 แอมป์แปร์ไม่มีจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 45 แอมป์แปร์

6. ทหาระยะเวลาการใช้งาน Battery

จากปริมาณ Battery = [(แรงดันไฟฟ้า Battery x 0.6) x ขนาด Battery)] / กำลังไฟฟ้า

$$\begin{aligned} & \text{วิธีการคำนวณ} \\ &= \frac{\text{แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่} \times 0.6 \times 45}{\text{กำลังไฟฟ้า}} \\ &= \frac{12 \times 0.6 \times 45}{31} \\ &= \text{ใช้งานได้ ประมาณ 10.5 ชั่วโมง} \end{aligned}$$

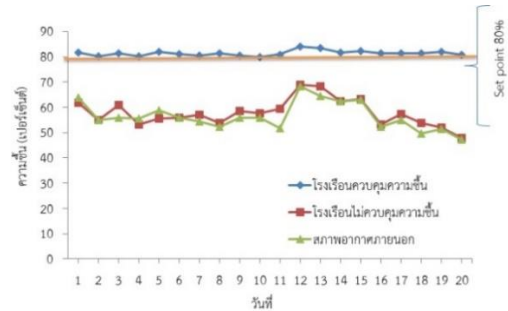
7. ทหาระยะเวลาในการชาร์จ Battery

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{ขนาดแบตเตอรี่} \times \text{ขนาดแผง}}{\text{แรงดัน}} \\ & \text{วิธีการคำนวณ} \\ &= \frac{45 \times 40}{12} \\ &= \text{ระยะเวลาในการชาร์จ 13.5 ชั่วโมง} \end{aligned}$$

สรุป

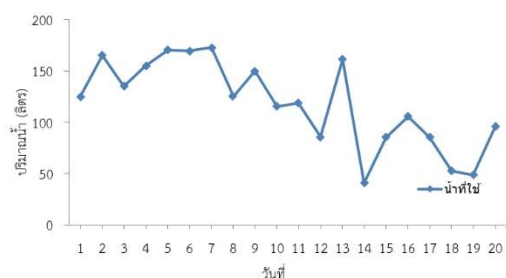
- (1) ขนาดแผงโซลาร์เซลล์ 31 วัตต์ ไม่มีจำหน่ายจึงต้องเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 40 วัตต์
- (2) สามารถดูได้จากกระแสที่ออกจากแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 2.23 แอมป์แปร์ ควรใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ขนาด 4 แอมป์แปร์
- (3) ความจุของแบตเตอรี่ไม่มีขนาด 12 โวลต์ 25.3 แอมป์แปร์ จึงต้องเลือกใช้ขนาดที่ใกล้เคียงกัน แบตเตอรี่มีขนาดต่ำสุด 12 โวลต์ 45 แอมป์แปร์
- (4) ถ้าเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่ให้มากกว่าเดิม ระยะเวลาในการใช้งานก็จะเพิ่มมากขึ้น
- (5) ระยะเวลาในการชาร์จมีเวลานานถ้าเพิ่มแผงโซลาร์เซลล์หรือเพิ่มขนาดแผงโซลาร์เซลล์จะทำให้ระยะเวลาในการชาร์จลดน้อยลง

3. ผลการวิจัย



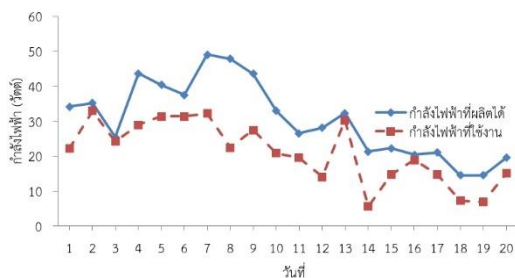
ภาพที่ 12 ค่าการทำงานของระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติ

จากภาพที่ 12 แสดงค่าการทำงานของระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติ สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับต้องการของเห็ด โดยมีความชื้นในโรงเรือนควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติโดยเฉลี่ยเท่ากับ 80.70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความชื้นโรงเรือนที่ไม่ควบคุมและสภาพแวดล้อม มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดโดยเฉลี่ย 69.00 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด โดยเฉลี่ย 48.00 เปอร์เซ็นต์ สภาพอากาศภายนอกค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดโดยเฉลี่ย 68.20 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ย 47.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ต้องการควบคุม



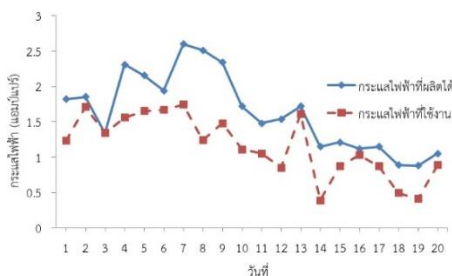
ภาพที่ 13 ปริมาณน้ำที่ใช้ในโรงเรือนควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่อวัน

จากภาพที่ 13 ปริมาณน้ำที่ใช้ในโรงเรียนควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่อวัน 20 วัน จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละวันแตกต่างกันออกไปเนื่องจากในแต่ละวันนั้นมีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน บางวันมีอุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณความชื้นในโรงเรียนที่ควบคุมลดลงระบบสร้าง ความชื้นจึงทำงานบ่อยปริมาณน้ำที่ใช้จึงมากขึ้นตามไปด้วย บางวันมีฝนตกทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงจึงปริมาณน้ำน้อยโดยเฉลี่ยในการทดสอบใช้ปริมาณน้ำ 118.2 ลิตร/วัน



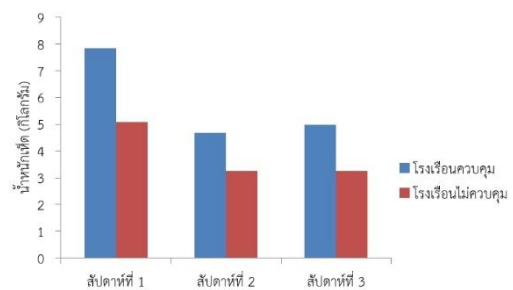
ภาพที่ 14 การทดสอบหากำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อวัน

จากภาพที่ 14 การทดสอบหากำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อวัน 20 วัน จะเห็นได้ว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากสภาพอากาศแวดล้อมโดยมีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ย 29.42 วัตต์ต่อวัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 47.10 วัตต์ต่อวัน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 14.50 วัตต์ต่อวัน และกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยเฉลี่ย 20.34 วัตต์ต่อวัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 30.20 วัตต์ต่อวัน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.60 วัตต์ต่อวัน



ภาพที่ 15 การทดสอบหากระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อวัน

จากภาพที่ 15 การทดสอบหากระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อวัน 20 วัน จะเห็นได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีปริมาณสูงกว่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้งานทุกวัน และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะมีค่าแตกต่างกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมากที่สุด วันที่ 8 เนื่องจากมีอากาศร้อนและฝนตกตลอดทั้งวันโดยมีกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ย 1.63 แอมป์ต่อวัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.60 แอมป์ต่อวัน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.88 แอมป์ต่อวัน และกระแสไฟฟ้าที่ใช้โดยเฉลี่ย 1.06 แอมป์ต่อวัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.71 แอมป์ต่อวัน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.39 แอมป์ต่อวัน



ภาพที่ 4.5 แผนภูมิปริมาณการใช้ 3 สัปดาห์ (เฉลี่ย 20 วัน)

ภาพที่ 16 น้ำหนักเห็ดโรงเรียนควบคุมและน้ำหนักเห็ดโรงเรียนไม่ควบคุม

จากภาพที่ 16 น้ำหนักเห็ดโรงเรียนควบคุมและน้ำหนักเห็ดโรงเรียนไม่ควบคุมทั้ง 3 สัปดาห์เป็นช่วงที่เห็ดออกเยอะที่สุด จะสังเกตได้ว่าน้ำหนักเห็ดของโรงเรียนที่ควบคุมจะมีน้ำหนักมากกว่าโรงเรียนที่ไม่ควบคุมทั้ง 3 สัปดาห์ โดยในสัปดาห์ที่ 1 ของทั้ง 2 โรงเรียนจะมีน้ำหนักเห็ดมากกว่าสัปดาห์อื่น ๆ เพราะเชื้อเห็ดในก้อนยังมีปริมาณมากอยู่ น้ำหนักเห็ดทั้ง 3 สัปดาห์ ของโรงเรียนที่ควบคุมเท่ากับ 17.5 กิโลกรัม โรงเรียนที่ไม่ควบคุมเท่ากับ 11.55 กิโลกรัม ปัจจัยที่ทำให้ น้ำหนักเห็ดของโรงเรียนที่ควบคุมมากกว่าน้ำหนักเห็ดของโรงเรียนที่ไม่ควบคุม คือ

โรงเรียนที่ควบคุมมีความชื้นสัมพัทธ์คงที่ส่วนโรงเรียนที่ไม่ควบคุมความชื้นจะเปลี่ยนไปตามสภาพอากาศ

3.1 วิจารณ์ผลการทดสอบ

1. ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรียนควบคุมสามารถควบคุมความชื้นได้อยู่ในค่าที่ได้ตั้งไว้ ส่วนโรงเรียนไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และสภาพอากาศภายนอกมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกันในทุก ๆ วัน และ ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ

2. ปริมาณการใช้น้ำของโรงเรียนควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวันจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปเนื่องจากสภาพอากาศของแต่ละวันนั้นแตกต่างกันในวันที่ 14 จะมีปริมาณการใช้น้ำน้อยที่สุดที่ 40.7 ลิตร เนื่องจากมีอากาศครึ้มและฝนตก

3. พลังงานที่ผลิตได้ของทุกวันนี้มีปริมาณมากกว่าพลังงานที่ใช้งานของทุกวันนี้จึงเพียงพอต่อการใช้งาน

4. ปริมาณเห็ดที่เก็บเกี่ยวได้จากโรงเรียนที่ควบคุมมีปริมาณมากกว่าโรงเรียนที่ไม่ควบคุมทั้ง 3 สัปดาห์ น้ำหนักเห็ดรวม 3 สัปดาห์ ของโรงเรียนที่ควบคุมเท่ากับ 17.5 กิโลกรัม ของโรงเรียนที่ไม่ควบคุมเท่ากับ 11.55 กิโลกรัม

4.สรุป

การประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติในโรงเรียนเพาะเห็ด โดยทดสอบระบบไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นำมาใช้ในระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติ ในระยะเวลา 20 วัน จากการทดสอบพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ย

เท่ากับ 1.63 แอมป์แปร์ กระแสไฟฟ้าที่ใช้งานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.06 แอมป์แปร์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 29.42 วัตต์ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20.34 วัตต์

เมื่อเปรียบเทียบโรงเรียนที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้ไฟฟ้าจากแสงเซลล์แสงอาทิตย์กับโรงเรียนที่ไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ โดยกำหนดมีค่าความชื้นไม่ให้ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโรงเรียนที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์มีความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 80.70 เปอร์เซ็นต์ โรงเรียนที่ไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์มีค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 57.79 เปอร์เซ็นต์ โรงเรียนที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เห็ดออกมาจะมีลักษณะดี ดอกสวย มีคุณภาพ โรงเรียนที่ไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ลักษณะดอกไม่สวย มีรอยแตก กลีบดอกขาด จากผลการทดสอบสามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถประยุกต์ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติในโรงเรียนเพาะเห็ดได้

4.1 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบการประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์การควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรียนเพาะเห็ดสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่น ๆ ได้
2. เกษตรกรควรคำนึงถึงต้นทุนและควรศึกษาเกี่ยวกับระบบโซล่าเซลล์ก่อนนำมาใช้งาน
3. น้ำที่ใช้รดเห็ดควรใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่สะอาดเพราะน้ำที่สะอาดมีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ด
4. ควรเพิ่มการทดสอบประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อนำมาใช้กับระบบสูบน้ำที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น

5. ควรมีการติดตั้งระบบบันทึกผลแบบต่อเนื่องเพื่อจะได้อัตราการใช้น้ำที่ดี รวมถึงวิธีการควบคุม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิรวุฒิ อินทรานุกูล. การสร้างโรงเรือนสวนเห็ดจิรวุฒิ. ชัยภูมิ; 2551.
- [2] ธนากร น้ำหอมจันทร์ และ อติกร เสรีพัฒนานนท์. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน แบบ Evaporative Cooling System ร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ PLC. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสต์เทิร์นเอเชีย. 2555; 8(1): 98-111.
- [3] นิตินรงค์ พงษ์พานิช, วัชรพล ชยประเสริฐ, ภัทรพร สัตยชาติเจตน์, อธิเดช มูลมั่งมี และ กฤษฎา แสงเพชรส่อง. การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบEvaporative cooling. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 17 - 19 มีนาคม 2558, จังหวัดนครปฐม; 2558.
- [4] บุญยงค์ ภูนันทพงษ์. การจัดการและควบคุมอุตสาหกรรม. พิสิษฐ์: กรุงเทพฯ; 2531.
- [5] ศุภวุฒิ ผากา, สันติ วงศ์ใหญ่ และ อติสร ถมยา. 2557. การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแบน ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. 2557; 7(1): 58-69.
- [6] Sathaya Bunratchoo. แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (สี่ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.klcbright.com>.
- [7] ปุณณรัตน์ ภิญญพันธ์. แบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงานแสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ (สี่ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.travel-is.com>
- [8] เครื่องควบคุมการชาร์จ. (สี่ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <https://solarsmileknowledge.wordpress.co>
- [9] จุฑารัตน์ เอื้อปัญจะศิลา. อุปกรณ์วัดความชื้น (สี่ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaigoodview.com>
- [10] ณัฐสมุทร เอกภาพสากล และ สุรัชย์ รดาการ. การเพิ่มสมรรถนะของปั๊มน้ำ ด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในระบบป้องกันอัคคีภัย. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน; 2556.
- [11] ธัญธร ออกกะลา. การคำนวณปริมาณการใช้น้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน: นครปฐม; 2553.

- [12] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงานจากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ. สารเคมีอันตราย (สื่อออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:
<http://www.Thaiclinic.com/medbible/bonetumor.html>
- [13] ชาย ชีวะเกตุ และ ชนานัญ บัวเขียว. การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์. (สื่อออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:
<http://www2.eppo.go.th/vrs/VRS49-09-Solar.html>
- [14] ประเสริฐ ฤกษ์เกรียงไกร. กลศาสตร์ของไหล. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: เชียงใหม่; 2541.
- [15] เอกประพันธ์ อักษรพันธ์. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการสาธิตระบบการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน. [วิทยานิพนธ์ปริญญา ม ห า บั ญ ฑิ ต] . ก รุ ง เท พ ฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2543.
- [16] พรรณวิภา อรุณจิตต์, นาวิ โกธกล้า และ ปิจิราวุธ เวียงจันดา. โรงเรือนปลูกพืชควบคุมและมอนิเตอร์อัตโนมัติผ่านระบบเครือข่าย. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 17 - 19 มีนาคม 2558, จังหวัดนครปฐม; 2558.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การออกแบบแผนผังเพื่อกำหนดตำแหน่งจัดเก็บในคลังสินค้าการเกษตร Layout Design to Determine Storage Location for an Agriculture Warehouse

พุทธานกูร เขียวทอง¹⁾ และ คมกฤษ ปิติฤกษ์²⁾

Phutthangkul Khaiwthong^{1)*} and Komkrit Pitiruek²⁾

¹⁾สาขาวิชาวิศวกรรมนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²⁾สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹⁾ Program of Innovation Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

²⁾ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

Received: 3 February 2022

Revised: 4 April 2022

Accepted: 5 April 2022

Available online: 24 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบแผนผังและกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้าของคลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษา จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของคลังสินค้า พบปัญหาในการบริหารจัดการพื้นที่และขาดการระบุตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสม ส่งผลให้มีพื้นที่จัดเก็บไม่เพียงพอและเกิดความล่าช้าในการทำงาน จากปัญหาทำการออกแบบแผนผังตามทิศทางของคลังสินค้าและได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสม โดยพิจารณาผลการออกแบบจากระยะทางการเคลื่อนย้ายสินค้า ผลการออกแบบที่ได้จากแบบจำลอง พบว่าทั้งสองแบบแผนผังมีความสามารถในการจัดเก็บเพียงพอต่อความต้องการจัดเก็บของรูปแบบการจัดเก็บแบบชั้นวาง ในส่วนของการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสม พบว่าแบบแผนผังตามแนวขวางมีระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้าต่ำกว่าแบบแผนผังตามแนวยาว โดยสามารถลดระยะทางรวมคิดเป็นร้อยละ 18.5 จากคลังสินค้าเดิม

คำสำคัญ: การออกแบบคลังสินค้า รูปแบบการจัดวางผังคลังสินค้า สินค้าการเกษตร

Abstract

This research aimed to design a warehouse layout and determine the storage location for a company's warehouse. A study of the current warehouse shows that the space management and the storage location were insufficient. Therefore, warehouse activities was delayed. To solve this problem, a mathematical model was adopted and modified according to the direction of the warehouse design. By considering the distances required to move goods, the proposed model provided two schematic designs for an improved warehouse layout and sufficient storage capacity in the rack storage system. The transverse schematic delivered a lower distance compared with the longitudinal schematic for determining a more suitable storage location. This new storage location reduced the total distance required to move goods by 18.5%.

Keywords: Warehouse design: Warehouse layout model: Agriculture goods

*ติดต่อ: E-Mail: phutthangkul_k@kkumail.com, โทรศัพท์: 089-423-9120

1. บทนำ

การจัดการคลังสินค้า เป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญต่อการจัดการโลจิสติกส์ ผ่านกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการคลังสินค้า เช่น การวางแผนคลังสินค้า การวางแผนเคลื่อนย้ายสินค้าภายในคลัง รวมถึงการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการบริหารคลังสินค้า เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กร [1] วัตถุประสงค์ของการจัดการคลังสินค้า ได้แก่ 1) ลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้า 2) การใช้พื้นที่ในการจัดเก็บให้เกิดประโยชน์สูงสุด 3) สร้างความมั่นใจในการทำงานในการเคลื่อนย้ายสินค้า 4) เพื่อให้สามารถวางแผนควบคุมการใช้ทรัพยากรให้เกิดความคุ้มค่า [2]

จากการทำงานของคลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษาพบปัญหาในการบริหารจัดการพื้นที่ ส่งผลให้มีพื้นที่จัดเก็บไม่เพียงพอและปัญหากระบวนการจัดเก็บขาดการระบุตำแหน่งจัดเก็บที่ชัดเจน จากปัญหาดังกล่าว บริษัทมีนโยบายสร้างคลังสินค้าแห่งใหม่เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการศึกษารูปแบบผัง การใช้แนวคิดการจัดวางผังตามทิศทางและใช้เกณฑ์อุปกรณ์ชั้นวางตามความเหมาะสมกับลักษณะสินค้าที่จัดเก็บ [3] โดยนำสมการของ G. Richards. [4] มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ให้มีแบบผังที่สามารถกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บได้ จากนั้นศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บ โดยการเลือกกลยุทธ์ในการจัดเก็บที่เหมาะสม

ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการหยิบสินค้า โดยพัฒนาแบบจำลองมอนติคาโลจำลองเหตุการณ์เปรียบเทียบระยะทางเฉลี่ยของกลยุทธ์จัดเก็บ พบว่ากลยุทธ์การจะเก็บตามความนิยมสินค้า (cube-per-order index: COI) ซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์มาเข้าร่วม ให้ผลลัพธ์ระยะทางเฉลี่ยลดลงต่ำที่สุด [5]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ มาใช้ในการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บอย่างเหมาะสม โดยที่กสิณ รัชสิกรพุม [6] ได้ศึกษาสภาพการณ์ปัจจุบันของตลาด โดยวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจของปัจจัยที่เกี่ยวข้องจากผู้ให้บริการและผู้ประกอบการ โดยใช้เทคนิคแบบจำลองมอนติคาโลและเทคนิคการนับของบอร์ดาในการวิเคราะห์ฝั่งตลาดสดที่ดีที่สุด ขณะที่เมธินีและชุมพล [7] ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งจัดวางสินค้า โดยใช้หลักการตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวกว้างไว้ใกล้ประตู พบว่ามีระยะทางเฉลี่ยลดลง 8.61% และระยะเวลาเฉลี่ยในการหยิบสินค้าลดลง 35.71% นอกจากนี้งานวิจัยของชนิษฐาและอัครนันท์ [8] ที่ทำการสร้างตัวแบบเชิงเส้นแบบกำหนดตำแหน่งการวางสินค้า จากการจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ด้วยดัชนีความสัมพันธ์ของสินค้า ร่วมกับโปรแกรม Open Solver Add-in ใน Excel ผลที่ได้ช่วยลดระยะทางในการหยิบสินค้าลดลง 56% และลดต้นทุนด้านแรงงานลง 468,000 บาทต่อปี สอดคล้องกับงานวิจัยของวิทยา คาระคำ [9] ได้ทำการออกแบบผังการจัดเก็บสินค้า โดยใช้ Excel Solver เข้ามาช่วยกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางสินค้าทั้ง 10 กลุ่ม และมีการวิเคราะห์จำแนกสินค้าตาม ABC Analysis เพื่อให้ทราบถึงระดับความสำคัญของกลุ่มสินค้าในแต่ละประเภท ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ทำให้เวลาการ

หยิบสินค้าลดลง ส่วนงานวิจัยของ Arunyanart et al. [10] ใช้ทฤษฎี Warehouse layout model กำหนดตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสม ที่ทำให้ระยะทางคาดหวังระหว่างประตูและแต่ละตำแหน่งจัดเก็บที่ต่ำที่สุดของรูปแบบการจัดวางสินค้าแบบกองกับพื้น พบว่าสามารถลดระยะทางคาดหวังลงได้ 42.32% สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาพการณ์ปัจจุบันของคลังสินค้าการเกษตรกรณีศึกษา เพื่อให้ทราบถึงปัญหาการทำงาน จากนั้นทำการออกแบบผังคลังสินค้าใหม่ ให้มีจำนวนช่องจัดเก็บเพียงพอต่อความต้องการของรูปแบบการจัดเก็บแบบชั้นวางและสร้างแบบจำลองการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บของคลังสินค้าแห่งใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายการแก้ปัญหาการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา โดยนำหลักการ Warehouse layout model มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง เพื่อได้ตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่มีระยะทางเคลื่อนย้ายสินค้ารวมต่ำที่สุด

2. วิธีการวิจัย

จากปัญหาที่กล่าวมาเบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการพื้นที่จัดเก็บสินค้าและการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสม ซึ่งในบทนี้จะนำเสนอการออกแบบแผนผังคลังสินค้าให้มีปริมาณช่องจัดเก็บที่เพียงพอต่อการจัดเก็บและนำเสนอการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระยะทางการเคลื่อนย้ายสินค้า

2.1 การออกแบบแผนผังคลังสินค้า

คลังสินค้ากรณีศึกษามีพื้นที่ทั้งหมด 1,152 ตารางเมตร ทำการแบ่งพื้นที่โดยพิจารณาจากระบบการจัดเก็บได้แก่ ระบบวางซ้อนกันบนพื้น (Floor Stack System) และระบบชั้นวางของ (Rack System)

จากนั้นออกแบบพื้นที่จัดเก็บของระบบชั้นวาง โดยใช้สมการของ G. Richards. [4] ในการคำนวณหาจำนวนโมดูลของชั้นวางสินค้า แสดงสมการดังนี้

ความกว้างโมดูล = ช่องทางเดิน + ระยะเผื่อระหว่างด้านหลังพาเลท + (จำนวน x ความกว้างพาเลท) (1)

ความยาวโมดูล = ความกว้างเสา + ผลรวมระยะเผื่อระหว่างพาเลท + (จำนวน x ความยาวพาเลท) (2)

ความสูงโมดูล = ความสูงของพาเลทมีสินค้า + ระยะเผื่อด้านบน + ความสูงคาน (3)

จากสมการที่แสดงข้างต้น ทำการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณจากอุปกรณ์จัดเก็บของบริษัท โดยแสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลขนาดมาตรฐานของอุปกรณ์จัดเก็บ

ขนาดมาตรฐาน (เมตร)	
ความกว้างช่องทางเดิน	3.0
ความกว้างพาเลท	1.0
ความยาวพาเลท	1.2
ความสูงพาเลท	0.15
ระยะเผื่อระหว่างช่องด้านหลังพาเลท	0.1
ระยะเผื่อระหว่างพาเลท	0.1
ระยะเผื่อด้านบน	0.15
ความกว้างเสา	0.12
ความสูงคาน	0.1
ความกว้างของพื้นที่จัดเก็บ	19.0
ความยาวของพื้นที่จัดเก็บ	39.0
ความสูงคานของพื้นที่จัดเก็บ	8.0

2.2 การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดตำแหน่งจัดเก็บสินค้า

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักการ Warehouse Layout Model [11] และประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้นมาใช้ เพื่อให้สอดคล้องกับ

การออกแบบและความเหมาะสมกับสภาพการทำงานจริงของบริษัทกรณีศึกษาดังนี้

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\min z = \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \frac{T_j}{S_j} P_i d_{ikl} x_{jkl} \quad (4)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{j=1}^J x_{jkl} = 1, \forall k, l \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{jkl} = S_j, \forall j \quad (6)$$

$$x_{jkl} \in (0,1) \quad (7)$$

ดัชนี (Indices)

- i คือ ประตูเข้า-ออก ($i = 1, 2, 3 \dots, I$)
- j คือ ประเภทสินค้า ($j = 1, 2, 3 \dots, J$)
- k คือ ตำแหน่งช่องจัดเก็บ ($k = 1, 2, 3 \dots, K$)
- l คือ ชั้นของช่องจัดเก็บ ($l = 1, 2, 3 \dots, L$)
- I คือ จำนวนประตูเข้า-ออกทั้งหมด
- J คือ ประเภทสินค้าทั้งหมด
- K คือ จำนวนช่องจัดเก็บทั้งหมด
- L คือ จำนวนชั้นทั้งหมด

พารามิเตอร์ (Parameter)

- z คือ ระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้า (หน่วย : เมตร)
- T_j คือ ความถี่ในการเบิกของประเภทสินค้า j
- S_j คือ จำนวนช่องจัดเก็บที่ต้องการของประเภทสินค้า j (หน่วย : พาเลท)
- P_i คือ สัดส่วนการย้ายสินค้าผ่านประตู i
- d_{ikl} คือ ระยะทางจากประตู i ไปยังช่องจัดเก็บ k ชั้น l (หน่วย : เมตร)
- x_{jkl} คือ ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกสินค้า j ไปจัดเก็บในช่องจัดเก็บ k ชั้น l

แต่ละสมการสามารถอธิบายได้ดังนี้

สมการเป้าหมาย (4) คือระยะทางรวมของการเคลื่อนย้ายสินค้าต่ำที่สุด ของการจัดวางสินค้าแต่ละประเภท j ในแต่ละช่องจัดเก็บ k ชั้น l ซึ่งเกิดจากผลคูณระหว่างความถี่ต่อช่องจัดเก็บของแต่ละประเภทสินค้า (T_j/S_j) ค่าสัดส่วนการย้ายสินค้าผ่านประตู (P_i) ค่าระยะทาง (d_{ikl}) และค่าตัวแปรในการเลือกตำแหน่งช่องจัดเก็บ (X_{jkl})

สมการข้อจำกัด (5) กำหนดให้ผลรวมตัวแปรในการเลือกตำแหน่งช่องจัดเก็บมีค่าเท่ากับ 1 คือ 1 ช่องจัดเก็บสามารถวางสินค้าได้ 1 ประเภทสินค้า

สมการข้อจำกัด (6) กำหนดให้ผลรวมตัวแปรในการเลือกตำแหน่งช่องจัดเก็บ มีค่าเท่ากับจำนวนช่องจัดเก็บที่ต้องการของแต่ละประเภทสินค้า

สมการข้อจำกัด (7) ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งช่องจัดเก็บเป็น binary

2.3 การหาตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสมของแบบแผนผังทางเลือก

ผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลจำนวนช่องจัดเก็บและความถี่รวมในการเคลื่อนย้ายของสินค้าแต่ละประเภทโดยป้อนข้อมูลเข้าแบบจำลอง เพื่อหาตำแหน่งจัดเก็บ ให้มีระยะทางรวมต่ำที่สุด แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลช่องจัดเก็บและความถี่ของแต่ละประเภทสินค้า

ประเภทสินค้า (j)	ช่องจัดเก็บ (S_j)	ความถี่ (T_j)		
		ขาเข้า	ขาออก	รวม
AAA	144	2,282	5,052	7,334
BBB	60	4,174	7,030	11,204
CCC	9	103	336	439
EEE	74	655	1,596	2,251
HHH	20	474	543	1,017
JJJ	72	1,419	1,750	3,169
LLL	85	1,676	2,892	4,568
PPP	122	1,191	4,141	5,332
SSS	11	138	155	293
WWW	45	1,391	2,615	4,006
รวม	642	13,503	26,110	39,613

เมื่อพิจารณาข้อมูลความถี่ในการเคลื่อนย้ายสินค้าพบว่ามีส่วนความถี่ของสินค้าขาเข้ากับสินค้าขาออกคิดเป็นร้อยละ 34 : 66 ซึ่งข้อมูลสัดส่วนของการย้ายสินค้าเข้า-ออก (P_i) จะถูกนำไปคำนวณหาระยะทางจากช่องจัดเก็บไปยังประตู (d_{ikl}) ของแบบแผนผังทางเลือกที่ได้จากการออกแบบ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

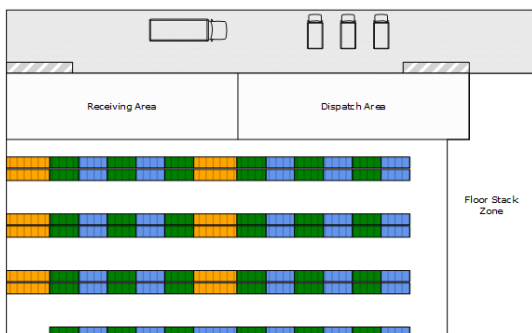
3.1 ผลการออกแบบแบบแผนผังคลังสินค้า

จากการออกแบบแบบแผนผังมีการกำหนดพื้นที่ทำกิจกรรมรับเข้า-จ่ายสินค้าและออกแบบพื้นที่จัดเก็บของระบบชั้นวาง ซึ่งสามารถออกแบบแบบแผนผังทางเลือกได้สองแบบตามทิศทางของคลังสินค้า ได้แก่ แบบแผนผังตามแนวยาวและแบบแผนผังตามแนวขวาง โดยมีความสามารถในการจัดเก็บชั้นวางสินค้าเป็นหน่วยพาเลท และแสดงผลการคำนวณหาจำนวนโมดูลชั้นวางดังตารางที่ 3

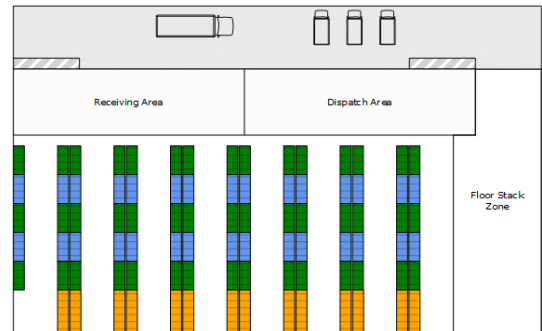
ตารางที่ 3 จำนวนโมดูลช่องจัดเก็บของแบบแผนผังทางเลือก

ชนิดช่อง จัดเก็บ	จำนวน โมดูล	จำนวน พาเลท ต่อโมดูล	จำนวน ชั้น	จำนวน พาเลท รวม
แบบผังตามแนวยาว				
แบบปกติ	77	2	5	887
ทางเดิน ระหว่าง แถว	13	3	3	
แบบผังตามแนวขวาง				
แบบปกติ	75	2	5	876
ทางเดิน ระหว่าง แถว	14	3	3	

จากตารางที่ 3 แสดงจำนวนโมดูลช่องจัดเก็บที่ได้จากการคำนวณขนาดของโมดูลช่องจัดเก็บด้วยสมการ (1)-(3) และการจัดวางชั้นวางในผังแบบจำลอง ซึ่งจากการออกแบบพบว่าแบบแผนผังตามแนวยาวมีจำนวนโมดูลทั้งหมด 90 โมดูล ซึ่งสามารถจัดเก็บได้ 887 พาเลท แสดงแบบแผนผังตามแนวยาวดังรูปที่ 1 และแบบแผนผังตามขวางมีจำนวนโมดูลทั้งหมด 89 โมดูล สามารถจัดเก็บได้ 876 พาเลท แสดงแบบแผนผังตามแนวขวางดังรูปที่ 2

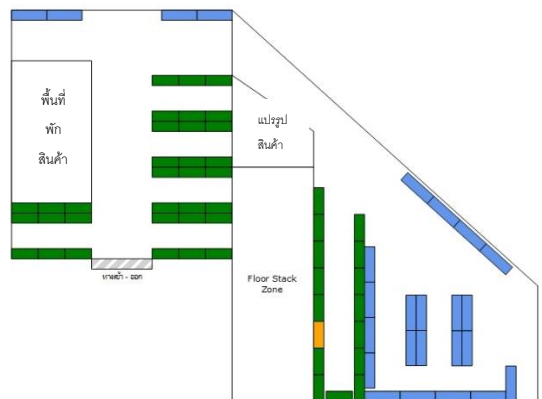


รูปที่ 1 ภาพแผนผังตามแนวยาว

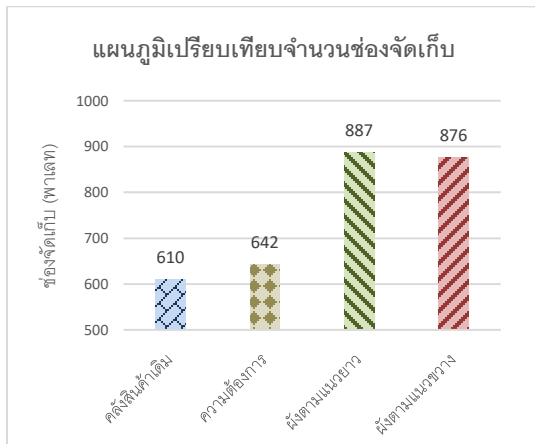


รูปที่ 2 ภาพแผนผังตามแนวขวาง

จากผลการออกแบบสรุปได้ว่าแบบแผนผังทางเลือกทั้งสองแบบมีความสามารถในการจัดเก็บมากกว่าคลังสินค้าปัจจุบันที่จัดเก็บได้ 610 พาเลท ซึ่งแสดงผังของคลังสินค้าเดิมดังรูปที่ 3 และมีช่องจัดเก็บเพียงพอต่อความต้องการที่ 642 พาเลทแสดงข้อมูลดังตารางที่ 2 โดยแบบแผนผังตามแนวยาวจัดเก็บได้เพิ่มขึ้น 277 พาเลท คิดเป็นร้อยละ 45.4 และแบบแผนผังตามแนวขวางจัดเก็บได้เพิ่มขึ้น 266 พาเลท คิดเป็นร้อยละ 43.6 แสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนช่องจัดเก็บดังรูปที่ 4



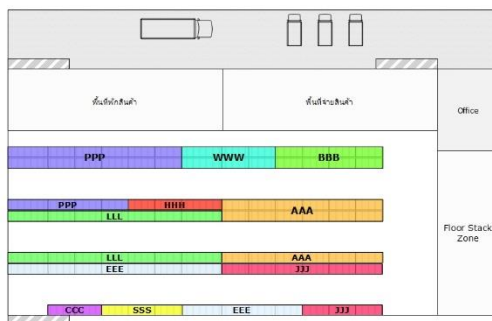
รูปที่ 3 ภาพแผนผังคลังสินค้าเดิม



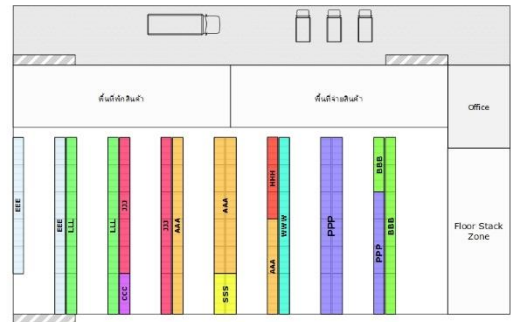
รูปที่ 4 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนช่องจัดเก็บ

3.2 ผลการหาตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสม

หลังจากการออกแบบแผนผัง ทำการหาตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสม โดยใช้สมการ (4) เป็นสมการวัตถุประสงค์ในการหาตำแหน่งจัดเก็บที่มีระยะทางรวมของการเคลื่อนย้ายสินค้าต่ำที่สุดของแต่ละแบบแผนผังด้วยโปรแกรม Lingo แสดงผลการกำหนดตำแหน่งดังรูปที่ 5-6

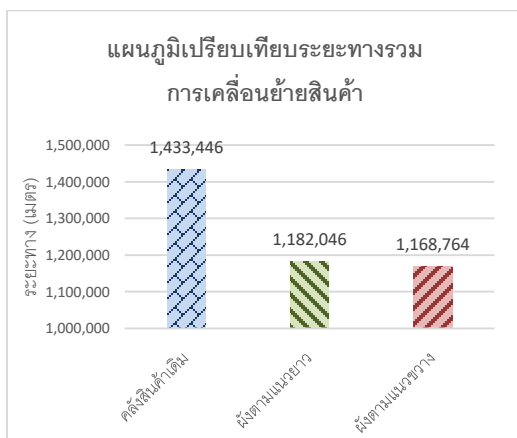


รูปที่ 5 ภาพตำแหน่งจัดเก็บของแผนผังตามแนวยาว



รูปที่ 6 ภาพตำแหน่งจัดเก็บของแผนผังตามแนวขวาง

จากรูปที่ 5 แสดงตำแหน่งจัดเก็บของแต่ละประเภทสินค้าในแบบแผนผังตามแนวยาว พบว่ามีระยะทางรวมของการเคลื่อนย้ายสินค้าเท่ากับ 1,182,046 เมตร และจากรูปที่ 6 แสดงตำแหน่งจัดเก็บของแต่ละประเภทสินค้าในแบบแผนผังตามแนวขวาง พบว่ามีระยะทางรวมของการเคลื่อนย้ายสินค้าเท่ากับ 1,168,764 เมตร จากผลสรุปได้ว่าระยะทางรวมของการเคลื่อนย้ายสินค้าของทั้งสองแบบแผนผังลดลงเมื่อเทียบกับระยะทางรวมของคลังสินค้าปัจจุบัน โดยแบบแผนผังตามยาวมีระยะทางลดลง 251,400 เมตรคิดเป็นร้อยละ 17.5 และแบบแผนผังตามแนวขวางมีระยะทางลดลง 264,682 เมตรคิดเป็นร้อยละ 18.5 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายสินค้าดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะทางรวมการเคลื่อนย้ายสินค้า

4. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้กล่าวถึงปัญหาเกี่ยวกับการจัดการพื้นที่จัดเก็บและการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บสินค้าของคลังสินค้าทางการเกษตรกรณีศึกษา โดยนำเสนอการออกแบบแผนผังคลังสินค้าให้มีความสามารถในการจัดเก็บที่เพียงพอต่อความต้องการของจัดเก็บและนำเสนอการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระยะทางการเคลื่อนย้ายสินค้าต่ำที่สุด จากการออกแบบแผนผังพบว่าทั้งสองแบบแผนผังมีความสามารถในการจัดเก็บเพียงพอต่อความต้องการและมากกว่าคลังสินค้าปัจจุบัน ในส่วนของการหาตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสม พบว่าแบบแผนผังตามแนวขวางมีระยะทางรวมในการเคลื่อนย้ายสินค้าต่ำที่สุด และสามารถลดระยะทางรวมลงคิดเป็นร้อยละ 18.5 เมื่อเทียบกับคลังสินค้าปัจจุบัน ดังนั้นจึงนำเสนอแบบแผนผังตามแนวขวางและตำแหน่งจัดเก็บ

ที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับคลังสินค้าใหม่ เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อบริษัทกรณีศึกษาต่อไป

ข้อเสนอแนะของงานวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอแบบจำลองแผนผังคลังสินค้า สามารถทำการศึกษาถึงวิธีการสำหรับการหยิบสินค้า เพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้
- 2) เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษา และมีแนวโน้มที่จะเพิ่ม SKUs สินค้าต่อไป จึงควรทำการรวบรวมข้อมูลและหาตำแหน่งจัดเก็บให้เหมาะสมกับสินค้า อีกทั้งควรพิจารณาตัวแปรเพิ่มขึ้น น้ำหนักของสินค้าในการจัดเก็บ เพื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งจัดเก็บให้เหมาะสม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก โครงการแพลตฟอร์มการศึกษาครบวงจรเพื่อการพัฒนา นักศึกษาปริญญาโทและการวิจัยพัฒนานวัตกรรมของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากหน่วย บริหารและจัดการทุน – หน่วยบริหารและจัดการด้านการพัฒนากำลังคน และด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและสร้างนวัตกรรม (บพค.) สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จรินทร์ อาสาทรงธรรม. โลจิสติกส์กับการจัดการคลังสินค้าที่ดี. วารสารนักบริหาร. 2555; 32(1): 163-8.

- [2] ธนิต ไสรัตน์. คู่มือการจัดการคลังสินค้าและการกระจายสินค้า. วี-เซิร์ฟโลจิสติกส์: กรุงเทพฯ; 2552.
- [3] วิฑิต มนต์ประสิทธิ์. การออกแบบแผนผังและระบบเคลื่อนย้ายวัสดุสำหรับคลังสินค้าเครื่องเขียน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554.
- [4] G. Richards. Warehouse Management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse. 2nd ed. USA: Kogan Page Limited. 2010.
- [5] Mersha TT. IMPROVING ORDER-PICKING EFFICIENCY VIA STORAGE ASSIGNMENT STRATEGIES. [Master Thesis]. Netherland: University of Twente, Enschede, Netherlands; 2013.
- [6] กลิน รัชสิกรพุม. การวิเคราะห์รูปแบบการวางแผนผังตลาดสดด้วยเทคนิคแบบจำลองมอนติคาโล. วารสารวิศวกรรมสาร มก. 2562; 33(110): 71-82.
- [7] เมธิณี ศรีกาญจน์และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทศรีไทยซูเปอร์แวร์จำกัด (มหาชน) สาขาสุขสวัสดิ์. วารสารการจัดการ. 2556; 2(3): 8-20.
- [8] ชนิษฐา เลหาวิชิตศักดิ์ และ อัคนันท์ พงศธรวิวัฒน์. การประยุกต์ใช้ตัวแบบสองขั้นตอนสำหรับการจัดกลุ่มและระบุตำแหน่งการวางสินค้าภายในคลังสินค้า กรณีสินค้ามีความสัมพันธ์กับกลุ่มผลิตภัณฑ์. วารสารการไทยการวิจัยดำเนินการ. 2564; 9(2): 21-35.
- [9] จิตยา คาระคำ. แนวทางการออกแบบผังการจัดเก็บสินค้าสำหรับคลังสินค้า บริษัท ABC จำกัด. [วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต]. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2559.
- [10] Arunyanart S, Tangkitipanusawat P and Yoshimoto A. Improving efficiency on warehouse management: a case study of Beverage Company's distribution center. Asia-Pacific Journal of Science and Technology. 2019; 24(3): 1-11.
- [11] Tompkins J A, White JA, Bozer YA and Tanchoco JMA. Facilities planning. 4th ed. USA: John Wiley & Sons. 2010.

ข้อแนะนำในการส่งต้นฉบับบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (FEAT Journal) มีกำหนดออกเป็นราย 6 เดือน คือ มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม - ธันวาคม ของทุกปี จัดพิมพ์โดยกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นการส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ ผลงานทางวิชาการ งานวิจัยทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพร้อมทั้งยังจัดส่ง เผยแพร่ตามสถาบันการศึกษาต่างๆ ในประเทศด้วย บทความที่ดีพิมพ์ลงในวารสาร FEAT บทความนั้นจะต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องและสงวนสิทธิ์ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2535

ต้นฉบับบทความ

โปรดปฏิบัติตามหลักเกณฑ์อย่างเคร่งครัด จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Window ชนิดตัวอักษรในบทความฉบับภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จะต้องใช้ตัวอักษร Cordia New ทั้งหมด ความยาวของต้นฉบับ ไม่เกิน 12 หน้า รวมรูปภาพและตารางต่างๆ หรือมีจำนวนคำไม่เกิน 10,000 คำ

กรุณาใช้กระดาษขนาด A4 ปรับเค้าโครงขนาดกระดาษ ความกว้าง 7.5 นิ้ว ความสูง 10.5 นิ้ว และรูปแบบหน้าเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่าง 0.19 นิ้ว กรอบของบทความกำหนดดังนี้ ขอบด้านบน 0.88 นิ้ว ขอบด้านล่าง 0.75 นิ้ว ด้านซ้าย 1 นิ้ว และด้านขวา 0.75 นิ้ว

โครงสร้างบทความ

เนื้อเรื่องของบทความต้องประกอบด้วยหัวข้อตามลำดับ ดังนี้

1. บทนำ
2. วิธีการวิจัย
3. ผลการวิจัยและอภิปราย
4. สรุป
5. กิตติกรรมประกาศ
6. เอกสารอ้างอิง



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ข้อบทรความภาษาไทย Cordia New (ขนาด 16 จุด ตัวเข้ม)
ข้อบทรความภาษาอังกฤษ Cordia New (ขนาด 16 จุด ตัวเข้ม)

ระบุเฉพาะชื่อ-นามสกุลผู้เขียน ภาษาไทย (ขนาด 14 จุด)

ระบุเฉพาะชื่อ-นามสกุลผู้เขียน ภาษาอังกฤษ (ขนาด 14 จุด)

ระบุหน่วยงานที่สังกัด ผู้เขียน ภาษาไทย (ขนาด 12 จุด)

ระบุหน่วยงานที่สังกัด ผู้เขียน ภาษาอังกฤษ (ขนาด 12 จุด)

Received:

Revised:

Accepted:

Available online:

บทคัดย่อ

ตัวอย่างการจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับสำหรับตีพิมพ์ในวารสาร วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ควรปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด บทคัดย่อควรมีเพียงย่อหน้าเดียวที่อธิบายถึง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา และสรุป ไม่ควรเกิน 300 คำ คำหลักที่เป็นภาษาอังกฤษให้ตัวอักษรคำแรกเป็นตัว พยัญชนะใหญ่ คำในลำดับถัดไปเป็นตัวพิมพ์เล็ก

คำสำคัญ: จำนวน 4 ถึง 6 คำ ภาษาไทยแต่ละคำเว้นวรรค 1 จุด ไม่ต้องมีจุลภาค (,)

Abstract

This is an instruction for manuscript preparation for Publication KCU Engineering Journal. Please follow this guideline strictly. The abstract should contain a single paragraph describing objectives, methodology and a summary of important results and its length should not exceed 300 words.

Keywords: 4-6 keywords, separated by colons. and the first letter of each keyword must be capital letter

*ติดต่อ: E-mail, เบอร์โทรศัพท์, เบอร์โทรสาร

1. บทนำ

บทความนี้แสดงตัวอย่างแนวทางการเตรียมต้นฉบับของคุณเพื่อตีพิมพ์ในวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น และโปรดปฏิบัติตามหลักเกณฑ์อย่างเคร่งครัด จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Window ความยาวของต้นฉบับจะต้องไม่เกิน 12 หน้า มีจำนวนคำไม่เกิน 10,000 คำ

1.1 ขนาดกระดาษและระยะขอบ

กรุณาใช้กระดาษขนาด A4 ปรับเค้าโครงขนาดกระดาษ ความกว้าง 7.5 นิ้ว ความสูง 10.5 นิ้ว และรูปแบบหน้าเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่าง 0.19 นิ้ว กรอบของบทความกำหนดดังนี้ ขอบด้านบน 0.88 นิ้ว ขอบด้านล่าง 0.75 นิ้ว ด้านซ้าย 1 นิ้ว และด้านขวา 0.75 นิ้ว ให้เว้น 1 บรรทัดระหว่างหัวเรื่องทุกครั้ง

1.2 ชนิดตัวอักษร

ในบทความฉบับภาษาไทยและภาษาอังกฤษจะต้องใช้ตัวอักษร Cordia New ทั้งหมด ชื่อบทความใช้ตัวอักษรขนาด 16 จุด ตัวหนา ผู้แต่งใช้ตัวอักษรธรรมดาขนาด 14 จุด สถาบันและข้อมูลติดต่อใช้ตัวธรรมดาขนาด 12 จุด หัวเรื่องและหัวเรื่องย่อยใช้ตัวธรรมดาขนาด 14 จุด การบรรยายและเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาขนาด 14 จุด คำในวงเล็บที่เป็นภาษาอังกฤษให้เป็นตัวเล็กทั้งหมด

1.3 สำหรับการลำดับหัวข้อย่อย

ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 จุด ตัวหนา ให้ขีดทางกรอบซ้าย แต่ละหัวข้อย่อยจะเว้น 1 บรรทัด (ปรับให้บรรทัดมีขนาดเท่ากับอักษรขนาด 8 จุด) ส่วนหัวข้อย่อยให้เขียนตามตัวอย่างดังรายการต่อไปนี้

1. รายการแรกในรายการนี้
2. รายการที่สอง
 - 2.1. รายการย่อย
3. รายการสุดท้าย

1.4 โครงสร้างบทความ

เนื้อเรื่องของบทความต้องประกอบด้วยหัวข้อตามลำดับดังนี้

1. บทนำ
2. วิธีการวิจัย
3. ผลการวิจัยและอภิปราย
4. สรุป
5. กิตติกรรมประกาศ
6. เอกสารอ้างอิง

2. ชื่อบทความ

ชื่อบทความให้เริ่มต้นบทความที่บรรทัดแรก โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 จุด และเป็นตัวหนา จัดชื่อบทความขีดทางกรอบซ้าย

3. ชื่อผู้แต่งและสถานที่ติดต่อ

ชื่อผู้แต่งให้พิมพ์ได้ชื่อบทความ จัดชื่อผู้แต่งให้อยู่ขีดทางกรอบซ้าย ใช้ตัวอักษรธรรมดาขนาด 14 จุด ในกรณีมีผู้ทำวิจัยหลายท่านจากหน่วยงานต่างกันให้กำกับด้วยก¹⁾, ²⁾ ไว้หลังชื่อ สำหรับ Corresponding ให้ใส่เครื่องหมาย *กำกับไว้ท้ายชื่อ สถานที่ติดต่อ ให้พิมพ์ที่อยู่หน่วยงานรหัสไปรษณีย์ประเทศ พิมพ์ได้ชื่อผู้แต่งใช้ตัวธรรมดาขนาด 12 จุด จัดขีดทางกรอบซ้าย

4. บทคัดย่อ

บทความภาษาไทยจะต้องมีบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้เว้น 1 บรรทัดจากสถานที่ติดต่อ พิมพ์บทคัดย่อได้หัวข้อ “บทคัดย่อ/Abstract” เนื้อความของบทคัดย่อไม่ควรเกิน 15 บรรทัด หรือ 300 คำ ส่วนบทความภาษาอังกฤษไม่ต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย

5. คำสำคัญ

บทความแต่ละเรื่องควรมีคำสำคัญ 4-6 คำ เพื่อระบุหัวข้อสำคัญที่กล่าวถึงในบทความ ควรใส่คำสำคัญต่อจากบทคัดย่อโดยไม่ต้องเว้นบรรทัด

6. เนื้อความ

เมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่ ไม่ต้องเว้นบรรทัดเมื่อจะเริ่มต้นพินัยย่อหน้าใหม่ ให้พินัยบทความบนด้านเดียวของกระดาษ A4 โดยไม่ต้องใส่หมายเลขหน้าเวลาพินัยบทความ

7. ผลการวิจัย

เสนอผลการวิจัยอย่างชัดเจน ตรงประเด็น ควรมี รูปภาพหรือตารางประกอบ ซึ่งเมื่อมีรูปหรือตารางประกอบต้องระบุเชื่อมโยงในเนื้อหาบทความ การอธิบายไม่ซ้ำซ้อนกัน สำหรับการระบุหน่วยต่าง ๆ ใช้ภาษาไทยและใช้การอธิบายเปอร์เซ็นต์ด้วยคำว่า ร้อยละ ในกรณีที่กำหนดหน่วยเป็นภาษาอังกฤษให้ระบุแบบเดียวกันทั้งหมด

7.1. การลำดับตัวเลข

การลำดับตัวเลขเพื่ออ้างถึง รูปภาพ ตารางและสมการ จะต้องเป็นเลขอาราบิก ทุกสมการจะต้องมีวงเล็บวงไว้ชิดขอบขวา ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$D = \left(\frac{1.27FRC}{SGR} \right) 0.5 \quad (1)$$

ตัวอักษรในสมการให้ใช้ Cambria Math ขนาด 11 ตัว สัญลักษณ์ให้ใช้ Symbol ขนาด 10 ใช้ Math Type หรือ Equation Editor ในการเขียนสมการ

7.2. รูปภาพและตาราง

รูปภาพและตารางจะต้องมีความกว้างเพียงพอที่จะลงในหนึ่งคอลัมน์ได้ หรือในกรณีจำเป็น เพื่อการรักษารายละเอียดในภาพอาจยอมให้กว้างเต็มหน้ากระดาษ ผู้แต่งจะต้องรับผิดชอบในการจัดภาพให้อยู่ในขนาดที่กำหนดนี้ โดยสามารถมองเห็นรายละเอียดและอ่านตัวหนังสือในภาพได้ชัดเจนโดยตัวอักษรที่ใช้อธิบายรูปจะต้องไม่ต่ำกว่าขนาด 10 รูปภาพลายเส้นจะต้องใช้เส้นหมึกสีดำวาดด้วยโปรแกรม เช่น Visio, Adobe Illustrator, Macromedia Freehand หรือโปรแกรมวาดรูปอื่นๆ ส่วนภาพถ่ายควรเป็นภาพที่มีความคมชัด

รูปภาพควรมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็น รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายภาพกำกับได้ภาพ โดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ จาก รูปที่ 1, รูปที่ 2 , ... พินัยหมายเลขและชื่อรูปไว้ใต้รูปภาพ จะต้องกำหนดให้อยู่ตรงกลางเอกสาร ให้เว้นช่องว่าง 1 บรรทัด หลังคำบรรยายรูปภาพทุกรูป และตารางทุกตารางที่ปรากฏในบทความจะต้องมีการอ้างอิงในเนื้อหา

ในกรณีที่เป็นการตารางจะต้องมีคำบรรยายกำกับตารางไว้เหนือตารางโดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ จาก 1, 2, 3,... ตารางจะต้องกำหนดให้ชิดขอบซ้ายของเอกสาร ให้เว้นช่องว่าง 1 บรรทัดก่อนคำบรรยายตารางและหลังตาราง ตามตัวอย่างตารางดังนี้

ตารางที่ 1

ตัวอย่างการเขียนตารางที่ 1

Redox moiety	Diluent	Method	k_0 (s ⁻¹)
R1	D1	ILIT	3.4×10^4
		CV	3.3×10^4
R2	D2	ILIT	6.0×10^4

ตารางที่ 2

ตัวอย่างการเขียนตารางที่ 2

X	a_r / m_r	$2\zeta_r \omega_r$
0.1	$2.7470\text{e}+01$	$2.7483\text{e}+01$
0.5	$3.5352\text{e}+01$	$3.5360\text{e}+01$

8. การอภิปรายผล

การอภิปรายผลวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านมีความเห็นคล้อยตามเพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น เพื่อเสนอแนะที่จะใช้ประโยชน์ หาข้อยุติในการวิจัยบางอย่าง ฯลฯ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลอาจนำมาเขียนไว้ในตอนเดียวกัน

9. สรุป

สรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัย ไม่ควรมีความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

10. กิตติกรรมประกาศ

เพื่อเป็นการแสดงความขอบคุณผู้ให้ทุนสนับสนุนรูป ประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัย ไม่ควรมีความยาวมาก เกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

11. เอกสารอ้างอิง

การเขียนเอกสารอ้างอิงใช้ระบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ทั้งนี้เพื่อความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของบทความ ท่านควรใช้เอกสารอ้างอิงจากวารสารที่อยู่ในฐาน TCI (Thai Journal Citation Index Centre) ที่สามารถตรวจสอบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และควรใช้การอ้างอิงจากรายงาน ผลการวิจัย เอกสารประกอบการประชุม และหรือวิทยานิพนธ์ เท่าที่จำเป็น

11.1. การอ้างอิงในเนื้อหา

แบบการอ้างอิงเอกสารในเนื้อหาของบทความ ใช้ระบบ ตัวเลข ให้เรียงลำดับเลขตามลำดับของเอกสารที่มีการอ้างถึง ในเนื้อหาและหมายเลขที่อ้างถึงในเนื้อเรื่อนั้นจะต้องตรงกับ หมายเลขที่มีการกำกับไว้ในส่วนเอกสารอ้างอิงด้วย ให้ใช้ ตัวเลข อารบิกในวงเล็บต่อท้ายข้อความที่นำมาอ้างอิง ในบทความ เช่น [1] หรือ [2-4, 8, 10] หมายถึงอ้างถึงลำดับผู้ แต่งที่ 1 หรือ ลำดับที่ 2, 3, 4, 8, 10 โดยเรียงลำดับจาก หมายเลข 1, 2, 3,... ไปจนถึงเลขที่สุดท้าย ตามการอ้างอิง การเขียนเอกสารอ้างอิง

11.2. ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิงท้ายเรื่อง

เขียนอ้างอิงแบบแวนคูเวอร์ และใส่อ้างอิงในท้ายเรื่อง เฉพาะที่มีปรากฏในเนื้อหาของบทความหรือบทความวิจัยเท่านั้น การเขียนอ้างอิงจากหนังสือ

[1] Murray PR, Rosenthal KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. Medical microbiology. 4th ed. St. Louis: Mosby; 2002.

[2] จำรูญ ตันติพิศาลกุล. การออกแบบชิ้นส่วน เครื่องจักรกล 1. เม็ดทรายพริ้นต์: กรุงเทพฯ; 2540.

1. การเขียนอ้างอิงจากวารสาร

[3] Ramazan B, Cetinceviz Y. A Water Pumping Control System with A Programmable logic controller (PLC) and Industrial Wireless Modules for Industrial Plants - An Experimental Setup. ISA Transactions 2011; 50(2): 321-8.

[4] สุกัญญา หงส์ทอง และ สมใจ ขจรชีพนันทงาม. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าวด้วยกระบวนการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเมทานอลภาวะเหนือวิกฤต. วารสารมหาวิทยาลัย นครสวรรค์. 2553; 18(3): 20-6.

คำอธิบายเพิ่มเติม กรณีผู้แต่งเกิน 6 คน ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง 6 คนแรก คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (comma- ,) และตาม ด้วย et al. และภาษาไทยใช้คำว่า “และคณะ”

2. การเขียนอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

[5] Promma K, Thong - In W. Algae Cultivation for Biofuel Using Effluent Wastewater [MEn Thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2013.

[6] สิริประภา แพงคำแหง. การลดปริมาณสีย้อมผ้าไหม โดยการประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2553.

3. การเขียนอ้างอิงจากบทความจากการประชุมวิชาการ

- [7] Kimura J, Shibasaki H, editors. Recent Advances in Clinical Neurophysiology. Proceedings of The 10th International Congress of EMG and Clinical Neurophysiology; 1995 Oct 15-19; Kyoto, Japan. Amsterdam: Elsevier; 1996.
- [8] นครินทร์ เทอดเกียรติกุล พชร หอวิจิตร และ สมณา ราษฎร์ภักดี. การจัดการการใช้น้ำสำหรับกระบวนการย้อม ในอุตสาหกรรมผลิตพรมตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 14, 27-29 พฤษภาคม 2558, จังหวัดเชียงใหม่; 2558.

4. การอ้างอิงเอกสารอิเล็กทรอนิกส์

- [9] Foley KM, Gelband H, editors. Improving palliative care for cancer [Internet] . Washington: National Academy Press; 2001 [cited 2002 Jul 9] . Available from: <http://www.nap.edu/ books/0309074029/html/>
- [10] ทานตะวัน. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2550]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.doe.go.th/html.detail.sunflower.t2.gif>