

FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

Vol. 6 No. 1 January - June 2020

Research Article

- Corn Grain Separator Machine for Industrial Community** 1
Unchalee Inkampa, Dusit Singpommat and Pramote Palicamin
- The Quantity/Characteristics and Guidelines for Wastewater Management of Central Canteen, Sisaket Rajabhat University** 10
Pongsatorn Taweeetanawanit and Tongpak Donprajum
- Development of the automatic pouring raw milk storage tank machine** 21
Adisak Bootwong, Tawatchai Seelaso, Kaweepong Hongtong, Weeraphon Kaewka and Aphichat Srichat
- Experimental Study on the Performances, Energy Efficiency and Emissions of Porous Burner** 29
Ditthaphat Tanpradit and Wasan Theansuwan
- Supervisory Control for Wireless Automatic Environment Control in Oyster Mushroom House** 40
Jarinee Jongpluempiti, Sawitree Prapakarn, Praewpan Buenkhunthod and Phongrit Punnok
- Sodium alginate encapsulating Bacillus pseudofirmus ATCC 700159 For self-healing geopolymers cement** 50
Kanokwan Kanyalert, Pisinee Thanapetch, Wanatpreeya Hongkong, Rachit Iomsri and Duangkanok Tanangteerapong
- Some physical properties of cassava and evaluation of the performance in cutting cassava tubers from their rhizomes using manual labor** 59
Chainarong Lomchangkum, Chaiyan Junsiri, Somposh Sudajan and Kittipong Laloon
- Analysis of the Composition of Exhaust Gas from Engines using Yang-Na Oil as Fuel for Comparison with Diesel** 69
Sahassawas Poojeeraa, Chatchai Benjapiyaporna, Kritsadang Senawongd, Chokchai Suiyaye and Somporn Katekaewc

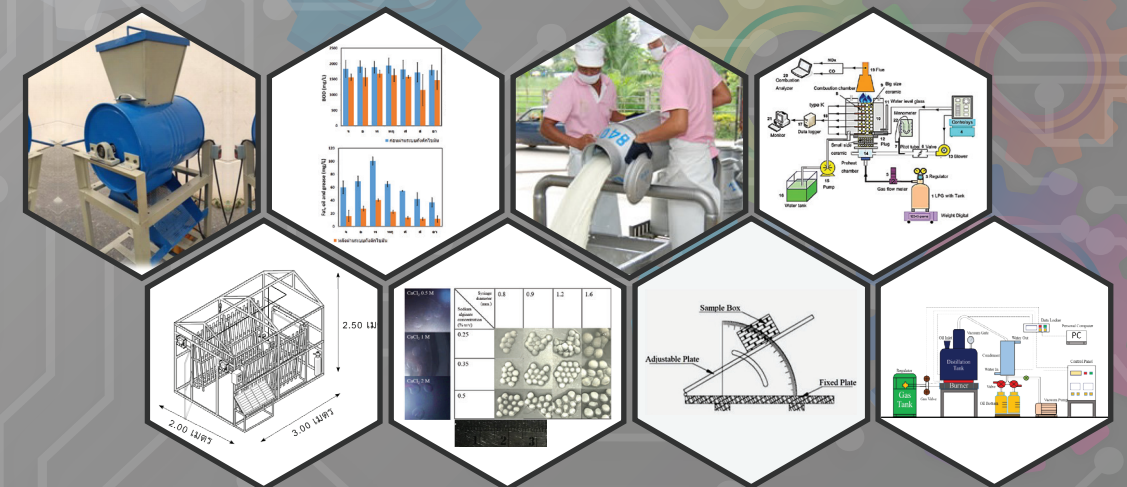


Farm Engineering And Automation Technology
Research Group , Khon Kaen University

FEAT JOURNAL

วารสาร
วิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยี
การควบคุมอัตโนมัติ

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL



Vol. 6 No. 1 January - June 2020

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

ISSN 2408-0985

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ เป็นแหล่งข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ในระบบออนไลน์ และบทความทุกเรื่องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิแบบ double blinded มีกำหนดตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม-มิถุนายน และกรกฎาคม-ธันวาคม) โดยกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รับผลงานทางวิชาการที่มีเนื้อหาครอบคลุมด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ และวารสารวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติตอบรับบทความวิจัย และบทความทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ ซึ่งไม่เคยเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน ทุกๆ บทความได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ในสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่ความรู้ ผลงานทางวิชาการ และงานวิจัย ในด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

กองบรรณาธิการ

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

บรรณาธิการ

ฝ่ายจัดการวารสาร

สำนักงาน

รศ.ดร. รัชพล สันติวรการ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นางสาว ไสภิดา ชำนาญ

กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง 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

Asst.Prof.Dr.Chaiyan Chansiri	Department of Agricultral Engineering	Khon Kaen University
Asst.Prof.Dr.Khanita Khamwilaisak	Department of Chemical Engineering	Khon Kaen University
Asst.Prof.Dr.Kulyakorn Khunmar	Department of Environmental Engineering	Khon Kaen University
Dr.Watis Leelapatra	Department of Computer Engineering	Khon Kaen University
Asst.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
Asst.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.Sopida Chumnan

Editorial Office Farm Engineering and Automation Technology Research Group, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University,123 Moo16 Mittraphap Road,Nai Muang Sub-district,Muang 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 และไม่ใช้ผลงานที่คัดลอก โดยวารสารมีกำหนดออกทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น มีการเผยแพร่ในรูปแบบเล่ม สำหรับจัดส่งให้หน่วยงานหรือผู้ที่สนใจ 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. เมือง จ. ขอนแก่น 40002 โทร.087-7234273 Email: feat.kku@gmail.com

บทบรรณาธิการ

เรียน ท่านสมาชิกวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ
และผู้อ่านทุกท่าน



วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (Farm Engineering and Automation Technology Journal: FEAT Journal) ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2562 ฉบับนี้เป็นปีที่ 6 ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นที่จะเผยแพร่องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติให้นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไปได้ทราบ และสามารถเรียนรู้ นำไปต่อยอดความรู้ และแก้ไขปัญหาในการทำงานด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติได้ วารสารนี้มีกำหนดตีพิมพ์ทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในฉบับนี้ มีบทความวิจัยจำนวน 8 บทความ ซึ่งท่านสามารถติดตาม และอ่านบทความ ฉบับนี้ได้ที่เว็บไซต์ <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

30 มิถุนายน 2563

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 และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมาเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาของบทความของตนเอง
6. ผู้เขียนต้องยินยอมโอนลิขสิทธิ์ให้แก่วารสารก่อนการตีพิมพ์ และไม่นำผลงานไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่น ภายหลังจากที่ได้รับการตีพิมพ์กับวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติแล้ว
7. หากมีการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง ผู้เขียนจะต้องแนบหนังสือรับรองที่ได้รับอนุญาตให้ทำการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการใช้สัตว์ทดลองตามแต่กรณีและระบุหมายเลขหรือรหัสการรับรองลงในบทความ

บทบาทหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อเข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาเนื้อหาของบทความที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพบทความในกระบวนการประเมินและคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์

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

บทบาทหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

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

บทความวิจัย

- เครื่องแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากชังเพื่ออุตสาหกรรมชุมชน 1
อัญชลี อินคำปา ดุสิต สิงห์พรหมมาศ และ ปราโมทย์ พลิดามิน
- ปริมาณ ลักษณะและแนวทางในการจัดการน้ำเสียของโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ 10
พงศธร ทวีธนาภิรักษ์ และทองปั๊กษ์ ดอนประจำ
- การพัฒนาเครื่องเทถังเก็บนํ้ามนดิอัตโนมัติ 21
อดิศักดิ์ บุตรวงษ์ ธวัชชัย สีลาไส กวีงษ์ หงษ์ทอง วีระพล แก้วก่า และ อภิชาติ ศรีชาติ
- Experimental Study on the Performances, Energy Efficiency and Emissions of Porous Burner 29
Ditthaphat Tanpradit and Wasan Theansuwan
- การควบคุมจากค่าปรับตั้งที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติไร้สายภายในโรงเรือนเปิด 40
ดอกเห็ดนางฟ้า
พลเทพ เวงสูงเนิน จาริณี จงปลื้มปิติ สาวิตรี ประภาการ แพรวพรรณ ปิ่นขุนทด และ พลกฤต ปูนนอก
- โซเดียมอัลจินเตทหุ้มแบคทีเรีย Bacillus pseudofirmus ATCC 700159 สำหรับจีโอพอลิเมอร์ 50
ซ่อมแซมตนเอง
กนกวรรณ กันยาเลิศ พิษณุสินี ธนะเพชร วนัทปรียา หงษ์คง ราชีษ หล่มศรี และ ดวงนก ธนังธีรพงษ์
- Some physical properties of cassava and evaluation of the performance in cutting cassava tubers 59
from their rhizomes using manual labor
Chainarong Lomchangkum Chaiyan Junsiri Somposh Sudajan and Kittipong Laloon
- การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล 69
สหสวรรณ ภูจิระ ฉัตรชัย เบญจปิยะพร กฤษฏางค์ เสนาวงษ์ โชคชัย ชัยอุ้ย และ สมพร เกษแก้ว

Corn Grain Separator Machine for Industrial Community	1
<i>Unchalee Inkampa Dusit Singpommat and Pramote Palicamin</i>	
The Quantity/Characteristics and Guidelines for Wastewater Management of Central Canteen, Sisaket Rajabhat University	10
<i>Pongsatorn Taweetanawanit and Tongpak Donprajum</i>	
Development of the automatic pouring raw milk storage tank machine	21
<i>Adisak Bootwong Tawatchai Seelaso Kaweepong Hongtong, Weeraphon Kaewka and Aphichat Srichat</i>	
Experimental Study on the Performances, Energy Efficiency and Emissions of Porous Burner	29
<i>Ditthaphat Tanpradit and Wasan Theansuwan</i>	
Supervisory Control for Wireless Automatic Environment Control in Oyster Mushroom House	40
<i>Ponthep Vegnsungnle Jarinee Jongpluempiti Sawitree Prapakarn Praewpan Buenkhunthod and Phongrit Punnok</i>	
Sodium alginate encapsulating <i>Bacillus pseudofirmus</i> ATCC 700159 For self-healing geopolymer cement	50
<i>Kanokwan Kanyalert Pisinee Thanapetch Wanatpreeya Hongkong Rachit Iomsri and Duangkanok Tanangteerapong</i>	
Some physical properties of cassava and evaluation of the performance in cutting cassava tubers from their rhizomes using manual labor	59
<i>Chainarong Lomchangkum Chaiyan Junsiri Somposh Sudajan and Kittipong Laloon</i>	
Analysis of the Composition of Exhaust Gas from Engines using Yang-Na Oil as Fuel for Comparison with Diesel	69
<i>Sahassawas Poojeeraa Chatchai Benjapiyaporna Kritsadang Senawongd Chokchai Suiyaye and Somporn Katekawc</i>	



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

เครื่องแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากชังเพื่ออุตสาหกรรมชุมชน

Corn Grain Separator Machine for Industrial Community

อัญชลี อินคำปา* ดุสิต สิงห์พรหมมาศ ปราโมทย์ พลิคามิน และ อนุวิทย์ สนศิริ

Unchalee Inkampa* Dusit Singpommat, Pramote Palicamin and Anuwit Sonsiri

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Industrial Engineering, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology Krungthep

Received: 6 September 2019

Revised: 14 December 2019

Accepted: 15 May 2020

Available online: 30 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาและขั้นตอนในการแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากชัง เพื่อเกษตรกรได้นำไปใช้ โดยได้ทำการเริ่มศึกษาข้อมูล กำหนดวัตถุประสงค์ วางแผน ออกแบบ สร้างเครื่องและทดลองเครื่องมีขนาด $480 \times 620 \times 1,560$ มิลลิเมตร ทำงานจากกำลังขับเคลื่อนมอเตอร์ส่งกำลังด้วยสายพาน ให้แกนเพลาลูกเบี้ยวติดกับโซ่หมุนด้วยความเร็วคงที่ ทดลองด้วยความเร็วรอบที่ 480, 720 และ 1,440 รอบ/นาที ระยะห่างของโซ่ 70, 85 และ 100 มิลลิเมตร และรูปแบบการเรียงตัวของแนวโซ่ แบบขนาน, แบบสลับฟันปลาและแบบเรียงสอง จากการทดลองพบว่าปริมาณข้าวโพด 7 กิโลกรัม ระยะเวลา 30 วินาที มีประสิทธิภาพการทำงานร้อยละ 98 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าเฉลี่ยจากการทดลองของเมล็ดข้าวโพด 5.95 กิโลกรัม ชังข้าวโพด 0.99 กิโลกรัม ผุ่นผง 0.06 กิโลกรัม ด้วยความเร็วรอบ 720 รอบ/นาที ระยะห่างของโซ่ 85 มิลลิเมตร และใช้รูปแบบการเรียงตัวของแนวโซ่แบบสลับฟันปลา ซึ่งสามารถลดเวลาจากการแกะข้าวโพดด้วยมือ 2 ชั่วโมง 17 นาที

คำสำคัญ : ข้าวโพด เกษตรกร ประสิทธิภาพ

Abstract

This research aimed to reduce time and process of separating corn kernels from cobs for agricultural use. The research investigated the data, set the objectives, designed and constructed the machine with the size of 620×720×1560 millimeters, driven by a motor and transmitted by a conveyor. The shaft axis was attached to the chain and rotated at a constant speed. The machine was tested at the rotational speeds of 480, 720 and 1440 round/minute. The distances between chains were 70, 85 and 100 millimeters. The chain alignments were parallel, zigzag and double patterns. The results showed that, of the amount of 7 kilograms at 30 seconds, the separation efficiency was at 98 percent with the statistical significance of 0.05. The average from the experiment gave corn kernels of 5.95 kilograms, cobs of 0.99 kilograms and dust at 0.06 kilograms at the rotational speed of 720 rounds/minute. The distances between chains were 85 millimeters. The chain alignment was zigzag pattern which can reduce the working time by removing the corn by hand around 2 hours and 17 minutes.

Keywords : corn, agricultural, efficiency

*ติดต่อ: unchalee.i@mail.rmuth.ac.th, เบอร์ 095-442-8867

1. บทนำ

ประเทศไทยมีวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ทำมาจากพืชหลากหลายชนิดเป็นจำนวนมาก หนึ่งในนั้นที่นิยมใช้มากคือข้าวโพด ซึ่งให้สารอาหารประเภทพลังงานและมีการโตขึ้นเร็ว [1] การใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใช้ได้หลายรูปแบบทั้งอาหารหยาบและอาหารข้น การใช้รูปแบบอาหารหยาบคือใช้ ต้น ใบ ซึ่งทั้งสภาพสดและแห้งหัก ส่วนอาหารข้นใช้เมล็ดทั้งในรูปแหล่งให้พลังงานและแหล่งเสริมโปรตีน ซึ่งได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปข้าวโพด น้ำมันข้าวโพด และน้ำหวานจากข้าวโพดเมล็ดข้าวโพดบด โดยปกติแล้วหมายถึงเมล็ดข้าวโพดที่แยกออกจากฝัก และนำมาบดหรือทำให้แตกออก ข้าวโพดบดผสม

อาหารได้ดีถึงร้อยละ 70-80 โดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ถือว่าเป็นอาหารชั้นดี ลักษณะการบดผสมอาหารมักนิยมบดใช้เองในฟาร์ม [2] อย่างไรก็ตามในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศไทยมีความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1.99 ต่อปี อันเนื่องมาจากความต้องการใช้ข้าวโพดเพื่อผลิตเป็นอาหารสัตว์ ในขณะที่ผลผลิตภายในประเทศกลับเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.47 ต่อปี [3] ข้าวโพดที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14.5 และที่สำคัญต้องไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อราหรือสารต่างๆที่เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์ ซึ่งข้าวโพดจะมีอาหารใกล้เคียงกับปลายข้าวหรือใกล้เคียงกับวัตถุดิบพลังงานชนิดอื่น [4] งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องแยกเมล็ด

ข้าวโพดออกจากซังเพื่ออุตสาหกรรมชุมชน และได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องด้วยความเร็วรอบ ระยะห่างของโซ่ และรูปแบบการเรียงตัวของแนวโซ่ต่างกัน

2. วิธีการดำเนินงาน

ศึกษาลักษณะเบื้องต้นของข้าวโพด ทำการออกแบบและสร้างเครื่อง จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพเก็บข้อมูลและสรุปผล

2.1. ลักษณะของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (Field Corn) ที่รู้จักในปัจจุบันเช่นข้าวโพดหัวนุ่ม (Dent Corn) และข้าวโพดหัวแข็ง (Flint Corn) ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะเมล็ดข้าวโพดหัวนุ่มหรือหัวบุบ ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อเมล็ดแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบุบลงไป ข้าวโพดที่ใช้เลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ ที่มีเมล็ดตั้งแต่สีขาว สีเหลืองไปจนถึงสีแดง ขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5-0.8 ซม. ก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์จึงต้องบดก่อนเพื่อช่วยให้อาหารย่อยและการผสมได้ผลดีขึ้น[5]

2.1.1 ขนาดทางกายภาพของฝักข้าวโพด

ขนาดของฝักยาวประมาณ 20 เซนติเมตร ลักษณะคล้ายทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร

2.1.2 การหัดตัวของความชื้นสำหรับข้าวโพด

การหัดตัวของความชื้นสำหรับข้าวโพดอบแห้ง โดยคำนวณน้ำหนักจากข้าวโพดหลังการ

เก็บเกี่ยวและน้ำหนักข้าวโพดหลังจากการตากแดด สามารถหาได้จากสมการ[6]

$$\% \text{ความชื้นหัดตัว} = [(B-F) / (100-F)] \times 100$$

เมื่อ $B =$ ความชื้นเริ่มต้น
 $F =$ ความชื้นสุดท้าย

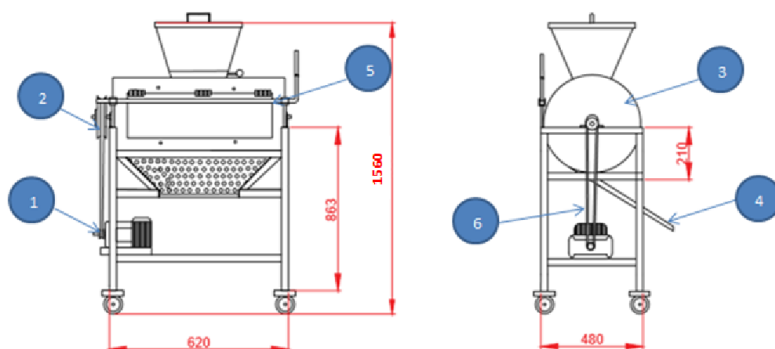
การเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่มีความชื้นที่เหมาะสมคือ มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 23 จะช่วยรักษาคุณภาพของข้าวโพดขณะเก็บรักษาในยุ้งของเกษตรกร[7] และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่นำไปใช้หรือขายสู่ตลาดมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14.5 [8]

2.2 การออกแบบและสร้างเครื่อง

แนวคิดในการออกแบบในการสร้างเครื่องแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากซังตามรูปที่ 1 อาศัยหลักการกระแทกฝักข้าวโพดกับการหมุนเหวี่ยงของโซ่เหล็ก โดยโซ่เหล็กถูกส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,440 รอบต่อนาที ส่งกำลังด้วยสายพาน v-belt ทำการลดความเร็วรอบล้อหินลงโดยการทดอัตราความเร็วรอบลงโดยใช้พูลเลย์จากตัวมอเตอร์(หมายเลข1) ทำการทดความเร็วรอบสู่ตัวถังคัดแยก ใช้พูลเลย์จากตัวมอเตอร์(หมายเลข2) จนเหลือความเร็วรอบของถังคัดแยก ซึ่งโซ่ที่เหวี่ยงอยู่ภายในถังจะทำการตีเมล็ดข้าวโพดที่อยู่ภายในถัง(หมายเลข3) เมื่อเมล็ดถูกแยกออกจากซังเรียบร้อยแล้วเมล็ดจะไหลลงสู่ช่องทางออก (หมายเลข4) ส่วนซังข้าวโพดที่ผ่านการคัดแยกเมล็ดออกแล้วจะถูกนำออกผ่านทางช่องทาง(หมายเลข5) ซึ่งซังจะถูกตีออกมาโดยอัตโนมัติ เมื่อทำการเปิดฝาทางออก การจับยึดของโครงสร้างเครื่อง กระทำโดยนำแปรงมาประกอบ

เข้ากับเพลาชุดดัดแยก และนำมาประกอบเข้ากับโครงสร้างหลักของเครื่อง โดยใช้สายพานลิ่มเป็น

ตัวส่งกำลังหมายเลข 6 จากนั้นต่อระบบควบคุมการทำงานของเครื่องไปยังสวิทช์ on-off



รูปที่ 1 เครื่องแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากชัง

2.2.1 โครงสร้างเครื่อง

เพื่อให้เครื่องมีขนาดกะทัดรัด สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกจึงสร้างโครงสร้างเครื่องขนาด 480×620×863 มิลลิเมตร

2.2.2 ถังสำหรับแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากชัง

เจาะถัง 3 ช่องเพื่อนำฝักข้าวโพดลงถึงปล่อยเมล็ดข้าวโพดลงตะแกรงและช่องทางออกชังข้าวโพดหลังจากนั้นเชื่อมเพลายึดติดกับโซ่ตามระยะ



รูปที่ 2 ถังสำหรับแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากชัง

2.2.3 Hopper

สร้าง hopper เพื่อป้อนฝักเข้าโพดเข้าถังมีขนาด 300×200×300 มิลลิเมตร

2.2.4 ตะแกรง

ติดตั้งตะแกรงเพื่อปล่อยเมล็ดข้าวโพดที่ได้แยกออกจากชังลงสู่ภาชนะที่รองรับ

2.2.5 ชุดส่งกำลังและอุปกรณ์ต่างๆ

ติดตั้งชุดส่งกำลังและอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน โดยการคำนวณหาขนาดของล้อสายพานได้จากสมการ[9]

$$N_2 = \frac{(D_1 \times N_1)}{D_2}$$

เมื่อ N_1 = ความเร็วรอบล้อขับ

D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางล้อขับ

N_2 = ความเร็วรอบล้อตาม

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางล้อตาม

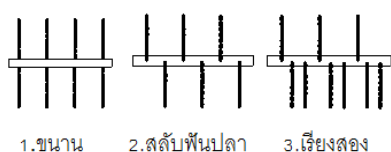
โดย ต้องการความเร็วรอบที่ใช้ในการทดลอง 3 ค่า คือ 1,440,720,480 รอบ/นาที



รูปที่ 3 เครื่องผลิตข้าวโพดออกจากซัง

2.3 ออกแบบการเรียงตัวแนวโซ่

ผู้วิจัยได้ออกแบบการเรียงตัวของโซ่ที่ยึดติดกับเพลลา เพื่อให้เคลื่อนที่ได้ 360 องศา โดยออกแบบ 3 ลักษณะ คือ การเรียงตัวโซ่แบบขนานโซ่จะถูกยึดติดกับเพลลาด้วยการเชื่อมเรียงตัวกับด้านบนและด้านล่างเป็นขนานกันกับเส้นอื่นๆ(ตามรูปที่ 7 แบบที่ 1) การเรียงโซ่แบบสลับฟันปลา โซ่จะถูกยึดติดกับเพลลาด้วยการเชื่อมสลับฟันปลาระหว่างด้านบนและด้านล่าง(ตามรูปที่ 7 แบบที่ 2) และการเรียงตัวแนวโซ่แบบเรียงสอง โซ่จะถูกยึดติดกับเพลลาด้วยการเชื่อมสลับฟันปลา ระหว่างด้านบนและด้านล่างแต่ด้านหนึ่งจะมีการ เรียงถี่กว่าอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 7 การเรียงโซ่แบบต่างๆ

2.4. วิธีการทดสอบ

การทดสอบมีตัวแปรที่สำคัญคือ ความเร็วรอบ ระยะห่างของโซ่และการเรียงตัวแนวโซ่ โดยความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบ 480, 720 และ 1,440 รอบ/นาที รูปแบบการเรียงตัวของแนวโซ่ แบบขนาน, แบบสลับฟันปลาและแบบเรียงสองและระยะห่างของโซ่ 70, 85 และ 100 มิลลิเมตร โดยมี

น้ำหนักและเวลาที่ทดสอบเท่ากันคือ ปริมาณข้าวโพด 7 กิโลกรัม ระยะเวลา 30 วินาที ผลการทดสอบในการแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากซัง จะดูเมล็ดที่ออกจากซังสามารถออกจากซังได้ทุกเมล็ดและซังไม่แตกละเอียดหรือออกมาเป็นฝุ่นผง และนำผลที่ได้มาทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องด้วยการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของประชากร โดยไม่ทราบความแปรปรวนของประชากรจากสมการ [10]

$$t = (\bar{x} - \mu) / (s / \sqrt{n}) \text{ เมื่อ } df = n - 1$$

เมื่อ t = การแจกแจงที่

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง

μ = ค่าเฉลี่ยประชากร

n = จำนวนตัวอย่าง

s = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกลุ่มตัวอย่าง

ผลการศึกษาและทดสอบเครื่องแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากซัง ได้ผลดังนี้

3.1.1 การหาความชื้นของข้าวโพดที่หายไป

ผลการศึกษาความชื้นของข้าวโพดคำนวณน้ำหนักจากข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยวและน้ำหนักข้าวโพดหลังจากการตากแดด

ตารางที่ 1 แสดงการหาความชื้นข้าวโพด

ชุด	ความชื้นเริ่มต้น		ความชื้นสุดท้าย		ร้อยละความชื้นหดตัว
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	
1	30	23	23.4	14.4	8.6
2	50	23	45.3	14.4	8.6
3	24	23	16.9	14.5	8.5
4	31	23	24.6	14.5	8.5
5	41	23	35.5	14.5	8.5
6	34	23	27.6	14.2	8.8
เฉลี่ย	210	23	28.9	14.4	8.6

3.1.2 ผลการทดสอบเครื่องแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากชังเพื่ออุตสาหกรรมชุมชน

ผลการศึกษาแยกออกเป็นตารางตามความเร็วรอบ 480,720 และ 1,440 รอบ/นาที

ตารางที่2 แสดงผลการทดลอง ที่ความเร็วรอบ480รอบ/นาที ปริมาณข้าวโพด 7กิโลกรัม เวลา 30 วินาที

รูปแบบไซ้	ระยะห่างไซ้(มม.)	เมล็ด(กก.)	ชัง+เมล็ดติดชัง(กก.)	เศษ(กก.)	หมายเหตุ
ขนาน	70	4.50	2.30	0.20	มีเมล็ดติดชังมาก
	85	4.75	2.10	0.15	มีเมล็ดติดชังมาก
	100	4.90	2.00	0.10	มีเมล็ดติดชังมาก
สลับฟันปลา	70	4.80	1.90	0.30	มีเมล็ดติดชังเล็กน้อย
	85	4.65	2.12	0.23	มีเมล็ดติดชังมาก
	100	4.55	2.25	0.20	มีเมล็ดติดชังมาก
เรียงสอง	70	4.80	1.80	0.40	มีเมล็ดติดชังเล็กน้อย
	85	5.00	1.75	0.25	มีเมล็ดติดชังเล็กน้อย
	100	5.00	1.80	0.20	มีเมล็ดติดชังเล็กน้อย

ตารางที่3 แสดงผลการทดลอง ที่ความเร็วรอบ720รอบ/นาที ปริมาณข้าวโพด 7กิโลกรัม เวลา 30 วินาที

รูปแบบไซ้	ระยะห่างไซ้(มม.)	เมล็ด(กก.)	ชัง+เมล็ดติดชัง(กก.)	เศษ(กก.)	หมายเหตุ
ขนาน	70	3.60	3.33	0.07	มีเมล็ดติดชังมาก
	85	3.70	3.23	0.07	มีเมล็ดติดชังมาก
	100	3.60	3.33	0.07	มีเมล็ดติดชังมาก
สลับฟันปลา	70	5.83	1.09	0.08	มีเมล็ดติดชังเล็กน้อย
	85	5.95	0.97	0.08	ไม่มีเมล็ดติดชัง
	100	5.55	1.00	0.45	ไม่มีเมล็ดติดชัง
เรียงสอง	70	4.53	2.27	0.20	มีเมล็ดติดชังมาก
	85	4.60	2.25	0.15	มีเมล็ดติดชังมาก
	100	4.75	2.10	0.15	มีเมล็ดติดชังมาก

ตารางที่4 แสดงผลการทดลอง ที่ความเร็วรอบ1,440รอบ/นาที ปริมาณข้าวโพด 7กิโลกรัม เวลา 30 วินาที

รูปแบบไซ้	ระยะห่างไซ้(มม.)	เมล็ด(กก.)	ชัง+เมล็ดติดชัง(กก.)	เศษ(กก.)	หมายเหตุ
ขนาน	70	3.20	3.60	0.20	มีเมล็ดติดชังมาก
	85	3.50	3.35	0.15	มีเมล็ดติดชังมาก
	100	3.60	3.30	0.10	มีเมล็ดติดชังมาก
สลับฟันปลา	70	4.85	1.85	0.30	มีเมล็ดติดชังเล็กน้อย
	85	5.20	1.57	0.23	มีเมล็ดติดชังเล็กน้อย
	100	4.50	2.30	0.20	มีเมล็ดติดชังมาก
เรียงสอง	70	3.90	2.70	0.40	มีเมล็ดติดชังมาก
	85	3.80	2.95	0.25	มีเมล็ดติดชังมาก
	100	3.70	3.10	0.20	มีเมล็ดติดชังมาก

จากผลการทดลองตารางที่ 2 ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบที่ไม่มีเมล็ดติดขัด คือ ความเร็วรอบที่ 720 รอบต่อนาที เรียงตัวแบบสลับฟันปลา และระยะห่างของโซ่ 85 มิลลิเมตรและ 100 มิลลิเมตรแต่หากพิจารณาถึงเศษหรือฝุ่นผง ระยะห่างของโซ่ที่ 85 มิลลิเมตรให้ค่าเศษที่น้อยกว่าจึงถือว่าเป็นค่าที่ดีกว่าระยะห่างของโซ่ที่ 100 มิลลิเมตร จึงนำมาทดลองซ้ำอีก 3 ครั้งเพื่อทดสอบสมมติฐานของประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลอง ที่ความเร็วรอบ 720 รอบ/นาที ปริมาณข้าวโพด 7 กิโลกรัม เวลา 30 วินาที รูปแบบโซ่แบบสลับฟันปลา ระยะห่างโซ่ 85 มิลลิเมตร

ครั้งที่	เมล็ด(กก.)	ซัง+เมล็ดติดขัด (กก.)	เศษ(กก.)	ประสิทธิภาพการ ทำงาน	หมายเหตุ
1	5.90	1.05	0.05	99.29	ไม่มีเมล็ดติดขัด
2	6.00	0.96	0.04	99.43	ไม่มีเมล็ดติดขัด
3	5.95	0.95	0.10	98.57	ไม่มีเมล็ดติดขัด
เฉลี่ย	5.95	0.99	0.06	99.10	

จากตารางประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยร้อยละ 99.10 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพการทำงานที่ 0.461

นำผลการทดลองจากตารางที่ 5 ได้มาทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องด้วยการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของประชากร โดยไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร

$$\begin{aligned} \text{ตั้งสมมติฐาน} \quad H_0: \mu &\geq \text{ร้อยละ 98} \\ H_1: \mu &< \text{ร้อยละ 98} \end{aligned}$$

กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

กำหนดสถิติในการใช้ทดสอบ

$$t = (\bar{x} - \mu) / (s / \sqrt{n}) \text{ เมื่อ } df = n - 1$$

จาก $\alpha = 0.05$ หาค่า t_{α} เมื่อ $df = 2$

จากตารางสำเร็จรูป จะได้ค่า $t_{0.05} = 2.920$
คำนวณค่า

$$t = \frac{99.1 - 98}{\frac{0.461}{\sqrt{3}}} \text{ เมื่อ } df = n - 1$$

$$t = 4.13$$

พบว่าค่า $t = 4.13 > 2.920$ ยอมรับสมมติฐาน

H_0 เครื่องแยกข้าวโพดมีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าร้อยละ 98

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบเวลาที่ทำงานจากเครื่อง

และการแกะข้าวโพดด้วยมือ ปริมาณข้าวโพด 7

กิโลกรัม

วิธีการ	เวลา (s)	เมล็ด (กก.)	ซัง+เมล็ดติดซัง (กก.)	เศษ (กก.)	หมายเหตุ
มือเปล่า	167	5.98	1.02	-	ไม่มีเศษ
เครื่อง	30	5.95	0.99	0.06	ไม่มีเมล็ดติดซัง

3. สรุป

จากการทดลองเครื่องแยกเมล็ดข้าวโพดออกจากซังปริมาณข้าวโพด 7 กิโลกรัม ระยะเวลา 30 วินาที พบว่าความเร็วรอบที่ 720 ระยะห่างของโซ่ 85 มิลลิเมตร รูปแบบการเรียงตัวของแนวโซ่แบบสลับฟันปลา สามารถแยกเป็นเมล็ดที่มีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าร้อยละ 98 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลองของเมล็ดข้าวโพด 5.95 กิโลกรัม และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพการทำงานที่ 0.461 ซังข้าวโพด 0.99 กิโลกรัม ผุ่นผง 0.06 กิโลกรัม และซังข้าวโพดไม่มีเมล็ดติดอยู่ ซึ่งสามารถลดเวลาจากการแกะข้าวโพดด้วยมือ 2 ชั่วโมง 17 นาที

4. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ช่อลัดดา เทียงพุก. ปกป้องสายตาด้วยข้าวโพด. วารสารอาหาร. 2556; 43(1): 46-50.
- [2] Animals-farm. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 เมษายน 2562]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.animals-farm>ข้าวโพด/
- [3] สมพร อิศวิลานนท์ และ ปิยทัศน์ พาพิอนุรักษ์. ภัทศวรรษของการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยและการก้าวต่อไปเพื่อรองรับกับประชาคมอาเซียน. งานวิจัยเชิงนโยบายเกษตร 2557; 2(1): 1-6.
- [4] อุทัย คันโอ.อาหารสุกรและสัตว์ปีกเชิงประยุกต์.ยู เค ที พับลิชชิง, บจก: ฉะเชิงเทรา; 2559.
- [5] วิกีพีเดียสารานุกรมเสรี. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 เมษายน 2562]. เข้าถึงได้จาก : <http://th.wikipedia.org/wiki/ข้าวโพด>
- [6] What Grain Moisture Should I Harvest Corn At?. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 เมษายน 2562]. เข้าถึงได้จาก : <https://corn.ces.ncsu.edu/2018/08/harvesting-corn-what-grain-moisture-should-i-harvest-corn-at/>
- [7] สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2562]. เข้าถึงได้จาก: <http://as.doa.go.th/fieldcrops/corn/oyh/ph>

_1.HTM

- [8] สำนักข่าวอิสรา.ข่าวโพเดเลียงส์ตว์.(สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2562]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.isranews.org/about-us/download/466/23923/18.html>
- [9] บรรเลง ศรีนิล และ สมนึก วัฒนศรีกุล. ตารางคู่มืองานโลหะ.ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ:กรุงเทพฯ;2558.
- [10] นพพร ณะชัยขันธุ์. สถิติเบื้องต้นสำหรับการวิจัย. วิทยพัฒน์: กรุงเทพฯ; 2555.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ปริมาณ ลักษณะและแนวทางในการจัดการน้ำเสียของโรงอาหารกลาง
มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

The Quantity/Characteristics and Guidelines for Wastewater Management of Central
Canteen, Sisaket Rajabhat University

พงศธร ทวีธนวานิชย์^{1,2*} และทองปักษ์ ดอนประจำ³Pongsatorn Taweetanawanit^{1,2*} and Tongpak Donprajum³¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ²ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย³สาขาวิชาสาธารณสุขชุมชน คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ¹Science program in Environmental Science, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University²Center of Excellence on Hazardous Substance Management (HSM), Chulalongkorn University³Science program in Community Health, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University

Received: 4 September 2019

Revised: 15 December 2019

Accepted: 28 April 2020

Available online: 30 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณ ลักษณะของน้ำเสียโรงอาหารกลางของมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ (มรภ.ศรีสะเกษ) และศึกษาแนวทางการจัดการน้ำเสียสำหรับโรงอาหารกลาง มรภ.ศรีสะเกษ วิธีการศึกษาในงานวิจัยนี้คือศึกษาปริมาณน้ำเสียและลักษณะของน้ำเสียโรงอาหาร โดยติดตามปริมาณน้ำเสีย และเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบถังดักไขมัน เพื่อวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพและทางเคมี พร้อมทั้งศึกษาคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร จากการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 10.9 ± 2.01 ลบ.ม./วัน และวันพุน้ำมีปริมาณน้ำเสียสูงสุด (15.0 ± 3.21 ลบ.ม./วัน) เกิดจากมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนมาก การติดตามลักษณะน้ำเสียพบว่า น้ำเสียโรงอาหารมีค่าเกินมาตรฐาน คือ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids; TDS) ค่าของแข็งจมตัว (Settleable solid) ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended solids; SS) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical oxygen

demand; BOD) และ น้ำมันและไขมัน (Fat, oil and grease) เนื่องจากโรงอาหารยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย แต่มีระบบถังดักไขมันบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นทำให้น้ำเสียยังไม่ผ่านการบำบัด นอกจากนี้พบค่า N P และ K เพียงพอต่อการทำเป็นปุ๋ยน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียโรงอาหารกลางมรภ. ศรีสะเกษ 3 วิธีคือ 1) นำน้ำเสียไปใช้เป็นปุ๋ยชนิดน้ำ 2) พัฒนาระบบถังดักไขมันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น 3) เพิ่มระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง ซึ่งแนวทางดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียในโรงอาหารของหน่วยงานที่มีลักษณะน้ำเสียคล้ายกันได้ แต่อย่างไรก็ตามก่อนการประยุกต์แนวทางในการใช้งานจริงควรศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ย การพัฒนาระบบถังดักไขมัน และการทดสอบประสิทธิภาพระบบเอสบีอาร์ เพื่อทราบถึงวิธีการหรือปริมาณ ในการประยุกต์ใช้จริงต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : น้ำเสียโรงอาหาร การจัดการน้ำเสีย เอสบีอาร์ ประโยชน์ของน้ำเสียในการเกษตร

Abstract

This research aims to study and analyze the quantity/characteristics of wastewater from central canteen of Sisaket Rajabhat University (SSKRU); and study the way of solution to treat wastewater from central canteen of Sisaket Rajabhat University. The method of this research was the study about the quantity/characteristics of wastewater from central canteen by checking wastewater quantity and collecting the samples of wastewater – both before and after passing grease traps – to analyze physical and chemical condition of wastewater while checking the characteristics which related to agricultural activities. From the study, the author found 10.9 ± 2.01 cubic meters/day of wastewater (Wednesday showed highest quantity of wastewater: 15.0 ± 3.21 cubic meter/day because this day had most people who had meals at the central canteen each week). After checking wastewater characteristics, wastewater from the central canteen showed Total dissolved solids (TDS), Settleable solid, Suspended solids (SS), Biochemical oxygen demand (BOD), Fat, oil and grease higher than the standard because the central canteen did not have wastewater treatment system. There was just only grease traps while there was not any other treatment system. In addition, the author found that there were N, P, and K which were much enough for being transformed to be liquid fertilizer. Then, this research can present 3 ways of wastewater management: 1) liquid fertilizer transformation; 2) grease trap improvement; and 3) installing the next step of waste water treatment. The guidelines can be used to develop a wastewater treatment system in a canteen of an organization that has similar wastewater characteristics. However, we should study the efficiency of liquid fertilizer transformation, grease trap improvement, and checking the competency of SBR system before actual use to understand methods or quantity to apply in the future.

Keywords : canteen wastewater, wastewater management, SBR, wastewater utility for agriculture

*ติดต่อ: pongsatom.t@kkumail.com, 086-2589236

1. บทนำ

โรงอาหารในสถานศึกษาเป็นพื้นที่ให้บริการด้านการจำหน่ายอาหารและเครื่องดื่มสำหรับนักเรียน นิสิตหรือนักศึกษา โดยมีการประกอบกิจการของโรงอาหารมีการประกอบอาหารและล้างภาชนะ ทำให้เกิดน้ำเสียที่เกิดจากการล้างภาชนะในทุกๆ วัน จากกิจกรรมดังกล่าวส่งผลให้เกิดน้ำเสียขึ้น น้ำเสียดังกล่าวประกอบด้วย เศษอาหาร คราบไขมัน และสารอินทรีย์ที่ติดมากับภาชนะที่ทำการล้าง [1] ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงอาหารหากไม่มีการจัดการ อาจส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าส่งกลิ่นเหม็น และอาจเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์หรือแมลงนำโรค ส่งผลกระทบต่อผู้อื่นทั้งด้านสุขภาพกายและสุขภาพจิต [1]

มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ (มรภ.ศรีสะเกษ) เป็นสถานศึกษาในระดับอุดมศึกษาและมีบริการจำหน่ายอาหาร ณ โรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ รองรับทั้งบุคลากรและนักศึกษาประมาณ 8,000 คน ต่อวัน จากการสำรวจโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ พบน้ำเสียในท่อระบายน้ำบริเวณโรงอาหารส่งกลิ่นเหม็นและมีเศษอาหารลอยบนผิวน้ำ ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดความรำคาญต่อผู้ที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณนั้น อีกทั้งยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์นำโรคอีกด้วย จึงจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาดังกล่าว

ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปมีอยู่ทั่วไปและมีขนาดที่หลากหลาย พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพสูง แต่อย่างไรก็ตามการไว้ระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป ก็อาจไม่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียบางประเภท เนื่องจากลักษณะของพื้นที่ที่แตกต่างกัน หรือปริมาณน้ำเสียในแต่ละวันที่แตกต่างกัน หรือแม้กระทั่งลักษณะของน้ำเสีย [2] โดยปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพลดลง และอาจทำให้เกิดเป็นปัญหาแทน

การแก้ปัญหา จึงควรมีการจัดการที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ ปริมาณและลักษณะ ของน้ำเสีย

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาปริมาณ ลักษณะน้ำเสียโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ เพื่อกำหนดแนวทางในการจัดการที่เหมาะสม โดยในการศึกษานี้เป็นการสำรวจติดตามปริมาณ และลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นของโรงอาหารทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมีของน้ำเสีย พร้อมทั้งศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร และกำหนดแนวทางในการจัดการที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับน้ำเสียอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน ในการจัดการน้ำเสียต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 สรุปรวข้อมูลเบื้องต้น

สรุปรวกระบวนการจัดการน้ำเสียของโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ

2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

2.2.1 วัดอัตราการไหล ทำการวัดปริมาตรน้ำเสียโดยวิธีวัดปริมาตร (Bucket and stopwatch method) โดยใช้ภาชนะรองรับน้ำเสียในช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 14.00-17.00 น. ที่ปลายท่อ น้ำทิ้ง (น้ำที่ผ่านระบบถังดักไขมัน) ของแต่ละร้านค้า แล้วนำมาหาปริมาตรน้ำด้วยวิธีการตวง โดยวัดปริมาตรน้ำเสียจากร้านค้า จำนวน 16 ร้านค้า ในวันจันทร์ถึงวันอาทิตย์ต่อเนื่อง เป็นเวลา 3 เดือน (สุ่มเก็บเดือนละ 1 สัปดาห์) ซึ่งเป็นตัวแทนของการดำเนินกิจกรรมในแต่ละที่ที่แตกต่างกัน

2.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียและจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย การเก็บตัวอย่างน้ำเสียโดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม (Composite) โดยมี

ตัวอย่างจาก 2 จุดคือ จุดที่ 1 น้ำเสียก่อนผ่านระบบถังดักไขมัน ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างจากร้าน 16 ร้านค้า ร้านค้าละ 1 ลิตร นำมาผสมรวมกัน จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังผสมรวมกัน 3 ลิตร และจุดที่ 2 น้ำเสียที่ผ่านระบบถังดักไขมัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนลงท่อรวมน้ำเสีย 3 ลิตร เก็บในวันจันทร์ถึงวันอาทิตย์ต่อเนื่อง เป็นเวลา 3 เดือน (สุ่มเก็บเดือนละ 1 สัปดาห์) ซึ่งเป็นตัวแทนของการดำเนินกิจกรรมในแต่ละที่ที่แตกต่างกัน

2.2.3 การเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง โดยใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร และเก็บรักษาตามวิธีที่กำหนดในวิธีมาตรฐาน (Standard method) [3] นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มรภ.ศรีสะเกษ

2.3 วิเคราะห์ลักษณะคุณลักษณะน้ำเสีย

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย ได้แก่ ของแข็งทั้งหมด (Total solid; TS) ของแข็งละลายทั้งหมด (Total dissolved solids; TDS) ของแข็งแขวนลอย (Suspended solid; SS) ของแข็งจมตัว (Settleable solid) และลักษณะทางเคมี ของน้ำเสีย ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical oxygen demand; BOD) น้ำมันและไขมัน (Fat, oil and grease; FOG) โดยวิธีทดสอบลักษณะทางกายภาพและเคมีทำตามวิธีมาตรฐาน (Standard method) [3]

นอกจากนี้ยังวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรเบื้องต้น ได้แก่ ไนโตรเจน (Nitrogen; N) ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) และโพแทสเซียม (Potassium; K) โดยใช้ Test-kit (Rapitest Soil test kit, Luster Leaf Inc., USA) [4]

2.4 วิเคราะห์ผล

2.4.1 ปริมาณน้ำเสีย วิเคราะห์ผลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4.2 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพและทางเคมี วิเคราะห์ผลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอาคารประเภท ข [5]

2.4.3 คุณลักษณะน้ำเสียทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร วิเคราะห์ผลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.5 แนวทางการจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ

แนวทางในการจัดการน้ำเสียเป็นการเสนอแนวทางที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียของโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ข้อมูลเบื้องต้น

โรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ เป็นโรงอาหารที่รองรับนักศึกษาและบุคลากรจำนวนกว่า 8,000 คน มีขนาดพื้นที่ประมาณ 2,400 ตร.ม. ซึ่งพื้นที่ของโรงอาหารขนาดดังกล่าวอยู่ในการควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งของกฎหมายตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ตารางที่ 1) [5]

จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่ากิจกรรมในโรงอาหารที่ทำให้เกิดน้ำเสียส่วนใหญ่คือการล้างภาชนะ ซึ่งในแต่ละวันจะมีการล้างภาชนะ 2 ช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 14.00-17.00 น. นอกจากนี้ยังพบว่าโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียของโรงอาหาร แต่มีระบบถังดักไขมันที่ใช้ในกำจัดน้ำมันและไขมัน อีกทั้งยังพบว่าในท่อระบายน้ำพบเศษอาหารที่ค้างอยู่ในท่อระบายจำนวนมาก

ซึ่งส่งกลิ่นเหม็นและสร้างความรำคาญให้กับนักศึกษา บุคลากร และเจ้าของร้านค้าบริเวณนั้นอีกด้วย

ตารางที่ 1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด อาคารประเภท ข

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
pH	5-9	-
BOD	30	mg/L
SS	40	mg/L
TDS	500	mg/L
Fat, oil and grease	20	mL/L

3.2 คุณลักษณะน้ำเสีย

3.1.1 ปริมาณน้ำเสีย ผลการสำรวจปริมาณน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 2 ปริมาณน้ำเสียในแต่ละวันของโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ พบว่า ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 10.9 ± 2.01 ลบ.ม./วัน จากการสังเกตพบว่า วันที่มีปริมาณน้ำเสียมากที่สุดคือ วันพุธ (15.0 ± 3.21 ลบ.ม./วัน) ซึ่งเกิดจากวันพุธช่วงบ่ายนักศึกษาทุกชั้นปีจำเป็นต้องเข้าร่วมกิจกรรม ณ หอประชุมที่บังกรรค์มีโชติ โดยอาคารดังกล่าวอยู่ใกล้กับโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ จึงทำให้มีนักศึกษาจำนวนมากใช้บริการโรงอาหารในวันพุธ

ส่วนวันที่มีปริมาณน้ำเสียน้อย คือวันเสาร์และอาทิตย์ (9.2 ± 0.71 และ 8.9 ± 0.82 ลบ.ม./วันตามลำดับ) ซึ่งเกิดจากวันเสาร์และวันอาทิตย์มีนักศึกษาภาคเสาร์-อาทิตย์มาเรียนและใช้บริการโรงอาหารมีจำนวนน้อยกว่านักศึกษาภาคปกติ จึงส่งผลให้ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยลง [6]

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำเสียในแต่ละวันของโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ

วัน	ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย (ลบ.ม./วัน)
จ.	10.3 ± 2.11
อ.	10.9 ± 1.02
พ.	15.0 ± 3.21
พฤ.	11.0 ± 1.54
ศ.	10.9 ± 1.43
ส.	9.2 ± 0.71
อ.	8.9 ± 0.82
เฉลี่ย	10.9 ± 2.01

3.1.2 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ

ผลการศึกษาลักษณะน้ำเสียทางกายภาพแสดงดังภาพที่ 1 ผลการติดตามค่า TS ก่อนผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณ $1,000 \pm 10$ - $1,803 \pm 25$ mg/L และน้ำเสียหลังผ่านระบบถังดักไขมัน มีปริมาณค่า TS คือ 314 ± 45 - $1,002 \pm 59$ mg/L จากผลดังกล่าวพบว่าถังดักไขมันช่วยในการกำจัดของแข็ง เศษอาหารและตะกอนที่ระบบได้ร้อยละ 43-69 เนื่องจากมีตะแกรงกรองเศษอาหารในถังดักไขมัน

ผลการตรวจสอบค่า TDS ในน้ำเสียก่อนผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณ 333 ± 37 - $1,090 \pm 19$ mg/L และน้ำเสียหลังผ่านระบบถังดักไขมัน มีปริมาณค่า TDS คือ 278 ± 21 - 738 ± 58 mg/L จะเห็นได้ว่าค่า TDS หลังจากผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณที่ลดลงสามารถกำจัดได้ร้อยละ 7-26 ซึ่งเป็นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ เช่น โลหะ แร่ธาตุ หรือเกลือต่างๆ เป็นต้น

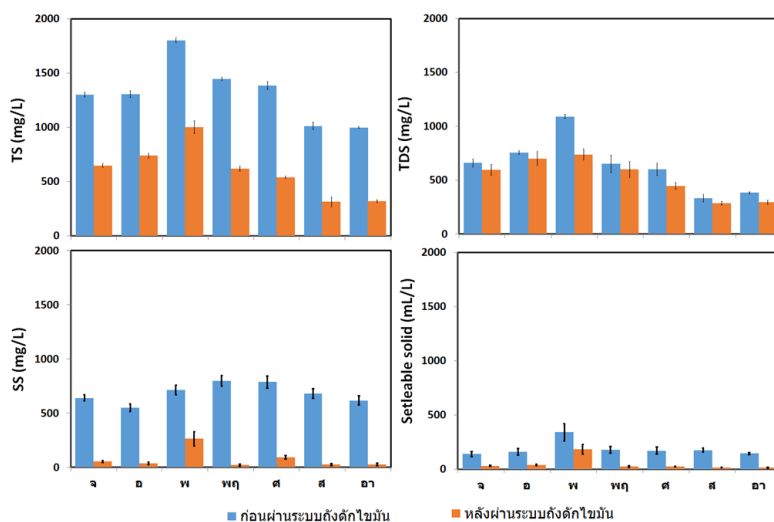
ผลการศึกษาค่า SS ในน้ำเสียก่อนผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณ 616 ± 42 - 797 ± 49 mg/L ส่วนค่า SS ในน้ำเสียหลังผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณ 21 ± 11 - 264 ± 65 mg/L ระบบถังดักไขมันสามารถกำจัด SS ได้ร้อยละ 88-97

ผลการติดตามค่าของแข็งจมตัวในน้ำเสียก่อนผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณ $140 \pm 24 - 179 \pm 31$ mg/L และน้ำเสียหลังผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณค่าของแข็งจมตัวคือ $13 \pm 4 - 183 \pm 45$ mg/L จากผลดังกล่าวพบว่าปริมาณของแข็ง เศษอาหารและตะกอนที่ระบบถังดักไขมันสามารถกำจัดได้ร้อยละ 46-91

จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่าปริมาณของแข็งต่างๆ หลังผ่านระบบถังดักไขมันแล้วสามารถกำจัดได้สูง คือ ค่า SS และของแข็งจมตัว ซึ่งเกิดจากในถังดักไขมันมีส่วนที่เป็นตะกอนดักเศษอาหาร อีกทั้งยังมีการใช้เวลาในการกักเก็บน้ำเสียให้เศษอาหารตกตะกอน แต่จากการติดตามผลจะสังเกตได้ว่าหากอัตราการเกิดน้ำเสียในแต่ละวันมีอัตราการไหลสูงจะส่งผลให้ปริมาณของแข็งลดลง เนื่องจากระยะเวลาในการกักน้ำเสียในถังดักไขมันน้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของบ่อดักไขมันบริเวณรอบทะเลสาบสงขลา พบว่าระยะเวลาในการกักเก็บน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง น้ำมันและไขมัน ต้องมีเวลาในการกักน้ำมากเพียงพอที่จะทำให้ของแข็ง

ตกตะกอนและไขมันรวมตัวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษได้แก่ BOD COD ไขมันและของแข็ง โดยวัดพารามิเตอร์เมื่อผ่านถังดักไขมัน ซึ่งผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียในถังดักไขมันมีผลต่อการกำจัดไขมันและของแข็ง เนื่องจากมีเวลาเพียงพอให้ไขมันรวมตัวและของแข็งตกตะกอน [7-9]

นอกจากนี้เมื่อนำค่าของแข็งต่างๆ ในน้ำเสียที่ติดตามหลังผ่านระบบถังดักไขมันมาเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง พบว่า TDS และ SS มีค่า เกินมาตรฐานน้ำทิ้ง ของแข็งดังกล่าวมีปริมาณสูง อาจมีองค์ประกอบเป็นโลหะหนักหรือสารพิษหรือสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ จะส่งผลต่อสุขภาพได้ หรือทำให้มีค่า BOD สูงขึ้น และหากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะทำให้เกิดความสกปรก เน่าเสีย และ สกปรกกลิ่นเหม็น หรือแม้กระทั่งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำโรคได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยในอดีตที่ได้ศึกษาการแยกสารมลพิษจากน้ำเสียร้านอาหารพบว่าลักษณะของน้ำเสียร้านอาหารมีเศษอาหารและไขมันเข้มข้น จะส่งผลให้แหล่งน้ำมีความสกปรกขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ [1, 7]



ภาพที่ 1 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ

3.1.3 ลักษณะน้ำเสียทางเคมี จากผลการติดตาม pH ของน้ำเสียทั้งก่อนและหลังผ่านระบบถังดักไขมัน แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าค่า pH ของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบถังดักไขมันไม่แตกต่างกัน โดยค่า pH อยู่ในช่วง 5.2 ± 0.01 - 5.6 ± 0.03 และ 5.1 ± 0.01 - 5.7 ± 0.02 ของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบถังดักไขมัน ตามลำดับ ซึ่งค่า pH ค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย เมื่อเปรียบค่า pH ของน้ำเสียกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอาคารประเภท ข พบว่าค่า pH อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียโรงอาหารกลาง มรภ.ศรีสะเกษ

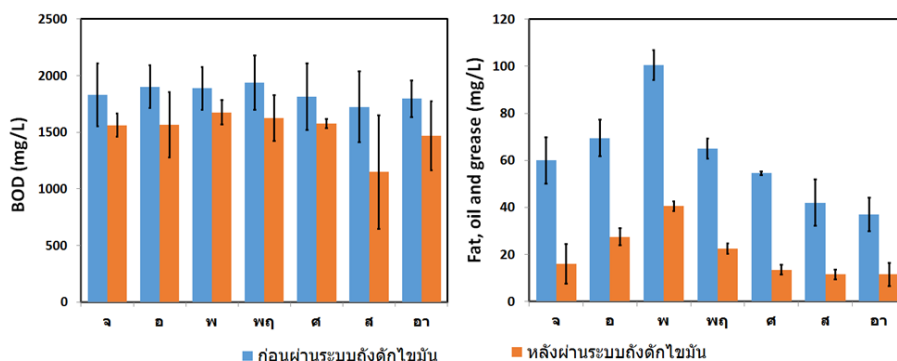
วัน	ก่อนผ่านระบบถังดักไขมัน	หลังผ่านระบบถังดักไขมัน
จ.	5.5 ± 0.03	5.5 ± 0.01
อ.	5.2 ± 0.01	5.1 ± 0.01
พ.	5.2 ± 0.01	5.2 ± 0.01
พท.	5.4 ± 0.01	5.3 ± 0.00
ศ.	5.4 ± 0.03	5.3 ± 0.02
ส.	5.5 ± 0.03	5.5 ± 0.01
อา.	5.6 ± 0.03	5.7 ± 0.02

จากผลการติดตามค่า BOD แสดงดังภาพที่ 2 ค่า BOD ก่อนผ่านระบบถังดักไขมัน คือ $1,725 \pm 314$ - $1,940 \pm 240$ mg/L และหลังผ่านระบบถังดักไขมัน คือ $1,149 \pm 510$ - $1,677 \pm 110$ mg/L พบว่า ค่า BOD ของน้ำเสียที่ผ่านระบบถังดักไขมันมีค่าน้อยมาก เนื่องจากถังดักไขมันมีไว้กำจัดน้ำมันและไขมัน ผลพลอยได้อีกส่วนหนึ่งคือ กากตะกอน หรือเศษอาหาร

ซึ่งกากตะกอนหรือเศษอาหาร บางส่วนเป็นองค์ประกอบอินทรีย์ ซึ่งมีผลต่อการลดลงของค่า BOD เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า ค่า BOD ในน้ำทิ้งเกินมาตรฐานที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งยังมีความสกปรก หากไม่มีการจัดการอาจมีผลต่อสิ่งแวดล้อมได้ [1, 7]

ส่วนค่าน้ำมันและไขมันก่อนผ่านระบบถังดักไขมัน คือ 37 ± 7 - 101 ± 6 mg/L และหลังผ่านระบบถังดักไขมัน คือ 12 ± 2 - 41 ± 2 mg/L พบว่า น้ำมันและไขมันก่อนผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณที่เกินมาตรฐาน แต่เมื่อน้ำเสียหลังผ่านระบบถังดักไขมัน ถึงถังไขมันมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันสูงมาก โดยในวันจันทร์ ศุกร์ เสาร์ และอาทิตย์ พบว่า น้ำมันและไขมันมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ในวันอังคาร พุธ และวันพฤหัสบดี น้ำเสียมีค่าน้ำมันและไขมันที่สูงกว่ามาตรฐาน

เมื่อสังเกตจากปริมาณน้ำเสียต่อวัน พบว่าปริมาณน้ำเสียในอังคาร พุธ และวันพฤหัสบดีมีค่าสูง เกิดจากอัตราการไหลของน้ำเสีย จึงส่งผลต่อการกำจัดน้ำมันและไขมัน เนื่องจากระยะเวลาในการกักน้ำเสียเพื่อให้น้ำมันและไขมันรวมตัวและลอยขึ้นสู่ผิวของน้ำเสีย โดยระยะเวลาที่ใช้ในการกักพักน้ำในถังดักไขมันเพื่อให้เพียงพอสำหรับน้ำมันและไขมันลอยขึ้นสู่ผิวของน้ำเสีย คือ 6 ชั่วโมง เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ศึกษาการกำจัดน้ำมันและไขมัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงมีผลต่อการกักเก็บน้ำทำให้อัตราประสิทธิภาพการกำจัดไขมัน ซึ่งควรมีระยะเวลาพักน้ำที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสีย [7-9]



ภาพที่ 2 ข้อมูลความเข้มข้นของบีโอดีและน้ำมันและไขมันในแต่ละวัน

จากผลข้างต้นชี้ให้เห็นว่าน้ำทิ้งจากโรงอาหารมรภ.ศรีสะเกษในบางวันมีพารามิเตอร์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด อาคารประเภท ข คือ SS TDS BOD และน้ำมันและไขมัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาการกำจัดสารมลพิษดังกล่าวต่อไป

3.1.4 คุณลักษณะน้ำเสียที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร จากการติดตามตรวจสอบคุณลักษณะน้ำเสียที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร พบว่า ปริมาณ N P และ K ที่ได้ตรวจสอบในน้ำเสียโรงอาหารทั้งก่อนและหลังผ่านระบบถังดักไขมันมีปริมาณ N P และ K อยู่ในระดับที่เพียงพอสำหรับพืช คือ $N > 40$ $P > 50$ และ $K > 600$ จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ในการใช้น้ำเสียในการปลูกพืช เนื่องจากระดับของ N P และ K เหมาะสม [10] แต่จากการสังเกตลักษณะน้ำเสียพบว่า ปริมาณ N P และ K ของน้ำเสียก่อนผ่านระบบถังดักไขมันมีระดับที่สูงกว่าปริมาณ N P และ K ของน้ำเสียหลังผ่านระบบถังดักไขมัน โดยสังเกตจากสีของน้ำเสียที่ผสมกับสารทำให้เกิดสีของ Test-kit

แต่อย่างไรก็ตามการประโยชน์จากน้ำเสียโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ จำเป็นต้องศึกษาในข้อมูลในรูปของปริมาณ N P และ K ที่ชัดเจน และนอกจากนี้

ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำเสียโรงอาหารกลาง มรภ.ศรีสะเกษในการปลูกพืชจริงต่อไป

3.2 แนวทางการจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ

3.2.1 การจัดการน้ำเสียเดิมของโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ จากการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบถังดักไขมัน พบว่า ระบบถังดักไขมันสามารถกำจัดสารมลพิษในบางพารามิเตอร์ได้ เนื่องจากถังดักไขมันมีคุณสมบัติเฉพาะในการกำจัดไขมันและไขมัน ซึ่งทำให้คุณภาพน้ำทิ้งของน้ำเสียโรงอาหารไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสาเหตุเกิดจากโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย แต่มีระบบถังดักไขมันที่สามารถกำจัดไขมันและกากตะกอนบางส่วน

3.2.2 แนวทางในการจัดการน้ำเสียของโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ จากแนวทางการจัดการน้ำเสียเดิมของโรงอาหารสามารถเสนอแนวทางในการจัดการน้ำเสียตามวิธีดังต่อไปนี้

1) การใช้ประโยชน์จากน้ำเสียโดยตรง สามารถนำน้ำเสียไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำอินทรีย์ได้ เนื่องจากปริมาณ N P และ K เพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงในการเกษตร ซึ่งเป็นการลดการลดปริมาณน้ำเสียได้ในปริมาณมาก

2) การพัฒนาระบบถังดักไขมัน สามารถใช้วิธีการติดตั้งถังดักไขมันเพิ่มเติม โดยถังดักไขมันดังกล่าวควรมีขนาดที่เหมาะสม เนื่องจากถังดักไขมันจำเป็นต้องมีเวลาในการพักน้ำเสีย (Detention time) เพื่อให้ไขมันและไขมันมีโอกาสดักตัวกันแล้วลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งใช้เวลาไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง สำหรับโรงอาหารกลางมีปริมาณน้ำเสียสูงสุด 0.04 ลบ.ม./ร้าน.ชม. ซึ่งเมื่อคำนวณระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 6 ชม. จะได้น้ำเสียในถังดักไขมัน คือ 0.24 ลบ.ม. ดังนั้นปริมาณของถังดักไขมันสำเร็จรูปที่มีตามท้องตลาดสามารถใช้ถังดักไขมันขนาด 0.47 ลบ.ม.

3) การเพิ่มระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary treatment) วิธีการนี้มีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ระบบที่จะเลือกใช้ต้องขึ้นกับลักษณะและปริมาณของน้ำเสีย นอกจากนี้ยังมีลักษณะของอาคารที่สามารถใช้ระบุน้ำเสียที่เหมาะสมได้ เช่น อาคารขนาดใหญ่เหมาะกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ ส่วนระบบแบบไม่ใช้อากาศเหมาะกับอาคารขนาดเล็ก แต่โรงอาหารกลาง มรภ. ศรีสะเกษ เป็นอาคารขนาดใหญ่ และมีความสกปรกของน้ำเสียสูง อีกทั้งปริมาณน้ำเสียไม่แน่นอน ดังนั้นระบบที่มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ในการกำจัดน้ำเสียคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing batch reactor; SBR) ข้อดีของระบบเอสบีอาร์คือ 1.ประสิทธิภาพในการกำจัดความสกปรกสูง 2.สามารถทำให้อัตราการไหลของน้ำเสียผ่านระบบคงที่ได้ 3.ราคาในการก่อสร้างไม่สูงมาก เนื่องจากใช้พื้นที่น้อย 4.ง่ายในการเดินระบบ 5.ดูแลรักษาระบบได้ง่าย โดยขนาดระบบเอสบีอาร์ที่มีขายตามท้องตลาด (ถัง SBR สำเร็จรูป) ที่เหมาะสมคือ ขนาดรองรับน้ำเสีย 8 ลบ.ม. การเดินระบบจำนวน 2-

3 รอบ รอบละ 5 ลบ.ม. ระยะเวลาพักเก็บน้ำ (HRT) 8-12 ชม. ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับโรงอาหารกลาง มรภ.ศรีสะเกษ ที่มีปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 10.9 ± 2.0 ลบ.ม. ดังนั้นการเพิ่มระบบบำบัดขั้นที่สองนี้จะช่วยลดความสกปรกของน้ำเสียโรงอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

แนวทางที่ได้เสนอข้างต้นเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงอาหารกลาง มรภ.ศรีสะเกษ ซึ่งสามารถนำแนวทางดังกล่าวไปพัฒนาการจัดการน้ำเสียในโรงอาหารของหน่วยงาน ที่มีลักษณะน้ำเสียคล้ายกันได้ เช่น โรงอาหารในมหาวิทยาลัย โรงอาหารในหน่วยงานของรัฐ โรงอาหารในโรงเรียน หรือแม้กระทั่งโรงอาหารในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาการใช้แนวทางหรือมีการทดลองก่อนการนำไปใช้จริงไม่ว่าจะเป็นการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียโดยตรง การทดสอบประสิทธิภาพของระบบถังดักไขมัน และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์ว่าเหมาะสมกับน้ำเสียจริงหรือไม่ ซึ่งควรทำการตรวจสอบในขนาดก่อนการนำแนวทางไปใช้จริง

4. สรุป

ผลการศึกษาปริมาณ ลักษณะน้ำเสียโรงอาหารกลาง มรภ.ศรีสะเกษ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) โรงอาหารกลาง มรภ.ศรีสะเกษมีนักศึกษาและบุคลากรจำนวนมากว่า 8,000 คน ใช้บริการทำให้มีน้ำเสียเกิดขึ้น ถึงแม้ภายในอาคารโรงอาหารมีระบบถังดักไขมันที่ใช้ในการบำบัดเบื้องต้น แต่ยังไม่มีการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองในการลดความสกปรกของน้ำเสีย

2) ปริมาณน้ำเสียจากโรงอาหารกลางมรภ. ศรีสะเกษ ที่เกิดขึ้นปริมาณเฉลี่ย 10.9 ± 2.01 ลบ.ม./วัน มีปริมาณสูงสุดคือวันพุธ 15.0 ± 3.2 ลบ.ม./วัน เกิดจากนักศึกษาเข้าร่วมกิจกรรมใกล้อาคารโรงอาหารในเวลา 13.00-16.00 น. จึงมีนักศึกษาใช้บริการโรงอาหารเป็นจำนวนมาก ทำให้มีปริมาณน้ำเสียสูงขึ้น

3) ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพที่ได้ติดตามหลังผ่านระบบถังดักไขมัน พบว่า ถังดักไขมันสามารถกำจัดของแข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ SS และของแข็งจมตัว (ร้อยละ 88-97 และ 46-91 ตามลำดับ) ซึ่งเกิดจากในถังดักไขมันมีตะแกรงกรองเศษอาหารและตะกอนบางส่วนสามารถจมตัวลงที่ก้นถัง อย่างไรก็ตามพบการหลุดรอดของตะกอนออกจากถังดักไขมัน เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำเสียมีค่าสูง ทำให้ตะกอนมีเวลาไม่เพียงพอที่จะจมตัวลงที่ก้นถัง

4) คุณลักษณะน้ำเสียที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร พบว่ามีปริมาณ N P และ K มากกว่า 40 50 และ 600 ตามลำดับ ซึ่งเหมาะสมสำหรับต้นไม้พืช และผักสวนครัว โดยใช้ทำเป็นปุ๋ยชนิดน้ำ

5) แนวทางในการจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียโรงอาหารกลางมรภ.ศรีสะเกษ มี 3 วิธี คือ (1) นำน้ำเสียไปใช้เป็นปุ๋ยชนิดน้ำสำหรับต้นไม้พืช หรือผักสวนครัว (2) พัฒนาระบบถังดักไขมันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (3) เพิ่มระบบบำบัดน้ำเสีย ขั้นที่สอง โดยระบบที่แนะนำคือ ระบบเอสบีอาร์ ที่มีข้อดีคือ มีประสิทธิภาพสูง ปรับอัตราการไหลของน้ำเสียให้คงที่ได้ ราคาก่อสร้างไม่สูงมาก ง่ายในการเดินระบบ และควบคุมดูแล ซึ่งระบบเอสบีอาร์สำเร็จรูปที่เหมาะสมมีขนาด 8 ลบ.ม. เดินระบบจำนวน 2-3 รอบ/วัน รอบละ 5 ลบ.ม. ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 8-12 ชั่วโมง

นอกจากนี้ก่อนการประยุกต์แนวทางดังกล่าวในการใช้งานจริง ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

สำหรับการประเมินการใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยชนิดน้ำ การพัฒนาระบบถังดักไขมัน และการทดสอบประสิทธิภาพระบบเอสบีอาร์ เพื่อทราบถึงวิธีการหรือปริมาณ ในการประยุกต์ใช้จริงต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจาก คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย ราชภัฏศรีสะเกษและศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) นอกจากนี้การศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์สถานที่เครื่องมือต่างๆ จากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย ราชภัฏศรีสะเกษเป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามความคิดเห็น ผลการศึกษา การสรุปผล และข้อเสนอแนะ ในเอกสารนี้ ไม่เกี่ยวข้องกับผู้ให้ทุน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen X, Chen G, Yue PL. Separation of Pollutants from Restaurant Wastewater by Electrocoagulation. Separation and Purification Technology. 2000; 19: 65-76.
- [2] Astuti AD, Rinanti A, Viera AAF. Canteen Wastewater and Gray Water Treatment Using Subsurface Constructed Wetland-Multilayer Filtration Vertical Flow Type with Melati Air (*Echindorus paleaefolius*) at Senior High School. Aceh International Journal of Science and Technology. 2017; 6(3): 111-121.
- [3] American Public Health Association (APHA), American Water Work

- Association (AWWA), The World Economic Forum (WEF). Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC.: (n.p.); 2005.
- [4] Brandenberger LP, Bowser TJ, Zhang H, Carrier LK, Payton ME. Evaluation of Testing Kits for Routine Soil Analyses. Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences. 2016; 4(1): 1-10.
- [5] ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ประกาศ ณ วันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2548.
- [6] Usha C, Umadevi B, Balasubramanya N, editors. Treatment of Canteen Waste Water Using Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. Proceedings of International Conference on Advances in Architecture and Civil Engineering; 2012 June 21-23; Bangalore, Karnataka, India; 2012.
- [7] กมลนาวัน อินทนุจิตร และคณะ. โครงการวิจัยเชิงประยุกต์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปอดักไขมันบริเวณรอบทะเลสาบสงขลาตอนกลางและตอนล่าง. (รายงานการวิจัย). สงขลา; มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา; 2558.
- [8] Grosser A. The Influence of Decreased Hydraulic Retention Time on The Performance and Stability of Co-digestion of Sewage Sludge with Grease Trap Sludge and Organic Fraction of Municipal Waste. Journal of Environmental Management 2017; 203: 1143-1157.
- [9] Rongjun S. Study on Treatment of Canteen Wastewater Using Rotating Biological Contactor. Advanced Materials Research 2010; 113-116: 1597-1600.
- [10] ศิริพร กาทอง และเฉลิม เรื่องวิริยะชัย. การหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. วารสารวิจัย มข. 2557; 14 (4): 57-68.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การพัฒนาเครื่องเทถึงเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติ

Development of the automatic pouring raw milk storage tank machine

อดิศักดิ์ บุตรวงษ์, ธวัชชัย สีลาโส, กวีงษ์ หงษ์ทอง, วีระพล แก้วกา และ อภิชาติ ศรีชาติ*

Adisak Bootwong, Tawatchai Seelaso, Kaweepong Hongtong,

Weeraphon Kaewka and Aphichat Srichat*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Department of mechanical engineering, Faculty of technology, Udonthani Rajabhat University

Received: 5 July 2019

Revised: 20 April 2020

Accepted: 13 May 2020

Available online: 30 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาเครื่องเทถึงเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติให้สามารถทำงานได้ปริมาณมากๆ ลดการใช้แรงงานคน สามารถประหยัดเวลาและลดต้นทุนในกระบวนการรวบรวมน้ำนมดิบ โดยใช้การควบคุมการทำงานโดยใช้ PLC ควบคุมระบบนิวแมติกส์ ทำการทดลองด้วยการกำหนดเวลาที่ใช้ในการเทถึงนมจาก 5 – 15 วินาที กำหนดให้น้ำนมในถังมีปริมาณ 40 ลิตร และกำหนดแรงดันลมที่ 7 บาร์ จากการทดสอบพบว่า การกำหนดเวลาในการควบคุมมีผลต่อปริมาณน้ำนมที่ได้ โดยเมื่อกำหนดระยะเวลานานขึ้นจะทำให้เครื่องสามารถเทน้ำนมออกได้จนหมดไม่มีน้ำนมค้างในถังเลย และพบว่าเวลาในการเทน้ำนม 10 วินาที จะสามารถเทน้ำนมได้จนหมดถึงสามารถเทน้ำนมได้ 100% ทำให้ได้อัตราการเทน้ำนมดิบ 1 ถึง ต่อ 30 วินาที เท่ากับ 120 ถึง/ชั่วโมง สามารถลดการใช้แรงงานคนและลดต้นทุนในกระบวนการแปรรูปน้ำนมดิบอีกได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: เครื่องเท, น้ำนมดิบ, ระบบอัตโนมัติ, ถังเก็บน้ำนม

Abstract

This research is to develop of the automatic pouring raw milk storage tank machine which it is able to work large quantities, reduce human labor, save time and reduce costs of raw milk collection process. PLC (Programmable Logic Control) programming and PLC devices were used to control to the pneumatic system. The experiment was set at the time to pour the milk storage tank from 5 to 15 seconds, the raw milk in the storage tank of 40 liters and the air pressure of the pneumatic system at 7 bar. From the result, it was found that the time setting was effected to the raw milk pouring when the set time to longer, raw milk can pour out which no dew in the storage tank. It was found that the time of pouring raw milk at 10 seconds can be pouring out of the storage tank was 100% of the raw milk. For the time of all process for pouring raw milk storage tank was 30 second (completely process) that the automatic pouring raw milk storage tank machine can work at the rate of 120 tank/hr.

Keywords: Pouring machine, Raw milk, Automatic system, milk storage

*ติดต่อ: saphichat@udru.ac.th, 0872186214

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม เกษตรกรที่ทำอาชีพเลี้ยงสัตว์มีอยู่มากมายของทุกภูมิภาคของประเทศไทย ข้อมูลจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และปศุสัตว์ในปี พ.ศ. 2560 จำนวน 2,810,317 ราย [1] มีจำนวนปริมาณผู้เลี้ยงโคนมจำนวน 17,348 ราย จำนวนรวม 584,327 ตัว [2] ข้อมูลปริมาณการใช้อาหารสำเร็จรูปของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และปศุสัตว์ปี 2560 พบว่ามีปริมาณ 19,638,480 ตัน [3] ปัญหาหลักเกษตรกรผู้เลี้ยงปศุสัตว์ส่วนใหญ่ คือ ราคาอาหารสัตว์สำเร็จรูปที่มีราคาสูงและแรงงานในการเลี้ยงสัตว์จึงทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์มีต้นทุนสูง [4] วิธีการเก็บรักษาน้ำนม เริ่มต้นจากน้ำนมดิบจากเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม จะถูกบรรจุในภาชนะบรรจุ น้ำนมดิบ จากนั้นจะจัดส่งไปยังศูนย์รวบรวม น้ำนมดิบ ซึ่งภาชนะบรรจุ น้ำนมดิบ ต้องสะอาด ไม่มีกลิ่นอับหรือบูด มีผิวเรียบ ไม่มีรอยตะเข็บ ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำนม

ดิบ ภายหลังใช้งานทุกครั้งต้องทำความสะอาดทันที ปลอดภัยต่อการขนย้าย และต้องขนส่งไปยังศูนย์รวบรวม น้ำนมดิบ ภายในเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง โดยศูนย์จะรวบรวม น้ำนมดิบจากเกษตรกรรายย่อย จะเทรวมกันในถังเก็บรวบรวม น้ำนมดิบ เพื่อส่งต่อไปยังโรงงานแปรรูป น้ำนมโดยใช้รถบรรทุกที่ควบคุมอุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และควรขนส่งไปยังโรงงานแปรรูป น้ำนมภายในเวลา 24 ชั่วโมง [5] การขนส่ง น้ำนมดิบมักจะนำไปเทรวมกันในศูนย์รวบรวม น้ำนมดิบที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำแล้วส่งไปยังโรงงานแปรรูป [6] จากการศึกษาข้อมูลจากศูนย์รวบรวม น้ำนมดิบพบว่า กระบวนการรวบรวม น้ำนมดิบในปัจจุบันใช้การลำเลียงถัง น้ำนมดิบที่รับมาจากสมาชิกภายในกลุ่มสหกรณ์โคนมต่างๆ ใช้แรงงานคนในยกถังนมวางบนสายพานลำเลียงหรือระบบรางเลื่อน โดยในแต่ละวันคนงานยกถังนมเฉลี่ยประมาณ 200 ถังต่อวัน น้ำหนักต่อถังเฉลี่ยโดยประมาณ 40 กิโลกรัม เพื่อ

ลำเลียงถังนมผ่านรางเลื่อน จากนั้นทำการเปิดฝาลังนมและนำไปยกเทใส่ลงในถังพักน้ำนมดิบ เพื่อรอเข้าสู่กระบวนการตรวจวัดคุณภาพและน้ำหนักของน้ำนมดิบต่อไป ในกระบวนการนี้เป็นการใช้แรงงานคนทั้งสิ้น ทำให้ต้องใช้แรงในการยกมากและกำลังการทำงานของบุคคลลดลงตามปริมาณถังน้ำนมดิบ ในศูนย์รวบรวมขนาดใหญ่มีการยกวางบนสายพานลำเลียงเพื่อนำถังไปเท แต่ก็ต้องยกเทน้ำนมดิบออกจากถัง กลายเป็นปัญหาหลักในการรวบรวมน้ำนมดิบของศูนย์รวบรวมจากการศึกษาพบว่ายังไม่มีเครื่องนำอุปกรณ์เทถังน้ำนมมาใช้ในกระบวนการรวบรวมน้ำนมดิบ ถ้ามีการคิดค้นเครื่องจักรที่สามารถนำมาใช้ในการเทถังน้ำนมดิบจะเป็นการลดการใช้แรงงานคนและลดต้นทุนของกระบวนการแปรรูปน้ำนมดิบต่อไป

จากแนวคิดเรื่องการสร้างเครื่องจักรเพื่อนำมาใช้ทดแทนแรงงานคน ทำให้คณะผู้วิจัยนำไปสู่การออกแบบและสร้างเครื่องเทถังเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติขึ้นมา เพื่อใช้เทถังเก็บน้ำนมดิบในขั้นตอนการรวบรวมน้ำนมดิบเพื่อขนส่งไปยังโรงงานแปรรูปน้ำนมดิบ เพื่อเป็นการลดการใช้แรงงานคนและลดต้นทุนในกระบวนการแปรรูปน้ำนมดิบอีกด้วย

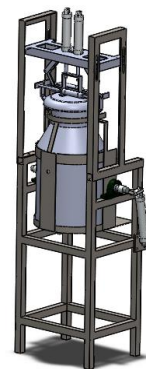
2. เครื่องเทถังเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติ

ปัจจุบันขั้นตอนในการเทถังน้ำนมดิบในอุตสาหกรรมโคนมนั้น ใช้แรงงานคน 2 คนในการยกเทถังน้ำนมดิบ ในแต่ละวันยกเทถังนมเฉลี่ยประมาณ 200 ถังต่อวัน น้ำหนักต่อถังเฉลี่ยโดยประมาณ 40 กิโลกรัม โดยที่แรงงานคนจะทำการเปิดฝาลังนม จากนั้นยกเทถังน้ำนมดิบลงในถังพักน้ำนมดิบและทำการปิดฝาลังเอง [7] ดังแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบการเทถังน้ำนมดิบในปัจจุบัน

การออกแบบเครื่องเทถังน้ำนมดิบ ต้องสามารถเปิดและปิดฝาลังนมขนาด 40 ลิตร และเทน้ำนมดิบได้ใช้ต้นกำลังด้วยระบบนิวแมติกส์ในการเปิดปิดฝาลังและเทถังน้ำนมดิบ โดยควบคุมด้วย PLC (Programmable Logic Control) ทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อมีการวางถังน้ำนมดิบลงในตำแหน่ง ดังสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2 วัสดุที่จะนำมาใช้ในการสร้างเครื่องเทถังน้ำนมดิบนั้น จะต้องมีความแข็งแรงรับน้ำหนักของถังนมที่มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 40 กิโลกรัมได้ ความสามารถของกระบอกลมต้องรับแรงได้เหมาะสม และต้องคำนึงถึงวัสดุอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องเทถังน้ำนมดิบ



รูปที่ 2 แบบร่างเครื่องเทถังน้ำนมดิบ

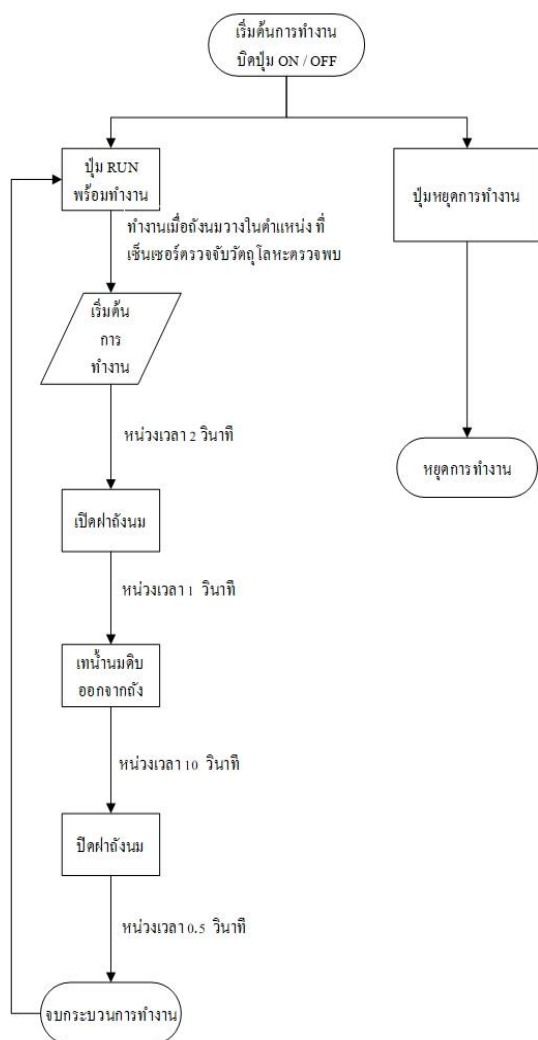
การควบคุมการทำงานโดยใช้ PLC (Programmable Logic Control) โปรแกรมในการควบคุม Solenoid Valve ให้เปิดปิดช่องทางลมเพื่อให้ระบบนิวแมติกส์ทำการปิดเปิดฝาถังและเทถังน้ำมันดิบตามลำดับขั้นตอนการทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อมีการวางถังน้ำมันดิบลงในตำแหน่ง ชุดคำสั่งโปรแกรมควบคุมการทำงานนั้น จะเริ่มจากการกดสวิทช์ ON เพื่อเปิดวงจรการทำงานทั้งหมด หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียวจะติดค้าง เมื่อต้องการเริ่มการทำงานให้กดปุ่ม RUN เพื่อเป็นคำสั่งพร้อมการทำงาน หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียวจะกระพริบ เมื่อยกถังน้ำมันดิบวางในตำแหน่ง เซ็นเซอร์ตรวจจับโลหะ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3 จะตรวจพบว่าถังน้ำมันดิบวางในตำแหน่งพร้อมทำงานแล้ว หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียวจะติดค้าง ระบบจะหน่วงเวลา 2 วินาทีก่อนที่จะเริ่มต้นการทำงาน จากนั้นจะสั่ง Solenoid Valve ชุดกลไกเปิดปิดฝาถังลงมายังตำแหน่งเปิดฝาถังและหน่วงเวลา 1 วินาที ก่อนจะสั่ง Solenoid Valve ชุดลิ้นชักฝาถังทำงาน ฝาถังจะถูกล็อกแน่นและหน่วงเวลา 0.5 วินาที ก่อนจะสั่ง Solenoid Valve ชุดกลไกเปิดปิดฝาถังเปิดฝาถังออกและหน่วงเวลา 5 วินาทีเพื่อให้ตรวจดูภายในถังน้ำมันดิบว่าไม่มีสิ่งผิดปกติ ก่อนจะสั่ง Solenoid Valve ชุดเทถังน้ำมันดิบทำงานและหน่วงเวลา 10 วินาทีเพื่อเทน้ำมันดิบจนหมดถัง จากนั้นจะสั่ง Solenoid Valve ชุดเทถังน้ำมันดิบกลับมายังตำแหน่งเดิมและหน่วงเวลา 5 วินาที ก่อนจะสั่งให้ Solenoid Valve ชุดกลไกเปิดปิดฝาถังปิดฝาถังลงยังตำแหน่งเดิมและหน่วงเวลา 0.5 วินาที Solenoid Valve ชุดลิ้นชักฝาถัง ปล่อยฝาถังออกและหน่วงเวลา 0.5 วินาที จากนั้นจะสั่ง Solenoid Valve ชุดกลไกเปิดปิดฝาถังขึ้นไปยังตำแหน่งเดิมและหน่วงเวลา 0.5 วินาที เป็นการจบการทำงาน หลอดไฟแสดง

สถานะสีเขียวจะกระพริบ ทำการนำถังนมเปล่าออกจากเครื่อง และยกน้ำถังน้ำมันดิบใหม่วางในตำแหน่งทำงาน โดยไม่ต้องกดปุ่ม RUN อีก ระบบจะตรวจจับถังน้ำมันดิบได้เองจากเซ็นเซอร์ตรวจจับโลหะ เมื่อมีการผิดพลาดของระบบกลไก สามารถที่จะกดปุ่ม STOP เพื่อที่จะหยุดการทำงานทั้งหมดของระบบการทำงานได้ทุกเมื่อ

3. การทดลองและวิธีการทดลอง

3.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องเทถังเก็บน้ำมันดิบอัตโนมัติโดยใช้การควบคุมการทำงานโดยใช้ PLC (Programmable Logic Control) การเขียนโปรแกรมในการควบคุม Solenoid Valve ให้เปิดปิดช่องทางลมเพื่อให้ระบบนิวแมติกส์ทำการปิดเปิดฝาถังและเทถังน้ำมันดิบตามลำดับขั้นตอนการทำงานโดยอัตโนมัติ ดังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้ 1) โครงสร้างหลักเครื่องเทน้ำมันดิบ เป็นจุดเชื่อมต่อโครงสร้างชุดบนและกลไกชุดเทถังน้ำมันดิบเข้าด้วยกัน ใช้เหล็กกล่องขนาด 1"1/2 X 1"1/2 ความหนา 3 mm. เป็นวัสดุหลัก, 2) โครงสร้างชุดบนเชื่อมต่อจากโครงสร้างหลักด้วยน็อตขนาด 1/2"x 3" จำนวนข้างละ 3 ตัว ใช้เหล็กฉากขนาด 40 mm X 40 mm ความหนา 4 mm เจาะช่องสล๊อตเพื่อเป็นจุดยึดกับชุดกลไกเปิดปิดฝาถังนม, 3) กลไกชุดเทถังนม ใช้เหล็กแผ่นความหนา 3 mm เป็นโครงสร้างวางถังนม เชื่อมต่อกับเพลานขนาด 28 mm ใส่กับดลบลูกปืน NTN เบอร์ P306 ยึดด้วยน็อต 1/2" X 2" กับโครงสร้างหลัก ใช้แผ่นเหล็กความหนา 12 mm เป็นฐานยึดกระบอกลม โดยกระบอกลมขนาด 40 mm X 150 mm

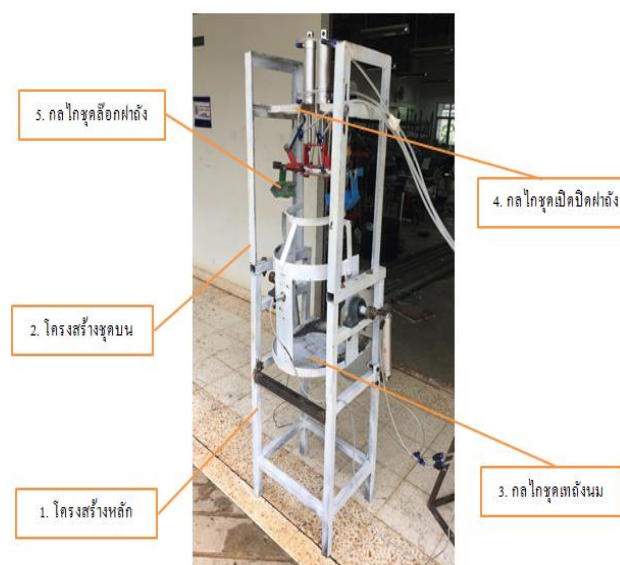


รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของชุดควบคุม PLC

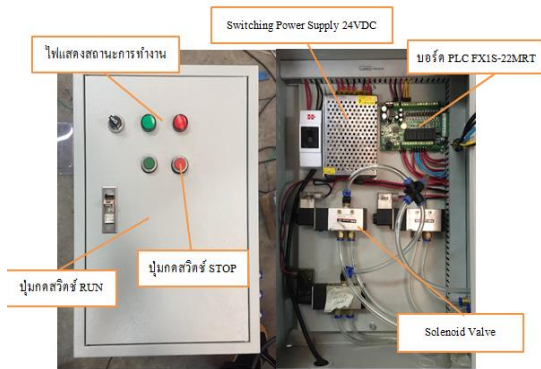
ปลายกระบอกลมต่อกับจุดเชื่อมต่อไปยังเพลลาเพื่อหมุนเพลลาให้เทถึงนมได้ใน 130 องศา ซึ่งเป็นมุมที่เทน้ำนมดิบออกจนหมดถึง, 4) กลไกชุดเปิดปิดฝาดังนม ใช้เหล็กฉากขนาด 25 mm X 25 mm ความหนา 3 mm เป็นโครงสร้างในการเชื่อมต่อกับโครงสร้างชุดบนยึดด้วยน็อต M10 x 30 ในช่องสล๊อตของโครงสร้างชุดบน เจาะรูขนาด 30 mm เพื่อยึดกระบอกลมขนาด 40 mm X 100 mm สองกระบอกลม

ในส่วนของจุดเชื่อมต่อโยงกลไกเปิดปิดฝาดังนมใช้เหล็กแบนขนาด 1" ความหนา 6 mm, 5) กลไกชุดล็อกฝาดังนม ใช้เหล็กแบนขนาด 1" ความหนา 6 mm เป็นโครงสร้างยึดกับกลไกชุดเปิดปิดฝาดัง และยึดกระบอกลมขนาด 25 mm X 50 mm จำนวนสองกระบอกลม

ปลายกระบอกลมเชื่อมต่อกับชุดมือล็อกฝาดัง และ 6) อุปกรณ์ระบบควบคุมการทำงาน ใช้บอร์ด PLC FX1S-22MRT ในการโปรแกรมระบบควบคุมการทำงาน โดยมีแหล่งจ่ายไฟจาก Switching Power Supply 24VDC เพื่อเป็นไฟเลี้ยงอุปกรณ์ภายในตู้คอลลโทรล (ดังรูปที่ 3.9) เช่น บอร์ด PLC FX1S-22MRT, Solenoid Valve, เซ็นเซอร์ตรวจจับโลหะ, และหลอดไฟแสดงสถานะหน้าตู้คอลลโทรล ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 ส่วนประกอบเครื่องเทถึงน้ำนมดิบ



รูปที่ 5 อุปกรณ์ระบบควบคุมการทำงาน

3.2. วิธีการทำการทดลอง

การทดสอบเครื่องเทถังเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติ ทำการทดลองเครื่องเทถังน้ำนมดิบด้วยระบบอัตโนมัติ ด้วยการเปรียบเทียบค่าในการปรับตั้งเวลาที่ควบคุมการทำงานของ Solenoid Valve ชุดควบคุมกลไกเทถังนมให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด กำหนดให้ถังนมบรรจุน้ำแทนน้ำนมดิบในปริมาณ 40 ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงสำหรับการบรรจุน้ำนมดิบลงในถังนมจริง และกำหนดแรงดันลมที่ 7 บาร์ ทดสอบโดยไม่ให้น้ำในถังเกิดการกระเพื่อม และสูญเสียปริมาณน้ำที่ได้ ในส่วนของระบบควบคุมการทำงานจะหน่วงเวลาในช่วงการเทถังนม โดยเริ่มจาก 5 วินาที ไปจนถึง 15 วินาที เพื่อทดลองหาค่าเวลาที่เหมาะสมไม่ให้มีปริมาณน้ำที่ตกค้างภายในถัง

4. ผลการทดลอง

จากการทดสอบเครื่องเทถังเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 การกำหนดเวลาในการ

ควบคุมมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ จากตารางผลการทดลองพบว่าการกำหนดโปรแกรมด้วยการตั้งเวลาในการเทน้ำมีผลต่อปริมาณน้ำค้างถัง โดยเมื่อกำหนดระยะเวลานานขึ้นจะทำให้เครื่องสามารถเทน้ำออกได้จนหมดไม่มีน้ำค้างในถังเลย จากการกำหนดระยะเวลาในการเทน้ำจาก 5 – 15 วินาที พบว่าร้อยละของความสามารถในการเทน้ำได้ของเครื่องเทน้ำนมดิบอัตโนมัติ คือ 76.38, 86.50, 92.90, 98.08, 99.08, 100, 100, 100, 100, 100 และ 100 ตามลำดับ และพบว่าที่เวลาในการกำหนดให้เทน้ำ 10 วินาที จะสามารถเทน้ำได้จนหมดถึง สามารถเทน้ำได้ 100% นั้นแสดงว่าถ้าน้ำนมดิบในถังปริมาณ 40 ลิตร กำหนดเวลาในการเทน้ำนมดิบของเครื่องเทน้ำนมดิบอัตโนมัติ 10 วินาที จะสามารถเทน้ำนมได้หมดรวมระยะเวลาการล้างแต่ตั้งอุปกรณ์อีก 20 วินาที/ถัง รวมแล้วใช้เวลา 30 วินาที/ถัง นั่นคืออัตราการเทน้ำนมดิบ 1 ถึง ต่อ 30 วินาที ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 120 ถัง/ชั่วโมง

จากการเปรียบเทียบการใช้งานเครื่องเทถังเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติกับการใช้แรงงานคนพบว่าการใช้แรงงานเทน้ำนมดิบในกระบวนการเก็บน้ำนมเดิมจะใช้แรงงานในส่วนงานนี้จำนวน 9 – 10 คน จากการยก-เทลงในถังรวบรวม และต้องใช้อำลังมากในการยกเมื่อเปลี่ยนมาใช้เครื่องเทน้ำนมดิบพบว่าจะใช้แรงงานเพียง 3 – 4 คน และผู้ควบคุมเครื่องเทอีก 1 คน และการใช้เครื่องจะใช้เวลาในการเทรวบรวมน้ำนมดิบลดลง จากการเปรียบเทียบดังกล่าวจะสามารถลดได้ทั้งแรงงานและระยะเวลาในการรวบรวมน้ำนมต่อไป

ตารางที่ 1 การทดสอบเครื่องเทถึงเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติ โดยกำหนดแรงดันลมที่ 7 บาร์ (จำลองด้วยการเทน้ำ)

เวลา (วินาที)	ปริมาณน้ำภายใน ถัง (ลิตร)	ปริมาณน้ำที่ ตกค้างภายในถัง (ลิตร)	ปริมาณน้ำที่เท ได้ (ลิตร)	ร้อยละของน้ำที่ ตกค้างในถัง (%)	ร้อยละของน้ำที่ เทได้ (%)
5	40	9.45	30.55	23.63	76.38
6	40	5.4	34.6	13.50	86.50
7	40	2.84	37.16	7.10	92.90
8	40	0.77	39.23	1.93	98.08
9	40	0.37	39.63	0.93	99.08
10	40	0	40	0.00	100.00
11	40	0	40	0.00	100.00
12	40	0	40	0.00	100.00
13	40	0	40	0.00	100.00
14	40	0	40	0.00	100.00
15	40	0	40	0.00	100.00

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้จึงเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องเทถึงเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติให้สามารถทำงานได้ปริมาณมากๆ ลดการใช้แรงงานคนทำให้มีประสิทธิภาพต่อกระบวนการเก็บรวบรวมน้ำนมดิบ สามารถประหยัดเวลา ลดการใช้แรงงานและลดต้นทุนได้ เครื่องเทถึงเก็บน้ำนมดิบอัตโนมัติโดยใช้การควบคุมการทำงานโดยใช้ PLC (Programmable Logic Control) ในการควบคุม Solenoid Valve ให้เปิด-ปิดช่องทางลมเพื่อให้ระบบนิวแมติกส์ทำการปิดเปิดฝาถังและเทถึงน้ำนมดิบตามลำดับ ทำการทดลองเครื่องเทถึงน้ำนมดิบด้วยระบบอัตโนมัติ ด้วยการเปรียบเทียบค่าในการปรับตั้งเวลาที่ควบคุมการทำงานของ Solenoid Valve ชุดควบคุมกลไกเทถึงนมจาก 5 – 15 วินาที กำหนดให้ถังนมบรรจุน้ำแทนน้ำนม

ดิบในปริมาณ 40 ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงสำหรับการบรรจุน้ำนมดิบ และกำหนดแรงดันลมที่ 7 บาร์ เพื่อทดลองหาค่าเวลาที่เหมาะสมไม่ให้มีปริมาณน้ำที่ตกค้างภายในถัง จากการทดสอบพบว่า การกำหนดเวลาในการควบคุมมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ โดยเมื่อกำหนดระยะเวลาขึ้นจะทำให้เครื่องสามารถเทน้ำออกได้จนหมดไม่มีน้ำค้างในถังเลย การกำหนดเวลาในการเทน้ำ 10 วินาที จะสามารถเทน้ำได้จนหมดถึง สามารถเทน้ำได้ 100 % เมื่อรวมระยะเวลาการลำเลียงแต่ตั้งอุปกรณ์อีก 20 วินาที/ถัง รวมแล้วใช้เวลา 30 วินาที/ถัง นั่นคืออัตราการเทน้ำนมดิบ 1 ถัง ต่อ 30 วินาที ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 120 ถัง/ชั่วโมง สามารถลดการใช้แรงงานคนและลดต้นทุนในกระบวนการแปรรูปน้ำนมดิบอีกได้เป็นอย่างดี

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา และ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณนายฐิติคุณ ศรีษะ และนายเมธาวิ อุดชาชน นักศึกษาที่สร้าง เครื่องนํ้านมดิบและทำการทดลองจนแล้วเสร็จจน สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ . ข้อมูล จำนวนปศุสัตว์ในประเทศไทยปี 2560, ศูนย์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรม ปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ : กรุงเทพฯ ฯ; 2560.
- [2] จำนวนเกษตรกรและโคนม รายจังหวัด ปี 2560, ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการ สื่อสาร กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์ (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 6 พฤศจิกายน 2561]. เข้าถึงได้จาก: [http://ict.dld.go.th/th2 / images/stories/stat_web/monthly/2560/T3-1.pdf](http://ict.dld.go.th/th2/images/stories/stat_web/monthly/2560/T3-1.pdf),
- [3] ตารางประมาณการประชากรสัตว์ ปริมาณ อาหารสัตว์และการใช้วัตถุดิบ ปี 2560. (สื่อ ออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 6 พฤศจิกายน 2561]. เข้าถึงได้จาก: www.thaifeedmill.com
- [4] ปศุศาสตร์ นวัตกรรม เรื่องอาหารสำเร็จรูปและ ผสมเอง อย่างไหนตอบโจทย์ชาวปศุสัตว์. . (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 7 พฤศจิกายน 2561]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.pasusart.com>

- [5] การเก็บรักษานํ้านม, ศูนย์เครือข่ายข้อมูล อาหารครบวงจร บริษัท ฟู้ด เน็ตเวิร์ค โซลูชั่น (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 7 พฤศจิกายน 2561]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com>
- [6] สุธีรัตน์ เอี่ยมละมัย, อุดลย์ วังตาล และจุไร รัตน์ ถนอมกิจ. มาตรฐานความปลอดภัย อาหารตลอดห่วงโซ่การผลิตเพื่อสนับสนุน การขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ความปลอดภัย อาหาร : นํ้านม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). 2556; หน้า 12 – 19.
- [7] รูปแบบการเทถึงนํ้านมดิบในปัจจุบัน. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 7 พฤศจิกายน 2561]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.bloggang.com/data/f/foremostdairy/picture/1315549864.jpg>



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

Experimental Study on the Performances, Energy Efficiency and Emissions of Porous Burner

*Ditthaphat Tanpradit and Wasan Theansuwan

Division of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep

Received: 22 October 2019

Revised: 11 December 2019

Accepted: 28 April 2020

Available online: 30 June 2020

Abstract

This research is to experimentally study the performance of a porous burner (PB) and the results are compared with those obtained from the conventional burner (CB). The porous burner consists of two co-concentric cylindrical tubes as a shell and tube heat exchanger. The inside of a tube fills up with spherical ceramics with a diameter of 1.5 cm for forming the porous chamber, which is wrapped around by a larger cylindrical tube as a shell. The shell contains water and serves as a water container. The LPG is used as a fuel and a heat-load condition is set as the gas flow rate of LPG, which is varied in a range of 1 to 7 LPM. Air entrainment is controlled for the excess oxygen between 6-7% in the exhaust. Also, the porosity is a constant of 0.5 and the gas pressure keeps constant at 0.4 bar. Through analysis and discussion of this study, the interesting findings can be drawn as follows: 1) the combustion temperature of the PB is 30% higher than that of the CB on average, while the exhaust gas temperature of the PB is 19% lower than that of the CB on average. 2) Based on the efficiency evaluation, the latent energy, the rate of vaporization, and thermal efficiency obtained by the PB are higher than those obtained by the CB with a value of 46%, 56%, and 48.7% respectively. 3) The maximum energy saving of the PB is higher than that of the CB as much as 21%. 4) very low CO emissions are noticed for both types at high loads, while the NO_x emission of the PB is 75% lower than that of the CB and the NO_x emission of the PB is lower a 20-ppm limit for all load conditions.

Keywords : Porous Burner Energy Vaporization

* Corresponding author: ditthaphat.t@mail.rmuk.ac.th, Tel.: +66 88 368 0368, fax: +6 662 287 9600

1. Introduction

The porous media combustion is a technique to enhance the combustion efficiency, thereby reducing fuel consumption and being environmentally friendly [1-4]. Several considerable benefits such as stability of flame, high flame speed, and very lean mixture combustion are brought through the feasibility of this combustion. Besides, exhaust gas emission discharged by this combustion is low, especially NO_x [4-6]. Hence, these benefits have been widely used to improve thermal processes. Jinhua et al. [7] studied the experiment on a porous media gas-fired boiler. It was founded that the efficiency of heat transfer could increase to 90%, while the emission of NO_x was less than 45 mg/m^3 . The pressure drop was less than 0.001 MPa and also reduced the combustion chamber to be a smaller size. Barcellos et al. [8] studied the ultra-low-emission steam boiler with a reciprocal flow porous burner. Their results revealed that thermal efficiency increased as much as 90%, while the amounts of NO_x and CO were limited to 1.0 and 0.5 ppm, respectively. Sumrerng Jugjai and Viriya Nunngiyom [9] studied a porous combustor-heater (PCH) with cyclic flow reversal combustion (CFRC). The optimal switching period under high thermal efficiency and low emission was determined. Their results indicated thermal efficiency as high as 85% with low emissions of CO and NO_x about 200 and 20 ppm, respectively. Recently, Aekkaphon Chaelek, Usa Makmool Grare, and Sumrerng Jugjai [10] proposed a novel design of an atmospheric gas burner using the concept of heat recirculation by porous media combustion technology. With this design, the thermal efficiency could reach a maximum of 51% with

less energy consumption about 28.6%, including low emissions. So far, many works of open literature have revealed that the porous medium combustion is a new combustion technique that contributes more advantages to the boiler and burner applications. Therefore, this research was carried out using the concept of porous media combustion techniques through the burner simulation. Results in terms of the capability to produce steam in the porous burner, combustion temperature, heat power output, fuel consumption, and the amount of CO and NO_x in the exhaust gas were presented. Also, these results were compared with the results obtained by the conventional burner.

2. Design and Calculation

2.1 Porosity calculation

The porosity (ε), which is the ratio of space volume in porous material to the total volume (V_d), is shown in Fig. 1. The space volume in the porous material can be determined by subtracting the volume of spherical ceramic (V_{sp}) from the total volume (V_d), as seen in Eqs. (1)-(2). Then, the porosity can be calculated from Eq. (3), where n is the number of spherical ceramics. As seen in fig 1, the change in the diameter of ceramic (d_{sp}) causes the difference in the porosity, diameter (D), and height (L) of the chamber and Eq. (4) mathematically expresses this relation. Simplifying Eq. (4) by substituting A_R and L_d into Eq. (4), it can be rearranged as Eq. (5). It should be noted that the value of the porosity is limited in a range of 0 to 1. For the current study, the spherical ball is used to simulate the porous media in the combustion chamber.

$$V_d = \frac{\pi D^2 L}{4}$$

$$V_{sp} = \frac{4}{3} \left(\frac{\pi d_{sp}^3}{8} \right) = \frac{\pi d_{sp}^3}{6}$$

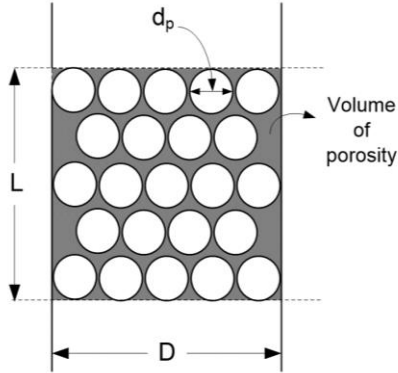


Fig. 1 Porous medium in layer

$$\varepsilon = \frac{V_d - nV_{sp}}{V_d} = 1 - n \frac{V_{sp}}{V_d}$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{2n}{3L} \left(\frac{d_{sp}^3}{D^2} \right)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{2n}{3L_d (A_R)^2}$$

The inside of the preheat chamber contains the small size of ceramic to protect the propagation of flame in this area. The Peclet number (Pe) expressed in Eq. (6) is defined for this propagation and this dimensionless number should be less than 65 [9].

$$Pe = \frac{d_p S_L \rho_f c_{pf}}{\lambda_f} \quad (6)$$

2.2 Porous burner design

This sub-topic explains how to build the burner. The burner is designed by CAD software. It is divided into four parts i.e. 1) preheat chamber

(1) (D), 2) combustion chamber (B), 3) water container (C), and 4) exhaust pipe (A). The

(2) The porous burner structure is made of stainless steel (SUS 341). The concept design of the porous burner is a shell-tube heat exchanger. The porous burner consists of two co-concentric cylindrical tubes. The inside of a tube fills up with the spherical ceramic to form the porous chamber, which was wrapped around by a larger cylindrical tube as a shell. This shell contains water and serves as a water container. All assemblies of the porous burner are illustrated in Fig.2.

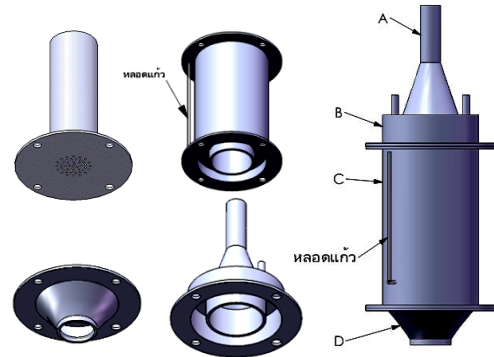


Fig. 2 The assembly of porous burner

2.3 Performance calculation

The performance of the porous burner is presented in terms of the efficiency of vaporization and energy saving (ES). They are calculated from Eqs. (7) – (9) under the assumption that the latent heat condition is only considered.

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f (LHV) \quad (7)$$

$$\eta_v = \frac{m_v h_{fg}}{\dot{m}_f (LHV) (\Delta t)} \quad (8)$$

$$ES = \frac{\dot{Q}_{PB} - \dot{Q}_{CB}}{\dot{Q}_{in}} \times 100 \quad (9)$$

3. Research Methodology

3.1 Devices and equipment

All devices and equipment used for research can be divided into six sections, as shown in Fig. 4. At first, the fuel supply system is a 15-kg LPG tank installed with the regulator that is located on the digital weight scale with a resolution of 1 gram. The rotameter is used for adjusting the gas flow rate in a range of 1 – 10 LPM with an accuracy of +/- 2.0%.

Secondly, a 0.5-hp blower that is connected with the control valve is used as the air supply section. Then, the air flows through the pitot tube, and pressure differences are measured to calculate the air-flow rate. Thirdly, the preheat section consists of a mixing chamber and the preheat chamber. The fuel and air are mixed homogeneously within the mixing chamber and then the mixing fluid flows into the preheat chamber that the ceramics are installed. For the present study, ceramics with a small size of 5-mm diameter result in the Peclet number less than 65, as shown in Fig. 3(a), and the secondary air entrance would be this area. Also, this zone is heated up by heat radiation from the combustion process.

Fourthly, the cylindrical chamber made of stainless steel (sus 341) is installed and served as the combustion section. The chamber contains ceramics with a diameter of 15 mm. to maintain the porosity of 0.55 as shown in Fig 3(b).

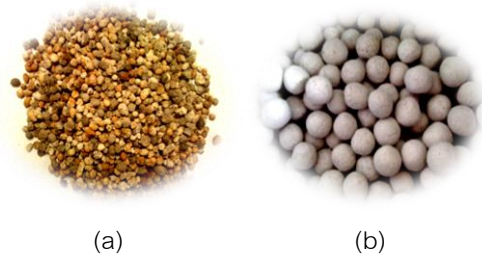


Fig. 3 Ceramics of (a) small size (5 mm dia.) and (b) larger size (15 mm of dia.)

The compositions of the ceramic are 92.5% of Al_2O_3 , 0.3% of SiO_2 , 0.2% of Fe_2O_3 , and 5.5% of CaO . This ceramic can resist the high temperature up to $1750^{\circ}C$. The thermal conductivity of the ceramic is in a range of 1.7 – 4.2 W/m.K. At the combustion section, thermocouples are used to probe the temperature at 10 locations along the vertical line of the center of the chamber, specifically, the thermocouples type K for 7 locations and type N for 3 locations. These thermocouples have a resolution of $0.001^{\circ}C$ with an accuracy of +/- $0.015^{\circ}C$ within the temperature range of $-200^{\circ}C$ to $+800^{\circ}C$. The thermocouples are connected to 16 channels of Yokogawa's data logger MV2000 for monitoring and recording the result. In addition, the spark plug is located at the bottom of this chamber to initiate the flame in the combustion zone. Fifthly, the feedwater system is provided to supply the 5-L water from the stainless tank to the inlet of a shell at the bottom of the porous burner with a 12-V and 0.5-hp pump. When the water flows into the shell of the porous burner, the water level can be observed through a level sight glass at the wall. Also, there are two holes for a steam vent at the top of the porous burner. Finally, the probe of the Testo 340 combustion analyzer is installed in the exhaust

section to measure the numbers of O_2 , CO, and NO_x . It should be noted that O_2 can be measured in a range of 0-25% with an accuracy of $\pm 0.12\%$ by volume and tolerance of $\pm 0.21\%$ by volume. The amount of CO can be measured from 0 – 10,000 ppm with an accuracy of ± 4 ppm and tolerance of ± 50.75 ppm. The NO_x measurement can be done with an accuracy of ± 2 ppm and tolerance ± 8.2 ppm. To ensure accurate measurements, all equipment is always calibrated before testing.

3.2 Procedure of experiment

The procedure of the experiment can be explained by Fig. 4. At first, all equipment is installed and checked for its availability. Then, the surrounding conditions and weight of the LPG tank are measured and recorded. Later, the gas valve (No. 3) is opened and the pressure regulator is used to maintain the pressure at 0.4 bars, then the airflow valve (No. 6) is opened and the blower (No. 13) is turned on to operate. After that, the fuel and air will be mixed in the mixing chamber (No. 14). Subsequently, the spark ignition (No. 12) in the combustion zone is started. To ensure that the experiment is conducted under the steady-state condition, the temperature profile is observed with the monitor (No. 21). After reaching the steady-state condition, the testing conditions are set as listed in Table 1. At first condition, the fuel flow rate is set to be 1 LPM using the gas flow meter (No. 5). The fuel consumption rate is measured from the digital weight scale every 5 minutes. Finally, the airflow rate is adjusted by a valve (No. 6) until the excess O_2 reached 7% at the exhaust pipe (No. 19), and then the amounts of CO and NO_x are recorded into the combustion analyzer (No. 20).

It should be taken time to be steady-state again for all parameters. It should be noted that before starting a new test, it must be sure that the system can operate under a safe situation and all equipment keeps working properly.

To carry out the performance test, the feedwater system is included by switching on the pump (No. 15), thereby forcing the water into the porous burner (No. 10) until the limit of the level reached. Then, the pump would be stopped automatically. The weight of the tank should be recorded before the boiling test. During the water boiling test, the time that the water level decreases every 1 cm observed through the level sight glass (No. 11) is recorded. To obtain precise and accurate data, each condition must be repeated three times of the testing, and then all data are averaged. In the next step, the gas flow rate is adjusted for the next condition, while the airflow rate is adjusted to obtaining the 7% airflow of the excess O_2 at the flue. The same procedure, as mention above, is repeated three times for each condition.

4. Results and discussion

4.1 Performances of Porous Burner

4.1.1 Combustion and exhaust temperature

The temperature distributions at a steady state of the porous burner (PB) and conventional burner (CB) under the same condition at different the heat loads are presented in Figs. 5 and 6, respectively. They show that the temperature distributions along the combustion chamber of both burner types are proportional to the heat load.

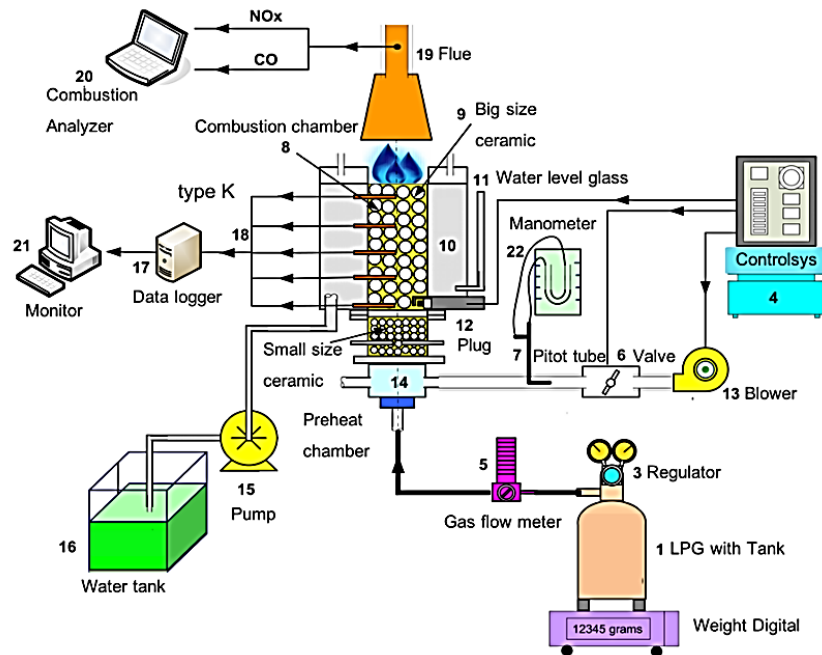


Fig. 4 Schematic diagram of devices and equipment installation

Table 1 Condition for performances of PFTB

Testing Conditions	Porous Burner (PB)	Conventional Burner (CB)
Gas pressure	0.4 bar	0.4 bar
working pressure	1 bar (atm)	1 bar (atm)
Porosity	0.5	1.0
Fuel flow rate	1 – 7 LPM	1 – 7 LPM
Excess O ₂ at flue	7%	7%
Water quantity	5 L	5 L
Preheat condition	Yes	No

This can be explained by the fact that gas combustion releases more heat when the amount of fuel-mixture increases. Generally, the temperature distributions of the PB are smoother than those of the CB. At different head loads, the maximum combustion temperature of the PB can be obtained from the highest heat load at a position of x from 5 and 6 cm. This is because of the heat energy stored in this region. Differently, the temperature distributions obtained from the CB type are fluctuating and they drop at $x \approx 5$ cm. Besides, the highest temperature is found near the exhaust pipe at the highest heat load. Figs. 5 and 6 also indicate that the maximum temperatures of the PB and CB are in a rank of $815^\circ\text{C} - 1275^\circ\text{C}$ and $630^\circ\text{C} - 820^\circ\text{C}$, respectively. Fig. 7 shows a comparison between the average combustion temperature provided by the PB with that by the CB at different heat loads. One can observe that the average combustion temperatures of both types are proportional to the heat load. In addition, it reveals the PB is more efficient at high heat loads. This phenomenon may be explained by the fact that partial heat generated by porous medium radiates to the fuel-air mixtures in the preheat chamber, thereby enhancing the heat transfer rate inside the porous media. As a result, the combustion temperature of the porous burner increases. To complete the temperature measurement obtained by the combustion process, the exhaust temperatures of the CB and PB under the same condition at different heat loads are compared against each other in Fig. 8. It is found that the exhaust temperature of the PB is lower than that of the CB for all values of the heat load. Interestingly, the flue gas temperatures of the PB and CB are close to each other at high

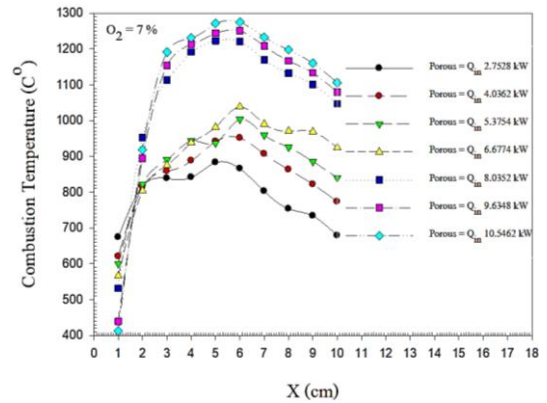


Fig. 5 Temperature distribution of PB

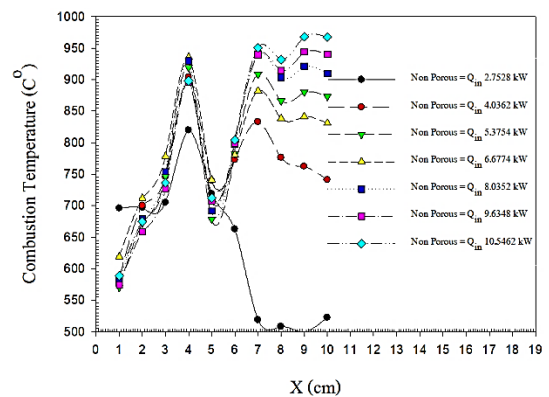


Fig. 6 Temperature distribution of CB

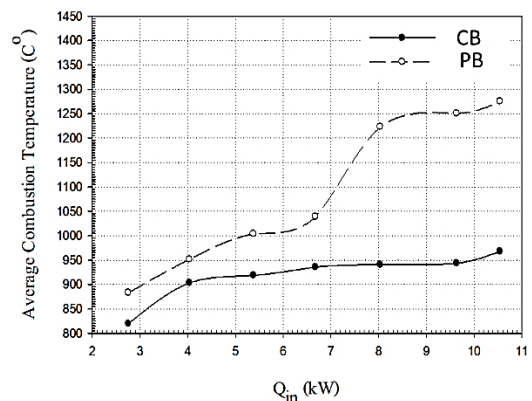


Fig. 7 Average combustion temperature

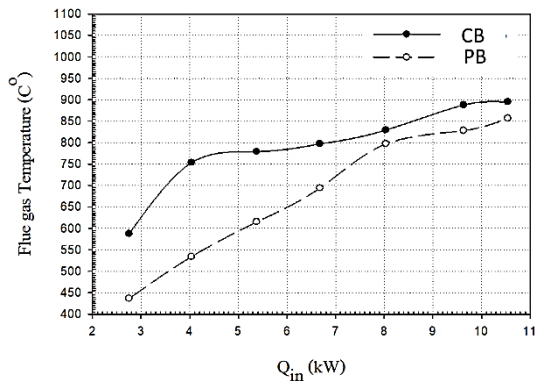


Fig. 8 Flue gas temperature of PB and CB

heat loads, namely, $Q_{in} \geq 8$ kW. Additionally, the exhaust temperature of the PB is about 19% lower than that of the CB on average. The reason for this result is that the flue gas flows slowly through the complicated structure of the porous chamber that has the heat storage and recirculation inside the porous media.

4.1.2 Heat rate, vaporization, thermal efficiency, and energy saving

Fig. 9 illustrates a comparison between the rate of latent heat of the PB and CB at different heat loads. It can be seen that although the latent heat rate of both types increases with the heat load condition with a similar trend, the latent heat rate provided by the PB is 46% higher than that by the CB based on the average value. This result indicates a positive effect provided by the high rate of heat transfer in a porous chamber of the PB thereby causing more efficiency than the free flame in the CB. As a result, the water in a shell of the PB can absorb a higher rate of heat transfer from the porous chamber. Besides, the porous

media in the PB contributes to the capability of energy storage, thereby extending the time of heat transfer for more vaporized production, as shown in Fig. 10.

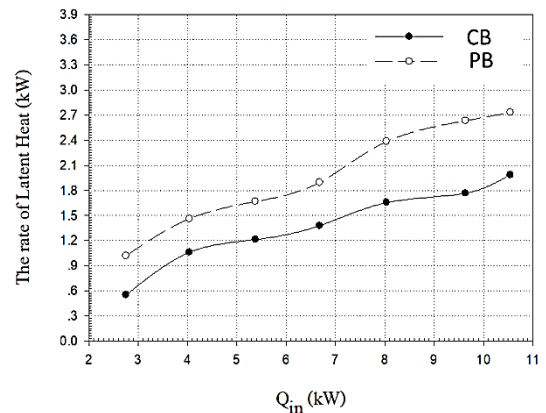


Fig. 9 Heat power output of PB and CB

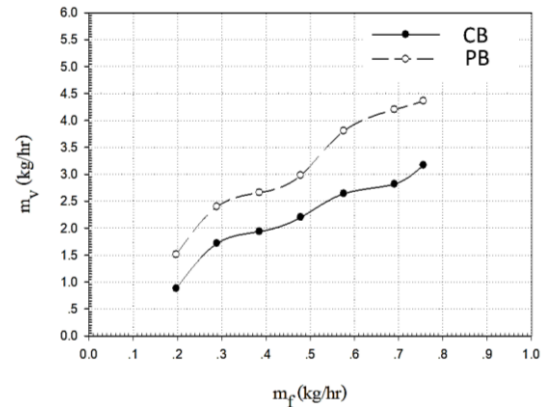


Fig. 10 Steam production of PB and CB

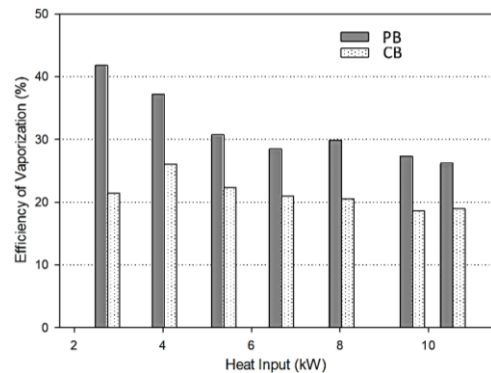


Fig. 11 Thermal efficiency of PB and CB

The results show that on average, the steam produced by the PB is 56% more than that by the CB counterpart. Later, Fig. 11 presents the thermal efficiency of the PB and CB. It is found that the PB type gives a 48.7% averagely higher thermal efficiency than the CB due to a higher efficiency of the PB caused by heat recirculation in the porous layer. Apart from heat rate, vaporization, and thermal efficiency as mentioned above, energy-saving should be considered as well so that it can obtain a better understanding of using the PB when compared to the CB counterpart. Fig. 12 shows energy-saving obtained from the PB and CB and it indicates that energy saving varies with the heat load. On average, the energy saving of the PB is 10.44% better than that of the CB. This suggests that the PB has not only high efficiency but also less fuel consumption than the CB. Also, the use of the PB type at the lowest heat load is very beneficial because it is most economical for energy-saving.

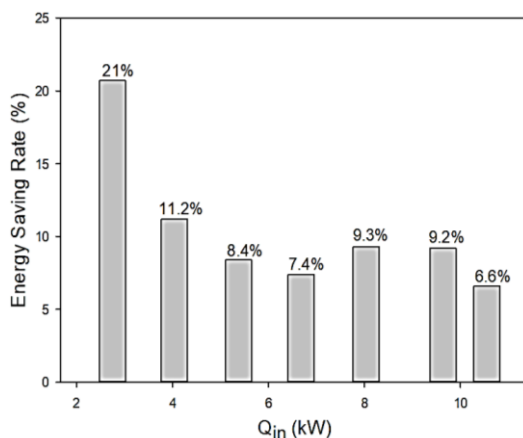


Fig. 12 Higher percentage of energy-saving provided by PB when compared to CB

4.2 CO and NO_x emissions

Figs. 13 and 14 compare the amount of CO and NO_x emitted from using the PB and CB, respectively. These results are conducted at 7% O₂ excess in the flue gas at different heat loads. Surprisingly, Fig. 13 shows that the CO emissions given by the PB at the lowest heat load condition ($Q_{in} = 2.75$ kW) and the heat load at $Q_{in} = 4.00$ kW are still high, namely, about 3,600 ppm and 1,750 ppm, respectively. It is quite different from the CO emitted from the CB that is found lower than 300 ppm at $Q_{in} = 2.75$ kW and very low at higher loads. These results happen because of the low airflow rate at low heat load conditions through the complicated structure of the porous media. This may lead to heterogeneous mixtures between the fuel and air, thereby causing an incomplete combustion. At higher heat loads, the CO emission produced by the PB decreases and very low amounts of CO are noticed.

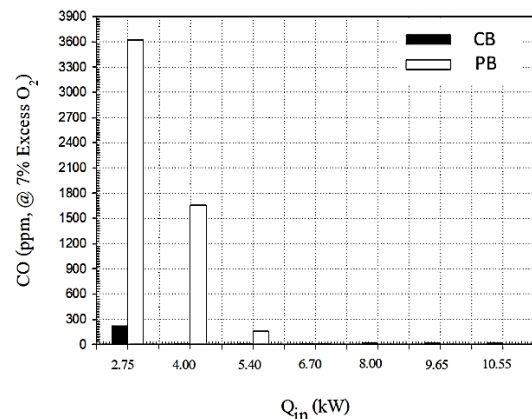


Fig. 13 CO emission of PB and CB

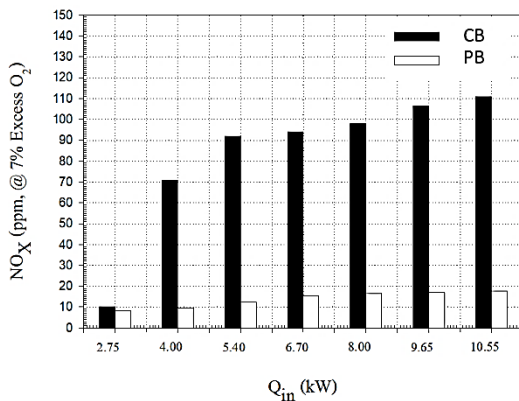


Fig. 14 NO_x emission of PB and CB

Likewise, Fig. 14 shows the NO_x emission measured from the PB and CB at 7% O₂ excess in the flue gas at different heat loads. It can be seen that the CB emits the maximum NO_x of about 110 ppm at the highest load ($Q_{in} = 10.55$ kW), while the maximum of NO_x emission produced by the PB is about 18 ppm at $Q_{in} = 10.55$ kW. Compared to the NO_x emission by the CB, the amount of NO_x produced by the PB is 75% lower than that by the CB for all conditions. This suggests that with the use of the PB can reduce the NO_x emission significantly. The reason may be due to the increase in NO_x formation at high gas temperatures,

5. Conclusion

This work experimentally studies the performances, energy efficiency, and emissions of a porous burner (PB). The temperature distribution along the porous chamber, the combustion temperature, the latent heat, the water vapor, the capability for vaporization, and the energy-saving, including CO and NO_x emissions are investigated. Also, the results of the PB are compared with those of the conventional burner (CB). Through analysis and

discussion, the interesting findings are discovered as follows: 1) the maximum temperatures of the PB and CB are in a range of 815°C - 1275°C and 630°C - 820°C, respectively. 2) On average, the combustion temperature of the PB is about 30% higher than that of the CB at the maximum heat load condition, while the exhaust temperature is about 19% lower than that of the CB based on the average value. 3) The latent energy, vaporization, and thermal efficiency are 46%, 56%, and 48.7% higher than those of the CB, respectively. 4) The energy-saving given by the PB is 10.44% higher than that by the CB. 5) The high CO emissions are observed at low heat loads for the PB but the CO from both PB and CB are not quite different at higher loads. Meanwhile, the amount of NO_x obtained by the PB is dramatically lower than that of the CB, namely, it is lower by 75%. Based on the above results, it suggests that the PB provides not only high efficiency but also less fuel consumption including significant low emission of NO_x.

6. Acknowledgements

This paper is supported by Rajamangala University of Technology Krungthep. Also, the authors would like to thank Dr. Prasert Prapamonthon, Department of Aeronautical Engineering, International Academy of Aviation Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for his useful suggestion.

7. References

- [1] Howell J, Hall M, Ellzey J. "Combustion of Hydrocarbon Fuels within Porous Inert Media", Progress Energy and

- Combustion Science, Volume 22, Issue 2, pp.121-145,1996.
- [2] Pantangi V, Mishra S. "Combustion of Gaseous Hydrocarbon Fuels within Porous Media – A Review", Advances in Energy Research, 2006.
- [3] Trimis D, Wawrzinek K, Krieger R, Schneider H. "A highly efficient porous radiant burner for industrial applications", Presented at the Sixth European Conference on Industrial Boilers, 2-5 April, 2002.
- [4] Liu J, Hsieh W. "Experimental Investigation of Combustion in Porous Heating Burner", Combustion and Flame, Volume 138, pp 295-303, 2004.
- [5] Wood S, Harris A. "Porous burners for lean-burn applications", Progress in Energy and Combustion Science 34, pp. 667-684, 2008.
- [6] Akbari M, Riahi P, Roohi R. "Lean flammability limits for stable performance with a porous burner", Applied Energy 86, pp. 2635-2643, 2009.
- [7] Chu J, Cheng L, Shi Z, Luo Z, Cen Ke-fa. "Experimental Research on a Porous Media Gas-Fired Boiler", Journal of Combustion Science and Technology, 2009-01.
- [8] Barcellos W, Souza L, Saveliev A, Kennedy L. "Ultra-low-emission steam boiler constituted of reciprocal flowporous burner", Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 35, Issue 3, pp. 570-580, 2011.
- [9] Sumrerng J, Viriya N. "Cyclic Operation of Porous Combustor-heater (PCH)", Fuel 88, pp 553 – 559, 2009.
- [10] Aekkaphon C, Usa M, Sumrerng J. "Self-aspirating/air-preheating porous medium gas burner", Applied Thermal Engineering 153, pp 181 – 189, 2019



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การควบคุมจากค่าปรับตั้งที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแวดล้อม แบบอัตโนมัติไร้สายภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดนางฟ้า

Supervisory Control for Wireless Automatic Environment Control in Oyster Mushroom House

จาริณี จงปลื้มปิติ¹, พลเทพ เวงสูงเนิน^{1*}, สวัสดิ์ ประภาการ¹ณัฐดนัย พรธนูเจริญวงษ์² และพลกฤต ปูนนอก²Jarinee Jongpluempiti¹, Ponthep Vengsungnle^{1*}, Sawitree Prapakarn¹Nattadon Pannuchaoenwong², Phongrit Punnok³¹สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์³หน่วยวิจัยระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเกษตรแม่นยำและอุตสาหกรรมทางการเกษตร¹Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamankala University of Technology Isan, Nakhonratchasima.²Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Thammasat University.³Automatic Control System Research Unit for Precision Agriculture and Agricultural Industry.

Received: 29 November 2019

Revised: 24 April 2020

Accepted: 14 May 2020

Available online: 30 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณของดอกเห็ดนางฟ้าที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนเปิดดอกที่แตกต่างกัน โดยแบ่งค่าปรับตั้งของการควบคุมออกเป็น 4 ค่าปรับตั้ง ในแต่ละค่าปรับตั้งมีการควบคุมพัดลมระบายอากาศ และหัวฉีดน้ำให้มีเงื่อนไขของเวลา อุณหภูมิ และความชื้นที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลผลิตเฉลี่ยของการใช้ค่าปรับตั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยผลผลิตเท่ากับ 42.97 ± 11.16 , 51.24 ± 10.09 , 56.44 ± 9.85 , และ 55.26 ± 14.96 กรัมต่อก้อน และมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเท่ากับ 83%, 87%, 91% และ 89% ตามลำดับ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขที่ต่างกันยังส่งผลให้อัตราการเกิดของ

เห็ดมีค่าแตกต่างต่างกันซึ่งมีค่าเท่ากับ 42.38, 51.56, 55.49 และ 51.52 กรัมต่อก้อนต่อวัน ตามลำดับ ดังนั้น การศึกษาจึงแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิและความชื้นมาเป็นเงื่อนไขร่วมในการควบคุมอุปกรณ์ภายใน โรงเรือนช่วยให้ผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเงื่อนไขที่ส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงที่สุดได้แก่เงื่อนไขที่ 3

คำสำคัญ: เห็ดนางฟ้า ระบบควบคุมอัตโนมัติ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง แอปพลิเคชันบlynk

Abstract

The objective of this research is to compare the yield of oyster mushrooms that have different environmental control conditions. Four conditions are managed by supervisory control algorithm to control a fan and water nozzle. Time, temperature, and humidity are the parameters of our interest. The yields obtained from supervisory control algorithm in the condition 1, 2, 3 and 4 are 42.97 ± 11.16 , 51.24 ± 10.09 , 56.44 ± 9.85 and 55.26 ± 14.96 g/unit where the seed germination percentage are 83%, 87%, 91% and 89%, respectively. The results also show that different conditions cause different seed germination rates which are 42.38, 51.56, 55.49 and 51.52 g/unit/day, respectively. Therefore, the study has shown using temperature and humidity to cooperate with typical conditions in controlling equipment in the growth house helps increase yield that conditions 3 cause the highest yield.

Keywords: Oyster Mushroom: Automatic Control System: Internet of Thing: Application Blynk.

*ติดต่อ: ponthep.ve@rmuti.ac.th

1. บทนำ

การเปิดดอกเห็ดนางฟ้าเป็นขั้นตอนจำเป็นต้องมีการเอาใจใส่เพื่อให้ผลผลิตของดอกเห็ดนางฟ้ามีปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมซึ่งหากมีการจัดเตรียมวัสดุเพาะที่มีสารอาหารที่ครบถ้วนและเหมาะสมกับความต้องการของเห็ดแล้วจะส่งผลให้ผลผลิตมีสูงถึง 97.9 ± 3 กรัมต่อก้อน [1] เห็ดถือเป็นอาหารที่มีโปรตีน แร่ธาตุและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณที่สูง [2,3] โดยหนึ่งในสายพันธุ์ที่มีการผลิตและบริโภคกันมากเป็นอันดับต้นๆ ของโลกได้แก่เห็ดนางรม [4] ซึ่งในประเทศไทยก็เป็นหนึ่งในประเทศที่เกษตรกรนิยมปลูกเพื่อใช้บริโภคและจำหน่ายเพื่อหารายได้ ในกระบวนการปลูกเห็ดในประเทศไทยนั้นเกษตรกรมักจะเริ่มต้นจากการผสมวัสดุปลูกแล้วทำ

การใส่สารอาหารที่จำเป็นลงไป จากนั้นนำเอาก้อนวัสดุปลูกพร้อมเชื้อที่ทำการจัดเตรียมไปนั่งในหม้อหนึ่งเพื่อฆ่าเชื้อเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมงโดยอุณหภูมิการนั่งที่เหมาะสมควรมีอุณหภูมิเท่ากับ 121 องศาเซลเซียส [5] เมื่อนั่งและปล่อยให้ก้อนวัสดุปลูกเย็นตัวลงแล้วทำการหยอดเชื้อและนำก้อนเชื้อไปบ่มในที่อับแสงเพื่อให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ด [6] จากนั้นจึงนำมาทำการเปิดดอกเพื่อสร้างผลผลิต

ในกระบวนการเปิดดอกมี 2 แนวทางหลักๆ คือเปิดดอกในโรงเรือนระบบเปิด และเปิดดอกในโรงเรือนระบบปิด ข้อดีของระบบเปิดคือการลงทุนต่ำกว่าในระบบปิดเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการควบคุมใดๆ นอกจากการให้น้ำ ส่วนข้อดีของระบบปิดคือเกษตรกรสามารถควบคุมสภาวะภายในโรงเรือนได้

ง่ายกว่าระบบปิด ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแสง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แต่จำเป็นต้องใช้แรงงานหรืออุปกรณ์ในการประเมิน ตรวจติดตาม และบริหารจัดการสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือน หากมีระบบอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงเรือนก็จะส่งผลให้เกษตรกรสามารถควบคุมผลผลิตได้

ดังนั้นระบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในการควบคุมจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการจัดการโรงเรือน ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาเซ็นเซอร์มาใช้ในการประเมินตรวจติดตามสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือน จากนั้นส่งข้อมูลมาที่ระบบประมวลผลกลางเพื่อตัดสินใจควบคุมอุปกรณ์ ซึ่งใช้เทคนิคการควบคุมอัตโนมัติแบบไร้สายมาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงเรือนเพื่อให้ผลผลิตที่ได้จากการเปิดดอกมีปริมาณสูงที่สุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และวิธีดำเนินการวิจัย

ในการพัฒนาค่าปรับตั้งที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติไร้สายภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดนางฟ้ามีรายละเอียดในการวิจัยดังนี้

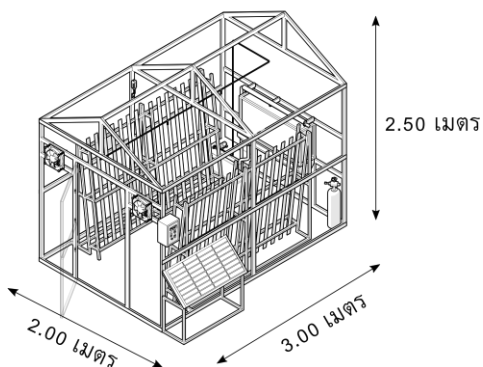
2.1 การเตรียมเห็ด

การเตรียมเห็ดเพื่อใช้ในการศึกษาเริ่มจากการผสมก้อนเชื้อเห็ดจากขี้เลื่อย รำละเอียด ปูนขาว ยิปซัม ภูไมท์ซัลเฟต (pumice sulfate) ดิเกลีอ และน้ำสะอาดเข้าด้วยกัน ผสมส่วนต่างๆ ให้เข้ากัน และใส่ลงในบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมไว้ นำก้อนเชื้อที่ใส่บรรจุภัณฑ์ไปหนึ่งเพื่อฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชม. หลังจากนั้นพักไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศ

จากนั้นนำเอาก้อนเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วไปวางเรียงในโรงเรือนที่บ่มก้อนเชื้อเป็นเวลาในการบ่ม 30 วัน ในโรงเรือนที่สะอาดมีอากาศถ่ายเทได้ดีตามมาตรฐาน [7] จากนั้นนำเอาก้อนเชื้อเห็ดที่ได้เข้าสู่กระบวนการเปิดดอก โดยช่วงในการทดสอบอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม ปี 2562 ในการเก็บตัวอย่างข้อมูลคณะผู้วิจัยจะเก็บเฉพาะเห็ดที่มีขนาดไม่ต่ำกว่าขนาดที่กำหนดตามมาตรฐานรหัส 2 โดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [8] ส่วนที่ยังโตไม่ได้ขนาดจะรอให้โตก่อนจึงจะนำมารวมในข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.2 การสร้างโรงเรือน

โรงเรือนที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 3 โรงเรือน วัสดุที่ใช้ในการทำโรงเรือนเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อป้องกันการสะสมของเชื้อรา ในแต่ละโรงเรือนบรรจุก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 300 ก้อนเพื่อใช้ในการศึกษา ชั้นวางก้อนเห็ดทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อรองรับก้อนเห็ดและการให้น้ำตลอดเวลา ขนาดของโรงเรือนมีขนาดเท่ากับ $3 \times 2 \times 2.5$ ลูกบาศก์เมตรดังรูปที่ 1 โรงเรือนเป็นโรงเรือนระบบปิด วัสดุที่ใช้มุงภายนอกคือวัสดุที่ทำจากใบจาก มีประตูเปิดออกทางเดียว พัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 V 80 W ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว 5 ใบพัด จำนวน 2 จุดเพื่อระบายอากาศภายในโรงเรือน และมีจุดให้น้ำเป็นหัวพ่นหมอกขนาด 0.6 mm จำนวน 3 จุดอยู่ด้านบนเพื่อเพิ่มความชื้นและลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน โรงเรือนวางตัวในทิศทางตะวันออกและตะวันตก โดยประตูทางด้านหน้าของโรงเรือนวางตัวในทิศตะวันตก

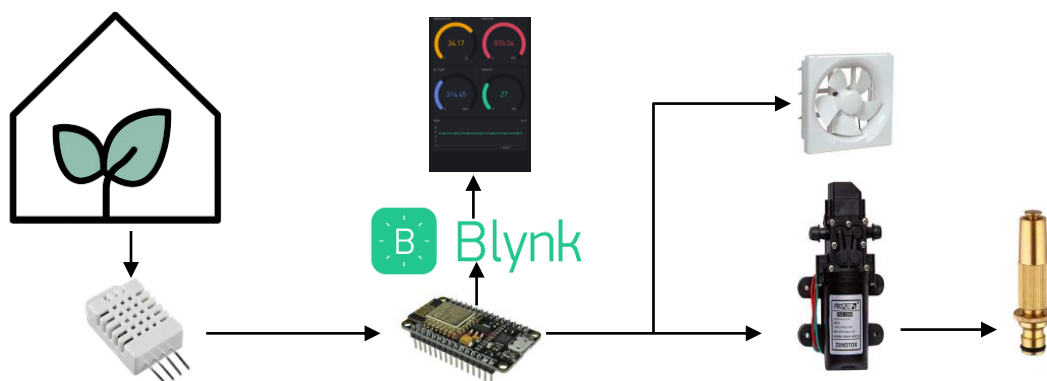


รูปที่ 1 มิติของโรงเรือนที่ใช้ในการศึกษา

2.3 ระบบการควบคุมอัตโนมัติ

ในระบบการรับรู้อุณหภูมิและความชื้นนั้นใช้เซ็นเซอร์ DHT22 มีช่วงทำงานของอุณหภูมิเท่ากับ -40 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียส ความละเอียดของการแสดงผลเท่ากับ 0.5 องศาเซลเซียส สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 0 ถึง 100 % และความละเอียดของการแสดงผลเท่ากับ 2 % [9] โดยต่อเข้ากับ NodeMCU ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มโอเพ่นซอร์ส (Opensource) อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ที่

ประกอบด้วยเฟิร์มแวร์ (Firmware) ซึ่งทำงานบน ESP-8266 Wi-Fi SoC จาก Espressif Systems และฮาร์ดแวร์ซึ่งอิงกับโมดูล ESP-12 [10,11] ระบบควบคุมอัตโนมัติในการศึกษาใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ในการรับส่งข้อมูลและประมวลผล จากนั้นส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตไร้สายเข้าสู่แอปพลิเคชันบลิงค์ (Blynk) เพื่อจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล ซึ่งบลิงค์เป็นแพลตฟอร์มที่ใช้ในโมบายแอปพลิเคชัน ใช้ได้ทั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) และระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) นิยมพัฒนาเพื่อใช้ในระบบทางด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับบอร์ดสำเร็จรูป เช่น อาดูโน่ (Arduino) หรือ Raspberry Pi เป็นต้น [12] แผนผังการเชื่อมต่อระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 ในการเขียนภาษาคอมพิวเตอร์ใช้ภาษาซี (C programming language) เขียนลงในโปรแกรมอาดูโน่ไอดีอี (Arduino IDE) เพื่อสร้างเงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ให้ทำงาน เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 แผนผังการเชื่อมต่อระบบ

ตารางที่ 1 ค่าปรับตั้งที่ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติ

ค่าปรับตั้งที่	สัญลักษณ์	เงื่อนไข
1	algo1	ควบคุมการให้น้ำโดยปั้มน้ำตามเวลา 07:00 น., 11:00 น. และ 17:00 น. โดยให้น้ำครั้งละ 10 นาที
2	algo2	ควบคุมการให้น้ำตามเวลา 07:00 น., 11:00 น. และ 17:00 น. โดยให้น้ำครั้งละ 10 นาที หรือหากความชื้นในโรงเรือน < 50 % ปั้มน้ำจะทำงานจนกระทั่งความชื้น > 70 % หรือหากความชื้นในโรงเรือน > 90 % พัดลมจะทำงานจนกระทั่งความชื้น < 80 % หรือเปิดครบ 1.0 ชั่วโมง หรือหากอุณหภูมิภายใน > 35 องศาเซลเซียส ให้ระบบจ่ายน้ำครบ 5 นาที
3	algo3	ควบคุมการให้น้ำตามเวลา 07:00 น., 11:00 น. และ 17:00 น. โดยให้น้ำครั้งละ 10 นาที หรือหากความชื้นในโรงเรือน < 50 % ปั้มน้ำจะทำงานจนกระทั่งความชื้น > 75 % หรือหากความชื้นในโรงเรือน > 90 % พัดลมจะทำงานจนกว่าความชื้น < 80 % หรือเปิดครบ 1.5 ชั่วโมง หรือหากอุณหภูมิภายใน > 35 องศาเซลเซียส ให้ระบบจ่ายน้ำครบ 7.5 นาที
4	algo4	ควบคุมการให้น้ำตามเวลา 07:00 น., 11:00 น. และ 17:00 น. โดยให้น้ำครั้งละ 10 นาที หรือหากความชื้นในโรงเรือน < 50 % ปั้มน้ำจะทำงานจนกระทั่งความชื้น > 80 % หรือหากความชื้นในโรงเรือน > 90 % พัดลมจะทำงานจนกว่าความชื้น < 80 % หรือเปิดครบ 2.0 ชั่วโมง หรือหากอุณหภูมิภายใน > 35 องศาเซลเซียส ให้ระบบจ่ายน้ำครบ 10 นาที

2.4 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลใช้หลักการสถิติในการหาค่าสถิติเบื้องต้นดังสมการที่ (1) และ สมการที่ (2) [13] นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ (Seed Germination Percentage: SGP) เพื่อแสดงให้เห็นถึงร้อยละของเห็ดที่เกิดโดยรวมทั้งหมดว่าในช่วงของการทดสอบมีร้อยละของการเกิดทั้งหมดเท่าใด [14] และยังนำเอาผลการทดสอบที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเกิดของเห็ดในแต่ละวัน (Seed Germination Rate: SGR) เพื่อแสดงถึงปริมาณของเห็ดที่ออกต่อหน่วยในแต่ละวัน [15] ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3) และ สมการที่ (4)

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

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

$$SGP = \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{n} \times 100 \quad (3)$$

$$SGR = \sum_{i=1}^d \frac{n_i}{D_i} \quad (4)$$

โดยที่

$\bar{x}$ หมายถึงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

x_i หมายถึงข้อมูลตัวอย่าง

n หมายถึงจำนวนตัวอย่าง

S^2 หมายถึงความแปรปรวนของตัวอย่าง

S หมายถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

n_i หมายถึงจำนวนตัวอย่างในแต่ละวัน

D_i หมายถึงจำนวนวันที่ทำการเปิดดอกเห็ด

SGP หมายถึงเปอร์เซ็นต์การเกิด

SGR หมายถึงอัตราการเกิด

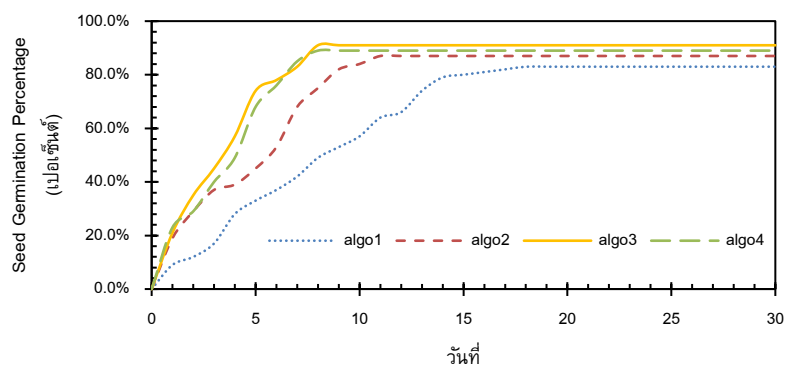
3. ผลการศึกษา

หลังจากการทดสอบการพัฒนาค่าปรับตั้งที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติไร้สายภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดนางฟ้าดำเนินการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการควบคุมสภาวะในการเปิดดอกในแต่ละเงื่อนไขส่งผลให้ผลผลิตมีความแตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยของการใช้ค่าปรับตั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยผลผลิตเท่ากับ 42.97 ± 11.16 กรัมต่อก้อน 51.24 ± 10.09 กรัมต่อก้อน 56.44 ± 9.85 กรัมต่อก้อน และ 55.26 ± 14.96 กรัมต่อก้อน ค่าทางสถิติสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาถึงการควบคุมพัสดมและปั้มน้ำแล้วพบว่า ผลผลิตแตกต่างกันในแต่ละเงื่อนไข เงื่อนไขการควบคุมอุปกรณ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือเงื่อนไขที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตเท่ากับ 56.44 กรัมต่อก้อน ส่วนเงื่อนไขที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุดคือเงื่อนไขที่ 1 ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีการควบคุมอุปกรณ์ตามเวลาที่กำหนดส่งผลให้มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 42.97 กรัมต่อก้อน ค่าเฉลี่ยผลผลิตเมื่อมีการใช้การควบคุมโดยเงื่อนไขทั้ง 3 ค่าปรับตั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.31 กรัมต่อก้อน ซึ่งจะสังเกตได้ว่ามีผลผลิตสูงกว่าแบบการใช้เวลาเป็นเงื่อนไขในการควบคุม เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตเฉลี่ยของการควบคุมทั้ง 4 กรณีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.48 กรัมต่อก้อน

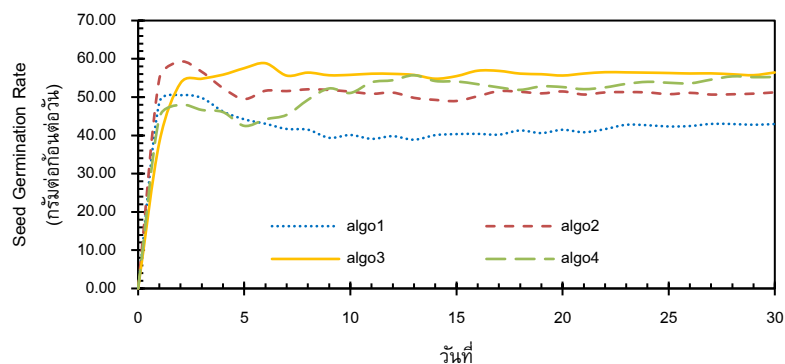
ตารางที่ 2 ผลผลิตจากการควบคุมด้วยค่าปรับตั้ง

ค่าสถิติ	algo1	algo2	algo3	algo4
ค่าเฉลี่ย	42.97	51.24	56.44	55.26
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.16	10.09	9.85	14.96
ค่าความแปรปรวน	124.63	101.83	97.02	223.77
ค่าต่ำสุด	22.32	33.39	36.21	28.12
ค่าสูงสุด	67.77	72.87	78.16	81.65
ผลรวม	1289.17	1537.19	1693.12	1657.95
ระดับความเชื่อมั่น (95.0 %)	4.17	3.77	3.68	5.59

จากการทดสอบ หากนำผลผลิตที่ได้มาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดตามสมการที่ (3) แล้วจะได้ผลการคำนวณดังรูปที่ 3 โดยการใช้ค่าปรับตั้งที่ 1 ถึง 4 ให้เปอร์เซ็นต์สูงสุด 83%, 87%, 91% และ 89% ตามลำดับ ส่วนอัตราการเกิดดังสมการที่ (4) แล้วพบว่า การควบคุมโดยใช้เงื่อนไขของอุณหภูมิและความชื้นนั้นให้ผลดีกว่าการควบคุมด้วยเวลาเพียงอย่างเดียวซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4 กลุ่มที่มีการควบคุมอุปกรณ์ในโรงเรือนคือกลุ่มของค่าปรับตั้งที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการเกิดเท่ากับ 51.56, 55.49 และ 51.52 กรัมต่อก้อนต่อวันตามลำดับ จากข้อมูลพบว่าทั้ง 3 กลุ่มมีอัตราการเกิดเฉลี่ยมากกว่า 50 กรัมต่อก้อนต่อวัน เมื่อนำเอาการควบคุมโดยใช้อุณหภูมิและความชื้นมาเป็นตัวแปรในการเปิด-ปิดอุปกรณ์เปรียบเทียบกับแบบควบคุมด้วยเวลา ซึ่งผลวิเคราะห์พบว่าค่าปรับตั้งที่ 2, 3 และ 4 จะมีอัตราการเกิดสูงกว่าแบบควบคุมด้วยเวลา 21.65 % 30.93 % และ 21.55 % ตามลำดับ

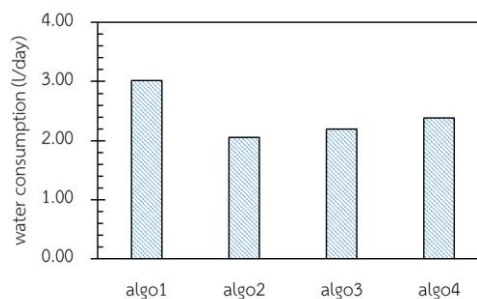


รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์การเกิดของเห็ด



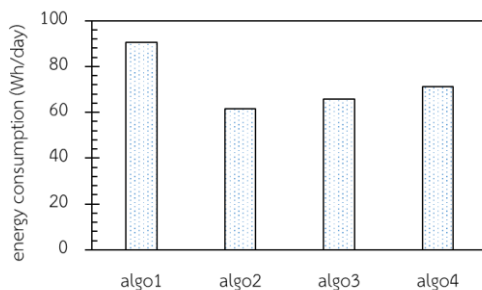
รูปที่ 4 อัตราการเกิดของเห็ด

จากนั้นนำเอาอัตราการใช้น้ำมาเปรียบเทียบจะเห็นว่าอัตราการใช้น้ำของค่าปรับตั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 จะมีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 3.02 ± 0.23 , 2.05 ± 0.64 , 2.19 ± 0.48 และ 2.38 ± 0.32 ลิตรต่อวันตามลำดับดังรูปที่ 5 เนื่องจากการใช้ค่าปรับตั้งที่ 2, 3 และ 4 มีการใช้เงื่อนไขของการปิดปั๊มตามเงื่อนไขของอุณหภูมิและความชื้นทำให้ในบางครั้งปั๊มทำงานให้กระบบจ่ายน้ำไม่ถึงเวลาที่กำหนดก็จะถูกปิดโดยเงื่อนไขของความชื้น



รูปที่ 5 อัตราการเกิดของเห็ด

เมื่อนำอัตราการใช้พลังงานมาทำการเปรียบเทียบจะได้ผลดังรูปที่ 6 ค่าปรับตั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 จะมีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 84.41 ± 4.71 , 44.86 ± 9.73 , 59.59 ± 7.32 และ 62.45 ± 6.67 วัตต์ต่อวัน ตามลำดับ จากผลการทดสอบสังเกตได้ว่าเมื่อการใช้พลังงานจากปั๊มน้ำถูกควบคุมโดยเงื่อนไขของอุณหภูมิและความชื้นส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานจะลดลงตามไปด้วย เมื่อนำเอาต้นทุนของการใช้น้ำและพลังงานมาพิจารณาร่วมกันแล้วคิดเฉลี่ยต่อวันโดยใช้ต้นทุนต่อหน่วยของค่าน้ำปะปาเท่ากับ 8.5 บาทต่อลูกบาศก์เมตร [16] และต้นทุนต่อหน่วยของการไฟฟ้าเท่ากับ 2.35 บาทต่อหน่วย [17] มาคำนวณจะได้ว่าต้นทุนของการใช้น้ำและไฟฟ้าของการปรับตั้งค่าที่ 1, 2, 3 และ 4 จะมีต้นทุนประมาณ 0.22, 0.12, 0.16 และ 0.17 บาทต่อวัน ซึ่งต้นทุนการใช้น้ำและพลังงานที่สูงที่สุดคือการใช้ น้ำตามตามเงื่อนไขของเวลา



รูปที่ 6 อัตราการเกิดของเห็ด

4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ไม่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณของดอกเห็ดนางฟ้าที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนเปิดดอกโดยมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ค่าปรับตั้งที่ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจควบคุมออกเป็น 4 ค่าปรับตั้ง ในแต่ละค่าปรับตั้งมี

การควบคุมพัดลมระบายอากาศ และหัวฉีดน้ำให้มีเงื่อนไขของเวลา อุณหภูมิ และความชื้นที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าปรับตั้งที่มีการใช้เพียงเงื่อนไขเวลาในการตัดสินใจมีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 42.97 ± 11.16 กรัมต่อก้อน ส่วนค่าปรับตั้งที่ใช้เงื่อนไขของอุณหภูมิและความชื้นมารวมเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจด้วยคือค่าปรับตั้งที่ 2, 3 และ 4 มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 51.24 ± 10.09 กรัมต่อก้อน 56.44 ± 9.85 กรัมต่อก้อน และ 55.26 ± 14.96 กรัมต่อก้อน

เมื่อพิจารณาต้นทุนจากการใช้น้ำและไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าอัตราการใช้ของค่าปรับตั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 จะมีค่าเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 3.02 ± 0.23 , 2.05 ± 0.64 , 2.19 ± 0.48 และ 2.38 ± 0.32 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ การใช้พลังงานเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 84.41 ± 4.71 , 44.86 ± 9.73 , 59.59 ± 7.32 และ 62.45 ± 6.67 วัตต์ต่อวัน ซึ่งคิดเป็นต้นทุนของการใช้น้ำและพลังงานเท่ากับ 0.22, 0.12, 0.16 และ 0.17 บาทต่อวัน นั่นคือต้นทุนของการใช้ระบบการให้น้ำโดยเงื่อนไขของเวลาจะมีต้นทุนที่สูงที่สุด

ผลการศึกษาายังแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิและความชื้นมาเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจควบคุมอุปกรณ์ยังส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเกิดและอัตราการเกิดของเห็ดสูงกว่าแบบใช้เงื่อนไขของเวลา ค่าปรับตั้งที่ 3 เป็นค่าปรับตั้งที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดสูงที่สุดเท่ากับ 91 % ยิ่งไปกว่านั้นค่าปรับตั้งที่ 3 ยังทำให้อัตราการเกิดสูงที่สุดเท่ากับ 55.49 กรัมต่อก้อนต่อวัน ดังนั้นแนวทางการควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดแบบอัตโนมัติจึงควรนำเอาอุณหภูมิและความชื้นมาใช้เป็นเงื่อนไขร่วมในการควบคุม

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตามสัญญาเลขที่ NKR2562REV002 และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันพัฒนศาสตร์ที่กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องมือทดสอบและสถานที่ที่ใช้ในการศึกษา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Yamauchi M, Sakamoto M, Yamada M, Hara H, Mat T, Rezania S, Mohd F, Mohd H. Cultivation of Oyster Mushroom (*Pleurotus Ostreatus*) on Fermented Moso Bamboo Sawdust. *Journal of King Saud University – Science*, 2018, 31(4), 490-494.
- [2] Wani B, Bodha R, Wani A. Nutritional and Medicinal Importance of Mushrooms. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2010, 4(24), pp. 2598–2604.
- [3] Roncero-Ramos, Delgado-Andrade. The Beneficial Role of Edible Mushrooms in Human Health. *Current Opinion in Food Science*, 2017, 14, pp. 122–128.
- [4] Venturini M, Reyes J, Rivera C, Oria R, Blanco D. Microbiological Quality and Safety of Fresh Cultivated and Wild Mushrooms Commercialized in Spain. *Food Microbiol.*, 2011, 28(8), pp. 1492–1498.
- [5] Xiong S, Martin C, Eilertsen L, Wei M, Myronycheva O, Larsson SH, Lestander TA, Atterhem L, Jönsson LJ. Energy - Efficient Substrate Pasteurisation for Combined Production of Shiitake Mushroom (*Lentinula Edodes*) and Bioethanol. *Bioresour. Technol.*, 2019, 274, pp. 65–72.
- [6] O'Brien BJ, Milligan E, Carver J, Roy ED. Integrating Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure and Food Waste with Cultivation of Edible Mushrooms for Nutrient Recovery. *Bioresour. Technol.* 2019, 285, 121312.
- [7] Thai Agricultural Standard Tas 2504-2012, Good Agricultural Practices for Bag Mushroom Cultivation, thailand. [cited 2020 March]. Available from: https://www.acfs.go.th/standard/download/eng/GAP_bag_mushroom_cultivation.pdf
- [8] Thai Agricultural Standard Tas 1514-2012, *Pleurotus* Mushrooms, thailand. [cited 2020 March]. Available from: http://web.acfs.go.th/standard/download/eng/PLEUROTUS_MUSHROOMs_ENG.pdf
- [9] Bogdan M. How to Use the DHT22 Sensor for Measuring Temperature and Humidity with the Arduino Board. *ACTA*

- Univ. Cibiensis, 2016, 68(1), pp. 22-25.
- [10] Kashyap M, Sharma V, Gupta N. Taking MQTT and NodeMcu to IOT: Communication in Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 2018, 132, pp. 1611–1618.
- [11] NodeMCU. Wikipedia [Online]. [cited 2020 March]. Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/NodeMCU>.
- [12] Mohanraj I, Ashokumar K, Naren J. Field Monitoring and Automation Using IOT in Agriculture Domain. *Procedia Computer Science*, 2016, 93, pp. 931–939.
- [13] Peck R, Olsen C, and Devore JL. *Introduction to Statistics and Data Analysis*, Cengage Learning, 2016, United States of America.
- [14] Ranal MA, Santana DGD. How and Why to Measure the Germination Process?. *Revista Brasileira de Botanica*, 2006, 29(1), pp.1-11.
- [15] Rezaei F, Yarnia M, Mirshekari B. Allopathic Effects of *Chenopodium Album*, *Amaranthus Retroflexus* and *Cinodon Dactylonon* Germination and Growth of Rapeseed. *Agroecology Journal*, 2008, 4, pp. 41–55.
- [16] อัตราค่าน้ำและบริกร. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: https://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=303.
- [17] อัตราปกติประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.mea.or.th/profile/109/111>.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ไฮเดียมอัลจินตห่อหุ้มแบคทีเรีย *Bacillus pseudofirmus* ATCC 700159

สำหรับจีโอพอลิเมอร์ซ่อมแซมตนเอง

Sodium alginate encapsulating *Bacillus pseudofirmus* ATCC 700159

For self-healing geopolymer cement

กนกวรรณ กันยาเลิศ¹, พิษณุสินี ธนะเพชร², วณัทปรีญา หงษ์คง²,ราชีน หล่มศรี¹ และ ดวงกนก ธนังธีรพงษ์^{1,3,*}Kanokwan Kanyalert¹, Pisinee Thanapetch², Wanatpreeya Hongkong²,Rachit Iomsri¹ and Duangkanok Tanangteerapong^{1,3,*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ²โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฝ่ายมัธยมศึกษา (ศึกษาศาสตร์) จังหวัดขอนแก่น ³ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University ²Demonstration School of Khon Kaen University ³Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Khon Kaen University

Received: 11 December 2019

Revised: 30 April 2020

Accepted: 14 May 2020

Available online: 30 June 2020

บทคัดย่อ

จีโอพอลิเมอร์ซ่อมแซมตนเอง (self-healing geopolymer) ที่ผสมแบคทีเรียสายพันธุ์ *Bacillus* ได้ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อให้แบคทีเรียสามารถผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตมาปิดรอยร้าวของชิ้นงาน แบคทีเรียมีข้อจำกัดในการทนสภาพต่างแง่ของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ระหว่างขั้นตอนการผลิตจีโอพอลิเมอร์ งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อห่อหุ้มแบคทีเรียด้วยอัลจินตโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปกป้องแบคทีเรียจากต่างแง่ในระหว่างการผลิต และเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียในชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์ การทดลองมีการใช้แบคทีเรียสายพันธุ์ *Bacillus pseudofirmus* ในระยะเอนโดสปอร์ (endospore) ผสมเข้ากับสารละลายไฮเดียมอัลจินต (sodium alginate) ความเข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนัก และขึ้นรูปเม็ดปิดสัด้วยกระบวนการ extrusion โดยใช้เข็มเส้นผ่านศูนย์กลาง

0.8 มม. หยดสารลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ก่อนนำเม็ดปิดที่มีแบคทีเรียภายในไปใส่ในชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หลังจากชิ้นงานบ่มเป็นระยะเวลา 7, 28 และ 60 วัน มีการนำชิ้นงานไปทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C109 ผลการห่อหุ้มพบว่าแบคทีเรีย *Bacillus pseudofirmus* ที่ปลดปล่อยออกมาจากเม็ดอัลจิเนตจะมีจำนวนเซลล์ตาย เท่ากับ $15.35 \pm 1.9\%$, $47.28 \pm 24.5\%$ และ $92.85 \pm 3.0\%$ ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10, 11 และ 12 M ตามลำดับ และมีอัตราการตายมากที่สุดที่เวลา 80 นาที อย่างไรก็ตามแบคทีเรียที่ไม่ได้ผ่านการห่อหุ้มจะมีจำนวนเซลล์ที่ตายสูงสุดภายในเวลาเพียง 20 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าการห่อหุ้มด้วยอัลจิเนตสามารถลดอัตราการตายของแบคทีเรียระหว่างกระบวนการผลิตจีโอพอลิเมอร์ เพื่อใช้ในการซ่อมแซมตนเอง เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาข้อมูลเชิงสถิติตามเทคนิค Fisher's exact พบว่าสัดส่วนเม็ดอัลจิเนตที่ใส่ไปในชิ้นงานไม่มีความสัมพันธ์กับกำลังรับแรงอัดของชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: โซเดียมอัลจิเนต เอนแคปซูเลต ซ่อมแซมตนเอง จีโอพอลิเมอร์ บาซิลลัส

Abstract

A self-healing geopolymer cement containing bacteria in encapsulated alginate beads was successfully performed to protect the cells from high alkalinity during the geopolymer casting. In this study, *Bacillus pseudofirmus* was incubated for 5 days in nutrient broth medium and mixed with 0.5 %w/v sodium alginate solution before dropped through the 0.8 mm diameter needle by an extrusion technique. Afterwards, the encapsulated cells in alginate beads were immersed in 10, 11 and 12 M NaOH and total released cell numbers were counted by haemocytometer to determine the number of dead cells. It was found that the dead cells were $15.35 \pm 1.9\%$, $47.28 \pm 24.5\%$ and $92.85 \pm 3.0\%$ in 10, 11 and 12 M NaOH solution respectively after being exposed for 80 minutes. However, the number of non-encapsulated dead cells reached the highest point within 20 minutes. Therefore, the encapsulation has proved to be able to protect cells resulting in higher survival rate of bacteria in sodium alginate beads. The geopolymer containing these encapsulated beads by 1% and 2% had no negative effects on the compressive strength according to Fisher's exact statistic method ($p < 0.05$).

Keywords: sodium alginate, encapsulate, self-healing, geopolymer, bacillus

1. บทนำ

จีโอพอลิเมอร์ (Geopolymer) เป็นวัสดุผสมอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีโครงสร้าง 3 มิติแบบอสัณฐาน (Amorphous) โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตที่มีส่วนผสมของ SiO_2 และ Al_2O_3 เช่น เถ้าลอย (Fly ash) ที่ถูกทำให้แตกตัวด้วยสารละลายที่เป็นด่างสูง สามารถก่อร่างตัวและรับกำลังอัดได้ โดยจีโอพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพในการทดแทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ซึ่งขั้นตอนการผลิตซีเมนต์ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ราวร้อยละ 5 - 8 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่มาจากภาคอุตสาหกรรม [1]

การพัฒนาคอนกรีตซ่อมแซมตนเอง (self-healing concrete) พบว่าแบคทีเรียสกุล *Bacillus* สามารถสร้างแคลเซียมคาร์บอเนตผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อปิดรอยร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มความต้านทานทางแรงอัดให้กับคอนกรีต [2,3] แต่ยังไม่มีการใช้ในจีโอพอลิเมอร์ เนื่องจากแบคทีเรียไม่สามารถทนต่อสภาพต่างกันในกระบวนการผลิตจีโอพอลิเมอร์ได้ [4] อัลจิเนต (Alginates) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ (1-4)- β -D-mannuronic acid (M) และ α -L-guluronic acid (G) ในรูปแบบต่างๆ ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับงานห่อหุ้มแบคทีเรียในปัจจุบันเนื่องจากไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่ถูกห่อหุ้ม [5] ผู้จัดทำจึงมีความสนใจห่อหุ้มแบคทีเรียด้วย อัลจิเนตและใช้วิธี Extrusion [6] เพื่อปกป้องแบคทีเรีย

สายพันธุ์ *Bacillus*

pseudofirmus จากสภาวะต่างกันในกระบวนการผลิตจีโอพอลิเมอร์

2. วิธีการการวิจัย

2.1 การเตรียมแบคทีเรีย

แบคทีเรียถูกเลี้ยงในอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย NB (Nutrient Broth) ส่วนประกอบของอาหารประกอบด้วย peptone 20 g/L, NaCl 5 g/L , และ urea 20 g/L ปริมาตร 100 mL ก่อนนำไปเพาะเลี้ยงด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C การตรวจนับจำนวนแบคทีเรียและสปอร์ ทำโดยการย้อมสีแบคทีเรียและใช้เครื่อง Spectrophotometry ตรวจนับค่าการดูดกลืนแสง (Optical Density, OD) ทุกๆ 1, 3, 5, 7 และ 9 วัน หลังจากการเริ่มเพาะเชื้อ

2.2 การห่อหุ้มแบคทีเรียด้วยอัลจิเนต

แบคทีเรียที่เลี้ยงเป็นเวลา 5 วัน เนื่องจากเป็นช่วงที่แบคทีเรียมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ถูกนำมาห่อหุ้มด้วยอัลจิเนต ด้วยวิธี Extrusion โดยใช้ความเข้มข้นอัลจิเนต (0.25%, 0.35% และ 0.5% w/v) เส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม (0.8, 0.9, 1.2 และ 1.6 มม.) และความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (0.5M, 1M และ 2M) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการห่อหุ้ม ก่อนนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

2.3 การห่อหุ้ม *Bacillus pseudofirmus* และการทดสอบแบคทีเรียในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

แบคทีเรียที่ห่อหุ้มภายในเม็ดอัลจิเนตถูกนำไปแช่สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 10, 11 และ 12M ตามลำดับ เพื่อตรวจหาเซลล์ที่ตายทุกๆ 10 นาที และทำการทดลองเป็นเวลา 140 นาที ด้วยการย้อมเมทิลีน บลู (Methylene blue) โดยเซลล์แบคทีเรียที่ตายแล้วจะติดสีน้ำเงินของเมทิลีน บลู (Methylene blue)

2.4 การนำแบคทีเรียที่ผ่านการห่อหุ้มแล้วไปผสมในชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์

อัตราส่วนระหว่างเม็ดบีดส์ แก้วลอย และสารละลายต่าง แสดงในตารางที่ 1 โดยแก้วลอย เม็ดบีดส์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10M ถูกนำไปผสมเข้าด้วยกันในเครื่อง Electric cement mortar mixer เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นโซเดียมซิลิเกต (30.24%SiO₂, 12.53%Na₂O, และ 57.23%H₂O) ถูกนำไปผสมเป็นเวลา 5 นาที จีโอพอลิเมอร์ถูกเทลงในแม่พิมพ์ขนาด 1 X1 X 1 นิ้ว แล้วนำไปบ่มที่ตู้บ่มความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงจะนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 22°C, 50%RH ชิ้นงานจะถูกนำไปวัดกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่อง hydraulic compression testing เมื่อครบอายุการบ่มที่ 7, 28 และ 60 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C 109 ข้อมูลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างเม็ดอัลจินเตตกับกำลังรับแรงอัดของจีโอพอลิเมอร์ โดยใช้ Fisher's exact test

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมการผลิตจีโอพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	แก้วลอย (g)	เม็ดบีดส์ (g)	NaOH (g)	NS (g)	ของเหลว*/แก้วลอย
control	500	0	100	100	0.4
B10	500	5	100	100	0.41
B20	500	10	100	100	0.42

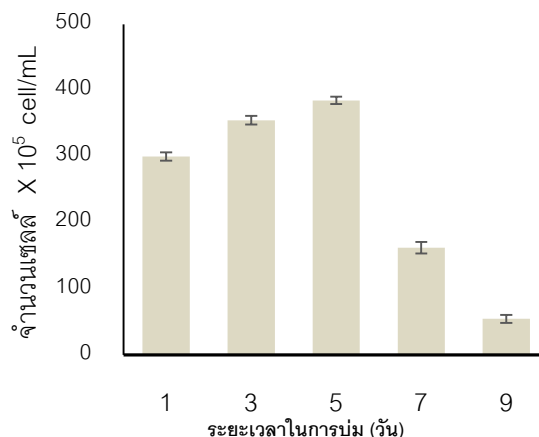
ของเหลว* คือ องค์ประกอบทั้งหมดที่เป็นของเหลวทั้งหมด ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ และชุดทดลอง B10 และ B20 คือ มีการเติม

เม็ดบีดส์เข้าไป 1% และ 2% ของน้ำหนักแก้วลอยตามลำดับ

3.ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในอาหาร

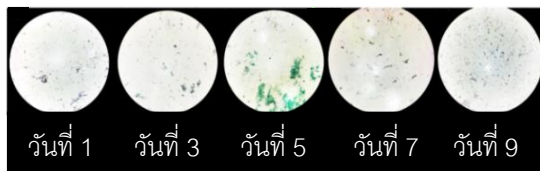
แบคทีเรียได้ผ่านการเพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย NB(Nutrient Broth) ที่ประกอบด้วยเปปโตเน (peptone) 20 g/L, โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 5 g/L และยูเรีย (urea) 20 g/L เพื่อเร่งจำนวนเอนโดสปอร์ ผลการทดลองพบว่าจำนวนเซลล์สุทธิมากที่สุดในวันที่ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.85×10^7 cells/ml และหลังจากวันที่ 5 มีจำนวนเซลล์สุทธิลดลงเนื่องจากแบคทีเรียบางส่วนได้ตาย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงจำนวนเซลล์ *B. pseudofirmus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ

การทดสอบเอนโดสปอร์ด้วยการย้อมสีด้วยซาฟรานินเรด (Safranin red) และมาลาไคต์กรีน (Malachite green) ทุกๆ 1, 3, 5, 7 และ 9 วัน พบว่าจะสังเกตเห็น Vegetative cells เป็นสีแดงหรือชมพูของซาฟรานิน ส่วนเอนโดสปอร์จะสังเกตเห็นเป็นสีเขียวของมาลาไคต์กรีน จากรูปที่ 2 จะสังเกตเห็นสี

เขียวซึ่งย้อมติดเอนโดสปอร์ได้หนาแน่นที่สุด ที่เวลาเลี้ยงเชื้อ 5 วัน



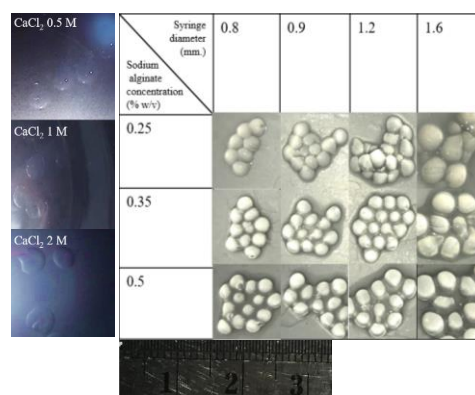
รูปที่ 2 แสดงผลของการย้อมสีเอนโดสปอร์ของ

แบคทีเรีย *B. pseudofirmus*

3.2 ลักษณะทางกายภาพหลังการห่อหุ้มแบคทีเรียแบคทีเรียที่ห่อหุ้มด้วยอัลจิเนตที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตและเข็มฉีดยาขนาดต่างๆ มีลักษณะเป็นสีขาวค่อนข้างกลม ขนาดของเม็ดปิดสัขึ้นอยู่กับขนาดของเข็มฉีดยาที่ใช้ และความเป็นทรงกลมขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่มากขึ้น แสดงในรูปที่ 3 นอกจากนี้ยังพบว่าโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น 0.5% โดยมวลต่อปริมาตรแคลเซียมคลอไรด์ 0.5M เข็มขนาด 0.8 มม. สามารถทำให้เกิดเม็ดปิดสัมีความเป็นทรงกลมและขนาดเล็กที่สุด คาดว่าจะไม่มีผลต่อความสัมพันธ์ต่อการรับแรงกดเมื่อนำไปใส่จีโอพอลิเมอร์ โดยขนาดอนุภาคประมาณ 0.18 ซม. และเม็ดปิดสัที่ได้รับจากการทดลองค่อนข้างเป็นทรงกลมที่มีความแข็งแรง หลังจากการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างอัลจิเนตและเพคติน และคาดว่าแบคทีเรียสามารถปลดปล่อยออกมาขณะเกิดรอยร้าวได้

3.3 การตรวจสอบการมีชีวิตของ *Bacillus pseudofirmus* ในสารละลาย NaOH

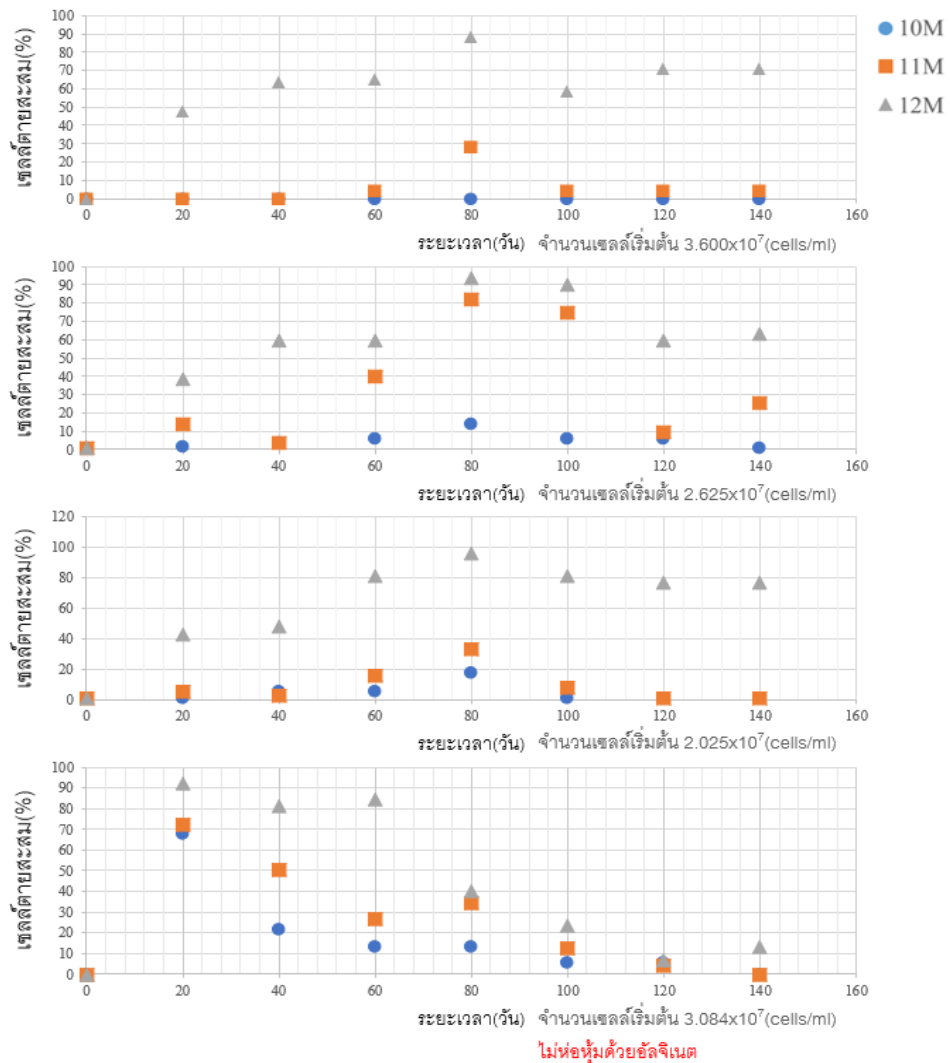
แบคทีเรีย *Bacillus pseudofirmus* ที่ถูกห่อหุ้มด้วยอัลจิเนตถูกนำไปทดสอบในละลายต่างแกก่อนนำไปย้อมสีเพื่อตรวจสอบจำนวนเซลล์ตายเนื่องจากแต่ละครั้งที่ทดลองเป็นการทดลองด้วยชุดทดลองชุดเดียว ทำให้เซลล์ที่ย้อมติดสีเป็นเซลล์ตายสะสม และการลดลงของเซลล์ที่ติดสีเกิดจากผนังเซลล์ที่เปื่อยจากต่างจนไม่สามารถคงสภาพของเหลวในเซลล์ไว้ได้ ทำให้สีย้อมไม่ติดอีกต่อไป แต่อย่างไรก็ตาม ยังสามารถดูแนวโน้มของการตายได้ ผลการทดลองพบว่าที่ 80 นาที แบคทีเรียที่ถูกห่อหุ้มด้วยอัลจิเนตมีจำนวนแบคทีเรียตายสะสมมากที่สุด ซึ่งคิดเป็น $15.35 \pm 1.9\%$, $47.28 \pm 24.5\%$, $92.85 \pm 3.0\%$ ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10, 11 และ 12 M ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4 อย่างไรก็ตามแบคทีเรียที่ไม่ได้ผ่านการห่อหุ้มจะมีจำนวนเซลล์ที่ตายสะสมสูงสุดภายในเวลา 20 นาที



รูปที่ 3 แสดงลักษณะเม็ดอัลจิเนตห่อหุ้มแบคทีเรีย

โดยควบคุมความเข้มข้นอัลจิเนตเส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม และความเข้มข้นสารละลาย CaCl_2 โดยกล้อง

Leica D-lux7 ที่ไม่มีกำลังขยาย



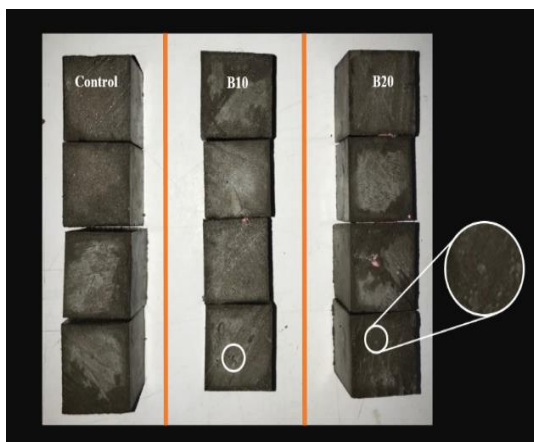
รูปที่ 4 แสดงจำนวนเซลล์แบคทีเรียที่ตายสะสมที่ปลดปล่อยออกมาจากเม็ดอัลจิเนต ซึ่งแช่อยู่ใน

สารละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 10 M, 11 M และ 12 M

3.4 การนำแบคทีเรียที่ผ่านการห่อหุ้มได้
ขึ้นงานจีโอพอลิเมอร์

ลักษณะภายนอกของขึ้นงานควบคุม
(control), B10 และ B20 มีสีและพื้นผิวเรียบดังแสดง
ในรูปที่ 5 แต่จะสังเกตเห็นขึ้นงาน B10 และ B20

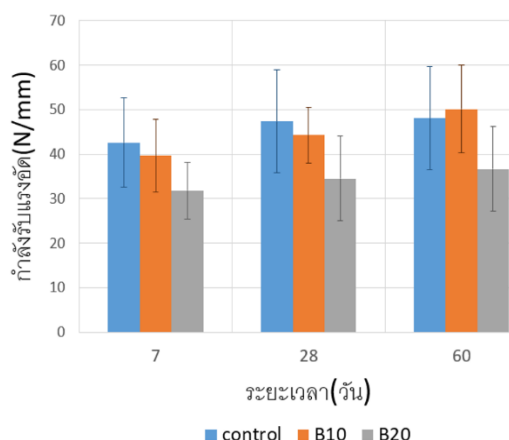
มีหลุมขนาดเล็กที่พื้นผิวเล็กน้อยจากการใส่เม็ดบีดส์
อัลจิเนตเนื่องจากเม็ดบีดส์อัลจิเนตมีความ
ถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อกระจาย
ตัวภายในขึ้นงานจีโอพอลิเมอร์เล็กน้อย



รูปที่ 5 แสดงลักษณะภายนอกของจีโอพอลิเมอร์ที่อายุ 7 วันของชิ้นงานควบคุม, B10 และ B20 ตามลำดับ

3.5 กำลังรับแรงอัดของชิ้นงานที่ผสมเม็ดปดส์อัลจิเนต

จากทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นงานควบคุม, B10, B20 ที่อายุการบ่มต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่เม็ดอัลจิเนตในสัดส่วน 1% และ 2 % ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงเทียบกับชิ้นงานควบคุมที่ 7 วัน คิดเป็น 6.84 %, 25.23% ตามลำดับ และ ที่ 28 วัน คิดเป็น 6.57 %, 27.09% ตามลำดับ เนื่องจากเม็ดอัลจิเนตเข้าไปแทนที่ส่วนของเนื้อเถ้าลอยที่ให้ความแข็งแรงต่อจีโอพอลิเมอร์ และอาจเป็นผลมาจากขนาดที่ไม่เท่ากันระหว่างอนุภาคเถ้าลอยและเม็ดปดส์ ดังแสดงในรูปที่ 5 ขนาดที่ใหญ่กว่าของเม็ดปดส์ อาจส่งผลให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างของจีโอพอลิเมอร์และค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลง [7]



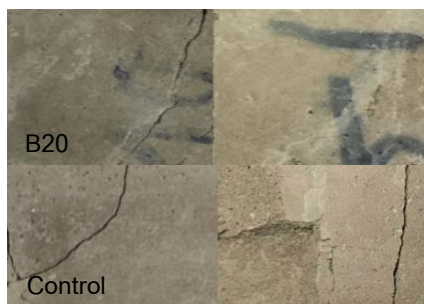
รูปที่ 6 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์ในวันที่ 7,28,60 วัน

เป็นที่น่าสังเกตว่าชิ้นงาน B10 ที่อายุ 60 วัน ให้ค่ากำลังอัดมากกว่าชิ้นงานควบคุมเพียงเล็กน้อย ผลที่เกิดขึ้นนี้ อาจเพราะเมื่อทิ้งชิ้นงานไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง อัลจิเนตที่ใช้ห่อหุ้มแบคทีเรียมีการสลายตัว ทำให้ขนาดเม็ดปดส์เล็กลงและกลายเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อชิ้นงาน หรืออาจเป็นเพราะซิลิกาในเถ้าลอยยังคงทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ในระยะยาวนาน นอกจากนี้การพิจารณาทดสอบสหสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มโดยไม่คำนึงถึงตัวแปรเวลาด้วยเทคนิคสถิติ Fisher's exact แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนเม็ดอัลจิเนตที่ใส่ไปในชิ้นงานไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความแข็งแรงด้านแรงอัดของชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์ ($p < 0.05$)

3.6 การซ่อมแซมตัวเองของชิ้นงาน

หลังจากทิ้งชิ้นงาน B20 ที่มีการจำลองรอยร้าวไว้ประมาณ 20 วัน พบว่ามีของแข็งสีขาวขุ่นตรงบริเวณผิวของรอยแตกดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งอาจแสดง

ให้เห็นว่าแบคทีเรียที่ผ่านกระบวนการ ห่อหุ้มด้วยอัลจิเนตสามารถมีชีวิตรอดจากกระบวนการผลิตซีโอพอลิเมอร์ที่ใช้ต่างเข้มข้นมาก และสามารถซ่อมแซมรอยร้าวได้ผ่านกระบวนการสร้างสารประกอบใหม่ที่มีปัจจัยของอากาศและความชื้นเป็นตัวกระตุ้นผ่านรอยแตกร้าว



รูปที่ 7 แสดงของแข็งสีขาวขุ่นของชิ้นงาน
ซีโอพอลิเมอร์ที่ใส่ และไม่ใส่เม็ดบีดส์

4. สรุป

การห่อหุ้มแบคทีเรียที่ใช้ไซโตเดียมอัลจิเนต 0.5% (w/v) เส้นผ่านศูนย์กลางเข็ม 0.8 มม. และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 M สามารถปกป้องเซลล์โดยการเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของ *Bacillus pseudofirmus* ATCC 700159 เมื่อเม็ดไซโตเดียมอัลจิเนตถูกผสมกับสารละลายต่างแก่ นอกจากนี้เทคนิคสถิติ Fisher's exact แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนเม็ดอัลจิเนตที่ใส่ไปในชิ้นงานไม่มีความสัมพันธ์กับความกำลังรับแรงอัดของชิ้นงานซีโอพอลิเมอร์ ($p < 0.05$) และเมื่อทิ้งชิ้นงานไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง มีสารสีขาวขุ่นเกิดบริเวณรอยร้าว ซึ่งเป็นผลมาจากแบคทีเรียที่ใส่เข้าไปในชิ้นงาน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนการศึกษากจากกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ และศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ตลอดการทำวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณความร่วมมือระหว่างโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฝ่ายมัธยมศึกษา (ศึกษาศาสตร์) และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ali M, Abu-Tair A, Kinuthia J, Ryszard B. Self - healing and strength development of geopolymer concrete made with Waste by products. International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering; 2015 Feb. 3-4; Bali, Indonesia; 2015.
- [2] Evandro M, Denis P, Ramila C. and Denis, R. Oil encapsulation techniques using alginate as encapsulating agent: applications and drawbacks. 2017; 34(8) : 5-15.
- [3] Mostafa S, Aydin B (2016). Bioconcrete: next generation of self-healing concrete. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Applied Microbiology and Biotechnology. 2016; 100(6): 2-10.

- [4] Hana Ž, Jiří P, Zuzana R, Pavla, R.
Effect of bacteria *Bacillus pseudofirmus*
and fungus *Trichoderma reesei* on self-
healing ability of concrete, Czech
Technical University, Prague. Acta
polytechnica ctu proceedings; 2019.
- [5] Petraitytė S, Šipailienė A. Enhancing
encapsulation efficiency of alginate
capsules containing lactic acid bacteria
by using different divalent cross-linkers
sources, Lwt. 2018; 110: 307–315.
- [6] Evandro M, Denis P, Ramila C, Denis R.
Oil encapsulation techniques using
alginate as encapsulating agent.
Journal of Microencapsulation Micro
and Nano Carriers. 2017; 34(8): 5-15.
- [7] Luhar S, Chaudhary S, Luhar I.
Thermal resistance of fly ash based
rubberized geopolymer concrete.
Journal of Building Engineering. 2018;
19: 420 - 428.
- [8] สกลวรรณ น่านจิตสุวรรณ, ธนากร ภูเงินคำ
และ ปริญญ์ จินดาประเสริฐ. Study
physical property of fly ash geopolymer
paste. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอู่
สหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง.
2556; 6(1).



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

Some physical properties of cassava and evaluation of the performance in cutting cassava tubers from their rhizomes using manual labor

Chainarong Lomchangkum^{1,2}, Chaiyan Junsiri^{2,3,4*}, Somposh Sudajan⁴ and Kittipong Laloon⁴

¹Ph.D. Student. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

²Farm Engineering and Automation Technology Research Group, Khon Kaen University

³Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation,

⁴Agricultural Machinery and Postharvest Technology Research Center, Khon Kaen University

Received: 22 January 2020

Revised: 2 June 2020

Accepted: 10 June 2020

Available online: 30 June 2020

Abstract

This research was conducted to determine some physical properties of cassava and evaluation of the performance in cutting cassava tubers from their rhizomes using manual labor. The study of physical properties of cassava showed the ranges of diameters of cassava tubers (at base, middle and end sections) were 4.2-8.5, 3.1-6.7 and 2.1-5.3 cm respectively. The cassava tubers' lengths ranged between 2.2-4.4 cm, their weights ranged between 0.2-1.0 kg and their average density was 820.83 kg/m³. The coefficient of static friction was in the range 28.0°-30.0°. The performance in cutting cassava tubers from their rhizomes using manual labor an average working rate of 352.53 kg/hr/person, resulting from 163.05 rhizomes/hr/person, and the average cutting loss was 0.22%.

Keywords: cassava, physical properties, cassava tuber, cutting of cassava tubers from their rhizomes

*Corresponding author : Email: Chaich@kku.ac.th ; Tel: +66816614515; Fax: +6643362142.

1. Introduction

Cassava (*Manihot esculenta* (L.) Crantz) is one of the essential economic crops in Thailand, ranked after sugarcane and rice. Thailand is the second-largest cassava producer in the world after Nigeria. In 2018/19, the area of cassava plantations in Thailand was approximately 8.6 million rai, with an average yield of 30 million tons / year (fresh cassava). Cassava is planted in various areas of Thailand, except the southern region. The region with the largest cassava plantation is the north-eastern region, followed by the central and northern areas. The most popular cultivar grown in Thailand is Kasetsart 50. Cassava can be harvested throughout the year, especially from December until July. Fresh cassavas produced in the country is processed as raw materials for several industries, such as cassava starch for the paper and textile industry, pellet form for the animal feed industry, tapioca for the ethanol industry, and other industrial sectors. About 25-28 percent of cassava production are used domestically, while the remaining 75-80 percent are exported. Thailand's major export markets are mainly Asia, especially China. [1, 2] The current method of harvesting cassava begins with cutting stem and leaving the remaining stem about 30 cm from the ground. Then the ground-attached stems are pulled by human workers or dug by machine and gathered in

pile. Cassava tubers are cut and separated from their rhizome by human labors or a cutting machine. The only method for loading harvested cassava tubers into trucks is relying on human labors to gather the tubers, put in the basket and weight in to the truck. It needs about 7-10 people to operate each time [3, 4, 5, 6]. Since fresh cassava must be delivered to the factory daily to avoid the rapid deterioration, which causes decreasing of starch yield and affects the buying price of fresh cassava tubers [7]. The cassava harvesting, especially the procedure of cutting cassava tubers from their rhizomes, has been studied by many researchers. They presented the guideline for development and research about cutting and harvesting machinery, such as saw blade cutting, pressure cutting or pile harvesting machines. The prototypes of these machines are in the initial development and have different working principles [8, 9, 10]. Necessary physical behaviors such as the shape of stems, rhizomes and tubers affect the loss and efficiency in cassava harvesting. The research has not studied the physical properties of cassava regarding the shape of cassava stems, but could be found in machine's data collection only. Therefore, the research and design of agricultural machinery for cutting cassava tubers is very important, especially the process of cutting cassava tubers from their rhizomes

that relies on human labors. This research focused on some physical properties of cassava and evaluation of the performance in cutting cassava tubers from their rhizomes using manual labor. Moreover, the results from this research will be useful for further research in developing tools for cassava tubers separation and cassava harvesting machinery for agriculture in Thailand.

2. Materials and methods

The determination of some physical properties of cassava and evaluation of the performance in cutting cassava tubers from their rhizomes using manual labor were carried out for designing the tuber-cutting machine and cassava harvester. Preliminary study on physiological activity indicated that the shape of cassava stem in the planting plot before harvesting could be categorized into 6 groups: T1 – single stem without side branches, T2 – single stem with two side branches, T3 – single stem with three side branches, T4 – a two-stem type, T5 – a multiple-stem type, and X – a miscellaneous-stem type. From physiological activity, the stem shapes of T1, T2 and T3 were found to be more than 76.0 percent, whereas stem shapes of T4, T5 and X were just 24.0 percent. Thus, the focused study was performed on the stem shapes of T1, T2 and T3 and separated into two experiment steps: 1st step – studying physical properties of cassava tubers, and 2nd step – testing and evaluating the performance in cutting cassava tubers from their rhizomes by manual labors. Cassava cultivar of Kasetsart 50 and 10-month-old tubers grown in Khon Kaen

Province were selected for the study's experiment as shown with details and methodology as followed.

2.1 Physical properties of cassava tubers

This step was the study on physical properties of T1, T2 and T3 tubers, including the number of tubers per rhizome, size of tuber, density of tuber and coefficient of static friction.

2.1.1 The number of tubers per rhizome

Cassava rhizomes were separated into 4 levels: 1-5, 6-10, 11-15, and more than 15 tubers/rhizome. 1,000 rhizomes with the stem shapes of T1, T2 and T3 (Figure 1) were randomly sampled from allover 5 plots (200 rhizomes per plot). The data on tuber number were analyzed for mean and percentage values according to the experiment template.

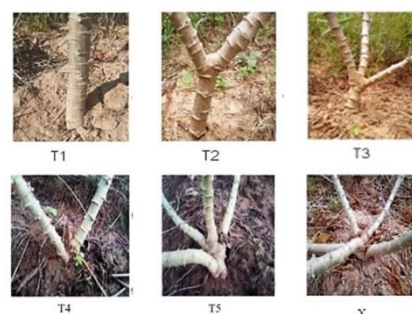


Figure 1 Physiological difference of cassava stem shapes in T1, T2, T3, T4, T5 and X groups.

2.1.2 Size of tubers

The data of this step were used as a guideline for considering a design and outlet of tubers after cutting for continuous feeding. 200 tubers per plot

(5 plots) were randomly measured for their diameter (at base, middle and end part), length and weight (Figure 2). The data were analyzed for mean, minimum and maximum values. Measurement tape, vernier caliper and digital scale were used for data collection.

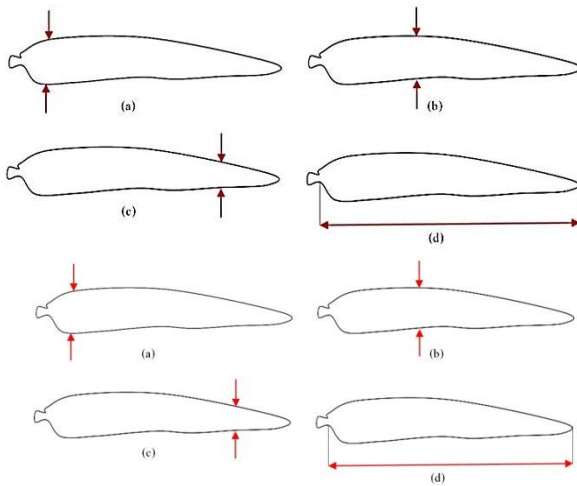


Figure 2 Size measurement of cassava tuber. (a) base; (b) middle; (c) end part; (d) length.

2.1.3 Density of tubers

Bulk density was defined by the ratio of fresh-tuber mass to container volume. A cubic container of 20 x 20 x 20 cm sides was weighed to measure mass of container, and weighed again after filling with fresh cassava tubers. Mass of fresh tuber was obtained by deducting the weight of empty container from the weight of container filled with tubers. Triple repetition of measurement was done and the data were used to analyze for the density of cassava tuber (Equation 1).

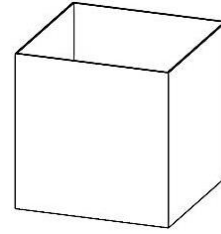


Figure 3 Container of 0.008 m³ volume for defining the bulk density.

$$\sigma = \left(\frac{M}{V} \right) \quad (1)$$

where σ = Density of cassava tuber (kg/m³)

M = Mass of cassava tuber (kg)

V = Volume of container (m³)

2.1.4 Coefficient of static friction of tubers

This step was needed for designing the angle of outlet for continuous flow of post-cut cassava tubers. Tools with four components used in the experiments included an oriented strand board, steel sheet, stainless steel sheet and rubber sheet. 10 repetitions per sample were performed with two experiments (transversal and longitudinal modes) according to Mohsenin's method [11]. Data were recorded and analyzed.

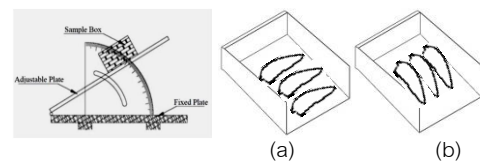


Figure 4 Tools for measuring coefficient of static friction. (a) transversal, (b) longitudinal.

2.2 Experiment and performance evaluation in cutting tubers from their rhizomes by using manual labor

Cutting tubers from rhizome by human labors was generally done by farmers. The experiment was separated into 3 steps: Step 1 – picking pre-cut tubers from a pile, Step 2 – separating tubers from rhizome with blade, and Step 3 – disposing of post-cut tubers. The experiment was done by three persons with 100 rhizomes per person. Data on working rate and cutting loss after tuber-rhizome separation (Equations 2 and 3) were collected throughout the experiment and then calculated and analyzed respectively. The experiment items included 300 cassava rhizomes, stopwatch and digital scale.



Figure 5 Cutting cassava tubers from rhizome by human labors, a general method for farmers.

$$C_p = \frac{m_1}{t \times n} \quad (2)$$

Where C_p = Working rate (kg/hour/person).

m_1 = Total weight of post-cut tubers (kg).

t = The total working time of cutting (hour).

n = The number of working persons (person).

The cutting loss after separating tubers from rhizome according to Nasr et al. [12] can be calculated as

$$L_s = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \times 100 \quad (3)$$

where L_s = Cutting loss (%).

m_1 = The total weight of post-cut tubers (kg).

m_2 = The total weight of unsuccessful cuts (tubers incompletely cut from rhizome, kg).

3. Results and discussion

The physical properties of three tuber groups (T1, T2 and T3) from 5 plots (200 rhizomes per plot) showed that the stem shape of T2 provided the highest average number of tubers (43.4%), and cutting machine, whose actual usage would followed by T1 and T3 (33.6% and 23.0% respectively) (Table 1 and Figures 6, 7). A lower number of tubers in T1 and T3 could be due to cassava cultivar, soil conditions and environmental factors. The high tuber number or high rhizome weight could cause post-harvest loss when using stem-picking and cutting machine, whose actual usage would need further studies and researches on this factor.

Table 1 Percent of tubers per rhizome of stem shapes T1, T2 and T3.

Physical behavior of stem shape (group)	Number of tubers (tubers/rhizome)	Plot						
		Plot no. 1	Plot no. 2	Plot no. 3	Plot no. 4	Plot no. 5	Mean	Total mean
		(percent)	(percent)	(percent)	(percent)	(percent)	(percent)	(percent)
T1	1-5	11.0	12.5	13.0	18.0	16.5	14.2	
	6-10	70.0	68.0	71.5	69.5	73.0	70.4	33.6
	11-15	35.0	47.0	37.5	46.0	40.5	41.2	
	> 15	9.0	8.0	10.0	8.5	9.5	9.0	
T2	1-5	12.0	15.5	17.0	21.0	18.5	16.8	
	6-10	84.0	87.0	85.5	87.5	89.0	86.6	43.4
	11-15	55.0	57.0	67.5	56.0	66.5	60.4	
	> 15	10.0	9.0	11.0	9.5	10.5	10.0	
T3	1-5	9.0	10.5	11.0	13.0	12.5	11.2	
	6-10	54.0	57.0	60.5	55.5	56.0	56.6	
	11-15	25.0	27.0	28.5	26.0	24.5	26.2	23.0
	> 15	7.0	6.0	7.0	7.5	7.5	7.0	

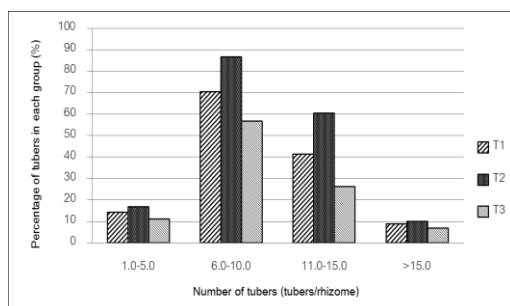


Figure 6 Number of tubers per rhizome in groups T1, T2 and T3 of each plot.

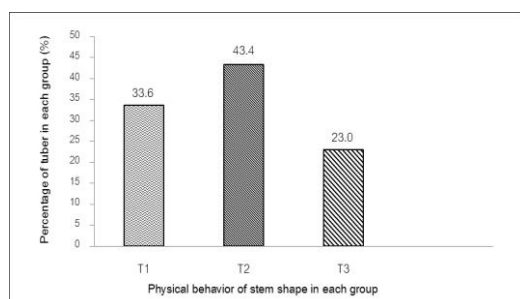


Figure 7 Average number of tubers per rhizome of groups T1, T2 and T3.

The study on size of cassava tubers showed the following results: diameters of three tuber sections (base, middle and end part) were 4.2-8.5, 3.1-6.7 and 2.1-5.3 cm respectively. Their lengths ranged between 2.2- 4.4 cm and their weights ranged between 0.2- 1.0 kg (Table 2). Average density of cassava tubers was 820.83 kg/m³. (Table 3).

Table 2 Tuber average sizes from 5 plots.

Properties	Diameter			Length (cm)	Tuber weight (kg)
	(cm)				
	Base	Middle	End		
Maximum	8.5	6.7	5.3	4.4	1.0
Minimum	4.2	3.1	2.1	2.2	0.2
Mean	5.6	4.8	3.4	3.0	0.6
SD(±)	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5

*The numbers represent mean values and ± indicates the standard deviation

Table 3 Average density of cassava tubers.

Replication	Box's weight (kg)	Box's weight + Tuber weight (kg)	Tuber weight (kg)	Bulk density (kg/m ³)
1	3.04	9.44	6.40	800.00
2	3.04	9.54	6.50	812.50
3	3.04	9.84	6.80	850.00
Mean	3.04	9.60	6.56	820.83

Fresh cassava tuber on rubber sheet surface had the highest coefficient of static friction (40.0-42.0 degrees), followed by oriented strand board and steel sheet surfaces (35.0-38.0 and 28.0-30.0 degrees respectively). The lowest coefficient of static friction was found for fresh tuber with transversal and longitudinal drive modes on stainless steel sheet (25.0-27.0 degrees). Therefore, steel sheet with 28.0-30.0 degrees was considered suitable for actual usage in designing machine outlet for long-term usage and high strength (Table 4), according to the principle of engineering design of Shigley and Mischke [13] and the principle of agricultural machinery design of Krutz et al. [14].

Table 4 Average coefficient of static friction for fresh tuber on various material surface

Coefficient of static friction				
Longitudinal/t ransverse direction	Oriented Strand Board (°)	stainless sheet (°)	Steel sheet (°)	Rubber sheet (°)
Longitudinal	35.0	25.0	28.0	40.0
Transverse	38.0	27.0	30.0	42.0

Experiment and performance evaluation of cutting tubers from the rhizome by using human labors indicated that farmers usually dug tubers or pulled tubers out of soil and then separated tubers from rhizome using a knife. The sampling rhizomes had an average weight of 2.50 kg/rhizome with an average tuber number of 9.56 tubers/rhizome. The result showed an average working rate of 352.53 kg/hr/person or 163.05 rhizome/hr/person and average cutting loss of 0.22% (Table 5). The three experiment steps showed that Step 2 consumed the longest average time (7.55 seconds/rhizome), followed by Step 1 and Step 3 (2.56 and 0.65 seconds/rhizome respectively) (Table 6). Step 2 needed longer time than other steps because of the difference in rhizome size and higher tuber number which would take longer operation time for cutting, 3-8 times per rhizome.

Table 5 Average working rate and post-cutting loss for tuber separation from rhizome by manual labor, in accordance with farmer practice.

Person	Working rate		post-cutting loss
	(kg/hour/ person)	(rhizomes/h our/person)	(percent)
1	360.50	168.21	0.25
2	350.34	170.31	0.22
3	346.77	150.65	0.20
Mean	352.53	163.05	0.22

Table 6 Average operation time of tuber separation from rhizome by manual labor, in accordance with farmer practice, classified by procedural steps in each operation.

Operation procedure	Person			Average time (seconds/rhizome)	SD(±) (seconds/rhizome)
	1	2	3		
1. Taking pre-cut rhizomes from stock pile	2.56	2.55	2.56	2.56	1.52
2. Cutting tubers from rhizomes by blade	7.55	7.53	7.56	7.55	1.30
3. Disposing of post-cut rhizomes	0.64	0.65	0.66	0.65	0.21
Total time				10.76	3.03



(a)

(b)

Figure 6 (a) Post-cut rhizomes by human labors, and (b) post-cut tubers by human labors.

4. Conclusion

The study of physical properties of cassava among 3 stem shapes, T1, T2, and T3 from 5 plots, with 200 rhizomes each, indicated the highest tuber number belonging to shape T2 with an average of 43.4 %, followed by stem shape T1 and T3 with 33.6 and 23.0 % respectively. As for the tuber size, the diameters of tuber for all 3 sections were 4.2-8.5 cm for base part, 3.1-6.7 cm for middle part, and 2.1-5.3 cm for end part. Tuber lengths ranged from 2.2-4.4 cm and the weight was between 0.2-1.0 kg. Average bulk density of tubers was 820.83 kg/m³. The coefficient of static friction for the steel sheet in the longitudinal and transversal directions was between 28.0° - 30.0°.

performance in cutting cassava tubers from their rhizomes using manual labor an average working rate of 352.53 kg/hour/person or 163.05 rhizomes/hour/person, with an average of 0.22 % post-cutting loss. Among 3 steps of operation procedure, Step 2 was the most time-consuming operation in each cycle. The reason for the longer cutting time taken in this step was because of the large number of tubers to be cut and separated, at values about 3-8 cutting times for one rhizome or an average of 7.55 seconds per rhizome, whilst Steps 1 and 3 spent averagely 2.56 and 0.65 seconds/rhizome respectively.

5. Acknowledgements

Thanks are due to the Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand, and the Agricultural Machinery and Postharvest Technology Research Center, Khon Kaen University, and also to the Farm Engineering and Automation Technology Research Group, which funded this study.

6. References

- [1] FAO. Crops statistics [Internet]. 2018 [cited 2018 August 13]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- [2] Office of Agricultural Economics. Cassava export statistics online [Internet]. 2019 [cited 2019 October 20]. Available from URL: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php.
- [3] Koonthon K. Design and Development of a Tractor-Mounted Cassava Root Collector [Master Thesis]. Bangkok: Kasetsart University; 2002.
- [4] Charnyong C. The Study and Development of A Cassava Transporter After Harvesting [Master Thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2006.
- [5] Anuchit C, et al. Development of Moldboard Plow Type Cassava Digger. Thai Society of Agricultural Engineering Journal 2009; 15(1): 13-18.
- [6] Chaiyan J, et al. The Study of Cassava Root Conveying Equipment Attached to a Truck. Advanced Materials Research 2014; 931(932) : 1555-1560.
- [7] Kiatsuda S, Seri W. A study In the use of Engineering technical feasibility a square shape blade of Cutting Cassava Tuber from Rhizome. In: The 16th TSAE National Conference and the 8th TSAE International Conference TSAE; 2015 March 17-19; Thailand. 2015.
- [8] Jaturong L, et al. Design and Fabrication of a Cassava Root Picking Machine. Thai Agricultural Research Journal 2012; 30(3): 300-311.
- [9] Payungsak J, et al. Development of a Cassava Harvester for Cutting Cassava Tuber from Rhizome. Agricultural Science Journal 2014; 45 (3/1) Suppl: 353-356.
- [10] Sakchai A, et al. Design and Development of Cassava Root Plucking Out Machine. Agricultural Science Journal 2016; 47(3) Suppl: 463-466.
- [11] Mohsenin NN. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Science Publishers; 1986.
- [12] Nasr G, et al. Development of suitable potato crop harvester for small holdings. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 2019; 21(2): 34-39.

- [13] Shigley JE, Mischke CR. Mechanical Engineering Design. 5th ed: McGraw-Hill; 1989.
- [14] Krutz G, Thomson L, and Claar P, Design of Agricultural Machinery. John Wiley and Sons. New York: Chichester Brisbane, Toronto, Singapore; 1994.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Analysis of the Composition of Exhaust Gas from Engines using Yang-Na Oil as Fuel for Comparison with Diesel

สหัสวรรษ ภูจิระ¹⁾, ฉัตรชัย เบญจปิยะพร¹⁾, กฤษฏางค์ เสนางวงษ์¹⁾, โชคชัย ชุยอ้อย²⁾ และ สมพร เกษแก้ว^{3),*}Sahassawas Poojeeraa¹⁾, Chatchai Benjapiyaporna¹⁾, Kritsadang Senawongd¹⁾ Chokchai Suiuaye²⁾and Somporn Katekaew^{3),*}¹⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น²⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น³⁾ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Department of Agricultural engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Department of Biochemistry, Faculty of Science, Khon Kaen University

Received: 6 March 2020

Revised: 14 April 2020

Accepted: 28 April 2020

Available online: 30 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร 4 จังหวะ 1 สูบ ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันยางนา B40 เป็นเชื้อเพลิง การทดสอบทำการเปรียบเทียบและประเมินก๊าซไอเสียโดยการเดินเครื่องยนต์ 2 เครื่องที่ไสภาระคงที่เท่ากัน ในสถานที่จริง ต่อเนื่อง 300 ชั่วโมง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,400 รอบต่อนาที พบว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 โดยเฉลี่ยสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 8.3 °C การปล่อยก๊าซ CO, CO₂, และ O₂ ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนา B40 มีค่าใกล้เคียงเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การ

ปล่อยก๊าซ NO และ NO_x ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีค่าเฉลี่ย 189.87 ppm ซึ่งสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 48.13 ppm (ไม่สูงกว่าค่ามาตรฐาน) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนาปล่อยควันดำสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 2% จากผลการทดสอบทั้งหมดบ่งชี้ว่าน้ำมัน B40 สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้

คำสำคัญ: น้ำมันยางนา ก๊าซไอเสีย เครื่องยนต์ดีเซล ต้นยางนา

Abstract

This research aimed to evaluated the durability of two diesel engines, four-stroke, single cylinder. The diesel and B40 were compared. The continuously exhaust gas for 300 hours at 1400 rpm was inspected. The results show that, the agricultural engine using B40 emitted exhaust gases at an average of 8.3 °C, higher than the diesel engine. The emission test, the engine using B40 showed averages of CO, CO₂ and O₂ close to the engine using diesel. NO and NO_x of the engine using B40 average was 189.87 ppm, which was 48.13 ppm higher than the diesel engine (Not higher than standard). Engine using B40 (Yang-na fuel) emission black smoke are average 2% higher than diesel. All test results indicate that B40 can be used to replace diesel.

Keywords: Yang-Na oil, Exhaust gas, Diesel engine, *Dipterocarpus Alatus* Tree

*ติดต่อ: somkat@kku.ac.th, 043-202371 ต่อ 44478-79

1. บทนำ

การศึกษาจากอดีตจนถึงปัจจุบัน บ่งชี้ว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีคุณภาพ ทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะและระดับการปล่อยก๊าซไอเสียอยู่ในมาตรฐานเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล [1,2] องค์ประกอบที่แตกต่างกันระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลคือปริมาณออกซิเจน ไบโอดีเซลชนิดต่างๆ มีปริมาณออกซิเจนประมาณ 10-12 % ซึ่งสูงกว่าดีเซล และออกซิเจนในไบโอดีเซลจะมีส่วนช่วยลดการปล่อยไอเสียได้ [3,4] หลายงานวิจัยได้ทำการศึกษาน้ำมันจากพืชหลายชนิด โดยใช้น้ำมันจากพืชโดยตรง (B100) เปรียบเทียบกับดีเซล พบว่า

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ยังต่ำและการปล่อยก๊าซไอเสียสูง [5,6] ตัวอย่างเช่น การทดสอบน้ำมันเมลิททานตะวันตก กับเครื่องยนต์ด้วยระยะเวลา 50 ชั่วโมง พบว่าก๊าซไอเสียที่ปล่อยมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [7] การทดสอบเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างดีเซลและน้ำมันจากเมล็ด Karanja B20 พบว่าปล่อยก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับดีเซล และไม่ต้องปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ [8] การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำมันดีเซล พบว่าอัตราส่วนผสมของน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดคือ B20 ทำให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นและมีการปล่อยก๊าซไอเสียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [9] ต่อมา Barrios ได้ศึกษาการ

ปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล โดยเปรียบเทียบกัน 3 ชนิด คือน้ำมันพืชใช้แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลล้วน และน้ำมันถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซลมีการปล่อยก๊าซ NO_x สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยอัตราส่วนผสมที่มีการปล่อยก๊าซไอเสียสูงสุดคือน้ำมันไบโอดีเซล B25 [10] จากนั้น [11] ได้ศึกษาปริมาณการปล่อยควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากพืชและน้ำมันผสม โดยเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันจากพืชมีการปล่อยควันดำที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับดีเซล สอดคล้องกับ [12,13] จากหลายงานวิจัยที่กล่าวมานี้บ่งชี้ว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากพืชทั้งในระยะสั้นและระยะยาว จะพบการสึกหรอและการปล่อยก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับดีเซล [12–14] ถ้าต้องการสมรรถนะของเครื่องที่ดีควรใช้น้ำมันผสมน้ำมันจากพืชแต่ละชนิดก็จะมีสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมแตกต่างกันไป นอกจากนี้ยังมีพืชอีกหลายชนิดที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้

ต้นยางนา ต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมากในทวีปเอเชียและในประเทศไทย ซึ่งน้ำมันจากต้นยางนาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ชันยาเรือ ชีได้ และเชื้อเพลิง เป็นต้น [15] ได้มีการนำน้ำมันยางนาดิบเป็นเชื้อเพลิงทดสอบกับเครื่องยนต์การเกษตรพบว่าสามารถใช้งานได้ แต่ยังมีข้อด้อยหลายอย่างเนื่องจากคุณภาพน้ำมันหลายคุณสมบัติยังไม่ผ่านมาตรฐานของน้ำมันเชื้อเพลิง [16] แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์แล้ว จะทำให้ได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [17] จากรายงานก่อนหน้า

นี้ ได้มีการทดสอบใช้น้ำมันยางนากลั่น (B100) กับเครื่องยนต์โดยตรง พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ยังไม่ดีพอ และค่าไอเสียที่เกิดขึ้นยังสูงกว่าดีเซลมาก [5,6] จากนั้นได้มีการศึกษาน้ำมันยางนากลั่นมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ ทดสอบกับเครื่องยนต์ และพบว่าน้ำมันยางนากลั่น B40 ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และเมื่อศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ในระยะเวลา 300 ชั่วโมง พบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นในทุกชิ้นส่วนของห้องเผาไหม้และคุณภาพของน้ำมันเครื่องใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล [18,19] ดังนั้นการใช้น้ำมันยางนาในสัดส่วนการผสมกับน้ำมันดีเซล B40 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิง แต่ถ้าน้ำมันยางนาไปใช้งานจริงกับเครื่องยนต์เป็นระยะเวลานาน ไอเสียที่เกิดขึ้นอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ จึงเป็นที่มาของการศึกษาค้นคว้านี้ โดยใช้น้ำมันยางนากลั่นผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน B40 (โดยผสมในอัตราส่วนน้ำมันยางนากลั่นร้อยละ 40 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 60 โดยปริมาตร) ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร 4 จังหวะ สูบเดียว เป็นระยะเวลา 300 ชั่วโมง แล้วทำการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ ได้แก่ CO , CO_2 , O_2 , NO , NO_x และควันดำ เพื่อประเมินก๊าซไอเสียแต่ละชนิดต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

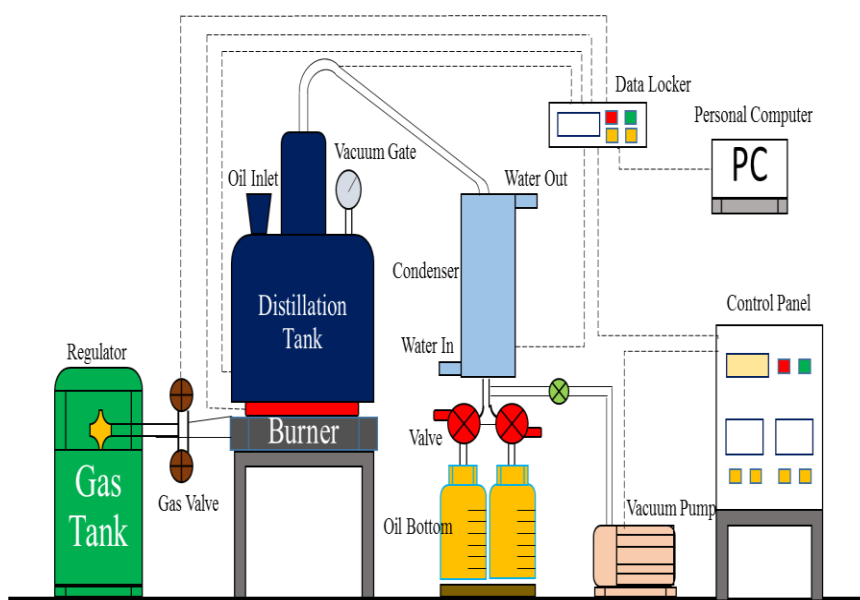
2.1 การกลั่นน้ำมันยางนา

เครื่องกลั่นน้ำมันยางนาประดิษฐ์ขึ้นตามแบบฉบับของ นุ สิ ท ธิ บั ต ร เล ข ที่ 9343 ข อง มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อทำให้น้ำมันยางนาดิบมีความบริสุทธิ์ เป็นเครื่องกลั่นน้ำมันชนิดเบ็ดเสร็จใน

ถังเดียวขนาดเล็ก โครงสร้างและองค์ประกอบของเครื่องกลั่นแสดงดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้ เครื่องกลั่นขนาด 20 ลิตร ระบบให้ความร้อนเป็นแบบหัวเผา คอนเดนเซอร์ 5 ลิตรทั้งสองผลิตจากสแตนเลส 304 หนา 3 มม. ระบายความร้อนโดยใช้น้ำหล่อเย็น วิธีการกลั่นเริ่มต้นโดยการเทน้ำมันดิบปริมาณ 15 ลิตร ลงในถังกลั่น จากนั้นให้ความร้อนแก่ถังกลั่น พร้อมปรับแรงดันถังกลั่นให้คงที่ที่ความดัน -700 mmHg เมื่ออุณหภูมิน้ำมันในถังกลั่นถึง 120 – 130 °C น้ำมันจะเริ่มระเหยและควบแน่นด้วยคอนเดนเซอร์ ไหลออกมาที่ขวดเก็บน้ำมัน ซึ่งจะได้น้ำมันประมาณ 75% โดยปริมาตร ส่วนที่เหลือ 25% เป็นของเหลวหนืด [20] ต้นทุนพลังงานในการผลิตเฉลี่ยประมาณ 1.61 บาทต่อลิตร

2.2 การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันยางนา B40 กับน้ำมันดีเซล [18] ส่วนอีกชุดหนึ่งจะใช้น้ำมันดีเซล (D100) ที่ผ่านมาตรฐานจากปั๊มจ่ายน้ำมันทั่วไป (ปตท.) การเตรียมน้ำมันเพื่อทดสอบครั้งนี้ ทำเป็น 2 ชุดๆ ละ 300 ลิตร (เพื่อให้ น้ำมันที่ให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน จึงจัดเตรียมน้ำมันให้เกินจำนวนที่ใช้จริง) น้ำมันที่เตรียมไว้นำไปผ่านตัวกรองน้ำมันดีเซลอีกครั้งก่อนนำไปใช้ทดสอบ น้ำมัน B40 ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ตรวจวัดคุณภาพ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบด้านคุณภาพกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน และน้ำมันยางนากลั่นตามมาตรฐาน [21] ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันยางนาดิบ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของมาตรฐานน้ำมันดีเซล น้ำมันยางนากลั่น และ B40 [18]

ข้อกำหนดคุณภาพ	อัตราสูงต่ำ	มาตรฐาน	น้ำมันยางนากลั่น	B40
1.ความถ่วงจำเพาะ ณ 15.6/15.6 °C	$0.81 < x < 0.87$	ASTM D 1298	0.92*	0.87
2.ดัชนีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 40	ASTM D 976-06	27*	41
3.ความหนืด (เซนติสโตกส์)	$1.8 < x < 4.1$	ASTM D 445-15a	4.7*	3.6
4.จุดไหลเท (°C)	ไม่สูงกว่า 10	ASTM D 97-16	-39	-6
5.กำมะถัน (ร้อยละโดย นน.)	ไม่สูงกว่า 0.005	ASTM D 2622	0.00	0.00
6.การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	ไม่สูงกว่าหมายเลข 1	ASTM D 130-12	1	1a
7.เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กรัม/ลบ.ม.)	ไม่สูงกว่า 25	ASTM D 2274	27*	11.8
8.กากถ่าน (ร้อยละโดย นน.)	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D 86-15	0.00	0.2
9.น้ำ (มก./กก)	ไม่สูงกว่า 300	EN ISO 12937	270	182
10.สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (มก./กก)	ไม่สูงกว่า 24	EN 12662-2009	473*	13
11.เถ้า (ร้อยละโดย นน.)	ไม่สูงกว่า 0.1	ASTM D 482-13	0.0	0.9
12.จุดวาบไฟ (°C)	ไม่ต่ำกว่า 52	ASTM D 93	104	78
13.การกลั่น อุณหภูมิที่กลั่นได้ โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ 90 (°C)	ไม่สูงกว่า 357	ASTM D 86	257	338.2
14.โพสิซีคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละโดย นน.)	ไม่สูงกว่า 11	IP 391	1	4.8
15.ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ (% vol.)	$3.5 < x < 7$	ASTM D 14078	0.00*	6.7
16.คุณสมบัติการหล่อลื่น รอยขีดข่วน (ไมโครเมตร)	ไม่สูงกว่า 460	CEC F-06-96	168	348
17. สี				
17.1 ชนิดของสี	เหลือง	ASTM D 1500	เหลือง	เหลือง
17.2 ความเข้มของสี	ไม่สูงกว่า 5		1.5	1.5

ตารางที่ 2 ธาตุองค์ประกอบของน้ำมันยางนากลั่น

ธาตุองค์ประกอบ	ดีเซล [21]	Karanja oil [22]	soybean oil [23]	น้ำมันยางนากลั่น	น้ำมัน B40
Carbon(C)	81.82	74.20	77.40	84.74	82.99
Hydrogen(H)	17.57	12.90	11.50	18.28	17.85
Nitrogen(N)	0.003	3.900	0.001	0.004	0.003
Sulfur(S)	0.220	2.000	n.d.	0.254	0.234
Oxygen(O)	4.633	12.80	10.50	7.055	5.602
H/C ratio	2.580			2.670	2.620

จากตารางที่ 2 ธาตุองค์ประกอบของน้ำมันยางนากลับ พบว่าธาตุองค์ประกอบทุกชนิดที่ตรวจสอบของน้ำมันยางนากลับดีกว่าดีเซลและน้ำมันชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะคาร์บอน (C) ที่มีค่าสูง โดยความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุระหว่างน้ำมันจากพืชอื่น และน้ำมันดีเซลจะมีผลอย่างมากต่อการจุดระเบิดการเผาไหม้ เช่น การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย เป็นต้น [24]

ค่าความร้อนของน้ำมันยางนากลับมีค่าเท่ากับ 45,847 kJ/Kg โดยตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM D240 สูงกว่าน้ำมันดีเซลที่มีค่าเท่ากับ 44,483 kJ/Kg แสดงให้เห็นว่าน้ำมันยางนากลับ B40 มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำมันดีเซล ซึ่งการศึกษาคุณสมบัติค่าความร้อนของ B40 พบว่ามีค่าที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันจากพืช [25] และไบโอดีเซลทั่วไป [26]

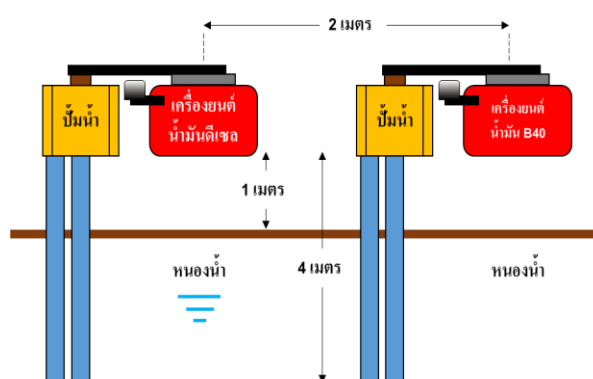
2.3 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบผลกระทบของน้ำมัน B40 ต่อเครื่องยนต์การเกษตรครั้งนี้ ใช้เครื่องยนต์ใหม่ ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT-100 Plus เครื่องยนต์ขนาดเล็ก 4 จังหวะ สูบเดียว ขนาด 10 แรงม้า เป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่นิยมใช้ในภาคการเกษตร จำนวน 2 เครื่อง รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์ขนาด 11 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 88 มิลลิเมตร การทดสอบจะใช้สูบน้ำเป็นระยะเวลา 300 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที

การจัดวางเครื่องสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์และปั๊มสูบน้ำติดตั้งห่างกัน 66 เซนติเมตรจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลย์ของเครื่องยนต์และปั๊มสูบน้ำ

(รูปที่ 2) เพลย์เป็นร่องคู่ใช้สายพานร่อง B ขนาด 65 นิ้ว 2 เส้น ปั๊มสูบน้ำต่อท่อแข็งขนาด 3 นิ้ว ยาว 4 เมตรทั้งทางดูดและทางส่ง หัวกะโหลกใช้หัวกะโหลกทองเหลืองขนาด 3 นิ้วต่อกับปลายท่อทางดูดและจุ่มลงน้ำห่างจากผิวน้ำ ประมาณ 100 เซนติเมตร

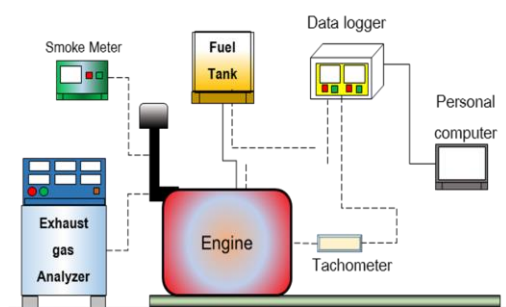
ระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์มีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยจากเครื่องยนต์ เพื่อวิเคราะห์หาค่ามลพิษไอเสีย และปริมาณควันดำ ตำแหน่งการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การจัดวางเครื่องยนต์ในการทดสอบ

2.4 เครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย

แผนผังการวัดการปล่อยก๊าซไอเสีย (รูปที่ 3) ใช้เครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย ยี่ห้อ KANE รุ่น Auto 2-2 Emission Analyser ความสามารถในการวัด 5 ก๊าซ คือ CO วัดได้ในย่านระยะ 0 - 20% โดยปริมาตร, O₂ วัดได้ในย่าน 0 - 25% โดยปริมาตร, HC วัดได้ในย่าน 0 - 10,000 ppm, NO และ NO_x วัดได้ในย่าน 0 - 5000 ppm, CO₂ วัดได้ในย่าน 0 - 20% โดยปริมาตร และอุณหภูมิวัดได้ในย่าน 0 - 500 °C ซึ่งจะทำให้การตรวจวัดค่าต่าง ๆ เหล่านี้ทุก 5 ชั่วโมง และบันทึกผล



รูปที่ 3 แผนผังการตรวจสอบก๊าซไอเสีย และควันดำ

2.5 การตรวจวัดปริมาณควันดำ

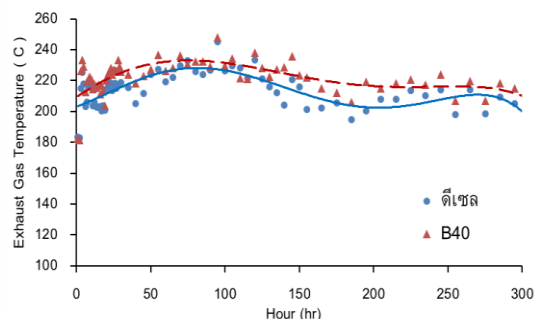
ทำการตรวจวัดควันดำ (รูปที่ 3) ด้วยเครื่องวัดควันดำตามมาตรฐานกรมขนส่ง ยี่ห้อ KOENG รุ่น DS-2000R วัดค่าการทึบแสงของกระดาดกรอง ช่วงระยะการวัด 0.0 - 100% โดยปริมาตร สเกลต่ำสุด 0.1% โดยจะทำการตรวจวัดทุก 50 ชั่วโมงจนครบ 300 ชั่วโมงและบันทึกผล

3. ผลการทดสอบ

3.1 การวัดก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์

ทฤษฎีการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลในส่วนก๊าซไอเสีย อุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้จะมีค่าประมาณ 25% ของการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ [27] อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 221.63 °C สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 229.63 °C ทั้งนี้อาจเกิดจากน้ำมัน B40 มีปริมาณโมเลกุล O สูงกว่าดีเซล และมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า สอดคล้องกับรายงานที่น้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีค่าความร้อนและปริมาณ O สูงกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียสูงกว่าน้ำมันดีเซล [28] เมื่อพิจารณาจากผลการ

ทดสอบทั้งหมด เครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมัน B40 มีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน

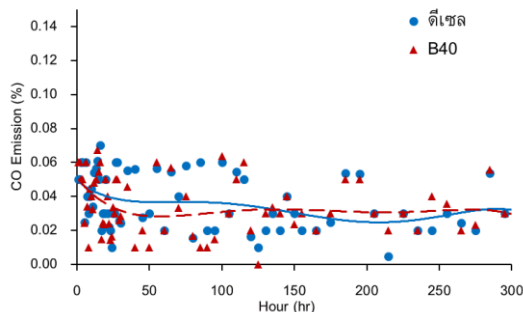


รูปที่ 4 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

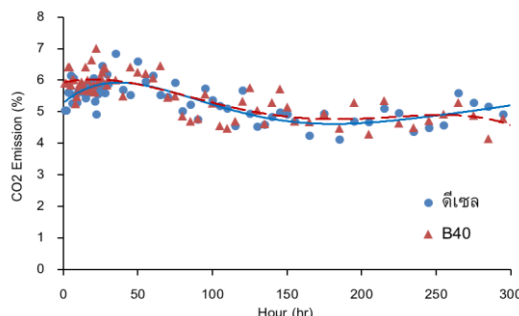
ปริมาณก๊าซ CO ตามมาตรฐาน ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 2 โดยปริมาตร [28] จากผล การศึกษานี้พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีการปล่อยก๊าซ CO เฉลี่ยต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซลเล็กน้อย ตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบจนครบ 300 ชั่วโมง โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.07 โดยปริมาตร (รูปที่ 5) ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีปริมาณก๊าซ O₂ ที่เกิดการสันดาปภายในเพียงพอต่อการเผาไหม้คาร์บอนในเชื้อเพลิงของ B40 และนอกจากนี้การมีปริมาณ O ในโมเลกุลน้ำมัน สูงกว่าน้ำมันดีเซล และ สัดส่วน C/H ที่ต่ำของน้ำมัน B40 ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเผาไหม้มีความ สมบูรณ์กว่า และจากการศึกษาของ Nantha และ Wu [29,30] พบว่าปริมาณก๊าซ CO จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จะมีค่าต่ำลงเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมี สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมมากขึ้น สอดคล้อง กับ [31] การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซ CO เพิ่มขึ้น

ปริมาณก๊าซ CO₂ เกิดจากสภาวะที่มีสัดส่วน ของ O₂ เพียงพอในการเผาไหม้คาร์บอนในเชื้อเพลิงและ เปลี่ยนไปเป็น CO₂ ได้ทั้งหมด [28] จากข้อมูลที่แสดง

ในรูปที่ 6 แนวโน้มของข้อมูลเริ่มลดลงในช่วงโม่งที่ 50 แล้วคงที่ในช่วงโม่งที่ 100 สอดคล้องกับอุณหภูมิสะสมภายในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ที่ประเมินจากอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่พบว่าสูงขึ้น (ดังรูปที่ 4) ส่งผลให้การเผาไหม้ดีขึ้นและปริมาณ CO_2 จึงลดลง เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทั้งหมด เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน ปริมาณ CO_2 ของเครื่องยนต์ B40 เฉลี่ยร้อยละ 5.50 สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลค่าเฉลี่ยร้อยละ 5.36 โดยปริมาตร เพียงเล็กน้อย ซึ่งมีแนวโน้มว่าเครื่องยนต์มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง B40 ได้สมบูรณ์กว่าปริมาณก๊าซ O_2 ที่เข้าไปสันดาปมีเพียงพอว่า จึงเกิดก๊าซ CO_2 ในปริมาณที่สูงกว่า และสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่า การเผาไหม้ของ B40 ในเครื่องยนต์จะให้ก๊าซ CO ที่ต่ำกว่า

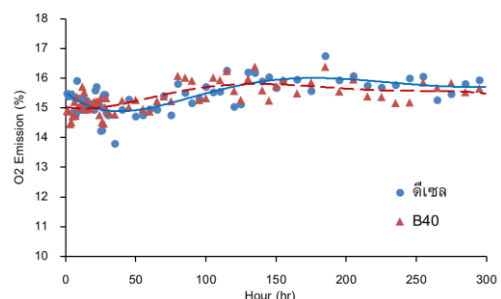


รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซ CO

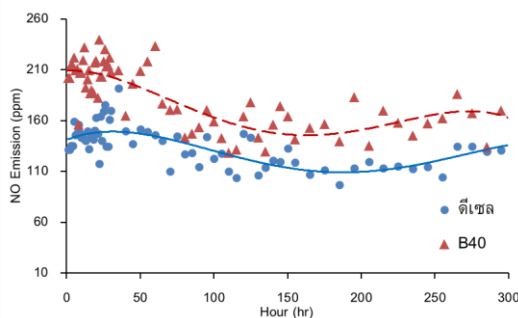
รูปที่ 6 ปริมาณก๊าซ CO_2

ปริมาณก๊าซ O_2 ในกระบวนการเผาไหม้นั้นมีหน้าที่เผาไหม้คาร์บอนในเชื้อเพลิงให้กลายเป็น CO_2 [28] จากผลการทดลองปริมาณก๊าซ O_2 จากไอเสีย (รูปที่ 7) เครื่องยนต์ B40 มีปริมาณก๊าซ O_2 เฉลี่ยร้อยละ 15.33 ใกล้เคียงกับปริมาณ O_2 ของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 15.39 โดยปริมาตร แสดงว่าเครื่องยนต์ใช้ O_2 ในการสันดาปเท่ากัน แต่จะเกิดการเผาไหม้น้ำมัน B40 ได้ดีหรือสมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโมเลกุลน้ำมันของ B40 ที่มีความเหมาะสมในการเผาไหม้ได้ดีกว่า

การปล่อยก๊าซ NO (รูปที่ 8) และปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_x (รูปที่ 9) แนวโน้มของข้อมูลเริ่มลดลงในช่วงโม่งที่ 50 แล้วคงที่ในช่วงโม่งที่ 100 สอดคล้องกับอุณหภูมิสะสมภายในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ที่ประเมินจากอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่พบว่าสูงขึ้น (ดังรูปที่ 4) ส่งผลให้การเผาไหม้ดีขึ้นและปริมาณ CO_2 จึงลดลง เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทั้งหมด เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน ปริมาณก๊าซ NO_x จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 เฉลี่ย เท่ากับ 189.87 ppm สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 141.74 ppm ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง สอดคล้องกับน้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณการปล่อยก๊าซ NO เพิ่มขึ้น [31]

รูปที่ 7 ปริมาณก๊าซ O_2

การศึกษาก่อนหน้านี้ของ [28] พบว่าเมื่อมีการผสมน้ำมันในสัดส่วนที่มีปริมาณไบโอดีเซลมากขึ้น จะพบว่าก๊าซ NO_x ยิ่งเกิดมากขึ้น เพราะความร้อนการเผาไหม้ของไบโอดีเซลมีค่าสูง [29] คล้ายคลึงกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชทอดซ้ำ พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_x มีการปล่อยที่สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด [4,32] และการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซลมีปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_x สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล อัตราส่วนผสมที่มีการปล่อยก๊าซไอเสียสูงสุดคือใส่น้ำมันไบโอดีเซล 25% [10]

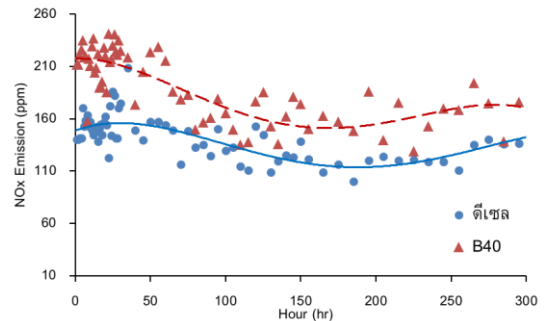


รูปที่ 8 ปริมาณก๊าซ NO

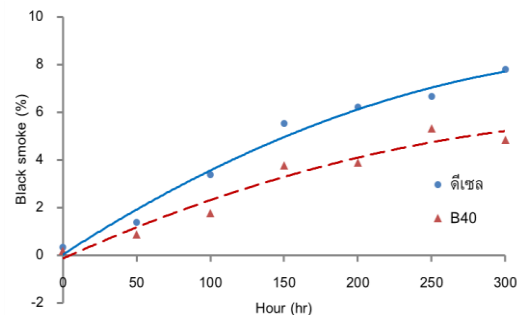
3.2 ปริมาณควันดำจากการทดสอบเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีการปล่อยควันดำเฉลี่ยร้อยละ 3.41 ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งมีปริมาณควันดำเฉลี่ยร้อยละ 5.16 โดยปริมาตร (รูปที่ 10) บ่งชี้ว่าปฏิกิริยาการสันดาประหว่างสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน 40 กับออกซิเจนมีสัดส่วนเหมาะสม ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่าน้ำมันดีเซล [27] และส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากโมเลกุล O ของน้ำมัน B40 มีมากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้ดีขึ้น [29] คล้ายคลึงกับน้ำมัน B20 ที่มีการปล่อยควันดำต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่าง

มีนัยสำคัญ[33] อีกหลายงานวิจัยที่รายงานว่าน้ำมันจากพืชปล่อยควันดำสูงกว่าน้ำมันดีเซล [12,13]



รูปที่ 9 ปริมาณก๊าซ NO_x



รูปที่ 10 ปริมาณควันดำจากการเผาไหม้

4. สรุป

การวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลทางภาค 4 จังหวัด 1 สิบจำนวน 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 จากการใช้เครื่องยนต์จริงในระยะเวลาต่อเนื่อง 300 ชั่วโมง ปริมาณก๊าซ CO จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 ต่ำกว่า เครื่องยนต์ดีเซล และ O_2 จากเครื่องยนต์ทั้งสอง พบว่ามีปริมาณเฉลี่ยลดตลอดระยะเวลาทดสอบที่เท่ากัน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 จะมีการปล่อยก๊าซ CO_2 มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ปริมาณการปล่อยก๊าซ NO และ NO_x ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 นั้นจะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ควันดำของเครื่องยนต์ B40 สูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อพิจารณา

จากผลการทดสอบทั้งหมด เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน จากผลการทดสอบสามารถใช้ น้ำมัน B40 เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลได้ระยะเวลา 300 ชั่วโมง และงานวิจัยในอนาคตควรมีการเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากฝ่ายวิจัยและการถ่ายทอดเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้ยานานุกรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กองจัดการสาธารณูปโภค พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Masum BM, et al. Effect of ethanol-gasoline blend on NOx emission in SI engine. *Renew Sustain Energy Rev* 2013; 24:209-22.
- [2] Hansen AC, et al. Ethanol - diesel fuel blends - a review 2010; 96:277-85.
- [3] Zheng M, et al. Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion. *Fuel* 2008; 87:714-22.
- [4] Shahid EM, Jamal Y. A review of biodiesel as vehicular fuel. *Renew Sustain Energy Rev* 2008; 12:2484-94.
- [5] Huzayyin AS, et al. Experimental evaluation of Diesel engine performance and emission using blends of jojoba oil and Diesel fuel. *Energy Convers Manag* 2004; 45:2093-112.
- [6] Barnwal BK, Sharma MP. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renew Sustain Energy Rev* 2005; 9:363-78.
- [7] Basinger M, et al. Durability testing modified compression ignition engines fueled with straight plant oil. *Energy* 2010; 35:3204-20.
- [8] Agarwal AK. Karanja oil utilization in a direct-injection engine by preheating. the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering 2010; 224(1):85-97.
- [9] Schumacher LG, et al. Heavy-duty engine exhaust emission tests using methyl ester soybean oil/diesel fuel blends. *Bioresour Technol* 1996; 57:31-6.
- [10] Barrios CC, et al. Effects of animal fat-based biodiesel on a TDI diesel engine performance, combustion characteristics and particle number and size distribution emissions. *Fuel* 2014; 117:618-23.
- [11] Labeckas G, Slavinskas S. Comparative performance of direct injection diesel engine operating on ethanol, petrol and rapeseed oil blends.

- Energy Convers Manag 2009; 50:792-801.
- [12] Yilmaz N, Morton B. Effects of preheating vegetable oils on performance and emission characteristics of two diesel engines. Biomass and Bioenergy 2011; 35:2028-33.
- [13] Singh PJ, et al. Preparation, characterisation, engine performance and emission characteristics of coconut oil-based hybrid fuels. Renew Energy 2010; 35:2065 – 70.
- [14] Misra RD, Murthy MS. Straight vegetable oils usage in a compression ignition engine - A review. Renew Sustain Energy Rev 2010; 14:3005 - 13.
- [15] Yang k. *Dipterocarpus alatus*. [Internet] Agrofor Database 40; 2009. [cited 2019 Oct 10] Available from: http://old.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Dipterocarpus_alatus.PDF.
- [16] Patanapong S. Natural diesel substitute tested in Nakhon Phanom. [Internet] Bangkokpost; 2019 [cited 2019 Aug 21]. Available from: <https://www.bangkokpost.com/thailand/general/1475729/natural-diesel-substitute-tested-in-nakhon-phanom>.
- [17] Suiyay C, et al. Production of gasoline-like-fuel and diesel-like-fuel from hard-resin of Yang (*Dipterocarpus alatus*) using a fast pyrolysis process. Energy 2019; 187:115967.
- [18] Katekaew S, et al. Study Wear of the Agricultural Engine by Using Yang-Na Oil. 2018 IEEE 5th Int Conf Eng Technol Appl Sci ICETAS 2018; 2019:1-5.
- [19] Sahassawas P, et al. Eval. Engine Wear Using Yang-Na Oil as Fuel by Anal. Lubr. The National and international Graduate Research Conference; 10 Mar 2017; Fuel Filters; Khon Kaen University. Khon Kaen. Thailand; 2017.
- [20] Names L, Description B. *Dipterocarpus alatus* *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don; 2009.
- [21] NEN – the Netherlands Standardization Institute Ortwin Costenoble. Worldwide Fuels Standards Overview of specifications and regulations on (bio) fuels; 2006.
- [22] Agarwal AK, Rajamanoharan K. Experimental investigations of performance and emissions of Karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural diesel engine 2009; 86:106 - 12.
- [23] Schlick ML, et al. Soybean and Sunflower Oil Performance in a Diesel Engine. Trans ASAE 2013; 31:1345 - 9.

- [24] Ryan TW, et al. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. *J Am Oil Chem Soc* 1984; 61: 1610-9.
- [25] Murugesan A, et al. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2009; 13:653-62.
- [26] Ali I, Mohd JF. Relationships Derived from Physical Properties of Waste Cooking Oil / Diesel Blends and Biodiesel Fuels. *J Adv Res Fluid Mech Therm Sci J Homepage* 2019; 54:191-203.
- [27] Kaufman KR, Ziejewski M. *Direct Injected Diesel Engines* 1984.
- [28] Lheywood JB. *Internal combustion engine gasket*. vol. 2010. United States of America; 2010.
- [29] Nantha GK, Thundil KR. Effect of pongamia biodiesel on emission and combustion characteristics of di compression ignition engine. *Ain Shams Engineering Journal* 2014; 10: 01.
- [30] Wu F, et al. A study on emission performance of a diesel engine fueled with five typical methyl ester biodiesels. *Atmos Environ* 2009; 43:1481-5.
- [31] Canakci M. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. *Bioresour Technol* 2007; 98:1167-75.
- [32] Mazumdar B, Agarwal AK. Performance, emission and combustion characteristics of biodiesel (waste cooking oil methyl ester) fueled IDI diesel engine. *SAE Technical Paper* 2008; 1384:776-90.
- [33] Proc K, et al. 100,000-mile evaluation of transit buses operated on biodiesel blends (B20). *SAE Tech Pap* 2006:776-90.

ข้อแนะนำในการส่งต้นฉบับบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (FEAT Journal) มีกำหนดออกเป็นราย 6 เดือน คือ มกราคม - มิถุนายน และกรกฎาคม - ธันวาคม ของทุกปี จัดพิมพ์โดยกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นการส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ ผลงานทางวิชาการ งานวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพร้อมทั้งยังจัดส่ง เผยแพร่ตามสถาบันการศึกษาต่างๆ ในประเทศด้วย บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสาร FEAT ทุกบทความนั้นจะต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องและสงวนสิทธิ์ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2535

ต้นฉบับบทความ

โปรดปฏิบัติตามหลักเกณฑ์อย่างเคร่งครัด จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Window ชนิดตัวอักษรในบทความฉบับภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จะต้องใช้ตัวอักษร Cordia New ทั้งหมด ความยาวของต้นฉบับ ไม่เกิน 10 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

ชื่อบทความภาษาไทย Cordia New (ขนาด 16 จุด ตัวเข้ม)

ชื่อบทความภาษาอังกฤษ 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

ตัวอย่างการจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับสำหรับตีพิมพ์ในวิศวกรรมสาร 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

1. บทนำ

บทความนี้แสดงตัวอย่างแนวทางการเตรียมต้นฉบับของคุณเพื่อตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น และโปรดปฏิบัติตามหลักเกณฑ์อย่างเคร่งครัด จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Window ความยาวของต้นฉบับจะต้องไม่เกิน 10 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 (ปรับให้

บรรทัดมีขนาดเท่ากับอักษรขนาด 8 จุด) ส่วนหัวข้อย่อยให้เขียนตามตัวอย่าง ดังรายการต่อไปนี้

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 จัดชื่อบทความชิดทางกรอบซ้าย

3. ชื่อผู้แต่งและสถานที่ติดต่อ

ชื่อผู้แต่งให้พิมพ์ใต้ชื่อบทความ จัดชื่อผู้แต่งให้อยู่ชิดทางกรอบซ้าย ใช้ตัวอักษรธรรมดาขนาด 14 จุด ในกรณีมีผู้ทำวิจัยหลายท่านจากหน่วยงานต่างกันให้กำกับด้วยก^{1), 2)} ไว้หลังชื่อ สำหรับ Corresponding ให้ใส่เครื่องหมาย *กำกับไว้ท้ายชื่อ สถานที่ติดต่อ ให้พิมพ์ที่อยู่หน่วยงาน รหัสไปรษณีย์ ประเทศ พิมพ์ใต้ชื่อผู้แต่งใช้ตัวธรรมดาขนาด 12 จุด จัดชิดทางกรอบซ้าย

4. บทคัดย่อ

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

5. คำสำคัญ

บทความแต่ละเรื่องควรมีคำสำคัญ 4-6 คำ เพื่อระบุหัวข้อสำคัญที่กล่าวถึงในบทความ ควรใส่คำสำคัญต่อบทคัดย่อโดยไม่ต้องเว้นบรรทัด

6. เนื้อความ

เมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่ไม่ต้องเว้นบรรทัดเมื่อจะเริ่มต้น พิมพ์ย่อหน้าใหม่ ให้พิมพ์บทความบนด้านเดียวของกระดาษ A4 โดยไม่ต้องใส่หมายเลขหน้าเวลาพิมพ์บทความ

7. ผลการวิจัย

เสนอผลการวิจัยอย่างชัดเจน ตรงประเด็น ควรมีรูปภาพ หรือตารางประกอบ ซึ่งเมื่อมีรูปหรือตารางประกอบต้องระบุเชื่อมโยงในเนื้อหาบทความ การอธิบายไม่ซ้ำซ้อนกัน สำหรับการระบุหน่วยต่างๆ ใช้ภาษาไทยและใช้การอธิบายเปอร์เซ็นต์ด้วยคำว่า ร้อยละ ในกรณีที่กำหนดหน่วยเป็นภาษาอังกฤษให้ระบุแบบเดียวกันทั้งหมด

7.1. การลำดับตัวเลข

การลำดับตัวเลขเพื่ออ้างถึง รูปภาพ ตารางและ สมการจะต้องเป็นเลขอาราบิก ทุกสมการจะต้องมีวงเล็บวงไว้ขีดขอบขวา ดังตัวอย่างต่อไปนี้

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

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

7.2. รูปภาพและตาราง

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

รูปภาพควรมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็น รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายภาพกำกับได้ภาพ โดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ จาก รูปที่ 1, รูปที่ 2, ... พิมพ์หมายเลขและชื่อรูปไว้ใต้รูปภาพ จะต้องกำหนดให้อยู่ตรงกลางเอกสาร ให้เว้นช่องว่าง 1 บรรทัด หลังคำบรรยายรูป รูปภาพทุกรูป และตารางทุกตารางที่ปรากฏในบทความจะต้องมีการอ้างอิงในเนื้อหา

ในกรณีที่เป็นการอ้างอิงจะต้องมีคำบรรยายกำกับ
ตารางไว้เหนือตารางโดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ
จาก 1, 2, 3,... ตารางจะต้องกำหนดให้ชิดขอบซ้าย
ของเอกสาร ให้เว้นช่องว่าง 1 บรรทัดก่อนคำบรรยาย
ตารางและหลังตาราง 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	2.7470e+01	2.7483e+01
0.5	3.5352e+01	3.5360e+01

8. การอภิปรายผล

การอภิปรายผลวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านมีความเห็น
คล้ายตามเพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น
เพื่อเสนอแนะที่จะใช้ประโยชน์ หาข้อยุติในการวิจัย
บางอย่าง ฯลฯ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลอาจ
นำมาเขียนไว้ในตอนเดียวกัน

9. สรุป

สรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัย ไม่ควรมี
ความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการ
ตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่ง
บทความ

10. กิตติกรรมประกาศ

เพื่อเป็นการแสดงความขอบคุณผู้ให้ทุนสนับสนุน
สรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัย ไม่ควรมี
ความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการ
ตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่ง
บทความ

11. เอกสารอ้างอิง

การเขียนเอกสารอ้างอิงใช้ระบบแวนคูเวอร์
(Vancouver Style) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ทั้งนี้เพื่อความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของ
บทความท่านควรใช้เอกสารอ้างอิงจากวารสารที่อยู่ใน
ฐาน TCI (Thai Journal Citation Index Centre) ที่
สามารถตรวจสอบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และ
ควรใช้การอ้างอิงจากรายงานผลการวิจัย เอกสาร
ประกอบการประชุม และหรือวิทยานิพนธ์เท่าที่จำเป็น

11.1. การอ้างอิงในเนื้อหา

แบบการอ้างอิงเอกสารในเนื้อหาของ
บทความ ใช้ระบบตัวเลข ให้เรียงลำดับเลขตามลำดับ
ของเอกสารที่มีการอ้างถึงในเนื้อหาและหมายเลขที่
อ้างถึงในเนื้อเรื่อนั้นจะต้องตรงกับหมายเลขที่มีการ
กำกับไว้ในส่วนเอกสารอ้างอิงด้วย ให้ใช้ตัวเลขอา
รบิกในวงเล็บต่อท้ายข้อความที่นำมาอ้างอิงใน
บทความ เช่น [1] หรือ [2-4, 8, 10] หมายถึงอ้างถึง
ลำดับผู้แต่งที่ 1 หรือ ลำดับที่ 2, 3, 4, 8, 10 โดย
เรียงลำดับจากหมายเลข 1, 2, 3,... ไปจนถึงเลขที่
สุดท้าย ตามการอ้างอิงการเขียนเอกสารอ้างอิง

11.2. ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง ท้ายเรื่อง

เขียนอ้างอิงแบบแวนคูเวอร์ และ
ใส่อ้างอิงในท้ายเรื่องเฉพาะที่มีปรากฏในเนื้อหา
บทความหรือบทความวิจัยเท่านั้น

1. การเขียนอ้างอิงจากหนังสือ

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

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

2. การเขียนอ้างอิงจากวารสาร

[3] Ramazan B, et al. 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(1): 321-8.

[4] สุกัญญา หงส์ทอง และ สมใจ ขจรชีพพันธุ์
งาม. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าว
ด้วยกระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเมทานอลภาวะเหนือ
วิกฤต. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. 2553;
18 (3): 20-6.

3. 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. การลดปริมาณสี
ย้อมผ้าไหมโดยการประยุกต์ใช้หลักการ
เทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ
ขนาดเล็ก. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต]. ขอนแก่น:
มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2553.

4. การเขียนอ้างอิงจากบทความจากการประชุม วิชาการ

[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 พัชร หอวิจิตร และ
สุนนา ราษฎร์ภักดี. การจัดการการใช้
น้ำสำหรับกระบวนการย้อม ในอุตสาหกรรม
ผลิตพรมตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด.
การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่
14, 27-29 พฤษภาคม 2558, จังหวัด
เชียงใหม่; 2558.

5. 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/](http://www.nap.edu/books/0309074029/html/)
- [10] ทานตะวัน. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่
16 กรกฎาคม 2550]. เข้าถึงได้จาก:
[http://www.doae.go.th/html.detail.sunfl
ower.t2.gif](http://www.doae.go.th/html.detail.sunflower.t2.gif)