



Farm Engineering And Automation Technology
Research Group , Khon Kaen University

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและ เทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

Farm Engineering and Automation Technology Journal

บรรณาธิการ	รศ.ดร. รัชพล	สันติวรการ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
กองบรรณาธิการ	ผศ.ดร. ชัยยันต์	จันทร์ศิริ	สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	รศ.ดร. วิโรจน์	ภัทรจินดา	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. ชนิษฐา	คำวิสัยศักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	อ.ดร. กัลยกร	ขวัญมา	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	อ.ดร. ธัญลักษณ์	ราษฎร์ภักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	อ.ดร.ธีรวัฒน์	เหล่านากุล	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร.ธนา	ราษฎร์ภักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. สุธมน	ราษฎร์ภักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ดร.วชิส	ลีลาภัทร	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ดร.ธัญญานภาพ	อานันทนะ	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ผศ.ดร.จำเริญ	เกษมสาคร	สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	ผศ.ดร.พงษ์ชัย	จิตตะมัย	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	ผศ.ฤกษ์ชัย	ศรีวรมาศ	สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ผศ.ดร.นิยม	กำลังดี	สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
	ผศ.คำณ	พิทักษ์	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
	ผศ.ดร.เสาวคนธ์	วัฒนจันทร์	สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ฝ่ายจัดการวารสาร	นางสาวเอี่ยมพร	แสงเรือง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

จุดมุ่งหมายและขอบเขต

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น FEAT JOURNAL (Farm Engineering and Automation Technology Journal, Khon Kaen University: FEAT) เป็นวารสารทางวิชาการซึ่งบทความทุกเรื่องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น (peer-reviewed journal) วารสารรับผลงานทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับ (original) ในด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อเผยแพร่เทคโนโลยีที่มีคุณค่าแก่นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป โดยวารสารเคร่งครัดในเรื่องผลงานวิชาการที่เป็นต้นฉบับ และไม่ใช้ผลงานที่คัดลอก โดยวารสารมีกำหนดออก ปีละ 2 ฉบับ (รายหกเดือน) มีการเผยแพร่ในรูปแบบเล่มสำหรับจัดส่งให้หน่วยงานหรือผู้ที่สนใจ และเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เว็บไซต์ <http://feat.kku.ac.th>

ขอบเขตของเนื้อหาที่ตีพิมพ์ในวารสารประกอบด้วยบทความที่เกี่ยวข้องในประเด็นดังต่อไปนี้

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. 043-202845 email: feat.kku@gmail.com

บทบรรณาธิการ



เรียน ท่านสมาชิกวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ และผู้อ่านทุกท่าน

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (Farm Engineering and Automation Technology Journal : FEAT Journal) ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน 2558 ฉบับนี้เป็นฉบับแรกของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นที่จะเผยแพร่องค์ความรู้ ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ให้แก่นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไป ได้ทราบ และสามารถเรียนรู้ นำไปต่อยอดความรู้ และแก้ไขปัญหาในการทำงานด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติได้ วารสารนี้ มีกำหนดตีพิมพ์ทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในฉบับนี้ มีบทความวิจัย จำนวน 8 บทความ ซึ่งท่านสามารถติดตาม และอ่านบทความฉบับนี้ได้ที่เว็บไซต์ <http://feat.kku.ac.th>

กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารเล่มนี้จะเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ให้แก่ผู้สนใจทั่วไปได้ และขอขอบพระคุณนักวิจัยที่ได้ส่งบทความมาลงตีพิมพ์ หากมีคำติชมหรือข้อเสนอแนะใดเกี่ยวกับวารสาร สามารถติดต่อได้โดยตรงที่กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผ่านเว็บไซต์ข้างต้น หรือ Email : feat.kku@gmail.com

รศ.ดร.รัชพล สันติวรากร

บรรณาธิการ

30 มิถุนายน 2558

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบหมุนเวียนอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิดด้วยซึ่งลม ชยานนท์ วิเศษ รัชพล สันติวรกร สรยุทธ วินิจชัย และ Jr-Ping Wang	1
การกำจัดกลิ่นแอมโมเนียในอากาศ ด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล และ สาณท ทองสุจริตพันธ์	9
การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตามและระบุตำแหน่งโคเนื้อในภาคปศุสัตว์ ชาญวิธ สุวรรณพงศ์ และ วีรธรรม ไชยวงศ์	15
การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียน ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับ ระบบสมองกลฝังตัว และระบบการประมวลผลภาพ ณรงค์เดช กิริติพรานนท์ สโรชา เจริญวัย และ จตุรพร แก้วสมจิต	23
การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล วสันต์ วงษ์ราช และ ชนกนันท์ สุขกำเนิด	33
การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำมันด้วยน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัด ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี ขวัญกมล พรหมมา วันวิสาข์ ทองอินทร์ และ นฤนาท เสวีวัฒน์	43
Parameters Tuning Optimization of Second-Order Sliding Mode Control by Response Surface Methodology Thana Radpukdee	49
การศึกษาการใช้เปลือกธัญพืชที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาใช้เป็นตัวประสาน ถ่านอัดแท่ง พิรุณ ชมศรี และ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ	61



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

Vol.1NO.1January - June 2015

Air Ventilation Efficiency Improvement for a Broiler House with Air Deflectors	1
<i>ChayanonVisate, RatchaphonSuntivarakorn andJr-Ping Wang</i>	
Ammonia odor removal using biofiltration process	9
<i>PrapatPongkiatkuland SanotThongsujaritphan</i>	
The Application of Wireless Sensor Network to Monitor and Identify the Position of Beef Cattlein the Livestock Production	15
<i>ChanwitSuwannapong and WeerathumChaiyong</i>	
Performance Improvement for a Drying Process of Durian Particle Board using Hot Air Oven with Embedded System and Image processing	23
<i>NarongdechKeeratipranon, SarochaCharoenvai and JaturapornKaewsomjit</i>	
A Model of System Improvement for Electricity Cogeneration Sugar Factories	33
<i>WasanWongrat and ChanoknanSookkumnerd</i>	
Algae Oil Cultivation using Treated Domestic Wastewater	43
<i>ThunyaluxRatpukdi, KwankamonPromma, Wanwisa Thong-in and NarunartSewiwat</i>	
Parameters Tuning Optimization of Second-Order Sliding Mode Control by Response Surface Methodology	49
<i>Thana Radpukdee</i>	
A study and Test of Washing Peeling Cassava Root from the Production of Cassava Starch for used as a Binder for Charcoal	61
<i>PirunChomsri and ChaiyanChansiri</i>	



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบหมุนเวียนอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิดด้วยซึ่งลม

Air Ventilation Efficiency Improvement for a Broiler House with Air Deflectors

ชยานนท์ วิเศษ¹, รัชพล สันติวรากร^{2*}, สรยุทธ วินิจชัย³ และ Jr-Ping Wang⁴

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น 40002

³ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น 40002

⁴ Department of Naval Architecture, National Kaohsiung Marine University, Kaohsiung City, Taiwan 81143

Received: January 2015

Accepted: June 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบหมุนเวียนอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิดด้วยซึ่งลม (Air deflectors) โดยจะทำการศึกษารูปแบบการไหลของอากาศภายในโรงเรือนที่มีรูปแบบหน้าตัดห้าเหลี่ยม กว้าง 14 เมตร ยาว 120 เมตร สูง 3.8 เมตร และอยู่ในสภาวะการไหลแบบ Maximum ventilation ในการศึกษาจะทำการจำลองการไหลทางคณิตศาสตร์ของอากาศภายในโรงเรือนเปรียบเทียบกับระหว่างโรงเรือนที่ติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งซึ่งลมและเปรียบเทียบความเร็วลมกับการทดลอง จากผลการศึกษาพบว่า ที่ระนาบความสูงจากพื้น 0.3 เมตร ซึ่งเป็นระนาบที่มีผลต่อการเลี้ยงไก่เนื้อมากที่สุด การติดตั้งซึ่งลมจะทำให้พื้นที่ที่มีความเร็วในช่วงความเร็วมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐานสำหรับการเลี้ยงไก่เนื้อเพิ่มขึ้น 14.35% และสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเปลี่ยนอากาศให้มีค่าเพิ่มขึ้น จากเดิม 0.86 air change/min เป็น 1.37 air change/min คิดเป็น 59.3% ซึ่งจะส่งผลดีต่อการเลี้ยงไก่เนื้อในโรงเรือนปิด แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งซึ่งลมจะทำให้ความดันสถิต (Static pressure) ภายในโรงเรือนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของพัดลม เนื่องจากการเพิ่มแรงต้านทานการไหลของอากาศภายในโรงเรือน

คำหลัก : ระบบหมุนเวียนอากาศ ซึ่งลม รูปแบบการไหล

Abstract

This research presents an improvement of the air change rate efficiency for a closed system broiler house with air deflectors. The air deflectors were installed in the broiler house in order to improve the air change rate. The closed system broiler house, which were a 14x120x2.4 m³ rectangular cross-section and maximum ventilation situation, was used to test in the experiment. The experiment and simulation were conducted in order to know the air velocity, and the comparison of both results was done. From the experimental result, it was found that the air

*ติดต่อ : ratchaphon@kku.ac.th, โทรศัพท์ 0-4334-7879, โทรสาร 0-4334-7879

velocity of broiler house with the air deflectors was higher than the house without air deflectors. The mathematical simulation result was also showed the similar result with that of the experiment. The air deflectors can increase the area, where the air velocity was in standard and above standard duration 14.35%. Thus, the air change rate was increased from 0.86 to 1.37 air change/min for the broiler house. However, the installations of air deflectors make static pressure in the house increase. This will affect to the fan performance because the airflow resistance in the house was increased.

Keywords : poultry ventilation, deflectors, flow profiles

1. บทนำ

ระบบการเลี้ยงไก่เนื้อในระดับอุตสาหกรรมในประเทศไทยนิยมใช้ระบบการเลี้ยงในระบบปิด เนื่องจากการเลี้ยงในระบบปิดจะสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนและลดการสูญเสียเนื่องจากโรคระบาดได้ดีกว่าระบบเปิด ดังนั้นการเลี้ยงไก่เนื้อในระบบปิดจึงมีผลการเลี้ยงที่ดีกว่าระบบเปิด ระบบหมุนเวียนอากาศในโรงเรือนระบบปิดจะใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling system) และลักษณะการไหลของอากาศภายในโรงเรือนระบบปิดส่วนใหญ่จะมีลักษณะการไหลแบบอุโมงค์ (Tunnel flow ventilation) การออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศภายในโรงเรือนระบบปิดจะต้องคำนึงถึงอัตราการเปลี่ยนอากาศให้เหมาะสมกับจำนวนไก่เนื้อที่อยู่ภายในโรงเรือน ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศภายในโรงเรือนระบบปิดมีอยู่หลายวิธีและหลายลักษณะ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ การศึกษาเฉพาะทฤษฎีที่ใช้ในการทำนายการไหลภายในโรงเรือนปิดและการศึกษาทฤษฎีแล้วทำการทดสอบเปรียบเทียบในโรงเรือนที่ใช้งานจริง Nielsen et al. [1] ได้ทำการศึกษการทำนายการไหลภายในโรงเรือนโดยใช้วิธี k - ϵ turbulence model แบบสองมิติและ Murakami et al. [2] ได้ทำการศึกษการทำนายการไหลในสามมิติพบว่า วิธี k - ϵ turbulence model สามารถทำนายการไหลทั้งในสองมิติและสามมิติได้แม่นยำและมีความน่าเชื่อถืออย่างมีนัยสำคัญ Blanes-Vidal [3] ได้ทำการเปรียบเทียบการทำนายการไหลของอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อกับการทดลอง พบว่าการทำนายการไหลสามารถให้ผลการ

คำนวณที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างโรงเรือนที่สามารถใช้งานจริงได้ Chayanon et al. [4] ได้ทำนายการไหลในโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่แบบปิดโดยใช้ k - ϵ turbulence model พบว่าตลอดแนวความยาวของโรงเรือนมีจุดอับลมหรือจุดที่ความเร็วลมต่ำ ซึ่งส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

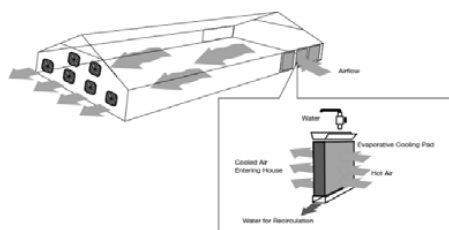
ในการศึกษาวิธีที่สามารถเพิ่มความเร็วมวลภายในโรงเรือนแบบปิดมีอยู่หลายวิธี เช่น การเพิ่มจำนวนพัดลมท้ายโรงเรือน การลดความดันสถิต (static pressure) ภายในโรงเรือน และการติดตั้งซึ่งลม (Air deflectors) ซึ่งการติดตั้งซึ่งลมให้กับโรงเรือนระบบปิดจะต้องมีขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมจึงจะทำให้รูปแบบการไหลและความเร็วมวลภายในโรงเรือนดีขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาวิธีที่จะเพิ่มประสิทธิภาพระบบหมุนเวียนอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิดในประเทศไทยโดยใช้ซึ่งลม เพื่อทำให้ความเร็วมวลของพื้นที่การเลี้ยงไก่ในโรงเรือนสูงขึ้นและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมากที่สุด

2. ทฤษฎี

2.1 ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling system)

ระบบการควบคุมสภาวะอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไก่โดยทั่วไปจะใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling system) ในการควบคุมสภาวะอากาศในโรงเรือนซึ่งมีส่วนประกอบคือ แผงทำความเย็น (Cooling pads) พัดลม บ่อพักน้ำ ปั๊มน้ำ ระบบท่อน้ำ และชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยมีหลักการทำงานของระบบควบคุม

สภาวะอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไก่คือ จะมีการติดตั้งพัดลมบริเวณท้ายโรงเรือนเพื่อดูดอากาศภายในโรงเรือนออกจากโรงเรือน ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกโรงเรือนโดยจะทำให้ความดันภายในโรงเรือนมีสภาวะเป็นความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Negative pressure) จากที่สภาวะภายในโรงเรือนเป็น Negative pressure จะส่งผลให้อากาศภายนอกโรงเรือนถูกดูดผ่าน Cooling Pad ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณหน้าโรงเรือนเข้าสู่ภายในโรงเรือน อากาศที่ผ่าน Cooling pads เข้ามาในภายในโรงเรือนก็จะมีอุณหภูมิลดต่ำลง ไหลผ่านตัวไก่ตามความยาวของโรงเรือนและถูกดูดออกทางท้ายโรงเรือนดังแสดงในรูปที่ 1 [5]



รูปที่ 1 การทำงานของระบบควบคุมสภาวะอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไก่

โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาวิธีการที่เพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิดที่มีจำนวนไก่ประมาณ 16,000 ตัวต่อโรงเรือน โรงเรือนมีขนาด 14x120x3.8 เมตร มีพัดลมขนาด 22,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จำนวน 12 ตัว และมี Cooling Pad ขนาดพื้นที่ 64.8 m² ติดตั้งบริเวณด้านหน้าของโรงเรือน

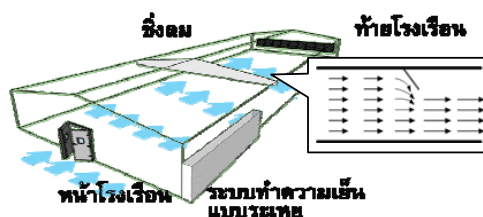
2.2 ระเบียบมาตรฐานฟาร์มไก่เนื้อ

เพื่อเป็นการพัฒนาสินค้าเกษตรและยกระดับฟาร์มเลี้ยงไก่ของประเทศไทยให้ได้มาตรฐาน กรมปศุสัตว์ [6] ได้กำหนดระเบียบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่ภายในโรงเรือนระบบปิดขึ้น ตามประกาศกระทรวงเกษตร

และสหกรณ์ เรื่องมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย พ.ศ.2542 และในงานวิจัยนี้ได้นำค่ามาตรฐานบางส่วนมาใช้เป็นค่าอ้างอิง คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศทั้งหมดภายในโรงเรือน ในกรณีอากาศปกติใช้เวลา 45 วินาที ถึง 75 วินาที ความชื้นสัมพัทธ์ 50 - 80 % พื้นที่ในการเลี้ยงน้ำหนักไก่เป็นรวมไม่เกิน 34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนอยู่ระหว่าง 20 - 30 องศาเซลเซียส โดยในการศึกษาจะใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนอากาศในกรณีอากาศปกติในการพิจารณาคือ ใช้เวลา 45 วินาที ถึง 75 วินาที ต่อการเปลี่ยนอากาศ 1 ครั้ง คิดเป็นความเร็วลม 1.6-2.67 เมตร/วินาที

2.3 ซิงลม (Air deflectors)

ซิงลมคืออุปกรณ์ที่นิยมใช้กับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่มีรูปแบบลักษณะการไหลแบบอุโมงค์ และมีความต้องการที่จะลดความสูงของเพดานโรงเรือนเพื่อเพิ่มความเร็วลมภายในโรงเรือน โดยซิงลมจะมีลักษณะคล้ายกับผ้ามาง ติดตั้งตั้งฉากกับทิศทางการไหลของลมภายในโรงเรือน ขอบด้านล่างของซิงลมจะมีความสูงจากพื้นตามความต้องการของผู้ใช้งาน ผลของการติดตั้งซิงลมจะทำให้กระแสการไหลของลมที่ไหลผ่านได้ซิงลมมีความเร็วลมสูงขึ้น เนื่องจากซิงลมจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือนที่ลมไหลผ่านลดลง โดยในการศึกษาซิงลมจะมีลักษณะเป็นรูปห้าเหลี่ยม มีความกว้าง 14 ม. สูง 1.4 ม. ดังที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงลักษณะและการทำงานของซิงลม

2.4 การคำนวณและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic, CFD) เป็นการวิเคราะห์ระบบที่เกี่ยวข้องกับการไหลและการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งในปัจจุบันการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นิยมทำด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพสูงและโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลมีการออกแบบมาให้เข้าถึงความเข้าใจและสะดวกในการใช้งาน การคำนวณหาผลเฉลยของวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณจะให้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods) ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 วิธีคือ วิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method, FDM) วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) และวิธีสเปกตรัล (Spectral Method) ซึ่งวิธีทั้งสามมีความแตกต่างกันและเหมาะสมกับการคำนวณที่แตกต่างกัน ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method, FVM) เป็นวิธีการทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ได้รับการพัฒนามาจากวิธีผลต่างสืบเนื่อง และสามารถให้คำตอบที่มีความแม่นยำในระดับที่เชื่อถือได้ ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด คือ การศึกษาเฉพาะปริมาตรที่จำกัดขอบเขตเอาไว้ จากนั้นทำการแบ่งพื้นที่เหล่านั้นเป็นช่องเล็กๆ ในรูปแบบของตารางแล้วทำการพิจารณาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของแต่ละปริมาตร (Volume) ซึ่งปริมาตรที่ทำการพิจารณาจะเรียกว่า ปริมาตรควบคุม (Control Volume, CV) โดยในการพิจารณาจะใช้คุณสมบัติทางพลศาสตร์ของ Volume ที่อยู่ติดกับ Control Volume ในทุกทิศทาง (ตามแนวแกน x,y,z) เพื่อหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของปริมาตรควบคุม ซึ่งค่าต่างๆที่ใช้ในการหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของปริมาตรควบคุมจะมีความสัมพันธ์กับปริมาตรควบคุมและจะอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อย (Partial Difference Equation) ที่มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นในการหาผลเฉลยจึงจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนรูปสมการอนุพันธ์ย่อยให้อยู่ในรูปแบบของสมการพีชคณิตเพื่อให้สามารถพิจารณาหาผลเฉลยได้

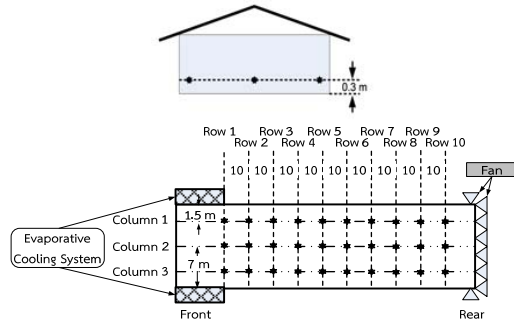
ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้การไหลของอากาศภายในโรงเรือนเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ เป็นการไหลแบบมีความหนืด คุณสมบัติของการไหลไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ เป็นการไหลแบบปั่นป่วนและอยู่ในสภาวะคงตัว สำหรับแบบจำลองความปั่นป่วนจะใช้แบบจำลอง $k-\epsilon$ turbulence model ในการพิจารณา เมื่อทำการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัดกับอากาศภายในโรงเรือนโดยการแบ่งพื้นที่ภายในโรงเรือนออกเป็นปริมาตรควบคุมย่อยๆ แล้ว จะทำให้ได้ค่าคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อย จากนั้นทำการเปลี่ยนชุดสมการอนุพันธ์ย่อยให้เป็นสมการพีชคณิต แล้วจึงทำการแก้สมการตามขั้นตอนของ Simple algorithm เพื่อหาคำตอบของสมการ

3. การศึกษาและการทดลอง

ก่อนการทดลองจริงจะทำการจำลองรูปแบบการไหลโดยวิธี FVM เพื่อหารูปแบบการไหลของอากาศภายในโรงเรือนที่มีซึ่งลม จากนั้นทำการวัดค่าจริงในโรงเรือนที่มีการติดตั้งซึ่งลม ทำการเปรียบเทียบค่าจากการจำลองการไหลและค่าจากการวัดจริงเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำผลจากการจำลองการไหล จากนั้นทำการจำลองการไหลของโรงเรือนที่ไม่มีการติดตั้งซึ่งลม เปรียบเทียบผลจากการจำลองการไหล ระหว่างโรงเรือนที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้งซึ่งลม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ทำการคำนวณโดยใช้วิธี FVM เพื่อหารูปแบบการไหลภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิด ที่มีการติดตั้งซึ่งลม
- 2) กำหนดตำแหน่งที่จะทำการวัดค่าความเร็วลม โดยจะทำการวัดที่ระดับความสูงจากพื้น 30 ซม. และวัดที่ระยะตามแนวความยาวของโรงเรือน 10 จุด คือ 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98 และ 108 เมตร และวัดที่จุดห่างจากผนัง 3 ค่า ที่ระยะ 1.5 7 และ 12.5 รวมมีจุดวัดทั้งหมด 30 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นทำการเก็บข้อมูลความเร็วลม ณ ตำแหน่งต่างๆ

3) เปรียบเทียบค่าความเร็วลม ณ ตำแหน่งต่างๆ ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองการไหลและค่าที่ได้จากการวัดจริง



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งที่วัดความเร็วลม

4) ทำการคำนวณโดยใช้วิธี FVM เพื่อหารูปแบบการไหลภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิดที่ไม่มีการติดตั้งซึ่งลม

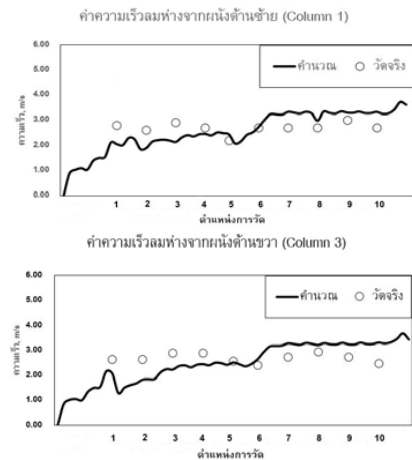
5) เปรียบเทียบค่าความเร็วลม ณ ตำแหน่งต่างๆ ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองการไหลของโรงเรือนที่มีและไม่มีการติดตั้งซึ่งลม

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดค่าจริง

การตรวจสอบความถูกต้องจากการจำลองการไหลจะทำการเปรียบเทียบค่าความเร็วลมจากการคำนวณกับค่าความเร็วลมจากการวัดจริง ผลการจำลองการไหลของความเร็วลมภายในโรงเรือนบริเวณด้านข้างโรงเรือนทั้งด้านซ้ายและขวา (column 1 และ column 3 ดังแสดงในรูปที่ 3) ที่มีการติดตั้งซึ่งลมเปรียบเทียบกับค่าจากการวัดจริงดังแสดงในรูปที่ 4

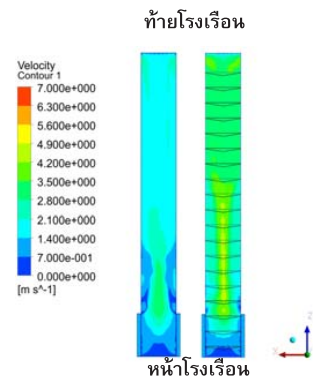
พบว่าผลจากการจำลองการไหลสามารถนำไปใช้ในการทำนายความเร็วลมได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0.5% และมีความความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 17%



รูปที่ 4 ค่าความเร็วลมตามความยาวของโรงเรือน จากการคำนวณเปรียบเทียบกับกรวัดจริง

4.2 ผลจากการจำลองการไหล

เมื่อทำการจำลองการไหลของความเร็วลมภายในโรงเรือนที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้งซึ่งลม พบว่า โรงเรือนที่ไม่ติดตั้งซึ่งลม จะมีพื้นที่ที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วมาตรฐานที่ระดับความสูง 0.3 ม. ประมาณ 29.30% และมีอัตราการเปลี่ยนอากาศประมาณ 0.89 air change/min แต่ถ้ามมีการติดตั้งซึ่งลม จะทำให้พื้นที่ที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วมาตรฐานลดลงประมาณ 14.35% และมีอัตราการเปลี่ยนอากาศประมาณ 1.37 air change/min เพิ่มขึ้น 53.9% โดยผลจากการจำลองการไหลจะแสดงในรูปที่ 5

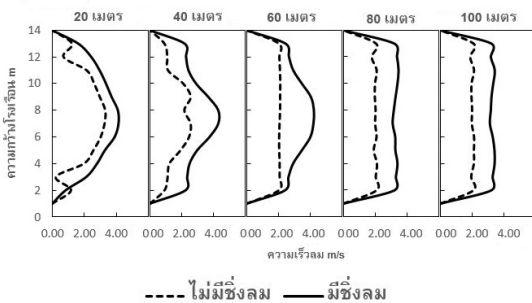


รูปที่ 5 เปรียบเทียบรูปแบบความเร็วลมจากการจำลองการไหลของโรงเรือนที่ติดตั้ง (รูปขวา)และไม่ติดตั้งซึ่งลม (รูปซ้าย)

หมายความว่าเมื่อมีการติดตั้งซึ่งลมภายในโรงเรือนจะทำให้ภายในโรงเรือนมีพื้นที่ที่มีความเร็วลมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐานเพิ่มขึ้น 14.35% เมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่ได้ติดตั้งซึ่งลม หรือจะทำให้มีพื้นที่ที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่เนื้อเพิ่มขึ้น 14.35% ด้วย โดยบริเวณที่มีความเร็วลมเพิ่มขึ้นจะแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงบริเวณที่มีความเร็วลมอยู่ในช่วงความเร็วมาตรฐานเพิ่มขึ้น

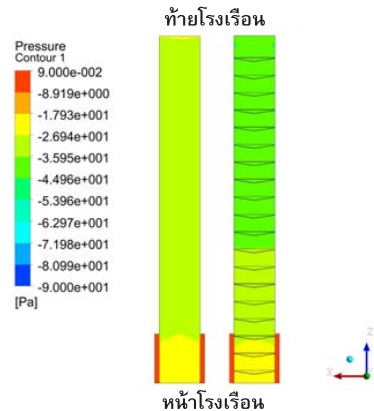


รูปที่ 7 เปรียบเทียบรูปแบบความเร็วลมจากการจำลองการไหลของโรงเรือนที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งซึ่งลมตามความยาวของโรงเรือน

เมื่อทำการพิจารณารูปแบบของความเร็วภายในโรงเรือนที่ระนาบความสูงจากพื้น 0.3 ม. ณ ตำแหน่ง 20 40 60 80 และ 100 เมตรตามความยาวของโรงเรือน พบว่าโรงเรือนที่มีการติดตั้งซึ่งลมจะมีความเร็วลมตลอดความยาวโรงเรือนสูงกว่าโรงเรือนที่ไม่ได้ติดตั้งซึ่งลมดังแสดงในรูปที่ 7

อย่างไรก็ตามการติดตั้งซึ่งลมสามารถเพิ่มความเร็วมภายในโรงเรือนได้จริง แต่ในขณะเดียวกันการติดตั้งซึ่งลมก็จะทำให้ความดันสถิต (Static pressure) ในภายในโรงเรือนเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากซึ่งลมจะทำให้เกิดความต้านทานการไหลของลมภายในโรงเรือน ซึ่งจะทำให้

ความดันสถิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 31% ดังแสดงได้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 เปรียบเทียบรูปแบบของความดันสถิตจากการจำลองการไหลของโรงเรือนที่ติดตั้ง (รูปขวา) และไม่ได้ติดตั้งซึ่งลม (รูปซ้าย)

5. สรุปผลการทดลอง

จากการติดตั้งระบบซึ่งลมเพื่อใช้ในการเพิ่มอัตราการเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิด พบว่าระบบซึ่งลมสามารถเพิ่มอัตราการเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อได้ โดยสามารถเพิ่มอัตราการเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนเพิ่มขึ้นประมาณ 53.9% นอกจากนี้ระบบซึ่งลมยังช่วยเพิ่มพื้นที่ที่มีความเร็วลมเหมาะสมในการเลี้ยงไก่เพิ่มขึ้น 14.35% แต่ระบบซึ่งลมก็ยังมีความข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากระบบซึ่งลมจะทำให้ความดันสถิต (Static pressure) ภายในโรงเรือนเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงการทำให้ประสิทธิภาพของพัดลมท้ายโรงเรือนลดลง ดังนั้นการใช้นระบบซึ่งลม ควรจะต้องมีการออกแบบที่ถูกต้องเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมกับโรงเรือนที่จะนำไปใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการทุนบ่มเพาะนักวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และบริษัท เบทาโกร จำกัด ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณโรงเรือน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. V. Nielsen, A. Restivo, and J. H. Whitelaw, Transactions of ASME J. of Fluids Eng. 100, (1978)
- [2] S. Murakami, S. Kato, and Y. Suyama, ASHRAE Transactions 93, (1987)
- [3] V. Blanes-Vidal, E. Guijarro, A.G. Torres, Application of computation fluid dynamics to the prediction of airflow in a mechanically ventilated commercial poultry building, Biosystems Engineering. 100 (2008) 105-116.
- [4] W. Chayanon, S. Ratchaphon, W. Sorayut, Development of a Suitable Air Condition Control System for a Closed-System Henhouse, Journal of Materials Science and Engineering, B 1 (2011) 667-676.
- [5] Aviagen Group. (2009) Broiler Management Manual.
- [6] Department of Livestock Development. The Standards for Closed-System Henhouse of animal farms in Thailand (1999)



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การกำจัดกลิ่นแอมโมเนียในอากาศด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ

Ammonia odor removal using biofiltration process

ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล^{1,2*}, และ สาณท ทองสุจริตพันธ์¹PrapatPongkiatkul^{1,2*}, and Sanot Thongsujaritphan¹¹ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมดเขตทุ่งครุกรุงเทพมหานคร 10140

²ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารวิทยพัฒนา ซอยจุฬาฯ

12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Received: January 2015

Accepted: June 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของการกำจัดก๊าซแอมโมเนียในอากาศแบบต่อเนื่องในสภาวะคงที่ (Steady State) ด้วยกระบวนการกรองทางชีวภาพ โดยทำการผ่านอากาศที่ปนเปื้อนก๊าซแอมโมเนียเข้าสู่ปฏิกรณ์ ที่มีแบคทีเรียกลุ่มไนโตรไฟอิง (Nitrifying Bacteria) เกาะบนตัวกลางเซรามิคริงค์จำนวน 1.5 ลิตร (พื้นที่ผิว=1.2m²/g และรูพรุน=0.0029mL/g) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้นขาเข้า 50 100 200 300 400 และ 500 ppm จากการทดสอบพบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50ppm และระยะเวลาพัก 1.5 นาที (ภาระบรรทุกมวลเฉลี่ยอยู่ที่ 2.1 gNH₃/m³·h) ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียเฉลี่ยอยู่ที่ 83.1% และเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียขาเข้าขึ้นที่ 100 ppm 200 ppm 300 ppm และ 400 ppm จุลินทรีย์จะยังคงมีสามารถกำจัดแอมโมเนียที่ประสิทธิภาพสูงและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 90.4% 82.1% 66.3% และ 49.8% ตามลำดับ ทั้งนี้ภาระบรรทุกสูงสุดที่จุลินทรีย์สามารถรับได้เท่ากับ 16.7 gNH₃/m³·h (ความเข้มข้นขาเข้า = 400 ppm) ที่ค่าความสามารถในการกำจัดเท่ากับ 8.3 gNH₃/m³·h แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขาเข้าเป็น 500ppm ประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงเหลือเพียง 31.1% เนื่องจากเกิดสภาวะดังกล่าวเอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมนัส (Nitrosomonas Bacteria) มากกว่ากลุ่มไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter Bacteria) เมื่อเกิดการสะสมของไนโตรท์เป็นจำนวนมาก จะส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเกิดของแบคทีเรียกลุ่มไนโตรแบคเตอร์และส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยรวมลดลงในที่สุด

คำหลัก: กระบวนการกรองชีวภาพกลิ่นแอมโมเนียภาระบรรทุกสูงสุดประสิทธิภาพการกำจัด

Abstract

This study focuses on determination of maximum loading in a continuous biofilter system to eliminate ammonia gas under a steady state. Contaminated air with ammonia gas was injected into the system, containing Nitrifying Bacteria attached on 1.5-L ceramic rings as a medium (surface area = $1.2 \text{ m}^2/\text{g}$ and total pore volume = 0.0029 mL/g). The experiment was conducted at inlet ammonia concentrations of 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm and 500 ppm. The results show that the average efficiency of the system at 50-ppm inlet concentration was 83.1%. The overall efficiency remained high even the inlet concentrations were increased to 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm and 400 ppm (efficiency = 90.4%, 85.8%, 66.3% and 49.8% respectively). Highest mass loading rate of $16.7 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (inlet concentration = 400 ppm) was determined and maximum elimination capacity was found as $8.3 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$. However, the removal efficiency was reduced to 31.1 % after the inlet concentration was reached at 500 ppm. This is because the condition enhanced a growth rate of Nitrosomonas Bacteria in the system to be higher than the rate of Nitrobacter Bacteria. Accumulation of nitrite in a system inhibited growth of Nitrobacter Bacteria and finally resulted to efficiency reduction.

Keywords: Biofilter, Ammonia Odor, Maximum Loading Rate, Removal Efficiency

1. บทนำ

กลิ่นที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร และ ธุรกิจการเลี้ยงปศุสัตว์เป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่มีกบพบบ่อยขึ้นในปัจจุบัน และยังไม่ได้มีการแก้ไขอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ก๊าซแอมโมเนียเป็นสารมลพิษหลักที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรม และการประกอบธุรกิจดังกล่าว โดยอาจเกิดจากการรั่วไหลของสารแอมโมเนียเหลวในกระบวนการแช่แข็งของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร หรือการหมักของมูลสัตว์ภายในฟาร์ม เป็นต้น ก๊าซแอมโมเนียดังกล่าวเป็นก๊าซไม่มีสี ก่อให้เกิดกลิ่นฉุน และอาจก่อให้เกิดการระคายเคือง และความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์อีกด้วย ความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซแอมโมเนียในบรรยากาศที่ 5 ppm จะก่อให้เกิดกลิ่นแก่ผู้ที่ได้รับสัมผัส และก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรงหากสัมผัสที่ปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 50 ppm นอกจากนี้หากมนุษย์ได้รับการสัมผัสก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้นมากกว่า 5000 ppm อาจเสียชีวิตได้ในทันที[1] ดังนั้น The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้มีความเข้มข้นของ

แอมโมเนียในสถานที่ทำงานได้ไม่เกิน 25 ppm ในระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง [1] ในขณะที่ประเทศไทยได้มีการกำหนดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ยอมรับให้มีได้ในพื้นที่ทำงานที่ 50 ppm เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาสุขภาพของพนักงานในพื้นที่การทำงาน

ถึงแม้ในปัจจุบัน การควบคุมดูแลการผลิตเพื่อไม่ให้เกิดกลิ่นจากก๊าซแอมโมเนียจะได้รับความสนใจมากขึ้นในภาคอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามบางกระบวนการผลิตนั้นยังไม่อาจจะหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียออกมาได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ เพื่อช่วยในการลดปริมาณการปลดปล่อยมลพิษดังกล่าวสู่บรรยากาศทั้งภายใน และภายนอกพื้นที่การผลิต ทั้งนี้ระบบบำบัดอากาศที่มักมีใช้งานในการทำกลิ่นทั่วไปประกอบไปด้วย ระบบดักจับด้วยน้ำ (Scrubber) ระบบเผาไหม้โดยตรง (Incineration) และระบบดูดซับ (Adsorption) เป็นต้น อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพตลอดจนข้อดีและข้อเสีย ที่แตกต่างกันไป [3]

กระบวนการกรองทางชีวภาพ (Biofiltration) เป็นระบบบำบัดมลพิษทางอากาศที่กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการ

ก่อสร้าง ค่าดำเนินการ และค่าดูแลรักษาระบบต่ำ ในขณะที่ระบบมีความสามารถในการกำจัดสารมลพิษทางอากาศในรูปแบบของสารอินทรีย์ รวมทั้งก๊าซแอมโมเนียได้เป็นอย่างดี [4-9] ระบบการกรองทางชีวภาพใช้จุลินทรีย์ที่ยึดเกาะกับตัวกลางในลักษณะเป็นฟิล์มบาง ในการกำจัดสารมลพิษในรูปของก๊าซ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการกำจัดในระบบขึ้นกับหลากหลายปัจจัย เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ค่า pH คุณสมบัติของตัวกลาง และระยะเวลาในการสัมผัส (contact time) เป็นต้น [4, 10] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในอากาศผ่านกระบวนการกรองทางชีวภาพ โดยทำการศึกษาถึงภาวะบรรลุทุกสูงสุดของแอมโมเนียในอากาศ ที่เหมาะสมต่อการกำจัดแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะคงตัว (Steady State) เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบระบบการกรองทางชีวภาพขนาดใหญ่ต่อไป

2. การดำเนินการทดลอง

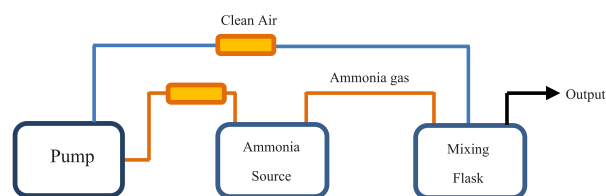
การปรับสายพันธุ์ของจุลินทรีย์เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดในการเตรียมความพร้อมของระบบการกรองทางชีวภาพก่อนการทดลอง ทั้งนี้การศึกษานี้ได้นำเชื้อจุลินทรีย์มาจากบ่อตกตะกอน ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และนำมาทำการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรฟิอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) เนื่องจากจุลินทรีย์ดังกล่าวมีความสามารถในการนำแอมโมเนียมไอออน (Ammonium Ion) ในรูปแบบของเหลวไปใช้ภายใต้กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจะทำการดักจับและตรึงจากแอมโมเนียมไอออนโดยกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์ เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ และได้ผลิตภัณฑ์เป็นไนไตรท์ (Nitrite; NO_2^-) และไนเตรท (Nitrate; NO_3^-) [11] ภายใต้การปรับสายพันธุ์นี้ จุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียจำนวน 4 ลิตรจะถูกเลี้ยงในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 300 mg/L ในถังน้ำขนาด 40 ลิตร ทำการควบคุมค่าพีเอชอยู่ที่ 7-8 และให้มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเหมาะสม ($> 5 \text{ mg/L}$) นอกจากนี้ยังมีการเติม Trace Element (EDTA

และ FeSO_4) เพื่อใช้ในการเติบโตของจุลินทรีย์อีกด้วย [12] น้ำภายในถัง จะถูกเปลี่ยนทุกวัน โดยน้ำดังกล่าวจะถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียที่หลงเหลืออยู่เมื่อผ่านไปเป็นระยะเวลาประมาณ 60 วัน พบว่าจุลินทรีย์ประเภทไนโตรฟิอิงมีการเจริญเติบโตขึ้น และสามารถกำจัดแอมโมเนียในรูปสารละลายความเข้มข้น 300 mg/L หมดได้ภายใน 1 วัน (12 g/d) จึงได้ทำการตรึงฟิล์มชีวภาพบนตัวกลางเซรามิกครึ่งจำนวน 1.5 ลิตร (750 กรัม) ในหลอดรีจิงฟิล์ม คุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 1 โดยการศึกษาได้ทำการเลือกใช้เซรามิกครึ่งเนื่องจากเป็นวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นจากดินเผา มีโครงสร้างที่แข็งแรง ความพรุนสูง ไม่เปลี่ยนรูปร่าง และไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีใดๆในระบบ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติตัวกลางเซรามิกครึ่ง

Type	Surface Area (m ² /g)	Total Pore Volume (mL/g)	Pore Diameter (Å)	Micro Pore Volume (mL/g)	Mesopore Volume or Macropore Volume (mL/g)
Ceramic ring	1.23	0.0029	93.00	0.00019	0.0027

ในการทดลองนี้ได้ทำการสร้างชุดกำเนิดก๊าซแอมโมเนียโดยใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 40% ทำการเป่าอากาศสะอาด เข้าสู่ขวดบรรจุสารละลายแอมโมเนีย ไอระเหยที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปเจือจางกับอากาศสะอาดอีกครั้งในชุดผสมก๊าซเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ (รูปที่ 1) ทั้งนี้ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบไปด้วย 50 100 200 300 400 และ 500 ppm ปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบกรองทางชีวภาพจะถูกควบคุมโดยใช้ Rotameter ที่ 1.5 L/min



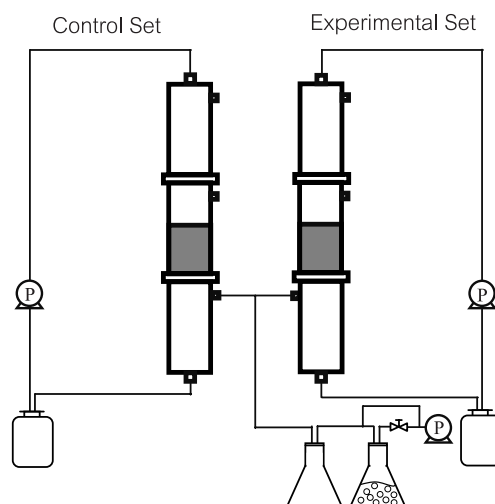
รูปที่ 1 ชุดกำเนิดก๊าซแอมโมเนีย

การวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศทั้งทางเข้า และทางออกนั้นใช้วิธีการดักจับก๊าซแอมโมเนียในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 N ปริมาณ 50 mL โดยทำการเป่าอากาศที่ปนเปื้อนก๊าซแอมโมเนียลงใน Impinger ที่บรรจุสารละลายกรดดังกล่าว เป็นระยะเวลา 5 นาที และทำการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียในน้ำในรูปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Hach รุ่น DR2800

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเบื้องต้นในการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าว กับวิธีมาตรฐาน (Kjeldahl method) พบว่าค่าที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนเพียง 1.2% ที่ระยะเวลาทดสอบ 5 นาที

ปฏิกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานี้ (รูปที่ 2) เป็นปฏิกรณ์อะคริลิคมีความสูง 0.70 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.09 เมตรโดยส่วนกลางของปฏิกรณ์จะทำการบรรจุตัวกลางเป็นจำนวน 1.5 ลิตร ทั้งนี้ปฏิกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาจะแบ่งออกได้เป็น 2 ชุดด้วยกันคือ ชุดทดลอง (มีตัวกลางที่มีแบคทีเรียกลุ่มไนโตรไฟอิง) และชุดควบคุม (มีตัวกลางเพียงอย่างเดียว) ปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชุดจะถูกนำไปต่อเข้ากับชุดกำเนิดก๊าซแอมโมเนีย ที่มีอัตราการไหลเข้าคงที่เท่ากับ 1.5L/min อากาศจะเคลื่อนที่แบบ upward flow เข้าสู่ปฏิกรณ์ (ระยะเวลากักเก็บเท่ากับ 1.5min) และมีการสเปรย์สารอาหารหมวนเวียนในรูปของเหลวอย่างต่อเนื่องจากด้านบนของปฏิกรณ์ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.2 L/min ทั้งนี้สารอาหารดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนทุกวัน เพื่อนำไปหาสารละลายจากการเปลี่ยนรูปของก๊าซแอมโมเนียอันประกอบไปด้วย แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมค่าความเป็นกรดด่างที่ 7-8 และทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)

การตรวจวัดประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียนั้นจะทำการตรวจวัดภายใต้สภาวะ Steady State โดยทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่ทางเข้าและทางออกของชุดทดสอบทุกวันจนค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ทางออกมีค่าคงที่ จึงทำการเพิ่มความเข้มข้นขึ้นต่อไป



รูปที่ 2 ระบบบำบัดก๊าซแอมโมเนียด้วยกระบวนการกรองทางชีวภาพ

3. ผลการศึกษา

จากการทดลองพบว่าก๊าซแอมโมเนียจะถูกดูดซับด้วยตัวกลางเซรามิคริงค์ในระยะแรก โดยตัวกลางที่มีความชื้นสามารถดูดซับก๊าซแอมโมเนียสูงสุดที่ 1.3 g/g ceramic ring (adsorption capacity) ภายในระยะเวลา 210 นาที ภายหลังจากช่วงเวลาดังกล่าวพบว่าตัวกลางเซรามิคริงค์จะอิ่มตัว และมีความเข้มข้นขาเข้า และขาออกเท่ากัน จากการทดสอบภาระบรรทุกสูงสุด พบว่าในช่วงระยะแรกที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียขาเข้า 50 ppm ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดไม่คงที่ เนื่องจากอยู่ในช่วงการปรับตัวของจุลินทรีย์แต่หลังจาก 2 วัน เมื่อเชื้อจุลินทรีย์สามารถปรับสภาพให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้แล้ว (เข้าสู่ Steady State) ความเข้มข้นขาออกมีแนวโน้มคงที่โดยเฉลี่ยใน 10 วันที่ทำการศึกษาที่ภาระบรรทุกทุกมวลเท่ากับ 2.1 gNH₃/m³·h (ความเข้มข้น 50 ppm อัตราการไหล 1.5 L/min) พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 83.1% หรือคิดเป็น 1.7 gNH₃/m³·h ทั้งนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น พบว่าความสามารถในการกำจัดจะสูงขึ้นตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่พบจากการศึกษาคือ 90.4% โดยพบที่ความเข้มข้นขาเข้าที่ 100 ppm หรือที่ภาระบรรทุกทุกมวล 16.7 g

$\text{NH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ อย่างไรก็ตามพบว่าความสามารถในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียของระบบสูงสุดอยู่ที่ $8.3 \text{ gNH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ที่ภาระบรรทุกมวล $16.7 \text{ gNH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (ความเข้มข้น 400 ppm อัตราการไหล 1.5 L/min) อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกมวลเป็น $20.9 \text{ gNH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (ความเข้มข้น 500 ppm อัตราการไหล 1.5 L/min) ความสามารถในการกำจัดของระบบจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยลดลงเหลือ $6.5 \text{ gNH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$

ตารางที่ 2 ความสามารถในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

ความเข้มข้น ขาเข้า (ppm)	ประสิทธิภาพ (%)	ภาระบรรทุก ($\text{gNH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$)	ความสามารถ ในการกำจัด ($\text{gNH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$)
50	83.1	2.1	1.7
100	90.4	4.2	3.8
200	82.1	8.3	6.8
300	66.3	12.5	8.3
400	49.8	16.7	8.3
500	31.1	20.9	6.5

จากการตรวจวัดสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของเชื้อจุลินทรีย์ อันได้แก่ ไนไตรท์และไนเตรทที่สะสมอยู่ในสารอาหาร (ตารางที่ 3) พบว่า ก๊าซแอมโมเนียในอากาศส่วนใหญ่จะถูกกำจัดโดยการละลายลงสู่สารอาหาร ที่มีการหมุนเวียนและสเปร์ยเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง จากนั้นกระบวนการไนตริฟิเคชันบนตัวกรองชีวภาพ จะเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ ไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ

ทั้งนี้พบว่าปริมาณแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายลงสู่ น้ำ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียขาเข้า ตลอดจนก่อให้เกิดสารผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันหรือไนเตรทที่สะสมอยู่ในสารอาหารเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรทในน้ำสารอาหารมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ภาระบรรทุกมวล $20.9 \text{ gNH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (ความเข้มข้น 500 ppm อัตราการไหล 1.5 gL/min) ขณะเดียวกันยังก่อให้เกิด

การสะสมของไนไตรท์ที่ความเข้มข้นสูงถึง 59.4 mg/L ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะดังกล่าวเอื้อต่อการเจริญเติบโตของไนโตรซิโมนัสแบคทีเรีย มากกว่าไนโตรแบคเตอร์การสะสมของไนไตรท์ในปริมาณดังกล่าว ส่งผลให้เกิดสภาวะเป็นพิษ และเกิดการยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน [13, 14] ส่งผลทำให้ความสามารถในการกำจัดโดยรวมของระบบลดลง

ตารางที่ 3 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ความเข้มข้น ppm	Degraded by microorganism		Absorption
	NO_2^- (%)	NO_3^- (%)	NH_4^+ (%)
50	4.4	44.7	34.0
100	19.5	44.7	26.4
200	5.7	58.1	18.2
300	5.3	38.0	23.0
400	7.5	22.9	19.3
500	8.5	3.6	19.0

จากการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่าความสามารถในการกำจัดสารแอมโมเนียของระบบที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่าระบบอื่น โดยจากงานวิจัยของ Baquerizo et al. [4] และ Jun and Wenfeng[6]พบว่า ระบบการกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางเป็นกากมะพร้าว มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 95-99% และมีความสามารถในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 22.5 และ $11.5 \text{ g NH}_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างดังกล่าวเนื่องจากการใช้ปริมาณจุลินทรีย์ ที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยทั้ง 2 มีการใช้ปริมาณจุลินทรีย์ที่มากกว่า โดยใช้ปริมาณถึง 6.3 L และ 8 L ตามลำดับ (การศึกษานี้ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 1.5 L)

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาระบบการกรองทางชีวภาพที่ใช้ในการทดสอบ พบว่าก๊าซแอมโมเนียในอากาศส่วนใหญ่จะถูกกำจัดโดยการละลายลงสู่ในน้ำในช่วงแรก และถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟิอิง เพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซแอมโมเนียเข้า จะส่งผลให้ระบบเกิดการยับยั้งเนื่องจากการสะสมของไนไตรท์ในระบบที่มากเกินไป โดยพบว่าหากมีการเพิ่มการบรรทุกมลพิษมากเกินไปที่ระบบจะสามารถรับได้ ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงทันที

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2004). Toxicological Profile for Ammonia. URL: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.pdf>.
- [2] NIOSH (1992). Recommendations for occupational safety and health: compendium of policy documents and statements, Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHD (NIOSH) Publication No. 92-100.
- [3] Wark, K., Warner, C.F., and Davis, W.T., 1998. Air Pollution Its Origin and Control. Addison Wesley Longman Inc, Third edition, ISBN 0-673-99416-3.
- [4] Baquerizo, G., Maestre, J., Machado, C.V., Gamisans, X., Gabriel, D., (2009). Long-term Ammonia Removal In Coconut Fiber-packed Biofilter: Analysis of N Fractionation and Reactor Performance Under Steady-state And Transient Conditions, Water Research Journal, vol. 43, pp. 2293-2301.
- [5] Taghipour, H., Shahmansoury, M.R., Bina, B. Movahdian, H., (2008). Operational Parameters in Biofiltration of Ammonia-Contaminated Air Stream Using Compost-Pieces of Hard Plastics Filter Media, Chemical Engineering Journal, vol. 137, No.2, pp.198-124.
- [6] Jun, Y., Wenfeng, X., (2009). Ammonia Biofiltration and Community Analysis of Ammonia-Oxidizing Bacteria in Biofilters, Bioresearch Technology, vol. 100, pp.3869-3876.
- [7] Maia, G., Dayv, G., Gates, R., Taraba, J., (2012). Ammonia Biofiltration and Nitrous Oxide Generation during The Start-up of Gas Phase Compost Biofilters, Atmospheric Environmental, vol. 46, pp.659-664.
- [8] Nicolai, R., (2005). Biofilters, Livestock Development in South Dakota Environment and Health, vol. 1, pp.1-8.
- [9] Sun, Y., Quan, X., Chen, J., Yang, F., Xue, D., Liu, Y., Yang, Z., (2002). Toluene vapour degradation and microbial community in biofilter at various moisture content, Process Biochemistry, vol. 38, pp.109-113.
- [10] เสาวลักษณ์ ภูณภอมร และ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, (2553). Efficiency of Ammonia Removal by Biofilter, วารสารสิ่งแวดล้อมไทย, ฉบับที่ 24, ครั้งที่ 2, หน้า 127-135.
- [11] ธงชัย พรณสวัสดิ์ (2551) การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ, พิมพ์ครั้งที่ 3, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 56-102.
- [12] Kim, J.H., Rene, E.R., Park, H.S., (2007). Performance of an immobilized cell biofilter for ammonia removal from contaminated air stream, Chemosphere, vol. 68, pp.274-280.
- [13] Ruiz, G., Jeison, D and Chamy, R., (2003). Nitrification with High Nitrite Accumulation for The Treatment of Wastewater with High Ammonia Concentration, Water Research, vol. 37, pp.1371-1377.
- [14] Grunditz, C., Dalhammar, G., (2001). Development of Nitrification Inhibition Assays Using Pure Cultures of Nitrosomonas and Nitrobacter, Elsevier Science Ltd, Vol. 35, No.2, pp.433-440.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตาม
และระบุตำแหน่งโคเนื้อในภาคปศุสัตว์

The Application of Wireless Sensor Network to Monitor
and Identify the Position of Beef Cattle in the Livestock Production

ชาณวิช สุวรรณพงษ์ และ วีรธรรม ไชยวงศ์

Chanwit Suwannapong and Weerathum Chaiyong

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 หมู่ 12 ตำบลหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000

Received: January 2015

Accepted: June 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตามและระบุตำแหน่งโคเนื้อในภาคปศุสัตว์ เพื่อป้องกันการสูญหาย โดยใช้การระบุตำแหน่งแบบจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์ไร้สายที่วัดได้จริง อีกทั้งช่วยในการจัดการฐานข้อมูลที่สำคัญ เช่น ชื่อโค ข้อมูลเครื่องหมายตัวสัตว์ พันธุ์ประวัติ ประวัติการผสมพันธุ์ รวมไปถึงข้อมูลสุขภาพ ในส่วนของการแสดงผลนั้นได้แสดงบนเว็บเบราว์เซอร์ โดยได้แสดงเป็น 2 ลักษณะคือ แบบตารางข้อมูลและแบบโครงสร้างจากผลการวิจัยพบว่า ระบบการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อมีระยะเวลาในการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์โนด 0.55 วินาทีขึ้นไป

คำหลัก : เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ติดตามสัตว์เลี้ยง ปศุสัตว์ โคเนื้อ

Abstract

This research presents the application of wireless sensor network to follow and identify the position of cattle in the livestock sector in order to prevent cattle from losing by identifying the position using RSSI database mapping from the actual measured wireless sensor network. It also helps in an important database management such as names of cattle, identity tags of the cattle, pedigree, animal breeding profiles, including health information. The result has shown on a browser in 2 forms; data table and topology. The result of the research found that working system of wireless sensor network could work effectively when the period of time in sending data from sensor nodes was more than 0.55 seconds.

Keywords : Wireless sensor network, Monitoring of farm animals, Livestock, Beef cattle

1. บทนำ

การเลี้ยงโคเนื้อเป็นอาชีพทางการเกษตรที่สำคัญอาชีพหนึ่ง และเกี่ยวข้องกับเกษตรกรไทยหลาย ครอบครัว ในอดีตการเลี้ยงโคเนื้อของเกษตรกรไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แรงงานทำการเกษตรเป็นหลัก เมื่อใช้งานหมดอายุจึงปลดจำหน่ายเป็นโคเนื้อ ในปัจจุบันรูปแบบการเลี้ยงโคเนื้อได้เปลี่ยนมาเป็นการเลี้ยงเพื่อจำหน่ายเป็นโคเนื้อสำหรับผลิตเนื้อโค เพื่อตอบสนองความต้องการบริโภคเนื้อโค จากประชากรทั้งในและนอกประเทศมากขึ้น แต่จากสถิติของกรมปศุสัตว์ปี 2554 ประเทศไทยสามารถผลิตลูกโคได้จำนวน 0.87 ล้านตัว หรือ ร้อยละ 55 ของโควัยเจริญพันธุ์เท่านั้น [1] ทั้งนี้เป็นเพราะเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในปัจจุบันยังประสบปัญหาหลายอย่าง เช่น โคเนื้อเกิดการสูญหาย ขาดการเรียนรู้ที่จะพัฒนาเทคโนโลยีทางการปศุสัตว์ ขาดความรู้ในการจัดการการเลี้ยงดูโคเนื้อ เป็นต้น อีกทั้งการปศุสัตว์ในปัจจุบันโดยทั่วไปยังเป็นระบบแบบพึ่งพาตนเอง ทั้งการบันทึกข้อมูล การให้อาหาร และการจัดการด้านอื่นๆ ส่งผลให้เกิดภาระแก่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อ ทำให้ไม่สามารถสร้างผลผลิตได้ตามความต้องการ ทั้งยังเป็นการเพิ่มต้นทุนในด้านการผลิตการนำเข้าเทคโนโลยีทางด้านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) มาประยุกต์ใช้ในภาคปศุสัตว์ จะเป็นการเพิ่มปริมาณ ลดต้นทุน และเป็นการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตทางการปศุสัตว์ โดยเฉพาะจะช่วยในการจัดการการเลี้ยงดูโคเนื้อ ซึ่งเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง ถูกออกมามีสำหรับงานที่ต้องการ การสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง โดยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เป็นการสื่อสารระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ในเครือข่าย ซึ่งเริ่มจากการกำหนดมาตรฐานการรับ-ส่งข้อมูลแบบ IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน ความเร็วการรับส่งข้อมูลต่ำ อีกทั้งอุปกรณ์ยังมีราคาถูก งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรโตคอล 6LoWPAN ที่ทำงานร่วมกับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายระยะใกล้ความเร็วต่ำ ขนาดความถี่

2.4 GHz และสามารถรับส่งข้อมูลได้สูงสุด 250 กิโลบิตต่อวินาทีจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการระบบติดตามและระบุตำแหน่งของโคเนื้อในภาคปศุสัตว์ เพื่อป้องกันการสูญหาย อีกทั้งยังสามารถใช้ในการจัดเก็บข้อมูลเฉพาะตัวของโค เพื่อช่วยในการวางแผนการเลี้ยง อำนวยความสะดวกให้กับเกษตรกร และช่วยในการปรับปรุงการปศุสัตว์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network)

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [2] เป็นเครือข่ายของเซ็นเซอร์โนด ที่ประกอบด้วยเซ็นเซอร์โนดจำนวนมาก เซ็นเซอร์โนดที่อยู่ภายในเครือข่าย จะทำหน้าที่ตรวจจับเก็บข้อมูลของสิ่งแวดล้อมที่สนใจ และส่งข้อมูลที่ได้กลับไปโนดต้นทาง ที่ต้องการข้อมูลนั้น โดยอาศัยเซ็นเซอร์โนดที่ข้างเคียงกัน ส่งข้อมูลต่อกันไป

การที่เซ็นเซอร์โนดจำนวนมาก ทำงานเป็นกลุ่มรวมกันเป็นเครือข่าย เรียกว่า เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย จำเป็นต้องมีวิธีการสื่อสารกันระหว่างโนดซึ่งจะทำงานร่วมกัน ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเครือข่าย ส่งไปยังสถานีฐาน (Base Station) ซึ่งส่วนที่ควบคุมการทำงานดังกล่าว เรียกว่า ส่วนโปรโตคอลในการรับ-ส่งข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เราตั้งโปรโตคอลเป็นส่วนการทำงานในชั้นของเครือข่าย (Network Layer) ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการค้นหาเส้นทางในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐาน กับโนดที่ทำการส่งข้อมูลโปรโตคอลสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย จะถูกแบ่งตามลักษณะชั้นการทำงาน การทำงานของโปรโตคอลในส่วนสองชั้นแรก จะเกี่ยวกับมาตรฐานของฮาร์ดแวร์ (PHY) และวิธีการเข้าใช้สื่อ (MAC) จะเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์เป็นส่วนใหญ่ โปรโตคอลในสองชั้นนี้ จะถูกกำหนดเป็นมาตรฐาน IEEE 802.15.4 แต่สำหรับชั้นของโปรโตคอลที่อยู่สูงขึ้นมา

ซึ่งตามมาตรฐานของชั้นเครือข่าย (OSI Model) จะทำหน้าที่เกี่ยวกับเครือข่าย (Network Layer) การค้นหาเส้นทางในการรับส่งข้อมูล (Routing) และการรับส่งข้อมูล (Transportation)

2.2 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)

6LoWPAN [3] (IPv6 over Low power WPAN) ถูกพัฒนาขึ้นโดย 6LoWPAN working group จุดประสงค์เพื่อให้ IPv6 ทำงานร่วมกับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เพื่อติดต่อระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ซึ่งอยู่ในสภาพแวดล้อมจริงกับโปรแกรมต่างๆ ที่ทำงานผ่าน IPv6 โดย 6LoWPAN เป็นการสร้างชุดโปรโตคอลขึ้นให้เทียบเท่าการใช้งาน IPv6 พร้อมกับ ICMP TCP และ UDP ทั้งชุดผ่านการบีบอัดข้อมูลเพื่อให้สามารถทำงานได้บนช่องทางการสื่อสารที่ขนาดเฟรม 127 ไบต์ ของการเชื่อมต่อแบบ IEEE 802.15.4 โดยเปิดให้มีการย่อข้อมูลให้มีขนาดเล็กลงเพื่อประหยัดหน่วยความจำและพลังงานที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูล และใช้ชั้น Datalink ของ IEEE 802.15.4 เป็นส่วนหนึ่งของการอ้างที่อยู่บนชั้นเครือข่ายเพื่อประหยัดพื้นที่ในเฟรม

2.3 การวัดค่าความเข้มของสัญญาณ (Received Signal Strength Indication หรือ RSSI)

เป็นวิธีการวัดความเข้มของสัญญาณวิทยุระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สายตัวหนึ่งไปยังเซ็นเซอร์ไร้สายอีกตัวหนึ่งโดยมีความสัมพันธ์กับสมการดังนี้

$$RSSI = -(10 \log_{10} I + A) \quad (1)$$

เมื่อ n คือค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณ, d คือระยะห่างจากตัวส่ง และ A คือความเข้มของสัญญาณที่ได้รับใน 1 เมตร โดยค่า RSSI นั้นมีหน่วยเป็นเดซิเบลเมตร (dBm) [4] โดยค่าความเข้มของสัญญาณนั้นมีความสัมพันธ์แปรผกผันกับระยะทาง ตัวอย่างเช่น หากระยะทางมากขึ้น จะทำให้ค่าความเข้มของสัญญาณมีค่าลดลง

2.4 การจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณใน-ฐานข้อมูลอ้างอิง (RSSI Database Mapping)

เป็นการเก็บข้อมูลความเข้มของสัญญาณ [5] อ้างอิงตามจุดต่างๆ ที่ผู้ทำวิจัยได้กำหนดขึ้นในการทดลอง หรือก็คือ พิกัด X และ Y เพื่อใช้ในการจับคู่กับค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้จริง โดยฐานข้อมูลนี้จะประกอบไปด้วยค่าความเข้มของสัญญาณของแต่ละเซ็นเซอร์อ้างอิงที่ถูกเฉลี่ย ค่าพิกัดบนแผนที่ และชั้นที่ทำการวัด แสดงได้ดังรูปที่ 1

Index	RSSI_REF1	RSSI_REF2	RSSI_REF3	RSSI_REF4	RSSI_REF5	X	Y
1	-53	-69	-80	-80	-63	32	4
2	-52	-66	-82	-76	-63	33	4
3	-52	-63	-83	-73	-64	34	4
4	-52	-61	-83	-70	-64	35	4
5	-52	-59	-84	-69	-65	36	4
6	-53	-57	-83	-67	-65	37	4
7	-54	-56	-83	-66	-66	38	4
8	-56	-55	-82	-65	-66	39	4
9	-57	-54	-82	-65	-67	40	4
10	-59	-54	-81	-65	-67	41	4

รูปที่ 1 ตัวอย่างฐานข้อมูลในระบบ [5]

2.5 วิจัยเรื่อง Design and Development of an Electronic Cowbell Based on ZigBee Technology

เป็นการวัดค่าความเข้มของสัญญาณโดยอาศัยงานวิจัยของ Gay-Fernandez [6] ได้พัฒนาเซ็นเซอร์โนดเพื่อใช้เป็นกระดิ่งไฟฟ้าผูกที่โคและพัฒนาระบบติดตามเพื่อช่วยในการติดตามและระบุตำแหน่งของโคที่กระจายตัวในฟาร์มปศุสัตว์ขนาดใหญ่ โดยกระดิ่งไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นนั้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณในคลื่นความถี่ 2.4 GHz เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่โคและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ในด้านการพัฒนาระบบติดตามและระบุตำแหน่งนั้น ได้นำเสนอแนวคิดในการระบุตำแหน่งของโคในฟาร์มปศุสัตว์ โดยใช้วิธีสามเหลี่ยมระยะ (Triangulation) และใช้ค่าความเข้มของสัญญาณ (Receive Signal Strength Indication หรือ RSSI) เพื่อหาระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์โนดที่ติดที่โคกับเซ็นเซอร์โนดอ้างอิง

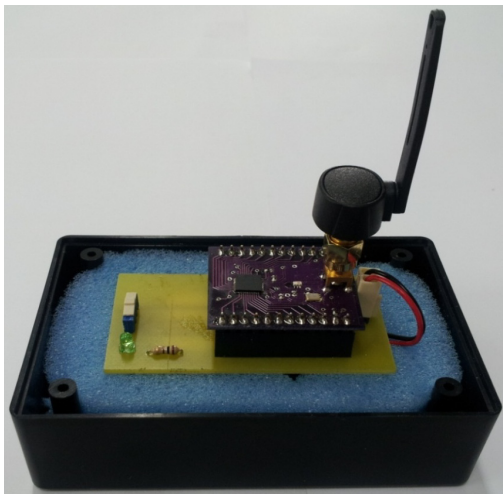
2.6 วิจัยเรื่อง Sensor and Actuator Networks: Protecting Environmentally Sensitive Areas [7]

งานวิจัยของ Swain [7] ได้นำเสนอการทำงานของแอปพลิเคชันเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการควบคุมและติดตามสัตว์เลี้ยงในพื้นที่ปศุสัตว์ขนาดใหญ่ โดยการใช้วิธีการสร้างรั้วเสมือนจริง เพื่อปกป้องพื้นที่ ที่เปราะบางจากสิ่งแวดล้อม โดยมีแนวคิดจากการทำงานของรั้วไฟฟ้า เพื่อควบคุมสัตว์เลี้ยงให้เสมือนอยู่ภายในรั้วธรรมชาติ ซึ่งจะในการพัฒนาแนวคิดนี้ผู้พัฒนาในรวมเอาแนวคิดทางด้านการตอบสนองต่อไฟฟ้าและการระบุตำแหน่งของสัตว์เลี้ยงโดยใช้ GPS ไว้ด้วยกัน

3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้ทำวิจัยได้เลือกใช้ไอซี CC2530 ที่ทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อใช้ในการพัฒนาเซ็นเซอร์โนด (Sensor Node) เพื่อใช้กับโคเน็ทและโนดอ้างอิง (Reference Node) แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เซ็นเซอร์โนด

อีกทั้งพัฒนาปลอกคอของโคเน็ทไร้สาย เพื่อใช้ในการติดตามและระบุตำแหน่ง โดยปลอกคอของโคเน็ทประกอบไปด้วย ไมครูล CC2530 อุปกรณ์แบตเตอรี่ ซึ่ง

ทั้งหมดถูกห่อหุ้มด้วยอุปกรณ์กันน้ำ จากนั้นนำไปติดตั้งกับโคเน็ท ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3



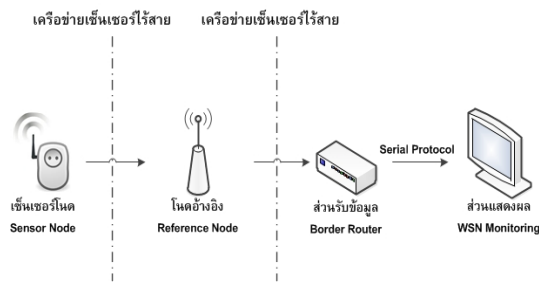
รูปที่ 3 ปลอกคอที่ติดตั้งกับโคเน็ท

3.2 ภาพรวมของระบบ

ระบบของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

- 1) เซ็นเซอร์โนดที่ติดกับโคเน็ท (Sensor Node) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังโนดอ้างอิง
- 2) เซ็นเซอร์โนดที่ทำหน้าที่เป็นโนดอ้างอิง (Reference Node) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์โนดที่ติดกับโคเน็ท จากนั้นส่งข้อมูลที่ได้ไปยัง ส่วนรับข้อมูล
- 3) เซ็นเซอร์โนดที่ทำหน้าที่รับข้อมูล (Border Router) โดยเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำหน้าที่รับข้อมูลจากโนดอ้างอิง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้รับ ไปปรับปรุงฐานข้อมูล

การทำงานของระบบคือ เซ็นเซอร์โนดที่ติดกับโคเน็ทจะทำการส่งข้อมูล ที่ประกอบด้วย หมายเลขของโคเน็ท และค่าความเข้มของสัญญาณไปยังโนดอ้างอิง ที่ทำหน้าที่เป็นจุดอ้างอิงในแต่ละจุด จากนั้นโนดอ้างอิงจะทำการส่งข้อมูลที่ได้รับ ไปยังส่วนของเซ็นเซอร์โนดที่ทำหน้าที่รับข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลที่ได้ ไปใช้ในการจับคู่กับค่าความเข้มของสัญญาณ จากจุดอ้างอิงจุดต่างๆ ในฐานข้อมูล เพื่อหาพิกัด X และ Y โครงสร้างของระบบแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างของระบบ

ในการแสดงผลการติดตามและระบุตำแหน่งนั้น จะแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งสามารถแสดงผลได้ 2 รูปแบบคือแบบตารางและแบบโครงสร้าง (Topology) โดยในการแสดงผลแบบตารางนั้น จะแสดงข้อมูล หมายเลข และตำแหน่งของโคเน็ค โดยระบุเป็นพิกัด X และ Y อีกทั้งยังแสดงข้อมูลโคเน็คที่สำคัญ เช่น ชื่อโค ข้อมูลเครื่องหมาย ตัวสัตว์ พันธุ์ประวัติ ประวัติการผสมพันธุ์ รวมไปถึงข้อมูล สุขภาพ ส่วนการแสดงผลแบบโครงสร้างนั้นจะแสดงจุด สัญลักษณ์ในแผนที่ซึ่งการแสดงผลแบบตารางและแบบ โครงสร้างนั้น แสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ตำแหน่งของโคเน็ค(พิกัด)

หมายเลขโค	X	Y	วันที่เวลา
1	10	16	-2014-07-25 13:31:09
2	20	20	-2014-07-25 13:31:27
3	30	32	-2014-07-25 13:31:36
4	10	44	-2014-07-25 13:31:49

ข้อมูลเฉพาะของโคเน็ค

หมายเลขโค	ข้อมูลชื่อของโค	ชื่อ	เพศ	วันเกิด	น้ำหนักแรกเกิด(ปอนด์)	พันธุ์	ประวัติการผสมพันธุ์	ข้อมูลสุขภาพ
1	Ear Tag #1	Winchell	M	22/7/255	77.3	Brahmin	-	-
2	Ear Tag #2	Daxton	M	22/7/255	78.4	Brahmin	-	-
3	Ear Tag #3	Cara	F	22/7/255	72.1	Brahmini	-	-
4	Ear Tag #4	Rain	F	22/7/255	74.5	Brahmini	-	-

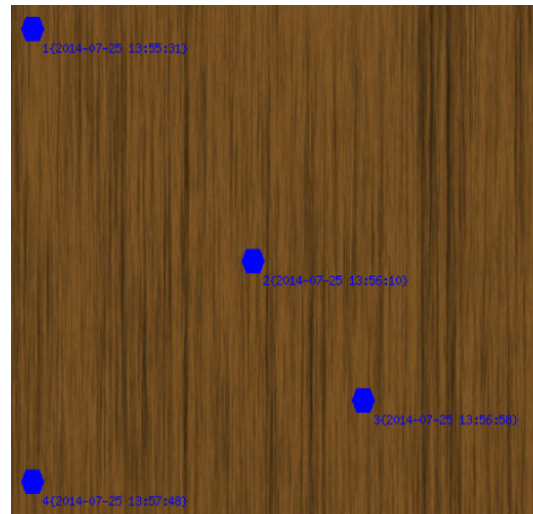
รูปที่ 5 การแสดงผลแบบตาราง

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

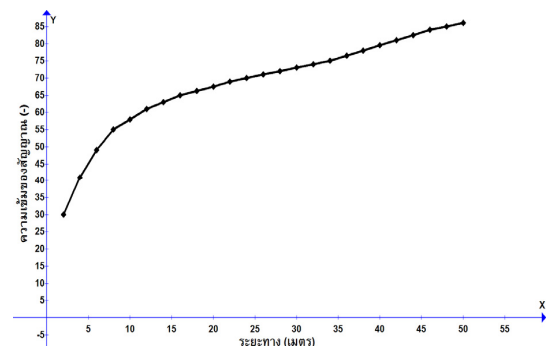
4.1 ผลการทดลองการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) จากเซ็นเซอร์โนดอ้างอิง

ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อระบุตำแหน่งของ โคเน็ค จำเป็นต้องใช้ค่าความเข้มของสัญญาณเพื่อ คำนวณหาระยะห่างของเซ็นเซอร์โนดอ้างอิงที่อยู่ห่างจาก ตัวส่งสัญญาณ เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งของโคเน็ค

โดยค่าที่ได้จากโนดอ้างอิง คือ ค่าความเข้มของสัญญาณ ระหว่างโนดที่ติดกับโคเน็คกับโนดอ้างอิง ซึ่งมีความสัมพันธ์ กับระยะห่างระหว่างโนด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 การแสดงผลแบบโครงสร้าง

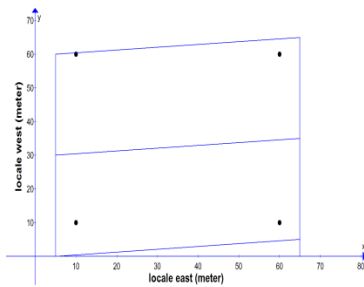


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณและ ระยะห่างของเซ็นเซอร์โนด

4.2 ผลการทดลองการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ ไร้สาย

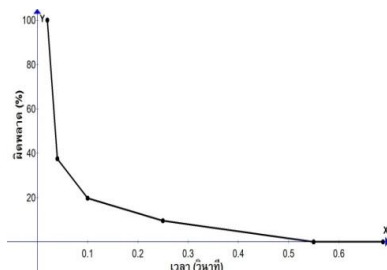
การทดสอบการทำงานของเครือข่ายไร้สาย ทำโดยสร้างเครือข่ายไร้สาย ที่มีเซ็นเซอร์โนดที่ติดกับ โคเน็ค 4 โนด โนดที่ทำหน้าที่เป็นจุดอ้างอิง 4 โนด และ เซ็นเซอร์โนดที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ 1 โนด ติดตั้งโนด ทั้งหมดในบริเวณทุ่งหญ้าโล่ง ดังแสดงในรูปที่ 8 ทดลองโดย

ทำการส่งข้อมูลขนาด 10 ไบต์ (Byte) จากเซ็นเซอร์โนดด้วยระยะเวลาของการส่งข้อมูลไม่เท่ากัน โดยในการปรับระยะเวลาการส่งข้อมูลนั้น จะใช้การปรับพารามิเตอร์ของระบบปฏิบัติการ เครื่องข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อควบคุมระยะเวลาในการส่งข้อมูล



รูปที่ 8 การติดตั้งโนดต่างๆ

จากการทดลองพบว่า โดยปกติเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถทำงานได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ แต่ในกรณีที่ระยะเวลาการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์โนดที่ติดกับ โดไปยังไปยังสถานีฐานเร็วเกินไป จะส่งผลให้เครือข่ายนี้มีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากเกิดการชนกันของข้อมูล (Collision) ในเครือข่าย จึงทำให้ข้อมูลเกิดการสูญหาย โดยระยะเวลาที่ส่งข้อมูลน้อยกว่า 0.03 วินาที เครือข่ายจะเกิดความผิดพลาด 100% แต่ถ้าระยะเวลาในการส่งข้อมูลมากขึ้นจะเกิดความผิดพลาดน้อยลง ซึ่งระยะเวลา 0.04 วินาที ความผิดพลาด 37.5% แต่ถ้าระยะเวลา 0.55 วินาทีขึ้นไป เครือข่ายจะไม่มีผิดพลาดเกิดขึ้น ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าความผิดพลาดของเครือข่ายเมื่อมีโหนดเข้ามายังจุดตรวจสอบจำนวนมาก และมีระยะเวลาในการส่งข้อมูลเร็วเกินไป

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตามและระบุตำแหน่งของโคเนื้อในภาคปศุสัตว์ ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการติดตามตำแหน่งของโคเนื้อภายในฟาร์ม เพื่อป้องกันการสูญหาย อีกทั้งช่วยจัดการฐานข้อมูลที่สำคัญ เช่น ชื่อโค ข้อมูลเครื่องหมายตัวสัตว์ พันธุ์ประวัติ ประวัติการผสมพันธุ์ รวมไปถึงข้อมูลสุขภาพ ทำให้การบันทึกไม่ยุ่งยาก ข้อมูลมีความสมบูรณ์ ตลอดจนสามารถตรวจสอบประวัติประจำตัวของโคเนื้อแต่ละตัวได้ทันที

ผลทดลองพบว่า เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถทำงานได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ แต่ในกรณีที่ระยะเวลาการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์โนดที่ติดกับ โดไปยังไปยังสถานีฐานเร็วเกินไป จะส่งผลให้เครือข่ายนี้มีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจาก มีระยะเวลาการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์โนดที่เร็วเกินไป ไป จึงทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการสัตว์เลี้ยงชนิดอื่นๆ ในภาคปศุสัตว์ เพื่อช่วยในการติดตามสัตว์เลี้ยงในการสูญหาย และหากเพิ่มเซ็นเซอร์ชนิดอื่นเข้าไปจะสามารถใช้งานได้กว้างขวางเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ในการแสดงผล ผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์มือถือเพื่อความสะดวกในการใช้งานในอนาคตอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมปศุสัตว์ (2555). ยุทธศาสตร์โคเนื้อ พ.ศ. 2555-2559 [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.dld.go.th/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 21/07/2557.
- [2] ชัชชัย คุณมว. (2554). เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและการประยุกต์ใช้, วารสารศูนย์บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 19, หน้า 26 – 30.

- [3] Xin, M. and Wei, L. (2008). The Analysis of 6LowPAN Technology. Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application (PACIIA 2008), Wuhan, China.
- [4] Bahl, P. and Padmanabhan, V. (2000). An in building RF based user location and tracking system, paper presented in IEEE Infocom, Tel Aviv, Israel.
- [5] ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า และ วิศวกรรมเครื่องกล (2557). ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4, การประชุมวิชาการงานวิจัย และ พัฒนาเชิงประยุกต์ , อมาเร่ ดอนเมือง แอร์พอร์ต กรุงเทพมหานคร
- [6] Gay-Fernandez J. A., Cuinas, I., and Sanchez, M. G. (2011). Design and Development of an Electronic Cowbell Based on ZigBee Technology. Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium, March 2011, Marakesh, Morocco.
- [7] Swain, D., Crossman, C., Valencia, P., Bishop-Hurley, G., & Handcock, R. (2009). Sensor and Actuator Networks: Protecting Environmentally Sensitive Areas. Proceeding of IEEE International Conference on Local Computer Networks 2009, Zurich, Switzerland.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียน ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับระบบสมองกลฝังตัว และระบบการประมวลผลภาพ

Performance Improvement for a Drying Process of Durian Particle Board using Hot Air Oven with Embedded System and Image processing

ณรงค์เดช กิริติพรานนท์¹ และ สโรชา เจริญวัย^{2*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต 110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภोधัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Received : January 2015

Accepted : June 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอกระบวนการในการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียน ที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวและระบบประมวลผลภาพ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง เพิ่มคุณภาพของแผ่นชิ้นไม้ และลดการใช้พลังงานระหว่างกระบวนการ โดยโครงสร้างระบบประกอบด้วยเครื่องอบลมร้อน 1 เครื่อง มีขนาดภายในตู้อบ 40 x 60 x 35 ลูกบาศก์เซนติเมตร คอยทำความร้อนพร้อมพัดลม 2 ชุด มีระบบตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิ ระบบตรวจสอบความชื้นขณะอบแห้ง วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ แผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนขนาด 20x20x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยการติดตั้งระบบสมองกลฝังตัวทำให้ระบบควบคุมสามารถปรับอุณหภูมิได้ตามสภาวะการอบจริง รวมทั้งสามารถยุติการอบแห้งเมื่อความชื้นในชิ้นไม้อัดลดลงจนถึงระดับที่กำหนด โดยไม่ต้องใช้การตั้งเวลาแบบคงที่ จากการทดลองพบว่า การให้ความร้อนในช่วงแรกจำเป็นจะต้องใช้อุณหภูมิที่สูง เพื่อให้ความชื้นในชั้นนอกหรือบริเวณผิวของแผ่นไม้ระเหยไปให้ได้เร็วที่สุด และเมื่อแผ่นไม้มีความชื้นในระดับที่ต่ำกว่า 25% แล้ว ระบบจะปรับอุณหภูมิลดลงมา เพื่อช่วยในการประหยัดงานในการอบแต่ยังทำให้ความชื้นลดลงได้ต่อเนื่องจากการคำนวณระดับสีของแผ่นไม้อัดในรูปแบบ HSV (Hue-Saturation-Value) พบว่าแผ่นไม้ที่ได้มีสีที่สม่ำเสมอมากขึ้น โดยสรุปกระบวนการที่กล่าวไปแล้วนั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้การอบแผ่นไม้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและประหยัดพลังงานในการอบ เมื่อเทียบกับการอบด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบปกติ

คำหลัก : การอบแห้ง แผ่นชิ้นไม้อัด สมองกลฝังตัว การประมวลผลภาพ การประหยัดพลังงาน

Abstract

This research presents the drying process of particleboards from durian peel applied using embedded system and image processing techniques in order to increase the efficiency of drying process, to increase the quality of the particleboard, and to decrease energy consumption during drying process. A new hot air oven system consists of conventional hot air oven with dimension of 40 cm x 60 cm x 35 cm. Its internal structure included 2 hot coils, temperature controller indicator and sensor system, real-time moisture indicator system. Particleboards from durian peel with dimension of 20 cm x 20 cm x 1 cm are the sample in this study. Installing embedded system could assist controller system adjusting temperature in a real-time situation. In addition to this system, the drying process could be stopped when the moisture content in the particleboard reaches the setting point without using constant setting time. The results reveal that it is necessary to use high temperature in the first period to rapidly evaporate the moisture content on the surface of the particleboard. When particleboard has moisture content lower than 30%, then the system decreases the temperature to reserve energy of drying process but the moisture content still decreases continuously. Hue level calculation in the form of HSV indicated that the end particleboards have better uniform color. In a conclusion, the novel hot air oven with embedded system and image processing technique is developed to increase performance, efficiency and especially save energy consumption during drying process compared with the conventional hot air dryer.

Keywords : Drying, Particleboard, Embedded System, Image Processing, Energy Efficiency

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยมีอุตสาหกรรมเกษตรเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ จากข้อมูลปี 2552 เมื่อพิจารณาถึง ผลผลิตทุเรียน ก็พบว่ามีความโน้มที่มีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากเป็นที่นิยมของผู้บริโภค จึงส่งผลให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จำพวกเปลือกทุเรียนมีแนวโน้มสูงขึ้น ต่อมาเมื่อปี 2554 [1] คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตัวเชื่อมประสานที่ย่อยสลายได้จากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดเปลือกทุเรียน ซึ่งการวิจัยดังกล่าวพบว่าผงเปลือกทุเรียนสามารถนำมาเป็นตัวเชื่อมประสานในการขึ้นรูปในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนได้ แต่เมื่อนำแผ่นไม้อัดที่ได้นั้นมาบ่มที่อุณหภูมิบรรยากาศเป็นเวลา 1 วัน พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนที่แช่ผงเปลือกทุเรียนเป็นตัวเชื่อมประสานเมื่อผ่านไประยะเวลา 1 สัปดาห์ จะเกิดการขึ้นรา

แต่เมื่อนำแผ่นขึ้นไม้อัดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง จะทำให้ความชื้นในแผ่นขึ้นไม้อัดลดลงจาก 40% เหลือไม่เกิน 15% ซึ่งทำให้แผ่นขึ้นไม้อัดไม่ขึ้นรา [2] แต่การอบในลักษณะที่กำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาคงที่ ในทุกสภาพของแผ่นขึ้นไม้อัดอาจจะไม่เหมาะสมเนื่องจากความชื้นตั้งต้นและคุณลักษณะการถ่ายเทความชื้นอาจจะไม่เท่ากัน

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการวิจัยประยุกต์ต่อยอด ในลักษณะเกษตรอุตสาหกรรม[3-8] โดยมีแนวคิดพัฒนาเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับระบบสมองกลฝังตัวที่สามารถปรับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อให้สภาพของการอบสอดคล้องกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่กำลังอบอยู่ขณะนั้น โดยใช้เทคโนโลยีสมองกลฝังตัว (Embedded System) ไมโครคอนโทรลเลอร์ [9] ร่วมกับการประมวลผลภาพ (Image Processing) [10] ซึ่งจะช่วยควบคุมให้การอบแห้งทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลเร็วขึ้น ส่งผลให้เวลาในการอบแห้งสั้นลง และส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งในแง่ของสีของแผ่นขึ้นไม้อัด และความชื้น เพื่อให้ตรงกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางเพื่อลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเครื่องอบแห้งที่จะพัฒนานี้มีข้อเด่นกว่าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนทั่วไป ที่ใช้เวลาอบนานและเกิดลักษณะสีที่คล้ำของแผ่นขึ้นไม้อัด ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค

งานวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายหลักในการพัฒนาเครื่องอบลมร้อน ให้สามารถอบแผ่นไม้อัดได้อัตโนมัติ โดยขณะที่อบนั้นระบบประมวลผลจะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ จากนั้นระบบจะประมวลผลเพื่อ ส่งคำสั่งไปควบคุมอุณหภูมิระหว่างการอบแผ่นไม้ รวมทั้งการยุติการอบเมื่อความชื้นของชิ้นงาน อยู่ในระบบความชื้นที่ต้องการแล้ว

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ในการพัฒนา

ในการควบคุมแบบอัตโนมัติให้ได้ นั้น จำเป็นที่จะต้องวัดและวิเคราะห์ค่าของสภาพแวดล้อมในการอบ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นของชิ้นงาน และสีของชิ้นงาน

อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ ที่นำมาใช้ในการพัฒนานี้มีหลักการวัดอุณหภูมิที่เรียกว่า Thermocouple [11] โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ตัวตรวจจับทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว มาเชื่อมต่อกันทั้งสองเข้าด้วยกัน ที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่า "จุดอุณหภูมิ" ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่า "จุดอ้างอิง" หากที่จุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจร Thermocouple วัดได้ที่ทำ Thermocouples เป็นวัสดุที่มีคุณภาพ ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีความถูกต้องสูงเนื่องจากการวัดความชื้นในชิ้นงานส่วนใหญ่จะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัมผัสหรือฝังไปในตัวชิ้นงาน [12] แต่เนื่องจากขึ้นไม้อัดนี้

อยู่ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้ไม่สามารถนำอุปกรณ์ไปวัดได้โดยตรง จึงต้องทำการคำนวณความชื้นแห้ง (dry basis) ของขึ้นไม้จากน้ำหนักของขึ้นไม้แทน ตามสมการ (1)

$$\text{moisture content} = \frac{\text{current weight} - \text{dried weight}}{\text{dried weight}} \quad (1)$$

อุปกรณ์วัดน้ำหนักที่นำมาใช้คือโหลดเซลล์แบบรับน้ำหนักเพียงจุดเดียวขนาดเล็ก (Ultra-Low Profile Miniature Single Point Load Cell) [13] ซึ่งมีหลักการสำคัญคือเมื่อมีวัตถุมากดทับ ในส่วนรองรับน้ำหนักหรือแรงดันในแนวดิ่ง โหลดเซลล์จะสามารถแปลงระดับของแรงกดเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้

อุปกรณ์โหลดเซลล์ส่วนมากไม่สามารถทนความร้อนได้สูง หรือถ้าทนได้ก็จะใช้วัดชิ้นงานที่มีน้ำหนักมาก [14] ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ในโครงการนี้ได้เพราะ ชิ้นงานที่จะใช้วัดมีน้ำหนักไม่เกิน 1,000 กรัม ถ้าใช้ตัววัดที่วัดน้ำหนักได้สูงจะทำให้ความละเอียดของน้ำหนักมีน้อยจนไม่สามารถบอกความแตกต่างของน้ำหนักชิ้นงานได้ แต่รุ่นที่นำมาใช้ในการทำโครงงานวิจัยนี้สามารถรับน้ำหนักกระหว่าง 0-900 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักของแผ่นขึ้นไม้อัดที่หนักประมาณ 200-300 กรัม

ในโครงงานวิจัยนี้ใช้กล้องที่ถ่ายภาพได้คมชัด 720p และต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB โดยติดกล้องไว้ด้านนอกของตู้อบ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้กล้องทนความร้อนสูง

2.2. การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ หมายถึง การเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใด ๆ มากระทำกับภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ ให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ความคมชัด หรือการประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หรือใช้สำหรับการประมวลผลในระดับสูง เช่นการจดจำรูปร่างลักษณะได้อย่างแม่นยำ

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายระบบด้วยกัน แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ในสเปซ 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปซซึ่งแต่ละแกนจะมีอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB (Red-Green-Blue) จะมีแกนสีคือ แขนสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ในระบบ HSV จะมีแกนเป็นค่าสี (Hue – ค่าอยู่ระหว่าง $0-360^\circ$) ความบริสุทธิ์ของสี (Saturation ค่าอยู่ระหว่าง $0-1$, 1 หมายถึงบริสุทธิ์มากไม่มีสีขาวปน) และความสว่าง (Value ค่าอยู่ระหว่าง $0-1$, 0 คือดำสนิท) ทั้งนี้สีของแผ่นขึ้นไม้อัดเริ่มต้นจะมีค่า H ประมาณ 100-120

โดยในโครงงานวิจัยนี้ได้ใช้การวิเคราะห์ภาพกับมาตรฐานสี HSV เพื่อให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำและลดความคลื่อนจากสภาพแสงในตู้ที่มีความไม่สม่ำเสมอ

2.3. ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุมระดับฮาร์ดแวร์

โครงงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับการประมวลผลหลัก โดยต่อเชื่อมกับอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและน้ำหนักชิ้นงานภายในเครื่องอบ และเชื่อมกับกล้องถ่ายภาพ เพื่อวิเคราะห์สีของชิ้นไม้ เมื่อได้ข้อมูลตามต้องการไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ให้ดำเนินการปรับอุณหภูมิและลมร้อนภายในให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพทั้งความชื้นและสีสันตามต้องการ

การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงจะใช้โปรโตคอล 2 ลักษณะคือแบบอนุกรม (Serial Protocol) และ MODBUS Protocol แบบ RTU ซึ่งเป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอุตสาหกรรม [15]

3. การดำเนินการวิจัย

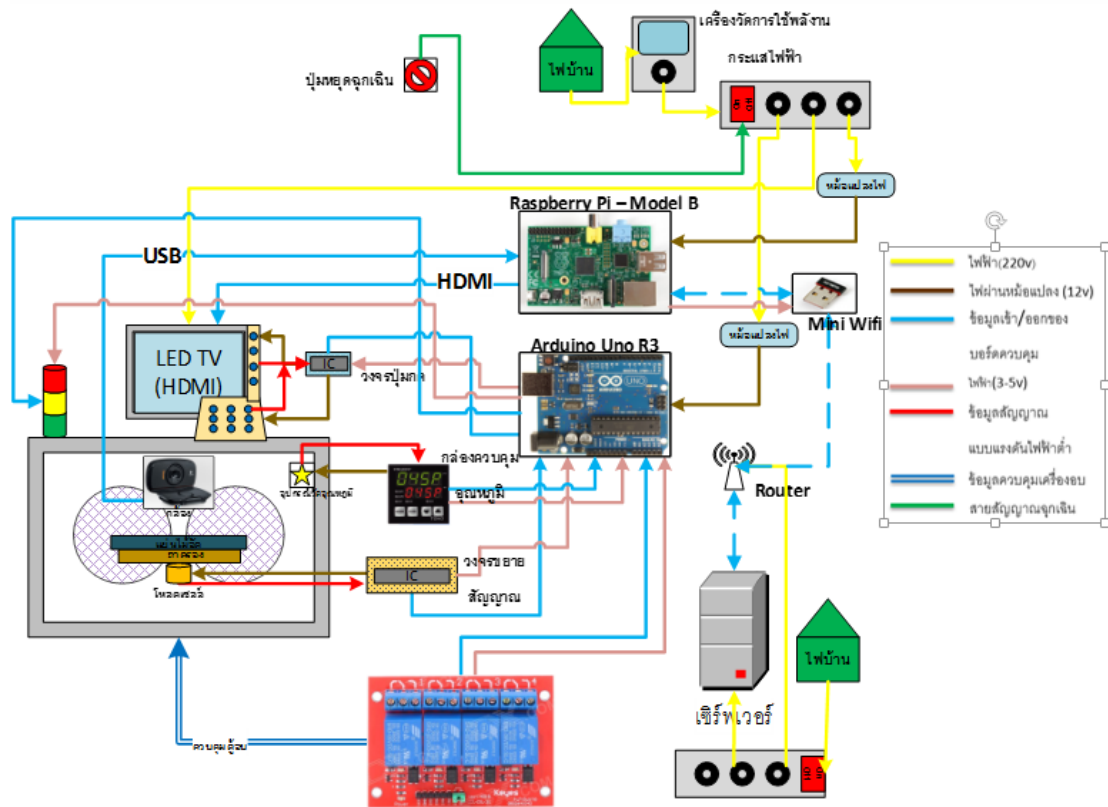
การพัฒนาระบบเครื่องอบลมร้อนระบบสมองกลฝังตัวมีส่วนสำคัญดังแสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ระบบนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการควบคุมเครื่อง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ ทั้งนี้ในส่วนประมวลผลเพื่อการตัดสินใจนั้นจะต้องรับค่าจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ซึ่งได้แก่ กล้องคุณภาพสูง อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ อุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์บนส่วนประมวลผลหลักและสั่งการให้เครื่องอบลมร้อนทำงานตามที่ต้องการ โดยในส่วนสั่งการจะประกอบไปด้วยกล้องควบคุมอุณหภูมิ บอร์ดรีเลย์ บอร์ดสมองกลฝังตัว นอกจากนี้ยังมีส่วนรับข้อมูลเข้าคือ ปุ่มกดและคีย์แพด ทั้งนี้ระบบที่ได้กล่าวมายังส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลไว้เรียกดูย้อนหลังได้อีกด้วย และในรูปที่ 2 จะแสดงข้อมูลโครงสร้างและตำแหน่งของอุปกรณ์ รูปที่ 3 แสดงตู้อบตามที่ออกแบบ

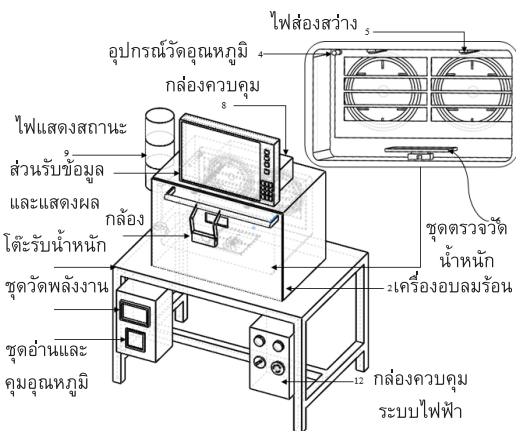
เครื่องอบที่พัฒนาขึ้นนี้ดัดแปลงมาจากตู้อบลมร้อนมาตรฐานที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ระหว่าง $20-300^\circ\text{C}$ มีขนาดความจุ 84 ลิตร น้ำหนักรวม 50 กิโลกรัม

3.1 การวิเคราะห์ภาพ

ระบบการวิเคราะห์รูปนี้จะทำหน้าที่ถ่ายรูปแบบไม่ภายในเครื่องอบแล้วนำรูปดังกล่าวไปปรับแต่งให้รูปอยู่ในแนวตรงเหมือนถูกถ่ายจากด้านบนของแผ่นไม้ดังรูปที่ 4 เพื่อให้วิเคราะห์ค่าสีได้ถูกต้องที่สุด โดยมาตรฐานสีที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ มาตรฐานสี HSV เพราะว่าการใช้มาตรฐานสีแบบ HSV เป็นค่าสีที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้เนื่องจากโทนสีของแผ่นไม้จะมีโทนสีตั้งแต่น้ำตาลเข้ม ถึงสีน้ำตาลที่อ่อนมาก



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์ภายในระบบ



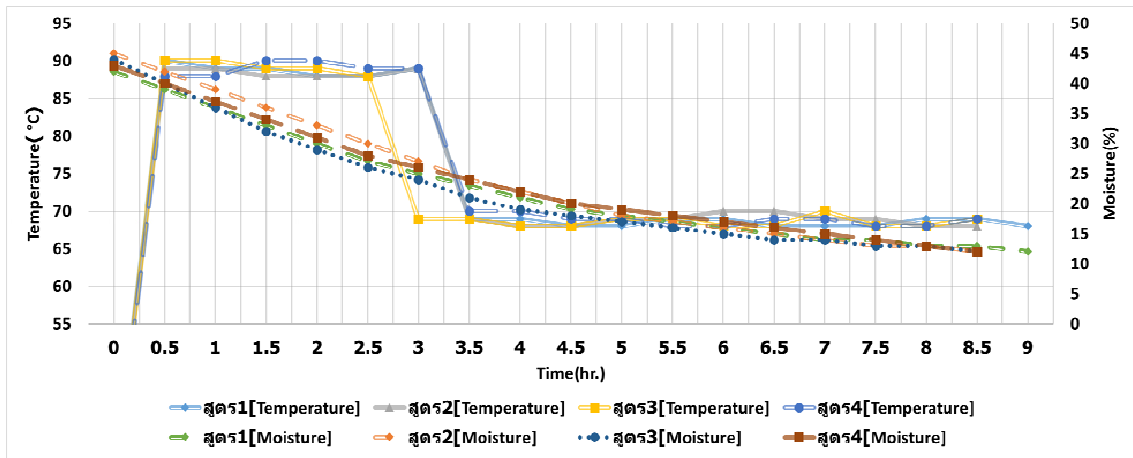
รูปที่ 2 แสดงข้อมูลโครงสร้างและตำแหน่งของอุปกรณ์



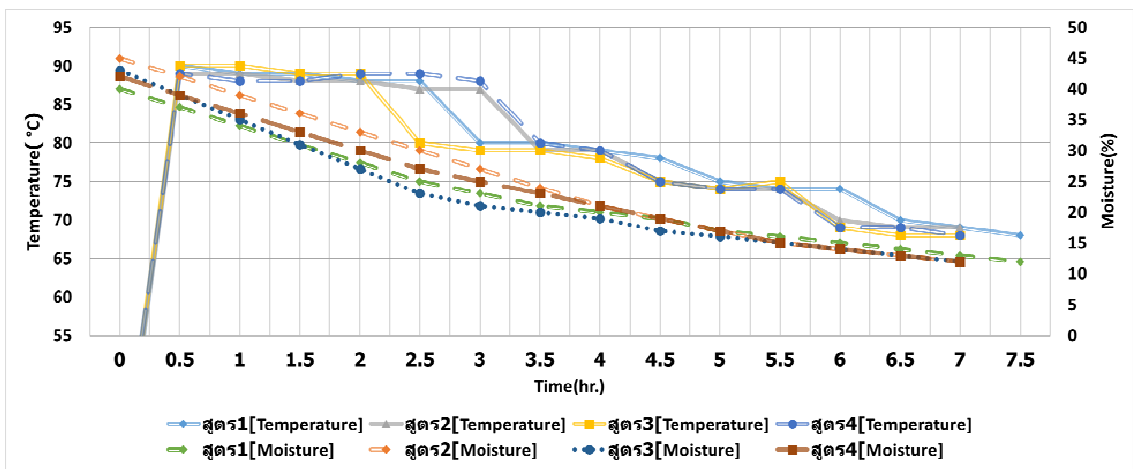
รูปที่ 3 รูปตู้ควบคุมระบบสมองกลฝังตัวต้นแบบ



รูปที่ 4 การปรับแต่งรูปให้อยู่ในแนวตรง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลาโดยใช้ความชื้นในการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลาโดยใช้ความชื้นและค่าสีในการควบคุมอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่ารูปทางด้านซ้ายคือกล้องจากด้านหน้าถ่ายรูปได้ และรูปด้านขวาคือถูกดัดแปลงแล้วโดยระบบใช้หลักการทางคอมพิวเตอร์ดัดแปลงรูปนี้ด้วยตัวเอง ทั้งนี้หลักการที่ใช้คือ Perspective Transformation โดยระบบถ่ายได้ซ้าย จากนั้นระบบจะต้องระบุตำแหน่งของขอบแผ่นไม้ทุกมุม 4 ตำแหน่ง (ผู้พัฒนาได้กำหนดตำแหน่งที่แน่นอนไว้แล้ว) และกำหนดขนาดของรูป รูปใหม่ที่จะเห็นเฉพาะตัวแผ่นไม้ ด้วยหลักการดังกล่าวจะสามารถปรับรูปให้เป็นดังรูปข้างขวาได้

3.2 การแปลงค่าสี

การแปลงค่าสีจำเป็นต้องนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากระบบถ่ายได้จะมีมาตรฐานสี RGB แต่ในงานวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องใช้มาตรฐานสี HSV เพื่อที่จะได้ค่าสีที่สอดคล้องกับผลวิจัยที่สุด โดยเมื่อระบบจับรูปและปรับแต่งรูปให้อยู่ในเหมาะสมแล้ว ก็จะแบ่งรูปออกเป็น 16 ส่วนย่อยๆ เพื่อจะแบ่งข้อมูลออกมาและหาความเบี่ยงเบนของสีและเก็บข้อมูลดังกล่าวไว้อ้างอิงความสมดุลของสี จากนั้นจะนำค่าสีที่เฉลี่ยในทุกๆจุดของแต่ละรูปย่อยมารวมกันและหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง โดยค่าสีตอนนี้ยังเป็นมาตรฐานสี RGB จากนั้นระบบจะทำการแปลงค่าสีให้อยู่ในมาตรฐานสี HSV และเก็บข้อมูลต่อไป

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

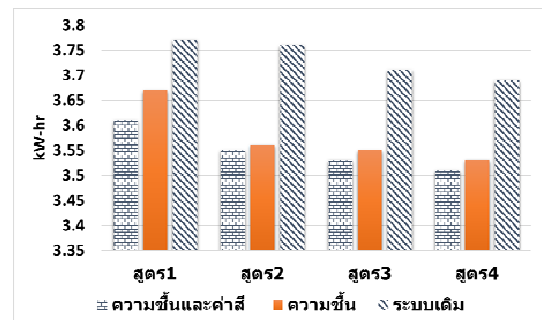
ในส่วนนี้จะแสดงผลการทดลอง ที่ได้นำแผ่นไม้ที่อัดจากเปลือกทุเรียนโดยใช้ผงเปลือกทุเรียนเป็นตัวเชื่อมประสาน มาอบในสภาวะต่างๆ โดยจะแสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น สี รวมถึงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างการอบแผ่นไม้อัดที่ใช้จะมี 4 สูตรตามอัตราส่วนของเส้นใย:ผง:น้ำ ได้แก่ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ โดยแต่ละแผ่นมีขนาด 20X20X1 ซม.³ ในแต่ละการทดลองจะอบและทดสอบซ้ำจำนวน 4 ครั้ง

ระบบควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งจะแบ่งเป็น 2 แนวทางคือการควบคุมโดยใช้ค่าความชื้นเพียงอย่างเดียว และควบคุมโดยใช้ทั้งสีและความชื้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังต่อไปนี้

รูปที่ 5 แสดงค่าปริมาณความชื้นในแผ่นขึ้นไม้อัดและอุณหภูมิในตู้อบ ระหว่างการอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น ประมาณ 8-9 ชั่วโมง ทั้งนี้กำหนดให้เมื่อความชื้นในแผ่นมากกว่า 25% จะใช้อุณหภูมิในการอบที่ 90 องศาเซลเซียส แต่เมื่อความชื้นลดลงจะปรับอุณหภูมิลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 6 แสดงค่าปริมาณความชื้นในแผ่นขึ้นไม้อัดและอุณหภูมิในตู้อบ ระหว่างการอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 7 ชั่วโมง ทั้งนี้กำหนดให้เมื่อความชื้นในแผ่นมากกว่า 25% จะใช้อุณหภูมิในการอบที่ 90 องศาเซลเซียส แต่เมื่อความชื้นอยู่ระหว่าง 15-25% จะพิจารณาจากค่า Saturation (ในโหมด HSV) ของแผ่นไม้ขณะนั้น และเมื่อความชื้นลดลงต่ำกว่า 15% จะปรับอุณหภูมิลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแสดงในรูปที่ 7 โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งแบบปกติ การอบแห้งโดยใช้ความชื้น และการอบแห้งที่ใช้ทั้งความชื้นและสีแผ่นไม้

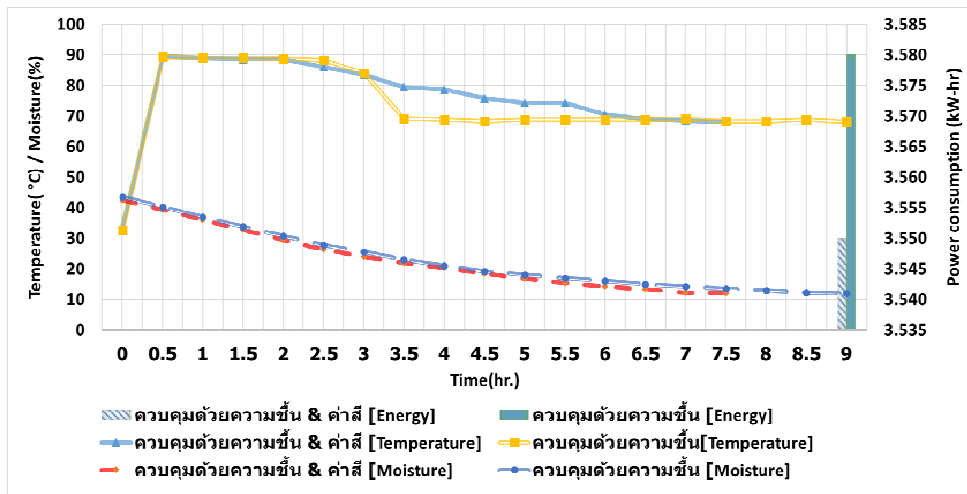


รูปที่ 7 แสดงอัตราการใช้พลังงานของเครื่องอบลมร้อน

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าเครื่องอบลมร้อนสมองกลฝังตัวที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิ ด้วยความชื้นและค่าสีมีอัตราการใช้พลังงานที่น้อยที่สุดหรือประหยัดที่สุดโดยเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบลมร้อนระบบเดิมทำให้ได้ประสิทธิภาพที่แน่นอนและแม่นยำกว่า อีกทั้งยังประหยัดพลังงานได้มากกว่าถึง 5% ต่อหนึ่งหน่วยการผลิตเพื่อเปรียบเทียบผลที่ชัดเจนระหว่างการอบแห้ง โดยใช้เฉพาะความชื้น กับการอบแห้งโดยใช้ความชื้นและสีเป็นตัวควบคุม จึงนำผลมาแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 8

จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานกับอุณหภูมิที่ทั้งสองระบบใช้แล้วพบว่าแบบใช้ทั้ง ความชื้นและค่าสีจะใช้เวลาน้อยกว่าประมาณ 1 ชั่วโมง และใช้พลังงานน้อยกว่าประมาณ 5%

รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างของขึ้นไม้อัดก่อนอบที่ความชื้นประมาณ 30% น้ำหนัก 382 กรัม และหลังอบที่ความชื้น 12% น้ำหนัก 335 กรัม



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองระบบที่ได้ทดลอง



(ก) รูปแผ่นขึ้นไม้ อัดก่อนอบมีน้ำหนัก 382 กรัม และมีความชื้น 30% มีสีค่อนข้างคล้ำเพราะมีน้ำอยู่ปริมาณมาก



(ข) รูปแผ่นขึ้นไม้อัดหลังอบมีน้ำหนัก 335 กรัมและมีความชื้น 12% มีสีสว่างขึ้น

รูปที่ 9 ตัวอย่างแผ่นขึ้นไม้อัดก่อนและหลังอบ

5. สรุปผลการทดลอง

การอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนด้วยเครื่องอบลมร้อนสมองกลึงตัวและระบบประมวลผลภาพพบว่า การที่จะให้ได้แผ่นไม้อัดที่มีความชื้นเหมาะสมอันจะไม่ทำให้เกิดการขึ้นราและยังใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุดนั้น ระบบควบคุมอุณหภูมิต้องอาศัยข้อมูลมาวิเคราะห์ในหลายส่วนๆ ได้แก่ อุณหภูมิจริงในตู้อบ ความชื้นในแผ่นไม้อัด รวมทั้งสีของขึ้นไม้อัด ทั้งนี้ในช่วงแรกของการอบแห้งที่ความชื้นยังสูง ระบบจะใช้อุณหภูมิสูงสุดและอบแผ่นไม้จนกว่าความชื้นจะอยู่ในระดับ 25% จากนั้นระบบประมวลผลหลักจะดึงข้อมูลจากระบบประมวลผลภาพมาช่วยวิเคราะห์เพื่อปรับอุณหภูมิ และเมื่อความชื้นอยู่ที่ 15% ระบบจะตั้งอุณหภูมิให้น้อยและอบแห้งต่อเนื่องจนความชื้นในแผ่นไม้ตรงกับที่ต้องการ จึงหยุดการอบแห้ง ด้วยกระบวนการอบแห้งนี้ทำให้ใช้พลังงานในการอบแห้งลดลงประมาณ 5% และระยะเวลาลดลงประมาณ 12% เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบมาตรฐาน

ในการประยุกต์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ระบบการอบแห้งมักจะเป็นแบบสายพานลำเลียง ที่มีการอบแห้งอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นสามารถประยุกต์แนวคิดในการปรับอุณหภูมิและเวลาให้สอดคล้องกับลักษณะของชิ้นงาน เช่น เมื่อชิ้นงานมีความชื้นที่น้อยกว่าปกติ ก็สามารถปรับสายพานให้เคลื่อนที่เร็วขึ้นได้ หรือการปรับเพิ่มอุณหภูมิเพื่อให้ชิ้นงานมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยในการดำเนินการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาระดับชาติ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเงินในการดำเนินการวิจัย และ ศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีย์ สำหรับคำแนะนำที่มีประโยชน์ในการดำเนินการวิจัย และขอขอบพระคุณ ดร. ณรงค์ชัย โอเจริญ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการดำเนินการวิจัยสำเร็จ ลุล่วง และขอขอบคุณ คุณจตุพร แก้วสมจิตร และ นักศึกษาชมรมโรบอท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ที่ได้ช่วยในการพัฒนาเครื่องอบแห้งลมร้อนระบบสมองกลึงตัวนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สโรชา เจริญวัย, สรพงษ์ ภาสุปรีย์, อนินท์ มีมนต์, ชนากานต์ อาษาสุจิต และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2555), รายงานการวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตัวเชื่อมประสานที่ย่อยสลายได้จากเปลือกทุเรียนหมอนทองในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด
- [2] ชนากานต์ อาษาสุจิต และคณะ รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โครงการการพัฒนาเครื่องอบแห้งสุญญากาศ 2552
- [3] Asasutjarit, C., Charoenvai S., "Development of a vacuum dryer for red chilli", The 6th Asia-Pacific Drying Conference (ADC 2009), 19th – 21st October 2009, Bangkok, Thailand
- [4] ชนากานต์ อาษาสุจิต และสโรชา เจริญวัย, 2552, "การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกชี้หูใหญ่สีแดงโดยใช้เครื่องอบแห้งสุญญากาศ", การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 29 เมษายน-1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก
- [4] Kaensup,W., Chutima, S. and Wongwises, S. Experimental study on drying of chilli in a combined microwave-vacuum-rotary. Drying Technology. 20: 2067-2079 (2002)
- [6] Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, U. S. and Raghavan, G. S. V. Drying characteristics on red chilli. Drying Technol. 20: 1975-1987 (2002)

- [7] Tasirin, S.M. ,Kamarudin S.K. and Jaafar, K. The drying kinetics of bird's chillies in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*. 79: 695–705 (2007)
- [8] Lee, J. H. and Kim, H. J. Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanussativus* L.) slices. *LWT - Food Science and Technol*. 42: 180–186 (2009)
- [9] รังสิมา เพ็ชรเม็ดใหญ่. ระบบสมองกลฝังตัว. ศูนย์บริการความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี STKS สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 4/2552 - 31 มกราคม 2552
- [10] จันทรจิรา สิ้นทนะโยธิน, วิศรุต พลสิทธิ์. Image processing เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ
- [11] คลังความรู้ช่างเทคนิค. เทอร์โมคัปเปิล (THERMOCOUPLE). 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555
- [12] หจก.แอ็ดวานซ์ บิสซิเนส อินเตอร์เทรด. Moisture Meter/ เครื่องวัดความชื้นไม้.
- [13] Strain Measurement Devices. S215 Ultra-Low Profile Miniature Single Point Load Cell, <http://www.smdsensors.com/Products/S215-Ultra-Low-Profile-Miniature-Single-Point-Load-Cell/> (วันที่ค้นหาข้อมูล: 27 สิงหาคม2556).
- [14] หจก.บางกอกคิปปโตกราฟฟี. โหลดเซลล์ (Load cell / Loadcell)
- [15] Modbus Application Protocol V1.1b3, Modbus. Modbus Organization, Inc. Retrieved 2 August 2013.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล A Model of System Improvement for Electricity Cogeneration Sugar Factories

วสันต์ วงษ์ราช¹และ ชนกนันท์ สุขกำเนิด²

Wasan Wongrat¹and Chanoknun Sookkumnerd²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

Received: January 2015

Accepted: June 2015

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ เป็นการพัฒนารูปแบบจำลองสมมูลมวลและพลังงานของระบบผลิตไอน้ำและไฟฟ้าแบบความร้อนร่วมในอุตสาหกรรมน้ำตาล แบบจำลองนี้ใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้ในการศึกษาสภาวะการเดินเครื่องที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและการลงทุน เพื่อชี้วัดความสามารถในการวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นโดยรวมของกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง รวดเร็ว ลดขั้นตอนการคำนวณที่สลับซับซ้อน โดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมา จากการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถแสดงผลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงจากโรงงานและจากข้อมูลของโรงไฟฟ้าที่กำลังผลิตของหม้อไอน้ำ 170 ตันต่อชั่วโมง สภาวะความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 431.3 kW/ตันชานอ้อย โดยที่ค่าพลังงานที่ได้จากแบบจำลองคือ 441.4 kW/ตันชานอ้อย เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ด้านการลงทุนพบว่า ที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส ระดับความดันที่ 90 บาร์และ 105 บาร์ ให้ผลตอบแทนทางด้านการลงทุนคุ้มค่าที่สุด โดยที่ระยะเวลาคืนทุน 5.32 และ 5.34 ปี อัตราผลตอบแทนภายใน (%IRR) เท่ากับ 24.25 % และ 24.20% ตามลำดับ

คำหลัก : แบบจำลองโรงไฟฟ้าแบบความร้อนร่วม การลงทุน

Abstract

This study is a model development of mass and energy balance of steam and electricity cogeneration for sugar mills. This program runs on Microsoft Excel and was developed to operate in various conditions relating to production and investment. The purpose is to narrow down the overall analysis of steam and electricity generation and increase accuracy. Study results show the use of this model displays similar results in comparison to the actual data recorded in the factory. The actual steam condition was running steam flow rate of 170 ton/hr at 105 bar, 520 °C. The power plant produce the resulted of 431.3 kW/ton bagasse and the simulated result was 441.4 kW/ton bagasse. Based on the comparison between the model and the actual process, it can be conclude that this model can be applied with various operating conditions. For the capital investment, conditions at 540 °C with the pressure of 90 bar and 105 bar provide the optimal value. The result found that the payback periods are 5.32 and 5.34 years, and internal rates of return are 24.25% and 24.20%, respectively.

Keywords : Model, Cogeneration, Investment

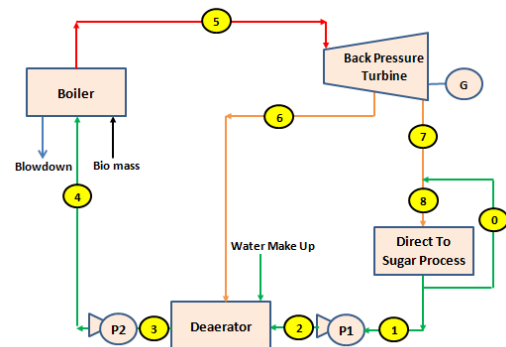
1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่สำคัญได้แก่ พลังงานไฟฟ้าผลิตจากชีวมวล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานด้านนี้เหลืออยู่มาก เนื่องจากเป็นประเทศเกษตรกรรม โรงไฟฟ้าชีวมวลจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียนใหม่ที่สำคัญ

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งมีการสร้างและพัฒนาแบบจำลอง ในการคำนวณหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ ปริมาณไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำ ปริมาณไอน้ำที่ส่งไปยังกระบวนการผลิตน้ำตาล และยังสามารถใช้แบบจำลองนี้เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านการลงทุน อันจะส่งผลให้สามารถผลิตพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เลือกสภาวะกระบวนการผลิตไฟฟ้าแบบความร้อนร่วมที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมน้ำตาล

2. การวิเคราะห์กระบวนการผลิตไฟฟ้า

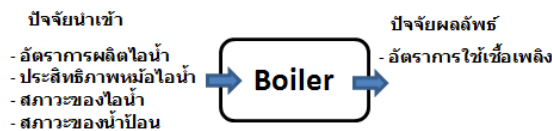
ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะได้แสดงถึงกระบวนการย่อยของการผลิตไฟฟ้า ที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิงและผลิตพลังงาน พร้อมทั้งการวิเคราะห์ซึ่งจะนำเสนอตามลำดับของกระบวนการดังนี้



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตไฟฟ้า [3]

จากรูปที่ 1 ใช้เชื้อเพลิงชานอ้อยในการเผาไหม้ให้พลังงานกับหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำส่งจ่ายไปยังกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำแบบ Back Pressure Turbine จะมีความดันต่ำ ใช้เพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำใน Deaerator และกระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาล [4]

2.1 การวิเคราะห์หม้อไอน้ำ



รูปที่ 2 แบบจำลองย่อยของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำมีหน้าที่ผลิตไอน้ำความดันสูงโดยความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำ ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชานอ้อย ในการพิจารณาแบบจำลองย่อย ดังรูปที่ 2 โดยปัจจัยนำเข้าจะมี อัตราการผลิตไอน้ำที่ 170 ตัน/ชั่วโมง ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ 90% (เป็นสภาวะค่าที่ใช้จริงในโรงงานเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง) และน้ำป้อนซึ่งมีสภาวะความดันกับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ช่วงความดันต่ำ 18 - 60 บาร์เพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนไปที่ 111 องศาเซลเซียส ความดัน 60 - 110 บาร์เพิ่มไปที่ 161 องศาเซลเซียส และปัจจัยผลลัพธ์ที่ได้คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 1 สภาวะของไอน้ำที่ผลิต

P (Bar)	18	30	40	50	60	70	80	90	105	110
---------	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----

ในงานวิจัยมีสภาวะของการผลิตไอน้ำที่แต่ละความดันดังตารางที่ 1 โดยที่แต่ละความดันมีระดับอุณหภูมิ 360, 380, 400, 450, 500, 520 และ 540 °C การคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิง, $\dot{m}_f$ [1] หาได้จาก

$$\dot{m}_f = \dot{m}_s (h_s - h_w) \cdot 100 / (\text{LHV} \eta_b) \quad (1)$$

โดยที่ LHV = 7,200 kJ/kg (ผลทดสอบจากห้องทดลอง)

$\dot{m}_s$ = อัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ (t/h)

h_s = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำ (kJ/kg)

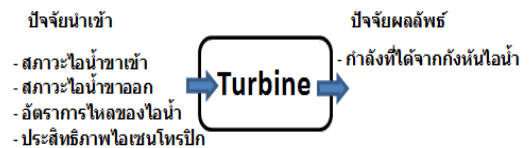
h_w = เอนทาลปีจำเพาะของน้ำป้อน (kJ/kg)

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

η_b = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (%)

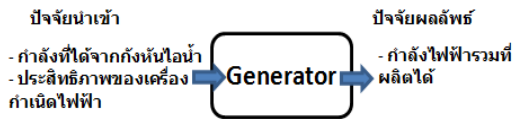
2.2 การวิเคราะห์กังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กังหันไอน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเกี่ยวเนื่องกัน ผู้วิจัยจึงรวมการพิจารณาไว้ด้วยกันดังนี้ กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานจากพลังงานความร้อนในไอน้ำเป็นพลังงานงานกลไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Electric Generator) โดยอาศัยหลักการทำงานสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวดผลิตไฟฟ้าออกมา



รูปที่ 3 แบบจำลองย่อยของกังหันไอน้ำ

ในส่วนของกังหันไอน้ำพิจารณาดังรูปที่ 3 ปัจจัยนำเข้าคือสภาวะของไอน้ำขาเข้าซึ่งเป็นไอน้ำที่ได้จากหม้อไอน้ำ สภาวะน้ำขาออกจะกำหนดโดยประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกที่ 80% (คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง) ทำให้สภาวะอุณหภูมิของไอน้ำที่ออกจากกังหันแตกต่างกันโดยที่ความดันเท่ากันสำหรับไอน้ำที่ออกมาอุณหภูมิสูงจะถูกปรับลดอุณหภูมิโดย Desuperheated เพื่อให้เหมาะกับการใช้ในระบบการผลิตน้ำตาล และปัจจัยผลลัพธ์คือกำลังที่ได้จากกังหันไอน้ำซึ่งจะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 4 แบบจำลองย่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รูปที่ 4 จากกำลังที่ได้จากกังหันไอน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยนำเข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 98% ทำให้ได้ปัจจัยผลลัพธ์ คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กำลังที่ได้จากกังหันไอน้ำโดย $\dot{W}_{T,i}$ [2] หาได้จาก

$$\dot{W}_{T,i} = \dot{m}_{s2,i} (h_1 - h_2)_i \quad (2)$$

โดยที่ $\dot{m}_{s2,i}$ = อัตราการไหลของไอน้ำที่เข้ากังหัน (t/h)

h_1 = เอนทาลปีจำเพาะที่ทางเข้า (kJ/kg)

h_2 = เอนทาลปีจำเพาะที่ทางออก (kJ/kg)

กำลังไฟฟ้ารวมที่ผลิต P_{Gross} หาได้จาก

$$P_{Gross} = \sum \{ \dot{W}_{T,i} (\eta_{g,i} / 100) \} \quad (3)$$

กำลังไฟฟ้าสุทธิ P_{Net} หาได้จาก

$$P_{Net} = P_{Gross} - P_{Use} - P_{motor\ feed\ pump} \quad (4)$$

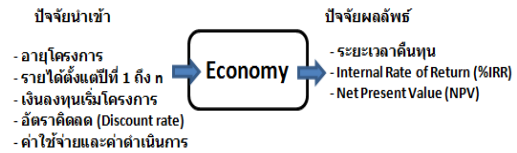
โดยที่ $\eta_{g,i}$ = ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใด (%)

P_{Use} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงงาน (kW)

$P_{motor\ feed\ pump}$ = กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ปั๊มน้ำป้อน

ในแต่ละสถานะแรงดัน (kW)

2.3 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 5 แบบจำลองย่อยของด้านเศรษฐศาสตร์

เมื่อได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองของการผลิตไฟฟ้าที่สถานะต่างๆ แล้ว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปแบบของการลงทุน

โดยสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในด้านการลงทุนที่จะสร้างโรงไฟฟ้าที่สถานะต่างๆ ตามที่ศึกษาโดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ปัจจุบัน ซึ่งกำหนดปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ดังรูปที่ 5

1) ระยะเวลาคืนทุน (Discount Payback Period)

เป็นการค้นหาจุดคุ้มทุนของโครงการที่ทำโดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่า เมื่อมีการลงทุนในโครงการนั้นแล้ว จะใช้ระยะเวลาเท่าใดในการคืนทุน โดยใช้วิธี

คิดลดจากกระแสเงินสดสะสมที่จะได้รับในอนาคต (Present Value of Cash Flow) [5]

$$DPB = A + \frac{B}{C} \quad (7)$$

A = จำนวนงวดก่อนคืนทุน

B = มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่คืนทุน

C = มูลค่าปัจจุบันกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน

2) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (%IRR)

ผลตอบแทนภายในเป็นการประเมินโครงการโดยการพิจารณาอัตราดอกเบี้ยหรือผลตอบแทนที่ทำให้กระแสเงินสดที่ได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุโครงการเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว เท่ากับเงินสดเมื่อเริ่มต้นโครงการ

จะยอมรับโครงการที่มีวัตถุประสงค์เหมือนกัน ให้เลือกโครงการที่มี IRR สูงที่สุด [1, 2]

$$\sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} - I_0 = 0 \quad (8)$$

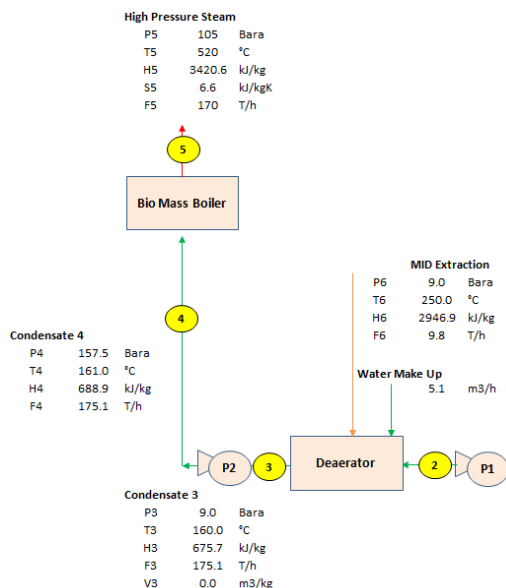
n = อายุของโครงการ

ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment) โดยรายได้จากการขายไฟฟ้าคำนวณจากหน่วยกำลังไฟฟ้าสุทธิ (Net Power) คูณกับราคาอ้างอิงต่อหน่วยของการไฟฟ้า

3. การพัฒนาแบบจำลอง

3.1 การพัฒนาแบบจำลองของหม้อไอน้ำ



		Input	Output
Boiler Spec			
Steam	Pressure	105	Bara
	Temperature	520	°C
	Flow rate	170	T/h
	Blowdown rate	3	%
Feed water			
Pressure	157.5	Bara	
	161	°C	
Boiler Efficiency		90	%
Fuel Consumption			
Using	Bagasse		
	Bagasse LHV	7200	kJ/kg
	Bagasse Used	71.667	T/h

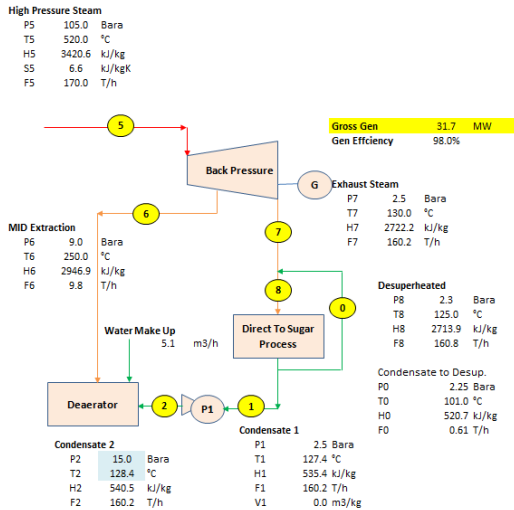
รูปที่ 6 ส่วน Input และ Output ของหม้อไอน้ำ

ในส่วนของแบบจำลองหม้อไอน้ำ จะมีการป้อนค่าความดันและอุณหภูมิของไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำป้อนอัตราการ Blowdown ค่า LHV ของเชื้อเพลิงชานอ้อย และประสิทธิภาพหม้อไอน้ำซึ่งกำหนดที่ 90% รวมทั้งอัตราการผลิตไอน้ำที่ต้องการ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคือปริมาณเชื้อเพลิงชานอ้อยที่ใช้

3.2 การพัฒนาแบบจำลองของกังหันไอน้ำและเครื่องเน็ดไฟฟ้า

ในส่วนของแบบจำลองกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีการกำหนดประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก 80% ซึ่งจะมีการป้อนค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นแบบจำลองจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้ คือ ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ (Gross Power)

รวมทั้งการใช้พลังงานความร้อนไปที่แหล่งต่างๆในแต่ละหน่วยผลิตของ กระบวนการนำแบบจำลองย่อยส่วนต่างๆประกอบเข้าด้วยกัน จะได้ภาพรวมของกระบวนการดังรูปที่ 8 ซึ่งจะทราบถึงภาพรวมของการใช้และการผลิตพลังงานทั้งหมด

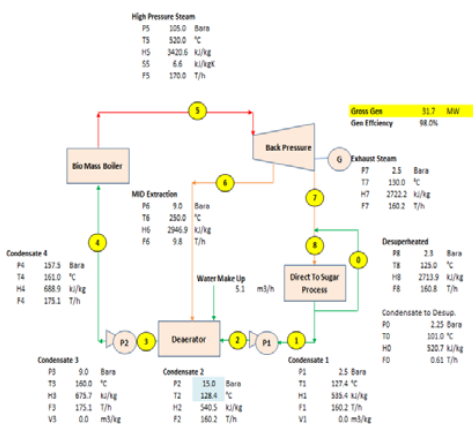
**BOP**

Exhaust to Heat Exc.	160.17	T/h
Steam To Deaerator	9.83	T/h
Demin Makeup	5.1	m ³ /h

Steam Turbine & Generator

Isentropic Efficiency	80	%
Generator Efficiency	98	%
Electrical Gross Gen	31.53	MW
Pump Power Need	1.32	MW
@ Pump Eff	0.65	%

รูปที่ 7 ส่วน Input และ Output ของกังหันไอน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 8 ภาพรวมของแบบจำลองการผลิตไฟฟ้า

3.3 การพัฒนาแบบจำลองด้านเศรษฐศาสตร์

Input	Input Data	Output data
ความดัน	105	Bara
อุณหภูมิ	520	°C
เงินลงทุน	1465.59	ล้านบาท
จำนวนยูนิตที่ใช้	71.67	คัน / ชั่วโมง
ราคาเชื้อเพลิงรวมค่าบริหารจัดการเก็บและป้อน	410	บาท / คัน
ปริมาณน้ำป้อน	5.1	คัน / ชั่วโมง
ค่าการกลั่นน้ำเพื่อใช้ป้อนหม้อไอน้ำ	25	บาท / คัน
ชั่วโมงการทำงาน	7200	ชั่วโมง / ปี
ราคาขายไฟฟ้าเฉลี่ย	3.00	บาท/กWh
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้	30.40	เมกะวัตต์
อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	6.98%	%

รูปที่ 9 ส่วน Input ของแบบจำลองด้านการเงิน

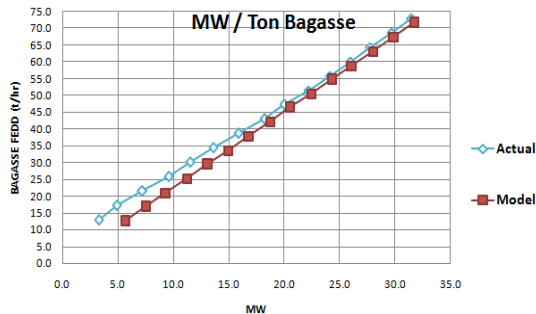
นำปัจจัยผลลัพธ์จากแบบจำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้าคือกำลังไฟฟ้าที่ผลิต (Net Power) ได้เป็นปัจจัยนำเข้าด้านรายได้และอัตราการใช้เชื้อเพลิงเป็นปัจจัยนำเข้าค่าใช้จ่าย และยังมีปัจจัยนำเข้าด้านอื่น ดังรูปที่ 9

Output	
Pay back period (Yr)	5.54
%IRR	23.03%
NPV (Bath)	2,312,241,345
%ROE	22.35%

รูปที่ 10 ส่วน Output แบบจำลองด้านการเงิน

เป็นแบบจำลองผลลัพธ์ด้านการเงินเพื่อช่วยตัดสินใจในการลงทุนดังรูปที่ 10 คือค่าระยะเวลาคืนทุน (Discount Payback Period) และอัตราผลตอบแทนภายใน (%IRR) โดยที่อัตราคิดลดเท่ากันคือ 6.98%

4. ผลที่ได้จากแบบจำลอง



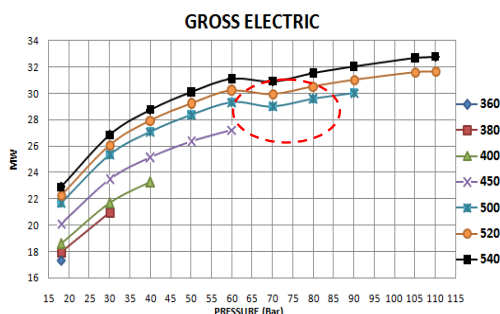
รูปที่ 11 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการผลิตไฟฟ้า

เทียบกับข้อมูลโรงไฟฟ้าที่ความดัน 105 บาร์

520 องศาเซลเซียส

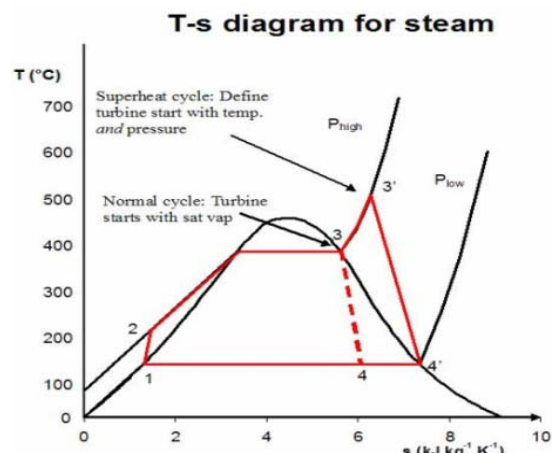
จากรูปที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิงชานอ้อยที่ใช้และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแบบจำลองและโรงไฟฟ้าจากรูปในช่วงอัตราการทำงานเชื้อเพลิงต่ำ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะต่างกัน โดยแบบจำลองจะสูงกว่า ข้อมูลการเดินเครื่องของโรงงานเนื่องจากในสภาวะการเริ่มจ่ายโหลดของหม้อไอน้ำอุณหภูมิจะต่ำกว่าการออกแบบของ

ผู้ผลิต เมื่อที่โหลดสูงมากกว่า 90% ของหม้อไอน้ำ จะพบว่าแนวโน้มจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากอุณหภูมิจะได้ตามที่ออกแบบไว้ 520 องศาเซลเซียส



รูปที่ 12 พลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้แต่ละสภาวะ

จากรูปที่ 12 ในสภาวะความดันสูง (>60 bar) เมื่ออุณหภูมิต่ำ (<450°C) จะไม่สามารถกำหนดค่าประสิทธิภาพไอเซนโทปิกได้สูงถึง 80% เนื่องจากสภาวะระดับความดันและอุณหภูมิทางออกของไอน้ำต่ำกว่าความต้องการของโรงงานน้ำตาล (1.5 Bar_g, 125°C) และมีบางส่วนลงถึงจุดเปลี่ยนเฟส (< Saturated Temp.) ซึ่งจะป็นอันตรายกับใบเบลดของกังหันไอจึงไม่น่าสภาวะนั้นมาพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้พบว่าที่ความดันและอุณหภูมิสูง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมากขึ้น เนื่องจากมีพลังงานในไอน้ำมาก จึงสร้างกำลังแก่กังหันเพื่อผลิตไฟฟ้าได้มากตามทฤษฎีของวัฏจักรแรงดัน ซึ่งงานสุทธิที่มากขึ้นเมื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิ ดังแสดงรูปที่ 13 T-s ไดอะแกรมและส่วนของอุณหภูมิไอน้ำที่แตกต่างกัน โดยความดัน 18 - 60 บาร์ อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส ความดัน 70 - 110 บาร์ อุณหภูมิ 161 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 70 บาร์ ได้ปริมาณไฟฟ้าน้อยกว่าที่ 60 บาร์ ดังรูปที่ 12 แต่ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จะน้อยกว่า โดยที่ปริมาณ MW/ตันชานอ้อย จะมากกว่า ที่ 60 บาร์ ดังแสดงในตารางที่ 2 อุณหภูมิไอน้ำป้อนจึงมีส่วนช่วยในเรื่องของการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับระบบ



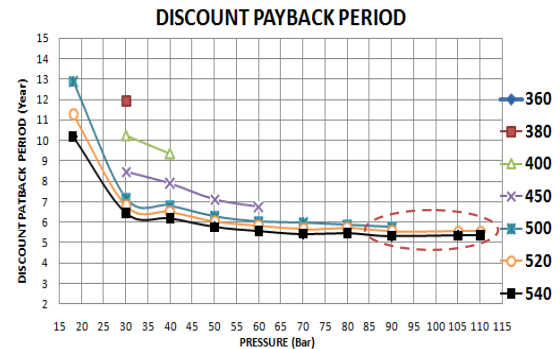
รูปที่ 13 T-s Diagram

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองที่แต่ละความดันโดยระดับอุณหภูมิที่ 540 องศาเซลเซียส อัตราการผลิตไอน้ำ 170 ตัน/ชั่วโมง

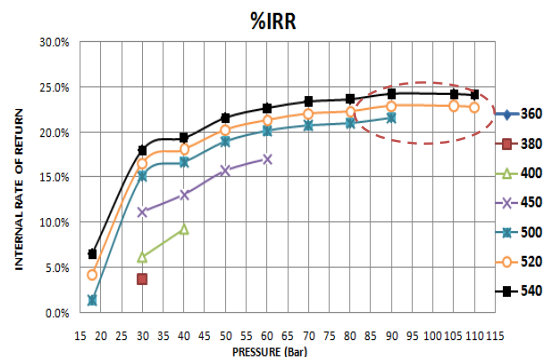
Pressure (Bar)	Bagasse (t/hr)	Gross (MW)	kW/Ton Steam	kW/Ton Bagasse
18	81.1	22.9	134.7	Base
30	80.8	26.84	157.9	+17.7%
40	80.5	28.76	169.2	+26.6%
50	80.2	30.09	177.0	+32.9%
60	79.9	31.10	183.0	+37.9%
70	74.0	30.93	181.9	+48.0%
80	73.7	31.55	185.6	+51.5%
90	73.4	32.05	188.5	+54.5%
105	73.0	32.69	192.3	+58.6%
110	72.9	32.78	192.8	+59.3%

จากตารางที่ 2 เปรียบเทียบ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง โดยใช้ความดัน 18 บาร์ เป็นฐานที่เปรียบเทียบ พบว่าอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของ MW/Ton Bagasse มีแนวโน้มลดลงในช่วงในช่วงความดันสูง

เมื่อเทียบกับในช่วงความดัน 18-60 บาร์ซึ่งแตกต่างกันถึง 10% โดยที่ช่วงความดันสูง 70-105 บาร์ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเพียง 1-3% ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของ T-s Diagram เมื่อเพิ่มความดันสูงขึ้นโดยที่อุณหภูมิคงที่ อัตราของงานสุทธิที่เพิ่มขึ้นจะลดน้อยลง เนื่องจากเขาใกล้ Critical point พื้นที่การให้พลังงานจะลดน้อยหรือแคบลงกว่าบริเวณที่ฐานของโดม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 14 ระยะเวลาคืนทุนของโรงไฟฟ้าที่ระดับความดันและอุณหภูมิต่างๆ (Isentropic 80%)



รูปที่ 15 อัตราผลตอบแทนภายในของโรงไฟฟ้าที่ระดับความดันและอุณหภูมิต่างๆ (Isentropic 80%)

จากปัจจัยผลลัพธ์ของแบบจำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้า เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์ในด้านการลงทุน ผลตอบแทนจากการลงทุนแสดงดังรูปที่ 14 และ 15 ที่ทิศทางเป็นตามพลังงานที่ได้รับตามทฤษฎีดังรูปที่ 13 แต่จุดที่ให้ความคุ้มค่าในด้านการลงทุนคือช่วงระดับความดัน 90 และ 105 บาร์ เนื่องจากที่ความดันและอุณหภูมิมากกว่า จะได้อัตราการเพิ่มของพลังงานที่ไม่คุ้มค่ากับอัตราการเพิ่มของการลงทุน

5. สรุปผล

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าโดยการเพิ่มความดันและอุณหภูมิของไอน้ำ รวมถึงการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำเป็นไปตามทฤษฎี แต่ช่วงการเพิ่มในสภาวะใกล้ Critical Point ของ T-s ไดอะแกรม พบว่าอัตราการเพิ่มของพลังงานมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการลงทุน ทำให้ผลตอบแทนจากการลงทุนคุ้มค่าน้อยลง ผลลัพธ์จากแบบจำลอง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของโรงไฟฟ้าที่สภาวะความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส อัตราการผลิตไอน้ำ 170 ตัน/ชั่วโมง จากแบบจำลองคือ 441.4 kW/ตันชานอ้อย และข้อมูลจากโรงไฟฟ้าคือ 431.3 kW/ตันชานอ้อย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันสามารถนำแบบจำลองไปใช้ได้ และในส่วนของแบบจำลองด้านการลงทุนพบว่าที่ระดับความดันมากกว่า 70 บาร์ จะให้ผลตอบแทนด้านการลงทุนที่น่าสนใจกว่าระดับความดันต่ำ ซึ่งที่ความดัน 90 บาร์และ 105 บาร์ อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส จะให้ผลตอบแทนด้านการลงทุนดีที่สุด คือระยะเวลาคืนทุน 5.32 ปี และ 5.34 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน (%IRR) เท่ากับ 24.25% และ 24.20% ตามลำดับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจากโรงงาน หากมีการปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วนของพลังงานความร้อนที่ส่งไปยังกระบวนการผลิตน้ำตาลและการสูญเสียพลังงานตามจุดต่างๆ จะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำและครอบคลุมมากขึ้น ผู้วิจัยคาดว่าจะสามารถนำไปใช้ได้จริงกับโรงงาน เนื่องจากปัจจุบันผู้ปฏิบัติงานยังใช้การคำนวณที่ยังไม่มีความครอบคลุมระบบผลิตไอน้ำและไฟฟ้า และสามารถใช้แบบจำลองนี้ เพื่อวิเคราะห์เลือกสภาวะความดันและอุณหภูมิของโรงไฟฟ้าแบบความร้อนร่วมในอุตสาหกรรมน้ำตาลให้เหมาะสม และยังคุ้มค่าต่อการลงทุน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อัจฉริยา บัวทอง. (2557). การพัฒนาแบบจำลองสมดุลมวลและพลังงานสำหรับโรงน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [2] วลีรัตน์ ทศโนธาดา. (2551). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในโรงงานน้ำตาล. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] Joan M.Ogden, Simone Hochgreb, Mechael Hylton.(1990). Steam Economy and Cogeneration in Cane Sugar Factories, International Sugar Journal, Vol.92 No.1099
- [4] E.Hugot. (1986). Handbook of Sugar Engineering. 3rd ed. Elsevier, Amsterdam: Elsevier Science.
- [5] ธนาคารแห่งประเทศไทย. ดอกเบี้ยธนาคาร. สืบค้นเมื่อ เมษายน 2558 เข้าถึงได้ที่ <https://www.bot.or.th/>



การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำมันด้วยน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัด

Algae Oil Cultivation using Treated Domestic Wastewater

ธัญลักษณ์ ราชบุรุษกิจ^{1*}, ขวัญกมล พรหมมา², วันวิสาข์ ทองอินทร์³ และ นฤนาท เสวีวัฒน์¹

ThunyaluxRatpukdi^{1*}, KwankamonPromma², Wanwisa Thong-in³ and Narunart Sewiwat¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมืองจ.ขอนแก่น 40002

²บริษัท ไม่นฮาร์ท (ประเทศไทย) จำกัด 1550 ถนนภูมิ ทาวเวอร์ ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ มักกะสัน ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

³บริษัท กรีนเนอร์ คอนซัลแทนท์จำกัด 19/1-2 อาคารวังเด็ก 3 ชั้น 7 ถ.วิภาวดีรังสิต จอมพล จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Received: January 2015

Accepted: June 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเจริญเติบโตและการผลิตไขมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก(microalgae) ด้วยน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้วจากมหาวิทยาลัยขอนแก่นเนื่องจากในน้ำเสียที่มีธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะจากการให้แหล่งคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์และคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพที่ทำการหมักจากมูลไก่แห้งและมีชุดควบคุม ที่ไม่มีการเติมก๊าซใดๆ โดยสาหร่ายที่นำมาเพาะเลี้ยงคือสายพันธุ์ *Scenedesmus* Sp. ทำการเลี้ยงในระบบปิด ที่สภาวะแวดล้อมและแสงแดดตามธรรมชาติ ผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์มีมวลและอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดคือ 34 mg/L-day รองลงมาคือสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงด้วยชุดควบคุม 1 คือ 32 mg/L-day สาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยชุดไบโอแก๊ส คือ 26 mg/L-day และสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยชุดควบคุม 2 มีมวลและอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดคือ 12 mg/L-day และการเพาะเลี้ยงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์สามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ในปริมาณ 10.4% w/w และการเพาะเลี้ยงด้วยไบโอแก๊สสามารถสกัดน้ำมันได้ในปริมาณ 8.6% w/w ซึ่งไม่ต่างจากการเลี้ยงด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์มากนัก จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์ *Scenedesmus* Sp. ด้วยน้ำเสียชุมชนมีศักยภาพที่จะนำไปสกัดน้ำมัน โดยต้องพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้เป็นพลังงานทางเลือกต่อไปในอนาคต

คำหลัก:สาหร่ายน้ำมันน้ำเสียชุมชนไบโอก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

*ติดต่อ:thunyalux@kku.ac.th, โทรศัพท์: 043-202571, 080-4692440, โทรสาร043-202571-2 ต่อ 105

Abstract

This research investigated growth and lipid production from microalgae (*Scenedesmus* Sp.) using treated wastewater from the wastewater treatment plant of KhonKaen University as source of nutrient. The study compared the specific growth rate from different carbon sources including pure carbon dioxide gas and biogas as well as a control (no carbon addition). Algae were cultivated in a closed system and natural environment of (light and temperature). The study found that a system control with 100% CO₂ has highest growth rate of 34 mg / L-day, followed by control unit 1 of 32 mg / L-day, Bio-gas of 26 mg / L-day and control unit 2 of 12 mg / L-day. The lipid content of the system using pure was 10.4%w/w while that of using biogas was 8.6%w/w. This was not much different. The study showed that cultivation of algae species *Scenedesmus* Sp. using wastewater has potential oil production. However, further study on economical aspect has to be done for alternative energy in the future.

Keywords: algae oil, domestic wastewater, biogas, carbon dioxide

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานฟอสซิลเช่นน้ำมันหรือถ่านหิน มีเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่น คาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ นอกจากนั้นยังทำให้แหล่งพลังงานเหล่านี้ลดจำนวนลง ส่งผลต่อความไม่มั่นคงทางพลังงานในอนาคต ดังนั้นพลังงานทางเลือก หรือ พลังงานที่ไม่มีวันหมด (Renewable energy) จึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจในการศึกษา และวิจัยเพื่อทดแทนพลังงานจากฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การผลิตเชื้อเพลิงจากสาหร่ายเป็นแนวทางพลังงานทางเลือกแบบหนึ่งที่ใช้ไขมันจากสาหร่ายมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากสาหร่ายเป็นจุลชีพที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบของเซลล์สูง ประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนัก และสาหร่ายยังมีอัตราการเจริญเติบโตโดยที่รวดเร็วสามารถเพิ่มจำนวนได้เป็นเท่าตัวภายในเวลา 8-10 ชั่วโมง

จากผลการวิจัยก่อนหน้านี้มีการประเมินว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถให้ผลผลิตได้ระหว่าง 15-25 ตัน/เฮกเตอร์/ปี (2.4-4 ตัน/ไร่/ปี) คิดเป็นน้ำมันที่สกัดได้ 4.5-7.5 ตัน/เฮกเตอร์/ปี [1] ซึ่งมีปริมาณ สูงกว่าเมื่อเทียบกับพืชพลังงานอื่นเช่น ถั่วเหลือง (0.4 ตัน/เฮกเตอร์/ปี) ปาล์ม น้ำมัน (3.62 ตัน/เฮกเตอร์/ปี) และสับปะรด (4.14 ตัน/เฮก

เตอร์/ปี) [2-3] ซึ่งเป็นการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากประโยชน์ที่จะได้รับจากน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายแล้ว สาหร่ายยังดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีมากกว่าพืชบนบก 10-50 เท่า [4-5] ทำให้ลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ สำหรับประโยชน์ในทางอื่นนั้นได้แก่ การนำสาหร่ายไปใช้ เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมวลสาหร่ายนั้นประกอบไปด้วยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตซึ่งสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุผลดังกล่าวการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับปัจจุบันและอนาคต

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนั้นองค์ประกอบที่สำคัญสามประการคือแสง แหล่งคาร์บอน และแร่ธาตุอาหาร สาหร่ายจะใช้จากสารอนินทรีย์คาร์บอนเช่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนเนตไอออนและแร่ธาตุอาหารร่วมกับแสงเพื่อเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยอาศัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศนั้นมีข้อจำกัดเพราะทำให้สาหร่ายเติบโตได้ช้าเพื่อเร่งให้สาหร่ายเจริญเติบโตเร็วขึ้นจะต้องเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเนื่องจากการใช้คาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์นั้นมีราคาสูง ประกอบกับการเติมธาตุอาหารได้แก่ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ก็จะเพิ่มต้นทุนเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิด

ที่จะใช้แหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นทุนต่ำเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งได้แก่ ก๊าซชีวภาพโดยก๊าซชีวภาพนั้นมี ส่วนประกอบหลักได้แก่ มีเทน และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วซึ่งเป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสำหรับการเจริญโตของสาหร่าย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการผลิตไบโอดีเซลและปริมาณน้ำมันของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้ว จากระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยขอนแก่นโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซชีวภาพเป็น แหล่งอาหารเพื่อเป็นการนำร่องสู่การผลิตสาหร่าย ที่ให้ผลผลิตดีและลดต้นทุนในการผลิตสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนต่อไปได้

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 น้ำเสียที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย

น้ำเสียที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายเป็นน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบ่อบำบัดเสถียรแล้วของมหาวิทยาลัยขอนแก่นโดยเก็บจากบ่อบำบัดบ่อสุดท้ายก่อนการเติมคลอรีนจากนั้นนำมาหนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 – 20 psi เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที น้ำที่ผ่านการหนึ่งฆ่าเชื้อแล้วมีลักษณะในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่าย

พารามิเตอร์	ค่า
ความเป็นด่าง (mg/L as CaCO ₃)	143
COD (mg/L)	70.40
Total Phosphorous (mg/L)	0.55
NH ₃ (mg-N/L)	0.70
TKN (mg-N/L)	7.75
Organic Nitrogen (mg-N/L)	7.05
Nitrate (mg-N/L)	0.01

2.2 ถังหมักก๊าซชีวภาพ

ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศเป็นถังพลาสติกมีขนาด 200 ลิตร Ø 57 ซม. สูง 85 ซม. มีการเติมซีเมนต์แห้งประมาณ 12 กิโลกรัมต่อครั้ง เติมน้ำวันเว้นวันโดยซีเมนต์จะมีปริมาณ 1 ใน 3 ส่วนของปริมาตรถังหมักแล้วเติมน้ำให้มีปริมาตร 2 ใน 3 ส่วนของปริมาตรถังหมักแบบไร้อากาศจะถูกปิดสนิทให้อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 10 วันภายในถังจะเกิดปฏิกิริยาการหมักและเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในที่สุดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะผ่านถังผอยเหล็กเพื่อกำจัดก๊าซ H₂S ที่เกิดขึ้นในการบวมนการหมักและเป็นพิษต่อสาหร่าย ก่อนจะเก็บก๊าซชีวภาพที่ในถังเก็บตัวอย่างขนาด 3 ลิตรเพื่อนำไปเพาะเลี้ยงสาหร่ายต่อไป

2.3 ถังปฏิกรณ์เพาะเลี้ยงสาหร่าย

ปฏิกรณ์เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นถังพลาสติกสีขาวขนาด 5 ลิตรโดยทำการเลี้ยงด้วยน้ำปริมาตร 4.5 ลิตร และด้านบนของถังถูกปิดด้วยแผ่นอะคริลิกเจาะรูเพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำและเติมก๊าซ(รูปที่ 1) ส่วนด้านล่างของถังนั้นได้ทำการเจาะรูและต่อสายเข้ากับเครื่องรีดท่อหรือรีดสายยาง (peristaltic pump) ซึ่งเครื่องรีดนี้จะทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำภายในถังและทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและถังจะวางบน เครื่องกวน Magnetic Stirrer ช่วยในการกวนน้ำเพื่อไม่ให้สาหร่ายตกตะกอนซึ่งจะกวนน้ำทุกวัน วันละ 5 ครั้ง ครั้งละ 20 นาทีในเวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00



รูปที่ 1 ระบบเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายประกอบด้วยชุดการทดลอง 3 ชุดได้แก่ 1) ใช้แหล่ง CO_2 บริสุทธิ์ 2) ใช้แหล่ง CO_2 จากก๊าซชีวภาพและ 3) ชุดควบคุม ที่ไม่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ในการทดลองนี้จะมีชุดควบคุมที่ 1 และ ชุดควบคุมที่ 2 ซึ่งจะทำให้การเลี้ยงสาหร่ายคู่ขนานไปกับชุดที่ใช้ CO_2 บริสุทธิ์ และ CO_2 จากก๊าซชีวภาพ ตามลำดับสาเหตุที่ต้องแยกเป็นชุดควบคุม 1 และ 2 เกิดจากปัจจัยด้านอุณหภูมิของสภาพอากาศตามฤดูกาล

ขั้นตอนในการเพาะเลี้ยงคือผสมน้ำสำหรับเพาะเลี้ยง 4.5 ลิตรพร้อมกับหัวเชื้อสาหร่ายปริมาณ 25 มล. ลงไปในถังเพาะเลี้ยงในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะมีการควบคุมช่วง pH ที่เหมาะกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายคือ 6.5 - 8.5 ในการศึกษานี้ได้ทำการวัดค่า pH 5 ครั้งในเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่ายสังเคราะห์แสงและเกิดการเจริญเติบโตคือ 8.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ณ ขณะใด ที่ค่า pH ขึ้นสูงถึง 8.5 จึงเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในถังเพาะเลี้ยงจนค่า pH ต่ำลงถึง 6.5 จึงหยุดการเติมก๊าซโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้มาจาก 2 แหล่งคือก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักของ ชีวไก่ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์มีการเก็บตัวอย่างสาหร่าย 50 มล. เพื่อวัดการเจริญเติบโตทุกๆ วัน การทดลองนี้ทำการเลี้ยงสาหร่ายในช่วงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2556 อุณหภูมิในการเพาะเลี้ยงอยู่ในช่วง $15-32^{\circ}\text{C}$ โดยมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $141.44 \pm 65.29 \text{ W/m}^2$

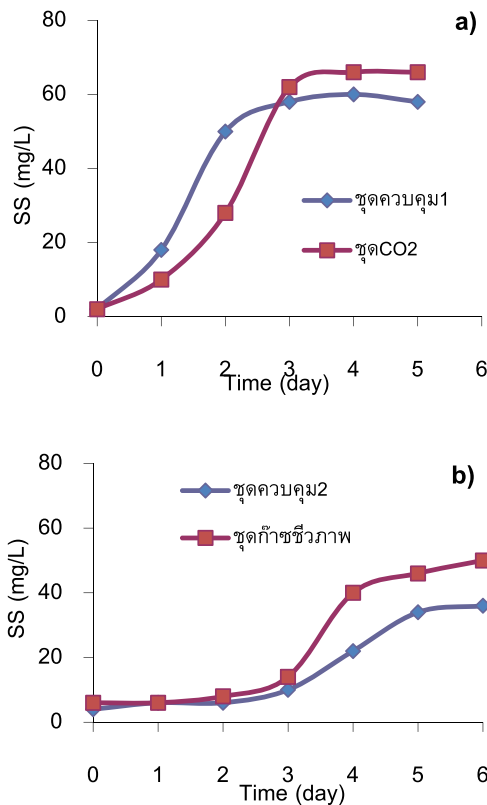
2.5 การวัดและตรวจวิเคราะห์

การวัดอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสามารถทำได้ 2 วิธีได้แก่ 1) ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS) สำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำและไขมันในสาหร่ายอ้างอิงตาม Standard Method [6]

3.1 ความเข้มข้นของสาหร่ายและอัตราการเจริญเติบโต

ความเข้มข้นของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วย CO_2 บริสุทธิ์ และ CO_2 จากก๊าซชีวภาพแสดงในรูปที่ 2a และ 2b ตามลำดับจากรูปที่ 2a จะเห็นว่าในช่วงแรก (0-1 วัน) สาหร่ายจะอยู่ในช่วงปรับตัวหรือช่วง Lag Phase ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างต่ำ หลังจากนั้น (2-3 วัน) จะเป็นช่วง ที่สาหร่ายเติบโตอย่างรวดเร็วเรียกว่าช่วง Log phase เป็นระยะที่เซลล์สาหร่ายมีการแบ่งตัวด้วยอัตราที่คงที่และจะถูกจำกัดด้วยสารอาหารที่มีอยู่ในระบบ หลังจากนั้นสาหร่ายจะอยู่ในช่วง Stationary Phase เป็นช่วงที่สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตและตายเท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง SS กับเวลาพบว่าชุดทดลองที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วย CO_2 มี SS หรือความเข้มข้นของสาหร่ายเท่ากับ 66 mg/L สูงกว่าชุดควบคุม 1 ซึ่งเท่ากับ 58 mg/L สำหรับการเพาะเลี้ยงด้วยก๊าซชีวภาพจะพบความเข้มข้นของสาหร่ายสูงสุดเท่ากับ 46 mg/L และชุดควบคุม 2 เท่ากับ 34 mg/L จากรูปที่ 2b จะเห็นว่าการเข้าสู่ Log phase จะใช้เวลามากกว่า (0-3 วัน) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิเฉลี่ยในขณะที่ย่อยต่ำกว่าชุดที่เลี้ยงด้วย CO_2 บริสุทธิ์ ประมาณ 5°C (รูปที่ 3) และอาจจะมีผลมาจากสัดส่วนของ CO_2 ที่มีเพียง ร้อยละ 49 ของก๊าซชีวภาพทั้งหมด

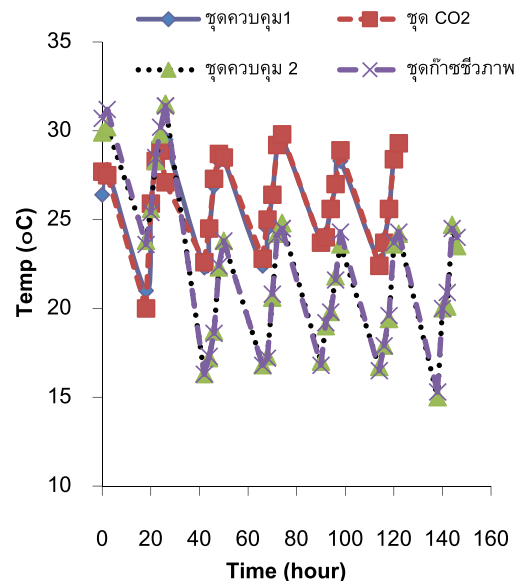
เมื่อทำการหาค่าอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยพิจารณาจากความชันของกราฟในรูปที่ 2a และ 2b จะพบว่า สาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยง ด้วย CO_2 บริสุทธิ์มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด คือ 34 mg/L-day รองลงมาคือสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วย ชุดควบคุม 1 คือ 32 mg/L-day สาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยชุดไบโอแก๊สคือ 26 mg/L-day และสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยชุดควบคุม 2 มีมวลและอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดคือ 12 mg/L-day



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของสาหร่ายที่ใช้แหล่งคาร์บอนออกไซด์ต่างกัน a) CO₂ b) ก๊าซชีวภาพ

3.2 ปริมาณไขมันจากสาหร่าย

เมื่อทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายมาแล้วจะทำการรวบรวมและนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5000 rpm เป็นเวลา 6 นาทีและนำไปตากให้แห้งและอบ ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำมวลสาหร่ายแห้งที่ได้ (~2 กรัม) ไปสกัดน้ำมันด้วยวิธี Soxhlet ด้วยเฮกเซนและระเหย ซึ่งพบว่าการเพาะสาหร่ายเลี้ยงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซชีวภาพสามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ในปริมาณ 10.4% w/w และ 8.6% w/w ตามลำดับ ซึ่งปริมาณไขมันนี้อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่างานวิจัยของ บัญชา ขำศิริ และชยากรภูมิมาศ [7] ที่เลี้ยงสาหร่ายโดยใช้น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากมูลไก่โดยมีปริมาณไขมัน 14% w/w ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณแร่ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่สูงกว่า



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเพาะเลี้ยงสาหร่าย

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) สายพันธุ์ *icenedesmus* Sp. เนื่องจากสาหร่ายสายพันธุ์ดังกล่าวมีปริมาณไขมันในเซลล์ที่ค่อนข้างสูงจึงสามารถนำมาสกัดน้ำมันและใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานทางเลือก (ไบโอดีเซล) ได้และด้วยคุณลักษณะของน้ำเสียชุมชนที่จะมีธาตุอาหาร ที่สาหร่ายต้องการอยู่ผู้วิจัยจึงได้นำน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยขอนแก่นมาใช้ในการเพาะเลี้ยงนอกจากนี้ได้มีการแบ่งการทดลองเป็น 2 ระบบโดยแบ่งตามที่มาของแหล่งคาร์บอนซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญที่สาหร่ายจะใช้ในการเจริญเติบโตโดยใช้ CO₂บริสุทธิ์และก๊าซชีวภาพโดยมีอัตราการเจริญเติบโต 34 และ 26 mg/L-day ตามลำดับและมีปริมาณน้ำมันใกล้เคียงกัน สำหรับปัจจัยในการเลี้ยง พบว่าอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อการเติบโตของสาหร่าย อย่างไรก็ตามปริมาณแร่ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอาจในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของ

สำหรับจึงจะต้องมีการเติมธาตุอาหารเพิ่ม โดยใช้ในสิ่งที่จากถังหมักก๊าซชีวภาพเป็นส่วนผสม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัย ขอนแก่นที่ให้การสนับสนุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Tsukahara, K., Sawayama, S. (2005) Liquid fuel production using microalgae. J Jpn Petrol Inst, 48, pp. 251–259.
- [2] Chisti Y. (2007). Biodiesel from microalgae. Biotechnol Adv., 25, pp. 294–306.
- [3] Lam MK, Lee KT. (2011). Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): win-win strategies toward better environmental protection. Biotechnol Adv, 29, pp. 124–141.
- [4] Khan SA, Rashmi, Hussain MZ, Prasad S, Banerjee UC. (2009). Prospects of biodiesel production from microalgae in India. Renewable Sustainable Energy Rev, 13, pp. 2361–2372.
- [5] Li Y, Horsman M, Wu N, Lan CQ, Dubois-Calero, N. (2008). Biofuels from microalgae. Biotechnol Progr, 24, pp. 815–820.
- [6] APHA; AWWA; WEF (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed.; American Public Health Association, Washington, DC



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

Parameters tuning optimization of second-order sliding mode control
by response surface methodology

Thana Radpukdee*

Department of Industrial Engineering, KhonKaen University, KhonKaen 40002, Thailand

Received: January 2015

Accepted: June 2015

Abstract

In this paper, tracking performance optimization of a second-order sliding mode control (SMC), namely twisting sliding mode is considered through optimal tuning of its control parameters. Effectiveness of transient response can be achieved by considering a minimization of maximum-overshoot (M_o) and settling-time (t_s), which are obtained through the Response Surface Methodology (RSM). For the optimal tracking performance with the RSM, the computation process by mean of a central composite design (CCD) is performed through a quadratic equation. Finding results of a simulation confirm that the optimal tracking performance as the minimization of the M_o and t_s can be achieved by the optimization tuning control parameters with the RSM.

Keywords: Transient response, twisting sliding mode control, Response Surface Methodology, Optimization.

* corresponding author: E-mail: tthanar@gmail.com, Tel. 084-145-7757, Fax: 043-362-087.

1. Introduction

Sliding mode control (SMC) is a powerful control technique which is robust for parametric uncertainty[1,2]. However, the chattering phenomena of control input during the existence of sliding mode is disadvantage in implementation[3]. Extension idea of chattering reduction by the second-order SMC technique has been widely done[3-6], because the input of the system is derived as a new state variable. The input of the system is dictated by the integration of the switching control input. Additionally, in the vicinity about the second-order SMC sliding surface, the control input is converged to the equivalent control, which is independent of the differential of the control input. Therefore, the second-order SMC is continuously effective in definite vicinity of the 2-sliding set[6, 7].

For the second-order SMC so-called the twisting sliding mode control (SMC), it is an effective control approach for an uncertain nonlinear system[7-9]. In practice, the twisting SMC is simple and has high performance of the control ability[8, 10]; however, the high performance of closed-loop control is a result of the setting value of its control parameters. By means of the twisting SMC, the aim of finding-tuning parameters is an essential problem, because the control parameters are coupled effect with determining of the setting value. The value affects to the characteristic of the tracking performance. Furthermore, even if the tracking responses can be obtained through the trial

and error method, it cannot confirm the optimization of the control performance[11]. Thus, in order to obtain acceptable tracking performance, it is necessary to specify the optimal value of control parameters.

Among the various solutions, alternative finding-tuning parameters through the optimization approach are widely done[12-15]. The response surface methodology (RSM) is one of development approach which widely used in many control systems[16-19], capable to

present the optimization value by the optimization method that using the statistic theory, and experimental design. Therefore, the motivations of this study are based on the following:

- the RSM application has capability to optimize the transient response of a closed-loop control of the twisting SMC; therefore, the results of the closed-loop control provide the errors of the steady-state nearly to zero;
- the acceptance of specific control parameters of the twisting SMC based on the results of optimizing the transient response of closed-loop control especially no overshoot and fast settling time as in [16].

The remainder of this paper is organized as follows. First, we present the concept of twisting SMC. In section 3, the optimization of the transient response of the twisting SMC with the

demonstration the results of the RSM application for tuning control parameters. Finally, the research conclusion is presented

2. Twisting SMC

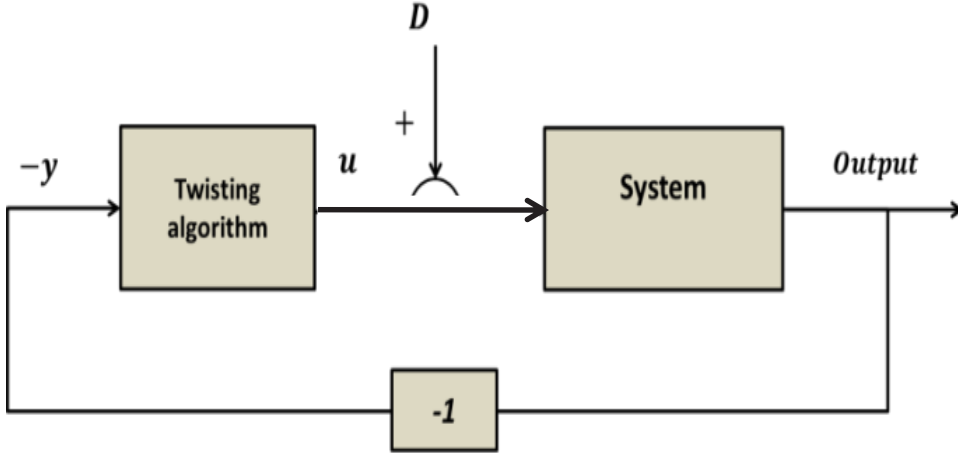


Figure1 Block diagram of the twisting SMC.

The aim of the control approach is to steer the errors to move along the sliding surface and to maintain its first successive derivative null [20, 21], while the removable relative-degree restriction and the chattering phenomenon are the capabilities of second-order SMC [7, 22].

Considering the dynamic system as in the form [7]

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \delta(x, t) + \vartheta(x, t)u\end{aligned}\quad (1)$$

where $x_1 = \sigma$, $x_2 = \dot{\sigma}$, $\delta(x, t)$ and $\vartheta(x, t)$ are the smooth function that the frequency response by the transfer function $G(s)$ can be then used as the SISO model, u is the scalar control input, t is the time. For

order time derivatives of the sliding variable σ is defined as $\sigma(x, t) = \dot{\sigma}(x, t) = \dots = \frac{d^{r-1}\sigma}{dt^{r-1}} = 0$.

the selection of second-order SMC, namely twisting SMC (see Figure 1), and the relative degree in this task is assumed to be 2, and the computation of $\ddot{\sigma}$ can be expressed as [7]

$$\ddot{\sigma} = \delta(x, t) + \vartheta(x, t)u \quad (2)$$

The calculation of the bound is

$$0 < \vartheta_m \leq \vartheta \leq \vartheta_M, \quad \frac{\dot{\vartheta}}{\vartheta} \leq \vartheta_d \quad (3)$$

where ϑ_m is the lower bound, ϑ_M is the upper bound, ϑ_d is some known positive constants [23].

The control input of twisting SMC for relative degree 2 is given by [7]

$$u = -(R_1 \text{sign}(\sigma) + R_2 \text{sign}(\dot{\sigma})) \quad (4)$$

where R_1 and R_2 are positive constant and not equal to 0. The finite-time convergence can be described as [7]

$$(R_1 + R_2)\vartheta_m - C > (R_1 - R_2)\vartheta_M + C, (R_1 - R_2)\vartheta_m > C \quad (5)$$

where C is positive constant, and R_1, R_2 , and $C > 0$.

3. Optimization tracking performance with RSM

To make the ultimate tuning of closed-loop control of the twisting SMC, this recommends to consider the optimization of the output response behavior that should be without the overshoot (M_o) while has fast settling time (t_s) [16]. For the finding tuning control parameter in this work, the response surface methodology was applied in order to find tuning the control parameters R_1 and R_2 of Eq. (4), which the specific value of R_1 and R_2 is capable to make the trade-off between fast settling time (t_s) and overshoot of the response; in addition, increasing of tracking performance and stability of control system are the result of the specific value of R_1 and R_2 . For the tuning control parameters of the twisting SMC with the RSM, the system model of the fourth-order with relative degree two was used in this study as follow [24]

$$G(s) \cong \frac{K(s^2 + k_1s + k_2)e^{-0.15s}}{(s^3 + d_1s^2 + d_2s + d_3)}$$

$$\cong \frac{K(s^2 + k_1s + k_2)}{(s^3 + d_1s^2 + d_2s + d_3)(1 + 0.15s)} \quad (6)$$

where $G(s)$ is the transfer function of the system that is defined to be $\delta(x, t)$. K is 29.8, $k_1 = 50$, $k_2 = 833$, $d_1 = 21.2$, $d_2 = 51.3$, and $d_3 =$

189.5. For the optimization of M_o and t_s through the RSM, the formula of the relative

between the independent variable and the dependent variable is unknown exactly; therefore, a specific scheme is built in order to fit the second-order polynomial response surface equation that was applied with the quadratic canonical model [16] as follow

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \hat{x}_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} \hat{x}_i \hat{x}_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} \hat{x}_i^2 + e \quad (7)$$

where Y is the scalar output response of interest, $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}$ and β_{ii} are the regression coefficients, i is the linear coefficients, j is the quadratic coefficients, $k \in I^+$, and e is the errors. For the Eq. (7), the prediction output (Y) is used for approximation the specification of M_o and t_s that are the measurement output of the closed-loop control with twisting SMC as in Fig. 1, which the disturbance parameter was not into accounted. In the investigation of the M_o and t_s through Eq. (7), the central composite design was applied for determination the factor levels of the parameters R_1 and R_2 as shown in Table 1. Table 2 shows the data of M_o and t_s which were obtained from closed-loop control with twisting SMC.

For the closed-loop control test, it was simulated through the Matlab programming which based on the system of Eq. (6), and the data of M_o and t_s were obtained by the check-point in the simulation, which the data of M_o and t_s are based on

2. The quadratic models of the optimization of M_o and t_s are demonstrated in Eq.(8) and Eq. (9), which the prediction value of M_o and t_s can be obtained by the substitution with the value of the level of parameters (R_1 and R_2) as shown in Table 2. The contour plots of response surfaces of M_o and t_s are shown in Fig. 2 and Fig. 3, respectively.

The errors of M_o and t_s between the prediction by Eq.(8) to Eq. (9) and the data screening in the simulation of closed-loop control by twisting SMC are shown in Table.3, Fig. 4, and Fig. 5, respectively. The errors average of M_o (Eq.(8))and t_s (Eq.(9))are shown in Table.3 which are very

trivial and can be accepted in the viewpoint of closed-loop control. Table 4 shows the final selection of control value of the twisting SMC which are used for determination the value of R_1 and R_2 that the optimization of R_1 and R_2 for closed-loop control with the twisting SMC are 1030 and 999, respectively.

Table1..The value setting of R_1 and R_2 .

Parameters	Level of parameters		
	-1	0	1
R_1	1000	1025	1050
R_2	950	974.5	999

Table 2. The specification of M_o and t_s of closed-loop control by twisting SMC.

Number of Experiment	Level of parameters		Control value of twisting SMC		Response of twisting SMC	
	R_1	R_2	R_1	R_2	M_o	t_s
1	0	1	1025	999	680.317	0.339
2	1	0	1050	974.5	727.645	0.296
3	0	0	1025	974.5	702.857	0.295
4	1	1	1050	999	705.373	0.302
5	-1	0	1000	974.5	680.338	0.363
6	-1	-1	1000	950	707.152	0.303
7	1	-1	1050	950	753.451	0.3
8	-1	1	1000	999	651.304	0.766
9	0	0	1025	974.5	702.857	0.295
10	0	0	1025	974.5	702.857	0.295
11	0	0	1025	974.5	702.857	0.295
12	0	0	1025	974.5	702.857	0.295
13	0	-1	1025	950	729.236	0.3

$$M_0 = 703.18 + 24.61R_1 - 25.47R_2 + 1.94R_1R_2 + 1.29R_2^2 \quad (8)$$

$$t_s = 0.30 - 0.089R_1 + 0.084R_2 - 0.12R_1R_2 + 0.086R_1^2 \quad (9)$$

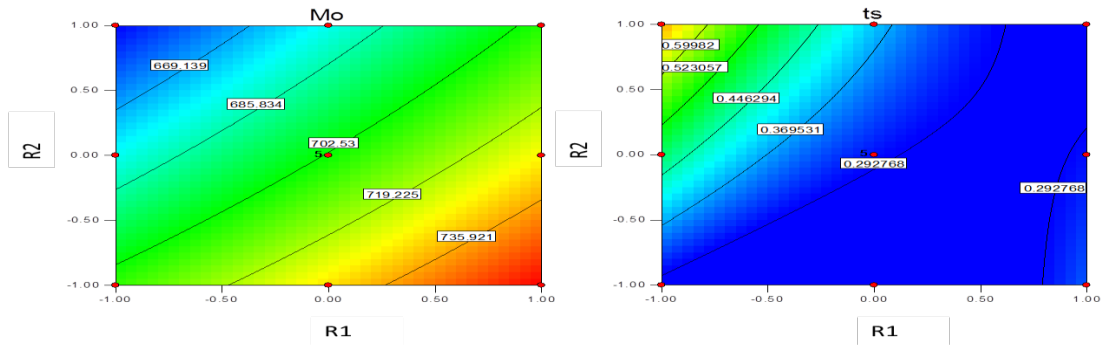


Figure 2 Optimization value of M_0 Figure 3 Optimization value of t_s .

Table 3. The prediction value by quadratic equation and closed-loop control by twistingSMC.

[illegible]

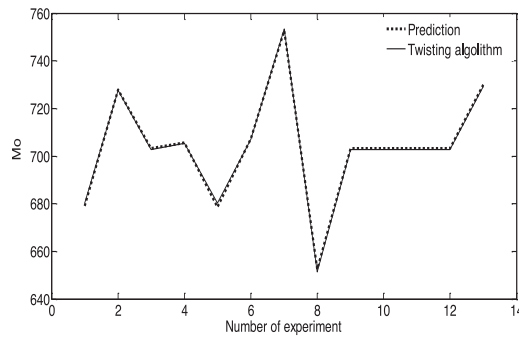


Figure 4 Comparison data of M_0 between the prediction and the twisting SMC.

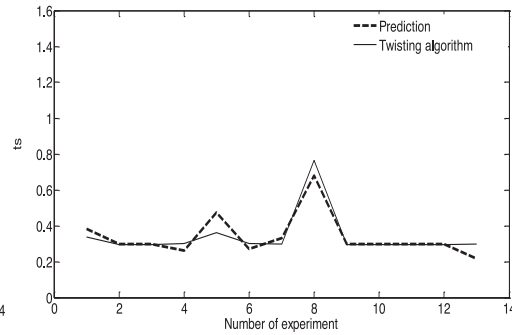


Figure 5 Comparison data of t_s between the prediction and the twisting SMC.

Table 4. Selection data for tuning parameters of closed-loop control of twisting SMC.

Method	Level of control parameters		Control value of twisting SMC		Output	
	R_1	R_2	R_1	R_2	M_0	t_s
Optimization	0.20	1	1030	999	684.88	0.33
Minimum t_s	0	0	1025	974.5	702.86	0.29
Minimum M_0	-1	1	1000	999	652.44	0.67

To make clear the proposed of the optimization M_0 and t_s through the RSM tuning, the next section shows the result of applied the RSM in order to optimization the control parameters of the twisting SMC, which were tested in the simulation with Matlab programming.

4. Results and discussion

In this section, the response surface calculation of M_0 and t_s were checked with the substitution the level of control parameters (R_1 and R_2) into Eq. (8) and Eq. (9) as the results of $M_0 = 684.31$ and $t_s = 0.34$, respectively. To check the characteristic of the set-point tracking

performance (see Fig. 6) by the reference value is equal to 650, the findings show that the optimization for the trade-off between fast convergence and small overshoot is the result of optimizing the values of $R_1 = 1030$ and $R_2 = 999$, and the phase plane plot of s and $\dot{s}$ of the optimization M_0 and t_s are shown in Fig. 7 which s and $\dot{s}$ are convoluted to zero.

For the errors of tuning control parameters with the RSM (see Fig. 8), the M_0 and t_s by the calculation with Eq. (8) and Eq. (9) are over than the M_0 and t_s by the closed-loop control with twisting SMC. These effected from the determination of the sampling interval of the level control parameters (R_1 and R_2), which can increased the errors of tuning control parameter if the range of the level of

measurement of the M_o and t_s are obtained through the check-point; therefore, this can cause to arise the errors if the data of measurement is not accurate. However, the optimization value of R_1 and R_2 with the RSM tuning can be accepted for

through the closed-loop control test in the simulation and the prediction value (M_o and t_s) with Eq. (8) and Eq.(9) are very trivial that can be accepted in the viewpoint of control systems.

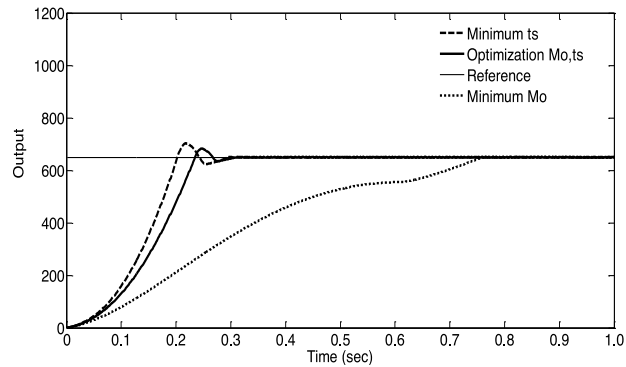


Figure 6 Set-point tracking of difference tuning.

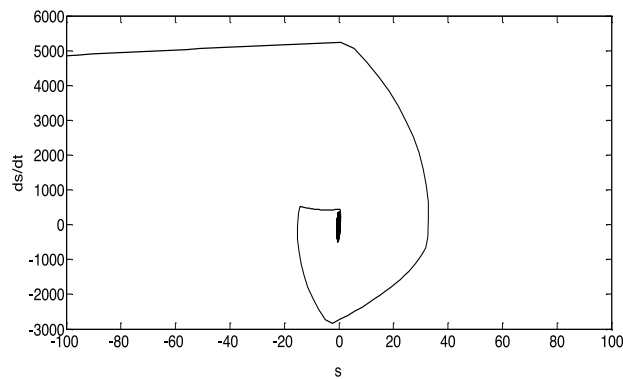


Figure 7 Phase plane plot of S and $\dot{S}$

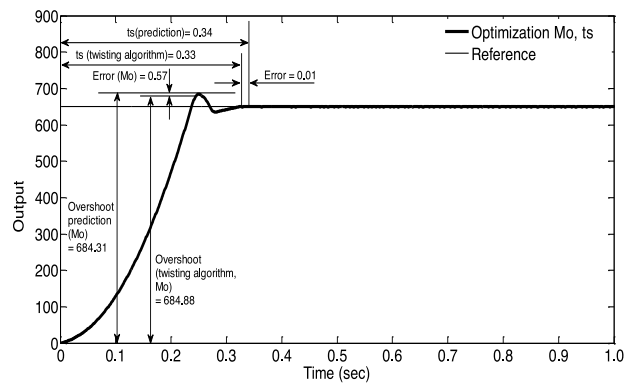


Figure 8 Errors of tuning with RSM.

5. Conclusions

The response surface methodology (RSM) is developed in the optimization of the transient response by considering as the optimal control parameters of the twisting SMC. The proposed solution can be considered as the optimization of the maximum overshoot (M_o) and the settling time (t_s), which were obtained through the computation with the Response Surface Methodology (RSM). For the computation process of the RSM, the central composite design (CCD) is applied to design the experiment while the calculation process is obtained through the quadratic equation.

As the consequences, it can be achieved through the simulation tests of closed-loop control by twisting SMC, and the finding shows the minimization of M_o and t_s can be achieved by the optimization tuning control parameters with the RSM. In addition, the errors of tuning control parameters through the optimization with RSM are

caused by the determination of the sampling interval of the level control parameters (R_1 and R_2) that may increase the errors of tuning control parameter if the range of the level of parameters R_1 and R_2 are extended and high standard deviation. However, these can be accepted in the viewpoint of closed-loop control system which the errors of the prediction are very trivial.

6. Acknowledgment

This research is financially supported by the Office of Research Administration (ORA) Fund and Farm Engineering and Automation Technology Research Group (FEAT) Fund of Khon Kaen University, Thailand.

7. References

- [1] Utkin, V., Variable structure systems with sliding modes. Automatic Control, IEEE Transactions on, 1977. 22(2): p. 212-222.

- [2] Utkin, V.I., Sliding mode control design principles and applications to electric drives. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 1993. **40**(1): p. 23-36.
- [3] Bartolini, G., A. Ferrara, and E. Usani, Chattering avoidance by second-order sliding mode control. Automatic Control, IEEE Transactions on, 1998. **43**(2): p. 241-246.
- [4] Bartolini, G., et al., A survey of applications of second-order sliding mode control to mechanical systems. International Journal of Control, 2003. **76**(9-10): p. 875-892.
- [5] Bartolini, G., E. Punta, and T. Zolezzi, Approximability Properties for Second-Order Sliding Mode Control Systems. Automatic Control, IEEE Transactions on, 2007. **52**(10): p. 1813-1825.
- [6] Boiko, I., et al., Analysis of Chattering in Systems With Second-Order Sliding Modes. Automatic Control, IEEE Transactions on, 2007. **52**(11): p. 2085-2102.
- [7] Levant, A., Principles of 2-sliding mode design. Automatica, 2007. **43**(4): p. 576-586.
- [8] Taleb, M., A. Levant, and F. Plestan, Pneumatic actuator control: Solution based on adaptive twisting and experimentation. Control Engineering Practice, 2013. **21**(5): p. 727-736.
- [9] Polyakov, A. and A. Poznyak, Lyapunov function design for finite-time convergence analysis: "Twisting" controller for second-order sliding mode realization. Automatica, 2009. **45**(2): p. 444-448.
- [10] Reichhartinger, M. and M. Horn, Application of Higher Order Sliding-Mode Concepts to a Throttle Actuator for Gasoline Engines. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2009. **56**(9): p. 3322-3329.
- [11] Dongcheol, K. and R. Sehun, Design of an optimal fuzzy logic controller using response surface methodology. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 2001. **9**(3): p. 404-412.
- [12] Grefenstette, J.J., Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 1986. **16**(1): p. 122-128.
- [13] Dai, C., et al., Seeker optimization algorithm for tuning the structure and parameters of neural networks. Neurocomputing, 2011. **74**(6): p. 876-883.
- [14] Chu, C.-W., B. Erik Ydstie, and N.V. Sahinidis, Optimization of IMC-PID Tuning Parameters for Adaptive Control: Part 1, in Computer Aided Chemical Engineering, M.C.G. E.N. Pistikopoulos and A.C. Kokossis, Editors. 2011, Elsevier. p. 758-762.
- [15] Kao, C.-C., C.-W. Chuang, and R.-F. Fung, The self-tuning PID control in a slider-crank mechanism system by applying particle swarm optimization approach. Mechatronics, 2006. **16**(8): p. 513-522.
- [16] Demirtas, M. and A.D. Karaoglan, Optimization of PI parameters for DSP-based permanent magnet brushless motor drive using response surface methodology. Energy

- Conversion and Management, 2012. **56**(0): p. 104-111.
- [17] Sahraian, M. and S. Kodiyalam, TUNING PID CONTROLLERS USING ERROR-INTEGRAL CRITERIA AND RESPONSE SURFACES BASED OPTIMIZATION. Engineering Optimization, 2000. **33**(2): p. 135-152.
- [18] Iskender, B., N. Özdemir, and A. Karaoglan, Parameter Optimization of Fractional Order PI λ D μ Controller Using Response Surface Methodology, in Discontinuity and Complexity in Nonlinear Physical Systems, J.A.T. Machado, D. Baleanu, and A.C.J. Luo, Editors. 2014, Springer International Publishing. p. 91-105.
- [19] Romero, J.A., R. Sanchis, and P. Balaguer, PI and PID auto-tuning procedure based on simplified single parameter optimization. Journal of Process Control, 2011. **21**(6): p. 840-851.
- [20] Eker, I., Second-order sliding mode control with experimental application. ISA Transactions, 2010. **49**(3): p. 394-405.
- [21] Eker,i., Second-Order Sliding Mode Control with PI Sliding Surface and Experimental Application to an Electromechanical Plant. Arabian Journal for Science and Engineering, 2012. **37**(7): p. 1969-1986.
- [22] Carbajal-Espinosa, O., et al., Robust Dynamic Control of an Arm of a Humanoid Using Super Twisting Algorithm and Conformal Geometric Algebra, in Computational Kinematics, F. Thomas and A. Perez Gracia, Editors. 2014, Springer Netherlands. p. 261-269.
- [23] M. Taleb, A. Levant, and a.F. Plestan, Twisting algorithm adaptation for control of electropneumatic actuators, in 12 th IEEE Workshop on Variable Structure Systems January 2012, IEEE: Mumbai.
- [24] Yildiz, Y., et al., Spark-Ignition-Engine Idle Speed Control: An Adaptive Control Approach. Control Systems Technology, IEEE Transactions on, 2011. **19**(5): p. 990-1002.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การศึกษาการใช้เปลือกร่อนน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง มาใช้เป็นตัวประสานถ่านอัดแท่ง

A study and Test of Washing Peeling Cassava Root from the Production of Cassava Starch
for used as a Binder for Charcoal

พิรุณ ชมศรี¹, ชัยยันต์ จันทร์ศิริ²

¹กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

²ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Received: January 2015

Accepted: June 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เปลือกร่อนน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาใช้เป็นตัวประสานในกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง ผลการศึกษา พบว่า เมื่อนำส่วนของ เนื้อติดเปลือก มาทำการบดละเอียด สามารถแยกได้ออกเป็นขนาดความละเอียดผ่านรูตะแกรงในช่วงขนาด 0.2-0.1 0.1-0.05 และ ละเอียดกว่า 0.05 มิลลิเมตรตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบเป็นตัวประสานถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนร้อยละ 20 ของน้ำหนักผงถ่านชนิดไม้รวม พบว่า ที่ความชื้นเริ่มต้นของถ่านอัดแท่งที่ 28.4 %wb. ค่าความชื้นที่ได้อยู่ที่ 3,129 3,155 และ 3,147 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ นำมาเปรียบเทียบกับการใช้แป้งมันสำปะหลังพบว่าค่าความชื้นอยู่ที่ 3,033 แคลอรีต่อกรัม และเมื่อนำมาทดสอบหาค่าความแข็งพบว่าค่าความแข็งที่ได้อยู่ที่ 66.59 70.81 และ 62.25 กิโลปาสคาล ตามลำดับ นำมาเปรียบเทียบกับการใช้แป้งมันสำปะหลังพบว่าค่าความแข็งที่ได้อยู่ที่ 58.96 กิโลปาสคาล ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำเปลือกร่อนน้ำไปใช้เป็นตัวประสานในการผลิตถ่านอัดแท่ง

คำหลัก: เปลือกร่อนน้ำ มันสำปะหลัง ตัวประสานถ่านอัดแท่ง

Abstract

This research aims to study and test the washing peeling cassava root in the production of cassava starch used as a binder for charcoal. When the peel - meat was ground and separated into sizes, with resolution through sieves of decreasing sizes: 0.2-0.1 , 0.1-0.05 and less than 0.05 mm, respectively ,they were tested as binders for charcoal in a ratio of 20 percent by weight of powdered charcoal. It was found that at initial moisture content of charcoal of 28.4% wb. , the heating values were 3,129 , 3,155 and 3,147 Cal/g. respectively, as compared to the tapioca flour heating value of 3,033 Cal/g. They were also tested for hardness and it was found that the hardness were at 66.59, 70.81 and 62.25 kPa. respectively ,as compared to the tapioca flour hardness of 58.96 kPa. Thus it was considered possible to use the washing peeling cassava root as binder in the production of charcoal.

Keywords: Washing peeling cassava root , Cassava , binder charcoal

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการตระหนักถึงภาวะของปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงได้มีความพยายามที่จะหาเชื้อเพลิงชนิดอื่นเข้ามาทดแทน เชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับชุมชนเกษตรกรรม(1) การใช้ประโยชน์จากชีวมวลรูปแบบหนึ่งคือการนำมาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเผาไหม้โดยตรง แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถผลิตได้โดยใช้วัสดุเหลือใช้ เช่น เศษไม้ แกลบ ชี้อ้อย และเศษพืชต่างๆ การนำมาทำการอัดแท่งในแบบแปรรูปเป็นผงถ่านมาก่อน ซึ่งการอัดแท่ง เชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุดังกล่าวนี้มีเทคนิคและการใช้ตัวประสานที่แตกต่างกัน(2)

ในหนึ่งปีประเทศไทย มีปริมาณผลผลิตจากมันสำปะหลังมากกว่า 28 ล้านตันต่อปี ผลผลิตหัวมันสำปะหลังทั้งหมดในประเทศไทย 50% นำไปผลิตเป็นมันเส้น/มันอัดเม็ด และอีก 50% นำไปผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลัง ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้นจะเกิดวัสดุเหลือทิ้งปริมาณมากในรูปของเปลือกมันสำปะหลังร่อนน้ำ(Washing peeling cassava root) (3)

เปลือกมันสำปะหลังร่อนน้ำ (Washing peeling cassava root) เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยมันสำปะหลังสดจะถูกส่งเข้าโรงงานผ่านการล้าง และวัดปริมาณแป้ง หลังจากนั้นจะถูกส่งเข้า

เครื่องร่อนเพื่อแยกดินและทรายออก และส่งต่อไปยังเครื่องปอกเปลือกและเครื่องล้างหัวมันสำปะหลัง ซึ่งเศษเปลือกมันสำปะหลังที่เหลือทิ้งจากการผลิตมีปริมาณ 0.03 ตันต่อหัวมันสด 1 ตัน (4) เปลือกมันสำปะหลังประกอบด้วย เปลือกมันสำปะหลัง เนื้อติดเปลือก รากมันสำปะหลังโดย มีสัดส่วนน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 62.68 28.45 และ 8.87 กิโลกรัมตามลำดับ (5) ดังนั้นหากมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของเปลือกมันสำปะหลังร่อนน้ำอีกทางหนึ่งการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบการนำเปลือกมันสำปะหลังที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาใช้เป็นตัวประสานในกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาตัดสินใจนำไปใช้เป็นตัวประสานถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงชีวมวลต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบการนำเปลือกมันสำปะหลังที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาใช้เป็นตัวประสานในกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง โดยนำมาทำการอัดแท่งกับผงถ่านชนิดไม้รวม มีปัจจัยในการทำการศึกษาคือ ศึกษาอนุภาคเพื่อแยกขนาดของเนื้อติดเปลือกของเปลือกมันสำปะหลังหลังจากทำการบด และศึกษาอัตราส่วน ในการนำไปใช้เป็นตัวประสานถ่านอัดแท่ง

โดยมีค่าชี้ผลในการทดสอบคือ ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน และ ค่าความแข็ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ Factorial experiment in RCBD โดยเปลี่ยนร่อนน้ำที่นำมาใช้มีค่าความชื้นเริ่มต้นของเปลือกร่อนน้ำที่ 75.06 % (w.b.)

2.1 ขนาดของเปลือกร่อนน้ำ

ศึกษาอนุภาคเพื่อแยกขนาดของเปลือกร่อนน้ำ โดยศึกษาอนุภาคเพื่อแยกขนาดของเปลือกร่อนในส่วนของเนื้อติดเปลือกหลังจากทำการบดเพื่อนำไปใช้เป็นตัวประสาน โดยการเทใส่ตะแกรงชั้นบนสุดของเครื่องเขย่าแบบ Ro-tap ใน Figure 1 สำหรับการวิเคราะห์ขนาดด้วยตะแกรงร่อน 7 ขนาด ใช้เวลาร่อน 5 นาที แล้วชั่งน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรงเพื่อหาช่วงของขนาดอนุภาคจากสมการหาค่าโมดูลัสความละเอียดโดยการนำมาคำนวณใน สมการที่ 1

$$D=0.0041(2)^{F.M.} \quad (1)$$

เมื่อ D=ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค(inch)

F.M. = โมดูลัสความละเอียด

เพื่อหาขนาดของเนื้อติดเปลือกหลังจากทำการบด

ทำ 30 ซ้ำ



รูปที่ 1 แยกส่วนประกอบของเปลือกร่อนน้ำมันลำปะหลัง

2.2 ความหนาแน่นของเนื้อติดเปลือก

วัดโดยชั่งน้ำหนักของก้อนถ่าน ต่อปริมาตรของก้อนถ่าน แล้วนำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณใน สมการที่ 2 กระทำ 25 ซ้ำ

$$Pb = \frac{m}{V} \quad (2)$$

เมื่อ m = มวล (g)

V = ปริมาตรควบคุม (cc)

2.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

การวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ได้วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM 3186-96 ใน Figure 2 เป็นการเผาตัวอย่างที่ทราบค่าน้ำหนักที่แน่นอนใน bomb calorimeter ภายใต้ภาวะที่กำหนด การหาค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกระทำการทดสอบช่วงของขนาดอนุภาคละ 3 ซ้ำ โดยทำการทดสอบหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งชนิดไม้รวมในอัตราส่วนผสมของตัวตัวประสาน 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดตัวประสานความละเอียดผ่านรูตะแกรงที่พบมีขนาด 0.2-0.1 0.1-0.05 และ ละเอียดกว่า 0.05 มิลลิเมตร แล้วนำมาเปรียบเทียบกับการใช้แยมันลำปะหลังมาเป็นตัวประสาน



รูปที่ 2 การหาค่าความร้อนของเปลือกร่อนน้ำมันลำปะหลังและถ่านอัดแท่ง

2.4 การวิเคราะห์ความแข็งแรง

วิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR 50 ซึ่งค่าแรงกดสูงสุดของถ่านอัดแท่งนั้นเป็นค่าแรงเค้น (stress) สูงสุดที่แท่งถ่านรับได้กระทำ 3 ซ้ำโดยนำถ่านอัดแท่งชนิดไม้รวมในอัตราส่วนผสมของตัวตัวประสาน 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดตัวประสานความละเอียดผ่านรูตะแกรงที่พบมีขนาด 0.2-0.1 0.1-0.05 และ ละเอียดกว่า 0.05 มิลลิเมตรแล้วนำมาเปรียบเทียบกับการใช้แยมันลำปะหลังมาเป็นตัวประสาน

$$\sigma = F/A \quad (3)$$

เมื่อ σ = การทนแรงกดของถ่านอัดแท่ง (kg/ m²)

F = แรงกดที่กระทำตัวอย่างจนตัวอย่างแตก (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดของถ่านอัดแท่ง (m²)



รูปที่ 3 การทดสอบหาค่าความแข็งด้วยเครื่อง
Universal Testing Machine (UTM)

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ขนาดของเปลือกร่อนน้ำ

จากการศึกษาอนุภาคเพื่อแยกขนาดของเปลือก ร่อนในส่วนของเนื้อติดเปลือกหลังจากทำการบดเป็นเวลา 3 นาที พบว่า ขนาดความละเอียดผ่านรูตะแกรงที่พบมีขนาด 0.2-0.1 0.1-0.05 และ เละเอียดกว่า 0.05 มิลลิเมตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 40.30 38.87 และ 20.83 ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 1

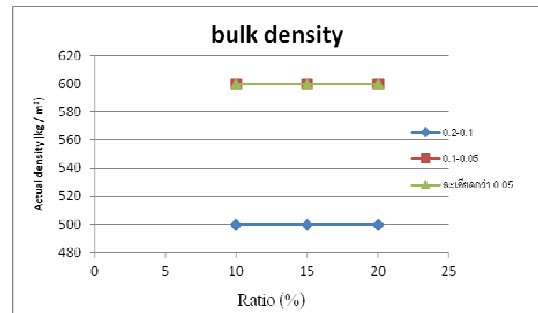
ตารางที่ 1 ขนาดของเปลือกร่อนน้ำมันสำปะหลังหลังจาก
ทำการบด

Size through a screen resolution size (mm)	Percent through a sieve (%)
0.2-0.1	40.30
0.1-0.05	38.87
Less than 0.05	20.83

3.2 ความหนาแน่นของเนื้อติดเปลือก

หลังจากทำการบดและผสมกับก้อนถ่านวัดโดยชั่ง น้ำหนักของก้อนถ่านตามขนาดของเนื้อติดเปลือกที่ช่วง ขนาด 0.2-0.1 0.1-0.05 และ เละเอียดกว่า 0.05 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 500 600 และ 600 kg/m³ ตามลำดับ

เนื่องจากขนาดของตัวประสานมีขนาดละเอียด ทำให้การนำมาใช้เป็นตัวประสานมีการจับตัวกันของวัสดุ มากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวประสาน เละเอียดเพิ่มขึ้น

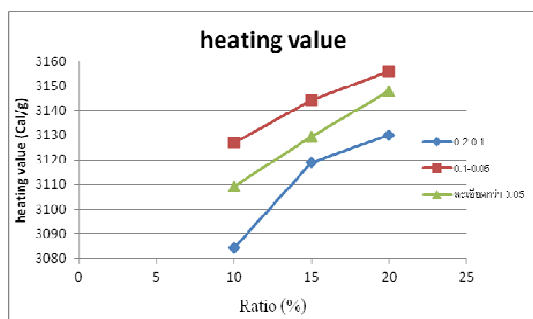


รูปที่ 4 ค่าความหนาแน่น เฉลี่ย ของถ่านอัดแท่งที่ใช้เปลือก ร่อนน้ำมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

3.3 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

จากการศึกษา พบว่าที่อัตราส่วนผสมของตัว ตัว ประสาน 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาด 0.2 0.1 และ 0.05 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับการใช้แป้งมันสำปะหลัง

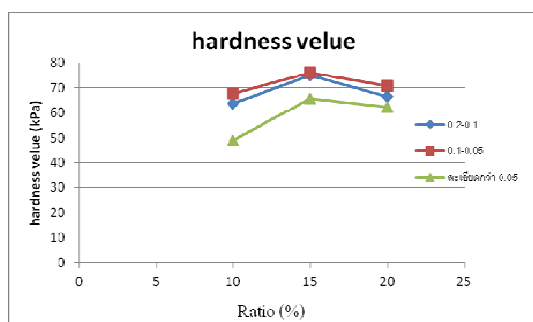
ปกติ พบว่า ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งอยู่ในช่วงค่าความ ร้อนที่ 3084.21 – 3155.89 แคลอรีต่อกรัมและแป้งมัน สำปะหลังปกติที่ 3033.84 แคลอรีต่อกรัม เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติที่ค่านี้ยสำคัญทางสถิติที่ความ เชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์พบว่า อัตราส่วนและขนาดไม่มีความ แตกต่างทางสถิติทำให้ไม่มีผลต่อค่าความร้อน เนื่องจาก วัสดุที่นำมาทดสอบเป็นตัวประสานเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 5 ค่าความร้อน เฉลี่ย ของถ่านอัดแท่งที่ใช้เปลือกถั่ว ร่อน น้ำมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

3.4 ความแข็งของถ่านอัดแท่ง

จากการศึกษา พบว่าที่ความชื้น 7.81 % (d.b.) ค่าความแข็งของถ่านอัดแท่ง ที่อัตราส่วนผสมของตัวตัวประสาน 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาด 0.2 0.1 และ 0.05 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับการใช้แป้งมันสำปะหลัง ปกติ พบว่า ค่าความแข็งของถ่านอัดแท่งอยู่ในช่วง 49.09 – 75.97 กิโลปาสคาล และ แป้งมันสำปะหลังปกติที่ 58.96 กิโลปาสคาล เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติที่ค่า นัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์พบว่า อัตราส่วนและขนาดมีผลต่อค่าความแข็ง เนื่องจากช่วง ขนาดความละเอียดของตัวประสานที่แตกต่างกันทำให้ ส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุเมื่อนำไปใช้เป็นตัวประสาน



รูปที่ 6 ความแข็งเฉลี่ย ของถ่านอัดแท่งที่ใช้เปลือกถั่ว ร่อน น้ำมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

4. สรุป

เมื่อศึกษาและทดสอบการนำเปลือกถั่ว ร่อนน้ำที่เหลือจาก กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาใช้เป็นตัวประสานใน กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง ผลการศึกษา พบว่าหลังจาก ทำการบดในส่วนหนึ่งของเนื้อติดเปลือกที่ค่าความชื้นเริ่มต้นที่ 75.06 % (w.b.) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงขนาดหลัก คือ 0.2-0.1 0.1-0.05 และ ละเอียดกว่า 0.05 มิลลิเมตร มี อัตราส่วนคิดเป็นร้อยละ 40.30 38.87 และ 20.83 ตามลำดับ ความหนาแน่นของเนื้อติดเปลือกหลังจากทำ การบดและผสมกับผงถ่านไม้รวมอัดเป็นก้อนพบว่า มี ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 500 600 และ 600 kg/m³ ตามลำดับค่าความ ร้อนของถ่านอัดแท่ง ที่อัตราส่วนผสมของตัวตัวประสาน 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่วงขนาด 0.2-0.1 0.1-0.2 และ ละเอียดกว่า 0.05 มิลลิเมตรพบว่า มีค่าความร้อนของถ่าน อัดแท่งอยู่ที่ 3084.21 – 3155.89 แคลอรีต่อกรัม การศึกษา ความแข็งของถ่านอัดแท่งอยู่ในช่วง 49.09 – 75.97 กิโล ปาสคาล เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติที่ค่า นัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์พบว่าขนาด ละเอียดช่วง 0.1-0.05 มิลลิเมตร และที่อัตราส่วนผสม 15 % มีค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งที่ดีที่สุด เหมาะสมนำไปใช้เป็นตัวประสานถ่านอัดแท่ง

5. กิตติกรรมประกาศ

นักวิจัยขอขอบคุณ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและ เทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ และ ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกล เกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. มุลนิธิพลังงานเพื่อ สิ่งแวดล้อม 2556: ชีวมวล [อ้างอิงเมื่อ 27 ธันวาคม 2556]. แหล่งที่มา <http://www.efee.or.th/efee-bookphp?task=22>

- [2] Pralong Damrongthai (1998). Green fuel briquette, Thaisumi.co.ltd, Available From :<http://www.carcoal.snmcenter.com/charcoalthai/Green20Fuel%20Briquette.php>.(accessed on October 17, 2007)
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญ และแนวโน้มปี 2556: มั่นสำปะหลัง [ออนไลน์] 2556 [อ้างเมื่อ 24 ธันวาคม 2556]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13477
- [4] วีระชัย อาจหาญ, วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน, พงศ์ศักดิ์ จุลยุเสน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, คธา วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, ชาญชัย โจนส์โรซ, สามารถ บุญอาจ และวิเชียร ดวงสีเสน. 2552.การพัฒนากระบวนการผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล. รายงานโครงการวิจัยงานวิจัยเพื่อนวัตกรรมประจำปีงบประมาณ 2551, ภาควิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- [5] พิรุณ ชมศรี, ชัยยันต์ จันทร์ศิริ. 2557. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของเปลือกก่อน้ำจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7, โรงแรมกรุงศรีวิเวอร้งจังหวัดอยุธยา



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ข้อแนะนำในการส่งต้นฉบับบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ FEAT Journal มีกำหนดออกเป็นราย 6 เดือน คือ มกราคม-มิถุนายน และกรกฎาคม-ธันวาคม ของทุกปี จัดพิมพ์โดยกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นการส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ ผลงานทางวิชาการ งานวิจัยทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพร้อมทั้งยังจัดส่ง เผยแพร่ตามสถาบันการศึกษาต่างๆ ในประเทศด้วย บทความที่ตีพิมพ์ลงใน วารสาร FEAT ทุกบทความนั้นจะต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องและสงวนสิทธิ์ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2535

ต้นฉบับบทความ

โปรดปฏิบัติตามหลักเกณฑ์อย่างเคร่งครัด จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Window ชนิดตัวอักษรใน บทความฉบับภาษาไทยและภาษาอังกฤษจะต้องใช้ตัวอักษร Cordia New ทั้งหมด ความยาวของต้นฉบับ ไม่เกิน 10 หน้า รวม รูปภาพและตารางต่างๆ หรือมีจำนวนคำไม่เกิน 10,000 คำ

กรุณาใช้กระดาษขนาด A4 ปรับเค้าโครงขนาดกระดาษ ความกว้าง 7.5 นิ้ว ความสูง 10.5 นิ้ว และรูปแบบหน้าเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่าง 0.19 นิ้ว กว้างของบทความกำหนดดังนี้ ขอบด้านบน 0.88 นิ้ว ขอบด้านล่าง 0.75 นิ้ว ด้านซ้าย 1 นิ้ว และ ด้านขวา 0.75 นิ้ว

โครงสร้างบทความ

เนื้อเรื่องของบทความต้องประกอบด้วยหัวข้อตามลำดับ ดังนี้

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

สถานที่ติดต่อในการจัดส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

- 1) จัดส่งบทความผ่านเว็บไซต์ <http://feat.kku.ac.th>
- 2) จัดส่งบทความทางอีเมล feat.kku@gmail.com
- 3) จัดส่งเป็นเอกสาร 1 ชุด โดยส่งมาที่

กองบรรณาธิการวารสาร FEAT ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
123 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002 โทร. (043) 202845

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์กับวารสาร FEAT

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)

ขอส่งบทความ ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

.....

(ภาษาอังกฤษ)

.....

ชื่อ-นามสกุล ผู้เขียน (ภาษาไทย)

ชื่อ-นามสกุล ผู้เขียน (ภาษาอังกฤษ)

1.....

1.....

2.....

2.....

3.....

3.....

4.....

4.....

5.....

5.....

6.....

6.....

ชื่อ-และที่อยู่ผู้เขียนที่สามารถติดต่อได้สะดวก

ชื่อ.....

ที่อยู่.....

จังหวัด.....

รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

โทรศัพท์มือถือ..... โทรสาร.....

E-mail:

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ ☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุ ในบทความจริง

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำบทความดังกล่าวลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่น ทั้งนี้ หากข้าพเจ้าขอถอนบทความและไม่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมสาร มข. หรือเพิกเฉยไม่ส่งบทความฉบับแก้ไขเพื่อลงตีพิมพ์ ข้าพเจ้าจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความทั้งหมด

ลงนาม.....

(.....)

Corresponding Author



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

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 อังกฤษ (ขนาด 12 จุด)

Received:

Accepted:

บทคัดย่อ

ตัวอย่างการจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับสำหรับตีพิมพ์ในวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ควรปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด บทคัดย่อควรมีเพียงย่อหน้าเดียวที่อธิบายถึง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา และสรุป ไม่ควรเกิน 300 คำ คำหลักที่เป็นภาษาอังกฤษให้ตัวอักษรคำแรกเป็นตัว พิมพ์ใหญ่ 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 ใช้ตัวเอียง ให้ขีดทางกรอบซ้าย แต่ละหัวข้อย่อยจะเว้น 1 บรรทัด (ปรับให้บรรทัดมีขนาดเท่ากับอักษรขนาด 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 จัดชื่อบทความขีดทางกรอบซ้าย

3. ชื่อผู้แต่งและสถานที่ติดต่อ

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

4. บทคัดย่อ

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

5. คำสำคัญ

บทความแต่ละเรื่องควรมีคำสำคัญ 4-6 คำ เพื่อบรรยายหัวข้อสำคัญที่กล่าวถึงในบทความ ควรใส่คำสำคัญต่อบทคัดย่อโดยไม่ต้องเว้นบรรทัด

6. เนื้อความ

เมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่ ไม่ต้องเว้นบรรทัดเมื่อจะเริ่มต้นพิมพ์ย่อหน้าใหม่ ให้พิมพ์บทความบนด้านเดียวของกระดาษ A4 โดยไม่ต้องใส่หมายเลขหน้าเวลาพิมพ์บทความ

7. ผลการวิจัย

เสนอผลการวิจัยอย่างชัดเจน ตรงประเด็น ควรมี รูปภาพ หรือตารางประกอบ ซึ่งเมื่อมีรูปหรือตารางประกอบต้องระบุเชื่อมโยงในเนื้อหาบทความ การอธิบายไม่ซ้ำซ้อนกัน สำหรับการระบุหน่วยต่างๆ ใช้ภาษาไทยและใช้การอธิบายเปอร์เซ็นต์ด้วยคำว่า ร้อยละ ในกรณีที่กำหนดหน่วยเป็นภาษาอังกฤษให้ระบุแบบเดียวกันทั้งหมด

7.1. การลำดับตัวเลข

การลำดับตัวเลขเพื่ออ้างถึง รูปภาพ ตาราง และสมการจะต้องเป็นเลขอาราบิก ทุกสมการจะต้องมีวงเล็บวงไว้ติดขอบขวา ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$\bar{\lambda}_g = \frac{\mu}{p} \left(\frac{2kT}{m} \right)^{1/2} \quad (1)$$

ตัวอักษรในสมการให้ใช้ Time new Roman ขนาด 10 ตัวสัญลักษณ์ให้ใช้ Symbol ขนาด 10 ใช้ MathType 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

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

ตารางที่ 1

ตัวอย่างการเขียนตารางที่ 1

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

ตารางที่ 2

ตัวอย่างการเขียนตารางที่ 2

x	a_r / m_r	$2\zeta_r \omega_r$
0.1	2.7470e+01	2.7483e+01
0.5	3.5352e+01	3.5360e+01

8. การอภิปรายผล

การอภิปรายผลวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านมีความเห็นคล้อยตามเพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น เพื่อเสนอแนะทางที่จะใช้ประโยชน์ หาข้อยุติในการวิจัยบางอย่าง ฯลฯ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลอาจนำมาเขียนไว้ในตอนเดียวกัน

9. สรุป

สรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัยไม่ควรมีความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

10. กิตติกรรมประกาศ

เพื่อเป็นการแสดงความขอบคุณผู้ให้ทุนสนับสนุนสรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัยไม่ควรมีความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

11. เอกสารอ้างอิง

การเขียนเอกสารอ้างอิงใช้ระบบแนวคูเวอร์ (vancouver style) จะต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น ในกรณีที่เขียนเป็นภาษาไทย ให้เขียนเป็นภาษาอังกฤษและต่อท้ายด้วย (In Thai) ส่วนชื่อผู้แต่งให้ใช้นามสกุลขึ้นก่อนแล้วตามด้วยอักษรย่อของชื่อนั้น

ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและความน่าเชื่อถือของบทความท่านควรใช้เอกสารอ้างอิงจากวารสารที่อยู่ในฐาน TCI ((Thai Journal Citation Index Centre) ที่สามารถตรวจสอบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และควรใช้การอ้างอิงจากรายงานผลการวิจัย เอกสารประกอบการประชุม และหรือวิทยานิพนธ์เท่าที่จำเป็น

11.1. การอ้างอิงในเนื้อหา

แบบการอ้างอิงเอกสารในเนื้อหาของบทความ ใช้ระบบตัวเลข ให้เรียงลำดับเลขตามลำดับของเอกสารที่มีการอ้างถึงในเนื้อหาและหมายเลขที่อ้างถึงในเนื้อเรื่อนั้นจะต้องตรงกับหมายเลขที่มีการกำกับไว้ในส่วนเอกสารอ้างอิงด้วย ให้ใช้ตัวเลขอารบิกในวงเล็บต่อท้ายข้อความที่นำมาอ้างอิงในบทความ เช่น [1] หรือ [2-4, 8, 10] หมายถึงอ้างถึงลำดับผู้แต่งที่ 1 หรือ ลำดับที่ 2, 3, 4, 8, 10 โดยเรียงลำดับจากหมายเลข 1, 2, 3,... ไปจนถึงเลขที่สุดท้าย ตามการอ้างอิงการเขียนเอกสารอ้างอิง

11.2. ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิงท้ายเรื่อง

เขียนอ้างอิงแบบวนคูเวอร์ และใส่อ้างอิงในท้ายเรื่องเฉพาะที่มีปรากฏในเนื้อหาบทความหรือบทความวิจัยเท่านั้น

1. การเขียนอ้างอิงจากหนังสือ

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

2. การเขียนอ้างอิงจากวารสาร

[2] Bua-art S, Saksirirat W, Kanokmedhakul S, Hiransalee A, Lekphrom R. Extraction of bioactive compounds from luminescent mushroom (*Neonothopanus nambi*) and its effect on root-knot nema-tode (*Meloidogyne incognita*). KKU Res J. 2010;15(1): 726-37. (In Thai).

3. การเขียนอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

[3] Srisuk M. Cloning and characterization of gene insulin [MSc thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2002. (In Thai).

4. การเขียนอ้างอิงจากบทความจากการประชุมวิชาการ

[4] Bengtsson S, Solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security in medicalinformatics. In: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Rienhoff O, editors. MEDINFO92. Proceedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland. Amsterdam: North-Holland; 1992. p. 1561-5.

5. การเขียนอ้างอิงจากบทความจากสิทธิบัตร

[5] Pagedas AC, inventor; Ancel Surgical R&D Inc., assignee. Flexible endoscopic grasping and cutting device and positioning tool assembly. United States patent US 20020103498. 2002 Aug 1.

6. บทความวารสารอิเล็กทรอนิกส์

[6] Morse SS. Factors in the emergence of infectious diseases. Emerg Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar [cited 1996 Jun 5];1(1):[24 screens]. Available from: URL: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/eid.htm>.

ใบสมัครเป็นสมาชิก
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (FEAT JOURNAL)

[] สมาชิกใหม่

[] ต่ออายุ สมาชิกเลขที่.....

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.

ชื่อผู้สมัคร [] บุคคลทั่วไป [] นักเรียน นักศึกษา

ชื่อ.....

ที่อยู่.....

จังหวัด.....

รหัสไปรษณีย์..... **โทรศัพท์**.....

โทรศัพท์มือถือ..... **โทรสาร**.....

E-mail:

มีความประสงค์จะขอรับ “วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (FEAT JOURNAL)”

เป็นเวลา.....ปี โดยเริ่มตั้งแต่ฉบับที่.....ปีที่.....ถึงฉบับที่.....ปีที่.....รวม.....ฉบับ

ทั้งนี้ให้ส่งวารสารไปที่ [] ผู้สมัคร [] โรงเรียนหน่วยงานที่บริจาค

ชื่อ.....

ที่อยู่.....

จังหวัด.....

รหัสไปรษณีย์..... **โทรศัพท์**.....

โทรศัพท์มือถือ..... **โทรสาร**.....

E-mail:

พร้อมนี้ได้จ่ายเงินค่าบำรุงสมาชิกรายเรียบร้อยแล้ว เป็นเงิน.....บาท

หมายเหตุ: ท่านสามารถชำระเงินได้โดย โอนเงินเข้าบัญชีออมทรัพย์ เลขที่ 793-254284-5 ชื่อบัญชี กลุ่มวิจัย วิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) สาขามหาวิทยาลัยขอนแก่น

หากท่านดำเนินการโอนเงินเข้าบัญชีแล้ว โปรดส่งหลักฐานการโอนเงิน และแจ้งรายละเอียดในการออกใบเสร็จรับเงิน มาที่ Email: feat.kku@gmail.com โทรศัพท์ 097-9939456 หรือ 043-202845 โทรสาร 043-202849 เพื่อที่กลุ่มวิจัยจะได้ ดำเนินการออกใบเสร็จ และส่งให้ท่านต่อไป ขอขอบพระคุณ

ผู้สมัคร.....

(.....)

“วารสารFEAT ” พิมพ์ปีละ 2 ฉบับ ค่าบำรุงสมาชิกรายปีมีดังนี้

1 ปี	100 บาท
2 ปี	200 บาท
3 ปี	300 บาท