



Farm Engineering And Automation Technology
Research Group , Khon Kaen University

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและ เทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

Farm Engineering and Automation Technology Journal

บรรณาธิการ	รศ.ดร. รัชพล	สันติวรการ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
กองบรรณาธิการ	ผศ.ดร. ชัยยันต์	จันทร์ศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. ชนิษฐา	คำวิไลศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. กัลยกร	ขวัญมา	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร.ธนา	ราษฎร์ภักดี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. สุมนา	ราษฎร์ภักดี	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	อ.ดร.วราธิส	ลีลาภัทร	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร.จำเริญ	เกณท์สาคร	สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	ผศ.ดร. วีรชัย	อาจหาญ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	ผศ.ฤกษ์ชัย	ศรัทธา	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ผศ.ดร. นิยม	กำลังดี	สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
	ผศ.คำรณ	พิทักษ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
	ผศ.ดร. วิภาดา	สนองราษฎร์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ผศ.ดร.สิริวิทย์	เดชะเกษราษฎร์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ผศ.ดร.จักรมาศ	เลาหวนิช	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	อ.ดร.โสรัจจ์	ประวิณวงศ์วุฒิ	สาขาวิชาฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยนครพนม

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางสาวเอี่ยมพร แสงเรือง มหาวิทยาลัยขอนแก่น

จุดมุ่งหมายและขอบเขต

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น FEAT JOURNAL (Farm Engineering and Automation Technology Journal, Khon Kaen University: FEAT) เป็นวารสารทางวิชาการ ซึ่งบทความทุกเรื่องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น (peer-reviewed journal) วารสารรับผลงานทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับ (original) ในด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อเผยแพร่เทคโนโลยีที่มีคุณค่าแก่นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป โดยวารสารเคร่งครัดในเรื่องผลงานวิชาการที่เป็นต้นฉบับ และไม่ใช้ผลงานที่คัดลอก โดยวารสารมีกำหนดออกทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความ จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอก มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีการเผยแพร่ในรูปแบบเล่ม สำหรับจัดส่งให้หน่วยงานหรือผู้ที่สนใจ และเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เว็บไซต์ <http://feat.kku.ac.th>

ขอบเขตของเนื้อหาที่ตีพิมพ์ในวารสาร ประกอบด้วยบทความที่เกี่ยวข้อง ในประเด็นดังต่อไปนี้

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

จัดทำและเผยแพร่โดย กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Farm Engineering and Automation Technology : FEAT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002 โทร. 043-202845
email: feat.kku@gmail.com

บทบรรณาธิการ

เรียน ท่านสมาชิกวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ และผู้อ่านทุกท่าน



วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (Farm Engineering and Automation Technology Journal : FEAT Journal) ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2558 ฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นที่จะเผยแพร่องค์ความรู้ ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ให้นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไป ได้ทราบ และสามารถเรียนรู้ นำไปต่อยอดความรู้ และแก้ไขปัญหาในการทำงาน ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติได้ วารสารนี้มีกำหนดตีพิมพ์ทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณา จากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในฉบับนี้มีบทความวิจัย จำนวน 7 บทความ ซึ่งท่านสามารถติดตาม และอ่านบทความต้นฉบับได้ที่เว็บไซต์ <http://feat.kku.ac.th>

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

รศ.ดร.รัชพล สันติวรากร

บรรณาธิการ

31 มกราคม 2559

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer) ประจำปี

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก	ผศ.ดร.ฤกษ์ชัย	ศวีรมาศ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ผศ.ดร.สิริวิทย์	เดชะเจษฎารังสี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ผศ.ดร.วิภาดา	สนองราษฎร์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน	รศ.ดร. รัชพล	สันติวรกร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. ชนิษฐา	คำวิสัยศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. กัลยกร	ขวัญมา	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร.ธนา	ราษฎร์ภักดี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. ชัยยันต์	จันทร์ศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร. สุมณา	ราษฎร์ภักดี	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	เหล่านากุล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	อ.ดร.ธัญลักษณ์	ราษฎร์ภักดี	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	อ.ดร.อภิชาติ	บุญมา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2558

การศึกษาเพื่อตรวจสอบหาความยาวและจำนวนแถวที่เหมาะสมของรางปลูกในการจ่ายน้ำเย็น ให้กับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์	67
ธวัชชัย จารุงศรีวิทยา อภิเดช บุญเจือ นพรัตน์ อมัตร์รัตน์ ประเมศวร์ สุทธิประภา พลเทพ เวงสูงเนิน และ ทยาวิทย์ หนูบุญ	
การผลิตฉนวนกันความร้อนจากโพลียูรีเทนและยางพารา	75
สัณชัย รำเพยพัด ธวัชชัย จารุงศรีวิทยา สาธิต ทูลไธสง นพรัตน์ อมัตร์รัตน์ และ อภิเดช บุญเจือ	
การลดการใช้น้ำสำหรับกระบวนการย้อม ในอุตสาหกรรมผลิตพรมตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด	83
นครินทร์ เทิดเกียรติกุล พัทธี หอวิจิตร และ สุธนา ราษฎร์ภักดิ์	
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบหมุนชนิดไหลสวนทาง	95
วรวิทย์ ปัญญาคำ และ ธนา ราษฎร์ภักดิ์	
การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้นแบบที่พัฒนาในประเทศไทย	107
มนตรี ทาสันเทียะ และ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ	
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบน้ำวนและระบบแผ่นกั้นแบบ ไม่ใช้อากาศ	117
ชุติมา คุณภักดิ์ และ รัชพล สันติวรารกร	
การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตยาสมุนไพรของคลินิกแพทย์แผนไทย โดยใช้หลักเทคโนโลยีสะอาด :	125
กรณีศึกษา โรงพยาบาลท่าแหะ จังหวัดชุมพร	
สุทธธีรรัตน์ ศิลา และ พรทิพย์ ศรีแดง	

Investigation of the length and the number of gutter optimals for chilled water circulation in hydroponics planting	67
<i>Tawatchai Jaruwongwittaya Apidach Boonjue Nopparat Amattirat Paramet Suttiaprapa Ponthep Vengsungnle and Thayawee Nuboon</i>	
Thermal insulator produced from polyurethane and <i>Hevea brasiliensis</i>	75
<i>Sanchai Ramphueiphad Tawatchai Jaruwongwittaya Sarthit Toolthaisong Nopparat Amattirat and Apidach Boonjue</i>	
Water Reduction for Dyeing Process in Carpet Production Industry Using Clean Technology Approach	83
<i>Nakharin Therdkiattikul Patcharee Hovichitr and Sumana Ratpukdi</i>	
Mathematical Modelling of A Counter Flow Rotary Dryer	95
<i>Voravee Punyakum and Thana Radpukdee</i>	
The Potential on Development of cassava combine harvester in Thailand	107
<i>Montree Thasontea and Chaiyan chansiri</i>	
Comparison of Biogas Production Efficiency by Vortex and Anaerobic Baffle System	117
<i>Chutima Khunpakdee and Ratchaphon Suntivarakorn</i>	
Enhancement of herbal medicine production efficiency in Thai traditional medicine clinic by Clean Technology application : Case study of Tha Sae hospital in Chumphon province	125
<i>Suttirat Silakham and Porntip Sridang</i>	



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การศึกษาเพื่อตรวจสอบหาความยาวและจำนวนแถวที่เหมาะสมของรางปลูกในการจ่ายน้ำเย็นให้กับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

Investigation of the length and the number of gutter optimal for chilled water circulation in hydroponics planting

ธวัชชัย จารุงวงศ์วิทยา^{1*}, อภิเดช บุญเจือ¹, นพรัตน์ อมัตติรัตน์¹,

ปรเมศวร์ สุทธิประภา², พลเทพ เวงสูงเนิน² และ ทยาวิวี หนูบุญ²

Tawatchai Jaruwongwittaya^{1*}, Apidach Boonjue¹, Nopparat Amattirat¹,

Paramet Suttiprapa², Ponthep Vengsungne² and Thayawee Nuboon²

¹⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการทำความเย็นและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 ถนน สุรนารายณ์ ตำบล ในเมือง อำเภอ เมือง จังหวัด นครราชสีมา 30000

²⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนน สุรนารายณ์ ตำบล ในเมือง อำเภอ เมือง จังหวัด นครราชสีมา 30000

Received: November 2015

Accepted: January 2016

บทคัดย่อ

จากปัญหาของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยและประเทศที่อยู่ในเขตร้อนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์ คณะผู้วิจัยจึงนำระบบทำความเย็นแบบอัดไอมาประยุกต์เพื่อลดอุณหภูมิให้กับสารละลายที่เป็นสารอาหารของผักให้มีอุณหภูมิ 25°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชโดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาถึงความยาวของรางปลูกและจำนวนแถวของรางปลูกที่ไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกภายใต้อุณหภูมิดังกล่าว และอัตราการไหลระหว่าง 100 ถึง 200 ลิตรต่อชั่วโมง โดยดำเนินการทดลองปรับเปลี่ยนความยาวและจำนวนแถวของรางปลูกดังนี้ รางปลูกยาว 20 เมตร จำนวน 1 แถว, 16 เมตร จำนวน 2 แถว, 12 เมตร จำนวน 3 แถว, 8 เมตร จำนวน 4 แถว และ 6 เมตร จำนวน 6 แถว ผลการวิจัยพบว่าเมื่อรางปลูกมีความยาวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกมีการเปลี่ยนแปลง

เพิ่มขึ้น ภายใต้อัตราการไหลเดียวกัน โดยจำนวนรางที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลาย ความยาวและจำนวนของรางปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ที่เหมาะสมคือรางปลูกพืชที่มีความยาว 6 เมตร จำนวน 6 แถว ในทุก ๆ อัตราการไหล เนื่องจากภายใต้ความยาวนี้สามารถรักษาอุณหภูมิของสารละลายให้คงที่ และเมื่อพิจารณาถึงผลผลิตที่ได้จากการปลูกก็สามารถให้ผลผลิตมากที่สุดคือ 180 ต้น

คำสำคัญ : ไฮโดรโปนิคส์ เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ น้ำเย็น รางปลูก

Abstract

The weather in Thailand and other countries in a tropical environment have influenced the growth of hydroponics planting. This research was used a vapor compression system to cool nutrient solutions at 25°C for the hydroponic plantings. The objective of this research is to study the length and the numbers of gutter planters optimal for chilled water circulation. The length and the number of gutter planters were varying in 20 m (single line), 16 m (double lines), 12 m (3 lines), 8 m (4 lines) and 6 m (6 lines) and the nutrient solutions flow rate were vary from 100 LPH to 200 LPH. The results found that a solution temperature increase when the length of gutter is increased at the same flow rate. The numbers of gutters dose not influence the solution temperature. The length and the numbers of gutter planters optimal for chilled water circulation for this research are 6 m and 6 lines. Due to the solution temperature in this length and numbers of gutter planters is constant and the amount of product is 180 particles of plants.

Keywords: Hydroponics Vapor compression Chilled water Gutter

*ติดต่อ: acr2freezer@hotmail.com, 044-233000, 044-233074

1. บทนำ

ปัจจุบันคนหันมาดูแลสุขภาพมากขึ้น การรับประทานผักถือเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งคนนิยม เนื่องจากผักมีวิตามินและธาตุอาหารจำนวนมาก และยังรับประทานแล้วไม่อ้วนด้วย โดยเฉพาะผักตระกูลสลัด ดังนั้น ผักตระกูลสลัดจึงเป็นที่นิยมรับประทาน แต่เนื่องจากผักตระกูลสลัดเป็นพืชที่ปลูกในเขตนาว เช่น ใน ยุโรป อเมริกา และ ออสเตรเลีย อุณหภูมิที่ผักสลัดต้องการอยู่ในช่วง 18-25°C [1] จึงปลูกกันที่ต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีราคาค่อนข้างแพง อีกทั้งการเพาะปลูกในประเทศไทยมีปัญหาที่เกิดจาก

ความแห้งแล้ง โรคพืชแมลงศัตรูพืชระบาด น้ำท่วม คุณภาพของผลผลิต และที่สำคัญที่สุดคือปัญหาการใช้สารพิษเพื่อกำจัดแมลง ส่งผลทำให้ดินและระบบนิเวศน์ได้รับผลกระทบอย่างมาก รวมทั้งอันตรายที่เกิดจากสารพิษต่อทั้งเกษตรกรผู้ปลูกเอง และประชาชนผู้บริโภค ปัญหาของเกษตรกรที่เกิดขึ้นนี้ยังได้รับการดูแลแก้ไขน้อยมาก เนื่องจากการที่เกษตรกรขาดความรู้ความเข้าใจและในทางด้านงบประมาณ และแรงจูงใจในการเพาะปลูกพืช แต่ปัจจุบันนี้ประเทศไทยสามารถนำผักตระกูลสลัดเข้ามาปลูกได้ โดยปลูกในพื้นที่ที่มีอากาศเย็น หรือใช้การปลูกแบบ

ไม่ใช้ดินหรือเรียกว่า การปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ (hydroponics) ซึ่งใช้น้ำเป็นแหล่งอาหารพืชแทนการใช้ดิน และการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโต ซึ่งผักจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว ซึ่งสภาพอากาศค่อนข้างเย็น แต่ฤดูร้อนผักจะไม่ค่อยเจริญเติบโต เนื่องจากอากาศค่อนข้างร้อน แต่สำหรับผู้ประกอบการที่มีทุนมาก จะใช้โรงเรือนแบบ Evaporative cooling ซึ่งจะช่วยให้ความชื้นของอากาศภายในโรงเรือนลดลง แต่จะมีค่าใช้จ่ายสูงมาก เมื่อเทียบกับวิธีการพ่นน้ำให้ละอองเป็นฝอยให้ทั่วบริเวณปลูกพืช ซึ่งจะสามารถลดอุณหภูมิขณะพ่นฝอยได้ถึง $3-5^{\circ}\text{C}$ และลดอุณหภูมิสารละลายได้ $3-5^{\circ}\text{C}$ และการพรางแสง ซึ่งช่วยได้ในระดับหนึ่ง การพ่นน้ำยังช่วยลดอุณหภูมิของสารละลายด้วย แต่อย่างไรก็ตามในช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงมากๆ เช่นมากกว่า 38°C การพ่นน้ำก็สามารถลดอุณหภูมิให้เหลือได้เพียงประมาณ 33°C และอุณหภูมิสารละลายอยู่ที่ประมาณ 32°C ซึ่งเป็นช่วงที่พืชเจริญเติบโตได้ไม่ดี โดยทั่วไปผลผลิตในหน้าร้อนอาจลดลง 30-100% ดังนั้นผักสลัดในหน้าร้อนจะมีน้อยมากซึ่งไม่พอกับความต้องการของตลาด[2]

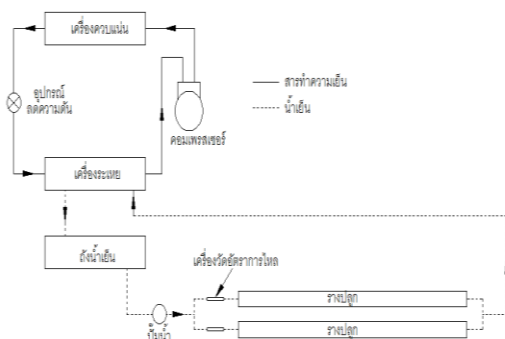
จากปัญหาสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยและประเทศที่อยู่ในเขตร้อน ทำให้นักวิจัยนำระบบทำความเย็นแบบอัดไอมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อลดอุณหภูมิให้กับสารละลายที่เป็นสารอาหารของผักให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักสลัด[3] ร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดิน หรือการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืชแบบไหลเวียน (Nutrient Film Technique, NFT) เป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายธาตุอาหารจะ

ไหลเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ (หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) ในรางปลูกพืชกว้างตั้งแต่ 5 - 35 เซนติเมตร และสูงประมาณ 5 - 10 เซนติเมตร ความกว้างของรางขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก ความยาวของราง ตั้งแต่ 5 - 20 เมตร การไหลของสารละลายอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับก็ได้ โดยทั่วไปสารละลายจะไหลแบบต่อเนื่อง อัตราการไหลอยู่ในช่วง 1 - 2 ลิตรต่อนาที วัสดุทำรางอาจทำจากแผ่นพลาสติกสองหน้าขาวและดำ หนา 80 - 200 ไมครอน หรือจาก PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูป, ทำจากโลหะ เช่น สังกะสี หรือ อะลูมิเนียม และบุภายในด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืชและเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 1 ปัจจุบันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักที่สำคัญคือ อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร โดยในระบบปลูกพืชแบบ NFT นั้น ผักสลัดจะมีการเจริญเติบโตของรากสูงเมื่อสารละลายธาตุอาหารมีอุณหภูมิ 25°C [4] เนื่องจากออกซิเจนในน้ำมีการแตกตัวได้ช้า ทำให้ผักได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามในการจัดวางรางปลูกของการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์นั้น ยังไม่ได้ศึกษาถึงความยาวของรางปลูกและจำนวนของรางปลูกที่เหมาะสม เนื่องจากรางปลูกที่ยาวเกินไปและจำนวนของรางปลูกที่มากเกินไปทำให้ผักสลัดในแต่ละช่องที่โตไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำเย็นที่หมุนเวียนมีค่าแตกต่างกันในแต่ละช่องปลูก (ต้น) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาถึงความยาวของรางปลูกและจำนวนแถวของรางปลูกที่เหมาะสมกับการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อเพิ่มจำนวนผลผลิตให้กับเกษตรกรต่อไป

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงความเหมาะสมของความยาวและจำนวนแถวของรางปลูกเพื่อต้องการทราบถึง

ผลกระทบของความยาวและจำนวนแถวของรางปลูกต่ออุณหภูมิของสารละลาย (น้ำและสารอาหาร) ผลที่ได้จะถูกนำไปกำหนดแนวทางการตัดสินใจสำหรับการเลือกความยาวและจำนวนแถวของรางปลูกที่เหมาะสมในด้านของจำนวนผลผลิตและคุณภาพของพืชที่ได้จากการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ โดยสร้างความเย็นให้กับสารละลายและควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25°C จากระบบทำความเย็นแบบอัดไอเป็นระบบที่สร้างความเย็นให้กับสารละลาย และระบบหมุนเวียนสารละลาย เพื่อนำสารอาหารที่เป็นประโยชน์หมุนเวียนให้กับผักในรางปลูก ดังแสดงในรูปที่ 1 และดำเนินการทดลองปรับเปลี่ยนความยาวและจำนวนแถวของรางปลูก ดังต่อไปนี้ (แสดงในรูปที่ 2)



รูปที่ 1 ระบบทำความเย็นในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์

- 1) ความยาวของรางปลูก 20 เมตร จำนวน 1 แถว
- 2) ความยาวของรางปลูก 16 เมตร จำนวน 2 แถว
- 3) ความยาวของรางปลูก 12 เมตร จำนวน 3 แถว
- 4) ความยาวของรางปลูก 8 เมตร จำนวน 4 แถว
- 5) ความยาวของรางปลูก 6 เมตร จำนวน 6 แถว

โดยในแต่ละกรณีจะทำการวัดอุณหภูมิของสารละลายที่ไหลผ่านเป็นระยะ 1 เมตร จนถึงรางปลูก

และแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายตั้งแต่ 100 – 200 ลิตรต่อชั่วโมง ในทุก ๆ 20 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 2 ใต้ปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคส์

การทำงานของระบบทำความเย็นสำหรับปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ เริ่มต้นจากการผสมสารอาหารของผักลงในถังน้ำเย็น จากนั้นปั๊มน้ำจะสูบสารละลายไปยังรางปลูก ในขณะที่สารละลายไหลผ่านรางปลูก อุณหภูมิของสารละลายจะเพิ่มขึ้น สารละลายอุณหภูมิสูงจะถูกส่งเข้าไปยังเครื่องระเหยของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ โดยสารทำความเย็นในเครื่องระเหยทำหน้าที่ดูดซับความร้อนจากสารละลาย ทำให้อุณหภูมิของสารละลายลดลงและสารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ สารทำความเย็นจะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดจากเครื่องระเหยและอัดให้มีความดันสูงเพื่อส่งไปยังเครื่องควบแน่น และระบายความร้อนออกทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลงและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวส่งไปยังอุปกรณ์ลดความดันเพื่อลดความดันของสารทำความเย็นเหลวให้มีความดันต่ำลงจนสามารถเดือดเป็นไอได้ในเครื่อง

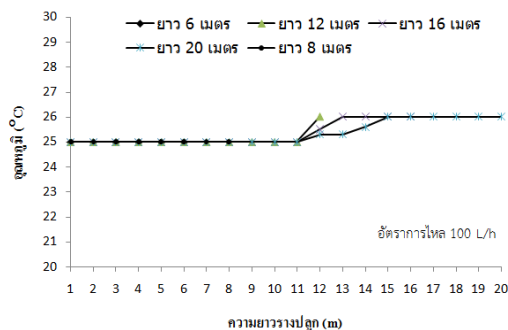
ระเหย เมื่อรับความร้อนจากสารละลายซึ่งหมุนเวียนเป็นวัฏจักร เช่นนี้ตลอดไป

การปรับเปลี่ยนความยาวและจำนวนแถวของรางปลูกนั้นกระทำเพื่อต้องการทราบถึงผลกระทบของความยาวและจำนวนแถวของรางปลูกต่ออุณหภูมิของสารละลาย ผลที่ได้จะถูกนำไปกำหนดแนวทางการตัดสินใจเลือกความยาวและจำนวนแถวของรางปลูกที่เหมาะสมในด้านของจำนวนผลผลิตและคุณภาพของพืชที่ได้จากการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์

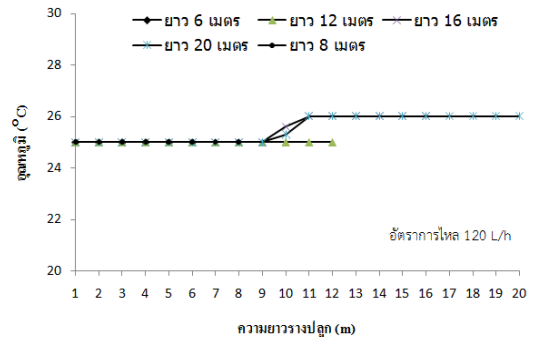
3. ผลการวิจัย

ผลการทดลองในการแปรเปลี่ยนความยาวและจำนวนแถวของรางปลูกทั้ง 5 กรณี มีผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกจากการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลดังต่อไปนี้

ผลจากการปรับอัตราการไหลของสารละลาย 100 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อที่ความยาวของรางปลูกตั้งแต่ 11 เมตรขึ้นไป สำหรับรางปลูกยาว 20 เมตร จำนวน 1 แถว รางปลูกยาว 16 เมตร จำนวน 2 แถว และรางปลูกยาว 12 เมตร จำนวน 3 แถว ดังแสดงในรูปที่ 3

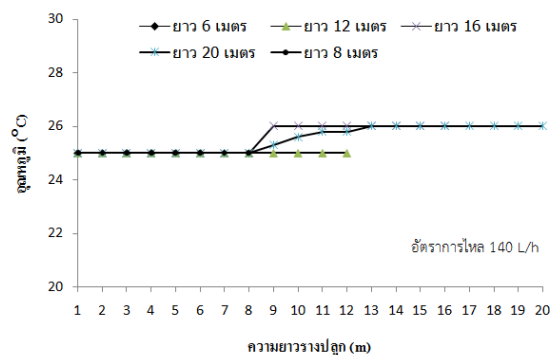


รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกที่มีอัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง



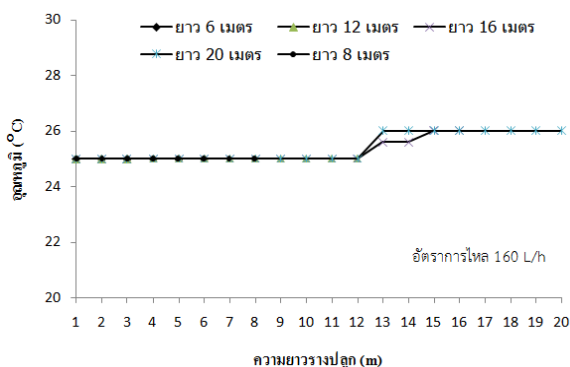
รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกที่มีอัตราการไหล 120 ลิตรต่อชั่วโมง

ผลจากการปรับอัตราการไหลของสารละลาย 120 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อที่ความยาวของรางปลูกตั้งแต่ 9 เมตรขึ้นไป สำหรับรางปลูกยาว 20 เมตร จำนวน 1 แถว และรางปลูกยาว 16 เมตร จำนวน 2 แถว และผลจากการปรับอัตราการไหลของสารละลาย พบว่าสารละลายที่มีอัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อที่ความยาวของรางปลูกตั้งแต่ 8 เมตรขึ้นไป สำหรับรางปลูกยาว 20 เมตร จำนวน 1 แถว และรางปลูกเกิน 8 เมตรขึ้นไป สำหรับรางปลูกยาว 16 เมตร จำนวน 2 แถว ดังแสดงในรูปที่ 4-5

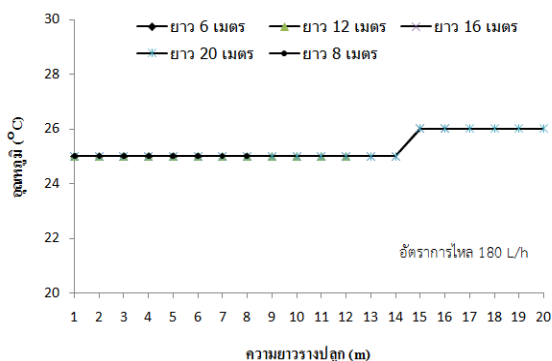


รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกที่มีอัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

ผลจากการปรับอัตราการไหลของสารละลาย พบว่าสารละลายที่มีอัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อที่ความยาวของรางปลูกตั้งแต่ 12 เมตรขึ้นไปสำหรับรางปลูกยาว 20 เมตร จำนวน 1 แถว และรางปลูกเกิน 6 เมตรขึ้นไปสำหรับรางปลูกยาว 16 เมตร จำนวน 2 แถว แถว ดังแสดงในรูปที่ 6



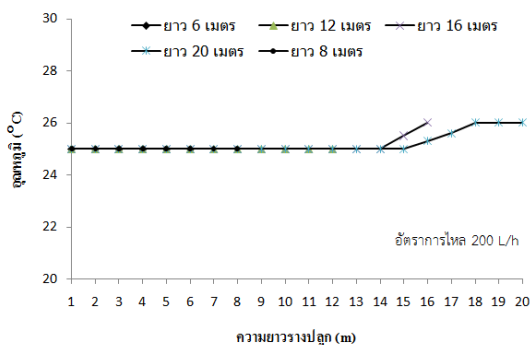
รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกที่มีอัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกที่มีอัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง

ผลจากการปรับอัตราการไหลของสารละลาย พบว่าสารละลายที่มีอัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อที่ความยาวของรางปลูกตั้งแต่ 14 เมตรขึ้นไปสำหรับรางปลูกยาว 20 เมตร จำนวน 1 แถว และรางปลูกเกิน 11 เมตรขึ้นไปสำหรับรางปลูกยาว 16 เมตร จำนวน 2 แถว และ

ผลจากการปรับอัตราการไหลของสารละลาย พบว่า สารละลายที่มีอัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อที่ความยาว ของรางปลูกตั้งแต่ 15 เมตรขึ้นไปสำหรับรางปลูกยาว 20 เมตร จำนวน 1 แถว และรางปลูกเกิน 13 เมตรขึ้นไปสำหรับรางปลูกยาว 16 เมตร จำนวน 2 แถว ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกที่มีอัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

4. สรุป

จากการผลการทดลองสามารถสรุปผลของการปรับเปลี่ยนความยาวและจำนวนของรางปลูกคือ 20 เมตร จำนวน 1 แถว, 16 เมตร จำนวน 2 แถว, 12 เมตร จำนวน 3 แถว, 8 เมตร จำนวน 4 แถว และ 6 เมตร จำนวน 6 แถว ตามลำดับ รวมไปถึงอัตราการ

ไหลของสารละลายที่มีอัตราการไหล 100, 120, 140, 160, 180, และ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ดังต่อไปนี้

4.1 กรณีที่รางปลูกมีความยาวเพิ่มขึ้นพบว่าอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายอยู่ภายใต้ อัตราการไหลเดียวกัน โดยจำนวนรางที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลาย

4.2 กรณีที่อัตราการไหลของสารละลายเปลี่ยนแปลงพบว่าผลกระทบต่ออุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกดังต่อไปนี้

- อัตราการไหล 100, 120 และ 140 ลิตรต่อชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกในตำแหน่งที่รางปลูกยาว 11, 9 และ 8 เมตร ขึ้นไป ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการไหลที่มีค่าต่ำ มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและน้ำเกิดขึ้นได้ช้า ทำให้สารละลายรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ระยะทางที่ยาวกว่า

- อัตราการไหล 160, 180 และ 200 ลิตรต่อชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกในตำแหน่งที่รางปลูกยาว 12, 14 และ 15 เมตร ขึ้นไป ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการไหลที่มีค่าสูงกว่า 140 ลิตรต่อชั่วโมงสำหรับงานวิจัยนี้ มีความเร็วของการเคลื่อนที่สูงทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและน้ำเกิดขึ้นน้อยมาก จึงทำให้สารละลายรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ระยะทางที่ยาวกว่า

จากผลการทดลองพบว่า ความยาวและจำนวนของรางปลูกพีชแบบไฮโดรโปนิคส์ที่เหมาะสมสำหรับการวิจัยนี้คือ รางปลูกพีชที่มีความยาว 6 เมตร จำนวน 6 แถว ภายใต้อัตราการไหลระหว่าง 100 ถึง 200 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากภายใต้ความยาวนี้สามารถรักษาอุณหภูมิของสารละลายให้คงที่ และเมื่อพิจารณาถึงผลผลิตที่ได้จากการปลูกก็สามารถให้ผลผลิตมากที่สุดคือ 180 ต้น (จำนวน 5 ต้น ต่อความยาวของรางปลูก 1 เมตร)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาเพื่อตรวจสอบหาความยาวและจำนวนแถวที่เหมาะสมของรางปลูกในการจ่ายน้ำเย็นให้กับการปลูกพีชไฮโดรโปนิคส์ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ปีงบประมาณ 2556

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อธิติสุนทร นันทกิจ. การปลูกพีชในระบบ NFT (Nutrient film technique) [อินเทอร์เน็ต]. 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.kmitl.ac.th/hydro/NTFdoc.htm>
- [2] อธิติสุนทร นันทกิจ. การออกแบบและจัดการระบบปลูกพีชโดยไม่ใช้ดินแบบ NFT) [อินเทอร์เน็ต]. 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.kmitl.ac.th/hydro/NFTDesign.htm>

- [3] ประเมศวร์ สุทธิประภา. การลดอุณหภูมิในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ด้วยท่อความร้อน [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2554.
- [4] Kao TC. The Dynamic Root Floating Hydroponic Technique: Year-Round Production of Vegetables in ROC on Taiwan. Taiwan: Taichung District Agricultural Improvement Station Tatsuen Hsiang; 1991.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การผลิตฉนวนกันความร้อนจากโพลียูรีเทนและยางพารา

Thermal insulator produced from polyurethane and *Hevea brasiliensis*

สัญญาชัย จำเริญพัค*, ธวัชชัย จารูวงศ์วิทยา, สาริทธิ์ ทูลไธสง, นพรัตน์ อมัตติรัตน์ และ อภิเดช บุญเจือ

Sanchai Ramphueiphad*, Tawatchai Jaruwongwittaya, Sarthit Toolthaisong,

Nopparat Amattirat, and Apidach Boonjue.

สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการทำความเย็นและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ต.ในเมือง อ. เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Isan. 744 Suranarai Road Muang District Nakhon Ratchasima 30000 Thailand.

Received: November 2015

Accepted: January 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าการนำความร้อนและอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อน โดยนำโพลียูรีเทนโฟมมาย่อยให้ละเอียดและนำส่วนผสมน้ำยางพารา กับบอแรกซ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานและด้านการลามไฟมาผสมเข้ากับโพลียูรีเทนโฟมเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวน ตากแดดเพื่อไล่ความชื้นจนแห้ง ผลการทดสอบหาค่าการนำความร้อนและอัตราการลามไฟ จากการทดสอบได้ค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.048 W/m K และอัตราการลามไฟอยู่ระหว่าง 1-3 mm/min

คำสำคัญ : ฉนวนกันความร้อน ยางพารา โพลียูรีเทนโฟม ค่าการนำความร้อน

Abstract

This research aims to find the thermal conductivity and burn rate of thermal insulator. Polyurethane foam is thoroughly digested by machine and then polyurethane foam, rubber latex, borax and formic acid are mixed. Moisture in insulator is removed by the sun. Result shows that the thermal conductivity of the insulator is increase when the density is high. Average thermal conductivity is 0.048 W / m K and burn rate of fire is about 1 - 3 mm / min.

Keywords : Thermal insulator, *Hevea brasiliensis*, polyurethane, Thermal Conductivity.

*ติดต่อ: E-mail: sanchai.ra@rmuti.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 044-233000, เบอร์โทรสาร: 044-233052

1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ เพราะนอกจากประเทศไทยได้ก้าวขึ้นสู่การเป็นประเทศผู้ผลิตยางอันดับ 1 ของโลกตั้งแต่ปี 2534 ยังได้มีการขยายพื้นที่ปลูกไปยังทุกภูมิภาคทั่วประเทศ ในปี 2553 คณะรัฐมนตรีได้อนุมัติโครงการปลูกยางในพื้นที่ใหม่อีกกว่า 8 แสนไร่ [1] ส่งผลให้เกษตรกรที่ปลูกพืชอื่นหันมาปลูกยางพารากันอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้เกิดปัญหาราคายางตกต่ำ การสร้างความเข้มแข็งให้กับเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราเพื่อไม่ให้พึ่งพาการขยายยางพาราในรูปวัตถุดิบเป็นหลักนั้นเป็นเรื่องสำคัญที่ทุกฝ่ายต้องช่วยกัน การวิจัยและพัฒนา ยางพาราบนพื้นฐานของเทคโนโลยีที่เกษตรกรทำได้จึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่ง

การวิจัยและพัฒนา ยางพาราได้มีผู้สนใจศึกษาไว้ดังนี้ การปรับปรุงสมบัติและกระบวนการผลิตด้วยการใส่ Tyrin CPE เพื่อป้องกันการลามไฟ ให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมสำหรับเสริมแรงและใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม สำหรับลดต้นทุน อัตราขึ้นรูป ที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 30 นาที [2] การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ พบว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 ให้คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการคืนรูปที่ดี [3] การศึกษาผลของความหนาผิวเคลือบโพลียูรีเทนและปริมาณ ผงไททาเนียมไดออกไซด์ในผิวเคลือบที่มีต่อสมบัติการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และสมบัติทางกลกายภาพของผลิตภัณฑ์หลังคายางจากวัสดุผสมยางธรรมชาติและซีลียูไม์ โดยเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ ทดสอบความสว่างและค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Recording Spectrophotometer ค่าการนำความร้อน และสมบัติทางกลด้านการยืดเกาะ และความทนทานต่อการดัดโค้งของผิวเคลือบก่อนและหลังการเร่งสภาวะของผิวเคลือบด้วยรังสียูวี ผลการทดลองพบว่า ความสว่างและค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงไททาเนียมได

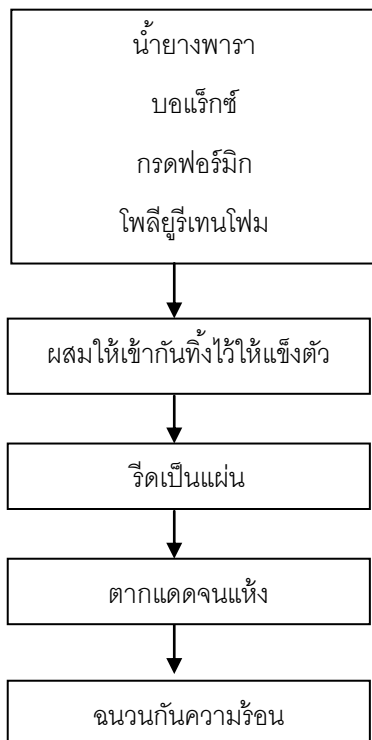
ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์มากที่สุดที่เติมปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ 15 ส่วนในผิวเคลือบ [4] การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเศษวัสดุจากการเกษตร [5] การนำยางพารามาผลิตฉนวนความร้อนโดยผสมกับวัสดุที่ได้จากการเกษตร [12]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่เคยมีปรากฏรายงานที่เกี่ยวกับการนำโพลียูรีเทน มาผสมกับน้ำยางพาราเพื่อผลิตฉนวนกันความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาขั้นตอนวิธีการผลิตฉนวนกันความร้อนจากโพลียูรีเทนผสมน้ำยางพาราและทดสอบหาค่าการนำความร้อนและอัตราการลามไฟ เพื่อหาคุณสมบัติการเป็นฉนวน ของฉนวนกันความร้อนที่ได้จากงานวิจัย

2. วิธีการการวิจัย

2.1 วิธีการผลิตฉนวนกันความร้อน

เตรียมวัสดุโดยประกอบไปด้วยโพลียูรีเทน โฟม ย่อยละเอียดทำหน้าที่เป็นเส้นใย น้ำยางพาราทำหน้าที่ตัวประสาน กรดฟอริกทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทำให้ยางแข็งตัวเร็ว และบอแรกซ์ทำหน้าที่สารต้านการลามไฟ จากนั้นผสมน้ำกับกรดฟอริกด้วยอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนัก นำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมกันโดยน้ำหนัก โดยแปรค่าน้ำหนักของโพลียูรีเทน โฟม โดยผสมโพลียูรีเทนโฟม น้ำยางพาราและบอแรกซ์ให้เข้ากัน จากนั้นเติมส่วนผสมของกรดฟอริกกับน้ำกวนให้เข้ากันทิ้งไว้จนกระทั่งเริ่มจับตัวเป็นก้อน นำมารีดเป็นแผ่นนำไปตากแดดจนแห้ง จากนั้นนำไปทดสอบค่าการนำความร้อนและอัตราการลามไฟ ขั้นตอนการผลิตฉนวนกันความร้อนยางพาราผสมโพลียูรีเทน ดังแสดงในรูปที่ 1

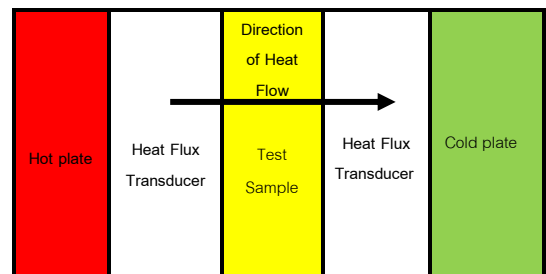


รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตคำนวณกันความร้อน
ยางพาราผสมโพลียูรีเทน

2.2 การวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ

ค่าการนำความร้อน(k)ใช้บ่งบอกความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ ถ้าวัสดุนำความร้อนได้ดี วัสดุนั้นจะมีค่าการนำความร้อนมาก วัสดุใดมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนจะให้ค่าการนำความร้อนน้อย ฉนวนความร้อนมีคุณสมบัติต้านทานการไหลของความร้อนได้ดี จึงนิยมใช้ติดตั้งเพื่อป้องกันความร้อนจากหลังคาเหล็กหรือใช้หุ้มท่อในอุตสาหกรรมต่างๆ วิธีการวัดค่าสภาพการนำความร้อนสามารถแบ่งได้ 2 วิธี 1.การวัดแบบสภาวะไม่คงที่ เป็นการวัดที่ขึ้นกับเวลา ไม่ต้องรอให้เข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำให้ใช้เวลาในการวัดที่รวดเร็ว 2. การวัดแบบ

สภาวะคงที่ เป็นการวัดอุณหภูมิคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา เหมาะแก่การวัดประเภทฉนวน ซึ่งในการวัดค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อนมี 2 วิธีคือ 1. Guard hot plate (GHP) เป็นการวัดแบบ absolute method คือการวัด heat flux โดยตรง มีความแม่นยำสูง ช่วงอุณหภูมิการวัดกว้างตั้งแต่ -160 ถึง 650 °C วิธีนี้เป็น การวัดตามมาตรฐาน ISO 8302 และ ASTM C177 2. Heat flow meter (HFM) วิธีนี้ง่ายรวดเร็ว ใช้ขึ้นทดสอบขึ้นเดียว ให้ความร้อนไหลไปในทิศทางเดียว เครื่องประกอบไปด้วยแผ่นโลหะสองชิ้น ชิ้นหนึ่งร้อน อีกชิ้นหนึ่งเย็นดังแสดงในรูปที่ 2 วิธีการนี้จะเป็นการวัดตามมาตรฐาน ASTM C518, ISO 8301, JIS A 1412, DIN EN13163



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบค่าการนำ
ความร้อน [7]

การคำนวณค่าการนำความร้อนโดยตั้งสมมุติฐานให้ความร้อนไหลแบบ 1 มิติ จะใช้สมการการถ่ายเทความร้อนตามสมการที่ 1 คือ

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

เมื่อ q'' = ฟลักความร้อน (W/m^2)

k = ค่าการนำความร้อน ($W/m \cdot K$)

dT/dx = temperature gradient (K/m)

2.3 วิธีการทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นคืออัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นได้จากสมการที่ 2

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

เมื่อ

ρ = ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น กิโลกรัม

ต่อ ลูกบาศก์เมตร

M = น้ำหนักมีหน่วยเป็น กิโลกรัม

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

2.4 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนทดสอบค่าการนำความร้อน เตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานวัดค่าการนำความร้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm หนา 25.4 mm นำชิ้นทดสอบมาวางอยู่ระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่น โดยมีอุณหภูมิของแผ่นด้านเย็น ที่ 10 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิของแผ่นด้านร้อนที่ 38.77 องศาเซลเซียสและขึ้นอุณหภูมิของชิ้นทดสอบอยู่ในช่วง 28-31.5 องศาเซลเซียสให้ความร้อนกับชิ้นงานแล้ววัดอุณหภูมิ ขณะทำการทดสอบได้ใช้น้ำเย็นที่อุณหภูมิระหว่าง 10-15 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาทั้งชิ้นงานไว้ประมาณ 20 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ จึงอ่านค่าอัตราการนำความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยเวลา และอ่านค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่างๆของชิ้นทดสอบนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการนำความร้อนตามกฎฟูเรียร์ ตามสมการที่ 1

การทดสอบหาอัตราการลากลามไฟ ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 635-98 โดยชิ้นงาน

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาด กว้าง 13 มิลลิเมตรยาว 125 มิลลิเมตรและมีความหนาในช่วง 3-15 มิลลิเมตร โดยทดสอบที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียสและมีความชื้นสัมพัทธ์ 55-60 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เปลวไฟจุดที่ปลายชิ้นงานแล้วเริ่มจับเวลาและดึงเปลวไฟออก ปล่อยให้ไฟลามไปบนชิ้นงานทดสอบและหยุดทำการจับเวลาเมื่อเหลือชิ้นงานตัวอย่าง 25 มิลลิเมตร นับจากปลายอีกข้างหนึ่งของชิ้นงานหรือจนกว่าไฟดับ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

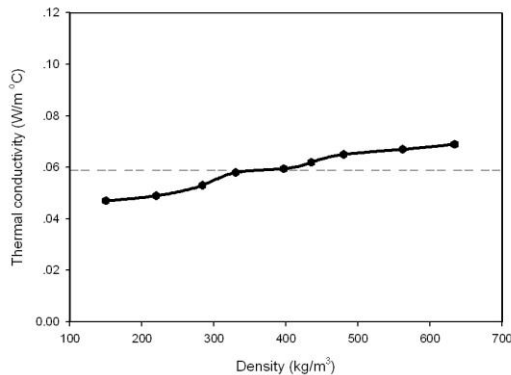
คำนวณกันความร้อนยางพาราผสมโพลียูรีเทนได้จากสูตรส่วนผสมที่ให้ค่าความร้อนต่ำ และอัตราการลากลามไฟต่ำ ลักษณะเป็นชิ้น เนื้อฉนวนมีโครงสร้างละเอียดมีความยืดหยุ่นสูงสามารถทนแรงดึงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ฉนวนกันความร้อนยางพาราผสมโพลียูรีเทนที่ได้จากงานวิจัย

3.1 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity testing)

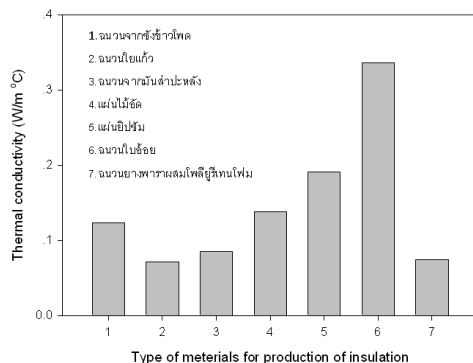
ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากโพลียูรีเทนโฟมผสมยางพารา ตามมาตรฐาน C518 - 91 โดยใช้ชิ้นทดสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm หนา 25.4 mm ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง



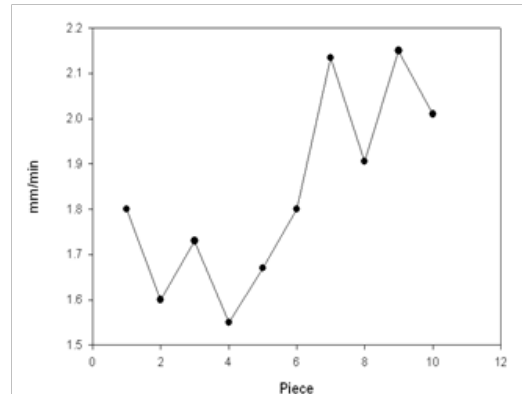
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับความหนาแน่น ของฉนวนความร้อนชนิดยางพาราผสมโพลียูรีเทน

จากการทดลองพบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนผสมสารหน่วงไฟจะมีค่าการนำความร้อนสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนสูงขึ้น โดยความหนาแน่นจากการทดลองคือ 190.05 kg/m^3 ได้ค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.048 W/m K ดังแสดงในรูปที่ 4

จากรูปที่ 5 แสดงค่าการนำความร้อนของฉนวนที่ผลิตจากงานวิจัยเปรียบเทียบกับฉนวนทั่วไป พบว่าฉนวนที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้ มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนได้



รูปที่ 5 แสดงค่าการนำความร้อนของฉนวนที่ผลิตจากงานวิจัยเปรียบเทียบกับฉนวนทั่วไป



รูปที่ 6 กราฟแสดงอัตราการลามไฟของแผ่นฉนวนที่ผลิตได้ที่มีความหนาแน่น 190.05 kg/m^3

การทดลองอัตราการลามไฟพบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นอัตราการลามไฟมีแนวโน้มลดลง และจากการทดลองอัตราการลามไฟอยู่ระหว่าง 1-3 mm/min

4. สรุปผล

จากการศึกษาการผลิตฉนวนกันความร้อนยางพาราผสมโพลียูรีเทนโฟม ค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิภายนอกที่กระทำแต่ค่าการนำความร้อนจะมากขึ้นเมื่อความหนาแน่นของฉนวนเพิ่มขึ้น ค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.048 W/m K การปรับน้ำยางพาราให้มีอัตราการลามไฟต่ำสุดทำโดยเจือจางน้ำยางพาราด้วยน้ำด้วยอัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราต่อน้ำ 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก ผสมสารหน่วงไฟบอแรกซ์ เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้น้ำยางหน่วงไฟสำหรับขึ้นรูปแผ่นฉนวนหน่วงไฟ

อัตราส่วนระหว่างเส้นใยโพลียูรีเทนกับยางพาราที่ผสมสารหน่วงไฟแล้วที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนหน่วงไฟที่มีอัตราการลามไฟต่ำ

ที่สุด คือ 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนักและได้ความหนาแน่นที่ 190.05 kg/m^3

คุณสมบัติการหน่วงไฟจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 635-98 จำนวนชิ้นทดสอบ 10 ชิ้นที่ความหนาแน่น 190.05 kg/m^3 มีอัตราการลามไฟอยู่ในช่วง 1-3 mm/min ปรากฏว่าระยะลุกลามไฟของชิ้นงานทดสอบนั้นน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร จึงสรุปได้ว่าแผ่นฉนวนมีคุณสมบัติหน่วงไฟ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการทำความเย็นและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนสถานที่และเครื่องมือทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rubber Research Institute of Thailand. Academic rubber [Research Report]. Bangkok: printing Agriculture Cooperatives of Thailand; 2012. (In Thai).
- [2] Theumai N, Kaewsom S. Thermal Insulation Closed Cell Manufacturing from Natural Rubber [Research Report]. SuratThani: SuratThani technical College; 2007. (In Thai).
- [3] Thitithammawong A. Oil and Heat Resistance, Flame Retardant Natural Rubber from Chlorinated Epoxidized. [Research Report]. Pattani: Prince of Songkla University; 2009. (In Thai).
- [4] Wimolmala E. Effects of Coating Thickness and TiO_2 Dosage in Polyurethane Coating on Heat Transfer Properties of Wood-Natural Rubber Roofs. Proceedings of the 11th Graduate Research Conference; 2010. (In Thai).
- [5] Buasri K. The Production of Thermal Insulation Boards form Rice Straw. [MSc thesis]. Bangkok: King Mongkuts University of Technology Thonburi; 2001. (In Thai).
- [6] Bunmemapasuk T. Manufacture of Flame Retardant and Insulation Sheets From Water Orchid Fiber and Natural Rubber. [MSc thesis]. Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Kasetsart University. Bangkok ; 2006. (In Thai).
- [7] Pakunworakij T. Thermal Resistance Efficiency of Building Insulation Material from Agricultural Waste. Journal of Architectural /Planning Research and Studies. 2006; 4(1): 1-13. (In Thai).

- [8] Chantasiriwan s. Determination of Temperature - dependent Thermal Conductivity in a Two-dimensional Heat Conduction System. KMUTT Research and Development Journal. 2001; 24(1):17-29. (In Thai).
- [9] Wimolmala E. Effects of Coating Thickness and TiO_2 Dosage in Polyurethane Coating on Heat Transfer Properties of Wood-Natural Rubber Roofs. [Research Report]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2010. (In Thai).
- [10] Nakasan C. Flame Retardant Natural Rubber Based on Dibutyl Phosphate Supported Natural Rubber (DSNR). [Research Report]. Suratthani: Prince of Songkla University; 2004. (In Thai).
- [11] Thitithammawong A. Oil and Heat Resistance, Flame Retardant Natural Rubber from Chlorinated Epoxidized Natural Rubber/Polypropylene Blend. [Research Report]. Pattani campus: Prince of Songkla University; 2011. (In Thai).
- [12] Pisudski J. Energy – Efficient of insulation produced from rubber leaf. Journal of Department of Public Works and Town & Country Planing. 2012; 40-46. (In Thai).



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การลดการใช้น้ำสำหรับกระบวนการย้อม
ในอุตสาหกรรมผลิตพรมตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด
Water Reduction for Dyeing Process in Carpet
Production Industry Using Clean Technology Approach

นภรินทร์ เทอดเกียรติกุล¹พัชร หอวิชิต¹ และ สุมนา ราชบุรีภักดิ์^{1,2*}Nakharin Therdkiatikul¹ Patcharee Hovichitr¹ and Sumana Ratpukdi^{1,2*}¹ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002^{2*} ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002¹ Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002^{2*} Research Center for Environmental and Hazardous Substance Management, Khon Kaen University 40002

Received: September 2015

Accepted: January 2016

บทคัดย่อ

กระบวนการย้อมเป็นหนึ่งในกระบวนการหลักของอุตสาหกรรมผลิตพรมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวมีการใช้น้ำและทรัพยากรต่างๆ เป็นจำนวนมาก การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อบริหารการใช้น้ำในกระบวนการย้อมโดยประยุกต์ใช้แนวทางเทคโนโลยีสะอาด ผลการศึกษาพบว่าโรงงานกรณีศึกษามีการใช้น้ำคิดเป็น 93.09 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (174 ลิตรต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์) เมื่อประเมินหาสาเหตุการสูญเสียโดยใช้แผนภูมิแกงปลาเพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาค้นพบว่า มีแนวทางการลดความสูญเสีย 3 แนวทางที่สามารถดำเนินการได้ ซึ่งประกอบด้วย 1) การปรับปรุงการล้างหม้อย้อมโดยใช้กล่องแทนที่น้ำ 2) การใช้ประโยชน์น้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสีย และ 3) การใช้น้ำซ้ำในการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก แนวทางแรก ได้แก่ การปรับปรุงการล้างหม้อย้อมเป็นการติดตั้งกล่องในหม้อย้อมเพื่อลดปริมาณช่องว่างในหม้อย้อมส่งผลให้น้ำล้างหม้อย้อม การศึกษาเป็นการจำลองการไหลโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2014 พบว่าเมื่อมีการติดตั้งกล่องแทนที่น้ำการไหลของน้ำการยังมีลักษณะหมุนวนและมีความเร็วคล้ายกับก่อนติดตั้งกล่อง สำหรับแนวทางที่สองการใช้ประโยชน์น้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสียเป็นการนำน้ำกลั่นใช้เป็นน้ำดิบโดยตรงทดแทนการใช้น้ำประปา การศึกษาในเชิงเทคนิคพบว่าน้ำกลั่นตัวมีคุณภาพ

ใกล้เคียงกับน้ำดิบสามารถใช้ทดแทนน้ำดิบสำหรับกระบวนการย้อมได้ ส่วนแนวทางสุดท้ายเป็นการใช้น้ำซ้ำในการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกสำหรับการล้างวัตถุดิบต่อเนื่องเนื่องจากน้ำใช้ซ้ำมีคุณภาพค่าใกล้เคียงกับน้ำอ่อนที่ใช้ในการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก ดังนั้นแนวทางนี้จึงสามารถใช้น้ำซ้ำโดยตรงภายในกระบวนการโดยไม่ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม ผลจากการคาดการณ์ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ของแนวทางข้างต้นสามารถลดการใช้น้ำและสารเคมีเท่ากับ 1,728.94 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 985.2 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ คิดเป็นเงิน 238,803 บาทต่อปี

คำสำคัญ : เทคโนโลยีสะอาด การจัดการน้ำ อุตสาหกรรมผลิตพรม

Abstract

Dyeing process is one of the main processes in carpet production industry which highly impacts to environment compared to other processes. This is because dyeing process spends a large amount of water and resources. This study aimed to manage water utilization for dyeing process using clean technology approach. The result showed that in the case study plant, water consumption of 93.09 liter per day (174 liter per kilogram-product) was found. Based on Ishikawa diagram to evaluate loss, 3 potential alternatives including 1) improving bath washing process by box installation, 2) utilizing condensed steam loss, and 3) reusing water for scouring process were chosen. For the first option, improving bath washing process was to install a box to reduce space of dyeing bath resulting in decrease washing water consumption. The flow simulation using SOLIDWORKS 2014 was performed. The result indicated that after box installation, water flow pattern was vortical motion with similar water velocity compared to that before the box installation. For the second option, utilizing condensed steam loss was to directly reuse the loss water as raw water instead of tap water. Based on technical feasibility study, it was found that the loss water quality was comparable to raw water. Therefore, the loss water could be used as raw water for dyeing process. The last option was to reuse water during scouring for continuous material washing process. Since the reused water quality was similar to soften water used for scouring, this option (direct water reuse in the process) did not need any added equipment. For all mentioned options, water and chemical consumptions reduced for 1,728.94 cubic meter per year and 958.2 kilogram per year, respectively. Total saving cost was 238,803 baht per year.

Keywords : clean technology: water management: carpet production industry

* ติดต่อ: sumana.r@kku.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ : 083-419399

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตพรมเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสิ่งทอที่สำคัญของประเทศไทยซึ่งกำลังเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วและได้รับความนิยมจากทั้งในและนอกประเทศ [1] จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่ากระบวนการย้อมเป็นกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นเนื่องจากการใช้ทรัพยากร เช่น วัตถุดิบ น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง และสารเคมี ซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ เหล่านี้ก่อให้เกิดเป็นของเสียจำนวนมาก

เทคโนโลยีสะอาดเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เทคโนโลยีสะอาดเป็นการพัฒนาการผลิตเพื่อป้องกันมิให้เกิดความสูญเสียและของเสียในกระบวนการผลิตได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากเทคโนโลยีสะอาดเป็นการลดการเกิดความสูญเสียและมลพิษจากแหล่งกำเนิด และการนำของเสียกลับมาใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ใหม่ส่งผลให้มีการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [2] ในอดีตได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมสิ่งทอดังเช่นตัวอย่างงานวิจัยการลดปริมาณสีย้อมผ้า โดยการประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็กพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้สีย้อมลงร้อยละ 25 ถึง 50 และลดค่าใช้จ่ายคิดเป็นร้อยละ 11.65 ถึง 23.31 [3]

จากการสำรวจโรงงานผลิตพรมกรณีศึกษาเบื้องต้นพบว่าโรงงานดังกล่าวมีการใช้น้ำและทรัพยากรในกระบวนการย้อม คิดเป็นเงินมากกว่า 64 ล้านบาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียจากการใช้ทรัพยากร ซึ่งประกอบไปด้วย วัตถุดิบ น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง และสารเคมีแล้ว ปัญหาในเรื่องการจัดการน้ำใช้และน้ำเสียเป็นเรื่องสำคัญในอุตสาหกรรม

ผลิตพรม จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้การศึกษามีเป้าหมายเพื่อการบริหารการใช้น้ำในกระบวนการย้อมของอุตสาหกรรมผลิตพรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยประยุกต์ใช้แนวทางเทคโนโลยีสะอาดในการจัดการดังกล่าว

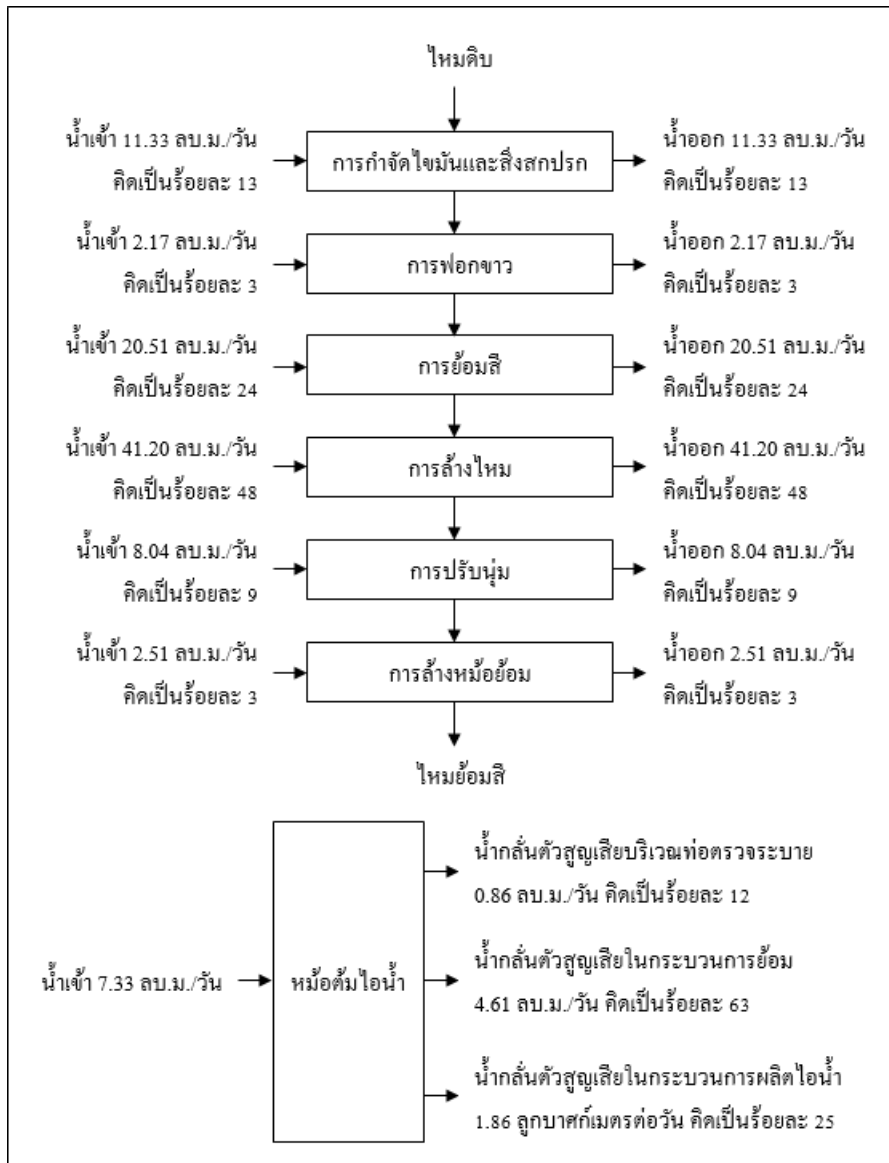
2. วิธีการวิจัย

การศึกษานี้รวบรวมข้อมูลจากโรงงานผลิตพรมแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างเดือนกันยายน 2557 ถึงเดือน สิงหาคม 2558 การวิจัยนี้สามารถแบ่งการศึกษาออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ ในขั้นตอนแรกเป็นการจัดทำสมุดมวลสารการใช้น้ำและการสูญเสียน้ำ ขั้นตอนต่อมาเป็นการประเมินหาสาเหตุโดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา (Ishikawa Diagram) เพื่อการจัดทำแนวทางแก้ไขและเสนอข้อเสนอแนะทางเทคโนโลยีสะอาด จากนั้นศึกษาความเป็นไปได้ของข้อเสนอแนะทางเทคโนโลยีสะอาดทั้งในเชิงเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม แล้วจึงนำข้อเสนอแนะทางเทคโนโลยีสะอาดไปปฏิบัติและติดตามผลการดำเนินงาน

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 สมดุลมวลสารและประเมินสาเหตุ

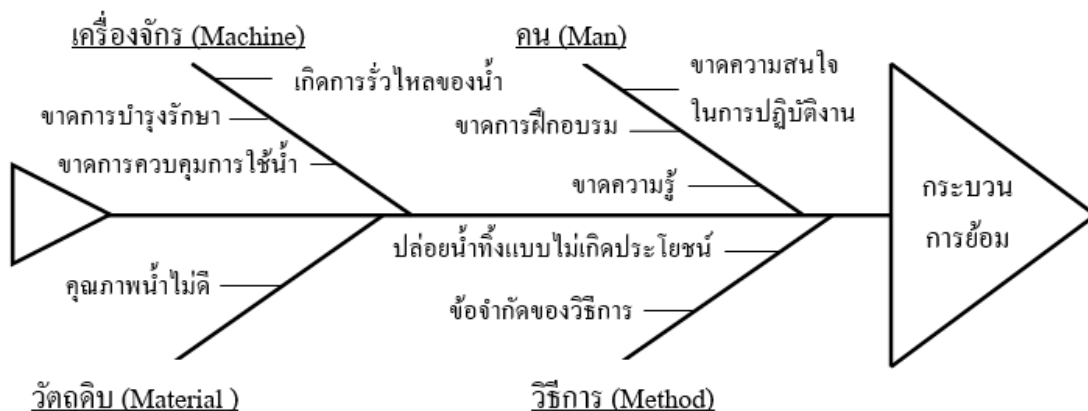
จากการทำสมดุลมวลสารการใช้น้ำและการสูญเสียน้ำพบว่ากระบวนการย้อมในโรงงานนี้มีปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 93.09 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งน้ำใช้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การใช้ในกระบวนการย้อมโดยตรงและหมักต้มไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำสำหรับกระบวนการย้อม ซึ่งมีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 1



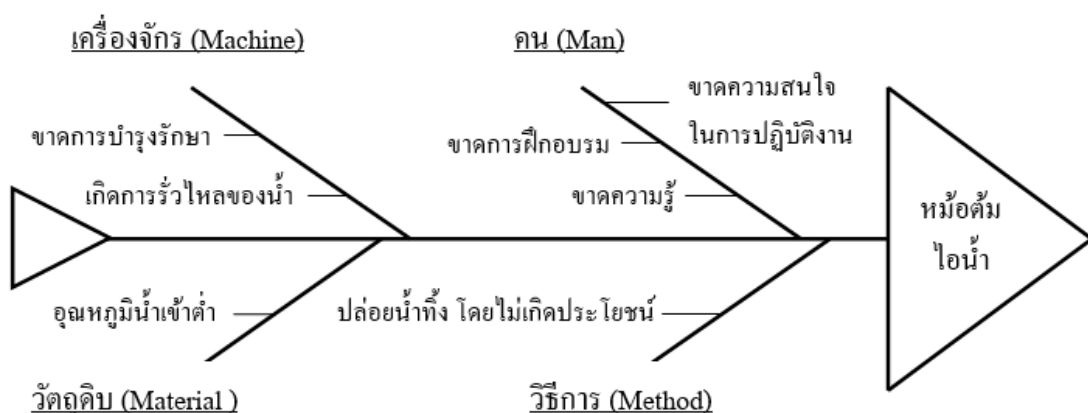
รูปที่ 1 สมดุลมวลน้ำในกระบวนการย้อม

ในกระบวนการย้อมเมื่อพิจารณาโดยใช้แผนภูมิ
ก้างปลาจากปัจจัยทั้งหมด 4 ด้าน ซึ่งได้แก่ คน
เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการดำเนินงานพบว่า
สาเหตุการใช้น้ำและการสูญเสียน้ำแสดงดังรูปที่ 2
และรูปที่ 3 เช่น การใช้น้ำยังไม่มีประสิทธิภาพ

เครื่องจักรและอุปกรณ์เกิดการชำรุด พนักงานขาด
ความรู้ความเข้าใจในการเดินระบบ ปล่อน้ำทิ้งแบบ
ไม่เกิดประโยชน์ เป็นต้น



รูปที่ 2 แผนภูมิแก้างปลาแสดงสาเหตุการใช้น้ำและการสูญเสียน้ำในกระบวนการย้าย



รูปที่ 3 แผนภูมิแก้างปลาแสดงสาเหตุการใช้น้ำและการสูญเสียน้ำในหม้อต้มไอน้ำ

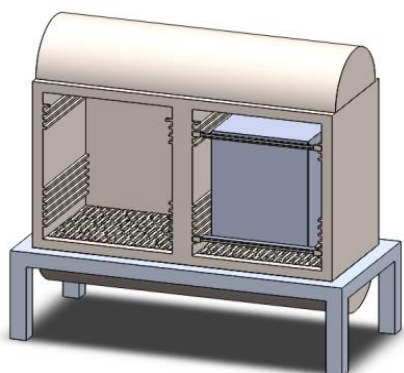
จากสาเหตุข้างต้นสามารถสรุปเป็นแนวทางการแก้ไขได้หลายประการ เช่น การปรับปรุงการใช้น้ำในการย้ายและการล้างหม้อต้ม ให้มีประสิทธิภาพ การใช้ประโยชน์น้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสีย การอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้เครื่องจักร การใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อลดการใช้น้ำ เป็นต้น ในการศึกษานี้ได้คัดเลือกแนวทางการแก้ปัญหา 3 แนวทาง ได้แก่ การปรับปรุงการล้างหม้อต้มโดยใช้กลองแทนที่น้ำ การใช้ประโยชน์น้ำกลั่นตัวจากไอน้ำ

สูญเสีย และการใช้น้ำซ้ำในการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก ซึ่งรายละเอียดกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.2 การปรับปรุงการล้างหม้อต้มโดยใช้กลองแทนที่น้ำ

การล้างหม้อต้มเป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการย้าย โดยเป็นการล้างสีและคราบสกปรกที่ติดอยู่ในหม้อต้มเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการย้าย ปกติขั้นตอนนี้มีการใช้น้ำและสารเคมีเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น จากการสำรวจ

พบว่าหม้อต้มขนาด 50 กิโลกรัม มีการใช้น้ำประมาณ 1,550 ลิตร และสารเคมีประมาณ 6 กิโลกรัมต่อครั้ง จากเหตุผลข้างต้นจึงเป็นที่มาของการปรับปรุงการล้างหม้อต้มให้มีประสิทธิภาพเพื่อเป็นการประหยัดการใช้ทรัพยากร โดยได้พิจารณาการ

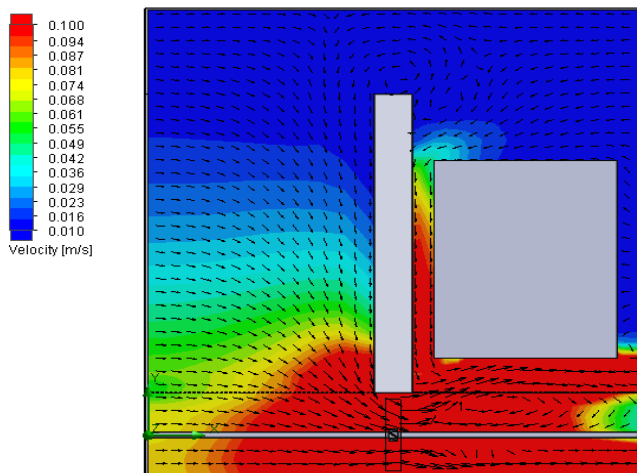


รูปที่ 4 หม้อต้มที่ติดตั้งกล่องแทนที่น้ำ
(ด้านซ้ายเป็นหม้อต้มปกติ ส่วน
ด้านขวาเป็นหม้อต้มที่ติดตั้งกล่อง)

ติดตั้งกล่องลดปริมาตรช่องว่างในหม้อต้ม (ลักษณะดังรูปที่ 4) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้น้ำและสารเคมีในกระบวนการ

การศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคได้จำลองการล้างหม้อต้มโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2014 จากการจำลองทิศทางและความเร็วของน้ำในหม้อต้ม (หม้อต้มมีใบพัดกวนน้ำอยู่ด้านล่างของหม้อ) พบว่าทิศทางการไหล มีลักษณะหมุนวนทั่วทั้งหม้อต้มแสดงดังรูปที่ 5 (ด้านซ้าย)

หลังจากการติดตั้งกล่องแทนที่น้ำพบว่าทิศทางและความเร็วของน้ำไหลทั่วทั้งหม้อต้มลักษณะคล้ายกันกับกรณีไม่ติดตั้งกล่อง (รูปที่ 5 ด้านขวา) ความเร็วของน้ำเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้สีที่ติดอยู่หลุดออกได้เนื่องจากในกระบวนการล้างมีการควบคุมอุณหภูมิสูงและมีการเติมสารเคมี ดังนั้นวิธีการแทนที่น้ำนี้มีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคสำหรับการลดน้ำและสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการล้างสีที่ติดค้างในหม้อต้ม



รูปที่ 5 ทิศทางและความเร็วของหม้อต้มที่ติดตั้งกล่องแทนที่น้ำ

สำหรับความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์การติดตั้งกล่องแทนที่น้ำในหม้อต้มทุกขนาด สามารถลดการใช้น้ำ 246.52 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ลดการใช้สารเคมี 985.2 กิโลกรัมต่อปี และลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย คิดเป็นเงิน 191,234 บาทต่อปี เงินลงทุนในการสร้างกล่องแทนที่น้ำประมาณ 47,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.25 ปี ซึ่งระยะเวลาคืนทุนคิดจากสมการ

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน / เงินที่ลดได้ต่อปี (1)
และสามารถลดภาระของระบบบำบัดน้ำเสียลงได้ปีละ 246.52 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

การนำข้อเสนอการปรับปรุงการล้างหม้อต้มให้มีประสิทธิภาพโดยการติดตั้งกล่องแทนที่น้ำไปปฏิบัติในหม้อต้มขนาด 50 กิโลกรัม (รูปที่ 6) ซึ่งผลการดำเนินงานพบว่า การล้างสีและคราบสกปรกที่ติดอยู่ในหม้อต้มสามารถดำเนินการได้ตามปกติ รวมทั้งกล่องที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ดีเช่นเดียวกัน

สำหรับการติดตามผลในเชิงเศรษฐศาสตร์จากการเก็บข้อมูลการล้างหม้อต้มขนาด 50 กิโลกรัมเป็นเวลา 2 เดือน ระหว่าง มิถุนายน 2558 ถึง กรกฎาคม 2558 พบว่า สามารถลดการใช้น้ำ 75.9 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และลดการใช้สารเคมี 303.58 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นเงิน 58,930 บาทต่อปี

3.2 การใช้ประโยชน์น้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสีย

การใช้ไอน้ำเพื่อให้ความร้อนในกระบวนการต้มถือเป็นหัวใจสำคัญของกระบวนการ ซึ่งขั้นตอนเริ่มต้นจากไอน้ำไหลผ่านท่อและส่งความร้อนไปยังน้ำในหม้อต้ม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเกิดการควบแน่นกลับเป็นน้ำแล้วถูกทิ้งเป็นน้ำเสีย



รูปที่ 6 การติดตั้งกล่องแทนที่น้ำ

จากการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำกลั่นตัวดังกล่าวมีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับน้ำในบ่อพักน้ำดิบ โดยการตรวจวัดพิจารณาเลือกใช้พารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อ เช่น ค่าเหล็กทำให้หม้อต้มไอน้ำเป็นสนิม หรือความกระด้างทำให้ไม่เกิดฟองในการล้างหม้อต้ม เป็นต้น จากเหตุผลข้างต้นจึงเกิดแนวทางการใช้ประโยชน์น้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสียโดยการใช้ซ้ำโดยตรงร่วมกับน้ำดิบในบ่อพักน้ำดิบ เนื่องจากน้ำน้ำบาดาลที่ใช้เป็นน้ำดิบมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการใช้งานตลอดทั้งปี ในปัจจุบันโรงงานจำเป็นต้องใช้น้ำประปาเสริมในช่วงที่น้ำบาดาลขาดแคลน ดังนั้นแนวทางการใช้ประโยชน์จากน้ำกลั่นตัวนี้สามารถลดการใช้น้ำประปาได้

การศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคเป็นการศึกษาความเหมาะสมของอุปกรณ์และวิธีการโดยอุปกรณ์ที่ใช้เป็นท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีคุณสมบัติที่ทนต่อความร้อนสูงและไม่เกิดสนิมติดตั้งไปยังบ่อพักน้ำดิบ ส่วนวิธีการที่ใช้ศึกษาความเป็นไปได้เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำจากน้ำกลั่นตัวบริเวณท่อระบายมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำดิบ (ตารางที่ 1)

ตามวิธีการมาตรฐาน [4] โดยในการเก็บตัวอย่างสุ่มทั้งหมด 3 ครั้ง ในช่วงเดือน มีนาคม 2558 ถึงเดือน พฤษภาคม 2558 จากผลการศึกษาในตารางที่ 1 พบว่าโดยภาพรวมน้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสียมีคุณภาพดีกว่าน้ำในบ่อพักน้ำดิบยกเว้นมีค่าปริมาณเหล็กที่สูงกว่าเท่านั้น เนื่องจากปริมาณน้ำกลั่นตัวมีน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำดิบหากพิจารณาด้วยการคำนวณสมมูลมวลแล้วพบว่าการเติมน้ำสูญเสียลงบ่อพักน้ำดิบ ทำให้ปริมาณเหล็กมีค่า 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยจากเดิม 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นแนวทางนี้จึงมีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค

สำหรับความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์การใช้ประโยชน์จากน้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสีย สามารถลดการใช้น้ำประปา 1,438.32 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย คิดเป็นเงิน 46,227 บาทต่อปี เงินลงทุนในการสร้างท่อส่งน้ำไปยังบ่อพักน้ำดิบมีค่าใช้จ่าย 9,500 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.21 ปี และความเป็นไปได้ในเชิงสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสียและน้ำในบ่อพักน้ำดิบ

พารามิเตอร์	น้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสีย	คุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำดิบ
ความเป็นกรด-ด่าง	6.31	7
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	13.59	2,380
ความขุ่น (NTU)	18.2	-
ความกระด้างทั้งหมด(mg/l as CaCO_3)	14	415
ความกระด้างเนื่องจากแคลเซียม (mg/l as CaCO_3)	< 4	340
สภาพด่าง (mg/l as CaCO_3)	2.67	315
เหล็ก (mg/l)	0.77	0.32
แมงกานีส (mg/l)	0.23	0.33
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/l)	11.5	1,407

สามารถลดภาระของระบบบำบัดน้ำเสียลงได้ปีละ 1,438.32 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

การนำข้อเสนอการให้ประโยชน์น้ำกลั่นตัวไปปฏิบัติในเบื้องต้นได้มีการติดตั้งท่อระบายน้ำกลั่นตัวมาบริเวณบ่อพักน้ำดิบแล้วแต่ยังไม่ได้ใช้งานจริง (รูปที่ 7)



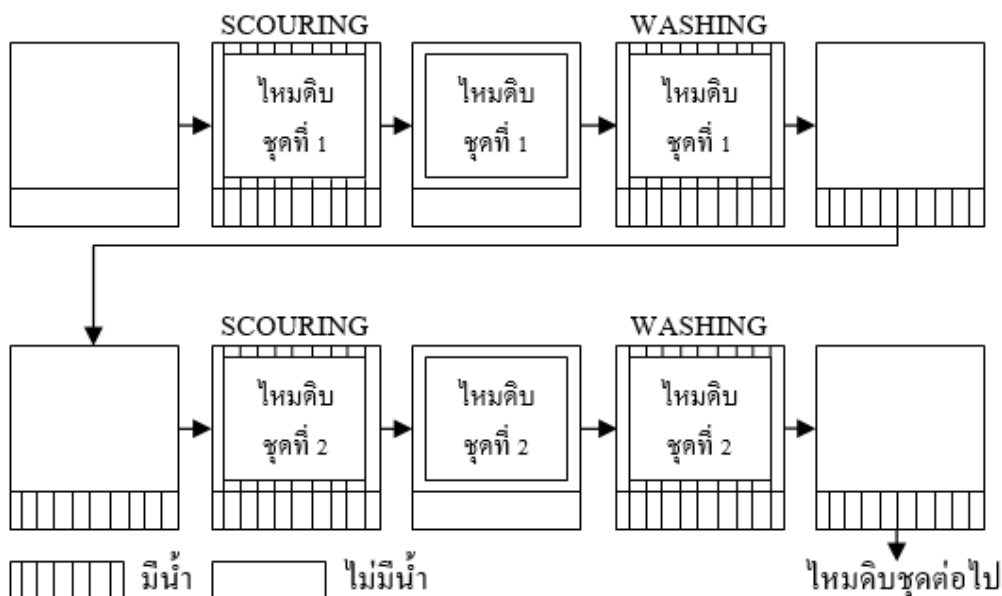
รูปที่ 7 ท่อระบายน้ำกลั่นตัว

3.4 การใช้น้ำซ้ำในการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก

การกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกเป็นขั้นตอนสำคัญของกระบวนการย่อยเพราะไขมันและสิ่งสกปรกมีผลต่อการติดสีของไหมดิบ จากการศึกษาวิธีการดำเนินงานของโรงงานพบว่าโรงงานดำเนินการล้างไหมต่อเนื่อง (สำหรับการย่อยวัตถุดิบบางประเภท) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงวิธีการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกโดยการเปลี่ยนน้ำบริเวณด้านล่างของหม้อย่อยเพื่อใช้ซ้ำตามแนวทางดังรูปที่ 8 สามารถลดการใช้น้ำลงได้ 150 และ 350 ลิตรต่อครั้ง สำหรับหม้อย่อยขนาด 15 และ 30 กิโลกรัม ตามลำดับ

ทั้งนี้แนวทางดังกล่าวมิได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก

การศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคเป็นการเก็บตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบระหว่างน้ำล้างไหมจากการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกและน้ำอ่อนในกระบวนการผลิต ตามวิธีการมาตรฐาน [4] เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซ้ำ (ตารางที่ 2) โดยในการเก็บตัวอย่างสุ่มทั้งหมด 3 ครั้ง ในช่วงเดือนมีนาคม 2558 ถึงเดือน พฤษภาคม 2558 โดยจากผลการศึกษาในตารางที่ 2 พบว่าคุณภาพน้ำล้างไหมจากการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกและน้ำอ่อนในกระบวนการผลิตมีความใกล้เคียงกันและอยู่ในมาตรฐานของโรงงาน



รูปที่ 8 แผนภาพการปรับเปลี่ยนวิธีการ

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำลำน้ำใหม่และน้ำอ่อน

พารามิเตอร์	น้ำลำน้ำใหม่จากการกำจัด ไขมันและสิ่งสกปรก	น้ำอ่อนในกระบวนการ ผลิต
ความเป็นกรด-ด่าง	9.95	7.04
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	2,010	2,110
ความขุ่น (NTU)	4.88	1.88
ความกระด้างทั้งหมด(mg/l as CaCO_3)	13.22	10.56
ความกระด้างเนื่องจากแคลเซียม (mg/l as CaCO_3)	3.89	3.67
สภาพด่าง (mg/l as CaCO_3)	209.78	196.3

สำหรับความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์การปรับเปลี่ยนวิธีการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก สามารถลดการใช้น้ำอ่อน 44.1 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย คิดเป็นเงิน 1,342 บาทต่อปี ไม่มีระยะเวลาคืนทุนเนื่องจากปฏิบัติได้ทันทีที่ไม่มีการลงทุนและความเป็นไปได้ในเชิงสิ่งแวดล้อมสามารถลดภาระของระบบบำบัดน้ำเสียลงได้ปีละ 44.1 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

สำหรับการติดตามการดำเนินงานตามแนวทางดังกล่าวพบว่าวิธีการนี้สามารถประยุกต์ ใช้งานได้ ดี โดยคุณภาพน้ำลำน้ำใหม่ใช้ซ้ำมีค่าใกล้เคียงกับน้ำอ่อน และการติดตามผลในเชิงเศรษฐศาสตร์จากการเก็บข้อมูลการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกของหม้อต้มขนาด 30 และ 50 กิโลกรัม เป็นเวลา 2 เดือน ระหว่าง มิถุนายน 2558 ถึง กรกฎาคม 2558 พบว่าสามารถลดการใช้น้ำ 44.1 ลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นเงิน 1,342 บาทต่อปี

4. สรุป

ผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การประยุกต์ใช้หลักการทางเทคโนโลยีสะอาดมีความเป็นไปได้ในการจัดการการใช้น้ำในกระบวนการต้มใน

อุตสาหกรรมการผลิตหม้อ สำหรับกระบวนการต้ม และหม้อต้มไอน้ำมีการใช้น้ำประมาณ 93.09 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน การประยุกต์ใช้แนวทางเทคโนโลยีสะอาดสามารถลดการใช้น้ำและทรัพยากรได้ โดยการปรับปรุงการล้างหม้อต้มโดยใช้กล่องแทนที่น้ำ การใช้ประโยชน์น้ำกลั่นตัวจากไอน้ำสูญเสีย และการใช้น้ำซ้ำในการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก ผลจากการคาดการณ์ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ของแนวทางข้างต้นสามารถลดการใช้น้ำและสารเคมีเท่ากับ 1,728.94 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 985.2 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ คิดเป็นเงิน 238,803 บาทต่อปี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนจากโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (INDUSTRIAL TECHNOLOGY ASSISTANCE PROGRAM: iTAP)

ขอขอบคุณผู้จัดการและพนักงานโรงงานผลิตหม้อที่ให้เข้าไปศึกษาเก็บข้อมูล ให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินการวิจัย และให้ความร่วมมืออย่างดีในครั้งนี้และขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้
คำแนะนำและความช่วยเหลือ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงอุตสาหกรรม.มาตรฐานผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรมพรมทอ. ม.ท.ป.: 2553.
- [2] ธเรศ ศรีสถิตย์. เทคโนโลยีสะอาดและการ
นำไปใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต. กรุงเทพฯ:
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;
2549.
- [3] สิริประภา แพงคำแหง. การลดปริมาณสีย้อมผ้า
ใหม่โดยการประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยี
สะอาดสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก.
[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น;
2553.
- [4] ไพศรี วรรณแสงทอง. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำ
เสียในปฏิบัติการทางเคมีสำหรับวิศวกร
สิ่งแวดล้อม. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2558.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบหมุนชนิดไหลสวนทาง Mathematical Modelling of A Counter Flow Rotary Dryer

วรวิทย์ ปัญญาคำ¹ และ ธนา ราษฎร์ภักดิ์¹Voravee Punyakum¹ and Thana Radpukdee^{*1}¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 4002¹Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

Received: September 2015

Accepted: January 2016

บทคัดย่อ

ในการควบคุมผ่านระบบควบคุมกำกับดูแลระยะไกล เพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องทราบค่าที่เหมาะสมในการสั่งการอุปกรณ์ทำงาน โดยในการหาค่าที่เหมาะสมสามารถหาได้จากวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง ซึ่งต้องใช้ผลการทดลองในกระบวนการจริงเป็นจำนวนมาก ซึ่งการทดลองอาจรบกวนกระบวนการผลิตและส่งผลต่อความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการผลิตหากวางแผนการทดลองไม่ดีพอ เพื่อแก้ปัญหาความยุ่งยากดังกล่าว, ผู้วิจัยจึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการผลิต ในที่นี้คือระบบอบแห้งแบบหมุน เพื่อที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้รับการตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงตามสภาพการดำเนินงาน ซึ่งแนวโน้มของการตอบสนองของแบบจำลองสามารถนำไปใช้แทนระบบจริงได้ โดยมีข้อผิดพลาดของอุณหภูมิของแข็ง, อุณหภูมิก๊าซร้อนและความชื้นของแข็งเท่ากับ 1.79%, 4.72% และ 3.54% ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถทำให้ได้ค่าตัวแปรที่ใช้ในระบบควบคุมกำกับดูแลระยะไกลต่อไป

คำสำคัญ : ระบบอบแห้งแบบหมุน ปุ่มอินทรีย์จากมูลไก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

A remote supervisory control system, graphic user interface (GUI) was used for system communication via monitors is used for minimizing operating cost of a process. The automated system was designed, installed and operated properly by a set of optimal control variables. The Response Surface Method (RSM) can be used to find the optimal value of such variables. However, improper design of an experiment may lead to process interference and actuator damage. To avoid this issue, a mathematical model of a rotary dryer plant was developed in terms of interested

parameters along a dimensionless longitudinal axis. The model was validated by comparison with actual process operating condition. The trend of the simulated responses was relatively consistent with the real results as their errors of solid temperature; hot gas temperature and solid moisture were 1.79%, 4.72% and 3.54% respectively. Therefore, the model can be used to describe the plant's behavior and to calculate some optimal operating points for the remote controller in a further work.

Keywords : A rotary dryer Organic fertilizer from chicken manure Mathematical modeling

*ติดต่อ: *E-mail: tthanar@gmail.com, voravee9@gmail.com, โทรศัพท์ 0-4320-2097, โทรสาร 043-202097

1. บทนำ

การจัดการพลังงานอย่างเหมาะสมในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดการใช้พลังงาน การผลิตปุ๋ยเม็ดอินทรีย์ในปัจจุบันส่วนใหญ่กระบวนการอบใช้ท่ออบแห้งแบบหมุน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงแบบแก๊ส (Gas Fuel) การจัดการการใช้พลังงานให้คุ้มค่าจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง โดยจำเป็นต้องควบคุมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดอัตราการทำงานของอุปกรณ์ เหล่านั้นลงเพื่อไม่ให้เกิดการทำงานที่สูญเปล่า แต่การลดอัตราการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้นต้องไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ [1]

การลดอัตราการทำงานของอุปกรณ์ไม่สามารถทำได้โดยตรงในกระบวนการผลิตปุ๋ยเม็ดอินทรีย์จากมูลไก่ของโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาไม่สามารถปรับค่าการทำงานของอุปกรณ์ได้และการทำงานของอุปกรณ์ใช้อัตราการทำงานสูงสุด (100%) ทุกอุปกรณ์ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยของ [2] พบว่าระบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมเชิงตรรกะ (Programmable Logic Controller, PLC) สามารถนำมาควบคุมปรับค่าการทำงานของอุปกรณ์ได้ ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวได้ประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมระดับน้ำในถังกักน้ำ โดยการควบคุมอัตราความเร็วของปั๊ม ซึ่งสามารถรักษาระดับน้ำได้เพื่อควบคุมแรงดันในการจ่ายได้อย่างเหมาะสม ต่อมา [3]

นำระบบอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานด้วย PLC ผ่านระบบกำกับควบคุมดูแลระยะไกลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุมกำกับดูแลและเก็บข้อมูล (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA) มาใช้ในการควบคุมระบบคลองส่งน้ำเพื่อทำให้น้ำในแต่ละช่วงระยะทางมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้การจ่ายน้ำไปยังเกษตรกรมีอัตราการจ่ายอย่างสม่ำเสมอ จากงานวิจัยที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในโรงงานกรณีศึกษาเพื่อควบคุมอัตราการทำงานของอุปกรณ์ในกระบวนการอบแห้งเม็ดปุ๋ย

ทั้งนี้ระบบ SCADA ยังเป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเวลาจริง โดยการแสดงภาพกราฟิกของกระบวนการในระยะไกลผ่านจอสังเกตการณ์ส่งข้อมูลด้วยระบบท้องถิ่นหรืออินเทอร์เน็ต ซึ่งกราฟิกในจอสังเกตการณ์จะนำมาใช้ในการตรวจสอบสถานะตลอดจนถึงควบคุมการทำงานของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม (S.A. Boyer, 2009) โดยอุปกรณ์ PLC สามารถทำการสื่อสารกับ SCADA ผ่านการติดป้าย(TAG)ได้ ซึ่งการติดป้ายคือการนำสัญญาณของอุปกรณ์มาแสดงผลผ่านกราฟิกในจอสังเกตการณ์ ดังนั้นจึงทำให้สามารถควบคุม PLC ผ่าน SCADA ได้ ซึ่งทำให้สามารถปรับอัตราการทำงานของอุปกรณ์ที่จะควบคุมได้ตามที่ต้องการและสามารถควบคุมแบบเวลาจริงผ่านภาพกราฟิกจากระยะไกลได้ [5] อย่างไรก็ตามระบบนี้

ยังต้องการค่าอ้างอิงสำหรับการควบคุม จาก การศึกษางานวิจัยของ [6] ได้ประยุกต์ใช้วิธีพื้นผิว ตอบสนอง (Response Surface metrology, RSM) เพื่อวิเคราะห์ค่าตัวแปรควบคุมที่มีผลต่อแรงที่กระทำ ต่อส่วนในการเจาะโลหะ พบว่าอัตราการบิ่นมีผล ต่อแรงที่กระทำต่อส่วนสูงสุด

ดังนั้นวิธีพื้นผิวตอบสนองจึงเป็นวิธีการทาง คณิตศาสตร์และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้าง แบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งจะแสดง ผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่างๆโดยมี วัตถุประสงค์เพื่อหาจุดค่าที่ดีที่สุดหรือความ เหมาะสมต่อผลนั้น [7] ทั้งนี้วิธีพื้นผิวตอบสนองเป็น เทคนิคที่มีประสิทธิภาพกับกระบวนการที่มีความ ซับซ้อนทำให้ง่ายในการจัดการและการอธิบายผลเมื่อ เปรียบเทียบกับวิธีการอื่น [8] ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์หา ค่าที่เหมาะสมจากผลที่ได้จากการออกแบบการ ทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3k จะได้ค่าที่ดี [9] แต่เนื่องจากวิธีพื้นผิวตอบสนองในการวิเคราะห์หา ค่าการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์นั้นจำเป็นต้องใช้ ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการ ซึ่งการทดลองใน กระบวนการจริงไม่สามารถทำได้เพราะอาจทำให้ อุปกรณ์เสียหายและส่งผลกระทบต่อระบบการผลิต จากการศึกษางานวิจัยของ [10] ได้ประยุกต์ใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ย superphosphate ด้วยท่ออบแห้งแบบหมุนชนิดไหล สวนทาง ในปรับค่าตัวแปรควบคุมเพื่อให้แบบจำลอง ทำนายค่าตัวแปรตามที่ต้องการ โดยตัวแปรควบคุมที่ นำมาใช้ทำนาย ได้แก่ อุณหภูมิวัสดุ อุณหภูมิอากาศ ร้อนในท่ออบ ความชื้นวัสดุ ความชื้นอากาศ ความเร็ว ในการหมุนของระบบอบแห้งแบบหมุน อัตราการไหล ของวัสดุและอัตราการไหลของอากาศ ก่อนที่จะ นำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง เพื่อให้แบบจำลอง ของ [10] สมบูรณ์ขึ้น [11] ได้ใช้

วิธี Different Evolution เพื่อหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า จากนั้น [12] ได้ปรับปรุงแบบจำลองของ [10] เพื่อให้ สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ได้ง่าย ขึ้น ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นตัวเลือก ที่ดีในการนำมาประกอบการวิเคราะห์ผลของวิธีพื้นผิว ตอบสนอง ก่อนนำไปใช้กับกระบวนการผลิตจริง

ในการศึกษาวิจัยมีแนวคิดที่จะหาค่าตัวแปรใน การควบคุมระบบกำกับดูแลและยะไกลโดยใช้วิธี พื้นผิวผลตอบสนอง โดยจะทำการทดลองใน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหลีกเลี่ยงความ เสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับกระบวนการจริง เมื่อได้ค่า ความคุมอัตราการทำงานที่เหมาะสมจากแบบจำลอง แล้วจึงจะนำค่าที่ได้ไปใช้ในกระบวนการจริงผ่าน ระบบควบคุมกำกับดูแลและยะไกล

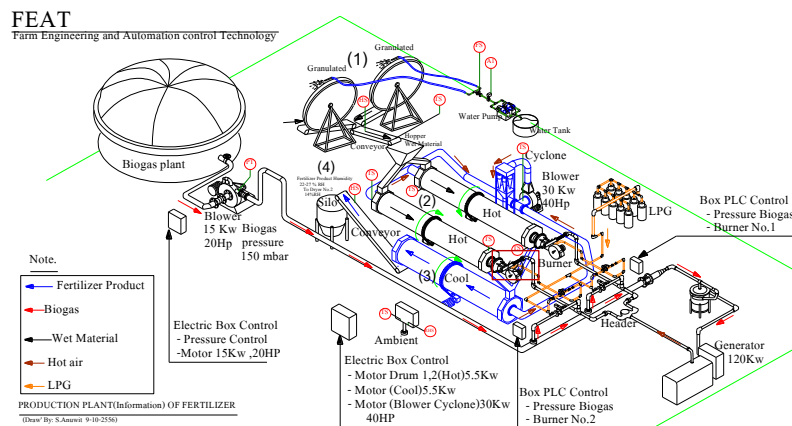
2. กระบวนการอบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จากมูลไก่

วัตถุดิบในการทำปุ๋ยมาจากตะกอนมูลไก่ที่ผ่าน การหมักเป็นแก๊สชีวภาพแล้ว จะนำมาเข้า กระบวนการผลิตเม็ดปุ๋ยดังแสดงลำดับขั้นตอน กระบวนการในภาพที่ 1 โดยจะอธิบายตามหมายเลข ในภาพดังต่อไปนี้ (1) ในส่วนนี้ตะกอนมูลไก่จะถูก แยกเศษหินหรืออื่นๆที่ไม่ใช่มูลไก่ออก จากนั้นนำมา ปรับปรุงคุณสมบัติของเม็ดปุ๋ยเพื่อให้มีคุณภาพตามที่ กำหนด แล้วทำการขึ้นรูปปุ๋ยโดยใช้จานปั่นเม็ด ซึ่งเม็ด ปุ๋ยที่ได้จะมีขนาด 3-5 มม. เมื่อเม็ดปุ๋ยมีขนาดที่ พอเหมาะแล้วจะถูกส่งโดยสายพานเข้าสู่กระบวนการ อบแห้งเม็ดปุ๋ย เม็ดปุ๋ยที่เข้ามามีความชื้นประมาณ 46 % มาตรฐานแห้ง โดยจะใส่เม็ดปุ๋ยผ่านกรวย บ่อนเข้าสู่เครื่องอบ (2) เมื่อเม็ดปุ๋ยเข้ามายังท่อ อบแห้งแบบหมุน (Rotary dryer drum) ซึ่งจะมี ลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกยาว ด้านตรงข้ามกับที่ใส่ เม็ดปุ๋ยในท่ออบแห้งแบบหมุนจะมีลมร้อนไหลสวน ทางกับเม็ดปุ๋ยซึ่งใบตักในท่ออบหมุนจะทำหน้าที่โปรย เม็ดปุ๋ยเพื่อให้เม็ดปุ๋ยสัมผัสกับลมร้อนเพื่อไล่ความชื้น

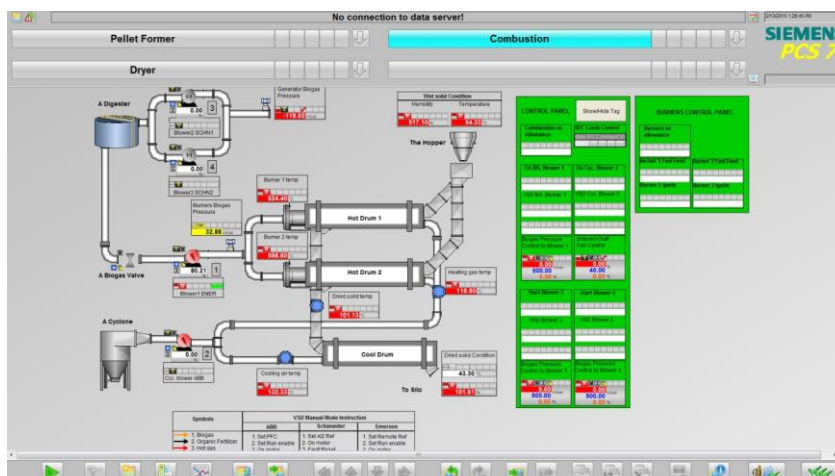
ที่อยู่ในเม็ดปุ๋ย โดยลมร้อนจะมาจากหัวเผาเชื้อเพลิง ท่ออบแห้งแบบหมุนจะมีการหมุนอยู่ตลอดเวลาเพื่อโปรยและลำเลียงเม็ดปุ๋ยให้ไหลตามท่อจนออกไปอีกฝั่งของท่ออบแห้งแบบหมุนแล้วจะตกลงมาในท่อพักปุ๋ย (3) ท่อพักแบบหมุนจะทำหน้าที่โปรยเม็ดปุ๋ยเพื่อให้เม็ดปุ๋ยสัมผัสกับอากาศเย็น ซึ่งจะทำให้เม็ดปุ๋ยเย็นตัวอย่างช้าๆ จากนั้นท่ออบเย็นจะลำเลียงเม็ดปุ๋ยให้ไหลตามท่อจนออกไปอีกฝั่งของท่อ

อบแห้ง ซึ่งจะถูกลำเลียงไปยังไซโล (4) เพื่ออบซ้ำให้ได้ความชื้นที่ 12 % มาตรฐานแห้ง หรือถ้าความชื้นได้ตามที่กำหนดแล้วก็จะจัดเก็บรอการจำหน่ายต่อไป

การควบคุมกระบวนการผลิตปุ๋ยเม็ดอินทรีย์จากมูลไก่จะใช้ระบบควบคุมกำกับดูแลระยะไกลดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจะสามารถควบคุมตัวแปรในกระบวนการได้ดังนี้ คือ เปอร์เซ็นต์การทำงานของท่ออบแห้งแบบหมุน เปอร์เซ็นต์การทำงานของโบลเวอร์ไซโคลน และเปอร์เซ็นต์การทำงานของโบลเวอร์แก๊สชีวภาพ



รูปที่ 1 กระบวนการอบแห้งเม็ดอินทรีย์จากมูลไก่และตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม



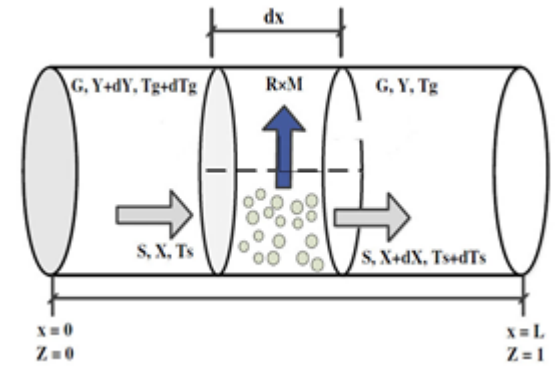
รูปที่ 2 ระบบควบคุมกำกับดูแลระยะไกลของกระบวนการอบแห้งเม็ดอินทรีย์จากมูลไก่

3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งระบบซึ่งประกอบด้วยท่ออบร้อนสองท่อและท่ออบเย็นนั้นทำได้ลำบากเนื่องจากมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่มากมาย ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงเลือกท่ออบร้อน 1 ท่อซึ่งเป็นส่วนที่มีผลสูงสุดต่อค่าความชื้นของเม็ดปุยมาทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งท่ออบร้อนแสดงดังภาพที่ 3 ในภาพที่ 4 แสดงการพิจารณาสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของความชื้นและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ (ตัวแปรต่างๆ ได้อธิบายไว้ในตารางที่ 1) ตามความยาวของท่อซึ่งพิจารณาในลักษณะของตัวแปรความยาวไร้มิติ โดยสมการทางคณิตศาสตร์ของท่ออบแบบหมุนจะพิจารณาโดยใช้แนวทางของ [12] ซึ่งเป็นการไหลแบบขนานประกอบด้วยความสัมพันธ์ของการถ่ายเทมวลและพลังงาน โดยที่ Z เป็นความยาวแบบสัดส่วนซึ่งถ้า $Z = 1$ จะเท่ากับ ความยาวทั้งหมดของท่อ (L) ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยในการประยุกต์สมการจากท่ออบหมุนแบบไหลขนานเป็นแบบไหลสวนทางจะใช้สมการคณิตศาสตร์ตามแนวทางของ [11] ในการเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งจะได้สมการท่ออบของโรงงานกรณีศึกษาดังนี้



ภาพที่ 3 ท่ออบแห้งเม็ดปุยชนิดไหลสวนทาง (ท่อร้อน)



ภาพที่ 4 ตัวแปรที่พิจารณาในท่ออบชนิดไหลสวนทาง

สมการหาค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นของของแข็งต่อระยะของท่ออบแห้ง

$$\frac{dX}{dz} = -\frac{R \times M}{S} \quad (1)$$

สมการหาค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแก๊สต่อระยะของท่ออบแห้งแบบหมุน

$$\frac{dY}{dz} = -\frac{R \times M}{G} \quad (2)$$

สมการหาค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของแข็งต่อระยะของท่ออบแห้งแบบหมุน

$$\frac{dT_s}{dz} = \frac{+Q - (0.25)\lambda RM}{S(C_{pd} + XC_{pv})} \quad (3)$$

สมการหาค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สต่อระยะของท่ออบแห้งแบบหมุน

$$\frac{dT_g}{dz} = \frac{Q + C_{pv}RM(T_s - T_g) + Q_p}{G(C_{pg} + YC_{pv})} \quad (4)$$

สมการการแลกเปลี่ยนของพลังงานระหว่างของแข็งและแก๊สในปริมาตรนั้นๆ

$$Q = U_{va} V (T_g - T_s) \quad (5)$$

สมการการสูญเสียพลังงานบนพื้นที่ผิวของท่ออบแห้ง

$$Q_p = U_p A (T_g - T_{amb}) \quad (6)$$

สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในปริมาตรทั้งหมดในท่ออบแห้ง

$$U_{va} = 0.119 \left(\frac{G}{A}\right)^{0.289} \left(\frac{S}{A}\right)^{0.541} \quad (7)$$

สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของท่ออบแห้ง

$$U_p = 1.28 \left(\frac{G}{A}\right)^{0.879} \quad (8)$$

สมการหาค่าอัตราการอบแห้งของของแข็ง

$$R = 0.003 \exp\left(\frac{-7.95}{T_g}\right) \quad (9)$$

สมการหาปริมาณวัตถุดิบที่อยู่ในท่ออบแห้งแบบหมุน

$$M = TR \times S \quad (10)$$

สมการหาปริมาณมวลของอากาศที่ไหลในท่ออบแห้ง

$$G = v_{air} \times \rho_{air} \times A \quad (11)$$

สมการหาค่ามวลวัตถุดิบแห้ง

$$S = \left(\frac{S_{wet}}{1 + X_0}\right) \quad (12)$$

สมการแสดงค่าเริ่มต้นสำหรับระบบ

$$X(0) = X_0; Y(1) = Y_0; T_s(0) = T_{s0}; Tg(1) = T_{g0}; \quad (13)$$

สมการที่ไม่สามารถหาค่าได้ จะสามารถหาได้โดยทำการเก็บข้อมูลและนำข้อมูลมาหาแนวโน้มให้เป็นสมการถดถอย ซึ่งประกอบด้วยสมการดังนี้

สมการถดถอยสำหรับเปอร์เซ็นต์การทำงานของท่ออบแห้งต่อเวลาที่ป้อนอยู่ในท่ออบแห้ง (TR) โดยมีค่า R-square: 0.9894 Adjusted R-square: 0.9867 โดยมี Curve Fitting ดังรูปที่ 5

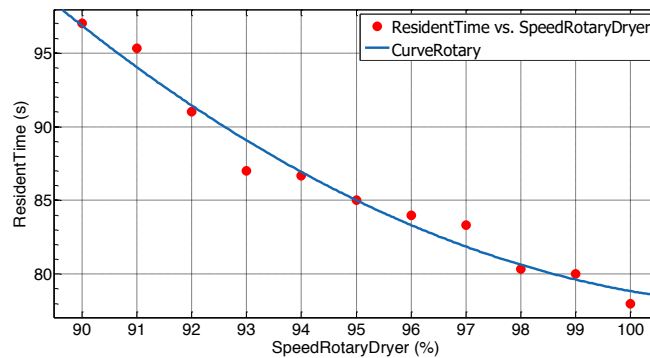
$$TR = 0.09866 a^2 - 20.43 a^1 - 1135 \quad (14)$$

สมการถดถอย สำหรับเปอร์เซ็นต์การทำงานของไซโคลนต่อปริมาณความเร็วลมต่อวินาทีที่ผ่านท่ออบแห้ง (v_{air}) โดยมีค่า R-square: 0.9913 Adjusted R-square: 0.9884 โดยมี Curve Fitting ดังรูปที่ 6

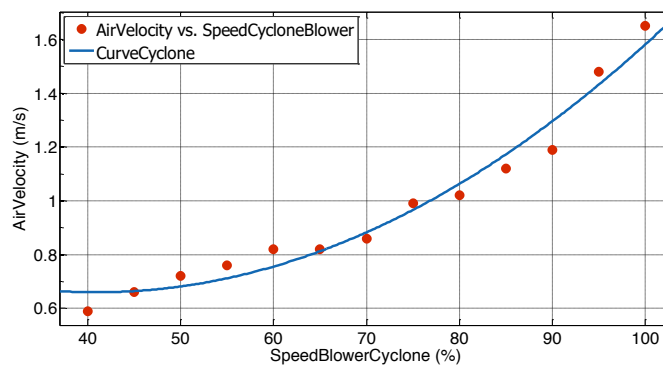
$$v_{air} = (9.044^{-6})b^3 - 0.001634b^2 - 1.601b - 1.601 \quad (15)$$

สมการถดถอยสำหรับเปอร์เซ็นต์การทำงานของโบลเวอร์แก๊สชีวภาพต่ออุณหภูมิหัวเผา ($Tg(Z=1)$) โดยมีค่า R-square: 0.9999 Adjusted R-square: 0.9998 โดยมี Curve Fitting ดังรูปที่ 7

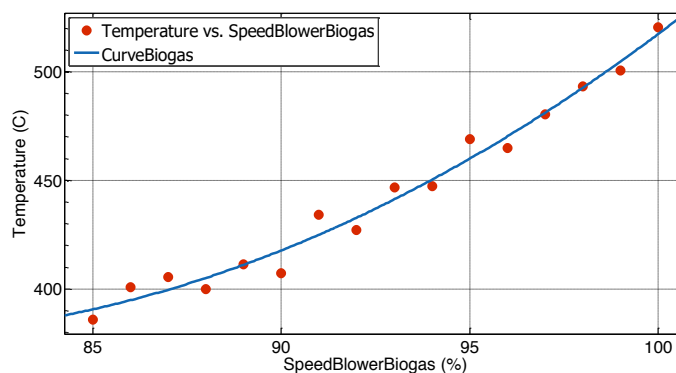
$$T_g = 0.01147 c^3 - 2.793 c^2 - 230.5 c - 6071 \quad (16)$$



ภาพที่ 5 แสดง Curve Fitting ของเปอร์เซ็นต์การทำงานของท่อ
อบแห้งและเวลาที่ป้อนอยู่ในท่ออบแห้ง



ภาพที่ 6 แสดง Curve Fitting ของเปอร์เซ็นต์การทำงานของไซโคลน
และความเร็วลมต่อวินาทีที่ผ่านท่ออบแห้ง



ภาพที่ 7 แสดง Curve Fitting ของเปอร์เซ็นต์การทำงานของโบลเวอร์
แก๊สชีวภาพและอุณหภูมิหัวเผา

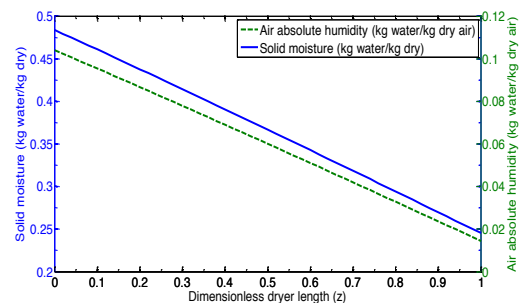
4. ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การหาผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ซึ่งการหาผลเฉลยของอนุพันธ์จะใช้วิธีของ Runge-Kutta อันดับที่ 4 โดยค่าพารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณจะแสดงดังตารางที่ 1 ค่าผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อระยะของท่ออบแห้งแบบหมุนในภาพที่ 8 และ แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อระยะของท่ออบแห้งแบบหมุนในภาพที่ 9 ซึ่งที่ตำแหน่ง $z = 1$ คือบริเวณหัวเผาและจุดที่ป้อนออกจากท่ออบร้อน

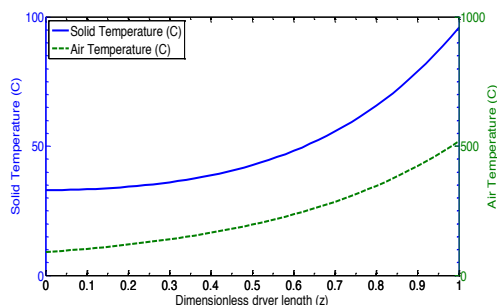
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

สัญลักษณ์	ค่า	ค่า(หน่วย)
A	พื้นที่หน้าตัดของท่ออบแห้งแบบหมุน	1.131 (m ²)
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	1.2 (m)
C _{pd}	ค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุดิบ	3.5 (kJ/kg°C)
C _{pg}	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง	1.009 (kJ/kg°C)
C _{pv}	ค่าความร้อนจำเพาะของไอน้ำ	4.1858 (kJ/kg°C)
C _{pw}	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	1.1723 (kJ/kg°C)
L	ความยาวของท่ออบแห้งแบบหมุน	10 (m)
S _{wet}	อัตราการไหลของวัตถุดิบเปียก	0.79 (kg/s)
T _{s0}	อุณหภูมิของของแข็งเริ่มต้น	33 (°C)
T _{g0}	อุณหภูมิของแก๊สเริ่มต้น	520 (°C)

T _{amb}	อุณหภูมิภายนอก	35 (°C)
V	ปริมาตรท่ออบแห้งแบบหมุน	11.3097 (m ³)
X ₀	ความชื้นของของแข็งเริ่มต้น	0.46 (kg water/kg dry solid)
Y ₀	ความชื้นของอากาศเริ่มต้น	0.19 (kg water/kg dry solid)
λ	ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ	2,502 (kJ/kg)
TR	เวลาที่อยู่ในท่ออบแห้งแบบหมุนโดยเฉลี่ย	78 (s)
G	อัตราการไหลของมวลอากาศ	1.27 (kg/s)



ภาพที่ 8 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อระยะของท่ออบแห้งแบบหมุน



ภาพที่ 9 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิต่อระยะของท่ออบแห้ง

แบบหมุน

จากภาพที่ 8 และ 9 พบว่าค่าความชื้นของปุ๋ยค่อยๆ ลดลงจากทางเข้าจนถึงทางออกที่ใกล้กับหัวเผา ซึ่งมีลักษณะอัตราค่อนข้างคงที่ เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีลักษณะเป็น exponential decay และ rise เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับการระเหย การพาและนำความร้อน ที่เป็นไปได้รวดเร็วกว่า ขณะที่การลดความชื้นให้ของแข็งทำได้ช้ากว่ามาก นอกจากนี้อัตราการลดลงของความชื้นที่ใกล้กับการเป็นเส้นตรงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ของแข็งยังสามารถนำเอาความชื้นออกจากวัสดุได้อีก ดังที่ในระบบจริงมีการเพิ่มท่ออบเย็น เพื่อลดความชื้นอีกต่อหนึ่งพร้อมกับลดอุณหภูมิไปพร้อมๆ กัน

5. การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับระบบจริง

ในการตรวจสอบความแม่นยำจะเก็บค่าจากระบบ SCADA และวัดจริงโดยได้ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 2 ซึ่งในการเปรียบเทียบค่าตัวแปรหลังจากออกจาก

ท่ออบแห้ง ค่าจากการวัดและค่าที่ได้ จากแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิของแข็งมีค่า 1.79 % ค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิของแก๊สร้อนมีค่า 4.72 % ค่าความคลาดเคลื่อนความชื้นของของแข็งมีค่า 3.54 % ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงสามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบจริงได้

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการอบแห้งต่อความยาวไร้มิติของท่ออบ ซึ่งความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กำหนดจากทิศทางการถ่ายเทมวลและพลังงานที่เกิดขึ้นในปริมาตรการอบแห้ง ขณะที่ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ซับซ้อนกับตัวแปรบางส่วน เช่น เวลาที่ของแข็งเปียกอยู่ในท่ออบ ความเร็วลมร้อนที่วิ่งผ่านท่ออบ อุณหภูมิของหัวเผา ใช้วิธีหาจากสมการถดถอย ของผลการทดลอง ซึ่งแบบจำลองที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิของแข็งมีค่า 1.79 % ค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิของแก๊สร้อนมีค่า 4.72 % ค่าความคลาดเคลื่อนความชื้นของของแข็งมีค่า 3.54 % ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้สำหรับการออกแบบการทดลองแบบ 3k แฟคทอเรียล ด้วยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรมเพื่อนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่าตัวแปรแทนกระบวนการจริง เพื่อใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับควบคุมระบบกำกับดูแลระยะไกลต่อไป

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าจริงจากโรงงานกรณีศึกษาและค่าที่ได้จากแบบจำลอง

Run No.	ค่าตัวแปรก่อนเข้าท่ออบแห้ง(ค่าจากการวัด)							ค่าตัวแปรหลังจากออกจากท่ออบแห้ง (ค่าจากการวัด)		ค่าตัวแปรหลังจากออกจากท่ออบแห้ง (แบบจำลอง)				
	TR	S _{wet}	G	Tamb	Ts(z=0)	Tg(z=1)	X (z=0)	Y (z=1)	Ts (z=1)	Tg (z=0)	X (z=1)	Ts (z=1)	Tg (z=0)	X (z=1)
	(s)	(kg/s)	(kg/s)	(°C)	(°C)	(°C)	(%db)	(%db)	(°C)	(°C)	(%db)	(°C)	(°C)	(%db)
1	78.10	0.76	1.5	29.9	30.1	522.2	46.1	2.0	98.4	98.5	24.2	96.37	89.90	23.81
2	79.23	0.81	1.6	30.0	30.4	517.2	45.2	2.0	95.2	94.1	24.4	94.91	89.13	23.21
3	81.33	0.72	1.6	30.2	30.3	521.7	46.3	2.0	95.3	92.4	23.5	94.89	88.82	22.81
4	82.31	0.76	1.6	30.2	30.6	521.7	43.9	2.0	92.1	82.7	24.2	94.61	88.70	22.41
5	82.33	0.76	1.7	31.7	31.5	522.6	42.3	1.9	98.7	92.8	21.9	94.33	88.50	22.01
6	84.20	0.74	1.6	31.8	31.6	522.1	48.0	1.9	95.1	88.6	20.7	94.05	88.30	21.49
7	85.67	0.72	1.6	31.5	31.8	519.6	46.8	1.9	92.7	86.3	21.5	93.77	88.10	21.04
8	88.91	0.71	1.6	32.7	31.4	517.4	46.2	1.9	95.4	92.7	21.6	93.49	87.90	20.57

6. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ บริษัท ศรีวิโรจน์ ฟาร์ม (ขอนแก่น) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ กระบวนการ และ อุปกรณ์ในการวิจัย กองบริหาร งานวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น โครงการวิจัยประเภท ทุนอุดหนุนการวิจัย มุ่งเป้า ประจำปี 2556 และ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์ม และ เทคโนโลยีการควบคุม อัตโนมัติมหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับเงินทุน สนับสนุนงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Martin N, et al. Price, Opportunities to Improve Energy Efficiency and Reduce Greenhouse Gas Emissions in the U.S. Pulp and Paper Industry. n.p.: 2000.
- [2] Ramazan B, et al. A water pumping control system with a programmable logic controller (PLC) and industrial wireless modules for industrial plants-An experimental setup. ISA Transactions. 2011; 50(1), 321-328.

- [3] Figueiredo J, et al. SCADA system with predictive controller applied to irrigation canals. *Control Engineering Practice*. 2013; 21, 870-886.
- [4] Boyer SA. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition. 4th ed. International Society of Automation. n.p.: 2009.
- [5] Salihbegovica A, Marinkovia V, Cicoa Z, Karavdicb E, Delica N. Web based multilayered distributed SCADA/HMI system in refinery application. *Computer Standard Interface*. 2009; 31(3), 599-612.
- [6] Kyratsis A, Bilalis N, Antoniadis A. CAD-based simulations and design of experiments for determining thrust force in drilling operations. *Computer-Aided Design*. 2011; 43, 1879-1890.
- [7] Montgomery DC. Design and Analysis of Experiments. 5th ed. New York: John Wiley & Sons; 2001.
- [8] Gan CY, Latiff AA. Optimization of the solvent extraction of bioactive compounds from *Parkia speciosa* pod using response surface methodology. *Food Chemistry*. 2011; 124, 1277-1283.
- [9] Myers RH, Montgomery DG. Response Surface Methodology. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 2001.
- [10] Arruda EB. Comparison of the performance of the roto-fluidized dryer and conventional rotary dryer. n.p.:2008.
- [11] Lobato FS, et al. Estimation of drying parameters in rotary dryers using differential evolution. *Journal of Physics: Conference Series*. 2008; 135, 012063.
- [12] Abbasfard H, et al. Mathematical modeling and simulation of an industrial rotary dryer: A case study of ammonium nitrate plant. *Powder Technology*. 2013; 239, 499-505.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้นแบบ ที่พัฒนาในประเทศไทย

The Potential on Development of cassava combine harvester in Thailand

มนตรี ทาสันเทียะ¹ และ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ^{2*}Montree Thasontea¹ and Chaiyan chansiri^{2*}

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Received: September 2015

Accepted: January 2016

บทคัดย่อ

ปัญหาด้านการขาดแคลนแรงงานเป็นปัญหาสำคัญในกระบวนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ปัจจุบันวิธีที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังคือการใช้เครื่องจักรและ การใช้แรงงานคนทำงานร่วมกัน การพัฒนาเป็นเครื่องเก็บเกี่ยวคือการออกแบบให้เครื่องขุด ลำเลียง สับเหง้า และขนย้ายไปพร้อมกันแต่จากข้อจำกัดด้านปัจจัยในการเก็บเกี่ยวจึงทำให้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมานั้นยังไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังมีผู้สนใจทำการศึกษาเป็นจำนวนมาก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการรวบรวมข้อมูลการพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวในประเทศไทยมาทำการประเมินเพื่อใช้เป็นกำหนดรูปแบบของการพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในอนาคต ผลการประเมินพบว่ารูปแบบของเครื่องเก็บเกี่ยวในอนาคตจะมีลักษณะเป็นการทำงาน of เครื่องจักรและคนทำงานร่วมกัน รวมถึงการพัฒนาอุปกรณ์การทำงานให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

คำหลัก: มันสำปะหลัง เครื่องขุดมันสำปะหลัง เครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

Abstract

The labor is crucial problem in harvest process of cassava. Nowadays, the machinery jointing with laborer is normally used for cassava harvesting. The development of cassava harvest to design digging, conveying, separating and transferring all working together in one of machinery. However, the limitation of harvest parameter to decreased actually works preferment on developed machinery. The development of cassava combine harvester to popularity on studying. The objective of this study

on information from develop cassava combine harvester in Thailand for comparison as a defining model of cassava combine harvester in the future. The result form comparison found the defining model of cassava combine harvester is used machinery jointing with laborer. To Include development of equipment to be suitable in working on cassava harvest.

keyword: cassava , cassava digging ,cassava combine harvester

*ติดต่อ: montreeth1980@gmail.com

1. บทนำ

การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังประกอบด้วยขั้นตอนหลายขั้นตอน ประกอบด้วย การตัดต้น การขุดรวมกอง ตัดแยกเหง้า และการขนส่งลำเลียงขึ้นรถบรรทุก ปัจจุบันพบว่าการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังมีการทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องจักรต้นกำลังและการใช้แรงงานคน ซึ่งถือได้ว่าการะบวนการเก็บเกี่ยว เป็นขั้นตอนตอนที่ใช้ต้นทุนและเวลาสูง [5] ปัจจุบันปัญหาด้านการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรกรรมมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนในการผลิตของเกษตรกรผู้ผลิตมันสำปะหลัง จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรและเป็นการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีทางการเกษตรของไทย

การพัฒนาเครื่องขุดมันสำปะหลังต้นแบบในประเทศไทยส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนามาจากเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบติดตั้งในรถแทรกเตอร์ ซึ่งแบ่งออกได้ตามลักษณะของการทำงานคือ แบบที่มีเครื่องขุดเพียงอย่างเดียว คือการนำหัวขุดหรือผ่านขุดติดตั้งในโครงไถที่สร้างขึ้นและเชื่อมต่อกับรถแทรกเตอร์ทำหน้าที่ใน

การขุดเปิดร่องแยกมวลดินและเห้งมันสำปะหลังออกจากกัน แต่พบว่าหัวมันสำปะหลังที่ขุดได้บางส่วนยังเหลืออยู่ในดินจำนวนมาก และการขุดในลักษณะดังกล่าวเกิดการทับถมของดินทำให้เกิดความสูญเสียและเพิ่มขั้นตอนการใช้แรงงานคนตามเก็บ จึงได้มีการพัฒนาให้เครื่องขุดแบบมีระบบการคัดแยกดิน [4] ต่อมาเป็นพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวแบบลำเลียงเหง้า โดยระบบลำเลียงออกแบบเป็นลักษณะใช้ปีกทำงานร่วมกับสายพานหรือแผ่นยางป้องกันการลื่นและช่วยสร้างแรงยึดเกาะ โดยใช้ใช้ปีกจำนวน 2 ชุด ทำงานโดยการหมุนในทิศทางตรงข้ามกันเพื่อการลำเลียงเห้งมันสำปะหลังที่ขุดได้ [3] เมื่อเครื่องขุดแบบมีระบบการลำเลียงเหง้า สามารถทำการขุดมันสำปะหลังพร้อมเห้ง้าทำงานได้แล้ว จึงได้พัฒนาไปยังอุปกรณ์ขนย้ายที่มีลักษณะเป็นกระบะบรรทุกแบบมีล้อ ต่อพ่วงแบบกึ่งลากจูงกับชุดโครงขุดและลำเลียง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวจนเต็มกระบะบรรทุก จะทำการเทรวมกองกันไว้เป็นจุดๆ [1] และการพัฒนาเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบมีระบบการขุดลำเลียง และตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเห้ง้าคือ

เป็นกลไกที่มีความสำคัญของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง [2] แต่จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนาดังกล่าวยังมีข้อจำกัดเช่น ความยาวของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทำให้การออกแบบส่งผลต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพเชิงเวลา ระบบลำเลียงหลังจากการขุดยังไม่ครอบคลุมการทำงานทั้งหมด รวมถึงการทำงานระหว่างกระบวนการยังคงต้องใช้แรงงานคนในการทำงาน

การศึกษาเรื่องการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้นแบบที่พัฒนาในประเทศไทย เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเครื่องขุดมันสำปะหลัง ซึ่งแบ่งออกได้ตามลักษณะของการทำงาน 5 รูปแบบ คือ แบบที่มีเครื่องขุดเพียงอย่างเดียว แบบที่มีการขุดและคัดแยกดิน แบบที่มีการขุดและลำเลียงเห้ง้ามัน แบบที่มีการขุดและลำเลียงเห้ง้ามันพร้อมกับขนย้ายเห้ง้าและหัวมันสำปะหลัง และแบบที่มีการขุด ลำเลียงเห้ง้า ตัดแยกเห้ง้าและลำเลียงผลผลิตในเครื่องเดียวกัน มาทำการประเมินประสิทธิภาพของการทำงาน ประกอบด้วยความสามารถในการทำงาน ประสิทธิภาพเชิงเวลา ความสามารถในการลำเลียง เปอร์เซ็นต์ผลผลิตทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์ความสูญเสีย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการทำงานหรือการปรับปรุงอุปกรณ์ในการทำงานของเครื่องเก็บเกี่ยวให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

2.1 การศึกษารูปแบบการทำงานของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้นแบบในประเทศไทย

การศึกษาลักษณะและรูปแบบการทำงานของเครื่องรวมถึงอุปกรณ์การทำงานจาก 5 รูปแบบ (ก) คือเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบติดตั้งในรถแทรกเตอร์แบบที่มีเครื่องขุดเพียงอย่างเดียว (ข) แบบที่มีการขุดและคัดแยกดิน [4] (ค) แบบที่มีการขุดและลำเลียงเห้ง้ามัน [3] (ง) แบบที่มีการขุดและลำเลียงเห้ง้ามันและขนย้ายและ [1] (จ) แบบที่มีการขุด ลำเลียงเห้ง้า ตัดแยกเห้ง้าและลำเลียงผลผลิตในเครื่องเดียว [2]



ก



ข



ค



ง



จ

รูปที่ 1 การพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

ทดสอบการทำงานเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่มีอายุระหว่าง 9-12 เดือน ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยลักษณะของดินในแปลงปลูกเป็นดินร่วนปนดินทราย มีลักษณะการปลูกแบบยกร่องระยะห่างระหว่างต้นเฉลี่ยเท่ากับ 70-80 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างต้นเท่ากับ 70-100 เซนติเมตร ลักษณะการทำการขุดเก็บมันสำปะหลังของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้นแบบดังกล่าวทั้งหมดทำการเก็บเกี่ยวได้ครั้งละหนึ่งแถวการปลูก

2.2 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้นแบบ

การพิจารณาปัจจัยในการทำงานของเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนาดังกล่าวประกอบด้วยความสามารถในการทำงาน ประสิทธิภาพเชิงเวลา ความสามารถในการลำเลียง เปอร์เซ็นต์ผลผลิตทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์ความสูญเสีย ซึ่งมีเกณฑ์และวิธีการศึกษาข้อมูลดังนี้

- ความสามารถในการทำงานของเครื่อง (Field Capacity)

ความสามารถในการทำงานของเครื่องหมายถึง การที่เครื่องจักรสามารถปฏิบัติงานในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังได้จริงในพื้นที่ต่อหน่วยเวลา แสดงข้อมูลจากการทำงานเป็น ไร่ต่อชั่วโมง

ความสามารถในการทำของเครื่อง

$$= \frac{\text{พื้นที่ทั้งหมดในการเก็บเกี่ยว}}{\text{เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว}}$$

- ประสิทธิภาพเชิงเวลา (Time Efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงเวลาเป็นผลจากการออกแบบอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งในเครื่องขุดหรือเครื่องเก็บเกี่ยว โดยประสิทธิภาพเชิงเวลาของเครื่องจักรที่ทำการออกแบบสามารถพิจารณาได้จากสมการ

ประสิทธิภาพเชิงเวลา =

$$\frac{\text{เวลาทั้งหมดของการเก็บเกี่ยว} - \text{เวลาจริงในการทำงาน}}{\text{เวลาทั้งหมดในการเก็บเกี่ยว}} \times 100$$

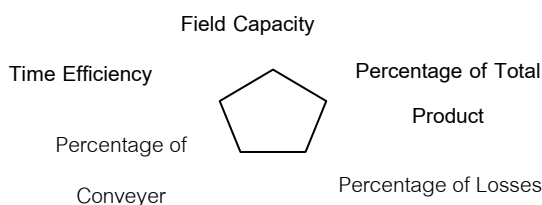
- ความสามารถในการลำเลียง (Percentage of Conveyer)

เนื่องจากเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในขนาดจำเป็นต้องมีการลำเลียงผลผลิตที่ทำการขุดได้ไปยังอุปกรณ์การทำงานอื่นๆ เช่น กระบะบรรจุทุก อุปกรณ์การสับแยกเหง้าเป็นต้น [1] ดังนั้นความสามารถในการลำเลียงจึงมีความสำคัญซึ่งต้องครอบคลุมผลผลิตทั้งหมดที่ทำการขุดได้ ทั้งในส่วนของหัวมันสำปะหลังพร้อมเหง้า และหัวมันสำปะหลังอื่นๆ ที่ผ่านการขุด นอกจากนี้กระบวนการลำเลียงนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่สอดคล้องกับการลดการใช้แรงงานในการทำงาน

- เปอร์เซ็นต์ผลผลิตทั้งหมด และ เปอร์เซ็นต์ความสูญเสีย (Percentage of Total Product and Losses)

ปัจจัยสำคัญในการออกแบบการทำงาน รวมถึงอุปกรณ์ในการทำงาน ซึ่งการทำงานของเครื่องจักรที่ทำการออกแบบต้องสามารถทำการขุดเก็บมันสำปะหลังเพื่อให้ได้ผลผลิตหรือเปอร์เซ็นต์ผลผลิตทั้งหมดมากที่สุดและมีความสูญเสียหรือเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียในรูปหัวมันสำปะหลังที่เหลือในดินน้อยที่สุด

การประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเป็นการนำข้อมูลของการทำงานมาทำการสังเคราะห์ในรูปแบบ Radar graph โดยนำปัจจัยต่างๆที่เป็นข้อมูลจากการผลการทดสอบมาทำการเปรียบเทียบกันในแต่ละปัจจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง แบบเรดาร์กราฟ (Radar graph)

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

- การศึกษารูปแบบการทำงานของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้นแบบในประเทศไทย

การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังมีกระบวนการทำงานหลายขั้นตอน ได้แก่ การตัดต้นมันสำปะหลัง การขุด การรวมกองเพื่อการแยกเหง้าและหัวมันสำปะหลัง การลำเลียงหัวมันสำปะหลังขึ้นรถบรรทุก เกษตรกรจะเริ่มทำการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่อมีอายุตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป หรืออยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน [3]

การพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในปัจจุบันเริ่มต้นด้วยระบบการขุดเป็นการนำหัวขุดหรือผลขุดติดตั้งในโครงไถที่สร้างขึ้นและเชื่อมต่อกับรถแทรกเตอร์ทำหน้าที่ในการขุดเปิดร่องแยกมวลดินและเหง้ามันสำปะหลังออกจากกัน

เครื่องขุดมันสำปะหลังแบบติดตั้งในรถแทรกเตอร์แบบที่มีเครื่องขุดเพียงอย่างเดียวเนื่องจากเครื่องขุดแบบ ใช้การลากจูงมีข้อจำกัดในด้านการทำงานคือ พบว่าหัวมันสำปะหลังที่ขุดได้บางส่วนยังเหลืออยู่ในดินจำนวนมาก และการขุดในลักษณะดังกล่าวเกิดการทับถมของดินทำให้เกิดความสูญเสียและเพิ่มขั้นตอนการใช้แรงงานคนตามเก็บ [4]



รูปที่ 3 เครื่องขุดมันสำปะหลังแบบติดตั้งในรถแทรกเตอร์แบบ ที่มีเครื่องขุดเพียงอย่างเดียว

แบบที่มีการขุดและคัดแยกดินเนื่องจากเครื่องขุดแบบใช้การลากจูงมีข้อจำกัดในด้านการทำงานคือ พบว่าหัวมันสำปะหลังที่ขุดได้บางส่วนยังเหลืออยู่ในดินจำนวนมาก และการขุดในลักษณะดังกล่าวเกิดการทับถมของดินทำให้เกิดความสูญเสียและเพิ่มขึ้นตอนการใช้แรงงานคนตามเก็บ จึงได้มีการพัฒนาให้เครื่องขุดมีระบบการคัดแยกดิน [1]



รูปที่ 4 แบบที่มีการขุดและคัดแยกดิน

แบบที่มีการขุดและลำเลียงเห้งมันพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวแบบลำเลียงเห้งมัน โดยระบบลำเลียงออกแบบเป็นลักษณะใช้ปีกทำงานร่วมกับสายพานหรือแผ่นยางป้องกันการลื่นและช่วยสร้างแรงยึดเกาะ โดยใช้ใช้ปีกจำนวน 2 ชุด ทำงานโดยการหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน[1]



รูปที่ 5 แบบที่มีการขุดและลำเลียงเห้งมัน

แบบที่มีการขุดและลำเลียงเห้งมันและขนย้าย มีลักษณะเป็นกระบะบรรจุแบบมีล้อต่อพ่วงแบบกึ่งลากจูงกับขุดโครขุดและลำเลียงหรือไม่มีล้อบรรจุเป็นต้น เมื่อทำการเก็บเกี่ยวจนเต็มกระบะบรรจุทุกจะทำการเทรวมกองกันไว้เป็นจุดๆ [1]



รูปที่ 6 แบบที่มีการขุดและลำเลียงเห้งมันและขนย้าย

แบบที่มีการขุด ลำเลียงเห่า ตัดแยก เห่าและลำเลียงผลผลิตในเครื่องเดียว การพัฒนา เครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบบตัดหัวมัน สำปะหลังออกจากเห่าถือเป็นกลไกที่มีความสำคัญ ของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง เนื่องจากเครื่องเก็บเกี่ยวที่กล่าวมาข้างต้นยังคง ต้องใช้แรงงานคนในการตัดแยกเห่าและยังไม่ สามารถทำงานได้จริงอย่างต่อเนื่อง [2]

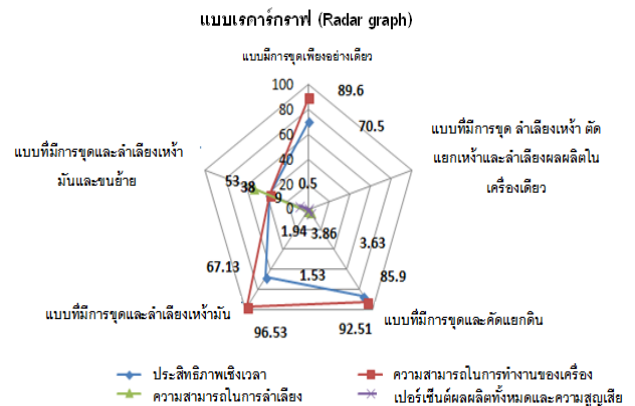


รูปที่ 7 แบบที่มีการขุด ลำเลียงเห่า ตัดแยก เห่าและลำเลียงผลผลิตในเครื่องเดียว

การศึกษารวบรวมข้อมูลพบว่าปัจจุบันยังไม่พบเครื่องเก็บเกี่ยวที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือทำงานเองได้อัตโนมัติ ยังคงต้องใช้คนทำงานหลังจากเครื่องจักรทำงานเสร็จหรือเชื่อมต่อบางกระบวนการ และเป็นเหตุผลให้ผู้ที่มีความสนใจที่จะศึกษาพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาต่อไปในอนาคต ซึ่งจากผลการศึกษารูปแบบของเครื่องเก็บเกี่ยวที่จะพัฒนาขึ้นควรมีลักษณะเป็นเครื่องขุด แบบมีระบบคัดแยกดินเพื่อเก็บหัวมันสำปะหลังที่ปะปนอยู่ในดิน มีระบบการลำเลียงเห่าเพื่อให้สามารถป้อนเข้าสู่กระบวนการตัดแยกเห่าและหัวมันสำปะหลังออกจากกัน รวมถึงต้องมีอุปกรณ์เพื่อรองรับและขนย้าย

ผลผลิตไปส่งให้กับรถบรรทุก นอกจากเครื่องเก็บเกี่ยวที่พัฒนาขึ้นจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ในการทำงานกะทัดรัดไม่มีการต่อพ่วงยาวจนเกินไป เพราะจะส่งผลกระทบต่ออัตราการทำงานและประสิทธิภาพเชิงเวลา

การประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง



รูปที่ 8 การประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนา เครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง แบบ Radar graph

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง สามารถนำมาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการทำงานหรือการปรับปรุงอุปกรณ์ในการทำงานของเครื่องเก็บเกี่ยวให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพของผู้ที่จะทำการศึกษาในลำดับต่อไป

4. สรุป

การศึกษาเรื่องการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้นแบบ รูปแบบ (ก) คือเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบติดตั้งในรถแทรกเตอร์แบบที่มีเครื่องขุดเพียงอย่างเดียว เป็นเครื่องมือต้นแบบที่เกษตรกร ใช้งานอยู่ในปัจจุบันอย่างกว้างขวางแต่ยังคงต้องใช้แรงงานในการทำงานร่วมกับการทำงานของเครื่องขุดจำนวนมาก (ข) แบบที่มีการขุดและคัดแยกดินเป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนาให้สามารถเก็บและรวบรวมผลผลิตหลังการขุดทั้งในส่วนหัวมันสำปะหลังพร้อมเหง้า และหัวมันสำปะหลังขาดที่ขุดได้ทำให้เกิดความสะดวกในการตามเก็บผลผลิตซึ่งจะถูกลำเลียงออกด้านข้างและวางเป็นแถว (ค) แบบที่มีการขุดและลำเลียงเหง้ามัน เป็นเครื่องมือที่มีระบบการทำงานโดยการลำเลียงเฉพาะเหง้ามันส่วนหัวมันสำปะหลังที่ขาดไม่สามารถลำเลียงได้จึงต้องมีแรงงานตามเก็บ (ง) แบบที่มีการขุดและลำเลียงเหง้ามันและขนย้าย เป็นเครื่องมือที่ทำการพัฒนาต่อยอดจากระบบที่กล่าวมาแล้ว แต่ประสบปัญหาด้านการเลี้ยวหัวงานทำให้ประสิทธิภาพเชิงเวลาลดลง (จ) แบบที่มีการขุด ลำเลียงเหง้า ตัดแยกเหง้าและลำเลียงผลผลิตในเครื่องเดียว เป็นเครื่องต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาให้สามารถทำงานเบ็ดเสร็จในเครื่องเดียว ยังคงพบปัญหาด้านความต่อเนื่องกันจากระบบหนึ่งมายังอีกระบบหนึ่ง

ผลการประเมินศักยภาพของการพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวในประเทศไทยพบว่า ในแง่ของอัตราการทำงาน เครื่องเก็บเกี่ยวที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมีความสามารถในการทำงานลดลงเกือบทั้งหมด เนื่องจากต้องมียกลไกรอื่นมาทำงานร่วมกันหลายขั้นตอน จึงทำให้เครื่องมือที่ทำการพัฒนาทำงานช้าลง เพื่อให้ชิ้นส่วนอื่นๆ ทำงานได้ทันตามผลผลิตที่ทำการขุดได้ ความเร็วในการทำการเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มลดลงมากที่สุดเพราะต้องทำการเก็บเกี่ยวอย่างแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องลดการทำความเร็วเพื่อให้ครอบคลุมการเก็บเกี่ยวต้นมันสำปะหลังให้ได้ทุกต้น ประสิทธิภาพเชิงเวลาพบว่าการมีอุปกรณ์การทำงานมากขึ้นทำให้เครื่องมือที่ออกแบบมา มีความยาวมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงเวลาลดลงเพราะความยาวของอุปกรณ์ทำให้เครื่องมือที่พัฒนาต้องใช้เวลาในการเลี้ยวหัวแปลง ขณะทำการเก็บเกี่ยวเป็นเวลานาน ส่วนเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตดีหรือหัวมันสำปะหลังที่ขุดได้ ผลการศึกษาพบว่าเครื่องขุดมันสำปะหลังที่ทำการพัฒนาขึ้นส่วนใหญ่สามารถทำการเก็บเกี่ยวได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้นและลดเปอร์เซ็นต์ของเหง้าและหัวมันที่ไม่ถูกลำเลียงรวมถึงลดเปอร์เซ็นต์ของหัวมันสำปะหลังที่เหลือในดิน โดยเฉพาะเครื่องขุดแบบมีระบบการคัดแยกดิน และเครื่องขุดแบบมีระบบการลำเลียงเหง้า ส่วนเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบที่มีการขุด ลำเลียงเหง้า ตัดแยกเหง้าและลำเลียงผลผลิตในเครื่องเดียวซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนาและมีศึกษาอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

สามารถทำงานได้ แต่ยังขาดความต่อเนื่องระหว่างการทำงานของแต่ละกระบวนการ ซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัยเช่นลักษณะทางกายภาพของเหง้าและหัวมันสำปะหลังที่ไม่มีรูปแบบคงที่ ลักษณะการปลูกที่มีระยะไม่แน่นอน จึงทำให้เครื่องจักรที่ทำการพัฒนาดังที่กล่าวมาแล้วมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำกว่ารูปแบบที่มีการใช้คนกับเครื่องจักรทำงานร่วมกัน ดังนั้นจากข้อมูลทั้งหมดที่ได้ทำการศึกษาสามารถนำเอาข้อมูลจากการทำงานในแต่ละรูปแบบมาทำการพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่ทำการศึกษามาแล้วนี้ นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกรูปแบบของการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นระบบการขุดลำเลียง ตัดแยกเหง้า และขนย้ายผลผลิตมาทำการพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นและใช้งานได้จริงสามารถลดการใช้แรงงานคนในกระบวนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและวิจัยได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มวิจัยฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสาท แสงพันธุ์ตา. การออกแบบและพัฒนาเครื่องขุดและรวบรวมหัวมันสำปะหลัง. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2548.
- [2] พยุงศักดิ์ จุลยุเสน และคณะ. การพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบบตัดหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า. วิทยาศาสตร์เกษตร. 2557; 353-356.
- [3] วิชา หมั่นทำการ. เครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2552 [เข้าถึงเมื่อ 30 ก.ค. 2553]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.rdi.ku.ac.th>
- [4] ศุภวัฒน์ ปากเมย. การออกแบบและประเมินเครื่องขุดมันสำปะหลัง. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2540.
- [5] ศักดา อินทวิชัย และคณะ. เครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง: เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ฉบับที่ 6. กรุงเทพฯ: บริษัท เจ พีล์ม โปรเซส จำกัด; 2542.

- [6] สามารถ บุญอาจ. การออกแบบและพัฒนา
เครื่องเก็บหัวมันสำปะหลังแบบติดพ่วงกับรถ
แทรกเตอร์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ :
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2543.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบน้ำวนและระบบแผ่นกั้นแบบไม่ใช้อากาศ

Comparison of Biogas Production Efficiency by Vortex and Anaerobic Baffle System

ชุตินา คุณภักดี¹ และ รัชพล สันติวารการ^{2*}Chutima Khunpakdee¹ and Ratchaphon Suntivarakorn^{2*}

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand 40002

Received: September 2015

Accepted: January 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อทำการออกแบบและสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบน้ำวนขนาดจำลอง การออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ 2 ถังที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน ถังหมัก D1 ใช้ระบบน้ำวน ถังหมัก D2 ใช้ระบบแผ่นกั้นแบบไม่ใช้อากาศ ถังหมัก D1 มีลักษณะเป็นวงกลม 2 ชั้นขนาด 250 ลิตร และถังหมัก D2 มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 250 ลิตร ในการทดลองจะใช้มูลไก่สด ผสมกับ เชื้อตั้งต้นด้วยสัดส่วนที่ทดลองมีดังนี้ 25:75, 50:50, 75:25 โดยปริมาตร เป็นวัตถุดิบ แต่ละสัดส่วนใช้เวลาหมัก (Hydraulic retention times : HRT) 10 วัน จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนระหว่างมูลไก่สดกับเชื้อตั้งต้นที่เกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ 50 : 50 โดยปริมาตร ถังหมัก D1 และถังหมัก D2 เกิดก๊าซชีวภาพ 6.53 ม³, 22.32 ม³ ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนก๊าซมีเทนในถังหมัก D1 และถังหมัก D2 เท่ากับ ร้อยละ 62.28 และ ร้อยละ 61.2 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทน มูลไก่ น้ำวน

Abstract

The purpose of this research aims to generate biogas production system by using vortex model in a pilot plant. Two different digester tanks were installed. The first digester tank (D1) applied the vortex model while the second digester tank (D2) with anaerobic baffle was applied. D1 was circular shape case core and shell, with 250 liters in volume while D2 was rectangular shape, with 250 liters in volume. Fresh chicken manure and inoculums were the main ingredients for this experiment. The ratio of the ingredients were 25:75, 50:50, and 75:25 (chicken manure : inoculums). The hydraulic retention times (HRT) is 10 days. As a result, the ratio of 50:50 was shown the optimum biogas

production. D1 generated biogas for 6.53 m^3 with methane gas of 62.28%, and D2 generated biogas for 22.32 m^3 with methane gas of 61.2%.

Keywords : Biogas, Methane, Chicken manure, Vortex

*ติดต่อ: E-mail: k.chutima@kkumail.com, ratchaphon@kku.ac.th, โทรศัพท์: 080-727-6877

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกมีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นเราจึงต้องหาลงทุนทดแทนมาใช้ ก๊าซชีวภาพเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่น่าสนใจ ได้ทั้งพลังงานและได้กำจัดของเสียที่เกิดขึ้นอีกด้วย เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ ถัง ถังปฏิกรณ์แบบกวนผสม (Continuous Stirred Tank Reactor : CSTR), ถังแบบ AC, ถังปฏิกรณ์แบบตะกอนลอย (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB), ระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Covered Lagoon), ระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง (Modified Covered Lagoon), ระบบแผ่นกั้นแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Baffle Reactor : ABR), ระบบบ่อแบบราง (Plug flow anaerobic digester) [1] ถังหมัก D1 จะใช้ระบบน้ำวน แนวทางที่ใช้ในการออกแบบถังหมักจะเพิ่มการวนน้ำเพื่อให้เกิดลักษณะคล้ายการกวนเพราะการกวนมีผลต่อการหมักทำให้จุลินทรีย์สัมผัสกันมากขึ้นจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้น [2] และป้องกันการไหลลัดวงจรระหว่างกระบวนการหมักโดยภายในถังหมักจะแบ่งเป็น 2 ช่วงการหมักช่องด้านบนสร้างกรวดมีปั๊มสำหรับวนน้ำ ช่องด้านล่างในสร้างก๊าซมีเทน ถังหมัก D2 จะไม่ใช้ระบบน้ำวน แนวทางที่ใช้ในการออกแบบถังหมักคือระบบแผ่นกั้นแบบไม่ใช้อากาศ ระบบนี้สามารถป้องกันเชื้อจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ ทำให้รักษาเชื้อไว้ในระบบได้ทำให้ระบบมีความเสถียรสามารถทำงานได้ปกติ [3]

2. อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

2.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรต้นในการออกแบบ

- สัดส่วนมูลไก่สดกับเชื้อตั้งต้น

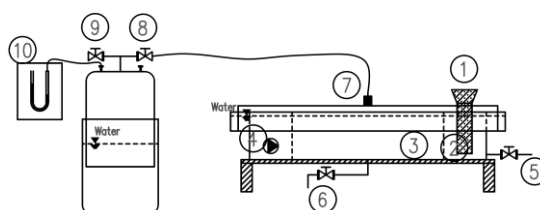
ตัวแปรตามในการออกแบบ

- ปริมาณก๊าซชีวภาพ
- ปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4)

2.2 อุปกรณ์การทดลอง

2.2.1 ถังหมักก๊าซชีวภาพ D1

แผนผังถังหมักก๊าซชีวภาพ D1

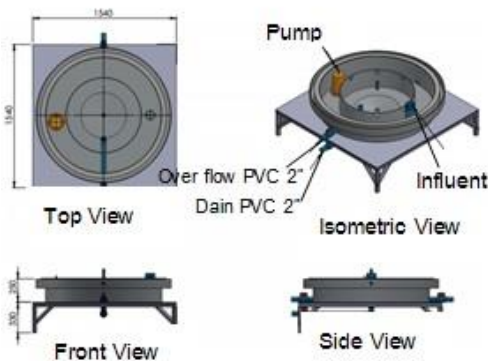


รูปที่ 1 แผนผังการทำงานถังหมักก๊าซชีวภาพ D1

- จุดที่ 1 ช่องเดิมวัดอุณหภูมิตั้งเดิม
- จุดที่ 2 ถังหมักส่วนแรก
- จุดที่ 3 ถังหมักส่วนที่ 2
- จุดที่ 4 ปั๊ม (สำหรับสูบน้ำวน) ติดตั้งในถังหมักส่วนแรก
- จุดที่ 5 ทางออกสำหรับปล่อยตะกอนและน้ำส่วนเกิน ในถังหมักส่วนแรก

- จุดที่ 6 ทางออกสำหรับปล่อยตะกอนและน้ำส่วนเกิน ในถังหมักส่วนที่ 2
- จุดที่ 7 ทางออกก๊าซชีวภาพที่เกิดจากถังหมักเข้าถังเก็บก๊าซชีวภาพ
- จุดที่ 8 วาล์วทางเข้าถังเก็บก๊าซชีวภาพ
- จุดที่ 9 วาล์วสำหรับปล่อยก๊าซทิ้ง (ในกรณีก๊าซเต็มถังเก็บก๊าซชีวภาพ)
- จุดที่ 10 จุดวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ) วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

2.2.1.2 รูปแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ D1



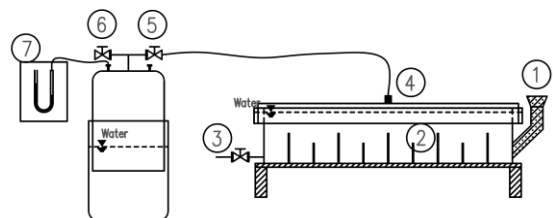
รูปที่ 2 รูปแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ D1

ถังมีลักษณะเป็นทรงกลมสองชั้น เส้นผ่าศูนย์กลางช่องด้านนอกยาว 1.25 ม. สูง 0.225 ม. เส้นผ่าศูนย์กลางช่องด้านใน 0.8 ม. สูง 0.25 ม. ปริมาตร 250 ลิตร ช่องด้านในเจาะรูขอบบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้วเพื่อให้วัตถุดิบที่ไหลล้นจากช่องด้านนอกเข้าสู่ช่องด้านใน ดังแสดงในรูปที่ 2 มีท่อสำหรับเติมวัตถุดิบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว มีท่อ

สำหรับระบายตะกอนและน้ำส่วนเกิน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ด้านบนมีฝาปิด และมีรูระบายก๊าซออกจากถังหมักขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีรางน้ำขนาด 0.1 x 0.1 x 0.1 m. รอบบริเวณขอบถังด้านบนเพื่อป้องกันก๊าซรั่ว

2.2.2 ถังหมักก๊าซชีวภาพ D2

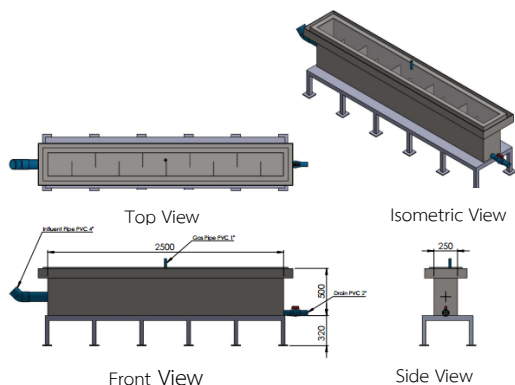
2.2.2.1 แผนผังถังหมักก๊าซชีวภาพ D2



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานถังหมักก๊าซชีวภาพ D2

- จุดที่ 1 ช่องเติมวัตถุดิบ
- จุดที่ 2 ถังหมัก
- จุดที่ 3 ทางออกสำหรับปล่อยตะกอนและน้ำส่วนเกิน ในถังหมัก
- จุดที่ 4 ทางออกก๊าซชีวภาพที่เกิดจากถังหมักเข้าถังเก็บก๊าซชีวภาพ
- จุดที่ 5 วาล์วทางเข้าถังเก็บก๊าซชีวภาพ
- จุดที่ 6 วาล์วสำหรับปล่อยก๊าซทิ้ง (ในกรณีก๊าซเต็มถังเก็บก๊าซชีวภาพ)
- จุดที่ 7 จุดวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ), วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

2.2.2.2 รูปแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ D2



รูปที่ 4 รูปแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ D2

ถังมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 0.25 ม. ยาว 2.5 ม. สูง 0.5 ม. ปริมาตร 250 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2 มีท่อสำหรับเติมวัตถุดิบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว มีท่อสำหรับระบายตะกอนและน้ำส่วนเกินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ด้านบนมีฝาปิด และมีรูระบายก๊าซออกจากถังหมักขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีรางน้ำขนาด 0.1 x 0.1 x 0.1 m. รอบบริเวณขอบถังด้านบนเพื่อป้องกันก๊าซรั่ว

2.3 ขอบเขตในการทดลอง

- มูลไก่สดกับหัวเชื้อที่อัตราส่วน ร้อยละ 0:100 (หัวเชื้อ 0 ลิตร มูลไก่สด 250 ลิตร) ร้อยละ 25:75 (หัวเชื้อ 62.5 ลิตร มูลไก่สด 187.5 ลิตร) ร้อยละ 50:50 (หัวเชื้อ 150 ลิตร มูลไก่สด 150 ลิตร) ร้อยละ 75:25 (กาก 62.5 ลิตร มูลไก่สด 187.5 ลิตร) ร้อยละ 75:25 (มูลไก่สด 62.5 ลิตร หัวเชื้อ 187.5 ลิตร) ปริมาตรรวม 250 ลิตรต่อถัง
- ระยะเวลาเก็บ 10 วัน

- ใช้ระบบน้ำวน ทุก 3 ชั่วโมงครั้งละ 15 นาที ในถังหมัก D1

2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

2.4.1 เชื้อตั้งต้น

เชื้อตั้งต้นที่ใช้เป็นเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมัก

ก๊าซชีวภาพของศรีวิโรจน์ฟาร์ม จังหวัดขอนแก่น

2.4.2 มูลไก่

มูลไก่สดที่ใช้เป็นมูลไก่ไข่จากศรีวิโรจน์ฟาร์ม จังหวัดขอนแก่น

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อตั้งต้น และมูลไก่สด โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity), กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid : VFA), ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD), ของแข็งทั้งหมด (Total Solid : TS), ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid : VS), ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Suspended Solid : TSS), ของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solid : VSS) ซึ่งถูกตรวจวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ APHA WEF AWWA, edition 22nd การวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องวัดองค์ประกอบ ก๊าซชีวภาพแบบพกพา รุ่น Geotech Biogas Check

2.5 ขั้นตอนการทดลอง

- เตรียมวัตถุดิบโดยใช้มูลไก่สดที่คัดแยกสิ่งแปลกปลอมแล้วผสมกับเชื้อตั้งต้น ที่อัตราส่วน 100:0 ปริมาณ 250 ลิตร (เชื้อตั้งต้น 250 ลิตร มูลไก่สด 0 ลิตร)

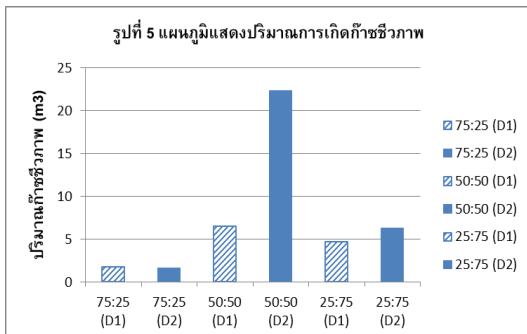
- นำตัวอย่างวัตถุดิบที่เตรียมไปตรวจวัดค่า pH, Alkalinity, COD, TSS, VSS, TS, VS ของวัตถุดิบก่อนทดลอง
- ใส่วัตถุดิบลงในถังหมักก๊าซชีวภาพ
- ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม และองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน
- นำวัตถุดิบหลังการทดลองไปตรวจวัดค่า pH, Alkalinity, COD, TSS, VSS, TS, VS หลังจากการหมักในถังหมักก๊าซชีวภาพ 10 วัน
- ทำเหมือนข้อ 2.1.1 ถึง 2.1.5 โดยเปลี่ยนเป็นอัตราส่วน 75:25 50:50 และ 25:75

3. ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

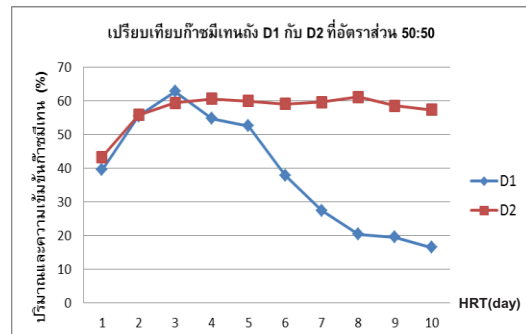
จากการทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้มูลไก่ สดผสมกับเชื้อตั้งต้นหมักในสภาวะไร้อากาศ ที่อัตราส่วน 25:75, 50:50, 75:25 หมักเป็นเวลา 10 วัน แสดงผลดังตารางที่ 1 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 5 ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนถึง D1 แสดงดังรูปที่ 6 ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนถึง D2 แสดงดังรูปที่ 7 และเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนของถังหมักก๊าซชีวภาพ D2 ที่อัตราส่วน 50:50 แสดงดังรูปที่ 8

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัตถุดิบก่อนและหลังการทดลอง

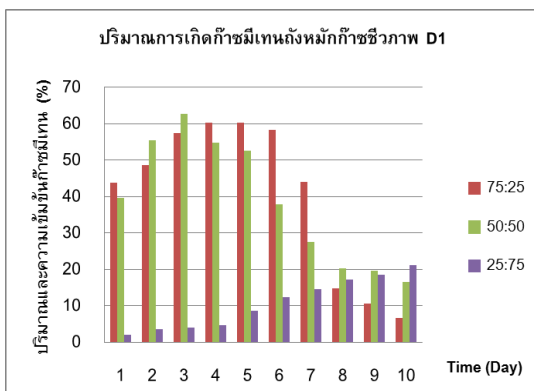
พารามิเตอร์	อัตราส่วนน้ำเสีย (เชื้อตั้งต้น : มูลไก่)								
	25:75			50:50			75:25		
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง		ก่อนทดลอง	หลังทดลอง		ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	
	D1,D2	D1	D2	D1,D2	D1	D2	D1,D2	D1	D2
pH,	6.7	7.8	7.8	7.4	7.6	7.7	7.7	7.8	7.9
Alk, mg/l as CaCO ₃	9846	11642	13529	12890	13750	13699	15114	17657	16398
VFA, mg/l as acetic acid	13578	4407	2223	4480	2908	1494	4284	3258	2849
COD, mg/l	64962	13046	12538	75187	26800	16960	73267	11864	10808
TSS, mg/l	46050	7550	10450	48100	18725	15200	71450	48704	41887
VSS, mg/l	31450	5050	6300	32200	11950	9700	49450	31527	30308
TS, mg/l	50650	16655	17460	59350	27425	21350	84075	55145	54599
VS, mg/l	33425	8820	8080	38825	15900	12400	56275	23701	20692



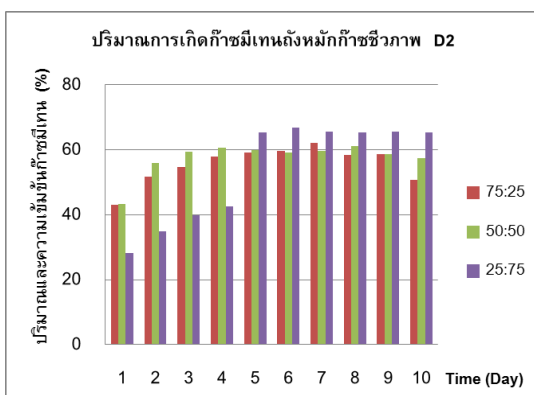
รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ
สะสมที่ 10 วัน



รูปที่ 8 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนของถังหมักก๊าซชีวภาพ D2 ที่อัตราส่วน 50:50



รูปที่ 6 แผนภูมิแสดงปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนของถังหมักก๊าซชีวภาพ D1



รูปที่ 7 แผนภูมิแสดงปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนของถังหมักก๊าซชีวภาพ D2

จากการผลการทดลองที่ได้ จะเปรียบเทียบถึงหมัก D1 และ ถึงหมัก D2 ขนาด 250 ลิตร ที่ระยะเวลาเก็บ 10 วัน ที่อุณหภูมิ 35.7 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเกิดก๊าซชีวภาพ 35 ± 2 องศาเซลเซียส [4] พบว่าที่อัตราส่วน 50:50 ถึงหมัก D1 เกิดก๊าซชีวภาพ 6.53 m^3 และถึงหมัก D2 เกิดก๊าซชีวภาพ 22.32 m^3 เกิดก๊าซก๊าซมีเทน ร้อยละ 62.28, ร้อยละ 61.2 โดยปริมาตร ตามลำดับ ถึงหมัก D2 จะเกิดก๊าซชีวภาพมากกว่าถึงหมัก D1 แต่ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนถึงหมัก D1 จะมากกว่าถึงหมัก D2 แสดงให้เห็นว่าการกวนมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทน จากตารางที่ 1 ค่ากรดอินทรีย์จะเหยียดต่อค่าความเป็นด่าง มีค่าน้อยกว่า 0.4 ดังนั้นถึงหมักทั้งสองแบบนี้สามารถดำเนินการเปลี่ยนแปลงค่ากรดต่างได้ดี

4. สรุป

จากการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบน้ำวนและระบบแผ่นกั้นแบบไม่ใช้อากาศ โดยหมักมูลไก่สดร่วมกับเชื้อ ตั้งต้นในสภาวะไร้อากาศผลที่ได้คืออัตราส่วนระหว่างมูลไก่สดกับเชื้อตั้งต้นที่เกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ

50 : 50 โดยปริมาตร ดังที่ 1 และดังที่ 2 เกิดก๊าซชีวภาพ 6.53 ม³, 22.32 ม³ ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนก๊าซมีเทนใน ดังที่ 1 และดังที่ 2 เท่ากับ ร้อยละ 62.28 ร้อยละ 61.2ตามลำดับ จะเห็นว่าถึงหมักก๊าซชีวภาพที่ไ้ระบบนี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้จริง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย อุปกรณ์เครื่องมือในการทดสอบและขอขอบคุณบริษัทศรีวิโรจน์ฟาร์ม อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงาน . กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม; 2553.
- [2] Khursheed, et al. Anaerobic Digestion of animal waste: Effect of mode of mixing, Chemical Reaction Engineering Laboratory(CREL). Washington: Department of Chemical Engineering, Washington University; 2005.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือเทคโนโลยีพลังงานก๊าซชีวภาพ โครงการถ่ายทอด เผยแพร่การใช้พลังงานก๊าซชีวภาพ. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน; 2557.
- [4] Benjamin Jr SM, Thomas TA, Johnston P. Anaerobic Co digestion of hog and poultry waste. Bioresource Technology. 2001; 76(1), 165-168.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

**การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตยาสมุนไพรของคลินิกแพทย์แผนไทย โดยใช้หลัก
เทคโนโลยีสะอาด : กรณีศึกษา โรงพยาบาลท่าแซะ จังหวัดชุมพร**

**Enhancement of herbal medicine production efficiency in Thai traditional medicine clinic
by Clean Technology application : Case study of Tha Sae hospital
in Chumphon province.**

สุทธิรัตน์ ศิลาคำ^{1*} และ พรทิพย์ ศรีแดง¹

Suttirat Silakham^{1*} and Porntip Sridang¹

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

¹Department of Environmental Science Faculty of Science Silpakorn University

Received: December 2015

Accepted: January 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยนำหลักเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำมันชันแคปซูล โรงพยาบาลท่าแซะ จังหวัดชุมพร โดยรวบรวมข้อมูลการใช้ทรัพยากร วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ วิธีปฏิบัติงาน แหล่งกำเนิดของเสีย สาเหตุ และปริมาณการสูญเสีย ผลการศึกษาพบประเด็นและสาเหตุการสูญเสียจาก 2 ประการ คือ การสูญเสียจากคุณภาพวัตถุดิบไม่ได้ตามข้อกำหนดและพฤติกรรมการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ผลการวิเคราะห์ปัญหาระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องนำไปสู่การเสนอแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยเพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบให้ได้คุณภาพ ซึ่งสามารถลดของเสียได้ 1.50 กิโลกรัม/รุ่นการผลิต สำหรับพฤติกรรมการทำงานของผู้ปฏิบัติงานที่ปรับปรุงหลังตรวจประเมิน พบว่า ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบจากเดิมล้างโดยให้น้ำไหลผ่านปรับเปลี่ยนเป็นการล้างในอ่างล้างสามารถลดการใช้น้ำได้ร้อยละ 80 ขณะที่การควบคุมระยะเวลาในการอบวัตถุดิบจาก 24 ชั่วโมง เป็น 16 ชั่วโมง สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ 18.18 หน่วย/รุ่นการผลิต การอบผงยาจาก 8 ชั่วโมง เป็น 1 ชั่วโมง สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ 15.90 หน่วย/รุ่นการผลิต ยอดรวมทุกรายการทรัพยากรที่ประหยัดได้ เท่ากับ 7,399.44 บาท/ปี

คำสำคัญ : เทคโนโลยีสะอาด น้ำมันชันแคปซูล การเพิ่มประสิทธิภาพ ยาสมุนไพร

Abstract

The objective of this research was to enhance the efficiency of turmeric herbal capsule production using clean technology at Thai traditional medicine clinic, Tha Sae hospital, Chumphon province. This study focused on the collection of general resources used such as raw materials, products and worker practice-behavior. The results showed the quality of raw materials was not following to the requirement guideline and the improper practice-behavior of workers. According to losing causes and problems brainstorming and problem analysis were discussed among stakeholder leading to improve the production process. The first recommended option was the checking quality of raw materials, which could reduce the amount of waste 1.50 kilograms/batch. The second was the improvement of workers behavior and their practices. It was found that cleaning process of raw material was modified and adjusted by washing in the sink instead using water flow. This could reduce water consumption by percentage 80. While controlling drying duration of raw materials from 24 hours to 16 hours could reduce electricity consumption by 18.18 Units/batch and drying duration of powder raw materials from 8 hours to 1 hour could reduce electricity consumption by 15.90 Units/batch. The total amount of all resources savings of 7,399.44 bath/year.

Keywords : clean technology. turmeric herbal capsule. enhancement. herbal medicine

*ติดต่อ: sutirat5558@gmail.com

1. บทนำ

ปัจจุบันรัฐบาลได้ให้ความสนใจเรื่องสมุนไพรเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการนำมาผลิตเป็นยา ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และเครื่องสำอาง ช่วยให้ประเทศชาติประหยัดเงินตราในการนำเข้าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจากต่างประเทศ ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 [1] ในยุทธศาสตร์การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน เพื่อผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการให้บริการสุขภาพของภูมิภาค โดยกระทรวงสาธารณสุขได้นำภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทย เข้ามาเป็นทางเลือก

หนึ่งสำหรับผู้ป่วยที่มาับการรักษา และสนับสนุนให้มีการใช้ยาจากสมุนไพรในสถานบริการสาธารณสุขทุกระดับมากขึ้น และได้มีการกำหนดนโยบายแห่งชาติด้านยา พ.ศ. 2554 [2] เพื่อให้มียาปลอดภัย คุณภาพดี ในราคาพอสมควรกระจายอย่างทั่วถึง โดยการพัฒนาอุตสาหกรรมยาสมุนไพร ซึ่งการแปรรูปสมุนไพรที่ปลอดภัยนั้นต้องมีการควบคุมคุณภาพตั้งแต่ขั้นตอนการคัดวัตถุดิบ การตาก การอบ การบด รวมถึงการบรรจุ ในแต่ละขั้นตอนจะเกิดการสูญเสียทั้งวัตถุดิบ ทรัพยากร และสาธาณูปโภคไปอย่างเปล่าประโยชน์ เช่น การใช้น้ำ ไฟฟ้า และก๊าซหุง

ต้มในปริมาณสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ยาสมุนไพรมีราคาที่สูง ไม่สามารถที่จะแข่งขันทางการตลาดได้ สาเหตุอีก

ประการที่ทำให้ยาสมุนไพรมีราคาสูง เป็นเพราะวัตถุดิบบางอย่าง ขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่สามารถปลูกเองได้ ต้องเข้าไปหาในป่า จึงทำให้ยาสมุนไพร มีราคาสูงกว่ายาแผนปัจจุบันที่ใช้เฉพาะสารเคมี ยาสมุนไพรที่มีคุณภาพ ยังอยู่ในวงที่จำกัด เฉพาะคนที่มุ่งเน้นเรื่องการรักษาคุณภาพ และมีกำลังทรัพย์ในการซื้อหา

เทคโนโลยีสะอาดนับว่าเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สอดคล้องต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมควบคู่ไปกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมตามแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development) ขององค์การสหประชาชาติ ซึ่งแนวความคิดนี้ถูกเชื่อมโยงไปสู่การกระตุ้นในเรื่องของสิ่งแวดล้อมทั้งหมด เช่น การลดปริมาณของเสีย การป้องกันมลพิษ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีสะอาดอย่างละเอียด และให้การสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง เพื่อช่วยลดปัญหาการจัดการมลพิษและช่วยเพื่อศักยภาพในการแข่งขันทางการค้าระหว่างประเทศ

โรงพยาบาลเป็นหน่วยงานทางด้านการรักษาหลักให้กับประชาชน ประชาชน ซึ่งโรงพยาบาลที่นำนโยบายส่งเสริมการใช้ยาจากสมุนไพรในโรงพยาบาล ตามนโยบายของรัฐบาลและสาธารณสุขมาใช้สู่การปฏิบัติเพื่อการรักษาให้แก่ประชาชนมีหลายแห่งด้วยกัน โดยโรงพยาบาลท่าแซะเป็นโรงพยาบาลหนึ่งที่นำนโยบายดังกล่าวมาใช้ ซึ่งมีหน่วยบริการแพทย์แผนไทยให้ประชาชนมาเป็นเวลากว่า 10 ปี และได้สนองนโยบายรัฐบาล มีการใช้ยาจากสมุนไพรทดแทน

ยาจากแผนปัจจุบัน โดยมีบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านสมุนไพรไว้ให้คำแนะนำประชาชน มีสถานบริการด้านสุขภาพ เช่น ห้องอบสมุนไพร ห้องนวดสมุนไพร เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นโรงพยาบาลที่มีการดำเนินการผลิตยาสมุนไพรใช้เองภายในโรงพยาบาล และยังจำหน่ายให้แก่โรงพยาบาลใกล้เคียง และผู้ที่สนใจจำนวน 40 ชนิด นอกจากนี้จะให้ความสนใจในการวิจัยพัฒนาทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีแล้ว เรายังต้องให้ความสำคัญกับการลดต้นทุนการผลิต และควบคุมการใช้ทรัพยากรในการผลิตสมุนไพรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงจำเป็นต้องอาศัยหลักการและเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อม เช่น เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology : CT) ที่สามารถใช้เป็นแนวทางเชิงป้องกันและ/หรือลดปริมาณของเสียจากแหล่งกำเนิด เพราะนอกจากจะทำให้ลดต้นทุนในการกำจัดของเสียที่ปลายทางแล้ว ยังเป็นการช่วยประหยัดวัตถุดิบ ประหยัดพลังงาน เพิ่มผลผลิต เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด และยังเป็นแนวทางของการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

ดังนั้นงานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาโดยทำการรวบรวมข้อมูล สถิติการเกิดของเสีย หาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย และวิเคราะห์เพื่อนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา รวมถึงการศึกษาคู่มือทุนของแนวทางในการจัดการเพื่อลดการสูญเสียทรัพยากรได้อย่างเหมาะสมของการผลิตยาสมุนไพรกรณีศึกษา คลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลท่าแซะ จังหวัดชุมพร ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ภายในโรงพยาบาลได้

2. วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยข้อมูลสำคัญ 2 ประเภท คือ ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ในเชิงลึกแบบกึ่งโครงสร้าง ซึ่งผู้วิจัยได้มีการตั้งคำถามที่เกี่ยวกับทรัพยากร และวิธีการทำงานของพนักงาน และสังเกตการทำงานของพนักงานแบบไม่มีส่วนร่วม เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นของคลินิกแพทย์แผนไทย โดยใช้แบบประเมินตามหลักเทคโนโลยีสะอาด และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บลงบันทึกของคลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลท่าชะแอมที่เกี่ยวกับวัตถุดิบ วัสดุ จำนวนผลิตภัณฑ์ จำนวนพลังงาน และยอดขาย หน่วยผลิตภัณฑ์ ร่วมกับการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิโดยการสืบค้นจากตำรา วารสาร งานวิจัย กฎหมาย กฎระเบียบและข้อบังคับต่างๆ แนวคิดและทฤษฎีการประเมินรายงานการศึกษาและเอกสารอื่นๆ และการสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตที่เกี่ยวข้องกับการทำเทคโนโลยีสะอาด

2.2 วิเคราะห์ข้อมูลและจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหา

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหาภายในคลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลท่าชะแอม โดยวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักเทคโนโลยีสะอาดมี 2 ลักษณะดังนี้ ข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งจะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบโดยวิธีการจัดอันดับคะแนน (Score & ranking Method) ซึ่งเป็นวิธีการให้คะแนนจัดลำดับความสำคัญด้านปริมาณ และ

ผลกระทบจากกระบวนการผลิต เพื่อเสนอแนวทางในการจัดการต่อไป ข้อมูลเชิงปริมาณนี้จะนำไปใช้สนับสนุนข้อมูลเชิงคุณภาพที่ใช้ในการสัมภาษณ์ได้ สำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพ คือ ข้อมูลที่ได้จากการที่ผู้ศึกษาเข้าไปสัมภาษณ์ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และสังเกตสภาพแวดล้อมการทำงาน รวมถึงสภาพโดยรวมของคลินิกแพทย์แผนไทย

2.3 สรุปประเด็นปัญหาและนำเสนอแนวทางการแก้ไขตามหลักเทคโนโลยีสะอาด

ประเด็นปัญหาต่างๆ หลังจากทำการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาต่างๆ ภายในคลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลท่าชะแอมแล้ว จึงทำการนำเสนอแนวทางปฏิบัติและแนวทางแก้ไขตามแนวทางของเทคโนโลยีสะอาด เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและการประกอบกิจกรรมต่างๆ ภายในคลินิก ให้มีการใช้วัตถุดิบและทรัพยากรต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุด โดยเน้นไปที่การจัดการและการปรับปรุงในประเด็นปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุด จากผลการจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหาต่างๆ ที่ได้จากการประเมินจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนได้ร่วมกันแสดงความคิดเห็น และทำการประเมินร่วมกันกับผู้วิจัย หลังจากที่มีการประยุกต์ใช้แนวทางตามหลักเทคโนโลยีสะอาดแล้ว นำข้อมูลมาเปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียที่ลดลง คำนวณมูลค่าความประหยัด และระยะเวลาคืนทุนตามลำดับ

2.4 ประเมินผลและวิเคราะห์ข้อสรุป

นำผลการประเมินแต่ละข้อเสนอกับที่เลือกจะดำเนินการ มาวิเคราะห์หาข้อสรุปการเลือกนำข้อเสนอมานำเป็นแนวทางในการปฏิบัติที่ดีในการเพิ่ม

ประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่เฉพาะของคลินิกแพทย์แผนไทย ให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ข้อมูลสถานที่ตั้งและพนักงาน

คลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลท่าชะ ช่างขึ้นเป็นอาคารคอนกรีตชั้นเดียวขนาด 12x20 เมตร (2,400 ตารางเมตร) ภายในอาคารประกอบด้วยห้องต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตยาสมุนไพร จำนวน 15 ห้อง โดยมีพนักงานผู้ปฏิบัติงานทั้งสิ้น 7 คน ซึ่งปฏิบัติงานตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. แบ่งการทำงานเป็นเวร มีช่วงเวรเช้า (8.00 – 17.00) และเวรบ่าย (17.30 – 20.00) โดยแต่ละผู้ปฏิบัติงานมีหน้าที่รับผิดชอบประจำแผนก ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานของพนักงานโดยการสอบถามจากพนักงานโดยตรง และดูเอกสารแฟ้มข้อมูลประจำตัว รวมถึงสอบถามจากหัวหน้างาน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของพนักงานร่วมกับการประสานงานเก็บผลข้อมูลวิจัย และการสังเกตระหว่างพนักงานปฏิบัติงานพบว่าวุฒิการศึกษา และอายุการทำงานมีผลต่อการปฏิบัติงาน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผู้ที่มีวุฒิการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหรือสูงกว่าสามารถเข้าใจวิธีปฏิบัติงานได้ดีกว่า และสามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมตามคำแนะนำได้ สำหรับอายุการทำงานมีผลต่อการปฏิบัติงานโดยผู้ที่มีอายุงานมากกว่า สามารถแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้ดีและรวดเร็วกว่าผู้ที่มีอายุงานน้อย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียน้อยลง

3.2 กระบวนการผลิตยาและผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแคปซูลและยาธาตุสูตรอบเชย

จากการลงพื้นที่ปฏิบัติงานเพื่อสำรวจกระบวนการผลิตยาขมิ้นชันแคปซูล และสอบถามจากผู้ปฏิบัติงาน ทั้งสภาพแวดล้อมในการทำงาน ลักษณะการทำงานของแต่ละบุคคล ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต และขั้นตอนการปฏิบัติงานพบว่ากระบวนการผลิตมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) การเตรียมวัตถุดิบ ทางคลินิกจะรับซื้อวัตถุดิบจากเกษตรกรเป็นเหง้าขมิ้นชันสด ซึ่งในขั้นตอนนี้พนักงานจะทำการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากเหง้าขมิ้นชัน และตัดแต่งเหง้าขมิ้นชันให้สะดวกในการล้าง
- 2) การล้างเหง้าขมิ้นชันสด นำเหง้าขมิ้นชันสดล้างทำความสะอาด โดยล้างและขัดในตะแกรงให้น้ำไหลผ่าน ดังรูปที่ 1 แล้วใส่ตะแกรงผึ่งลมให้หมาดๆ



รูปที่ 1 การล้างเหง้าขมิ้น

- 3) การย่อยขนาดเหง้าขมิ้นชันสด นำเหง้าขมิ้นชันสดที่ผ่านการล้างทำความสะอาด และผึ่งจนแห้งแล้ว มาเข้าเครื่องหั่นสมุนไพร แล้วใช้กระป๋องรองรับวัตถุดิบ เพื่อนำไปตากในห้องตากวัตถุดิบ
- 4) การตาก ตากขมิ้นชันสดที่หั่นแล้วในห้องตากสมุนไพรที่เป็นกระบือโปร่งแสง โดยใช้พลังงาน

แสงอาทิตย์ ภายในห้องมีการปิดมิดชิดเพื่อป้องกันสัตว์หรือแมลง ระยะเวลาในการตากประมาณ 3 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ

5) การอบขม้นชั้น นำขม้นชั้นที่ตากแห้งแล้ว ใส่ ถาดสแตนเลส ถาดละประมาณ 1 กิโลกรัม แล้ว นำเข้าตู้อบ อุณหภูมิ 50 – 55 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 24 ชั่วโมง

6) การอบขม้นชั้น นำขม้นชั้นที่อบแห้งเรียบร้อยแล้ว มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

7) การร่อนขม้นชั้นเพื่อคัดขนาด นำขม้นชั้นที่ บดละเอียดแล้วมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 มีขนาดรู ตะแกรง 0.8 มิลลิเมตร ส่วนขม้นชั้นที่ขนาดใหญ่ไม่ สามารถผ่านตะแกรงได้นำไปบดซ้ำอีกครั้ง

8) การอบไล่ความชื้น นำผงขม้นชั้นที่ผ่านการ ร่อนใส่ถาดสแตนเลส นำไปอบไล่ความชื้นครั้งที่ 2 เพื่อให้แห้งสนิท ในตู้อบ อุณหภูมิ 50 – 55 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

9) การบรรจุแคปซูล นำผงขม้นชั้นมาบรรจุใส่ แคปซูล ซึ่งบรรจุขม้นชั้นได้ 500 มิลลิกรัม โดยใช้ เครื่องบรรจุแคปซูลแบบกึ่งอัตโนมัติที่ใช้พลังงาน ความคุม สามารถบรรจุแคปซูลได้ครั้งละ 150 แคปซูล ต่อถาด

10) การบรรจุขวด นำขม้นชั้นที่บรรจุแคปซูล เรียบร้อยแล้ว บรรจุลงในขวดพลาสติกทึบแสง โดยใช้ เครื่องนับแคปซูลอัตโนมัติ ยาสמןไพรขม้นชั้นแคปซูล 1 ขวด บรรจุ 70 แคปซูล ปิดฝาให้แน่น ผึ่งด้วย พลาสติกตราโรงพยาบาล และหุ้มด้วยพลาสติกใสโดย ใช้ไดร์เป่าลมร้อน ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปนำไปจัดเก็บ เพื่อเตรียมจำหน่าย

3.3 ปัญหาที่พบและแนวทางการปรับปรุงเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิต

หลังจากที่ผู้วิจัยได้รวบรวมผลการปฏิบัติงาน และ ระยะเวลาการผลิตยาขม้นชั้นแคปซูลในแต่ละ กระบวนการ เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนย่อยของการผลิต ช่วงใดที่เป็นสาเหตุของการสูญเสีย หลังจากนั้นนำเข้าสู่การลำดับประเด็นการใช้ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องใน ขั้นตอนการผลิตย่อยนั้นๆ ประกอบการจัดลำดับ ความสำคัญในการหาประเด็นการเพิ่มประสิทธิภาพ การผลิตของขั้นตอนย่อยที่คัดเลือก ซึ่งเป็นส่วนที่ เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากรน้ำ ไฟฟ้า วัตถุดิบ และ มลพิษต่างๆ พบว่าจุดรับวัตถุดิบที่นำมาส่ง และ ขั้นตอนการย่อยขนาดวัตถุดิบ มีการสูญเสียวัตถุดิบที่ เกิดความจำเป็น เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นนั้น เกิด จากการที่เกษตรกรนำวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพ (เหง้า ขม้นอ่อนเกินไป, เหง้าขม้นเล็กเกินไปจนเป็นเศษ และ มีดินติดมากเกินไป) มาส่งให้แก่โรงพยาบาล ทำให้ มีการคัดทิ้งเป็นจำนวนมาก สำหรับขั้นตอนการล้าง วัตถุดิบนั้น มีปริมาณการใช้น้ำที่สูงมาก เนื่องจาก ผู้ปฏิบัติงานเปิดน้ำไหลผ่านตลอดระยะเวลาการล้าง ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรน้ำเป็นจำนวนมาก ส่วน ขั้นตอนการอบแห้งสมุนไพรด้วยตู้อบไฟฟ้า และอบผง ยาเพื่อลดความชื้น มีตัวเลขการใช้ทรัพยากรไฟฟ้าที่ สูงมาก ผู้วิจัยพบประเด็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้น จึงได้ มีการจัดประชุมโดยผู้กำกับดูแลการผลิต ซึ่งเป็นเภสัช กรชำนาญการประจำโรงพยาบาลร่วมกับแพทย์แผน ไทยซึ่งเป็นตัวแทนของฝ่ายบริหารในการให้คะแนน เกณฑ์แต่ละหน่วยการผลิตที่จะดำเนินการปรับปรุง ตามแนวทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด (CT-Option) โดยมีผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดมาร่วมการประชุมด้วย

ผลการให้คะแนนและคัดเลือก CT-Option การผลิตขมิ้นชันแคปซูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1) การคัดเลือกขั้นตอนการผลิต(ย่อย)ของกระบวนการผลิตขมิ้นชันแคปซูล เพื่อนำไปสู่การลำดับความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่า มีขั้นตอนการผลิตย่อยที่ทำให้เกิดของเสียและของทิ้งจำนวนมากซึ่งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ โดยใช้เกณฑ์ในการเลือกคือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ปริมาณ/ความเป็นพิษ) การลงทุน โอกาสในการปรับปรุง และความสนใจร่วมมือของผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่เกี่ยวข้อง คือ การอบวัตถุดิบและอบผงยาเป็นขั้นตอนการผลิตย่อยที่มีคะแนนสูงเป็นอันดับหนึ่ง การเพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบมีคะแนนเป็นอันดับที่สอง และการล้างวัตถุดิบมีคะแนนเป็นอันดับสาม

2) การจัดลำดับความสำคัญประเด็นการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียจากขั้นตอนการผลิต นำหน่วยผลิตที่คัดเลือกได้จากข้อ 1) มาจัดลำดับความสำคัญของประเด็นการทำเทคโนโลยีสะอาดพบว่า การใช้ไฟฟ้าเป็นประเด็นที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรก เนื่องจากการผลิตสมุนไพรมีการอบสมุนไพรต้องใช้พลังงานไฟฟ้า อันดับที่สองคือการใช้น้ำ เนื่องจากขั้นตอนย่อยของการผลิตสมุนไพรมีการใช้น้ำในการล้างวัตถุดิบเป็นจำนวนมาก โดยที่น้ำล้างถูกทิ้งไปอย่างเปล่าประโยชน์ และประเด็นสำคัญอื่นๆ ได้แก่ การใช้อุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสม กลิ่น เสีย และมลพิษทางอากาศ

3) การประเมินหาสาเหตุการสูญเสียในขั้นตอนการผลิตย่อยที่ถูกคัดเลือกเป็นประเด็นศึกษา จากข้อ

1) พบว่า ขั้นตอนย่อยบริเวณจุดรับวัตถุดิบ คือ ขมิ้นชัน จากเกษตรกรในพื้นที่ที่มีการสูญเสียวัตถุดิบเนื่องจากเกษตรกรนำวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพมาส่ง เช่น ขมิ้นที่อ่อนหรือแก่จนเกินไป วัตถุดิบบางรุ่นยังอ่อนเกินไปส่งผลให้ตัวยาหรือสารสำคัญเคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoids) ลดลง ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องคัดแยกทิ้งเกิดเป็นของเสียจำนวนมาก อีกทั้งยังมีขมิ้นบางส่วนที่มีขนาดเล็กจนเป็นเศษ ไม่สามารถนำมาผลิตได้ และมีดินติดมาจำนวนมาก เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบ ในขั้นตอนการล้างวัตถุดิบนั้น ผู้ปฏิบัติงานได้นำเหง้าขมิ้นชันมาล้างโดยการขัดบนตะแกรงและเปิดน้ำไหลผ่านตลอดระยะเวลาในการล้าง ทำให้สูญเสียน้ำปริมาณมากโดยเปล่าประโยชน์ สำหรับการอบวัตถุดิบ ผู้ปฏิบัติงานใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง และการอบผงยาใช้เวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งเกินความจำเป็น ทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้า และทำให้ต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากพนักงานมีความรู้ไม่เพียงพอต่อการปฏิบัติงาน

4) การกำหนดทางเลือกทางเทคโนโลยีสะอาด จากข้อมูลผลการศึกษาและข้อมูลในข้อที่ 1) – 3) ได้ทราบสาเหตุของการสูญเสียที่เกิดขึ้นของขั้นตอนการผลิตย่อยที่ควรปรับปรุง คือ การตรวจรับวัตถุดิบ การล้างวัตถุดิบ และการอบวัตถุดิบ จากการสังเกตวิเคราะห์ และศึกษาจากแหล่งความรู้ รวมถึงการแสดงความคิดเห็นจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต จึงนำไปสู่แนวทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาปรับใช้เพื่อนำมาปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการผลิตย่อย รวมถึง

เทคนิคการปฏิบัติที่หน้างานอย่างง่าย ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียวัตถุดิบและการใช้ทรัพยากร สรุปดังตารางที่ 1

5) การคัดเลือกทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด จากการคัดเลือกเทคโนโลยีสะอาดที่สามารถปฏิบัติได้พบว่ารายการที่สามารถทำได้ทันที คือ การเพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบ และการเพิ่มข้อตกลงและให้ความรู้กับเกษตรกร การล้างวัตถุดิบในอ่างล้าง การหาสมมูลของระยะเวลาในการอบวัตถุดิบ และการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการอบผงยาโดยการอบรมผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1 รายการทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด

ขั้นตอนการผลิตย่อย	ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด	เทคนิคเทคโนโลยีสะอาด
การตรวจรับวัตถุดิบ	ปรับวิธีการผลิต	เพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบ เพิ่มข้อตกลงและให้ความรู้เพิ่มเติมแก่เกษตรกร
การล้างวัตถุดิบ	ปรับอุปกรณ์	ล้างวัตถุดิบในอ่างล้าง เพื่อช่วยประหยัดน้ำ
การอบวัตถุดิบ	ปรับวิธีการผลิต	หาสมมูลของระยะเวลาในการอบขม้นั้น
การอบผงยา	ปรับวิธีการผลิต	อบรมผู้ปฏิบัติงานให้ปฏิบัติตามข้อกำหนด

6) การประเมินความเป็นไปได้ของทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดด้านเทคนิค เมื่อนำทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดทุกรายการจากข้อ 5) ถูกลำดับเข้าสู่การประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิค พบว่า จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ทางเลือกทางเทคนิคของประเด็นปัญหาที่สามารถปฏิบัติได้ทันที ได้แก่ การ

เพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบ และการเพิ่มข้อตกลงและให้ความรู้กับเกษตรกร การล้างวัตถุดิบในอ่างล้าง การหาสมมูลของระยะเวลาในการอบวัตถุดิบ และการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการอบผงยาโดยการอบรมผู้ปฏิบัติงาน มีคะแนนความเป็นไปได้ทางเทคนิคเป็น 9, 8, 9 และ 9 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งทุกทางเลือกมีความเป็นไปได้ทางเทคนิคที่จะนำไปประยุกต์ใช้

7) การประเมินความเป็นไปได้ของทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดด้านเศรษฐศาสตร์ เมื่อนำทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดทุกรายการจากข้อ 5) มาทำการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า จากคะแนนเต็ม 6 คะแนน ทางเลือกทางเศรษฐศาสตร์ของประเด็นปัญหาที่สามารถปฏิบัติได้ทันที ได้แก่ การเพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบ และการเพิ่มข้อตกลงและให้ความรู้กับเกษตรกร การล้างวัตถุดิบในอ่างล้าง การหาสมมูลของระยะเวลาในการอบวัตถุดิบ และการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการอบผงยาโดยการอบรมผู้ปฏิบัติงาน มีคะแนนความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เป็น 6, 6, 5 และ 5 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งทุกทางเลือกมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้

8) การประเมินความเป็นไปได้ของทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดด้านสิ่งแวดล้อม เมื่อนำทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดทุกรายการจากข้อ 5) มาทำการประเมินความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม พบว่า จากคะแนนเต็ม 9 คะแนน ทางเลือกทางสิ่งแวดล้อมของประเด็นปัญหาที่สามารถปฏิบัติได้ทันที ได้แก่ การเพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบ และการเพิ่มข้อตกลงและให้ความรู้กับเกษตรกร การล้างวัตถุดิบในอ่างล้าง การหาสมมูลของระยะเวลาในการอบวัตถุดิบ และการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการอบผงยาโดยการอบรม

ผู้ปฏิบัติงาน มีคะแนนความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม เป็น 5, 6, 4 และ 4 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งทุกทางเลือกมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้

9) การคัดเลือกเทคโนโลยีสะอาดที่เหมาะสมเพื่อนำไปปฏิบัติ เมื่อได้ผลการประเมินในด้านต่างๆ จากข้อที่ 6) - 8) แล้วได้ทำการสรุปความเหมาะสมของทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด ซึ่งพบว่า ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดที่สามารถนำมาปฏิบัติได้ทันที คือ การเพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบ และการเพิ่มข้อตกลงและให้ความรู้กับเกษตรกร การล้างวัตถุดิบในอ่างล้าง การหาสมดุลของระยะเวลาในการอบวัตถุดิบ และการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการอบผงยา โดยการอบรมผู้ปฏิบัติงาน

3.4 การประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด (CT-Option) และผลการปฏิบัติ

การประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดและผลการปฏิบัติ จากข้อมูลทีกล่าวมาข้างต้น พบแหล่งกำเนิดและประเด็นปัญหาที่ทำให้เกิดการสูญเสียจากกระบวนการผลิต และแนวทางการแก้ไขดังนี้

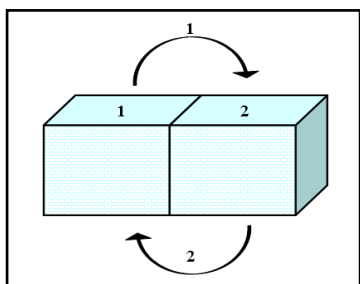
1) การเพิ่มขั้นตอนการตรวจรับวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เกษตรกรนำมาส่งยังไม่ได้คุณภาพ เนื่องจากวัตถุดิบบางรุ่นยังอ่อนเกินไป ส่งผลให้ตัวยาวหรือสารสำคัญเคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoids) ลดลง ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องคัดแยกทิ้งเกิดเป็นของเสียจำนวนมาก และจะทำให้เกิดปัญหาในการผลิตอีกหลายประเด็นดังนี้ คือทำให้ขั้นตอนการหันลำข้าว เนื่องจาก

ในขม้นอ่อนมียางอยู่มาก ทำให้ยางติดใบมีดในเครื่องหัน ผู้ปฏิบัติงานต้องหยุดทำงาน เพื่อขูดยางออกจากเครื่อง และล้างทำความสะอาดเครื่องเพื่อดำเนินการต่อ ทำให้เสียเวลา และน้ำโดยเปล่าประโยชน์ อีกทั้งยังทำให้วัตถุดิบเสียสภาพ ขม้นชั้นบางส่วนที่นำมาส่งนั้นก็มีความเล็กเกินไปจนเป็นเศษไม่สามารถนำมาผลิตได้ และมีดินติดมาก ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการปรับปรุง โดยการเสนอแนะให้แพทย์ประจำคลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลท่าชะนะ เพิ่มข้อตกลงและให้ความรู้เพิ่มเติมแก่เกษตรกร โดยขม้นที่เหมาะสมแก่การนำมาผลิตเป็นยานั้นต้องมีอายุอย่างน้อย 9-12 เดือน และต้องไม่เก็บไว้นานเกินไปด้วย ไม่เช่นนั้นน้ำมันหอมระเหย (Volatile Oil) จะหายหมด ที่สำคัญต้องเก็บไว้ในที่แห้ง แดดด้วยเช่นกัน และห้ามเก็บเกี่ยวในระยะที่ขม้นชั้นเริ่มแตกหน่อ เพราะจะทำให้สารเคอร์คูมินอยด์

ลดลงซึ่งจะทำให้สรรพคุณในการรักษาโรคหายไป [3] สำหรับทางคลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลท่าชะนะนั้น ต้องมีการเพิ่มขั้นตอนในการตรวจรับวัตถุดิบจากเกษตรกร โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เหง้าขม้นชั้นต้องมีสีเหลืองเข้ม จนสีแสดจัด เลือกขม้นชั้นที่แก่ ต้องไม่อ่อนจนเป็นสีขาวมากนัก อีกทั้งยังต้องตรวจสอบขนาดของเหง้าขม้นที่นำมาส่งด้วย จะทำให้ลดปริมาณการเกิดของเสียได้ 1.5 กิโลกรัม/รุ่นการผลิต ลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณ 45 บาท

2) ในขั้นตอนการล้างวัตถุดิบนั้น พนักงานได้นำเหง้าขม้นชั้นมาล้างโดยการขัดบนตะแกรง และเปิดน้ำไหลผ่านตลอดระยะเวลาในการล้าง ทำให้สูญเสียน้ำ

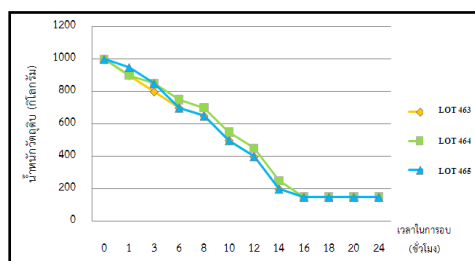
ปริมาณมาก ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการปรับปรุงคือให้ผู้ปฏิบัติงานล้างเหง้าขมิ้นชั้นในอ่างล้าง ซึ่งทางคลินิกจัดเตรียมไว้ โดยแนะนำให้ผู้ปฏิบัติงานแช่ขมิ้นลงในอ่างที่ 1 แล้วใช้แปรงขัดเหง้าขมิ้น เหง้าขมิ้นที่ขัดแล้วใส่ลงในอ่างที่ 2 ทำการล้างอีกครั้ง และหลังจากล้างแล้วให้นำเหง้าขมิ้นไปล้างน้ำขึ้นสุดท้ายในอ่างที่ 1 ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ($1 > 2 > 1$) มีลักษณะดังรูปที่ 2 ทำให้ประหยัดปริมาณการใช้น้ำซึ่งจากเดิมใช้ปริมาณ 2.88 ลูกบาศก์เมตร/รุ่นการผลิต หลังจากปรับปรุงขั้นตอนการล้าง ปริมาณการใช้น้ำลดลงเหลือ 0.576 ลูกบาศก์เมตร/รุ่นการผลิต มูลค่าความประหยัดเท่ากับ 36.86 บาท/รุ่นการผลิต โดยประหยัดได้ 1,326.96 บาท/ปี และทำให้วัตถุดิบมีความสะอาดมากขึ้น



รูปที่ 2 การล้างวัตถุดิบในอ่างล้าง

3) การอบ ผู้ปฏิบัติงานได้ใช้เวลาในการอบวัตถุดิบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงได้ทดลองนำวัตถุดิบมาอบเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 3 รุ่นการผลิต กำหนดช่วงการเก็บข้อมูลที่ระยะเวลา 1, 3, 6, 8, 12, 14, 16, 18, 20 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักของขมิ้นชั้นลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่สมดุลในการอบวัตถุดิบ

ขมิ้นชั้นที่ 16 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมเพียงพอต่อการทำให้ขมิ้นชั้นมีน้ำหนักคงที่ โดยเมื่อเพื่อเวลามากกว่า 16 ชั่วโมง ก็ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักจะลดลงได้อีก (รูปที่ 3) ซึ่งหากลดระยะเวลาจาก 24 ชั่วโมง เป็น 16 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้จาก 54,528 วัตต์/รุ่นการผลิต เป็น 36,352 วัตต์/รุ่นการผลิต สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 2,347.20 บาท/ปี และประหยัดเวลาในการปฏิบัติงานมากกว่า 8 ชั่วโมง



รูปที่ 3 สมดุลเวลาและน้ำหนักคงที่ในการอบวัตถุดิบขมิ้นชั้น

4) การอบผงยาหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบบด และร่อนแล้ว ก่อนนำผงยาไปบรรจุ ผู้ปฏิบัติงานได้นำผงยาไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผู้วิจัยได้อ้างอิงจากเอกสารข้อกำหนดในการผลิตยาของคลินิกแพทย์แผนไทยพบว่า ระยะเวลาที่กำหนดคือ 1 ชั่วโมง จึงได้เสนอแนะให้ผู้ปฏิบัติงาน ปฏิบัติตามข้อกำหนด เพื่อลดระยะเวลาในการปฏิบัติงาน สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้จาก 18,176 วัตต์/รุ่นการผลิต เป็น 2,272 วัตต์/รุ่นการผลิต และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 2,105.28 บาท/ปี

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตยาสมุนไพรของคลินิกแพทย์

แผนไทย โดยใช้หลักเทคโนโลยีสะอาด กรณีศึกษา โรงพยาบาลท่าแซะ จังหวัดชุมพร โดยการตรวจประเมินกระบวนการผลิตเพื่อหาหน่วยการผลิต (ย่อย) ที่มีการสูญเสีย และสาเหตุของการสูญเสีย ตลอดจนเสนอแนะแนววิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้ทรัพยากร และลดปริมาณการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต และนำข้อเสนอแนะที่สามารถปฏิบัติได้ทันทีนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งจากการศึกษาหาสาเหตุของการสูญเสียสรุปผลได้ดังนี้

เกิดการสูญเสียเนื่องจากไม่มีการตรวจรับวัตถุดิบ ทำให้วัตถุดิบที่เกษตรกรนำมาส่งไม่ได้คุณภาพ ทำให้ต้องคัดทิ้งเกิดเป็นของเสียจำนวนมาก หลังจากข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ไข โดยการให้ทางคลินิกแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลท่าแซะ ให้ความรู้และเพิ่มข้อตกลงต่อเกษตรกรแล้ว ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนดังกล่าว มีปริมาณลดลง 1.50 กิโลกรัม/รุ่นการผลิต ประหยัดต้นทุนได้ 1,620 บาท/ปี สำหรับในขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ สูญเสียน้ำปริมาณมาก ผู้วิจัยเสนอแนวทางการปรับปรุงให้พนักงานล้างแห้งน้ำมันชั้นในอ่างล้าง ทำให้สามารถลดปริมาณการปริมาณการใช้น้ำซึ่งจากเดิมใช้ได้ร้อยละ 80 ปริมาณ 2.88 ลูกบาศก์เมตร/รุ่นการผลิต หลังจากปรับปรุงขั้นตอนการล้าง ปริมาณการใช้น้ำลดลงเหลือ 0.576 ลูกบาศก์เมตร/รุ่นการผลิต มูลค่าความประหยัดเท่ากับ 1,326.96 บาท/ปี และทำให้วัตถุดิบมีควมสะอาดมากขึ้น และขั้นตอนการอบ ทดลองนำวัตถุดิบมาอบเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบ พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบ คือ 16 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้จาก 54,528 วัตต์/

รุ่นการผลิต เป็น 36,352 วัตต์/รุ่นการผลิต และการอบผงยา ก่อนนำผงยาไปบรรจุ ผู้ปฏิบัติงานได้นำผงยาไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าเป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยเสนอแนะให้ผู้ปฏิบัติงาน ปฏิบัติตามข้อกำหนด เพื่อลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานเหลือ 1 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้จาก 18,176 วัตต์/รุ่นการผลิต เป็น 2,272 วัตต์/รุ่นการผลิต สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 4,452.48 บาท/ปี และประหยัดเวลาในการปฏิบัติงาน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bureau of Policy and Strategy. Ministry of Health. The Ministry of Public Health Strategic Plan 2009-2012. 2013 [cited 2014 June 24] Available from : URL: <http://bps.ops.moph.go.th>. (In Thai)
- [2] Bureau of Food and Drug Administration. National Drug Policy and the National Drug Strategy. 2011; 1-16. (In Thai)
- [3] Subcommittee on the Establishment of the Thai Herbal Pharmacopoeia. Thai Herbal Pharmacopoeia. Prachachon: Bangkok; 1998.

ข้อแนะนำในการส่งต้นฉบับบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

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

ต้นฉบับบทความ

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

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

โครงสร้างบทความ

เนื้อเรื่องของบทความต้องประกอบด้วยหัวข้อตามลำดับ ดังนี้

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

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)

1.....
2.....
3.....
4.....
5.....
6.....

ชื่อ-นามสกุล ผู้เขียน (ภาษาอังกฤษ)

1.....
2.....
3.....
4.....
5.....
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

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

ระบุเฉพาะชื่อ-นามสกุลผู้เขียน ภาษาไทย (ขนาด 14 จุด)

ระบุเฉพาะชื่อ-นามสกุลผู้เขียน ภาษาอังกฤษ (ขนาด 14 จุด)

ระบุหน่วยงานที่สังกัด ผู้เขียน ภาษาไทย (ขนาด 12 จุด)

ระบุหน่วยงานที่สังกัด ผู้เขียน อังกฤษ (ขนาด 12 จุด)

Received:

Accepted:

บทคัดย่อ

ตัวอย่างการจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับสำหรับตีพิมพ์ในวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ควรปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด บทคัดย่อควรมีเพียงย่อหน้าเดียวที่อธิบายถึง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา และสรุป ไม่ควรเกิน 300 คำ คำหลักที่เป็นภาษาอังกฤษให้ตัวอักษรคำแรกเป็นตัว พยัญชนะ คำในลำดับถัดไปเป็นตัวพิมพ์เล็ก

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

Abstract

This is an instruction for manuscript preparation for Publication KKU 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 ให้ชิดทางกรอบซ้าย 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 จัดชิดบทความชิดทางกรอบซ้าย

3. ชื่อผู้แต่งและสถานที่ติดต่อ

ชื่อผู้แต่งให้พิมพ์ได้ชื่อบทความ จัดชื่อผู้แต่งให้ชิดทางกรอบซ้าย ใช้ตัวอักษรธรรมดาขนาด 14 จุด ในกรณีมีผู้ทำวิจัยหลายท่านจากหน่วยงานต่างกันให้กำกับด้วยก ^{1), 2)} ไว้หลังชื่อ สำหรับ Corresponding ให้ใส่เครื่องหมาย *กำกับไว้ท้ายชื่อ สถานที่ติดต่อให้พิมพ์ที่อยู่หน่วยงาน รหัสไปรษณีย์ ประเทศ พิมพ์ได้ชื่อผู้แต่งใช้ตัวธรรมดาขนาด 12 จุด จัดชิดทางกรอบซ้าย

4. บทคัดย่อ

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

5. คำสำคัญ

บทความแต่ละเรื่องควรมีคำสำคัญ 4-6 คำ เพื่อระบุหัวข้อสำคัญที่กล่าวถึงในบทความ 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 ทุกสมการจะต้องมีวงเล็บวงไว้ขีดขอบขวา 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

ในกรณีที่ป็นตารางจะต้องมีคำบรรยายกำกับตารางไว้เหนือตารางโดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ จาก 1, 2, 3,... ตารางจะต้องกำหนดให้ขีดขอบซ้ายของเอกสาร 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 เพื่อเสนอแนะทางที่จะใช้ประโยชน์หาข้อยุติในการวิจัยบางอย่าง ฯลฯ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลอาจนำมาเขียนไว้ในตอนเดียวกัน

9. สรุป

สรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัยไม่ควรมีความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

10. กิตติกรรมประกาศ

เพื่อเป็นการแสดงความขอบคุณผู้ให้ทุนสนับสนุนสรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัยไม่ควรมีความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

11. เอกสารอ้างอิง

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

ทั้งนี้เพื่อความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของบทความท่านควรใช้เอกสารอ้างอิงจากวารสารที่อยู่ในฐาน 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

เขียนอ้างอิงแบบแนวคูเวอร์ และใส่อ้างอิงใน
ท้ายเรื่องเฉพาะที่มีปรากฏในเนื้อหาบทความหรือ
บทความวิจัยเท่านั้น

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>.

ออกแบบปก : สารีกา หาญพานิชย์



พิมพ์ที่ โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 ถ.มิตรภาพ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ 0-4334-7102 โทรสาร 0-4334-7100 ภายใน 44770
E-mail : kkuprinting@hotmail.com Website : <http://home.kku.ac.th/printingkku/>

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 [] โรงเรียน/หน่วยงานที่บริจาค

ชื่อ.....

ที่อยู่.....

จังหวัด.....

รหัสไปรษณีย์..... **โทรศัพท์**.....

โทรศัพท์มือถือ..... **โทรสาร**.....

E-mail:

พร้อมนี้ได้จ่ายเงินค่าบำรุงสมาชิกรายปีเรียบร้อยแล้ว เป็นเงิน.....บาท

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

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

ผู้สมัคร.....

(.....)

“วารสารFEAT” พิมพ์ปีละ 2 ฉบับ ค่าบำรุงสมาชิกรายปีมีดังนี้

1 ปี 100 บาท

2 ปี 200 บาท

3 ปี 300 บาท