



การประเมินขนาดพื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม

Estimating Water Surface Area of A Reservoir Using Satellite Image Analysis Technique

ธวัชชัย เปาทุ้ย¹, วรารุท วุฒิวนิชย์¹, จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี^{1*}Thawatchai Paothui¹, Varawoot Vudhivanich¹, Chirakarn Sirivitmairie^{1*}¹ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม 73140¹ Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140*Corresponding author: E-mail: fengcrk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาพื้นที่ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยการพัฒนาอัลกอริทึมจากเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกจากภาพถ่ายดาวเทียม Google Earth Pro บริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก จำนวน 3 วัน ประกอบด้วยวันที่ 8 พฤษภาคม 2557, 3 พฤศจิกายน 2560 และ 2 ธันวาคม 2562 วิธีการหาพื้นที่ผิวน้ำดังกล่าว ประกอบด้วย 2 วิธี ได้แก่ การวัดพื้นที่ในโปรแกรม Google Earth Pro และการให้อัลกอริทึมเรียนรู้เชิงลึกแบบวนซ้ำจากการกระจายของสีในภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับใช้เป็นข้อมูลสถิติประกอบการตัดสินใจของอัลกอริทึม ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ 1.การเรียนรู้การตัดแบ่งภาพสีน้ำจริงที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม 2.การจำแนกระหว่างพื้นที่ผิวน้ำและพื้นที่ที่ไม่ใช่ผิวน้ำ 3.การเรียนรู้การคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมของอัลกอริทึม

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างการหาพื้นที่ผิวน้ำทั้ง 2 วิธี กับกราฟโค้งความจุของอ่างเก็บน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก พบว่า วิธีการวัดพื้นที่ในโปรแกรม Google Earth Pro มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.50%, 2.14% และ 1.64% ตามลำดับ ในขณะที่การให้อัลกอริทึมเรียนรู้เชิงลึกแบบวนซ้ำจากการกระจายของสีในภาพถ่ายดาวเทียม มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.78%, 0.38% และ 0.77% ตามลำดับ ดังนั้น การให้อัลกอริทึมเรียนรู้เชิงลึกแบบวนซ้ำจากการกระจายของสีในภาพถ่ายดาวเทียมมีความแม่นยำและถูกต้องมากกว่า ทำให้สามารถต่อยอดได้โดยการนำไปใช้หาพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางหรืออ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ที่ยังไม่มีกราฟโค้งความจุของอ่างเก็บน้ำสำหรับการใช้ในการบริหารอ่างเก็บน้ำต่อไป

คำสำคัญ: พื้นที่ผิวน้ำ, การเรียนรู้เชิงลึก, ภาพถ่ายดาวเทียม, การจำแนกพื้นที่, อ่างเก็บน้ำ

Abstract

The objective of this research is to estimate the water surface area from satellite imagery by developing an algorithm based on deep learning techniques from Google Earth Pro satellite imagery in the reservoir area of Khun Dan Prakarnchon Dam, Nakhon Nayok Province, 3 days, consisting of 8th May 2014, 3rd November 2017, and 2nd December 2019. There are 2 methods for estimating the water surface area: area measurements in Google Earth Pro, and a deep learning algorithm recursively learns from the dispersion of colors in satellite imagery to provide statistical data for the algorithm's decision-making which consists of 3 important steps; 1) Learning the actual color segmentation of water surface obtained from satellite images, 2) Classifying between water surface and non-water surface area, and 3) Learning to estimate the water surface area from the satellite image.

Received: March 14, 2022

Revised: June 03, 2022

Accepted: June 7, 2022

Available online: July 1, 2022

From the results of the comparison between these two methods of estimating water surface area and the reservoir capacity curve of the Khun Dan Prakan Chon Dam, Nakhon Nayok Province, found that the area measurement in Google Earth Pro has percentage aberrations of 6.50%, 2.14%, and 1.64%, respectively, while the deep learning algorithm recursively learns from the dispersion of colors in satellite imagery has 0.78%, 0.38% and 0.77%, respectively. Therefore, algorithm for dispersion of the color data to estimate the water surface area has more accuracy and precision. This can be further enhanced by using it to estimate the surface area of medium-sized and small reservoirs which there reservoir capacity curve has not yet been generated for further management.

Keywords: Water Surface Area, Deep Learning, Satellite Image, Land classifications, Reservoir

1 บทนำ

การเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อความผันแปรของปริมาณน้ำในหลายพื้นที่ของประเทศไทย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีความพยายามในการสร้างแหล่งน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่สำหรับใช้ในการเกษตรกรรมเพื่อรองรับกับสถานการณ์ความผันแปรของปริมาณน้ำในแต่ละพื้นที่ แต่มีข้อจำกัดทางด้านภูมิศาสตร์และสิ่งแวดล้อม จึงมีผลทำให้การสร้างแหล่งน้ำทั้งขนาดกลางและขนาดใหญ่ทำได้ยาก ดังนั้นการบำรุงรักษาและการบริหารจัดการแหล่งน้ำขนาดเล็กที่มีอยู่แล้วในปัจจุบันให้มีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (ธารารัตน์ และคณะ, 2565)

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม เริ่มเข้ามามีบทบาทในการวางแผน การบริหารจัดการทรัพยากร ให้สามารถจัดสรรและควบคุมได้ง่าย ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยที่นิยมใช้ประกอบด้วย ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT, Japanese Earth Resource Satellite (JERS-1) และ Google Earth มาประสานกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียม เช่น การจำแนกสิ่งปกคลุมดินจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT (สิทธา และคณะ, 2560) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม JERS-1 (สมหญิง และยุทธพงษ์, 2542) และการสำรวจพื้นที่เตรียมแปลงเพื่อการเกษตรอย่างรวดเร็วจากภาพถ่ายกูเกิ้ลเอิร์ธ (ธนพล และคณะ, 2559) เพื่อนำมาจำแนกเป็นสิ่งก่อสร้าง พืชทางการเกษตร พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชน รวมทั้งแหล่งน้ำ โดยใช้วิธีการจำแนกเชิงจุดภาพ (Pixel-based) ซึ่งการจำแนกแบบนี้อาศัยหลักการทางสถิติที่พิจารณาค่าการสะท้อนของจุดภาพที่มีคุณลักษณะทางสถิติต่างๆที่ใกล้เคียงกัน (โสภณวิษณุ, 2555) โดยงานวิจัยนี้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้เป็นภาพถ่ายแหล่งน้ำ แบบต่างๆ จากกูเกิ้ลเอิร์ธ มาเป็นข้อมูลพื้นที่แหล่งน้ำในการศึกษา ซึ่งภาพที่ได้จากกูเกิ้ลเอิร์ธ จะเป็นแผนที่ที่เกิดจากภาพถ่ายจากหลายแหล่งข้อมูล ทั้งภาพถ่ายทางอากาศ และภาพจากดาวเทียม

ผสมผสานและนำเสนอผ่านเทคโนโลยี Streaming พร้อมเชื่อมโยงข้อมูลในมิติต่าง ๆ มาซ้อนทับภาพถ่าย ซึ่งแต่ละชั้น (layer) ก็จะแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของภาพ (จุฑาศินี และคณะ, 2558)

การทดลองใช้ค่าดัชนี NDWI ในการจำแนกพื้นที่ผิวน้ำออกจากภาพถ่ายดาวเทียม (ธารารัตน์ และคณะ, 2565) ทำให้การคำนวณปริมาตรน้ำของแต่ละแหล่งน้ำมีความใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่เก็บกักจริง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อระดับความลึกของแหล่งน้ำลดลง มีผลทำให้ลักษณะรูปร่างและขอบเขตของพื้นที่ผิวน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน บ้างก็ต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ขนาดพื้นที่ของผิวน้ำเปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างมากในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อให้ได้ค่าพื้นที่ผิวน้ำที่แท้จริง ผู้วิจัยเล็งเห็นว่า การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence (AI)) ที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีลักษณะหลายชั้นของข้อมูลได้ (Jeffcock, 2019) เพื่อเข้ามาช่วยในการตัดสินใจจากข้อมูลทางสถิติอย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งมีการทำงานคล้ายกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Kelleher, 2019) และภาพแต่ละชนิดก็มีผลทำให้ค่าการกระจายตัวของสีและคุณสมบัติการสะท้อนเชิงคลื่นของวัตถุแต่ละชนิดที่มีค่าเฉพาะตัว (Lillesand et al., 2015) ที่แตกต่างกันไป

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาอัลกอริทึมจากเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) โดยใช้การเรียนรู้ที่เป็นข้อมูลทางสถิติที่ได้ป้อนให้กับอัลกอริทึมได้เรียนรู้แบบวนซ้ำจากการกระจายของสี เพื่อใช้ในการเข้ามาช่วยในการตัดสินใจแทนสายตามนุษย์ และพื้นที่ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม คือ บริเวณเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำ

การทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำ ด้วยวิธีการใช้ตารางความคลาดเคลื่อน (Error Matrix) (Congalton, 1991) ตาม Table 1 แสดงการคำนวณความแม่นยำของการจำแนกประเภทข้อมูลได้ 3 รูปแบบ (Michel and Colette, 2003) ประกอบด้วย

1. ความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) เป็นการแสดงความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลที่มีความสอดคล้องตรงกันระหว่างจุดตรวจสอบกับข้อมูลอ้างอิงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของจุดตรวจสอบทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงลักษณะของความผิดพลาด

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^k X_{ii}}{N} \quad (1)$$

2. ความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกขาดหายไป (Omission Error, OE_i) เป็น อัตราส่วนของจำนวนจุดภาพที่อัลกอริทึมไม่ได้จำแนกเข้ากลุ่มต่อจำนวนจุดภาพทั้งหมดของชั้นข้อมูลที่นำมาทดสอบ หรือจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องของชั้นข้อมูลหนึ่ง ๆ หาด้วยผลรวมจำนวนจุดภาพตามแนวนอนในตาราง

$$OE_i = \left(1 - \frac{X_{ii}}{N_i}\right) \times 100 \quad (2)$$

3. ความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกเกินมา (Commission Error, CE_j) เป็นอัตราส่วนของจำนวนจุดภาพจากข้อมูลที่นำมาทดสอบต่อจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องทั้งหมดของชั้นข้อมูลนั้น

$$CE_j = \left(1 - \frac{X_{jj}}{M_j}\right) \times 100 \quad (3)$$

Table 1 Error Matrix

	Classified as				Row Total
	Unit 1	Unit 2	...	Unit k	
Unit 1	X ₁₁	X ₁₂	...	X _{1k}	N ₁
Unit 2	X ₂₁	X ₂₂	...	X _{2k}	N ₂
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Unit k	X _{k1}	X _{k2}	...	X _{kk}	N _k
Column Total	M ₁	M ₂	...	M _k	N

โดย OE_i คือ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกในแถว i

CE_j คือ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกเกินมาในคอลัมน์ j

N คือ จำนวนจุดตัวอย่างทั้งหมดที่ทำให้การจำแนก

K คือ จำนวนประเภทของการจำแนก

X_{ii} คือ จำนวนจุดภาพในแถว i และคอลัมน์ i

N_i คือ ผลรวมจำนวนจุดภาพในแถว i

X_{jj} คือ จำนวนจุดภาพในแถว j และคอลัมน์ j

M_j คือ ผลรวมจำนวนจุดภาพในคอลัมน์ j

2.2 ข้อมูลสำหรับภาพถ่ายดาวเทียมจากกูเกิ้ลเอิร์ธโปร

บริเวณพื้นที่เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก จำนวน 3 วัน ประกอบด้วยวันที่ 8 พฤษภาคม 2557, 3 พฤศจิกายน 2560 และ 2 ธันวาคม 2562

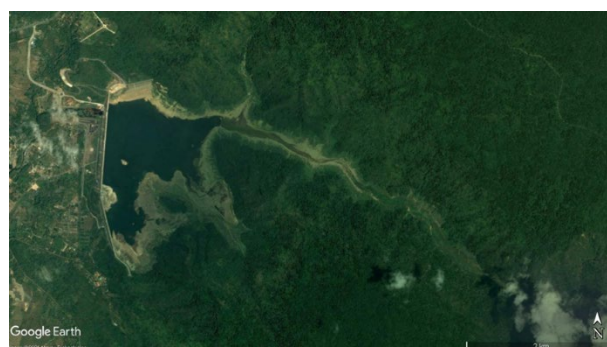


Figure 1 Khun Dan Prakan Chon Dam on 8 May 2014



Figure 2 Khun Dan Prakan Chon Dam on 3 November 2017



Figure 3 Khun Dan Prakan Chon Dam on 2 December 2019

2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระดับน้ำ-ปริมาตรน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชลปราชล จังหวัดนครนายก

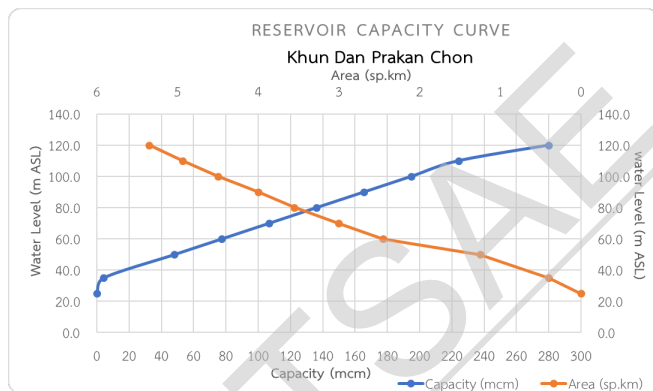


Figure 4 Reservoir Capacity Curve of Khun Dan Prakan Chon Dam

สามารถหาความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างพื้นที่ผิวน้ำกับปริมาณน้ำ โดยใช้ข้อมูลรายงานสถานการณ์น้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล มาใช้ในการหาพื้นที่ผิวน้ำจำนวน 3 วัน คือ วันที่ 8 พฤษภาคม 2557, 3 พฤศจิกายน 2560 และ 2 ธันวาคม 2562 โดยมีพื้นที่ผิวน้ำ 1.495 ล้านตารางเมตร, 4.951 ล้านตารางเมตร และ 4.639 ล้านตารางเมตร ตามลำดับ

2.4 การลากเส้นด้วยโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโปร เพื่อหาพื้นที่ผิวน้ำบริเวณพื้นที่เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายกจำนวน 3 วัน ประกอบด้วยวันที่ 8 พฤษภาคม 2557, 3 พฤศจิกายน 2560 และ 2 ธันวาคม 2562



Figure 5 Surface Area on 8 May 2014

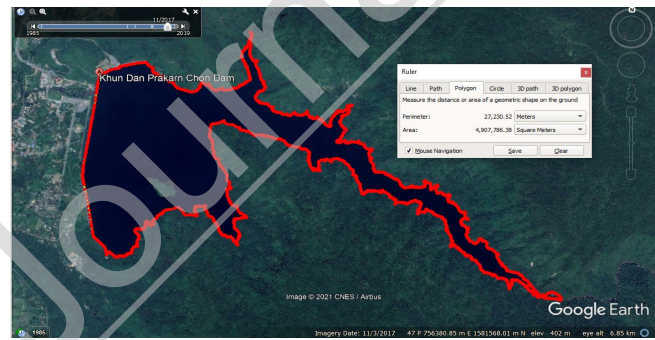


Figure 6 Surface Area on 3 November 2017



Figure 7 Surface Area on 2 December 2019

จากการลากเส้นด้วยโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโปร เพื่อหาพื้นที่ผิวน้ำจำนวน 3 วัน ประกอบด้วยวันที่ 8 พฤษภาคม 2557, 3 พฤศจิกายน 2560 และ 2 ธันวาคม 2562 โดยทำซ้ำวันละ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่ผิวน้ำเท่ากับ 1.592 ล้านตารางเมตร, 4.8445 ล้านตารางเมตร และ 4.7153 ล้านตารางเมตร ตามลำดับ

2.5 การเรียนรู้การตัดแบ่งภาพของอัลกอริทึม

การตัดภาพในการทดสอบนี้จะใช้ขนาด 100 x 100 พิกเซล โดยวิธีการตัดภาพ ดังแสดงตาม Figure 8 ซึ่งให้จุดอ้างอิงจาก มุม

บนซ้ายของภาพเป็นจุด ($X=0, Y=0$) กำหนดค่าให้ $X=100$ พิกเซล และ $Y=100$ พิกเซล เป็นค่าเริ่มต้นของการตัดภาพ และเพิ่มค่า X ครั้งละ 100 พิกเซล จนครบในแนวนอน X แล้วให้กลับมาเริ่มต้นใหม่โดยที่เพิ่ม Y อีก 100 พิกเซล จะได้จุดเริ่มต้นในการตัดแถวถัดไปเป็น ($X=100, Y=200$) เพิ่มค่า X ครั้งละ 100 พิกเซล จนครบในแนวนอน X ทำวนซ้ำไปจนกว่าจะครบทั้งภาพ

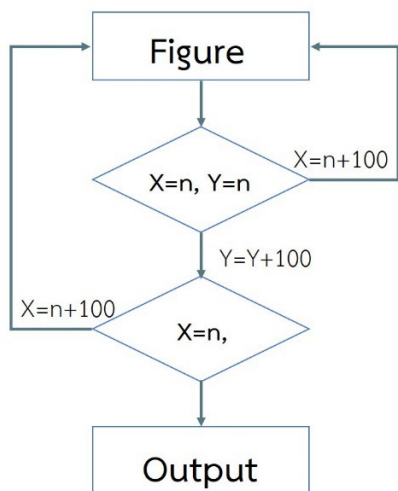


Figure 8 Learning algorithm to segment the images

การเก็บภาพสำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการเรียนรู้ของอัลกอริทึมเป็นภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งมีขนาด 100×100 พิกเซล จำนวน 26,288 ภาพ โดยแบ่งภาพออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มที่ 1 พื้นที่ผิวน้ำ จำนวน 10,105 ภาพ และกลุ่มที่ 2 พื้นที่ที่ไม่ใช่ผิวน้ำ จำนวน 16,183 ภาพ

2.6 การเรียนรู้การแยกพื้นที่ผิวน้ำของอัลกอริทึม

การเรียนรู้ของอัลกอริทึมได้พัฒนามาจากการประมวลผลภาพถ่าย โดยจำแนกภาพวิธีการเรียนออกเป็น 2 ขั้นตอนดังแสดงตาม Figure 9 คือ 1. การแยกพื้นที่ผิวน้ำ (Water Surface Area) และพื้นที่ที่ไม่ใช่ผิวน้ำ (Non-Water Surface Area) ใช้การประมวลผลภาพด้วยสายตา และ 2. การเรียนรู้ของอัลกอริทึม (Training) เป็นการใส่ข้อมูลให้อัลกอริทึมได้เรียนรู้ลักษณะของภาพ ทั้งลักษณะของสี การกระจายตัวของสีในแต่ละภาพ เพื่อนำมาแยกความแตกต่างของภาพทั้ง 2 กลุ่ม

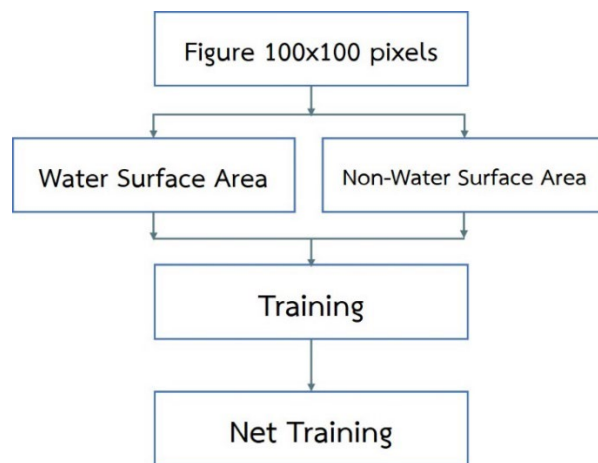


Figure 9 Learning process of algorithm

เมื่ออัลกอริทึมทำการเรียนรู้การแยกลักษณะของภาพที่เป็นพื้นที่ผิวน้ำและพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่ผิวน้ำแล้ว จะนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโปร ขนาด $1,280 \times 720$ พิกเซลของเขื่อนขุนด่านปราการชล อัลกอริทึมจะทำการตัดภาพให้มีขนาด 100×100 พิกเซล หลังจากนั้นใช้อัลกอริทึม Net Training ทำการแยกกลุ่มของภาพ เพื่อนำไปใช้ในการหาพื้นที่ผิวน้ำ ดังแสดงตาม Figure 10

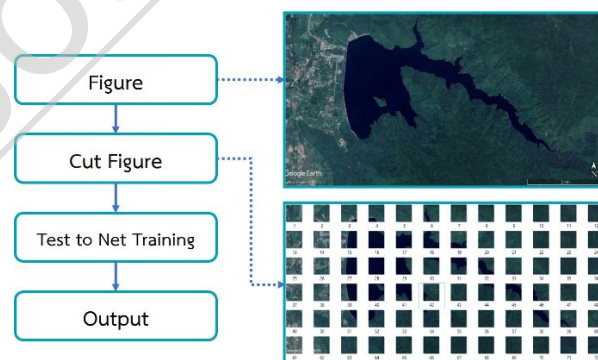


Figure 10 Algorithm process to identify water surface area

2.7 การเรียนรู้การคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมของอัลกอริทึม

หลังจากการอัลกอริทึมตัดภาพให้มีขนาด 100×100 พิกเซล และการเรียนรู้ของอัลกอริทึมสามารถแยกจนพบภาพที่เป็นพื้นที่น้ำทั้งภาพ จะเข้ากระบวนการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำ ดังแสดงตาม Figure 11

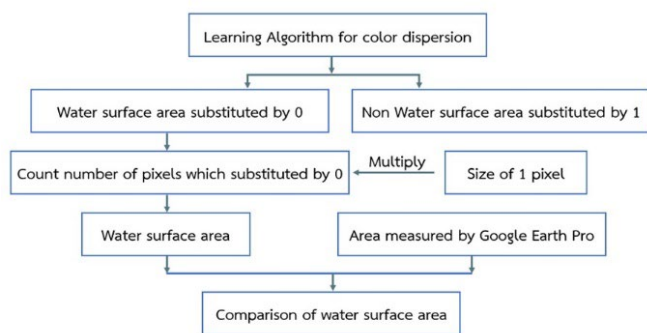


Figure 11 Procedure for calculating the water surface area from satellite images

1. พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการกระจายตัวของข้อมูลสี เพื่อใช้ในการหาพื้นที่น้ำจากค่าตัวเลขและตำแหน่งที่ติดกัน แล้วแปลงภาพที่ได้ออกมาเป็นสีและตัวเลขที่กำหนด ดังนี้ สีขาว คือภาพที่เป็นพื้นที่ผิวน้ำ และให้แทนด้วยเลข 0 ส่วนสีดำ คือภาพที่ไม่ใช่พื้นที่ผิวน้ำ โดยให้แทนด้วยเลข 1
2. ดำเนินการเชื่อมภาพสีขาวในระดับพิกเซลเข้าด้วยกัน และเพิ่มความชัดของภาพและให้อัลกอริทึมนับจำนวนพิกเซลที่เป็นเลข 0 ในภาพ
3. ดำเนินการหาขนาดพื้นที่ 1 พิกเซล จากมาตราส่วนของภาพ
4. นำพื้นที่ขนาด 1 พิกเซลที่คำนวณได้มาคูณกับจำนวนพิกเซลที่อัลกอริทึมนับได้ จะออกมาเป็นค่าพื้นที่ผิวน้ำที่อัลกอริทึมคำนวณได้ มีหน่วย ตารางเมตร
5. เปรียบเทียบการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำ จากการพัฒนาอัลกอริทึมจากเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก กับการหาค่าจาก กราฟ

Table 2 Error analysis from training

	Classified as		Total	Omission Error (%)
	Water Surface Area	Non- Water Surface Area		
Water Surface Area	10,099	6	10,105	0.060
Non- Water Surface Area	229	15,954	16,183	1.415
Total	10,328	15,960	26,288	
Commission Error (%)	2.217	0.038		
Overall Classification Accuracy (%)				99.106

3.2 ผลการเรียนรู้ของอัลกอริทึมสำหรับการหาพื้นที่ผิวน้ำ

การทำงานของอัลกอริทึมเพื่อหาพื้นที่ผิวน้ำ ดังแสดงใน Figure 10 โดยการนำเข้าภาพถ่ายที่ได้จากโปรแกรมกูเกิ้ล เอิร์ธโปร ของเขื่อนขุนด่านปราการชล ณ วันที่ 3 พฤศจิกายน 2560

แสดงความสัมพันธ์ ระดับน้ำ-ปริมาตรน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ และการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดด้วยโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโปร โดยการทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำ ด้วยวิธีการใช้ตารางความคลาดเคลื่อน (Error Matrix)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการเรียนรู้การแยกพื้นที่ผิวน้ำของอัลกอริทึม

การทดสอบสำหรับภาพจำนวน 26,288 ภาพ เพื่อทำการเรียนรู้การแยกลักษณะของภาพที่เป็นพื้นที่ผิวน้ำและพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่ผิวน้ำ ใช้เวลาในการเรียนรู้ของอัลกอริทึมทั้งสิ้น 10 ชั่วโมง 44 นาที 36 วินาที ผลลัพธ์ที่ได้คือ Net Training เป็นลักษณะชุดข้อมูลที่เอาไปใช้ในการจำแนกภาพ โดยที่ผู้ทดสอบไม่ต้องมาทำการ Training ใหม่ทุกครั้งที่ใช้ในงาน จะทำให้ประหยัดเวลา

โดยมีค่าความถูกต้องและความแม่นยำเท่ากับ 99.106% ดังแสดงตาม Table 2 ส่วนความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกขาดหายไป (Omission Error) ของพื้นที่ผิวน้ำและพื้นที่ที่ไม่ใช่ผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.060% และ 1.415% ตามลำดับ และมีค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกเกินมา (Commission Error) ของพื้นที่ทั้งสอง มีค่าเท่ากับ 2.217% และ 0.038% ตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัยเล็งเห็นว่าควรเพิ่มจำนวนลักษณะภาพของพื้นที่ที่ไม่ใช่ผิวน้ำให้มีความหลากหลายและจำนวนที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้อัลกอริทึมได้เรียนรู้และเก็บข้อมูลสำหรับการประมวลผลที่มีความแม่นยำสูงขึ้น

เป็นภาพตัวอย่าง มาตัดให้มีขนาด 100 x 100 พิกเซล ซึ่งจะได้อภาพจำนวนทั้งสิ้น 72 ภาพ

ผลที่ได้จากการทำงานของอัลกอริทึม เพื่อหาพื้นที่ผิวน้ำ ดังแสดงตาม Table 3 ซึ่งมีค่าความถูกต้องรวม (Overall Accuracy) เท่ากับ 97.222% ผลการจำแนกมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดีควรมีค่า Overall Accuracy สูงกว่า 80% (สิทธา และคณะ, 2560)

ส่วนความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกขาดหายไป (Omission Error) ของพื้นที่ผิวน้ำและพื้นที่ที่ไม่ใช่ผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.000% และ 2.817% ตามลำดับ และมีค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกเกินมา (Commission Error) ของพื้นที่ทั้งสอง มีค่าเท่ากับ 66.667% และ 0.000% ตามลำดับ ซึ่งภาพที่จำแนกเกินมาในส่วนของพื้นที่น้ำ เนื่องจากลักษณะการกระจาย

ตัวของสีความคล้ายคลึงกับพื้นที่ผิวน้ำมากกว่า ซึ่งทำให้การจำแนกเกิดความผิดพลาด และการที่ค่า Commission Error ของพื้นที่น้ำสูง เนื่องจากจำนวนภาพพื้นที่ผิวน้ำตัวอย่างที่ถูกต้องมีจำนวนภาพเดียว ซึ่งมีจำนวนภาพพื้นที่ผิวน้ำน้อยเกินไป ดังนั้นขนาดพิกเซลที่ใช้ในการตัดภาพสำหรับการเรียนรู้ของอัลกอริทึมส่งผลต่อการจำแนกลักษณะภาพ

Table 3 Error analysis from testing

	Classified as		Total	Omission Error (%)
	Water Surface Area	Non- Water Surface Area		
Water Surface Area	1	0	1	0.000
Non- Water Surface Area	2	69	71	2.817
Total	3	69	72	
Commission Error (%)	66.667	0.000		
Overall Classification Accuracy (%)				97.222

3.3 ผลการเรียนรู้การคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมของอัลกอริทึม

การวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมของวันที่ 8 พฤษภาคม 2557 สามารถนับจำนวนพิกเซลที่เป็นพื้นที่ผิวน้ำได้จำนวน 37,025 pixels คิดเป็น 1.483 ล้านตารางเมตรแสดงตาม Figure 11



Figure 11 Image derived from color dispersion on 8 May 2014

เปรียบเทียบการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระดับน้ำ-ปริมาตรน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ กับการพัฒนาอัลกอริทึมจากเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก และการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดด้วยโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโปร มีค่าผิดพลาดเท่ากับ 0.783 และ 6.496 ตามลำดับ ดังแสดงตาม Table 4

Table 4 Water surface area calculation method on 8 May 2014

Comparison of water surface area calculation	Water surface area (million square meters)	Error (%)
Reservoir area - capacity	1.495	
Surface Area by Google Earth Pro	1.591	6.496
Analysis of algorithm for dispersion of the color data	1.483	0.783

การวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมของ 3 พฤศจิกายน 2560 สามารถนับจำนวนพิกเซลที่เป็นพื้นที่ผิวน้ำได้จำนวน 118,484 pixels คิดเป็น 4.932 ล้านตารางเมตร แสดงตาม Figure 12

เปรียบเทียบการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระดับน้ำ-ปริมาตรน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ กับการพัฒนาอัลกอริทึมจากเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก และการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดด้วยโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโปร มีค่าผิดพลาดเท่ากับ 0.380 และ 2.141 ตามลำดับ ดังแสดงตาม Table 5



Figure 12 Image derived from color dispersion on 3 November 2017

Table 5 Water surface area calculation method on 3 November 2017

Comparison of water surface area calculation	Water surface area (million square meters)	Error (%)
Reservoir area - capacity	4.951	
Surface Area by Google Earth Pro	4.845	2.141
Analysis of algorithm for dispersion of the color data	4.932	0.380

การวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมของ 2 ธันวาคม 2562 สามารถนับจำนวนพิกเซลที่เป็นพื้นที่ผิวน้ำได้จำนวน 113,622 pixels คิดเป็น 4.639 ล้านตารางเมตร แสดงตาม Figure 13



Figure 13 Image derived from color dispersion on 2 December 2019

เปรียบเทียบการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระดับน้ำ-ปริมาตรน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ กับการพัฒนาอัลกอริทึมจากเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก และการหาค่าเฉลี่ย

จากการวัดด้วยโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโพร มีค่าผิดพลาดเท่ากับ 0.767 และ 1.642 ตามลำดับ ดังแสดงตาม Table 6

Table 6 Water surface area calculation method on 2 December 2019

Comparison of water surface area calculation	Water surface area (million square meters)	Error (%)
Reservoir area - capacity	4.639	
Surface Area by Google Earth Pro	4.715	1.642
Analysis of algorithm for dispersion of the color data	4.604	0.767

การหาพื้นที่ผิวน้ำของอัลกอริทึมจากเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการกระจายตัวของข้อมูลสี ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่ขอบน้ำ เช่น มีพืชน้ำมาปกคลุมหนาแน่นอาจจะทำให้มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีกลุ่มเมฆบดบังหรือมีบางส่วนอยู่ในอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งความลึกของแหล่งน้ำ หากแหล่งน้ำนั้นมีความลึกและความลาดชันสูง และพื้นที่ผิวน้ำน้อย ถึงคำนวณค่าผิดพลาดออกมาได้ต่ำ แต่ยังคงส่งผลทำให้พื้นที่ผิวน้ำที่นำไปคำนวณปริมาณน้ำออกมามีความผิดพลาดสูง ผู้วิจัยวางแผนศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เช่น ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ที่เข้ามาช่วยในการคำนวณปริมาณน้ำให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น รวมทั้งการพัฒนาอัลกอริทึมจากเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึกให้สามารถวิเคราะห์กรณีที่มีกลุ่มเมฆบดบังหรือมีบางส่วนอยู่ในอ่างเก็บน้ำ

4 สรุป

จากผลการหาพื้นที่ผิวน้ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก จำนวน 3 วัน ประกอบด้วยวันที่ 8 พฤษภาคม 2557, 3 พฤศจิกายน 2560 และ 2 ธันวาคม 2562 อัลกอริทึมจากเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการกระจายตัวของข้อมูลสี เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระดับน้ำ-ปริมาตรน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ พบว่า มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดด้วยโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโพร และเมื่อดูระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำด้วยอัลกอริทึมจากการกระจายตัวของข้อมูล

สื่อกับการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดด้วยโปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธโปร ใช้เวลาในการคำนวณประมาณ 1 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ อีกทั้งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการศึกษานั้นยังเป็นรอบดาวเทียมที่เป็นภาพที่ย้อนหลังจึงทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบัน หากต้องการทราบข้อมูลผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำในขณะนั้น แต่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้หาพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง หรืออ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ที่ไม่มีการจัดทำโค้งความจุของอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความสนับสนุนจากห้องปฏิบัติการวิจัย วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ในการให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่จำเป็นในการวิจัย และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่ให้การสนับสนุนและคำปรึกษาตลอดการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

จุฑาศินี ธัญประณีตกุล, รัชพล สัมพุทธานนท์ และ พรชัย ตระกูลวรานนท์. 2558. การประยุกต์ใช้โปรแกรมกูเกิ้ลเอิร์ธเพื่อการแผ้วถางภัยพิบัติ : กรณีตัวอย่างน้ำท่วมในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ปี พ.ศ.2554. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (23), 398 - 417.

ธนพล พลภักดี, จิระกานต์ ศิริวิชัยโมไตร และ วราวุธ วุฒิชัย. 2559. การสำรวจพื้นที่เตรียมแปลงเพื่อการเกษตรอย่างรวดเร็วจากภาพถ่ายกูเกิ้ลเอิร์ธ, น. 94-112. ในรายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

ธารารัตน์ พวงสุวรรณ, อุไรวรรณ บัวตุม, ไพฑูรย์ ศรีนิล,และ สมิตร์ คุณเจตน์. 2565. การพัฒนาสารสนเทศภูมิศาสตร์ของแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรสำหรับจังหวัดจันทบุรีด้วยภาพถ่ายดาวเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง 31(1) (มกราคม-มิถุนายน 2565), 57-72.

สมหญิง พรหมเจริญ และ ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี. 2542. การจำแนกประเภทข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม JERS-1 ระบบ OPS โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37

ประจำปี 2542, 271-277. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 3-5 กุมภาพันธ์ 2542, บางเขน, กรุงเทพมหานคร.

ลิตา ยอดเจริญ, ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์, ยุทธนา พันธุ์กุลศิลป์ และ เอกสิทธิ์ โสมิตสกุลชัย. 2560. การจำแนกสิ่งปกคลุมดินจากภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ด้วยวิธี Decision Tree. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 18 และนานาชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2560, 192-197. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 7-9 กันยายน 2560, กรุงเทพมหานคร.

โสภณวิชัย คำพิลัง. 2555. การประเมินความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT ด้วยการเปรียบเทียบกฎในการตัดสินใจแบบ Maximum Likelihood Ratio และ Parallelepiped Classifier. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (4), 401-407.

Congalton, R.G., 1991. A Review of Assessment the Accuracy of Classification of Remotely Sensing Data. Remote Sensing of Environment 37, 35-46.

Jeffcock, P., 2019. What's the difference between AI, machine learning, and deep learning. n.p.

Jiang, W.G., Long, T., Ni, Y. 2018. Detecting Water Bodies in Landsat8 Oli Image Using Deep Learning. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-3, 669-672.

Kelleher, J.D. 2019. Deep learning: MIT press. n.p.

Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J. 2015. Remote sensing and image interpretation (John Wiley & Sons). n.p.

Michel, C.G., Colette, M.G. 2003. Processing of Remote Sensing Data. Paris: Balkema.



การศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินแบบระบบสระน้ำในพื้นที่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร จังหวัดนครพนม

Feasibility Study on Management Aquifer the Agricultural Research and Training Center Nakhon Phanom Province

วราเดช แสงบุญ^{1*}

Waradet Sangbun^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม , จังหวัดนครพนม, รหัสไปรษณีย์ 48000

¹ Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province, Zip code 48000

* Corresponding author: Tel: +66-8-18815013, E-mail: waradeathsanboom@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการทดลองการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินแบบระบบสระน้ำในพื้นที่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร จังหวัดนครพนม จากผลการทดสอบค่าการซึมผ่านของน้ำ (infiltration) ด้วยวิธีการทดสอบแบบ double ring test โดยใช้สมการของ Horton (Horton, 1841) ในฤดูร้อนค่าสูงสุดอยู่ที่สถานี Inf03 พิกัด X คือ 464697E พิกัด Y คือ 1930908N ค่าการซึมผ่านของน้ำอยู่ที่ 4776.00 mm day-1 ค่าต่ำสุดอยู่ที่สถานี Inf11 พิกัด X คือ 464750E พิกัด Y คือ 1931119N มีค่า 5.00 mm day-1 ในฤดูฝนค่าสูงสุดอยู่ที่สถานี Inf01 พิกัด X คือ 464536E พิกัด Y คือ 1930931N มีค่า 46.2 mm day-1 ค่าต่ำสุดอยู่ที่สถานี Inf17 พิกัด X คือ 464999E พิกัด Y คือ 1931333N ค่าการซึมผ่านของน้ำอยู่ที่ 0.2 mm day-1 ผลจากการทดสอบค่าการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) ค่าสูงสุดอยู่ที่สถานี Inf02 พิกัด X คือ 464601E พิกัด Y คือ 1930924N มีค่า 242.7 mm ค่าต่ำสุดอยู่ที่สถานี Inf06 พิกัด X คือ 464605E พิกัด Y คือ 1931002N มีค่า 0.7 mm day-1 จากการนำข้อมูลชั้นธรณีและอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ใกล้เคียงมาวิเคราะห์กับพื้นที่ที่ทำการศึกษา สันนิษฐานได้ว่ามีความใกล้เคียงกับระยะ 0- 10 m เป็นหน่วยหิน A และที่ระยะ 10-30 m เป็นหน่วยหิน B เป็นพื้นผิวร่องรอยกัดเซาะ (erosional surface) ทั้งนี้หน่วยหิน A สามารถแบ่งออกได้เป็นหน่วยหิน A1 และ A2 โดยหน่วยหิน A2 เป็นชั้นตะกอนทรายละเอียดถึงตะกอนทรายปานกลาง มีความหนา 5 ถึง 20 m จากข้อมูลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (infiltration) และการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) และชั้นธรณี ชี้ให้เห็นว่าอาจจะมีความเป็นไปได้ในการจัดทำทดลองการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินแบบระบบสระน้ำในพื้นที่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร จังหวัดนครพนม แต่ควรมีการเจาะชั้นธรณีในพื้นที่โดยตรงอีกครั้งจะเป็นการวิจัยที่สมบูรณ์แบบมากขึ้น

คำสำคัญ: การเติมน้ำ, น้ำใต้ดิน, น้ำใต้ดินชั้นต้น

Abstract

Feasibility study on management aquifer recharge using ponding system in the agricultural research and training center Nakhon Phanom province. The results of test Method for Infiltration Rate using double ring Infiltrimeter and the Horton 's equation (Horton, 1841) are as follows. In a summer season, the highest infiltration rate is 4776.00 mm day-1, located at inf03 station with coordinate x=464697E y=1930908N and the lowest infiltration rate is 5.00 mm day-1, located at inf11 station with coordinate X=464750E Y=1931119N respectively. In a rainy season, the highest infiltration rate is 46.2 mm day-1, located at inf01 station with coordinate x=464536 E y=1930931N and the lowest infiltration rate is 0.2 mm day-1, located at inf17 station with coordinate X=464999E Y=1931333N respectively. An investigation of the estimating groundwater Recharge revealed that the highest value is 242.7 mm located at inf02 station with coordinate x=464601E y=1930924N and the lowest infiltration rate is 0.7 mm, located at inf06 station with coordinate X=464605E Y=1931002N respectively According to geologic and hydrogeological data assumed data, it can be assumed that the closet range is 10 - 30 m is unit B. Comparison of

Received: July 12, 2021

Revised: August 16, 2021

Accepted: August 17, 2021

Available online: July 5, 2022

geologic and hydrogeological data between nearby areas and filed areas leads to a conclusion that a rock A unit (silty mud and reddish brown) is at dept. 0-10 m is a stone A unit (silty mud and reddish brown) while a stone B unit (erosional surface) is at depth 10- 30 m. The study indicates that stone A can be classified on to 2 units, which are unit A1 and unit A2 which has a 5 to 20 m thickness. We concluded that an Infiltration Rate and groundwater Recharge testing connecting with geologic and hydrogeological data was adequate to implement a management aquifer recharge using the agricultural research and training center Nakhon Phanom province. However, for get more accurate and complete results, Soil and Rock Investigation study should be considered.

Keywords: Recharge, Ground water, Aquifer

1 บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าพื้นที่ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และในจังหวัดนครพนมในฤดูร้อนน้ำผิวดินมีปริมาณน้อยหรือบางพื้นที่ขาดแคลนน้ำผิวดินอย่างมากส่งผลให้ชาวนาโดยส่วนใหญ่ทำการปลูกข้าวได้ปีละ 1 ครั้ง แต่ในฤดูฝนบนพื้นที่ตะวันออกเฉียงเหนือฝนตกหนักมาก พื้นที่บางแห่งเกิดน้ำท่วมเป็นอย่างมาก (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) บางพื้นที่ส่งผลต่อข้าวและพืชผลทางการเกษตรทำให้เสียหายอย่างหนัก อีกทั้งยังเกิดภัยแล้งและวาตภัยในพื้นที่จังหวัด รวม 10 อำเภอ 58 ตำบล 229 หมู่บ้าน เกษตรกรได้รับความเดือดร้อน 1,544 ครัวเรือน 4,632 คน (รายงานจังหวัดนครพนม, 2559)

จากรายงานสถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครพนม พ.ศ.2546 - 2558 (อุตุนิยมนครพนม, 2558) พบว่าสถิติปริมาณน้ำฝน ปี พ.ศ.2558 จำนวนวันที่ฝนตก 127 วัน ปริมาณฝนสูงสุด 797.5 mm ปริมาณฝนทั้งปี 2079.2 mm/year

จากข้อมูลข้างต้นส่งผลต่อโครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร มหาวิทยาลัยนครพนม ตั้งอยู่ที่ บ้านเนินบ่อทอง ตำบลมรราช อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม เนื่องจากว่าโครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร ไม่ได้อยู่ในเขตชลประทาน มีปัญหาที่สำคัญคือ ฤดูร้อนมีน้ำผิวดินน้อยถึงน้อยมากหรืออาจมีปริมาณน้ำไม่พอเพียงต่อการใช้งานทางการเกษตรของโครงการฯ เกษตรกรและศูนย์วิจัยต้องสูบน้ำบาดาลที่ระยะ 40 - 60 m และในฤดูฝน มีปริมาณน้ำฝนจำนวนมากน้ำท่วมผิวดินบางพื้นที่แต่ไม่สามารถเก็บน้ำฝนไว้ใช้งานได้ โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตรและเกษตรกรมีความต้องการจะเพิ่มระดับน้ำบาดาลเพื่อให้เกษตรกรสามารถมีน้ำเพื่ออุปโภคบริโภคและใช้ในการเกษตรในช่วงฤดูร้อน

ดังนั้น คณะผู้ทำวิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของโครงการทดลองเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558) อีกทั้งยังได้ศึกษาระบบการเติมน้ำใต้ดินแบบสระของต่างประเทศ เช่น การเติมน้ำระบบสระของรัฐบาลอินเดีย (BiswajitDas, 2019) การศึกษาพฤติกรรมกรรมกรซึมของน้ำของประเทศไทยไชปรัส(OuraniaTzoraki, 2018) และรวมถึงการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการศึกษาความเป็นไปได้ใน

การเติมน้ำใต้ดินแบบสระบริเวณลุ่มน้ำ Limpopo (LRB) แอฟริกา (EstherMosase, 2018) จึงนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร เนื่องจากว่าพื้นที่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตรในฤดูร้อนมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการต้องการใช้น้ำทั้งการเกษตร ปศุสัตว์ และการอุปโภค บริโภค ทางศูนย์วิจัยต้องสูบน้ำใต้ดินใช้ โดยความลึกอยู่ที่ 55-65 m การวิจัยในครั้งนี้เพื่อนำผลไปพัฒนาเพื่อคาดหวังว่าผลจากงานวิจัยจะสามารถทำให้ฤดูร้อนสามารถมีน้ำพอเพียงต่อการให้น้ำทางการเกษตรกรรม เช่น การเพาะพืชเพื่อการทดลอง การขยายพันธุ์พืชเพื่อแจกจ่ายชาวบ้าน รวมถึงการใช้น้ำเพื่องานปศุสัตว์ในศูนย์วิจัยเพื่อเป็นแหล่งขยายพันธุ์สัตว์ และรวมถึงการใช้น้ำอุปโภคบริโภคในศูนย์วิจัย แต่ควรจะต้องมีการศึกษาความเหมาะสมการทดลองการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร จึงเป็นที่มาและความสำคัญในการวิจัยเพื่อนำไปสู่การนำไปใช้ประโยชน์ให้แก่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร เกษตรกรและชาวบ้านในพื้นที่ต่อไปในอนาคต

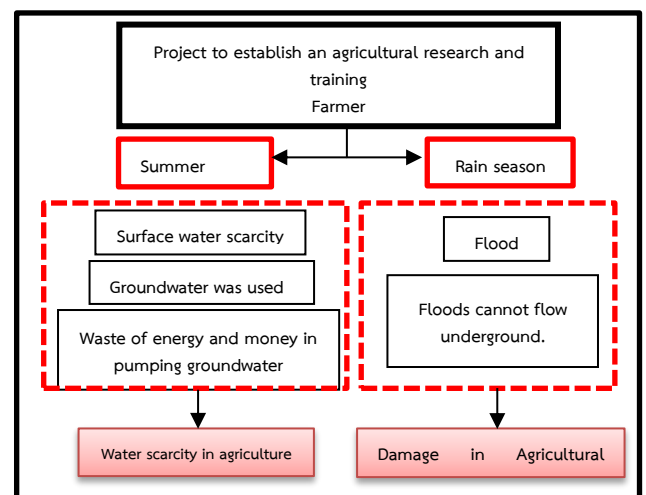


Figure 1 Sources of research problems.

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ที่มาและความสำคัญ

เป้าหมายของการวิจัยคือเพื่อศึกษาความเหมาะสม การทดลองเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินชั้นต้น รูปแบบการเติมน้ำผ่านสระ (Recharge Pond) โดยต้องอาศัยทฤษฎีและสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องดังแสดงใน Figure 1 และ Figure 2

วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ 1) ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดทำโครงการทดลองการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินแบบระบบสระน้ำในพื้นที่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร จังหวัด

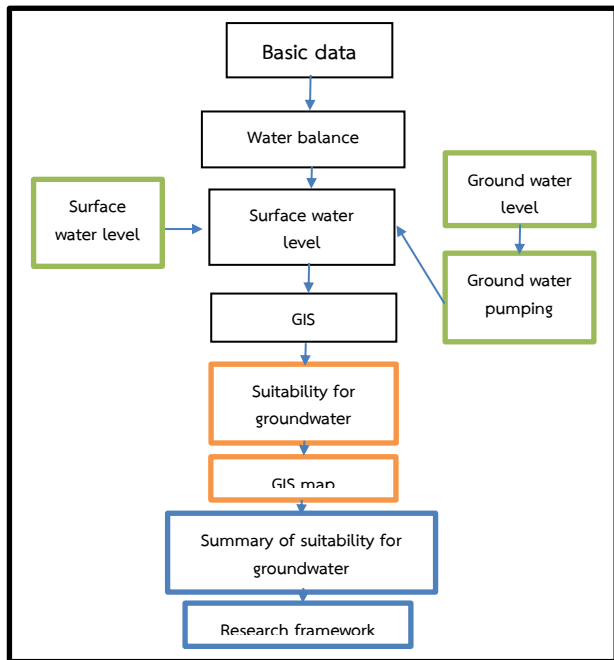


Figure 2 Research framework.

นครพนม 2) เพื่อเป็นการศึกษาพื้นที่เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อโครงการ โดยการพิจารณาข้อมูลทางด้าน ธรณีอุทกวิทยา และ อุทกวิทยา

2.2 หลักการและทฤษฎี

โดยใช้หลักการและทฤษฎีการซึมผ่านผิวดิน(Infiltration) (กิจการ พรหมมา, 2555) กระบวนการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านผิวดินสู่ชั้นดินที่ลึกลงไปซึ่งน้ำที่ซึมลงดินจะไปเพิ่มความชื้นในดินทำให้พืชดูดน้ำไปใช้ได้และยังไปเพิ่มน้ำใต้ดินเป็นประโยชน์ต่อการเก็บสะสมแหล่งน้ำใต้ดินในฤดูฝนที่จะทยอยซึมออกมาสู่แหล่งน้ำผิวดิน หรือถูกสูบขึ้นมาใช้ในฤดูแล้ง สมการสำหรับหาอัตราการซึมผ่านผิวดิน สมการ Horton (Horton, 1841)

$$f = f_c + (f_o + f_c)e^{-kt} \quad (1)$$

เมื่อ f = อัตราการซึม (f) กับเวลา (t)(cm/hr.), f_o = อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น, f_c = อัตราการซึมที่ภาวะสมดุล k = ค่าคงที่ $e=2.718$ t = เวลา

และใช้หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Demand), การประเมินความต้องการใช้น้ำของพืชใดๆ (Etc.) , ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall), ปริมาณน้ำซึมลงไปในดิน, ปริมาณน้ำที่เพิ่มเติม (Recharge) ปริมาณน้ำที่เพิ่มเติม (Recharge) (Scanlon et al. 2002) หาได้จากสมการ สมดุลน้ำ (Water budget) ดังนี้

$$P + Q_{on} = ET + Q_{off} + \Delta S \quad (2)$$

เมื่อ P = หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) (mm/day)

Q_{on} = ปริมาณน้ำไหลเข้า (mm)

Q_{off} = ปริมาณน้ำไหลออก (mm)

ET = การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration)

ΔS = การเปลี่ยนแปลงในปริมาณกักเก็บ (Change in water storage) (mm)

2.3 วิธีการดำเนินการ

กำหนดพื้นที่ที่จะทำการเก็บข้อมูลรอบๆโครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร มหาวิทยาลัยนครพนม บ้านเนินบ่อทอง ตำบลรามราช อำเภอท่าอุเทน รวบรวมข้อมูลด้านต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพภูมิอากาศ, ฝน, สภาพธรณี, การใช้ที่ดิน, ระดับน้ำใต้ดิน, ระดับน้ำผิวดิน, การซึม และทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจข้อมูลในเรื่องการใช้น้ำในการเพาะปลูกแหล่งน้ำที่ใช้ รวมถึงปัญหาของสภาพดิน และน้ำที่เกษตรกรนำมาใช้ รวมถึงหาตำแหน่งระดับความสูงของผิวดินเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณจากการ

ใช้ GPS ในสนาม หาตำแหน่งที่จะทำการสร้างสระน้ำเพื่อใช้ในการทดลองการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินแบบระบบสระน้ำ ทำการวิเคราะห์ ข้อมูลที่เก็บจากพื้นที่โดยใช้วิธีการสร้างแผนที่โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ตรวจสอบระดับน้ำใต้ดินของบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดิน 1 ครั้งต่อเดือน รวมถึงบ่อของเกษตรกร ติดตั้งและตรวจสอบอุปกรณ์วัดระดับน้ำใต้ดินที่จะติดตั้งประมาณ 1 แห่ง (ตั้งการบันทึกข้อมูลรายวัน)

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

Table 1 Data Analysis

Data	Analyzed data	Analytical method
Observation well	Infiltration capacity	Horton equation
	Seepage coefficient	Horton equation
Ground water	Ground water level	survey
Surface	surface level	Surveys and statistical data

ใช้ข้อมูลในแบบสอบถามในพื้นที่ศึกษา มาทำการวิเคราะห์พื้นที่ในการเก็บคุณสมบัติแหล่งน้ำ ผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน และสภาพดินรอบบริเวณแหล่งน้ำ

- 1) ทำการวิเคราะห์อัตราการซึมของน้ำ (infiltration) ในพื้นที่
- 2) ทำการวิเคราะห์อัตราการเติมน้ำ (Recharge) ในพื้นที่



Figure 3 Water well being drilled for groundwater data



Figure 4 Double ring infiltration test.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ข้อมูลด้านธรณี

รายงานการศึกษาศาภาพธรณีวิทยาและรายงานที่เกี่ยวข้องที่ดำเนินการมาก่อนในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:250,000 จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ. 2535 (พิศิษฐ์ สุวัฒน์นันท์, 2535) รายงานการสำรวจธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2550 (กรมทรัพยากรธรณี, 2552) รายงานงานศึกษาแก้ไขและพัฒนาสิ่งแวดล้อมด้านธรณีวิทยาชั้นเกลือหินและอุทกธรณีวิทยาที่ศึกษาโดยมหาวิทยาลัย เชียงใหม่ พ.ศ. 2549 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549) สรุปได้ว่า จากหลุมลึก 200 m ลำดับชั้นหินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยชั้นหินและชั้นตะกอนจำนวน 5 หน่วยหินสามารถอธิบายได้ดังนี้ หน่วยหิน E เป็นหน่วยหินที่อายุมากที่สุดเป็นหินทรายและทรายแป้ง มีสีน้ำตาลแดงเป็นส่วนใหญ่ มีความแข็งแรงมาก ที่ระดับความลึกประมาณ 145 m ถัดขึ้นมาได้แก่หน่วยหิน D เป็นชั้นเกลือหิน (rock salt) ทั้งหมดและพบในหลุม NK-C ที่ระดับลึกประมาณ 75 m ถึง 145 m มีความหนาทั้งหมดประมาณ 70 m ถัดขึ้นมาจากชั้นเกลือหินเป็นหน่วยหิน C ประกอบด้วย หินดินเหนียวสีน้ำตาลแดง เป็นส่วนใหญ่ มีความแข็งแรงมาก แต่ส่วนบนสุดของชั้นหินดินเหนียวมีความแข็งแรงน้อยลงจนมีลักษณะกึ่งแข็งตัว (semi-consolidated) มีความหนาเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางต่างๆ จาก 30 m ไปจนถึง 70 หน่วยหิน B พบชั้นกรวด มีความหนาประมาณ 2 - 3 m ไปจนถึง 15 m หน่วยหิน A พบอยู่ด้านบนของหน่วยหิน B ซึ่งเป็นชั้นดินปนกับ

ชั้นตะกอนดินเหนียว (clay) และชั้นตะกอนดินโคลน (mud) มีความหนา 2 - 3 m.

STRATIGRAPHY OF NAM KAM PROJECT

Age	Unit	Lithology	Description	Geologic Formation
Quaternary	A1	0-10	silty mud, mottled, reddish brown and white, sandy, silty clay, plastic properties near base	Quaternary Deposits
	A2	10-20	very fine sand, clayey sand, brown to reddish brown, interbedded by reddish brown silt.	
	A2	20-30	very fine sand (pebbles at base), white to light grey.	
Cretaceous Tertiary	B1	30-40	very coarse sand to granules, white to light grey.	Phu Thok Formation
	B2	40-50	very coarse sand, white to light grey.	
	B2	50-60	gravel and very coarse sand, white to light grey.	
Late Cretaceous	C	60-70	erosional base	Upper Maha Sarakham Formation
	C	70-80	claystone, reddish brown, semi-consolidated.	
	C	80-90	claystone, reddish brown, consolidated, hard and dense.	Lower Maha Sarakham Formation
	D	90-100	rock salt	
	D	100-110	rock salt	
	D	110-120	rock salt	
	D	120-130	rock salt	
	D	130-140	rock salt	
	D	140-150	rock salt	
	D	150-160	rock salt	
Early Cretaceous	E	160-170	dense, fine grained rock, dark grey, high density, non-calcareous.	Khok Kruat Formation
	E	170-180	very fine grained sandstone, medium grey to light grey, calcareous.	
	E	180-190	fine to very fine grained sandstone, reddish brown, thin lamination, dense, some calcareous.	
	E	190-200	fining upward from coarse grained to medium to fine grained sandstone, reddish brown, non-calcareous.	
	E	200-210	oligomict granular conglomerate, poor sorted, thin bed, the granules are reworked fragments of white and dark red claystone.	
	E	210-220	fine to medium grained sandstone, reddish brown, dense, massive, non-calcareous.	
	E	220-230	interbedded of dark red mudstone and very fine grained sandstone, reddish brown.	
	E	230-240	very fine grained sandstone, reddish brown, dense, massive, non-calcareous.	
	F	240-250	siltstone, dark reddish brown, dense, massive, hard, non-calcareous.	
	F	250-260	very fine grained sandstone, reddish brown, calcareous (upper), non-calc. (lower).	

Figure 5 Stratigraphy data. (Source: Chiang Mai University, 2006)

3.2 ข้อมูลด้านคุณสมบัติของดิน

ได้เก็บตัวอย่างดินในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม 2561) และฤดูแล้ง (เดือนเมษายน 2561) เพื่อนำมาทดสอบหาค่า การนำไฟฟ้าของน้ำที่สกัดมาจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ pH ความถ่วงจำเพาะและ grain size distribution เพื่อจำแนกชนิดดินและความเหมาะสมในการทำเกษตร ตัวอย่างดินที่เก็บจะอยู่ในระยะรากพืชโดยมีความลึกจากผิวดินระหว่าง 0.5-1.0 m

Table 2 Groundwater well data.

Name	Coordinates		Lowest water level (meter)	Maximum water level (meter)
	X	Y		
NPU w01	464668	1931096	29.40	33.67
NPU w02	464898	1931356	27.10	34.20
NPU w03	464970	1931604	28.30	31.10

Table 3 The location of the Double ring infiltration test data (Horton's equation) and Recharge data.

Name	X	Y
Inf01	464536	1930931
Inf02	464601	1930924
Inf03	464697	1930908
Inf04	464817	1930896
Inf05	464537	1931001
Inf06	464605	1931002
Inf07	464722	1930994
Inf08	464846	1930985
Inf09	464539	1931092
Inf10	464646	1931117
Inf11	464750	1931119
Inf12	464860	1931108
Inf13	464801	1931214
Inf14	464896	1931199
Inf15	464989	1931114
Inf16	464822	1931330
Inf17	464999	1931333
Inf18	464841	1931466
Inf19	465049	1931473
Inf20	464959	1931654

(Nakhon Phanom Province)

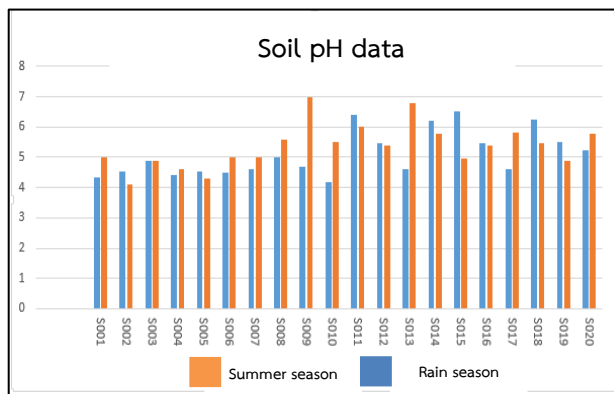


Figure 6 Soil pH data.

3.3 ระดับน้ำใต้ดิน

ทางคณะผู้ทำการวิจัย ได้ทำการเจาะบ่อบาดาลทั้งหมด 2 บ่อ ด้วยระดับความลึก 42 m และบ่อสังเกตการณ์(บ่อบาดาลที่มีอยู่แล้ว)มีความลึก 40 m โดยติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำใต้ดินอัตโนมัติจำนวนทั้งสิ้น 3 จุด โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 เมษายน 2562 ถึงวันที่ 16 สิงหาคม 2563 โดเน้นพื้นที่ฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยเครื่องวัดระดับน้ำใต้ดินอัตโนมัติสามารถบันทึกค่าระดับน้ำใต้ดิน ค่าการนำไฟฟ้า ดังแสดงในFigure 6 และ 7

3.4 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ infiltration (สมการ ของ Horton) และค่าการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge)

โดยการทดสอบได้เริ่มทดสอบทั้งในฤดูร้อนและฤดูฝนโดยใช้ต้องการทราบถึงการรั่วซึมของน้ำที่เก็บกัก, ความมั่นคงดินที่น้ำซึมผ่าน การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ infiltration (สมการ ของ Horton) เป็นการใช่วิธี double ring test ดังแสดงใน Figure 8 และ ค่าการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) ดังแสดงในFigure 9 นำผลจากการทดสอบมาวิเคราะห์หาค่าในการเก็บกักน้ำใต้ดินโดยอาศัยข้อมูลจากธรณีวิทยาข้างต้น



Figure 7 Map of infiltration test in the study area. (Nakhon Phanom Province)

4 สรุปผลวิจัย

จากผลการทดสอบการ การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ infiltration และการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำRecharge ประกอบกับข้อมูลชั้นธรณีและอุทกธรณีวิทยา ทางคณะผู้ทำวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. จากข้อมูลชั้นธรณีและอุทกธรณีวิทยาบริเวณที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ทำการวิจัย สันนิฐานได้ว่ามีความใกล้เคียงกับ ที่ระยะ 10-30 m เป็นหน่วยหิน B เป็นร่องรอยกัดเซาะ (erosional surface) มีรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง (unconformity) เกิดขึ้นในช่วงนี้ หน่วยหิน B ไม่ใช่หินตะกอน แต่เป็นชั้นตะกอนกึ่งแข็งตัวกึ่ง

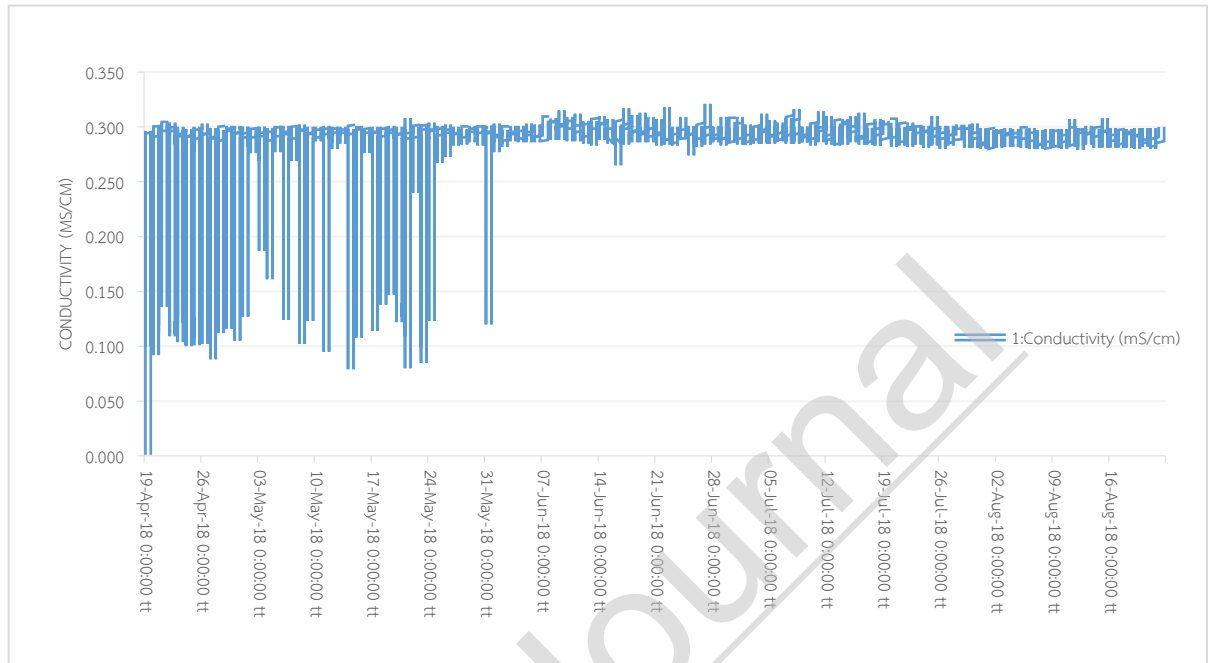


Figure 8 Conductivity data in the observation well.

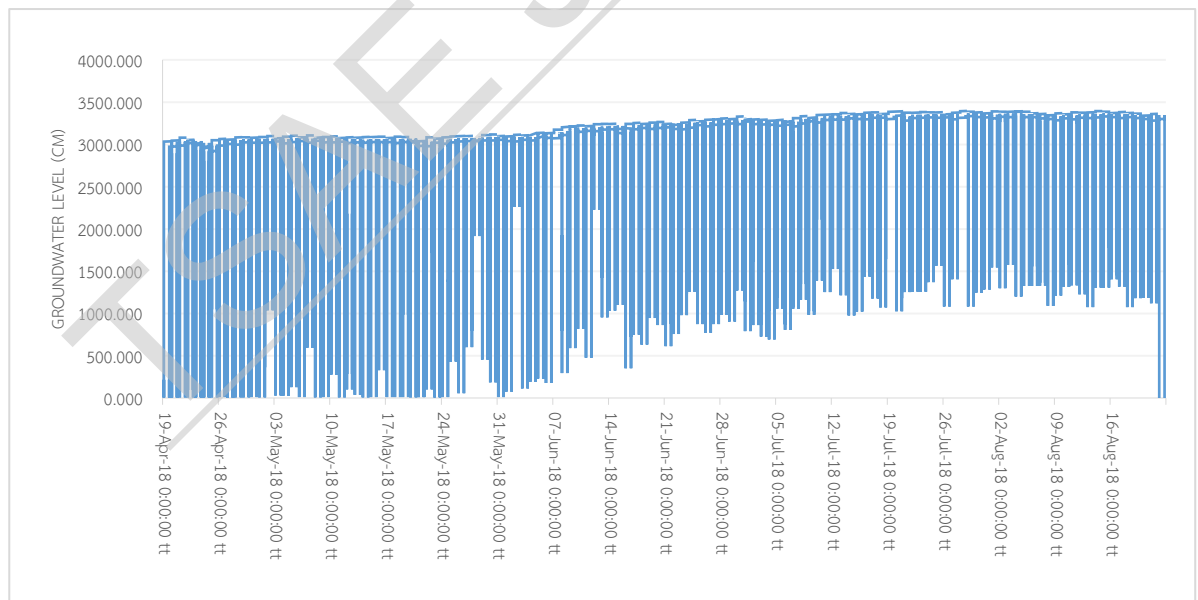


Figure 9 Groundwater level data in the observation well.

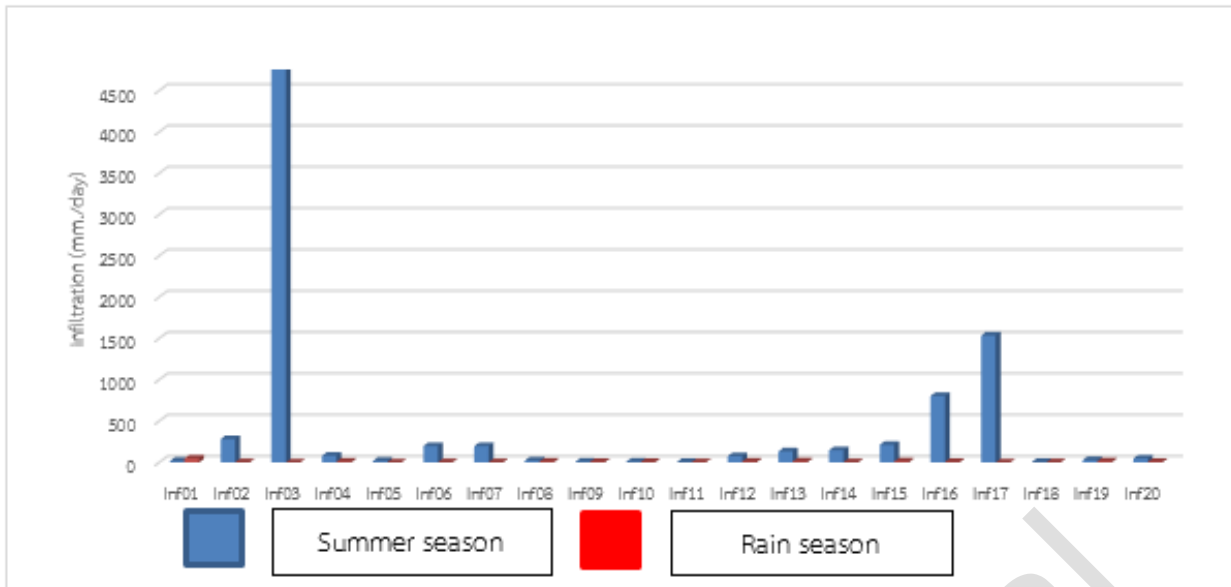


Figure 10 Infiltration data.

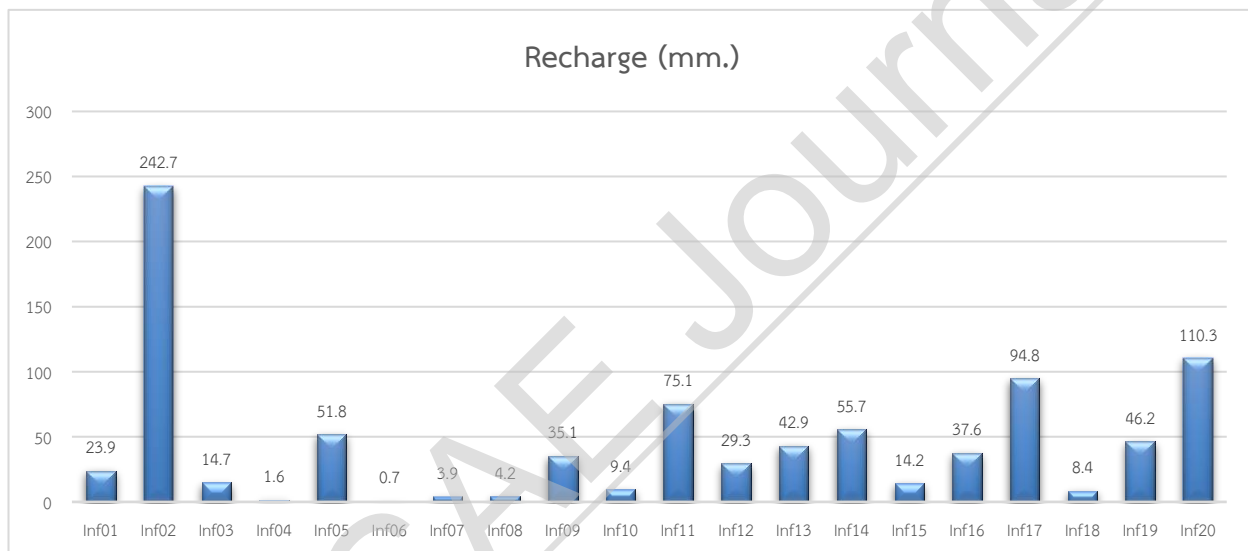


Figure 11 Recharging data.

ตะกอนร่วน ประกอบด้วยตะกอนทรายหยาบไปจนถึงตะกอนกรวดขนาดเล็ก โดยชั้นกรวด (หน่วยหิน B2) อาจเกิดเป็นรูปเลนส์ มีความหนาประมาณ 2 - 3 m ไปจนถึง 15 m และระยะ 0- 10 m เป็นหน่วยหิน A พบอยู่ด้านบนของหน่วยหิน B สามารถแบ่งออกได้เป็นหน่วยหิน A1 และ A2 โดยหน่วยหิน A2 เป็นชั้นตะกอนทรายละเอียดถึงตะกอนทรายปานกลาง มีความหนา 5 ถึง 20 m วางปิดทับด้านบนของหน่วยหิน B1 แบบรอยสัมผัสต่อเนื่อง หน่วยหิน A2 มีความหนามากบริเวณตรงกลางพื้นที่แล้วเปลี่ยนไปเป็น ชั้นตะกอนทรายแป้ง หน่วยหิน A2 ถูกปิดทับโดยหน่วยหิน A1 ซึ่งเป็นชั้นดินปนกับชั้นตะกอนดินเหนียว (clay) และชั้นตะกอนดินโคลน (mud) มีความหนา 2 - 3 m ไปจนถึง 10 m ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าจะมีความเป็นไปได้ในการจัดการการทดลองการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินแบบระบบสระน้ำในพื้นที่โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร จังหวัดนครพนม

2. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ infiltration และการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ Recharge ผลจากการทดสอบสรุปได้ว่าการซึมผ่านของน้ำและการไหลผ่านของน้ำผ่านชั้นใต้ดินอยู่ในระดับกลาง

3. จากข้อมูลระดับน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์เมื่อมีการทดลองงานวิจัยผลการระดับน้ำบาดาลมีแนวโน้มสูงขึ้น ด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณน้ำฝน การเกิดน้ำท่วม ซึ่งแนวโน้มของกราฟบ่งบอกไปในทิศทางที่ดีว่าสามารถเก็บกักระดับน้ำใต้ดินได้

4. ไม่สามารถจัดทำแผนที่การใช้น้ำได้เนื่องจากยังไม่สามารถรู้ความแน่ชัดของระดับน้ำใต้ดิน เพราะการวิจัยครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลเพียงแค่ระยะ 1 ปีและที่สำคัญขาดการขุดเจาะสำรวจธรณีในพื้นที่ศึกษา

5 ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยครั้งนี้คณะผู้ทำวิจัยไม่สามารถทำการเจาะดินเพื่อทำการพิสูจน์ชั้นธรณีได้ จึงทำให้ต้องอาศัยข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ใกล้เคียงคำนวณหาค่าความเป็นไปได้ของชั้นธรณี ดังนั้นถ้ามีความเป็นไปได้ในการจะทำการวิจัยโดยการเจาะชั้นธรณีได้อีกครั้งจะเป็นการวิจัยที่สมบูรณ์แบบมากขึ้น

2. การคำนวณค่า การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ Recharge ซึ่งมีตัวแปรหลายอย่างที่สำคัญมาก ขาดหายไปในพื้นที่วิจัย เช่น การไม่มีแหล่งน้ำพื้นผิวดินในพื้นที่ละไม่มีลำน้ำสาขาในพื้นที่เป็นการยากในการคำนวณเพราะทางทีมวิจัยต้องการการระดับน้ำผิวดินเพื่อเปรียบเทียบการไหล

3. ควรทำการเก็บข้อมูลที่สำคัญเช่น ระดับน้ำใต้ดิน ปริมาณฝน ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลาเกิน 3 ปี เพื่อต้องการค่าเฉลี่ยที่แน่นอนในการออกแบบและคำนวณ เพื่อจะได้คำตอบที่สมบูรณ์ที่สุด

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 และขอขอบคุณ ผศ.ดร. ภัทรภรณ์ เมฆพุกชาวงศ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านวางแผน) กรมชลประทาน ที่ให้คำปรึกษาและข้อมูลการคำนวณในทุกๆอย่าง

7 เอกสารอ้างอิง

- Horton, R.E. 1941. An Approach Toward a Physical Interpretation of Infiltration- Capacity. Soil Science Society of America Journal, 5 (C), 399.
- Das, B., Pal, S.C. 2019. Combination of GIS and fuzzy-AHP for delineating groundwater recharge potential zones in the critical Goghat-II block of West Bengal, India, HydroResearch, 2, 21-30.
- Tzoraki, O., Dokou, Z., Christodoulou, G., Gaganis, P., Karatzase, G. 2018. Assessing the efficiency of a coastal Managed Aquifer Recharge (MAR) system in Cyprus. Science of The Total Environment, 626, 875-886.
- Mosase, E., Ahiablame, L., Park, S., Baile, R. 2018. Modelling potential groundwater recharge in the Limpopo River Basin with SWAT- MODFLOW. Groundwater for Sustainable Development, 9, 100260.
- รายงานสถานการณ์สาธารณสุขภัยรุมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย จังหวัดนครพนม, 423/2558.
- รายงานการประชุมคณะกรรมการจังหวัดนครพนมครั้งที่ 5/2559.สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครพนม, 2558.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. รายงานฉบับสมบูรณ์ “โครงการทดลองเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร”, 2558.

กิจการ พรหมมา. 2555. “อุทกธรณีวิทยา”: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิศิษฐ์ สุขวัฒนานันท์. 2535. “แผนที่ธรณีวิทยา”. กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.

กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี. 2552. “รายงานสถานภาพทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ.2552”.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549. “รายงานงานศึกษาแก้ไขและพัฒนาสิ่งแวดล้อมด้านธรณีวิทยาชั้นเกลือหินและอุทกธรณีวิทยาที่ศึกษาโดยมหาวิทยาลัย เชียงใหม่ พ.ศ. 2549”.



การพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับวิสาหกิจชุมชน

Cutting Machine Development of Crispy Nuts Coconut Milk Toffee at Hot Condition with Hydraulic System for Community Enterprises

สำรวม โกศลนันท์^{1*}, ไพโรจน์ จันทร์แก้ว²

Sumroum Kosalanun^{1*}, Phairoach Chunkaew²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, 12110

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak 63000

*Corresponding author: Tel: +66- 02 549 3435, Fax: +66- 02 549 3432, E-mail: sumroum_k@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบแบบไฮดรอลิกกับชุดใบมีดตัด 3 รูปแบบ จากนั้นวิเคราะห์หาสมรรถนะของชุดใบมีดตัด คือ เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ และอัตราการใช้พลังงาน จำเพาะ สามชุดใบมีดประกอบด้วย ใบมีดฟันตรง ใบมีดฟันเลื่อยและใบมีดฟันโค้ง ถูกออกแบบ ที่สามารถถอดมาลับคมได้ ซึ่งวัสดุ ชุดใบมีดตัดใช้ สเตนเลส 304 สามารถตัดได้ 100 ชิ้นต่อครั้งและพื้นที่หน้าตัดทอฟฟี่ 25x25 mm² ต่อชิ้น มีความหนา 5-6 mm อุณหภูมิทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่ใช้ในการทดสอบ คือ 60, 65 และ 70°C จากผลการทดลองพบว่า ใบมีดตัดทั้ง 3 ชุด สามารถตัด ทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 65°C ชุดใบมีดฟันตรง ชุดใบมีดฟันเลื่อย และชุดใบมีดฟันโค้งมี เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ 93.25±1.36% 95.47±2.44% และ 98.09±0.33% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 65°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของชุดใบมีดฟันตรง ชุดใบมีดฟันเลื่อยและชุดใบมีดฟันโค้ง เท่ากับ 0.26±0.01 kWh kg⁻¹ 0.24±0.04 kWh kg⁻¹ และ 0.23±0.01 kWh kg⁻¹ ตามลำดับ ส่วนผลของอุณหภูมิพบว่า อัตราการใช้พลังงานจำเพาะน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

คำสำคัญ: เครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ, ชุดใบมีดตัด, ไฮดรอลิก

Abstract

The purposes of this research were to design and to improve a cutting machine of a crispy nuts coconut milk toffee with three cutting set types. The performances were a percentage of a complete crispy nuts coconut milk toffee and a specific energy consumption rate. Three cutting sets of a straight tooth blade set, a saw tooth blade set and a curved tooth blade set were to design. They could be removed to sharpen the knife and the cutting material was to make from 304 stainless steel. The machine could cut 100 pieces at a time and a cross-sectional area of crispy nuts coconut milk toffee was 25x25 mm² per piece with a thickness of 5-6 mm. The crispy nuts coconut milk toffee temperatures of 60, 65 and 70°C were used in test. It was found that all 3 blades could cut perfectly crispy nuts coconut milk toffee with the highest percentage at 65°C. The straight tooth blade set, the saw tooth blade set and the curved tooth blade set had 93.25±1.36% 95.47±2.44% and 98.09±0.33%, respectively.

Received: January 28, 2022

Revised: June 03, 2022

Accepted: June 07, 2022

Available online: August 14, 2022

At the 65°C, the straight tooth blade set, the saw tooth blade set and the curved tooth blade set had specific energy consumption rates of 0.26 ± 0.01 kWh kg⁻¹, 0.24 ± 0.04 kWh kg⁻¹ and 0.23 ± 0.01 kWh kg⁻¹, respectively. For the temperature effect, the specific energy consumption rate decreased with increasing the temperature.

Keywords: Crispy nuts coconut milk toffee, Cutting machine, Blade set, Hydraulic

1 บทนำ

ทอฟฟี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนิ่มจนถึงค่อนข้างแข็ง ได้จากการนำน้ำตาล กลูโคสซีรัป (แบะแซ) และอาจมีส่วนประกอบอื่น เช่น นม เนื้อมะขาม เนื้อทุเรียน มาทวนจนเหนียวได้ที่ แล้วทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ อาจปรุงแต่งสี กลิ่นรส หรือเนื้อสัมผัสด้วยส่วนประกอบอื่นที่เหมาะสม เช่น กะทิ ถั่วลิสง แล้วห่อ บรรจุในภาชนะบรรจุ (Thai Industrial Standards Institute, 2016) Panjabut and Hoongrak (2017) ได้ศึกษาพันธุ์มะม่วงและปริมาณแบะแซที่เหมาะสมในการผลิตทอฟฟี่มะม่วงพบว่า ทอฟฟี่ที่ทำจากมะม่วงทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ปริมาณแบะแซที่มากขึ้นไม่มีผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity) ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของทอฟฟี่มะม่วง นอกจากนี้ Petcharat et al. (2012) ได้ศึกษาการพัฒนาลูกอมสมุนไพรพื้นบ้านลดการอักเสบและดับกลิ่นปาก โดยศึกษาข้อมูลพื้นฐานของสมุนไพรจากแหล่งต่างๆ ทั้งในด้านคุณประโยชน์และสรรพคุณพบว่า มี 3 ชนิด คือ ลูกอมแบบผสมเนื้อผลไม้ ลูกอมชนิดแข็งแบบสอดไส้ และลูกอมชนิดแข็งแบบม้วน ซึ่งคุณภาพทางจุลินทรีย์ด้านอายุการเก็บรักษาเก็บได้ 2 สัปดาห์ มีความปลอดภัยในการบริโภคและเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลูกกวาดและทอฟฟี่ (มผช. 265/2547)

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอฟฟี่ ตำบลสามเงา อำเภอสามเงา จังหวัดตาก ได้ผลิตทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ ซึ่งเป็นที่นิยมและมียอดสั่งซื้อเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการตัดเนื่องจากในการตัดทอฟฟี่จะต้องทำให้มีสภาพกำลังร้อน โดยใช้แรงงาน อย่างรวดเร็วและใช้ประสิทธิภาพ เมื่อเททอฟฟี่ลงถาด ถัดจากขั้นตอนการทวนในกระทะ จะต้องใช้มีดตัดในขณะที่ทอฟฟี่ร้อน เนื่องจากเมื่อทอฟฟี่เย็นจะแข็งและไม่สามารถตัดได้ เพราะทอฟฟี่จะกรอบ เมื่อตัดจะแตกละเอียดส่งผลให้กำลังการผลิตต่ำลง อีกทั้งขนาดของทอฟฟี่ที่ได้ไม่เท่ากัน จากการรับฟังปัญหาดังกล่าวของวิสาหกิจชุมชน ซึ่งต้องการเครื่องตัดขนาดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบมาช่วยในขั้นตอนการผลิต นักวิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อสำรวจ ศึกษาสภาพกระบวนการผลิตสภาพปัญหาในการผลิตทอฟฟี่กรอบ และวิเคราะห์ผลเชิงลึกในขั้นตอนการตัดทอฟฟี่กรอบ พบว่า การตัดทอฟฟี่ด้วยแรงงานคนทำให้เกิดความล่าช้าและต้องทำในช่วงที่ทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่ยังสามารถใช้

มีดกดตัดได้ ซึ่งในขณะนั้นทอฟฟี่ยังร้อนและต้องทำอย่างรวดเร็ว ก่อนที่ทอฟฟี่จะเข้าสู่สภาวะกรอบ จากการสืบค้นข้อมูลไม่พบข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องตัดทอฟฟี่กรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก แต่มีงานวิจัยที่มีการนำระบบไฮดรอลิกไปตัดผลิตภัณฑ์อื่น เช่น Anantattanachai and Charoenyos (2015) ได้สร้างเครื่องรีดและตัดกระยาสารท โดยใช้กระยาสารทที่ผ่านการทวนมาแล้ว จำนวน 21 kg เทและเกลี่ยลงในถาดรอง แล้วใช้เครื่องรีดและตัดในการรีดสามารถที่จะรีดไปและกลับได้จนกว่าขนมกระยาสารทจะเรียบเสมอกับขอบถาด แล้วบีบตัดเป็นช่วงๆ จำนวน 6 ครั้ง ตลอดความยาวของถาดรองกระยาสารท แล้วจึงตัดขนมออกจากถาด Khamfoo et al. (2015) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดชิ้นข้าวยัดไส้ปั่นปลาหู ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตข้าวยัดไส้ปั่น โดยผลิตข้าวยัดไส้ปั่นปลาหูให้เป็นอาหารพร้อมรับประทาน การออกแบบเครื่องตัดประกอบด้วย โครงสร้าง ชุดกระทุ้งข้าว ชุดใบมีดตัด และกระบอกนิวเมติกส์ การทำงานเครื่องใช้ระบบนิวเมติกส์และควบคุมด้วยโปรแกรม เมเบิลลอจิกคอนโทรล (Programmable logic control) การทดสอบทำ โดยทดลองตัดข้าวยัดไส้ปั่นปลาหูขนาดกว้าง 190 mm ยาว 254 mm หนา 40 mm ซึ่งจะได้ชิ้นย่อยจำนวน 36 ชิ้นต่อการตัด 1 ครั้ง ทดลองที่ความเร็วในการตัด 5 ระดับ ได้แก่ 4, 4.5, 5, 6 และ 7 ระดับละ 5 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า มีความคล่องตัวมากในการทำงานตัวเปล่า และที่ความเร็วในการตัด 7 วินาทีต่อรอบ ให้ผลดีที่สุด และ Wongmanee et al. (2017) ได้พัฒนาเครื่องหั่นข้าวเกรียบสมุนไพรใบหม่อน เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตและขนาดแผ่นข้าวเกรียบที่เท่ากัน ทันต่อการสั่งซื้อ ซึ่งในการพัฒนาเครื่องหั่นข้าวเกรียบสมุนไพรใบหม่อนได้เลือกใช้วัสดุเป็นสเตนเลสในการทำโครงสร้างเครื่อง ซึ่งจะช่วยให้เกิดสนิม โดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V หรือไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V มีระบบ คอนเวอร์เตอร์ (Converter system) สามารถเก็บประจุไฟไว้ในแบตเตอรี่ มีระบบใบมีดที่สามารถถอดเปลี่ยนทำความสะอาดได้สะดวกจำนวน 1 ใบ หั่นข้าวเกรียบสมุนไพรใบหม่อนได้ทีละ 1 ก้อน ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเปิดสวิตช์ใช้งานเครื่องจะทำงานแบบต่อเนื่อง มีขนาดกะทัดรัด สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายสามารถหั่นข้าวเกรียบได้ 20 kg ในเวลา 1 ชั่วโมง ขนาดแผ่นข้าวเกรียบมีความหนาไม่เกิน 2 mm ลดการเกิดอุบัติเหตุจากใบมีดบาด

จากการหั่นข้าวเกรียบ ลดแรงงานคนและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ Kampantong et al. (2014) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดแผ่นฉนวนกันความร้อนประสิทธิภาพสูงเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิต เครื่องมีลักษณะเป็นราง ยาว 180 cm ทำจากอลูมิเนียม และติดตั้งเครื่องตัดที่มีขนาดใบ 4 in สามารถตัดแผ่นฉนวนกันความร้อนความหนา 3 cm

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ยังไม่มีเครื่องตัดทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบแบบไฮดรอลิกตามที่วิสาหกิจชุมชนต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับวิสาหกิจชุมชนและทำการทดสอบสมรรถนะ ซึ่งประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้เครื่องตัดทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนแทนในขั้นตอนการผลิตช่วงตัดด้วยมีดบนเขียงเป็นการลดความยุ่งยากในกระบวนการผลิต และได้เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบที่สมบูรณ์สูงรวมถึงการเลือกใช้ชนิดของชุดใบมีดตัดและการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับตัดชิ้นงานทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบ โดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ที่สูง และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ในหน่วย kWh kg⁻¹ ที่ต่ำ

2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุสำหรับเครื่องตัดที่สัมผัสอาหาร

อุปกรณ์เครื่องมือด้านอาหาร ส่วนมากใช้ สเตนเลสเกรด 304 (JFE Steel Corporation, 2020) ซึ่งมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย ทนอุณหภูมิสูง ทนต่อการใช้งานและการกัดกร่อนสูง ไม่เป็นสนิม ไม่ดูดซึมสาร กลิ่น และรสชาติของอาหาร สามารถนำไปใช้กับอาหารได้อย่างปลอดภัยและถูกสุขลักษณะอนามัย สุดท้ายสามารถทำความสะอาดได้ง่ายดังนั้นชุดใบมีดตัดจึงใช้วัสดุสแตนเลสเกรด 304

2.2 แผ่นรองตัด

ทำจากพลาสติกประเภทโพลีพรอเพอไลน์ (Polypropylene) ซึ่งนำมาผ่านกระบวนการผลิตแบบอัดเพื่อเพิ่มความหนาแน่นและความแข็งแรงของเนื้อวัสดุ ทำให้มีความคงทนต่อการหั่น ตัด ฉีก และบีบได้เป็นอย่างดีไม่เป็นขุยง่าย ช่วยยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานกว่าแผ่นรองหั่นหรือตัดทั่วไปที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด ซึ่งใช้เป็นวัสดุชิ้นส่วนหนึ่งในชุดกลไกใบมีดตัด

2.3 หลักการไฮดรอลิกเบื้องต้น

ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) เป็นระบบที่มีการส่งถ่ายพลังงานของของไหลที่เป็นตัวขับเคลื่อนในการทำงานในรูปของอัตราการไหลและความดันเปลี่ยนเป็นพลังงานกล โดยผ่านตัวกระทำ เช่น กระบอกสูบ มอเตอร์ไฮดรอลิก มีส่วนสำคัญหลักๆ 3 ส่วน แหล่งจ่ายพลังงาน ระบบควบคุมการทำงาน และอุปกรณ์ทำงาน (Tanchiwong, 2001) ดังนั้นสามารถนำมาดัดแปลงให้ชุดใบมีดตัดเกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งด้วยชุดกระบอกไฮดรอลิกโดยใช้กลไกระบบควบคุมการทำงานให้เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงด้วยวาล์วควบคุม และมีปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ทำหน้าที่สร้างแรงดันใช้งานในระบบไฮดรอลิก

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาสภาพกระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในการผลิตทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบ

Figure 1 แสดงกระบวนการผลิตทอฟฟี่กรอบประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับการผลิต การเตรียมวัตถุดิบ การผสมวัตถุดิบในกระทะร้อน การใส่ถั่วลิสงเข้ากับส่วนผสมที่กำลังร้อนอยู่ในกระทะ การเททอฟฟี่ลงภาชนะที่เตรียมไว้และการทำให้ทอฟฟี่เป็นแผ่นแบนตามความหนาที่ต้องการ การตัดทอฟฟี่ด้วยมีดบนเขียง ซึ่งทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบยังร้อนและตัดได้ง่ายดัง Figure 2 (a) และ Figure 2 (b) จากนั้นบรรจุผลิตภัณฑ์ดัง Figure 3 พบว่า มีสภาพปัญหาเรื่องการใช้แรงงานคนในขั้นตอนการตัดทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบ ทำให้เกิดความล่าช้าและต้องทำในขณะที่ทอฟฟี่กัทลิ้วชนิดกรอบยังร้อนอยู่ จึงจะสามารถใช้มีดกดตัดได้

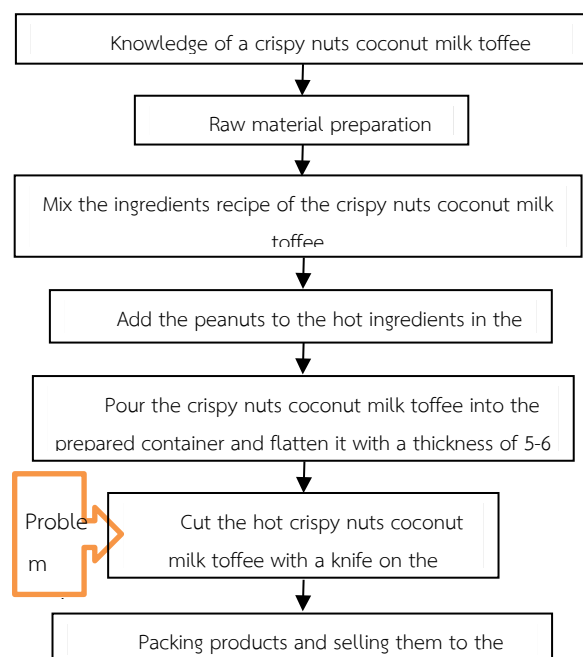


Figure 1 Crispy nuts coconut milk toffee production process.



(a)



(b)

Figure 2 (a) Cutting crispy nuts coconut milk toffee with a knife. (b) Size of crispy nuts coconut milk toffee 25x25 mm² with a thickness of 5-6 mm.



Figure 3 Crispy nuts coconut milk toffee products.

3.2 การพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก

3.2.1 เงื่อนไขการออกแบบเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก

ตามความต้องการของผู้ประกอบการ มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้ ต้องการตัดทอฟฟี่ให้มีขนาด 25x25 mm² มีความหนา 5-6 mm และเนื่องจากขั้นตอนการตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนผู้ที่ทำหน้าที่ในส่วนนี้เป็นผู้ทำการทางขายสามารถทำงานได้ โดยนึ่งบนรถเข็นดังนั้นเงื่อนไขระดับความสูง

ของพื้นที่ทำงานและระบบกลไกควบคุมการทำงานชุดใบมีดตัดของเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมกับผู้ทำการทางขายที่นึ่งบนรถเข็นทำงานด้วย ส่วนกลไกการเคลื่อนที่ของชุดใบมีดตัดใช้ระบบไฮดรอลิกในการควบคุมและใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์

3.2.2 การออกแบบเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ

ตาม Figure 4 ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ คือ 1) ชุดกระบอกไฮดรอลิกขนาด 3 Ton ทำหน้าที่ให้ชุดใบมีดตัดเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ซึ่งปลายของแกนกลไกเคลื่อนที่สามารถดัดแปลงยึดกับโครงสร้างติดตั้งชุดใบมีดตัดได้อย่างเหมาะสม โดยแรงสามารถกระจายไปยังโครงยึดใบมีดตัดส่งผลให้ใบมีดฟันตรง ใบมีดฟันเลื่อยและใบมีดฟันโค้ง เคลื่อนที่ตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบได้อย่างสม่ำเสมอ 2) ชุดระบบปั๊มไฮดรอลิกที่ใช้กับขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์รุ่น SCL-RR ยี่ห้อ Mitsubishi ประเทศไทยเป็นผู้ผลิต ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 3 HP มีหน้าที่สร้างแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกเมื่อเปิดใช้งานเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ ซึ่งจะมีกลไกวาล์วควบคุมทิศทางน้ำมันไฮดรอลิกสำหรับควบคุมให้ชุดใบมีดตัดเคลื่อนที่ในแนวตั้งขึ้นหรือลง 3) โครงสร้างรองรับชุดกระบอกไฮดรอลิกสำหรับกลไกใบมีดฟันตรง ฟันเลื่อย หรือ ฟันโค้ง ที่ระดับเหมาะสมกับคน ซึ่งพิจารณาที่ไม่สามารถเดินได้ และ 4) ชุดกลไกใบมีดตัด 3 รูปแบบประกอบด้วยใบมีดฟันตรง ซึ่งรูปแบบชุดใบมีดใกล้เคียงกับเครื่องตัดชิ้นข้าวอัดใส่บับปลาทุ (Khamfoo et al., 2015) ใบมีดฟันเลื่อย และใบมีดฟันโค้ง สำหรับตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ ขนาด 25x25 mm² มีความหนา 5-6 mm ซึ่งสามารถตัดได้ 10x10=100 ชิ้นต่อครั้ง หากจะเปลี่ยนเป็นชุดใบมีดฟันเลื่อยหรือใบมีดฟันโค้งทำได้ โดยเปลี่ยนชุดใบมีดฟันตรงออกและใส่ชุดใบมีดฟันเลื่อยหรือใบมีดฟันโค้งตามFigure 5 ลักษณะใบมีดฟันตรง (Figure 6a) ใบมีดฟันเลื่อย (Figure 6b) ซึ่งมีมุมของใบมีดฟันเลื่อย 67.5° และใบมีดฟันโค้ง (Figure 6c) ออกแบบฐานเหมือนใบมีดฟันเลื่อย แต่ใบมีดมีลักษณะโค้ง

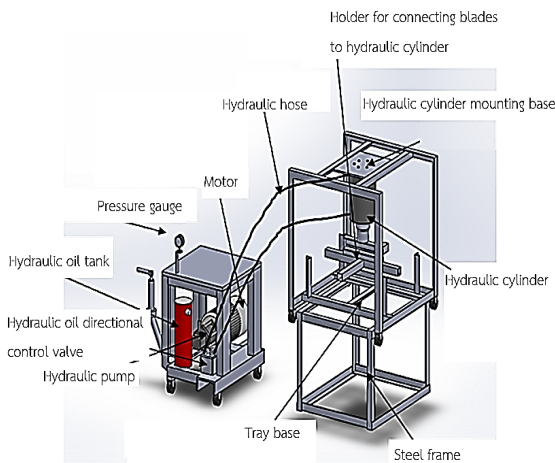


Figure 4 Crispy nuts coconut milk toffee cutter design.

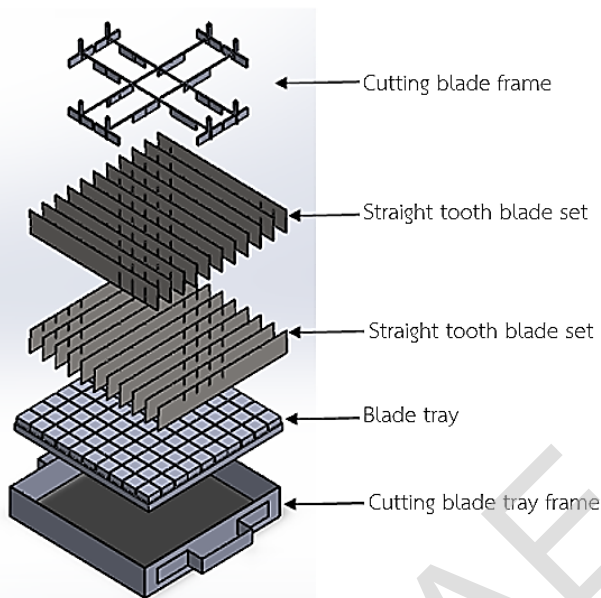


Figure 5 Straight tooth blade mechanism design.

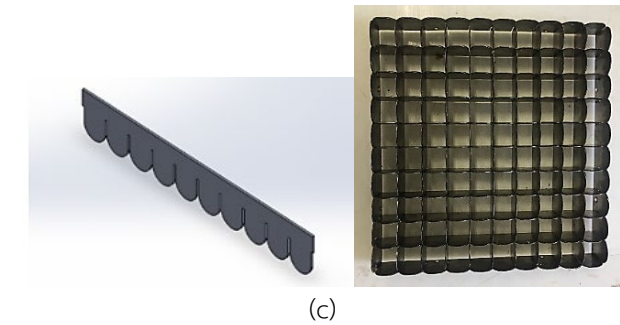
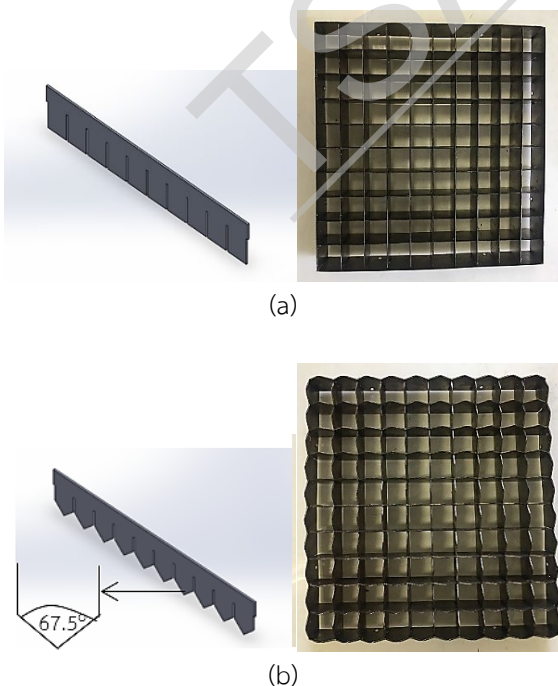


Figure 6 (a) Straight tooth blade, (b) Sawtooth blade and (c) Curved tooth blade.

3.2.3 การสร้างและพัฒนาเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ

Figure 7 แสดงหลักการทำงานของเครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ และชุดกลไกใบมีดฟันตรงพร้อมถาดรองชุดใบมีดตัด โดยมีหลักการทำงาน คือ เสียบปลั๊กไฟจากนั้นตรวจสอบเช็คตำแหน่งของชุดใบมีดตัดให้อยู่ตำแหน่งบนสุดสำหรับให้่ง่ายในการนำทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบร้อนเข้าไปวางเพื่อตัด จากนั้นใช้มือผลักกลไกวาล์วควบคุม (Control valve mechanism) สำหรับควบคุมทิศทางน้ำมันไฮดรอลิกสำหรับควบคุมให้ชุดใบมีดตัดเคลื่อนที่ลง (Down) โดยชุดปั๊มสร้างแรงดันตลอดเวลา เมื่อใช้งานวาล์วน้ำมันไฮดรอลิกเปิดน้ำมันไปดันลูกสูบในกระบอกไฮดรอลิก ซึ่งติดตั้งชุดใบมีดตัด (The blade set) ให้ยกขึ้น (Up) หรือกดลง (Down) ตามต้องการ

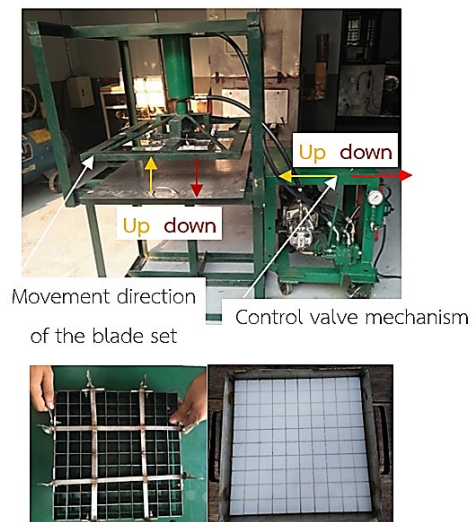


Figure 7 Crispy nuts coconut milk toffee cutter and a straight tooth blade mechanism set.

3.3 ทอฟฟี่กรอบที่ใช้ในการทดสอบ

วัตถุดิบสำหรับทำทอฟฟี่กะทิถั่วกรอบมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กะทิ ถั่วลิสง น้ำตาลทรายแดง นมสด และแบะแซ (ไม่สามารถบอกปริมาณได้เนื่องจากเป็นสูตรความลับ) เริ่มจากตวง

ส่วนผสมตามที่กำหนดจากนั้นตั้งกระทะเริ่มจากนำส่วนผสมลงในกระทะ เริ่มกวนส่วนผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน กวนจนส่วนผสมเหนียวและเปลี่ยนสี นำกระทะยกขึ้นจากเตา กวนส่วนผสมพร้อมกับเทาลงในกระทะ แล้วกวนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเทใส่ถาดรองที่เตรียมไว้ใช้ไม้กวาดรีดจนเป็นแผ่น พร้อมนำไปตัด โดยแผ่นทอปปี้ที่รีดแบนยังร้อนและถูกปล่อยคลายความร้อนออกให้มีอุณหภูมิที่ 60, 65 และ 70°C

3.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องตัดทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก

3.4.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดของชุดใบมีดตัดประกอบด้วยใบมีดฟันตรง ใบมีดฟันเลื่อย และใบมีดฟันโค้ง และอุณหภูมิทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบที่ 60, 65 และ 70°C และทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ

3.4.2 วิธีการทดสอบ

เริ่มจากการเสียบปลั๊กและติดตั้งเครื่องวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเข้ากับเครื่องตัดทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก จากนั้นประกอบชุดใบมีดตัดเข้ากับโครงยึดใบมีดเข้ากับระบบไฮดรอลิก เตรียมถาดรองให้พร้อม และเททอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบร้อนในถาดรองพร้อมทั้งรีดให้เป็นแผ่นแบนและปล่อยให้มอดูณหภูมิ 60, 65 และ 70°C ตรวจวัดอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ Fluke รุ่น Ti105 จากบริษัท เก็ต อินไซต์ อินโนเวชัน จำกัด (GET INSIGHT INNOVATION CO., LTD.) จากนั้นนำไปตัดด้วยเครื่องตัดทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิก ช่วงเวลาการทำงานของเครื่องตัดทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกทดสอบ โดยจับเวลาการเคลื่อนที่ของชุดใบมีดตัดจากตำแหน่งบนสุดให้เคลื่อนที่ลงเพื่อตัดทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนและชุดใบมีดตัดถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ขึ้นไปยังตำแหน่งบนสุดพบว่าใช้เวลา 16 วินาที ซึ่งมีอัตราการตัดได้เท่ากับ $100/16 = 6.25$ ชิ้นต่อวินาที หรือ 0.16 วินาทีต่อชิ้น

เนื่องจากในแต่ละกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ประกอบการอาศัยประสบการณ์จึงไม่ได้มีตรวจวัดอุณหภูมิ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อแสดงผลของอุณหภูมิในแต่ละขั้นตอนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนพบว่า ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ เมื่อเริ่มต้นเคี้ยวส่วนผสมตามสูตรของกลุ่มผลิตทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่า 132.9°C ตาม Figure 8 ขณะทดสอบรีดแบน อุณหภูมิสูงถึง 128.3°C

ตาม Figure 9 ในขณะที่รีดแบนอุณหภูมิทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบจะลดลงจากเดิมดัง Figure 10 แสดงอุณหภูมิช่วงรีดแบนที่ 108.8°C จากนั้นปล่อยให้แผ่นทอปปี้กะทิถั่วชนิดกรอบแบนเย็นตัวลงตามเงื่อนไขอุณหภูมิที่ทำการทดสอบดังตัวอย่างการตรวจวัดอุณหภูมิก่อนการตัดที่อุณหภูมิ 65°C ตาม Figure 11

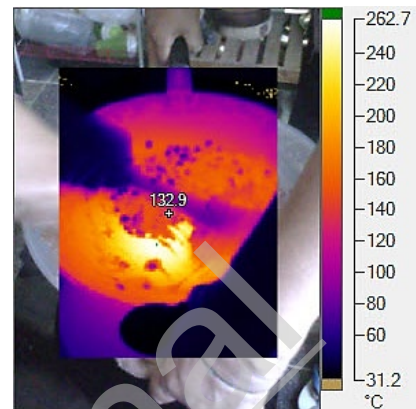


Figure 8 Temperature characteristics when simmer on a gas stove.

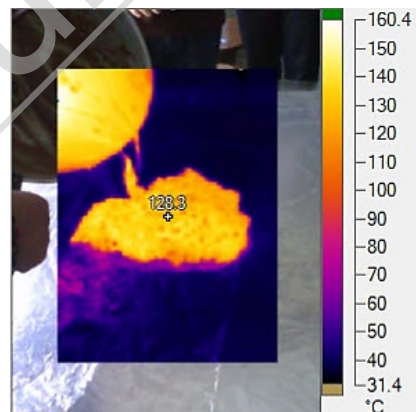


Figure 9 Temperature characteristics when pour before kneading to flatten.

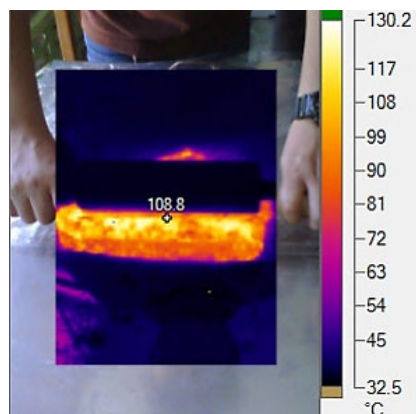


Figure 10 The temperature characteristics of the flat massage period.



Figure 11 Sheet sample of the crispy nuts coconut milk toffee for testing at 65°C.

3.4.3 วิธีการเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ดิจิตอล (Digital power meter) ยี่ห้อ SINOTIMER ความละเอียดในการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0001-999.9 kWh และตรวจสอบชิ้นงานที่ตัดและคัดแยกชิ้นงานที่สมบูรณ์กับชิ้นที่เสีย ลักษณะชิ้นที่สมบูรณ์ คือ ขนาดชิ้นที่ขาดไม่เกิน 1/4 เท่าของชิ้นที่สมบูรณ์ (25×25 mm²) ส่วนลักษณะชิ้นที่ไม่สมบูรณ์ คือ ชิ้นที่ขนาดไม่ถึงครึ่งแผ่นของชิ้นที่สมบูรณ์หรือมีขนาดชิ้นขาดเกิน 1/4 เท่าของชิ้นงานที่สมบูรณ์

3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การหาเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์คำนวณตามสมการที่ (1)

$$P_C = \frac{P_U}{P_A} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ P_C คือ เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานของทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบ (%)

P_U คือ จำนวนชิ้นทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ (kg)

P_A คือ จำนวนชิ้นทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบทั้งหมด (kg)

อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) เครื่องตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบคำนวณตามสมการที่ (2)

$$SEC = \frac{E_H}{P_U} \quad (2)$$

เมื่อ SEC คือ อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (kWh kg⁻¹)

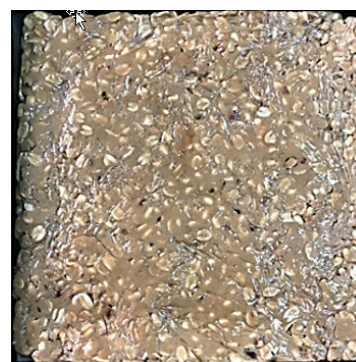
E_H คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าของไฮดรอลิก (kWh)

4 ผลและวิจารณ์

4.1 ผลของอุณหภูมิทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบและชนิดชุดใบมีดตัดต่อสมรรถนะในการตัด

ผลของอุณหภูมิพบว่า สามารถตัดทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 65°C โดยชุดใบมีดฟันตรง ชุดใบมีดฟันเลื่อย และชุดใบมีดฟันโค้งมีเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ 93.25±1.36% 95.47±2.44% และ 98.09±0.33% ตามลำดับเนื่องจากที่อุณหภูมิ 65°C อุณหภูมินี้ทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบไม่อ่อนหรือแข็งเกินไป

ผลของชนิดใบมีดตัดพบว่า ชุดใบมีดฟันโค้งตัดได้ดีที่สุดดัง Figure 12 มีลักษณะชิ้นทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบได้ตามขนาดที่ต้องการ เนื่องจากเมื่อกดตัดหน้าสัมผัสของคมมีดจะโดนส่วนโค้งก่อนจึงทำให้ตัดง่าย รองลงมา คือ ชุดใบมีดฟันเลื่อย และสุดท้ายคือชุดใบมีดฟันตรง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันทั้ง 3 อุณหภูมิของทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบตาม Figure 13 เนื่องจากที่อุณหภูมิประมาณ 60°C เมื่อตัดแล้วทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบจะแตก เพราะทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบแข็งตัว ที่อุณหภูมิประมาณ 65°C เมื่อตัดแล้วมีเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์สูงเนื่องจากไม่แข็งและไม่เหนียวเกินไป และที่อุณหภูมิประมาณ 70°C เมื่อตัดแล้วทอฟฟี่กะทิถั่วชนิดกรอบจะเหนียว เนื่องจากยังไม่แข็งตัว



(a)



(b)

Figure 12 Sample of the crispy nuts coconut milk toffee cutting by curved tooth blade at 65°C (a) Pre-cut sheets (b) 100 pieces sheets after cutting.

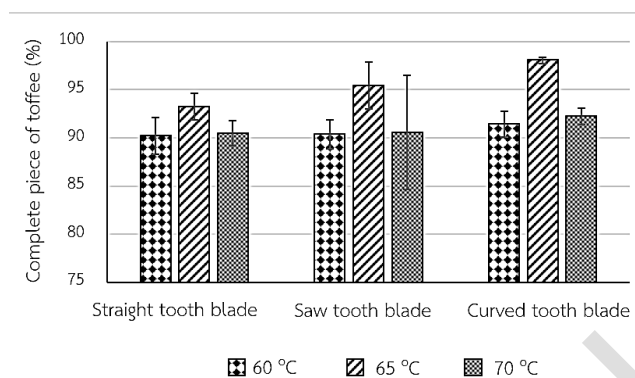


Figure 13 Cutting performance by perfectly toffee sample at 60, 65 and 70°C with straight tooth, saw tooth and curved tooth blade mechanisms.

4.2 ผลของอุณหภูมิของฟองที่กะทิถั่วชนิดกรอบต่ออัตราการใช้พลังงานจำเพาะ

4.2.1 ผลการทดลองใบมีดฟันตรง

ที่อุณหภูมิ 60°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.27 \pm 0.06 \text{ kWh kg}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 65°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.26 \pm 0.01 \text{ kWh kg}^{-1}$ และอุณหภูมิ 70°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.25 \pm 0.01 \text{ kWh kg}^{-1}$

4.2.2 การทดลองใบมีดฟันเลื่อย

ที่อุณหภูมิ 60°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.25 \pm 0.01 \text{ kWh kg}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 65°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.24 \pm 0.04 \text{ kWh kg}^{-1}$ และอุณหภูมิ 70°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.23 \pm 0.03 \text{ kWh kg}^{-1}$

4.2.3 ผลการทดลองใบมีดฟันโค้ง

ที่อุณหภูมิ 60°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.23 \pm 0.04 \text{ kWh kg}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 65°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.23 \pm 0.01 \text{ kWh kg}^{-1}$ และอุณหภูมิ 70°C อัตราการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ $0.22 \pm 0.02 \text{ kWh kg}^{-1}$ และทั้ง 3 อุณหภูมิอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของใบมีดฟันโค้งใช้อัตราการใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุด ส่วนใบมีดฟันตรงอัตราการใช้พลังงานจำเพาะมากที่สุดทุกอุณหภูมิของฟองที่กะทิถั่วชนิดกรอบ เนื่องจากเมื่อตัดฟองที่กะทิถั่วชนิดกรอบตอนที่อุณหภูมิต่ำจะใช้แรงกดมากจึงทำให้ค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) มากและตัดฟองที่กะทิถั่วชนิดกรอบที่อุณหภูมิสูงใช้แรงกดน้อยจึงทำให้ค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) น้อยลงไปด้วยตาม Figure 14 ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันทั้ง 3 ชนิดของใบมีดตัดค่า SEC ที่ต่ำหมายถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าของไฮดรอลิคน้อยลงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าน้อยตามไปด้วย

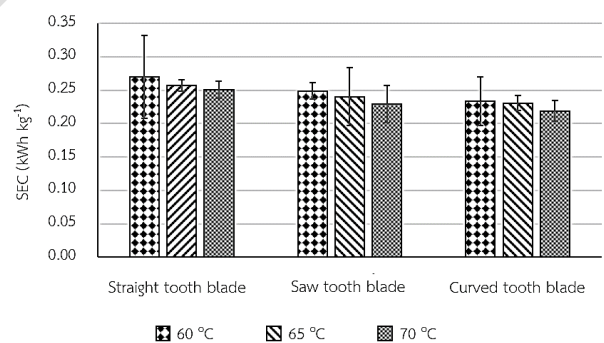


Figure 14 The specific energy consumption rate (SEC) at 60, 65 and 70°C of straight tooth, saw tooth and curved tooth blade mechanisms.

Table 1 Test results of three cutting set types and temperatures of 60, 65 and 70 °C.

Cutting set type	Temperature (°C)	Temperature before cutting (°C)	Complete piece of toffee (%)	Specific energy consumption ((kWh kg ⁻¹))
Straight tooth blade	60	61.30±1.14	90.23±1.88 ^a	0.27±0.06 ^a
	65	66.43±0.55	93.25±1.36 ^{ab}	0.26±0.01 ^a
	70	71.93±4.22	90.47±1.30 ^a	0.25±0.01 ^a
Saw tooth blade	60	62.77±1.23	90.38±1.53 ^a	0.25±0.01 ^a
	65	66.37±0.38	95.47±2.44 ^{bc}	0.24±0.04 ^a
	70	72.57±0.86	90.56±5.91 ^a	0.23±0.03 ^a
Curved tooth blade	60	61.43±2.25	91.45±1.36 ^{ab}	0.23±0.04 ^a
	65	67.20±2.07	98.09±0.33 ^c	0.23±0.01 ^a
	70	73.97±3.76	92.26±0.84 ^{ab}	0.22±0.02 ^a

Note : Lowercase superscripts in the same column indicate that the values are significantly difference (p<0.05).

จาก Table 1 แสดงผลการทดสอบของชุดใบมีดฟันตรง ฟันเลื่อย และฟันโค้ง และอุณหภูมิของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่ 60, 65 และ 70°C เมื่อใช้สถิติ Two way ANOVA ใช้ Duncan's multiple rang test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลหลายๆ คู่พร้อมๆ กันพบว่า อุณหภูมิของฟักที่ถั่วชนิดกรอบมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่ 65°C ส่วนชนิดของชุดใบมีดไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ ส่วนค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ทั้งอุณหภูมิของฟักที่ถั่วชนิดกรอบและชนิดของชุดใบมีดไม่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สมรรถนะในส่วนของการใช้พลังงานจำเพาะผลของอุณหภูมิพบว่า เมื่อตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบขณะที่อุณหภูมิต่ำจะใช้แรงกดมากจึงสามารถตรวจสอบได้จากค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) มากขึ้นเล็กน้อยตาม Table 1 ซึ่งอย่างไรแล้วพลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนปั๊มไฮดรอลิกที่ยึดชุดใบมีดตัดของรูปแบบต่างๆ เป็นจุดหลัก จากการใช้สถิติการเปรียบเทียบพบว่า ค่า SEC ของทุกสภาวะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากผลของแรงที่เกิดขึ้นขณะตัดมีค่าน้อยกว่าแรงที่เกิดจากโครงสร้างโครงยึดใบมีดตัดที่ระบบไฮดรอลิกต้องเคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ลง

นอกจากนี้จากการเก็บข้อมูลเฉพาะขั้นตอนในการตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบจากการผลิตเดิมใช้มีดตัดได้อัตราการตัด 0.56

วินาทีต่อชิ้น ดังนั้นคำนวณอัตราการผลิตได้ 6,428 ชิ้นต่อชั่วโมง และเครื่องตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับวิสาหกิจชุมชนมีอัตราการตัด 0.16 วินาทีต่อชิ้น ดังนั้นคำนวณอัตราการผลิตได้ 22,500 ชิ้นต่อชั่วโมง โดยขนาดที่ตัดได้มาตรฐาน ส่วนงบประมาณสำหรับการใช้ในการพัฒนาเครื่องตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกใช้งบประมาณ 52,200 บาท

5 สรุป

ประโยชน์ที่ได้รับจากการพัฒนาเครื่องตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สภาวะร้อนด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับวิสาหกิจชุมชนสามารถแก้ปัญหาในขั้นตอนการตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบขณะร้อนตามที่วิสาหกิจชุมชนต้องการสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตและขนาดที่ตัดได้มาตรฐาน ซึ่งมีอุปกรณ์หลักๆ คือ ชุดระบบปั๊มไฮดรอลิกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 3 HP, ชุดกระบอกไฮดรอลิกขนาด 3 Ton สำหรับติดตั้งกลไกใบมีดตัดฟักที่ถั่วชนิดกรอบ, โครงสร้างรองรับชุดกระบอกไฮดรอลิกสำหรับกลไกใบมีดที่ระดับต้องเหมาะสมกับคนทำงาน ซึ่งพิจารณาสามารถเดินได้ และออกแบบชุดกลไกใบมีดฟันตรง ใบมีดฟันเลื่อยและใบมีดฟันโค้งสำหรับตัดฟักที่ถั่ว ใบมีดตัดถูกออกแบบที่สามารถถอดมาลับคมมีดได้ซึ่งวัสดุชุดใบมีดตัดใช้สแตนเลส 304

การทดสอบสมรรถนะของการตัด คือ เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานของฟักที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ โดยทำการทดสอบชุดกลไกใบมีดตัด 3 ชุดกับอุณหภูมิ

ทอพีกะที่ถั่วชนิดกรอบ 60, 65 และ 70°C จำนวน 3 ซ้ำ พบว่าสมรรถนะของการตัดในส่วนเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอพีกะที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ชุดใบมีดฟันโค้งได้สมรรถนะการตัดมากที่สุด รองลงมา คือ ชุดใบมีดฟันเลื่อย และถัดลงมาชุดใบมีดฟันตรง ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่ใบมีดฟันโค้งค่อยๆ สัมผัสกับเนื้อทอพีกะที่เกิดจากอัตราการใช้พลังงานที่มีแนวโน้มน้อยกว่าใบมีดฟันตรง และใบมีดฟันเลื่อยอย่างเห็นได้ชัดเจน พบว่า ชุดใบมีดฟันโค้งและใบมีดฟันเลื่อยตัดทอพีกะที่อุณหภูมิที่ 65°C ดีที่สุด เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานทอพีกะที่ถั่วชนิดกรอบที่สมบูรณ์ มากสุดและอัตราการใช้พลังงานจำเพาะต่ำ

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณบุญศรี ทาแลบ ที่ให้การสนับสนุนทุกด้านงานวิจัยเสร็จตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้

7 เอกสารอ้างอิง

Anantattanachai, S. and Charoenyos, R. 2015. Development of Krayasart ironing and cutting process for communities. Independent study, Bachelor of Engineering and Architecture. Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. Nonthaburi: Thai Wattana Panich. (in Thai)

JFE Steel Corporation. 2020. Stainless steels. Available at: <https://www.jfe-steel.co.jp/en/products/stainless/catalog/g1e-001.pdf>. Accessed on 9 June 2020.

Kampanpong, P., Sae – Sio, B. and Vorarat, S. 2014. A design and implementation of high performance insulation sheets cutting machine for production cost reduction. Proceedings of Industrial Engineering Academic Conference 2014. 30-31 October 2014, Samut Prakan. (in Thai)

Khamfoo, Th., Kanchanlertchai, S. Saksiangiam, N. and Sirasimbruem, P. 2015. Design and Development of rice cutting machine for stuffed fish mackerel. Bachelor of Engineering Thesis. King Mongkut's University of Technology Ladkrabang Bangkok: King Mongkut's University of Technology Ladkrabang. (in Thai)

Khamfoo, Th., Kanchanlertchai, S. Saksiangiam, N. and Sirasimbruem, P. 2015. Design and development of rice cutting machine for stuffed mackerel meal. Proceedings of the 16th TSAE National Conference and the 8th TSAE International Conference. 567-570. (in Thai)

Panjabut, N. and Hoongrak, K. 2017. Study of Mango Varieties and the optimum amount of Sae in Mango Toffee Production. Proceedings of the 2nd National / International Graduate Conference. Silpakorn University. 1016-1029. (in Thai)

Petcharat, K., Sae Tang, D. Tang Sathitporn, D. and Sakunyuenyongsuk, N. 2012. Research report on development of traditional Thai herbal candy: reduce inflammation and stop bad breath. Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

Tanchiwawong, N. 2001. Hydraulic industry. Bangkok: Technology Promotion Association (Thai-Japanese). (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute. 2016. Toffee Community Product Standard. 265/2559. Ministry of Industry, Rama VI Road, Bangkok. 1-6. (in Thai)

Wongmanee, A., Panya-uad, C. and Muang clear, N. 2017. Development of mulberry leaf cracker herbs shredder. Bachelor of Industrial Technology. Kamphaeng Phet Rajabhat University. (in Thai)



การศึกษาการวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มสำหรับปาล์มทะลายโดยใช้ต้นแบบหัววัด

Study of palm oil percentage measurement for oil palm bunch using electric probe prototype

ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร^{1*}, ชุศักดิ์ ขวประดิษฐ์¹, นายพงษ์วิ นามวงศ์², สุรชาติ รัชยาทอง¹

Preedawan Chairichonlathan¹, Chusak Chavapradit¹, Pongrawee Namwong¹, Surachart Rayathong¹

¹สถาบันวิจัยวิศวกรรมเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok 10900

²ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร จ.เชียงใหม่, 50100

²Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Department of Agriculture, Chiang Mai 50100

*Corresponding author: Tel: +66-8-0588-4959, Fax: +66-2-529-0663-4, E-mail: jasmine.1100@hotmail.com

บทคัดย่อ

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีนโยบายจะประกาศบังคับการซื้อขายปาล์มทะลายตามเปอร์เซ็นต์น้ำมันต่อทะลาย แต่ปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มที่สามารถวัดได้ถูกต้อง รวดเร็ว สอดคล้องกับการวัดด้วยวิธีมาตรฐาน การออกแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในทะลายปาล์มต้องคำนึงถึงลักษณะของปาล์มทะลายซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ให้น้ำมันและไม่ให้น้ำมันอีกทั้งความสูงแก่ของผลปาล์มไม่เท่ากันทั้งทะลาย วัตถุประสงค์ของรายงานฉบับนี้คือการศึกษาการวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มสำหรับปาล์มทะลายโดยใช้ต้นแบบหัววัดไฟฟ้า โดยหัววัดทรงกระบอกถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้บรรจุเปลือกปาล์มที่ถูกผ่านเป็นแผ่นบางใสในหัววัด ต้นแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มสำหรับปาล์มน้ำมัน ได้รับการพัฒนาจากความสัมพันธ์สองประการ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเปลือกปาล์มกับความจุไฟฟ้าของเปลือกปาล์มหนึ่งบางโดยใช้หัววัดทรงกระบอก และความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกปาล์มกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันต่อทะลายปาล์ม แรงดันไฟฟ้าขาออกแบบโวลต์ พีค-พีคจากวงจรไฟฟ้าต้นแบบถูกอ่านค่าโดยเครื่องออสซิลโลสโคป ต้นแบบจะต้องทำการเปลี่ยนค่าความต้านทาน (R) ด้วยสวิตช์เลือก 3 ระดับ โดยใช้ต้านทาน (R) เป็นค่า 613 k Ω , 100 k Ω และ 10 k Ω สำหรับเปลือกปาล์มสุกจัด ปาล์มกึ่งสุก และ ปาล์มดิบ ตามลำดับ ต้นแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในทะลายปาล์มน้ำมันจะถูกพัฒนาต่อในรูปแบบของแผ่นวงจรพีซีบี เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ถูกต้อง สามารถวัดซ้ำ และสามารถผลิตซ้ำได้

คำสำคัญ: ปาล์มทะลาย, ความจุไฟฟ้า, การวิเคราะห์องค์ประกอบทะลาย

Abstract

Ministry of Agriculture and Cooperatives policy for oil palm looking forward to announce a regulation for oil palm dealing to be obligated on percentage of oil. However, there is currently no accurate, fast and standardized instrument for measuring percentage of oil in palm. Consideration of all oil palm bunch characteristics consists of oil and non-oil portions and irregular maturity of oil palm bunch had to be concluded in design and development of palm oil percentage meter. The objective of this report was study of palm oil percentage measurement for oil palm bunch using electric probe prototype. Appropriate probe was cylindrical type cup and apposite electrical

Received: August 03, 2022

Revised: August 20, 2022

Accepted: August 22, 2022

Available online: August 31, 2022

property was capacitance. Oil palm fibrous husk or mesocarp in this developed measurement methods were sliced and filled in a modified cylinder probe. Prototype of palm oil percentage meter for oil palm bunch was developed from relationship between moisture content of palm fibrous husk and capacitance value of sliced palm fibrous husk from modified cylindrical probe and relationship between moisture content of palm fibrous husk and oil percentage per oil palm bunch. Output signals of the prototype circuit in terms of peak-peak output voltage were achieved from oscilloscope. The prototype must change the resistance value (R) with a 3-selector switch. Resistivity value (R) was used as 613 $k\Omega$, 100 $k\Omega$ and 10 $k\Omega$ for ripe, semi-ripe and unripe palms, respectively. The prototype will be further developed in terms of PCB circuit boards to make it easy to use, fast, accurate, repeatable, re product and reproductivity

Keywords: Palm bunch, Capacitance, Composition analysis method

1 บทนำ

การเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันในช่วงที่ปาล์มสุกพอดีจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันดีที่สุด ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเพิ่มขึ้นเป็น 21 เปอร์เซ็นต์จากเดิมที่มีอยู่เพียง 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาจากผลผลิตที่เท่ากัน 11.62 ล้านตัน จะทำให้ประเทศไทยมีรายได้เพิ่มขึ้น 90,000 ล้านบาทต่อปี โดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่ปลูกปาล์มถึง 781,000 ไร่ (เพ็ญศิริ, 2557) การซื้อขายปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่อยู่ในสภาพการขายทั้งทะลายปาล์ม โดยทะลายปาล์มน้ำมันประกอบด้วย ก้านทะลาย ก้านทะลายย่อย และผลปาล์มน้ำมัน ผลปาล์มน้ำมันไม่มีก้านผล (Sessile drupe) ประกอบด้วย ผิวเปลือกนอก (Exocarp) ชั้นเปลือกนอก (Mesocarp) และเมล็ดประกอบด้วย กะลา (Endocarp) และเนื้อในเมล็ด (Endosperm) (อรรถน และคณะ, 2554) ส่วนที่ให้น้ำมันมี 2 ส่วน คือ เปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) และส่วนเนื้อในเมล็ด (Endosperm)

เปอร์เซ็นต์น้ำมันส่วนใหญ่ได้มาจากชั้นเปลือก (Mesocarp) สอดคล้องกับมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 5702-2562 เรื่อง ทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งกำหนดให้การวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันจากการสกัดผลปาล์มน้ำมันโดยไม่รวมเนื้อในเมล็ดปาล์มด้วยวิธี American oil chemists society (AOCS) official method Ac-3-44 หลักการ Solvent extraction (Soxtec system) (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2562) แต่เนื่องจากความสุกแก่ของผลปาล์มในทะลายปาล์มไม่เท่ากันทั้งทะลาย โดยมีการสุกจากด้านนอกสุดของทะลายเข้าสู่ก้านทะลาย ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันของแต่ละผลปาล์มในทะลายปาล์มไม่เท่ากัน และเพื่อให้เกิดมาตรฐานการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันเพื่อให้ได้ราคาที่เป็นธรรมจึงมีการคิดกระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบทะลายปาล์ม (Bunch analysis) เพื่อเป็นวิธี

มาตรฐานในการสุ่มตัวอย่างผลปาล์มจากทะลายแล้วนำมาสกัดน้ำมันด้วย Soxtec system (Hartley, 1988, ชีระ, 2554, กรมวิชาการเกษตร, 2548 และ เบญจมาภรณ์ 2553) วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทะลายปาล์มเป็นวิธีที่ประกอบด้วยหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้ตัวแทนของผลปาล์มน้ำมันทั้งทะลายไปวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำมันในห้องปฏิบัติการ และเทียบกลับมาเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งทะลายปาล์ม

กรมวิชาการเกษตร ได้รายงานการทดลองหัตถ์ 2 แบบ คือ แบบเข็มและแบบทรงกระบอก พบว่า หัตถ์แบบทรงกระบอกมีความแม่นยำกว่าหัตถ์แบบเข็ม โดยความจุไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสมสอดคล้องกับการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มด้วยวิธีมาตรฐาน (ปรีดาวรรณ และคณะ, 2564)

ในรายงานฉบับนี้เป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อจะหาจุดเริ่มต้นแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มสำหรับปาล์มทะลาย โดยแสดงผลผ่านทางเครื่องออสซิลโลสโคป ในรายงานฉบับต่อไปต้นแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในทะลายปาล์มน้ำมันจะถูกพัฒนาต่อในรูปแบบของแผ่นวงจรพีซีบี (Printed circuit board: PCB) เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ถูกต้อง สามารถวัดซ้ำ และสามารถผลิตซ้ำได้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

1. ทะลายปาล์มพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2 จำนวน 125 ทะลาย ประกอบด้วย ทะลายปาล์มดิบ ทะลายปาล์มกึ่งสุก และทะลายปาล์มสุก
2. เครื่องวัดไฟฟ้ามาตรฐาน มัลติมิเตอร์ รุ่น DT-9205
3. เครื่องออสซิลโลสโคป รุ่น DSO5102BMT

2.2 การออกแบบหัววัด

ในรายงานฉบับนี้เป็นการออกแบบหัววัดทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 mm และมีความสูง 30 mm มีขั้วไฟฟ้า 2 ด้าน ทดลองบรรจุเปลือกปาล์มแห้งจำนวน 2 g. (Figure 1) ที่มีความสูงและระดับต่างกันในตัววัดทรงกระบอกแล้วปิดฝา ใส่ลงในช่องรับตัวอย่างซึ่งต่อกับเครื่องวัดไฟฟ้ามาตรฐาน DT-9205 เพื่อทำการวัดค่าความจุไฟฟ้า (Figure 2) นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความชื้นเปลือกปาล์มกับค่าความจุไฟฟ้าของเปลือกปาล์ม

ออกแบบวงจรไฟฟ้าที่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของความจุไฟฟ้าของเปลือกปาล์มแห้งบางซึ่งบรรจุในตัววัดทรงกระบอก โดยที่เปลือกปาล์มตั้งแต่ดิบจนถึงสุกครอบคลุมความจุไฟฟ้าเป็นช่วงกว้างมากตั้งแต่ 10 – 200 μF ในการวัดจึงต้องปรับค่าความต้านทาน (R) ด้วยสวิตช์เลือก เมื่อทำการหมุนสวิตช์ไปที่หมายเลข 1 เป็นการเลือกใช้ความต้านทาน (R) เป็นค่า 613 $\text{k}\Omega$ สำหรับเปลือกปาล์มที่มีความจุไฟฟ้า 0.2 – 2 μF และหมายเลข 2 เพื่อเลือกใช้ความต้านทาน (R) เป็นค่า 100 $\text{k}\Omega$ สำหรับเปลือกปาล์มที่มีความจุไฟฟ้า 2 – 20 μF และหมายเลข 3 เพื่อเลือกใช้ความต้านทาน (R) เป็นค่า 10 $\text{k}\Omega$ สำหรับเปลือกปาล์มที่มีความจุไฟฟ้า 20 – 200 μF ตามลำดับ (วงจรไฟฟ้าที่ออกแบบเป็นลิขสิทธิ์ของสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน))



Figure 1 Modified cylinder probe.

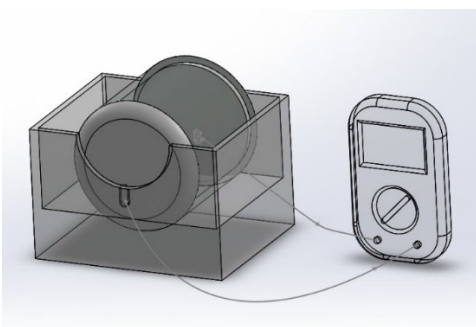


Figure 2 Utilization of modified cylinder probe.

2.3 การทดลองวงจรต้นแบบ

ทะลายปาล์มพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2 จำนวน 125 ทะลาย ประกอบด้วย ทะลายปาล์มดิบ ทะลายปาล์มกึ่งสุก และทะลายปาล์มสุก โดยสภาพปกติทั่วไป ทะลายปาล์มจะมีสภาพเปลือกแข็งและดำไม่มีผลร่วง สภาพเปลือกสัมนดำ ผลร่วงน้อยกว่า 10 ผล และ เปลือกสัมนสด ผลร่วงมากกว่า 10 ผล ตามลำดับ ถูกวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทะลายโดยแต่ละทะลายจะสุ่มเลือก 15 ก้านช่อต่อซ้ำ จำนวน 2 ซ้ำต่อทะลาย แล้วเลือกตัวอย่างผลปาล์ม 25 ผลต่อซ้ำ จากการเลือกผลปาล์มจากกลุ่มผลใหญ่และกลุ่มผลเล็ก ซึ่งจะมีทั้งหมด 250 ซ้ำ นำผลปาล์ม 25 ผลต่อซ้ำมาหั่นเปลือกเป็นชิ้นบางและหนาประมาณ 1 mm แล้วนำเปลือกปาล์มหั่นบางไปทดสอบวงจรไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น ส่วนกะลาถูกเกลาให้เกลี้ยง หลังจากทดสอบวงจรไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้นแล้ว นำเปลือกปาล์มทั้งหมดไปอบให้แห้ง เพื่อหาค่าความชื้นเปลือกผลปาล์ม

การทดสอบวงจรไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น นำตัวอย่างเปลือกปาล์มหั่นบาง จำนวน 2 g. แล้วนำมาบรรจุในตัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 mm และมีความสูง 30 mm มีขั้วไฟฟ้าที่ฝา 2 ด้าน ปิดฝาแล้วนำมาใส่ลงในช่องรับตัวอย่างซึ่งต่อกับวงจรไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น แสดงผลด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปรุ่น DSO5102BMT เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก (the peak-peak out V.) (Figure 3) นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความชื้นเปลือกปาล์มกับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก (the peak-peak out V) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกปาล์มกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันต่อทะลายปาล์ม

การวิเคราะห์หาความชื้น ดำเนินการโดยชั่งน้ำหนักเปลือกปาล์มหั่นบาง 10 g นำเข้าตู้อบลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน 60°C อบจนน้ำหนักตัวอย่างไม่ลดลงแล้ว นำออกมาชั่งน้ำหนักหลังอบแห้ง แล้วนำมาคำนวณเป็นค่าความชื้นของตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์น้ำมัน ดำเนินการโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทะลายปาล์มซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างผลปาล์มจากทะลาย 15 ช่อต่อทะลาย และเทียบบัญญัติไตรยางค์จากผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ รวม 25 ผล นำมาหั่นเปลือกปาล์ม เกลากะลาให้เกลี้ยง แล้วนำเปลือกปาล์มหั่นบางไปอบแห้ง นำมาบด แล้วสกัดน้ำมันด้วย Soxtec system แล้วทำการเทียบบัญญัติไตรยางค์กลับไปเป็นน้ำมันต่อทะลาย

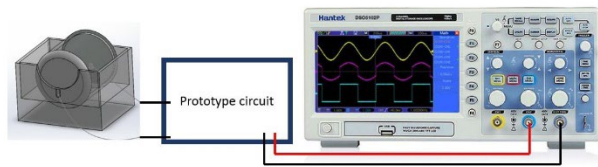


Figure 3 The prototype electrical circuit test.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการออกแบบหัววัด

ผลวิเคราะห์การทดลองพบว่าความจุไฟฟ้าของผลปาล์มแบบใช้หัววัดแบบทรงกระบอก มีค่าความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกปาล์มสูงที่สุด ดัง Figure 4 พบว่าปาล์มดิบมีความจุไฟฟ้า 137.96 μF มีค่าความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงที่สุด 70 %wb ปาล์มกึ่งสุกความชื้น 50 %wb จะมีความจุไฟฟ้า 33.41 μF ปาล์มสุกความชื้น 30 %wb จะมีความจุไฟฟ้า 8.09 μF

จากผลการทดลองซึ่งพบว่าเปลือกปาล์มแห้งมีความจุไฟฟ้าช่วงกว้างมากตั้งแต่ 10 – 200 μF ซึ่งถือว่าเป็นความจุไฟฟ้าตามธรรมชาติขนาดใหญ่สำหรับตัวความจุไฟฟ้าแบบไม่มีขั้ว เนื่องจากหากเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ความจุไฟฟ้ามาตรฐานแล้ว อุปกรณ์ความจุไฟฟ้าแบบไม่มีขั้วมาตรฐานมีค่าสูงสุดเพียง 1 μF

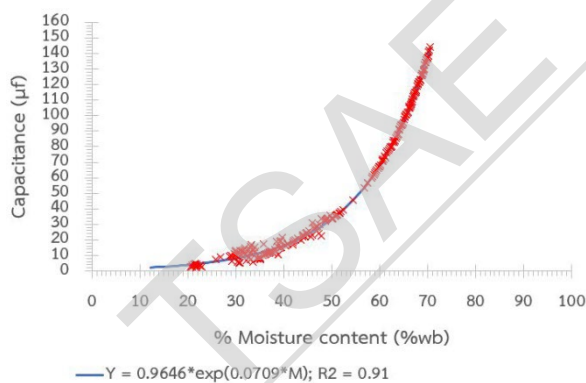


Figure 4 Relationship between % moisture content of palm fibrous husk by using the modified cylinder probe and capacitance values (μF) from DT9205A multimeter

3.2 ผลการทดลองวงจรต้นแบบ

ออกแบบวงจรเพื่อวัดเปลือกปาล์มตั้งแต่ดิบจนถึงสุก ครอบคลุมความจุไฟฟ้าเป็นช่วงตั้งแต่ 10 – 200 μF ซึ่งเป็นความจุไฟฟ้าของเปลือกปาล์มที่อยู่ในช่วงกว้างมากจึงจะต้องทำการเปลี่ยนค่าความต้านทาน (R) ด้วยสวิตช์เลือก โดยทำการหมุนเลือกสวิตช์ไปที่หมายเลข 1 เพื่อเลือกใช้ความต้านทาน (R) เป็นค่า 613 $\text{k}\Omega$ สำหรับปาล์มสุกจัด หมุนเลือกไปที่หมายเลข 2

เพื่อเลือกใช้ความต้านทาน (R) เป็นค่า 100 $\text{k}\Omega$ สำหรับปาล์มกึ่งสุก และหมุนเลือกไปที่หมายเลข 3 เพื่อเลือกใช้ความต้านทาน (R) เป็นค่า 10 $\text{k}\Omega$ สำหรับเปลือกปาล์มดิบ ผลการทดลองพบว่าวงจรต้นแบบสามารถให้ผลการวัดมีความสัมพันธ์ของความชื้นเปลือกปาล์มกับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก ดัง Figure 5 และความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกปาล์มกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันต่อทะเลลายปาล์ม ตาม Figure 6

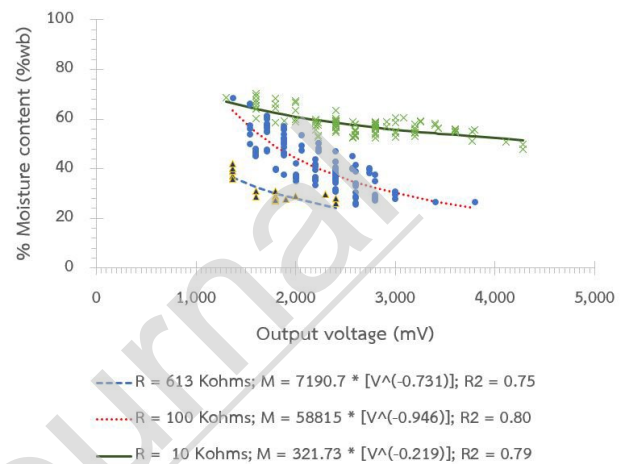


Figure 5 Relationship between % moisture content of palm fibrous husk by using the modified cylinder probe and the peak-peak output voltage from oscilloscope.

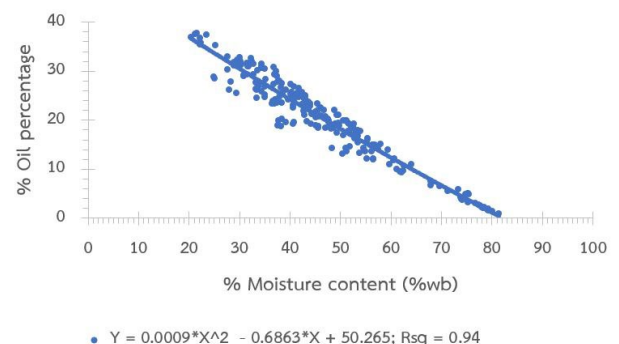


Figure 6. Relationships between moisture content of palm fibrous husk and oil percentage per oil palm bunch

4 สรุป

เปลือกปาล์มดิบจนถึงปาล์มสุกบรรจุในหัววัดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 mm และมีความสูง 30 mm มีขั้วไฟฟ้า 2 ด้าน เมื่อนำมาทดลองวัดความชื้นกับความจุไฟฟ้า พบว่าเปลือกปาล์มมีความจุไฟฟ้าเป็นช่วงตั้งแต่ 10 – 200 μF

วงจรต้นแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มสำหรับปาล์มทะเลายแสดงผลด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป รุ่น DSO5102BMT เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จะต้องทำการเปลี่ยนค่าความต้านทาน (R) ด้วยสวิตช์เลือก 3 ระดับ โดยใช้ต้านทาน (R) เป็นค่า 613 k Ω , 100 k Ω และ 10 k Ω สำหรับเลือกปาล์มสุกจัด ปาล์มกึ่งสุก และ ปาล์มดิบ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ความชื้นเลือกปาล์มมีความสัมพันธ์กับค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก และความชื้นเลือกปาล์มมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์น้ำมันของเลือกปาล์ม ดังนั้นต้นแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในทะเลายปาล์มน้ำมันจะถูกพัฒนาต่อในรูปแบบของแผ่นวงจรพีซีบี เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ถูกต้อง สามารถวัดซ้ำ และสามารถผลิตซ้ำได้ และเป็นเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มที่มีราคาถูกกว่าวิธีวัดแบบอื่นๆ เช่น NIR เป็นต้น

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ในการสนับสนุนทุนวิจัยโครงการการศึกษาเทคนิคการวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในทะเลายปาล์มน้ำมันอย่างรวดเร็วโดยใช้ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์น้ำมันกับค่าทางไฟฟ้า ซึ่งบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการดังกล่าว

6 เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2548. เอกสารวิชาการ ปาล์มน้ำมัน. เอกสารวิชาการลำดับที่ 16/2547 ISBN 974-436-315-7 พิมพ์ครั้งที่ 2 สิงหาคม 2548 ชุมชุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. อัตราพันธุ์กรรมและสหสัมพันธ์ของลักษณะเชิงปริมาณ ใน การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน หน้า 259-308. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เบญจมาภรณ์ พิมพ์า. 2553. โครงการการศึกษาปริมาณน้ำมันในทะเลายปาล์มสุกและสภาวะการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณน้ำมันปาล์มดิบในจังหวัดสุราษฎร์ธานี รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สกว.

ปรีดาพรรณ ไชยศรีชลาธาร, ชุศักดิ์ ขวประดิษฐ์, นายพงษ์วินามวงศ์, ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์, ศุภร อ่างบุญพงษ์, สุรชาติ ระย้าทอง. 2564. การศึกษาเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าของตัวอย่างปาล์มน้ำมันด้วยหัววัดแบบเข็มและหัววัดทรงกระบอกกับเครื่องวัดค่าทางไฟฟ้ามาตรฐาน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วันที่ 12-14 พฤษภาคม พ.ศ. 2564

เพ็ญศิริ จำรัสฉาย. 2557. ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม ใครได้ใครเสีย. ในการอภิปราย “ปาล์มน้ำมันไทยแข่งขันได้ด้วยวิชาการ – ประเทศก้าวหน้า เกษตรกรรมคง” ห้องประชุมมนตรีรัฐมาคม ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร วันที่ 30 พฤษภาคม 2557

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร, 2562. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : ทะลายปาล์มน้ำมัน มกษ. 5702-2562 จำนวน 9 หน้า

อรรถัน วงศ์ศรี, เตือนจิตร เพ็ชรธนู และ ชญาดา ดวงวิเชียร. 2554. พันธุ์และการคัดเลือกต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ในเอกสารการจัดการสวนปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์มสถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 1 – 10.

Hartley C.W.S. 1988. The Oil Palm. 2nd Longman Publishers Ltd., London. 706 pp.



ผลการใช้เชื้อเพลิงขยะ (RDF) ร่วมกับชีวมวลต่อสมรรถนะและการปลดปล่อยมลพิษของเตาเผาภาชนะเซรามิก Effects of combined RDF and biomass on performance and emissions of a ceramic kiln

นันทกร ภาควัฒน์^{1,2*}, พรธชา ลิปลับ^{1,2}, ทิพย์สุภินทร์ หินซุย², วีรชัย อาจหาญ^{1,2}

Nontakorn Phakphoom^{1,2*}, Pansa Liplap^{1,2}, Thipsuphin Hinsui², Weerachai Arjharn^{1,2}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

²ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

¹School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

²Center of Excellence in Biomass, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

*Corresponding author: Tel: +66 93-528-3425, Fax: +66-44-224-610 E-mail: Nonthakorntopp@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้เชื้อเพลิงขยะ (Refuse-derived Fuel; RDF) ร่วมกับชีวมวลต่อสมรรถนะการผลิตความร้อน การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ และการปนเปื้อนในเถ้า รวมถึงการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ ทั้งเครื่องปั้นดินเผาและจาน-ชาม เชื้อเพลิง 3 ประเภท ได้แก่ ไม้เลื้อย ไม้ : RDF-3 และ ไม้ : RDF-5 ที่อัตราส่วน 80 : 20 wt. % w.b. ถูกใช้ในการวิจัย โดยใช้เตาเผาภาชนะเซรามิกแบบทางเดินลมร้อนลง ในตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา พบว่าการใช้ RDF ทั้ง 2 ประเภท มีสมรรถนะการผลิตความร้อนได้ดีเทียบเท่าไม้ แต่การใช้ RDF-3 อุณหภูมิจะแกว่งกว่าเชื้อเพลิงอื่น ส่วนการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์และเถ้า เมื่อเทียบกับมาตรฐานและงานวิจัยอื่น พบว่ามีค่าใกล้เคียงและผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัว แต่ทั้ง 3 เชื้อเพลิงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ พบว่าการใช้ ไม้ : RDF-3 มีการปลดปล่อยมลพิษมากกว่าการใช้ไม้เลื้อยอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นค่า NO_x และ HF ที่มีค่าลดลง แต่ทั้งไม้เลื้อยและ ไม้ : RDF-3 มีค่าฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน 400 และ 539 mg m^{-3} ตามลำดับ ส่วนค่าอื่นมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัว โดยสรุป RDF-3 และ RDF-5 มีสมรรถนะในการผลิตความร้อนได้ดีเทียบเท่าไม้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวมวลทางอากาศ และการปนเปื้อนในเถ้าและผลิตภัณฑ์ ยกเว้นค่าฝุ่นละอองที่มีค่าเกินมาตรฐาน

คำสำคัญ: ชีวมวล, เตาเผาเซรามิก, เชื้อเพลิงขยะ, มลพิษอากาศ, การเผาไหม้โดยตรง, เครื่องปั้นดินเผา

Abstract

The objective of this research was to study effects of combined RDF and biomass on heat production performance, air emissions, and contaminations in ash, including product contamination in both earthenware and plate - bowls. 3 types of fuel were used including Wood, Wood: RDF-3 and Wood: RDF-5 with a ratio of 80: 20 wt. % w.b. Using a ceramic kiln with a path of hot air down, in Dan Kwian Sub-district, Chok Chai District, Nakhon Ratchasima Province. The results showed that burning of the combined RDF and biomass was not different from pure biomass, But the RDF-3 had temperature fluctuates more than in other fuels. Product and ash contamination compared to standards and research showed values close to all passes. But the three fuels had significantly different. For air emissions, it was found that wood: RDF-3 had significantly higher emissions than pure biomass, except for reduced NO_x and HF values. But both fuels have dust values that exceed the standard values of 400

Received: August 03, 2022

Revised: August 26, 2022

Accepted: August 26, 2022

Available online: October 03, 2022

and 539 mg m⁻³, respectively. Summary, RDF-3, and RDF-5 It had the same good heat production performance. Without affecting air pollution emissions and contamination in ash and products, except for the dust value that is higher than the standard

Keywords: Biomass, Ceramic kiln, Refuse-derived fuel, Air pollution, Direct combustion, Earthenware

1 บทนำ

ปัจจุบันขยะมูลฝอยเกิดขึ้นต่อเนื่องทุกวัน ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยมากถึง 24.98 million tons แต่ลดลงจากปีก่อนหน้าร้อยละ 1.5 ถือเป็นเรื่องดีที่หลายปีที่ผ่านมา ปริมาณขยะมูลฝอยมีแนวโน้มลดลง แต่ยังมีขยะที่มีการกำจัดอย่างไม่ถูกต้องมากถึงร้อยละ 32 (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) ซึ่งขยะเหล่านี้เกิดจากผู้รับซื้อน้อยราย และหน่วยงานในหลายพื้นที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งรับซื้อขยะมูลฝอยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หรือกำจัด เช่น โรงงานผลิตไฟฟ้าจากขยะ โรงงานผลิตปูนซีเมนต์เตาเผาขยะ เป็นต้น ซึ่งอยู่ในแถบภาคกลาง ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง หลายพื้นที่จึงจำเป็นต้องนำไปฝังกลบอย่างไม่ถูกต้องหรือกองทิ้งกลางแจ้ง ทำให้ขยะล้นบ่อฝังกลบ ส่งผลกระทบต่อชุมชนในพื้นที่ใกล้เคียง จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยที่เหมาะสมกับพื้นที่ เพื่อลดปัญหาเหล่านี้ได้

ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการนำเชื้อเพลิงขยะไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย Carlos et al. (2016). ได้ใช้เชื้อเพลิงขยะ (RDF) ร่วมกับถ่านหินและกะลาปาล์ม ในกระบวนการเผาอิฐ พบว่าสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้ถึงร้อยละ 5 และยังลดการเกิดมลพิษเมื่อเทียบกับการใช้ถ่านหินอย่างเดียว เช่นเดียวกับ Safwat et al. (2019). และ Mustafa K. (2012) ได้นำ RDF ไปใช้ร่วมกับถ่านหินในเตาเผาปูนซีเมนต์ พบว่าสามารถลดต้นทุนและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเทียบกับการใช้ถ่านหิน ซึ่งส่วนมากเป็นการใช้ร่วมกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือ Small-Medium Enterprise: SMEs) ก็ถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จาก RDF ซึ่ง พรชยา ลิบลับ และคณะ. (2562). ได้ทดสอบ RDF-5 กับโรงไฟฟ้าชีวมวล พบว่าอุณหภูมิการเผาไหม้มีแนวโน้มสูงกว่าชีวมวล มีความเสถียรเทียบเท่าชีวมวล ไม่ส่งผลต่อคุณภาพก๊าซที่โดยรวมถึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษที่เกินมาตรฐานอีกด้วย แต่การใช้ RDF2-3 รวมยังมีข้อจำกัด เนื่องจากมีขนาดใหญ่และระบบลำเลียงเป็นแบบสกรู ทำให้มีการลำเลียงยาก นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา/เซรามิก โรงงานอบไม้

อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา/เซรามิก ถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากการใช้พลังงานความร้อนจำนวนมากจากการทดสอบเตาเผาภาชนะดินเผาที่ด่านเกวียน แต่ละรอบจะใช้เวลาราว 9-11 d. อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 970 °C และใช้ไม้ฟืนประมาณ 3-4 tons ต่อเตา และระบบการป้อนเชื้อเพลิงโดยตรง จะสามารถนำ RDF2-3 มาใช้ร่วมได้ จากแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยด้วยเตาอย่างมีประสิทธิภาพ กรมควบคุมมลพิษ. (2561) การเผาที่อุณหภูมิสูงเกิน 850 °C จะสามารถกำจัดมลพิษที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศและเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และหากอุณหภูมิไม่เกิน 1,100 °C จะไม่ก่อให้เกิด NO_x ที่เพิ่มขึ้น และด้วยการเข้าสู่ยุคสังคมเมือง ไม้ฟืนเริ่มหายาก มีต้นทุนสูงขึ้น การนำ RDF มาใช้ร่วมกับไม้ฟืน จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ซึ่งในตำบลด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา ก็ถือเป็นแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่จำหน่ายทั้งไทยและต่างประเทศ มีจำนวนมากถึง 13 แห่งด้วยกัน (ศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุอุตสาหกรรมสร้างสรรค์, 2560) และอยู่ไม่ห่างจากแหล่งผลิตเชื้อเพลิงขยะ รัศมีไม่เกิน 30 km ได้แก่ เทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลเมืองเมืองปัก

อย่างไรก็ตาม การที่จะนำเชื้อเพลิงขยะมาใช้ประโยชน์ร่วมกับอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงสมรรถนะการผลิตความร้อนและการเกิดมลพิษ ทั้งมลพิษในอากาศและการปนเปื้อนในเถ้าและผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่า ทวีชัย ลิ้มปสันติเจริญ รัฐพล อันฉะ และมัลลิกา ปัญญาตะโป, (2561). ได้ให้ข้อมูลว่าการใช้ไม้ในการเผาเซรามิกไม่ก่อให้เกิดมลพิษที่เกินค่ามาตรฐาน แต่เนื่องจากเชื้อเพลิงขยะมีคุณสมบัติทางเคมีที่มากกว่าไม้ จึงมีการปลดปล่อยมลพิษมากกว่าไม้อย่างแน่นอน โดยอ้างอิงการตรวจวัดตามมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2553). ประกอบด้วย ค่าฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x as NO₂) ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) สารปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) ในส่วนของผลิตภัณฑ์และเถ้าต้องมีการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก 14 ชนิด ประกอบด้วย (แคดเมียม Cd) (ปรอท Hg) (แบเรียม Ba) ซีเลเนียม (Se) เงิน (Ag) พลวง (Sb) สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) โคบอลต์ (Co) ทองแดง

(Cu) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) และวาเนเดียม (V) (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับอาหาร ต้องมีการตรวจวัดค่าตะกั่วและแคดเมียม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556) มอก. 32 นอกจากนี้ยังต้องมีการตรวจวัด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ (O_2) เพื่อประเมินการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาผลการใช้เชื้อเพลิงขยะ (RDF) ร่วมกับชีวมวลต่อสมรรถนะและการปลดปล่อยมลพิษของเตาเผาภาชนะเซรามิก ว่าแตกต่างจากการใช้เชื้อเพลิงดั้งเดิมอย่างไร

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการใช้เชื้อเพลิงขยะ (RDF) ร่วมกับชีวมวล เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตความร้อน การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ และการปนเปื้อนในเถ้าและผลิตภัณฑ์ จากการใช้เชื้อเพลิงไม้สับ ไม้: RDF-3 และไม้: RDF-5 ที่สัดส่วนการบด 80: 20 wt. % w.b. โดยใช้เตาเผาเครื่องปั้นดินเผาแบบทางเดินลมร้อนลง ในตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงขยะประเภทที่ 3 และ 5 (Refuse-Derived Fuel 3, 5: RDF-3, RDF-5) ลักษณะดัง Figure 1. ที่ผ่านการแปรรูปโดยระบบบำบัดขยะทางกลและชีวภาพของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (Suranaree University of Technology, Mechanical and Biological Treatment: SUT MBT) คุณสมบัติดัง Table 1

เชื้อเพลิงไม้เป็นไม้ฟืนทั่วไปในพื้นที่ มีลักษณะเป็นท่อนแห้งคละก้น ได้แก่ ไม้ยางนา ไม้กะถินยักษ์ ไม้ซี้เหล็ก ไม้ยางพารา และไม้จามจุรี คุณสมบัติดัง Table 1

Table 1. Shows the properties of Fuels.

Parameters	Fuels		
	Wood	RDF-3	RDF-5
Physical properties			
Size (mm.)	Ø15-L1	50-300	Ø8-L5
Bulk density (kg m^{-3})	350	25.28	584
Moisture (% w.b.)	8.14	13.79	6.50
Heating value (kJ kg^{-1})	17,633	25,790	
Proximate Analysis (wt. % d.b.)			
Ash	0.73	8.87	
Volatile Matter	84.79	87.34	
Fixed Carbon	14.48	2.32	
Ultimate Analysis (% wt.)			
Carbon (C)	48.74	68.51	
Hydrogen (H)	6.39	10.85	
Nitrogen (N)	0.31	0.44	
Sulphur (S)	0.15	0.11	
Oxygen (O)	44.41	9.75	
Heavy metal (% wt.)			
Antimony (Sb)	N.D.	0.00000	
Arsenic (AS)	0.00010	0.04100	
Barium (Ba)	0.00332	0.00000	
Cadmium (Cd)	0.00000	0.00000	
Chromium (Cr)	0.00088	0.01000	
Cobalt (Co)	N.D.	N.D.	
Copper (Cu)	0.00026	0.00000	
Lead (Pb)	0.00046	0.00000	
Nickel (Ni)	0.00033	0.00000	
Manganese (Mn)	0.03286	0.00000	
Mercury (Hg)	0.00000	0.00000	
Selenium (Se)	N.D.	0.00000	
Silver (Ag)	N.D.	0.00100	
Vanadium (V)	0.00011	0.06100	

N.D. Not detected



Figure 1. (a) RDF-3 and (b) RDF-5

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 การทดลอง 1) เผาโดยใช้ไม้ล้วน 2) เผาโดยใช้ไม้: RDF-3 3) เผาโดยใช้ไม้: RDF-5 ใช้สัดส่วนการป้อนที่ได้จากการทดสอบที่ 80 : 20 wt. % w.b. เป็นการป้อนแยกกันตามสัดส่วนที่กำหนด กระบวนการเผาจะใช้เวลาในการอุ่นเตา 3-4 d. อุณหภูมิไม่เกิน 650 °C โดยใช้ไม้พินล้วน จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิหน้าเตา (T1) ให้ได้ 970 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต้องการและสูงที่สุดในการเผาไหม้ ใช้เวลา 10 h. ช่วงนี้จะเริ่มป้อนเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ ทั้ง 3 แบบ และเป็นช่วงที่มีการตรวจวัดมลพิษทางอากาศ จากนั้นจะหยุดป้อนเชื้อเพลิงด้านหน้า แล้วเร่งอุณหภูมิกลางเตาและท้ายเตา (T2 และ T3) โดยใช้ไม้ล้วน ใช้เวลา 6 h. จากนั้นหยุดป้อนเชื้อเพลิงและปิดเตาประมาณ 4 d. หรือจนกว่าอุณหภูมิจะเย็นตัวลงต่ำกว่า 70 °C เก็บตัวอย่างกระถางดินเผา จาน-ชาม และแก้วเพื่อตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนรวมระยะเวลาในการเผาแต่ละรอบประมาณ 9-11 d.

2.3 การวัดสมรรถนะการผลิตความร้อน

การวัดอุณหภูมิภายในเตาจะใช้ Thermocouple type K วัด 3 ตำแหน่ง หน้าเตา (T1) กลางเตา (T2) และท้ายเตา (T3) แสดงผลทางหน้าจอตัวควบคุมแบบ real time โดยตำแหน่ง A เป็นช่องป้อนเชื้อเพลิงหลัก ใช้ป้อนเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบทั้ง 3 แบบ และเก็บตัวอย่างเถ้า ตำแหน่ง B ปล่องไอเสีย เป็นจุดที่ใช้ตรวจวัดมลพิษทางอากาศ ตำแหน่ง C ใช้ในการนำชิ้นงาน เข้า-ออก และตำแหน่ง D เป็นช่องสำหรับป้อนไม้เพื่อเร่งอุณหภูมิกลางเตา (T2) และท้ายเตา (T3) ดังแสดงใน Figure 1. เปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงโดยบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ทุก 30 นาที

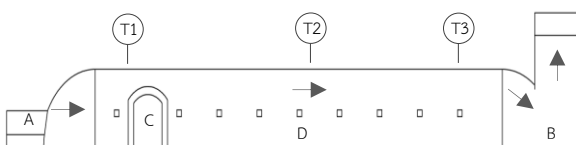


Figure 2. Sampling point

2.4 การวิเคราะห์การปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระถางดินเผาและจาน-ชาม นำมาบดให้ละเอียด แล้ววิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก (Heavy Metals) 14 ชนิด ได้แก่ Cd, Hg, Ba, Se, Ag, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, และ V โดยใช้วิธีการ Inductively Couple plasma/mass Spectrometry Method (ICP-MS)

2.5 การวิเคราะห์การปนเปื้อนในเถ้า

เก็บตัวอย่างเถ้าจากเตาเผา มาวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบด้วยปริมาณ เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D7582-10 โดยใช้ muffle furnace และ Infrared moisture analyzer หาค่าประกอบแบบแยกธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และ ซัลเฟอร์ (S) ตามมาตรฐาน ASTM D5373-08 โดยใช้เครื่องมือ LECO Method/ CHN628 ,628S และโลหะหนัก 14 ชนิด ได้แก่ Cd, Hg, Ba, Se, Ag, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, และ V โดยใช้วิธีการ X-ray Fluorescence Energy Dispersive Spectrometer Model XGT-5200

2.6 การวิเคราะห์มลพิษในอากาศ

กำหนดจุดจุดซัดตัวอย่างตามมาตรฐานองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา 1 (United States Environmental Protection Agency 1 : U.S. EPA 1) ขนาดปล่องควัน ϕ 0.35 m. จุดซัดตัวอย่างห่างจากปลายยอด 0.7 m. หากคุณสมบัติการเผาไหม้ ได้แก่ อัตราการไหลก๊าซไอเสียโดยใช้ Type S Pitot Tube ตามมาตรฐาน U.S. EPA Method 2 ส่วนก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ CO₂ CO และ O₂ ตรวจวัดโดย Electro chemical method ตามมาตรฐาน U.S. EPA Method 3

วิเคราะห์สารเจือปนในอากาศ 8 ชนิด ได้แก่ 1) ฝุ่นละออง วัดด้วยวิธีการ Isokinetic (Gravimetric) 2) HG 3) Pb และ 4) Cd โดยใช้วิธี ICP AAS Method, AAS Method ตามมาตรฐาน U.S. EPA Method 5 29 29 และ 29 ตามลำดับ ส่วนอีก 4 ชนิด 5) HCL และ 6) ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) ใช้เครื่อง Ion chromatography 7) SO₂ และ 8) NO_x as NO₂ จะตรวจวัดด้วยหลักการ Electro chemical Method ตามมาตรฐาน U.S. EPA Method 10 26A 6C และ 7E ตามลำดับ

โดยการวัดมลพิษทางอากาศจะตรวจวัดเพียงการใช้เชื้อเพลิงไม้ล้วนเทียบกับ ไม้ : RDF-3 เนื่องจาก RDF-3 และ RDF-5 มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมือนกัน

3 ผลและวิจารณ์

3.1 สมรรถนะการผลิตความร้อน

จาก Figure 4. เชื้อเพลิงทั้ง 3 มีความสามารถในการผลิตความร้อนได้อุณหภูมิตามที่กำหนด โดยการใช้ไม้ล้วน อุณหภูมิจะมีความเสถียรมากที่สุด เนื่องจากมีคาร์บอนคงตัวเยอะกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ RDF-3 และ RDF-5 พบว่า RDF-5 มีความเสถียรในการควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่า RDF-3 เนื่องจากมีความหนาแน่นมากกว่า ส่วน RDF-3 อุณหภูมิจะค่อนข้างแกว่ง เนื่องจากมีความหนาแน่นและคาร์บอนคงตัวน้อย จึงทำให้เกิดการเผาไหม้เร็วกว่าไม้และ RDF-5 ส่วนปริมาณการใช้เชื้อเพลิงมีปริมาณลดลง เมื่อใช้ RDF ร่วมด้วย แต่ในทางพลังงานที่ใช้ RDF-3 มีการใช้พลังงานมากกว่าไม้และ RDF-5 เนื่องจากต้องใช้ไม้ในการควบคุมอุณหภูมิที่ค่อนข้างแกว่งจากการใช้ RDF-3 ร่วม แสดงดัง Table 2.

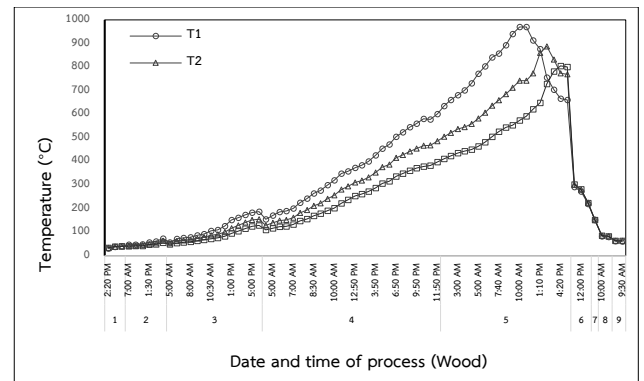
Table 2. Show the fuel and energy consumption.

Parameters	Fuels		
	Wood	W: RDF-3	W: RDF-5
Wood (kg.)	735	569.4	536.0
RDF (kg.)	0	124.9	121.4
Total fuel (kg.)	735	693.0	657.4
Total Energy (MJ)	12,960	13,261	12,582

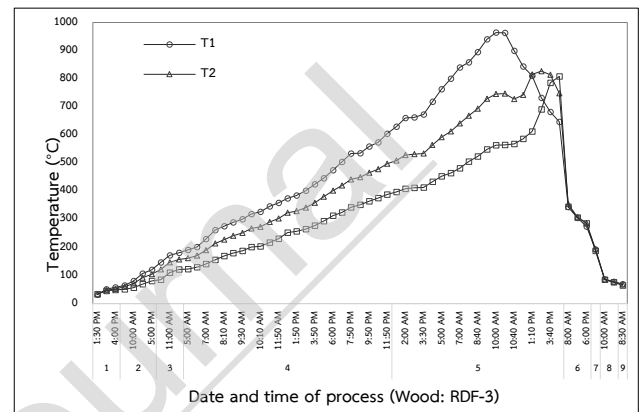
*Fuel and energy at heat-up range (10 h.)



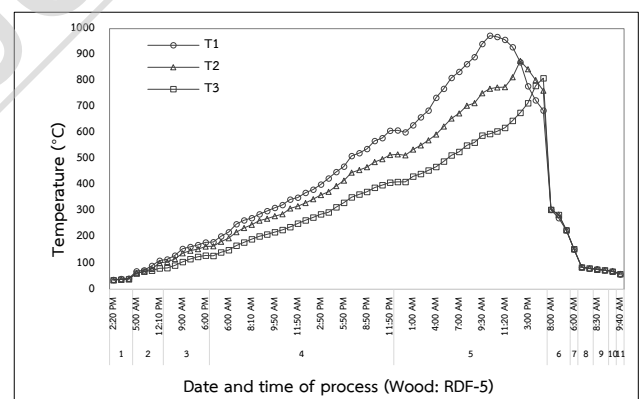
Figure 3. Testing the ceramic kiln



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Temperature profile (a) wood (b) wood: RDF-3 (c) wood: RDF-5

3.2 การวิเคราะห์การปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์

จาก Table 3. พบว่า การใช้ RDF-3 และ RDF-5 เปรียบเทียบกับไม้ มีการปนเปื้อนของโลหะหนักแตกต่างจากการใช้ไม้ล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ของชิ้นงานทั้งสองประเภท เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักบนภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร ประกอบด้วย ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ประเภทภาชนะแบบลิ้นขนาดเล็ก (ไม่เกิน 1.1 L) และขนาดใหญ่ (มากกว่า 1.1 L) อ้างอิงมาตรฐานตาม สำนักงานมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). มอก. 32 ซึ่งกำหนดให้ค่าตะกั่ว (Pb) ไม่เกิน 1 และ 2 mg L⁻¹ ตามลำดับ และแคดเมียม (Cd) ไม่เกิน 0.5 และ 0.25 mg L⁻¹ ตามลำดับ ผลพบว่าชิ้นงานทั้งสอง และ 3 ประเภทเชื้อเพลิง ตรวจไม่พบแคดเมียม แต่พบตะกั่วในทุกประเภทเชื้อเพลิง ซึ่งการเผาเชื้อเพลิงขยะร่วม มีค่าตะกั่วต่ำกว่าการเผาโดยไม่ลว่นของทั้งสองผลิตภัณฑ์ โดย Earthenware เมื่อใช้ RDF-3 และ RDF-5 เผาร่วม พบว่ามีค่าตะกั่วลดลงร้อยละ 65 และ 47 ตามลำดับ ส่วน Plate-bowl พบว่ามีค่าตะกั่วลดลงเช่นกัน ร้อยละ 62 และ 78 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัว และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) กระทรวง

อุตสาหกรรม. (2548). และ Code of Federal Regulation. (2022). พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัวเช่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับ Omolaoye J.A., Uzairu A., and Gimba C.E. (2010). ที่ได้ศึกษาโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่นำเข้าจากจีน พบว่าปริมาณ Pb Cd Ni และ Cu ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วน Cr และ Co จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย โดยมีค่า Mn ค่าเดียวที่มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับ Supawan Vichaphund and Parjaree Thavorniti. (2010). ที่ตรวจวัดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้เถ้าจากการเผาขยะมูลฝอยเป็นส่วนผสม พบว่าโลหะหนัก Pb Cd Cr และ As จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าในทุกระดัอย่างมีนัยสำคัญ

Table 3. Show heavy metals in products

Parameter	Earthenware (mg L ⁻¹)			Plate-bowl (mg L ⁻¹)			Standard. (STLC) mg L ⁻¹
	Wood	Wood: RDF-3	Wood: RDF-5	Wood	Wood: RDF-3	Wood: RDF-5	
Antimony (Sb)	0.000	0.000	0.000	0.013	0.017	0.004	-
Arsenic (AS)	0.002	0.002	0.003	0.012	0.011	0.005	≤5.00 ^{a, b}
Barium (Ba)	0.348	0.428	0.304	1.400	1.730	0.867	≤100 ^{a, b}
Cadmium (Cd)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	≤1.00 ^{a, b}
Chromium (Cr)	0.002	0.001	0.003	0.046	0.011	0.013	≤5.00 ^{a, b}
Cobalt (Co)	0.006	0.012	0.001	0.005	0.004	0.007	≤80.0 ^b
Copper (Cu)	0.060	0.044	0.033	0.161	0.086	0.097	≤25.0 ^b
Lead (Pb)	0.017	0.006	0.009	0.037	0.014	0.008	≤5.00 ^a
Nickel (Ni)	0.043	0.019	0.008	0.027	0.025	0.021	≤20.0 ^a
Manganese (Mn)	0.973	1.160	0.304	0.663	0.475	0.311	-
Mercury (Hg)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	≤0.20 ^a
Selenium (Se)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	≤1.00 ^a
Silver (Ag)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	≤5.00 ^a
Vanadium (V)	0.193	0.042	0.852	0.002	0.005	0.005	≤24.0 ^b

^a Code of Federal Regulation. (2022). Maximum Concentration of Contaminants for the Toxicity Characteristic.

^b Ministry of Industry. (2005). Soluble Threshold Limit Concentration (STLC).

3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติและการปนเปื้อนในเถ้า

Table 4. แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติและการปนเปื้อนในเถ้าที่ได้จากเตาเผาภาชนะเซรามิก จากการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 ประเภท พบว่า การใช้เชื้อเพลิงขยะร่วม มีการเผาไหม้ได้ดี เทียบเท่ากับการใช้ไม้ลว่น ส่วนผลการวิเคราะห์ของโลหะหนักทั้ง 14 ธาตุ ส่วนใหญ่ตรวจไม่พบ มีแค่ Cu และ Mn ที่ตรวจพบในการเผาทุกเชื้อเพลิง โดย Cu ของเชื้อเพลิง ไม้ : RDF-5 มีค่า

เพิ่มขึ้นจากการใช้ไม้ลว่นประมาณ 5 เท่า ส่วน ไม้ : RDF-3 มีค่าใกล้เคียงกับไม้ลว่น ด้าน Cr และ Pb พบเพียงการใช้ ไม้ : RDF-5 ที่ 430 และ 330 mg kg⁻¹ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งเจือปนในวัสดุที่ไม่ใช่แล้วหรือสิ่งปฏิภูล Total Threshold Limit Concentration (TTLC) กระทรวงอุตสาหกรรม. (2548). พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัว เมื่อเทียบกับ Jun Dong et al. (2018) ที่หาโลหะหนักในเถ้าหนักของขยะมูลฝอยในกระบวนการ Pyrolysis, Gasification และ

Incineration พบว่า ค่า Cd, Cu, Ni, และ Cr จากการทดสอบมี

ค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน Pb มีค่าใกล้เคียงกัน

Table 4. Properties and heavy metals of ash from ceramic kilns

Analysis	Parameters	Fuels			Standard ^c (TTLC) mg kg ⁻¹
		Wood	Wood: RDF-3	Wood: RDF-5	
Proximate Analysis (% wt. db.)	Ash	85.665	87.866	92.593	-
	Volatile Matter	4.718	6.949	2.674	-
	Fixed Carbon	9.618	5.185	4.733	-
	Moisture content	0.000	0.000	0.000	-
Ultimate Analysis (% wt.)	Carbon (C)	5.119	3.064	3.084	-
	Hydrogen (H)	N.D.	1.810	0.093	-
	Nitrogen (N)	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Sulphur (S)	0.477	0.100	0.323	-
Heavy Metals (mg kg ⁻¹)	Antimony (Sb)	0.000	0.000	0.000	≤500
	Arsenic (AS)	0.000	0.000	0.000	≤500
	Barium (Ba)	0.000	0.000	0.000	≤10,000
	Cadmium (Cd)	0.000	0.000	0.000	≤100
	Chromium (Cr)	0.000	0.000	430.0	≤2,500
	Cobalt (Co)	0.000	0.000	0.000	8,000
	Copper (Cu)	300.0	330.0	1,800	≤2,500
	Lead (Pb)	0.000	0.000	330.0	≤1,000
	Nickel (Ni)	0.000	0.000	0.000	≤2,000
	Manganese (Mn)	4,170	6,900	2,470	-
	Mercury (Hg)	0.000	0.000	0.000	≤0.20
	Selenium (Se)	0.000	0.000	0.000	≤100
	Silver (Ag)	0.000	0.000	0.000	≤500
	Vanadium (V)	0.000	0.000	0.000	≤2,400

^c Ministry of Industry. (2005). Total Threshold Limit Concentration (TTLC).

N.D. not detected

3.4 วิเคราะห์การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ

จาก Table 5. พบว่า การใช้ป้อน ไม้ : RDF-3 มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการใช้เชื้อเพลิงไม้ ร้อยละ 26 และมีออกซิเจนคงเหลือจากการเผาไหม้ลดลงร้อยละ 82 ซึ่งด้วยข้อจำกัดที่ปากเตามีขนาดเล็ก การป้อน RDF-3 รวมจะทำให้ช่องว่างลดลง อากาศไหลเข้าได้น้อย ทำให้มีออกซิเจนส่วนเหลือน้อยกว่าการใช้ไม้ล้วน เสี่ยงต่อการเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แต่ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ยังไม่เกินกว่ามาตรฐาน

กำหนด ที่ 690 ppm (Ministry of Industry, 2005). ซึ่งค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0.1 ppm

การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ จากการตรวจวัดอ้างอิงตามมาตรฐานข้างต้น ผลการตรวจวัดแสดงใน Table 6. เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการควบคุมการปล่อยที่ทางอากาศเสียจากเตาเผา มูลฝอย กระบวนการบำบัดธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). พบว่าการเผาโดยใช้ไม้ล้วนและ ไม้ : RDF-3 มีค่าฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานกำหนด มีค่า 400 และ 539 mg m⁻³ ตามลำดับ และการป้อน ไม้ : RDF-3 มีการปลดปล่อยมลพิษมากกว่าไม้ล้วนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะค่า HCl และ Cd เพิ่มขึ้นร้อยละ 428

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2556, 23 พฤษภาคม). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว. ฉบับที่ 123 ตอนพิเศษ 11ง วันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2548
- ทวีชัย ลิ้มปสันติเจริญ รัฐบาล อันเนื่อง และมัลลิกา ปัญญาโคโป. (2561). การระบายและการแพร่กระจายของโลหะในฝุ่นจากอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปี ที่ 14 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2561
- พรธชา ลิ้มลับ วีรชัย อาจหาญ ครา วาทกิจ อาทิตย์ คุณศรีสุข และทิพย์สุนินทร์ หินชู. (2565). รายงานวิจัย แนวทางการนำเชื้อเพลิงขยะ (RDF) จากมูลฝอยชุมชนมาใช้ประโยชน์ ในกลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก (SME) หรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุอุตสาหกรรมสร้างสรรค์. (2560). รายชื่อโรงงานเซรามิก ในจังหวัดนครราชสีมา (ด้านเกวียน). แหล่งข้อมูล: <https://cim.dip.go.th/th/category/2017-03-03-02-37-41/2017-03-03-02-47-12> เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2565
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556, 23 พฤษภาคม). ประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เครื่องปั้นดินเผาเออร์เทนแวร์ ฉบับที่ 1782 พ.ศ. 2556
- A.M. Sánchez de la Campa, J.D. Rosa, G.Y. Castanedo, F.R. Camacho, A. Alastuey, X. Querol and C. Pio. (2010). “High concentrations of heavy metals in PM from ceramic factories of Southern Spain”, *Atmospheric Research* 96, 2010, pp. 633- 644.
- Code of Federal Regulation. (2022). Maximum Concentration of Contaminants for the Toxicity Characteristic. Available at: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-I/part-261/subpart-C/section-261.24>. Accessed on 28 July 2022.
- Carlos et al. (2016). Co-gasification of sub-bituminous coal with palm kernel shell in fluidized bed coupled to a ceramic industry process. *Applied thermal engineering* 107 (2016) 1201–1209
- Jun Dong et al. (2018). Partitioning of Heavy Metals in Municipal Solid Waste Pyrolysis, Gasification, and Incineration. *Hal open science*. Submitted on 2 May 2018.
- Ministry of Industry. (2005). Announcement of the Ministry of Industry. Regarding the disposal of waste or unused materials (Soluble Threshold Limit Concentration) 123/11ง 25 January 2005
- Ministry of Industry. (2005). Announcement of the Ministry of Industry. Regarding the disposal of waste or unused materials (Total Threshold Limit Concentration) 123/11ง 25 January 2005
- Ministry of Natural Resources and Environment. (2010, 16 July). Set the standards to control waste air emissions from solid waste incinerators. No. 127. 87 ง A.D. 2010.
- Omolaoye J.A., Uzairu A., and Gimba C.E. (2010). Heavy metal assessment of some ceramic products imported into Nigeria from China. *Archives of Applied Science Research*, 2010, 2 (5):120-125
- Peterson, Beth E. (2012). What Kind of Kiln Is It? Kiln Types by Construction. Retrieved August 8, 2012, from <http://pottery.about.com/od/potterykilns/tp/typkilncons.htm>
- Safwat et al. (2019). Potential Utilization of RDF as an Alternative Fuel to be Used in Cement Industry in Jordan. *Molecular Diversity Preservation International [MDPI]*. (2019)
- Supawan Vichaphund and Parjaree Thavorniti. (2010). Properties of Ceramic Produced from Clay and MSW Incineration Bottom Ash Mixtures. *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, Vol. 15, Special Edition, September 2010



A study of an optimal condition for solid-state anaerobic digestion biogas production from broiler litter

Ninlawan Chaitanoo^{1*}, Janyawat Vuthijumnonk¹, Duangporn sisai², Anan Naila²

¹Research and Development Unit for Agricultural Materials and Bio-Energy Properties, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai

²Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai

*Corresponding author: Tel: +66-6-1958-9781, E-mail: ninlawan_ch@hotmail.co.th

Abstract

The purpose of this research is to determine the best conditions for producing biogas from bedding material utilizing batch solid-state anaerobic digestion (SS-AD), which will then be employed in a new waste management technique in broiler farms. Total solid (TS) concentration (20% and 23%), fermentation method (continual mixing versus non-mixing), and CaCO₃-pretreatment prior SS-AD were all investigated. The most suitable experimental setting for methane production and methane content were 20% TS with CaCO₃-pretreatment with continual mixing (test 1) at 77.1±2.7 NmL/gVS added and 73.2±2.2%, respectively. The optimal condition generated 2.5 times more methane than the condition without CaCO₃-pretreatment and continuous mixing (test 3), and therefore 8.9 times more than the condition with a greater percentage of total solid (23% TS with CaCO₃-pretreatment and continual mixing in test 5). In this study, continual mixing showed inconclusive result on biogas output which require further study. Alkaline pretreatment is suitable for broiler litter since it can weaken lignocellulose structure. In order to increase total solid concentration in SS-AD system, further studies on pretreatment methods are required.

Keywords: Biomethane Potential, Broiler litter, and Solid-state anaerobic digestion

1 Introduction

Thailand's primary industries are agriculture and livestock. The country is rated fifth in terms of poultry meat and processed poultry exports. (USDA, 2022). As a result, poultry farm business has increased. Data obtained in 2021 revealed a total of 3 million broilers from 32,000 poultry farms throughout Thailand (DLD, 2021). Therefore, broiler litter (chicken manure and bedding materials (rice husk)) is an unavoidable occurrence (Figure 1). A survey conducted in a broiler farm in Northern Thailand discovered that broiler litter

produced ranged from 4,000 to 10,000 kg/house depending on farm size or an average at 1 kg waste/bird harvested which was similar to the previous finding (Coulal et. al., 2006) which produced significant issues for the environment and farm owners. Composting and incinerating are being utilized to alleviate this problem. However, they have no economic benefit and may cause additional issues such as air pollution (Janczak et. al., 2019)

Received: August 12, 2022

Revised: August 24, 2022

Accepted: August 29, 2022

Available online: October 03, 2022



Figure 1 Characteristics of broiler farm and broiler litter in Yakhampor Farm, Mueang, Lamphun, Thailand

For a number of reasons, eliminating waste from chicken farms through biogas production is of interest. Not only would the farm waste be abolished, but the production process would also produce high-quality biogas and compost (AL-Masalha et. al., 2017 and Bayrakdar et. al., 2017). The technique known as solid-state anaerobic digestion (SS-AD), which operates with a high total solids (TS) content (>15%), is appropriate for the lignocellulose-heavy waste from poultry farms. The system has the benefit of requiring minimal space and water (Ge et. al., 2016). To our knowledge, a study on high nitrogen content-lignocellulose material in biogas production using SS-AD system is rare. Moreover, a pretreatment stage is one of the most important steps in utilizing cellulose and hemicellulose-containing substrates, therefore a study for an optimal pretreatment condition and process is of interest.

Broiler litter consists of rice husk (56.8%), a lignocellulose material, therefore, it is challenging for anaerobic bacteria in the biogas production system to breakdown cellulose and hemicellulose (Amin et. al., 2017). Pre-treatment of the raw materials is therefore required to weaken the structure and facilitate microorganisms to ingest it. Additionally, solid overload in the SS-AD system could lead to a decrease of biogas production efficiency. As a result, continual mixing is required to facilitate mass movement, which in turn promotes better digestion and the creation of biogas.

In line with prior research, the goal of this study is to investigate how parameters such as pre-treatment with CaCO_3 , continuous mixing, and percentage of total solid

effect biogas production from broiler litter utilizing a batch SS-AD system. The findings of this study could be used to better management of broiler litter as resources while simultaneously adding value to a broiler farm by-product.

2 Materials and Methods

2.1 Feedstock and inoculum

Broiler litter used in this study was collected from Yakhampor Farm, Mueang Lamphun, Lamphun, Thailand. Physical and chemical properties of broiler litter are presented in Table 1.

Inoculum was obtained from a mesophilic-channelled digester of Energy Research and Development Institute-Nakornping, Chiang Mai University (ERDI-CMU). The feedstock and the inoculum were refrigerated at 4°C prior to the start of the experiment.

2.2 Alkaline Pretreatment

Broiler litter was thoroughly mixed with 1% (w/v) calcium carbonate (CaCO_3) solution at 90 and 120 ml for 20%TS and 23%TS, respectively. A quantity of CaCO_3 solution used was calculated based on broiler litter weight. The mixtures were left at ambient temperature for 24 hours to ensure a decomposition of lignocellulose in bedding material.

Table 1 Physical and chemical properties of broiler litter samples. (The presented data was mean $\pm$ SD of three broiler litter samples).

Parameters	Broiler litter
Total solids (TS), %	83.8 $\pm$ 0.4
Volatile solids (VS), %	80.6 $\pm$ 0.2
Rice husk, %db	56.8
Carbon to Nitrogen (C/N) ratio	18.7
Total organic carbon (TOC), %db	34.9 $\pm$ 0.7
Total nitrogen (TN), %db	1.9 $\pm$ 0.1
Total Kjeldahl nitrogen (TKN), mg/kg	13,908.0 $\pm$ 2,115.7
Ammonia nitrogen (NH ₃ -N), mg/kg	2,475.0 $\pm$ 176.0
Cellulose, %db	25.0 $\pm$ 0.8
Hemicellulose, %db	10.6 $\pm$ 0.4
Lignin, %db	19.5 $\pm$ 1.0

2.3 Batch solid-state anaerobic digestion test

The experiments were conducted in 1000 ml airtight bottles. Deionized water (300 mL) was added to the mixtures. A feedstock to inoculum (F/I) ratio was maintained at 6.0 (based on VS) in all experimental group. Volatile solid and Volatile Suspended Solids (VSS) in the inoculum were 37,337.04 $\pm$ 2,407 mg/L and 14,935 $\pm$ 804 mg/L, respectively. All experimental containers were flushed with nitrogen gas for 5 min to ensure an anaerobic environment prior tight closure then placed in a temperature-controlled room at 30 $\pm$ 2°C. All experiments were carried out in triplicates. The produced biogas was measured daily using a water displacement set as shown in Figure 2.

The biogas compositions were determined by relative gas volume over 300 ml collected in a cylinder of a water displacement set using a portable gas analyzer (Geotech Biogas500, UK). The amount of biogas production was reported based on a standard temperature and pressure (STP) condition. Biogas product was monitored until end of the reaction where the amount of daily biogas produced was less than 1%

of the cumulative biogas production (Filer et. al., 2019). When the effect of continual mixing was studied, the experimental bottles were horizontally shaken at 100 rpm. The shaking cycle was set at one hour on and one hour off.

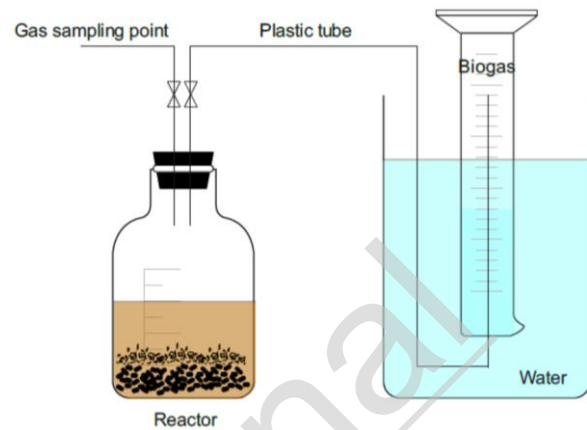


Figure 2 Schematic diagram of series laboratory of a batch SS-AD

2.4 Analytical methods

The broiler litter and inoculum were analyzed for parameters including TS, VS, VSS, total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), and ammonia nitrogen (NH₃-N) according to the standard methods (APHA/AWWA/WEF, 2012). Chemical compositions, including cellulose, hemicellulose, and lignin, of the samples were determined according to the detergent methods (Van Soest, 1967) at Animal Nutrition Laboratory, Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agricultural, Chiang Mai University, Thailand. The pH value of each sample was collected both before and after AD process by pH meter (Mettler-Toledo, China)

2.5 Statistical analysis

All experiments and analyses were conducted in triplicates. The statistical differences were determined by a one-way analysis of variance (ANOVA) followed by a Tukey's test at a 95% confidence level. The values reported are mean values with standard deviation and the resulting statistical analyses with difference/same are presented with superscript letters.

Batch SS-AD test was adapted from Biochemical Methane Potential (BMP) test. It was tested for a substrate anaerobic biodegradability which presented as Methane yield according to equation 1. Moreover, the yield can also be compared and confirmed with the system's organic digestion efficacy (Equation 2) (Kafle et. al., 2015)

Methane Yield Accumulation

$$= \frac{\text{Methane Accumulation}}{\text{Volatile solid of feedstock}} ; \frac{\text{NmL}}{\text{gVS}_{\text{added}}} \quad (1)$$

Where; Methane accumulation is accumulated biogas times methane content in each collected biogas sample.

$$\%VS_{\text{removal}} = \frac{VS_{\text{added}} - VS_{\text{final}}}{VS_{\text{added}}} \times 100\% \quad (2)$$

Kinetic modeling is widely used in predicting methane yields, establishing key parameters for reactor design and optimizing the performance of AD process. The modified Gompertz model (Eq. (3)) was used to develop kinetic model in this study (Wang et. al., 2020).

$$P_{CH_4}(t) = P_{\text{max}} \times \exp \left\{ -\exp \left[\frac{R_m \times e}{P_{\text{max}}} \times (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (3)$$

Where; $P_{CH_4}(t)$ is the cumulative methane production at a certain incubation time (t) (NmL/gVS_{added}), P_{max} is the methane production potential (NmL/gVS_{added}), R_m is the maximum methane production rate (NmL/gVS_{added}), λ is the lag phase duration (days), and e is the exp (1) = 2.71828. The parameters (P_{max} , R_m , and λ) were estimated by non-linear regression using Solver function in Microsoft Excel version 16.0 (Microsoft, Inc.). The daily methane increase rate over time was determined to find the point time of maximum daily methane increase rate (t_{max}) (Lemmer et. al., 2017).

3 Results and Discussion

Methane production potential of broiler litter using batch SS-AD experiment was determined within 60

consecutive days experimental period. Three parameters which were percentage of total solid, pre-treatment with CaCO₃ and continual mixing, were examined in this study.

From table 2, the findings revealed that the highest biogas and methane production was found in test 1 (20%TS, CaCO₃-pretreatment, continual mixing) at 105.4±3.6 and 77.1±2.7 NmL/gVS_{added}, respectively. The gas content correlated well with organic degradation value (VS removal) which was found at 23.9%. Continual mixing showed no significant influence on biogas production in all tests except test 1 and test 2. CaCO₃-pretreatment produced a significant effect on all tests with 20%TS (test 1-4). The pre-treatment tests gave higher biogas yield thus the methane contents in the pre-treated groups were approximately 10% higher compared to their non-treated counterparts. These accounted for 175.4% and 88.4% improvements with respect to their individual controls (Table 2). An increment demonstrated greater methanogenesis stability in the system with CaCO₃-pretreatment. CaCO₃ assisted in destroying lignin structure and hemicellulose degradation in the litter resulted in small single molecules leading to a suitable environment for anaerobic microorganisms (Kim et. al., 2016).

However, CaCO₃-pretreatment for AD indicated an opposing trend in all experimental groups when higher total solid (23%) was used. Broiler litter is a high-ammonia lignocellulose material (13,908.0±2,115.7 mg/kg TKN), and when more than 20% of the organic material was used in the system, it resulted in increased ammonium toxicity and pH that is unsuitable for anaerobic microorganisms (Vikrant et. al., 2015; Kim et. al., 2016). The pHs of untreated and CaCO₃-treated groups were 8.4±0.3 and 9.8±0.2, respectively, indicating that the untreated tests, tests 7 and 8, produced more biogas than the treated tests, tests 5 and 6. Despite higher biogas generation, the methane percentage among these four experimental groups was

not statistically different, owing to the fact that the fermentation conditions were not suitable for anaerobic microorganisms, as previously stated.

Moreover, the kinetic model indicated accurate prediction of the methane generation from broiler litter using the modified Gompertz model with the coefficient of determination (R^2) ranging from 0.934 to 0.998 (Table 3). Figure 3 represents cumulative methane production from the batch SS-AD of broiler litter material each test set and their predicted cumulative methane values from the modified Gompertz model. Table 3 shows estimated kinetic parameters derived from the modified

Gompertz model for batch SS-AD at various conditions. The improvements of microbial kinetic parameters including methane production potential (P_{max}), maximum methane production rate (R_m), the lag phase duration (λ) and time of maximum daily methane increase rate (t_{max}) clearly suggested that the use of SS-AD as a promising broiler farm waste management technology. As a result, all of these factors might be used as starting points for constructing a large-scale biogas production system.

Table 2 Gas yield and organic matter digestion efficiency

Test	TS content (%)	Pretreatment with CaCO_3	Fermentation method	Biogas Yield (NmL/gVS _{added})	CH ₄ (%)	Methane Yield (NmL/gVS _{added})	VS removal (%)
1	20	pretreat	shake	105.4±3.6 ^{a,a,a}	73.2±2.2	77.1±2.7 ^{a,a,a}	23.9
2			non-shake	77.4±4.0 ^{b,a,a}	73.8±2.3	58.4±2.2 ^{b,a,a}	20.5
3		non-pretreat	shake	46.4±12.1 ^{a,b,b}	61.9±11.1	28.0±13.1 ^{a,b,a}	18.0
4			non-shake	49.7±11.5 ^{a,b,b}	66.2±9.1	31.0±10.8 ^{a,b,a}	16.2
5	23	pretreat	shake	37.3±3.2 ^{a,b,b}	25.1±2.3	8.4±2.1 ^{a,b,b}	11.1
6			non-shake	35.6±5.6 ^{a,b,b}	23.4±5.3	8.4±2.9 ^{a,b,b}	6.8
7		non-pretreat	shake	92.2±9.7 ^{a,a,a}	22.5±7.4	20.8±8.8 ^{a,a,a}	20.9
8			non-shake	101.6±7.8 ^{a,a,a}	25.9±9.1	26.4±10.9 ^{a,b,a}	22.6

Note: The superscript letters correlate statistical analyses of the biogas and methane yields where the first letter compared the effect of mixing, the second letter compared the effect of CaCO_3 -pretreatment and the third letter compared the effect of total solid content

All analyses are based on n (sample size) = 3.

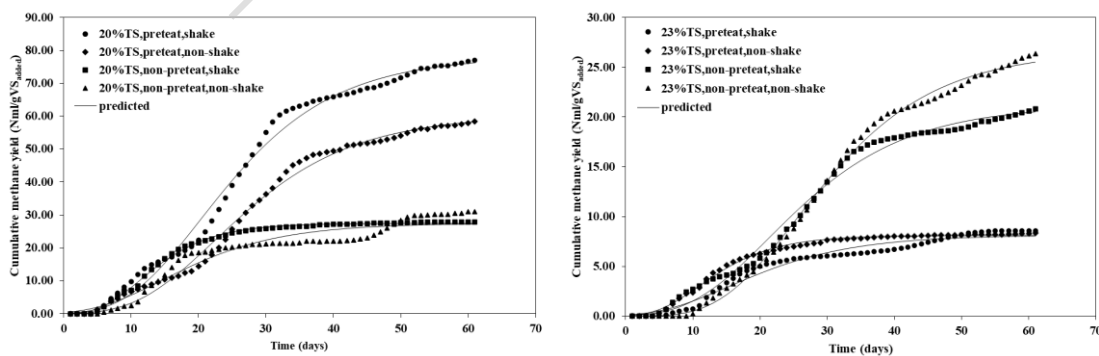


Figure 3 Cumulative methane yields from batch SS-AD of TS content (a) 20% and (b) 23% at various conditions and methane yield prediction from modified Gompertz model.

Table 3 Summary of estimated kinetic parameters derived from the modified Gompertz model for batch SS-AD at various conditions.

Test	R_m (NmL/gVS _{added} /day)	λ (day)	t_{max} (day)	P_{max} (NmL/gVS _{added})		R^2
				Predict	Experiment	
1	2.6	8.3	30.2	78.2	77.1	0.991
2	1.9	9.8	34.1	60.5	58.3	0.992
3	1.7	4.3	17.1	27.5	28.0	0.998
4	1.0	3.8	17.5	27.6	31.0	0.934
5	0.3	4.0	17.6	8.2	8.6	0.966
6	0.5	3.5	14.3	8.1	8.4	0.996
7	0.7	8.7	33.5	21.2	21.0	0.990
8	0.9	13.1	36.2	26.7	26.4	0.997

Note: P_{max} is the methane production potential, R_m is the maximum methane production rate, λ is the lag-phase time, and t_{max} is time of maximum daily methane increase rate.

4 Conclusions

Nowadays, production of alternative energy from natural resources is significant. Even though challenges in the production of biogas from broiler litter, a high lignocellulose and ammonium agricultural waste, as raw material, are common, this study have revealed a possibility of using the material in a biogas production system using SS-AD. The technique would benefit broiler farm entrepreneurs in terms of waste management and sustainable energy production.

It was determined that the best experimental condition for methane production was 20% TS with CaCO₃-pretreatment and continual mixing. The biogas yield and methane yield were 105.4±3.6 and 77.1±2.7 NmL/gVS_{added}, respectively. In this investigation, continual mixing showed inconclusive results and further investigation may be required.

5 Acknowledgements

The authors would like to express special thanks to Energy Research and Development Institute – Nakorping, Chiang Mai University (ERDI-CMU), Thailand for supports regarding the scientific equipment and the inoculum. Sincere appreciation is also extended to

Yakhampor Farm, Mueang, Lamphun, Thailand for offering broiler litter sample.

6 References

- AL-Masalha, I., Elayyan, M., Issa, H.A.B. 2017. Use of Biogas Energy in Poultry Farming Heating. The International Journal of Engineering and Science 6, 58–63. <https://doi.org/10.9790/1813-0603025863>
- American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation (APHA/AWWA/WEF). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. (22nd ed.). American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- Amin, F. R., Khalid, H. Z., Rahman, S. u., Zhang, R., Liu, G., Chen, C. 2017. Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. AMB Express, 7:72. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0375-4>
- Bayrakdar, A., Molaey, R., Sürmeli, R.Ö., Sahinkaya, E., Çalli, B. 2017. Biogas production from chicken manure: Co-digestion with spent poppy straw. International Biodeterioration & Biodegradation, 119, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.10.058>

- Coufal, C. D., Chavez, C., Niemeyer, P. R., Carey, J. B. 2006. Measurement of broiler litter production rates and nutrient content using recycled litter. *Poultry Science*, 85(3), 398–403.
<https://doi.org/10.1093/ps/85.3.398>
- Department of Livestock Development. 2021. Data of farmers and chickens. Available at: <https://region6.dld.go.th/webnew/pdf/tzoon64/T6-1-Chick.pdf>. Accessed on 13 July 2022.
- Filer, J., Ding, H.H., Chang, S., 2019. Biochemical Methane Potential (BMP) Assay Method for Anaerobic Digestion Research. *Water*, 11(5), 921.
<https://doi.org/10.3390/w11050921>
- Ge, X., Xu, F., Li, Y., 2016. Solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Recent progress and perspectives. *Bioresource Technology* 205, 238–249.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.050>
- Janczak, D., Mazurkiewicz, J., Czekala, W., Myszczyńska, M., Kozłowski, K., Jeżowska, A. 2019. A Possibility of Functioning Biogas Plant at a Poultry Farm. *Journal of Ecological Engineering* 11, 225–231.
<https://doi.org/10.12911/22998993/114090>
- Kafle, G.K., Chen, L. 2015. Comparison on batch anaerobic digestion of five different livestock manures and prediction of biochemical methane potential (BMP) using different statistical models. *Waste Management* 48, 492–502.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.021>
- Kim, J.S., Lee, L.L., Kim, T.H. 2016. A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 199, 42–48.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.085>
- Lemmer, A., Merkle, W., Baer, K., Graf, F. 2017. Effects of high-pressure anaerobic digestion up to 30 bar on pH-value, production kinetics and specific methane yield. *Energy* 138, 659–667.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.095>
- U.S. Poultry and Egg Association. 2021. U.S. Poultry and Egg Association, 2021. Poultry industry frequently asked questions provided by the U.S. Poultry & Egg Association. Available at: <https://www.uspoultry.org/faq/faq.cfm> (accessed January 2021).
- U.S. Department of Agriculture. 2022. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Available at: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Accessed on 13 July 2022.
- Van Soest, P.J., 1967. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *Journal of Animal Science* 26, 119–128.
<https://doi.org/10.2527/jas1967.261119x>
- Vikrant, U., Dupade, Ajit, C.C., Yogesh, V.A. 2014. Temperature, pH and loading rate effect on biogas generation from domestic waste. *Proceedings of International Conference on Advances in Engineering and Technology (ICAET)*, 1–6. 2–2 May 2014, Nagapattinam, India.
- Wang, Z., Jiang, Y., Wang, S., Zhang, Y., Hu, Y., Hu, Z., Wu, G., Zhan, X. 2020. Impact of total solids content on anaerobic co-digestion of pig manure and food waste: Insights into shifting of the methanogenic pathway. *Waste Management* 114, 96–106.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.048>



การระบุสายพันธุ์ข้าวจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าวเปลือกด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจร่วมกับตรรกะฟัซซี Rice Variety Identification Using Morphological Characteristics of Paddy Seed via Decision Tree and Fuzzy Logic

อรรถศาสตร์ นาคเทวัญ^{1*}, พัชรารณ นาคเทวัญ², นพดล มณีรัตน์³

Athasart Narkthewan^{1*}, Patcharaporn Narkthewan², Noppadol Maneerat³

¹หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์, ชุมพร, 86160

²หลักสูตรรณนวัตกรรมการอาหารและการจัดการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์, ชุมพร, 86160

³ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 10520

¹Computer Engineering Program, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon, 86160

²Food Innovation and Management Program King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon, 86160

³Department of Instrumentation and Control Engineering Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

*Corresponding author: Tel: +66-8-1632-6779, E-mail: athasart.na@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การรวบรวมข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ เป็นแนวทางในการอนุรักษ์เมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งการอนุรักษ์พันธุ์ข้าวจะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ข้าวที่บริสุทธิ์และคุณภาพดี อีกทั้งยังช่วยในการรักษาพันธุ์ข้าวไม่ให้สูญหาย นอกจากนี้พันธุ์ข้าวที่คัดเลือกแล้วยังสามารถใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ที่ดีในอนาคตได้อีกด้วย ในส่วนของการจำแนกสายพันธุ์ข้าวจะใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพันธุ์ข้าวเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นผู้เชี่ยวชาญและเครื่องมือเกี่ยวกับข้าวจึงมีบทบาทสำคัญในการจำแนกพันธุ์ข้าว การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวคิดในการใช้คอมพิวเตอร์สร้างปัญญาประดิษฐ์เพื่อการจำแนกพันธุ์ข้าว โดยใช้วิธีตรรกะฟัซซีและต้นไม้ตัดสินใจเพื่อดำเนินการระบุสายพันธุ์ข้าว โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าวเปลือกประกอบด้วยสองขั้นตอน ในขั้นแรกได้นำเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจกรองข้อมูลคุณภาพของสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าวเปลือก ต่อจากนั้นข้อมูลเชิงปริมาณอื่น ๆ ของสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าวจะถูกประมวลผลด้วยเทคนิคฟัซซีลอจิกเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว ในการทดลองใช้พันธุ์ข้าวทั้งหมด 26 สายพันธุ์ และประเมินข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าวทั้ง 12 แบบเพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว ผลการศึกษาสรุปได้ว่าระบบคอมพิวเตอร์และเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ในวิธีที่นำเสนอสามารถระบุสายพันธุ์ข้าวได้ตามวัตถุประสงค์ทั้ง 26 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ข้าวที่มีค่าสัดส่วนของการจำแนกสายพันธุ์ที่ถูกต้องมากกว่า 70% จำนวน 18 สายพันธุ์

คำสำคัญ: การระบุสายพันธุ์ข้าว, สัณฐานวิทยา, ต้นไม้ตัดสินใจ, ตรรกะฟัซซี

Abstract

The collection of various rice varieties is a way of rice seed conservation. The conservation of rice varieties solves the problem of shortage of pure and good quality rice seeds as well as helps to conserve rice varieties from being lost. Moreover, the selected rice varieties can be used as good breeders for future breeding. The

Received: August 05, 2022

Revised: September 12, 2022

Accepted: September 12, 2022

Available online: December 20, 2022

morphological characteristics of rice varieties were used as the components for rice variety identification. Therefore, rice specialists and tools are an important role in rice variety identification. The aim of the study was to present the idea of using computers to build an artificial intelligence method for rice variety identification. The fuzzy logic and decision tree techniques were used to perform the proposed system for problem-solving rice variety identification. The morphological analysis of paddy seed is composed of two steps. In the first step, the decision tree technique was applied to filter the quality data of the paddy seed morphology. Subsequently, the other quantitative data of the paddy seed morphology were processed with fuzzy logic techniques to identify the rice varieties. A total of twenty-six rice varieties were used in the experiment as the proposed method and twelve characteristics of paddy seed morphological data were evaluated to identify rice varieties. The results summarized that the computer system and artificial intelligence technique in the proposed method successfully identified rice variety identification. The eighteen rice varieties of twenty-six rice varieties demonstrated a proportion of true prediction of more than 70% from a total prediction.

Keywords: Rice variety identification, Morphology, Decision tree, Fuzzy logic

1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ของพืช โดยเฉพาะข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของคนไทยและยังเป็นสินค้าส่งออกของประเทศไทยในอันดับต้นๆ จากภูมิประเทศที่แตกต่างกันของประเทศไทยในแต่ละภูมิภาคส่งผลให้ข้าวในแต่ละพื้นที่มีการปรับปรุงสายพันธุ์โดยธรรมชาติเพื่อให้ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมนั้นๆ และจากการปรับตัวของพืชในลักษณะนี้จึงทำให้เกิดสายพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะแตกต่างกัน ทั้งในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา หรือแม้แต่วิทยาศาสตร์ของข้าว ตลอดจนคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสายพันธุ์นั้นๆ ซึ่งได้มีผู้ที่สนใจศึกษาถึงสายพันธุ์ข้าวต่างๆ เหล่านี้ เพื่อเก็บรวบรวมสายพันธุ์ และการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์กรรมข้าวอยู่มากมาย โดยเฉพาะได้มีการศึกษาถึงสายพันธุ์ข้าวพื้นเมืองของในแต่ละพื้นที่ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสายพันธุ์ข้าวเหล่านั้นเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

การจำแนกสายพันธุ์ข้าวเป็นการศึกษาในขั้นต้น สำหรับการเก็บรวบรวมสายพันธุ์ หรือการปรับปรุงพันธุ์กรรม ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่างๆ มากมาย เช่น ลักษณะทางสัณฐานวิทยา กายวิภาคศาสตร์ คุณสมบัติทางเคมี ของข้าวชนิดนั้นที่กำลังศึกษา ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้จำเป็นจะต้องอาศัยเครื่องมือ และผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ โดยปกติแล้วในการจำแนกสายพันธุ์ข้าวจะพิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์เป็นขั้นต้น เช่น สีของข้าวเปลือก รูปร่างข้าวเปลือก ขนาดความกว้าง-ยาวข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง รูปร่างข้าวกล้อง ขนาดความกว้าง-ยาวข้าวกล้อง เป็นต้นเพื่อให้สามารถระบุสายพันธุ์ได้

(ธีระ และคณะ, 2555) ซึ่งได้มีการศึกษาถึงวิธีการ และเครื่องมือในการจำแนกสายพันธุ์ข้าว ในลักษณะต่างๆ กันอย่างมากมาย

มีการนำเอาระบบปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาในการจำแนกวัตถุอยู่หลายลักษณะ โดยการนำเอาวิธีการของ machine learning เช่น ต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) ตรรกะฟัซซี (Fuzzy Logic), โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network, ANN) มาใช้ในการแก้ปัญหา OuYang et al. (2010) ได้รายงานผลการศึกษารูปแบบแยกแยะความแตกต่างของเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) โดยการนำเอาข้อมูลทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดข้าวบางประการมาใช้สำหรับการวิเคราะห์เช่นกัน และยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงการนำเอาเทคนิคของตรรกะฟัซซีและต้นไม้ตัดสินใจมาออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการจัดเรียงถั่วพิตาชิโอ (Safavian and Landgrebe, 1991) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำเอาเทคนิคตรรกะฟัซซีและต้นไม้ตัดสินใจมาใช้เพื่อประมวลผลข้อมูลเมล็ดธัญพืชได้ซึ่งวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมามีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ความซับซ้อนของระบบก็แตกต่างกัน ความยุ่งยากในการออกแบบก็แตกต่างกัน ซึ่งในบทความนี้ได้หยิบเอาข้อดีของวิธีต้นไม้ตัดสินใจ และตรรกะฟัซซี ที่เป็นการตัดสินใจแบบมีการถ่วงน้ำหนักไม่ใช่การตัดสินใจแบบเด็ดขาด (ถูก หรือ ผิด) แต่จะมีค่าระดับความจริงของเงื่อนไขการตัดสินใจเป็นค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต ซึ่งจะสามารถตัดสินใจในเงื่อนไขที่มีความไม่แน่นอนของข้อมูลได้ดีกว่าการตัดสินใจแบบเด็ดขาด โดยได้มีการนำเอาตรรกะฟัซซีมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความสุกของแอปเปิ้ลโดยการวิเคราะห์ค่าสีของผลแอปเปิ้ลโดยใช้ตรรกะฟัซซี Mulyani and J. P. Susanto (2017)

ซึ่งจะมีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการโครมาทอกราฟี โดยได้ออกแบบระบบด้วยวิธีตัดไม้ตัดลิ้นใจให้จำแนกกลุ่มของสายพันธุ์ข้าวในเบื้องต้น จากข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เป็นค่าข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น สีของข้าวเปลือก รูปร่างข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง เป็นต้น และใช้ตรรกะฟัซซีซึ่งมีข้อดีในการตัดสินใจที่มีความคลุมเครือ มาช่วยจำแนกสายพันธุ์ข้าวจากข้อมูลเชิงปริมาณของสายพันธุ์ข้าว เช่น ความยาวข้าวเปลือก ความกว้างข้าวเปลือก จำนวนขนที่กบาล่าง เป็นต้น เพื่อศึกษาวิธีการประมวลผลข้อมูลสำหรับการระบุสายพันธุ์ข้าว

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาถึงการประยุกต์ใช้เทคนิคตัดไม้ตัดลิ้นใจและตรรกะฟัซซี เพื่อการระบุสายพันธุ์ข้าวเปลือก โดยได้ทำการศึกษาจากข้อมูลสัณฐานวิทยาของข้าวเปลือก จำนวน 26 สายพันธุ์ที่ได้มีการรวบรวมข้อมูลตามรายงานการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของข้าวเปลือกข้าวधानาสวนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ธีระ และคณะ, 2555) ซึ่งสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่ได้ศึกษา

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ข้าวและการจำแนกสายพันธุ์

ข้าวมีผลแบบธัญพืช (caryopsis) คือ มีฝักหุ้ม (pericarp) เชื่อมกับเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) รวมเรียกว่าเปลือกข้าวกล้อง (brown rice-coat) ซึ่ง ถูกหุ้มด้วยเปลือกข้าว (hull) อีกชั้นหนึ่ง ในทาง พฤกษศาสตร์เปลือกข้าวประกอบด้วย ด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) และเปลือกเล็ก (palea) ทั้งผลและเปลือกข้าว รวมเรียกว่า ข้าวเปลือก (grain) ข้าวเปลือก และข้าวกล้องมีสีและขนาดแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ ข้าวเปลือกเป็นตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ เพื่อการอนุรักษ์พันธุ์กรรมข้าว ซึ่งสถาบันวิจัยข้าวของประเทศไทย เรียกว่า เมล็ดเชื้อพันธุ์ข้าว (germplasm) (สุริย์ และคณะ, 2539) ซึ่งสามารถแสดงลักษณะของข้าวเปลือกได้ดัง

Figure 1

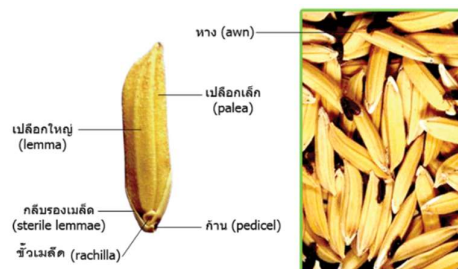


Figure 1 Whole grain rice (กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2559)

หากใช้ข้อมูลคุณสมบัติของเมล็ดข้าวดังกล่าวนี้มาใช้จำแนกสายพันธุ์ข้าวจะสามารถทำได้ตามหลักการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับ Appa et al. (1997) ที่รายงานถึงลักษณะสีและขนาดของข้าวเปลือก การมี หางข้าว การมีขนบนเปลือกข้าว ว่าสามารถนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มพันธุ์ปลูกของข้าวได้ และได้มีรายงานการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของข้าวเปลือกข้าวधानาสวนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ธีระ และคณะ 2555) ซึ่งแสดงตัวอย่างภาพเมล็ดข้าวดัง Figure 2 (ก)ข้าวเก่า1(LLR 028) (ข)ข้าวเก่า(LLR139) (ค)ข้าวเจ้าหอมด้าสุตะบุตร (LLR262) (ง)ข้าวเจ้าหอมนิล (LLR284) (จ)ข้าวเก่า (LLR077) (ฉ)ข้าวเก่า (LLR079) (ช)ข้าวเหนียวดำ (LLR006) (ซ)ข้าวเก่า (LLR026) (ณ)ข้าวอีตาน้อย (LLR039)และได้แสดงผลของการเก็บข้อมูลในการศึกษาตาม Table 1 ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ (LLR 005) ข้าวเหนียวดำ (LLR 006) ข้าวเหนียวดำ (LLR 015) ข้าวเหนียวดำ (LLR 019) ข้าวधानาสวน (LLR 022) ข้าวเก่า (LLR 026) ข้าวเก่า (LLR 027) ข้าวเก่า 1 (LLR 028) ข้าวเก่า 2 (LLR 030) อีตาน้อย (LLR 039) ก้าเก่า (LLR 065) ก้า (LLR 069) ก้าฟ้าเหลือง 1 (LLR 073) ก้าฟ้าเหลือง 2 (LLR 075) ข้าวเก่า (LLR 077) ข้าวเก่า (LLR 078) ข้าวเก่า (LLR 079) ข้าวเก่า (LLR 080) ข้าวเก่า (LLR 081) ข้าวเก่า (LLR 139) ข้าวเก่า (LLR 145) ข้าวเก่า (LLR 182) เจ้าหอมด้าสุตะบุตร (LLR 262) เจ้าหอมนิล120 (LLR 284) ดำแม่แมวทนแล้ง (LLR 292) และเหนียวด้าอุบล (LLR 298) ซึ่งในบทความนี้จะใช้ตัวอย่างข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของข้าวเปลือกข้าวधानาสวน ทั้ง 26 สายพันธุ์ที่ได้รายงานการศึกษาไว้ (ธีระ และคณะ, 2555) มาทำการประมวลผลเพื่อหาค่าความแม่นยำในการระบุสายพันธุ์ข้าวตามอัลกอริธึมที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา และวิจัยแล้วมีความถูกต้องของข้อมูล สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ในภายหลัง และ

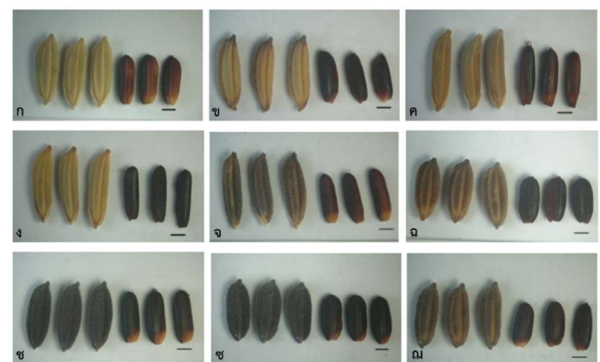


Figure 2 Rice seed varieties (ธีระ และคณะ, 2555)

2.2 การสร้างแผนผังต้นไม้ตัดสินใจ

ต้นไม้ตัดสินใจเป็นเทคนิคหนึ่งของระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกนำมาแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในการตัดสินใจได้อย่างเป็นระบบโดยการพิจารณาค่า information gain ของข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ และจะวางโครงสร้างของการตัดสินใจในรูปแบบโครงสร้างของต้นไม้ (Safavian and Landgrebe, 1991) ในการสร้างระบบต้นไม้ตัดสินใจสำหรับบทความนี้ได้พิจารณาข้อมูลใน Table 1 ซึ่งทำการเลือกเอาข้อมูล สีและรูปร่างของข้าวเปลือก รูปร่างและการกระจายของสีในข้าวกล้อง และลักษณะความหนาของเปลือกข้าวกล้อง ซึ่งกองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. (2559) ได้รายงานว่ามีสีของข้าวเปลือกจะแยกออกเป็น สีขาว สีฟาง สีม่วง และสีดำ สีของข้าวกล้องส่วนใหญ่มีสีขาว บางพันธุ์มีสีแดงน้ำตาลหรือสีม่วงจนเกือบดำ และธีระ และคณะ (2555) ได้รายงานผลการศึกษารูปร่างของข้าวเปลือกและข้าวกล้อง โดยใช้อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L/W) สามารถแบ่งรูปร่างของข้าวเปลือกออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ รูปร่างป้อม ($L/W < 3.1$) รูปร่างเรียว ($L/W = 3.3-4.2$) และรูปร่างเรียวยาว ($L/W > 4.2$) รูปร่างของข้าวกล้อง แบ่งเป็น 4 แบบ ได้แก่ รูปร่างเรียวยาว (slender, $L/W > 3.0$) รูปร่างเรียว (medium, $L/W = 2.0-3.0$) รูปร่างป้อม (bold, $L/W = 1.0-2.0$) และรูปร่างกลม (round,

$L/W < 1.1$) และลักษณะความยาวของข้าวกล้อง แบ่งเป็น 4 แบบ ได้แก่ ข้าวกล้องยาวมาก (extra-long, ยาวมากกว่า 7.60 มม.) ข้าวกล้องยาว (long, ยาว 6.6-7.50 มม.) ข้าวกล้องสั้น (medium, ยาว 5.51-6.60 มม.) และข้าวกล้องสั้นมาก (short, ยาวน้อยกว่า 5.51 มม. ซึ่งถูกนำมาใช้มาสร้างระบบต้นไม้ตัดสินใจ โดยการใช้ค่า information gain เป็นตัวตัดสินใจเลือก attribute เพื่อมาเป็น node ซึ่งค่า information gain สามารถหาได้จากค่า entropy ของข้อมูล (Dengchao et al., 2013) ดังสมการที่ (1) ซึ่งเป็นสมการตามทฤษฎีของการหาค่า entropy และสามารถสร้างแผนผังโครงสร้างของต้นไม้ตัดสินใจได้ดัง Figure 3 ซึ่งสามารถใช้ต้นไม้ตัดสินใจแยกกลุ่มของสายพันธุ์ข้าวออกเป็น 10 กลุ่ม และมีบางกลุ่มสามารถระบุสายพันธุ์ข้าวได้เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการต้นไม้ตัดสินใจ แต่ในกลุ่มที่มีสายพันธุ์ข้าวมากกว่า 1 สายพันธุ์ จะต้องนำเข้าสู่กระบวนการของตรรกะฟัซซีต่อไป

$$entropy(p_1, p_2, \dots, p_n) = -p_1 \log_2 p_1 - p_2 \log_2 p_2 \dots - p_n \log_2 p_n \quad (1)$$

เมื่อ $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$

Table 1 The morphology of twenty-six paddy varieties

Number	Code	Color	Shape	Length (L) (mm.)	Width (W) (mm.)	Texture of Lemma
1	LLR 005	Black	Bold	8.50-8.99	3.44-3.66	Smooth
2	LLR 006	Black	Bold	9.96-10.60	3.40-3.72	Smooth
3	LLR 015	Black	Bold	8.28-8.99	3.24-3.57	Smooth
4	LLR 019	Black	Bold	8.72-9.14	3.28-3.66	Rough
5	LLR 022	Black	Medium	10.00-10.90	2.76-3.05	Smooth
6	LLR 026	Black	Bold	8.59-8.94	3.25-3.48	Smooth
7	LLR 027	Brown	Bold	8.41-8.97	3.14-3.36	Rough
8	LLR 028	Brown	Bold	9.00-9.89	3.17-3.35	Rough
9	LLR 030	Black	Bold	8.57-9.31	3.40-3.60	Smooth
10	LLR 039	Black	Bold	8.73-9.46	3.24-3.51	Rough
11	LLR 065	Black	Bold	9.04-9.56	3.09-3.49	Rough
12	LLR 069	Black	Bold	9.03-9.45	3.20-3.60	Rough
13	LLR 073	Black	Bold	8.99-9.36	3.44-3.67	Rough
14	LLR 075	Black	Bold	9.00-9.38	3.47-3.67	Rough
15	LLR 077	Black	Medium	9.30-10.60	2.66-2.96	Rough
16	LLR 078	Black	Bold	8.48-8.87	3.59-3.61	Rough
17	LLR 079	Black	Bold	8.13-8.76	3.15-3.75	Rough
18	LLR 080	Black	Bold	8.65-9.12	3.29-3.59	Rough
19	LLR 081	Black	Bold	8.98-9.38	3.41-3.62	Rough
20	LLR 139	Brown	Bold	8.57-9.05	3.01-3.28	Smooth
21	LLR 145	Black	Bold	8.71-8.88	3.11-3.30	Rough
22	LLR 182	Black	Bold	8.65-9.12	3.29-3.59	Rough
23	LLR 262	Brown	Slender	10.30-11.30	2.41-2.75	Rough
24	LLR 284	Brown	Medium	10.20-10.80	2.60-2.84	Rough
25	LLR 292	Black	Bold	8.66-9.17	3.09-3.29	Rough
26	LLR 298	Black	Bold	8.56-9.05	3.42-3.68	Rough

*ข้อมูลจากรายงานการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของข้าวเปลือกข้าวดำนาสวนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ธีระ และคณะ, 2555)

Table 2 The morphology of twenty-six brown rice varieties

Number	Code	Shape	Distribution of Black	Length (L) (mm.)	Width (W) (mm.)	Peel thickness
1	LLR 005	Bold	Irregular	5.92-6.50	2.57-2.92	15.0-17.5
2	LLR 006	Bold	Irregular	7.06-7.41	2.63-2.78	15.0-17.5
3	LLR 015	Bold	Irregular	5.59-6.17	2.60-2.79	22.5-25.0
4	LLR 019	Bold	Regular	5.96-6.12	2.38-2.93	10.0-15.0
5	LLR 022	Medium	Irregular	6.72-7.40	2.15-2.44	22.5-25.0
6	LLR 026	Bold	Irregular	6.21-6.54	2.54-2.79	22.5-25.0
7	LLR 027	Bold	Irregular	5.95-6.16	2.51-2.68	22.5-25.0
8	LLR 028	Bold	Irregular	6.60-6.97	2.32-2.73	10.0-17.5
9	LLR 030	Bold	Irregular	6.11-6.55	2.66-2.80	22.5-25.0
10	LLR 039	Bold	Irregular	6.18-6.64	2.57-2.79	22.5-25.0
11	LLR 065	Bold	Regular	6.28-6.55	2.48-2.77	15.0-17.5
12	LLR 069	Bold	Regular	6.32-6.55	2.48-2.89	12.5-17.5
13	LLR 073	Bold	Irregular	5.97-6.45	2.50-2.80	15.0-17.5
14	LLR 075	Bold	Regular	6.01-6.49	2.68-2.87	15.0-17.5
15	LLR 077	Medium	Irregular	7.17-7.55	2.30-2.45	10.0-15.0
16	LLR 078	Bold	Regular	5.89-6.28	2.70-3.02	22.5-25.0
17	LLR 079	Bold	Regular	5.58-6.00	2.58-2.89	22.5-25.0
18	LLR 080	Bold	Regular	6.11-6.46	2.62-2.83	22.5-27.5
19	LLR 081	Bold	Regular	6.03-6.50	2.62-2.80	12.5-15.0
20	LLR 139	Bold	Irregular	5.69-6.19	2.32-2.53	10.0-15.0
21	LLR 145	Bold	Irregular	5.93-6.43	2.14-2.67	12.5-15.0
22	LLR 182	Bold	Regular	6.11-6.46	2.62-2.83	12.5-17.5
23	LLR 262	Medium	Regular	6.98-7.61	1.89-2.22	10.0-17.5
24	LLR 284	Medium	Regular	7.16-7.74	2.02-2.13	12.5-17.5
25	LLR 292	Bold	Irregular	6.04-6.30	2.40-2.62	22.5-27.5
26	LLR 298	Bold	Irregular	5.84-6.24	2.63-2.83	22.5-27.5

*ข้อมูลจากรายงานการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของข้าวเปลือกข้าวดำนาสวนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ธีระ และคณะ, 2555)

2.3 การออกแบบตรรกะพีซี

เมื่อนำข้อมูลข้าวจาก Table 1 ผ่านกระบวนการต้นไม้ตัดสินใจ จะเหลือกลุ่มของสายพันธุ์ข้าวที่ต้องวิเคราะห์เพียง 6 กลุ่ม ส่วนอีก 4 กลุ่ม ได้แก่ สายพันธุ์ ข้าวเก่า (LLR 139) ข้าวเก่า (LLR 027) ข้าวเจ้าหอมดำสุตะบุตร (LLR 262) และข้าวเจ้าหอมนิล 120 (LLR 284) สามารถระบุได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการตรรกะพีซี เนื่องจากต้นไม้ตัดสินใจสามารถระบุ

สายพันธุ์ข้าวของทั้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ Group 2, Group 6, Group 9 และ Group 10 ได้เรียบร้อยแล้วดัง Figure 3 ที่สร้างมาจากการประมวลผลข้อมูลในงานวิจัยนี้ตามหลักการของการสร้างโครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจ โดยในขั้นตอนการออกแบบตรรกะพีซี จะเริ่มต้นด้วยการคำนวณหาฟังก์ชันการตัดสินใจในแต่ละกลุ่มโดยการนำข้อมูลข้าวที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณในแต่ละชนิดมาสุ่มสร้างข้อมูลใหม่ แต่ยังคงมีลักษณะสัณฐานในแต่ละสายพันธุ์เดิม จากนั้นนำข้อมูลในแต่ละกลุ่มมาวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของ

ข้อมูลในแต่ละ Feature เพื่อหาค่าเทรโดโลสำหรับกำหนดตำแหน่งการตัดสินใจสำหรับตระกูลพืชซีซีของแต่ละกลุ่ม โดยค่าตำแหน่งเทรโดโลจะเป็นจุดที่แบ่งข้อมูลฮิสโตรแกรมออกเป็นสองชุดโดยใช้หลักการทางสถิติ Figure 4 แสดงถึงฮิสโตรแกรมของลักษณะเด่นทั้ง 7 กลุ่มข้อมูลที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณของสายพันธุ์ข้าว ได้แก่ Feature 1 (ความยาวข้าวเปลือก), Feature 2 (ความกว้างข้าวเปลือก), Feature 3 (ความยาวข้าวกล้อง), Feature 4 (ความกว้างข้าวกล้อง), Feature 5 (ความหนาเปลือกข้าวกล้อง), Feature 6 (จำนวนขนที่กบาล่าง) และ Feature 7 (ความยาวขนขนาดใหญ่ของกบาล่าง) แต่ละกลุ่มข้อมูล และนำมาสร้างฟังก์ชันการตัดสินใจของตระกูลพืชซีซี เพื่อกำหนดค่าของข้อมูลสมาชิกพืชซีซีในเซตแบบฉบับ (classic set) โดยใช้สมการที่ (2) และการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของพืชซีซีเซต ดังสมการที่ (3) เมื่อ A คือพืชซีซีเซต x คือสมาชิกในเซต และ μ_A คือค่าความเป็นสมาชิกในเซต โดยได้กำหนดเงื่อนไขการตัดสินใจการเป็นสมาชิกของพืชซีซีเซตไว้ที่ 70%

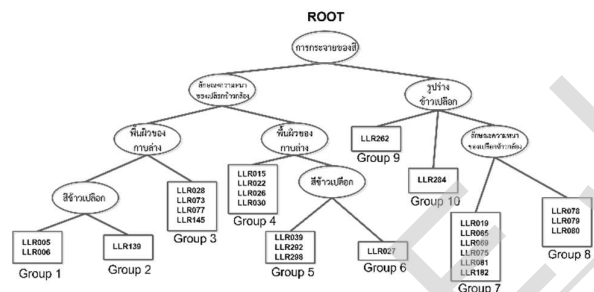


Figure 3 Decision tree construction for rice seed varieties classification.

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

$$A = \{(x \cdot \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (3)$$



Figure 4 The 7 Features morphology data of the rice seed varieties.

Table 3 แสดงค่าลักษณะของกลุ่มต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ฮิสโตรแกรมใน Figure 4 เพื่อแทนในสมการที่ (2) และนำไปสร้างเป็นกฎในการตัดสินใจของตระกูลพืชซีซี สำหรับสายพันธุ์ข้าวทั้ง 26 สายพันธุ์ ได้ทั้งหมดจำนวน 26 กฎตามจำนวนสายพันธุ์ข้าวที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ เพื่อจำแนกสายพันธุ์ข้าวทั้ง 26 สายพันธุ์

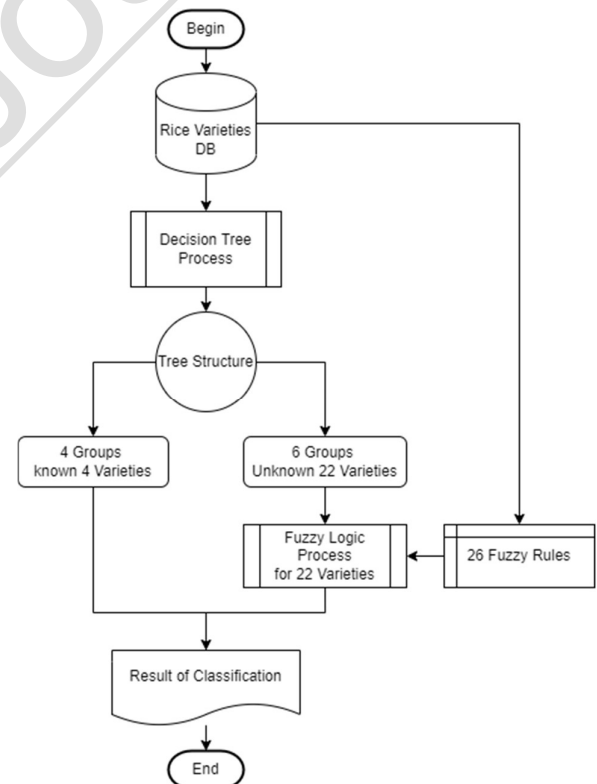


Figure 5 Block diagram of rice varieties classification

2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจำแนกสายพันธุ์ข้าว

เริ่มต้นกระบวนการวิเคราะห์โดยการดึงข้อมูลข้าวที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่ระบบตามผังงานดัง Figure 5 โดยนำข้อมูลข้าวมา

ผ่านกระบวนการแรก คือ ระบบต้นไม้ตัดสินใจ เพื่อสร้างโครงสร้างต้นไม้ โดยใช้ลักษณะพื้นฐานของข้าว แบ่งออกเป็น 10 กลุ่ม สามารถระบุสายพันธุ์ได้ 4 กลุ่ม รวม 4 สายพันธุ์ และไม่สามารถระบุสายพันธุ์ได้ 6 กลุ่ม รวม 22 สายพันธุ์ จากนั้นนำข้อมูลข้าวทั้ง 22 สายพันธุ์ ที่ไม่สามารถระบุสายพันธุ์ได้ผ่านเข้าสู่กระบวนการตรรกะฟัซซี ซึ่งได้ออกแบบกฎในการตัดสินใจเอาไว้ รวมทั้งสิ้น 26 กฎ แต่ใช้เพียง 22 กฎของสายพันธุ์ที่ไม่สามารถระบุสายพันธุ์ได้ เมื่อผ่านกระบวนการประมวลผลต่าง ๆ ที่ได้กำหนดขึ้นจะสามารถระบุสายพันธุ์ข้าวได้ครบทั้ง 26 สายพันธุ์

ในขั้นตอนการทดลองระบุสายพันธุ์ข้าวได้นำเอาข้อมูลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของข้าวเปลือกข้าวดำนาสวนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยซึ่งได้เก็บรวบรวมข้อมูลของข้าวถึง 26 สายพันธุ์ มาทำการเพิ่มจำนวนของข้าวในแต่ละสายพันธุ์ ด้วยวิธีการสุ่มค่าข้อมูลในส่วนที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ โดยให้มีค่าอยู่ในช่วงของข้อมูลพื้นฐานของข้าวในแต่ละสายพันธุ์นั้น ๆ โดยเพิ่มจำนวนเป็นสายพันธุ์ละ 100 ข้อมูล และในการทดลองระบุสายพันธุ์กำหนดให้สุ่มข้อมูลสายพันธุ์ที่ถูกต้องจำนวน 5 ชุด และสุ่มข้อมูลสายพันธุ์อื่น ๆ อีกสายพันธุ์ละ 5 ชุด รวมทั้งหมด 130 ชุดข้อมูล

3 ผลและวิจารณ์

ผลการทดลองพบว่าระบบที่ออกแบบสามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบ ดังผลการทดลองใน Table 4 และมีค่าสัดส่วนของการจำแนกสายพันธุ์ที่ถูกต้องจากการประมวลผลว่าเป็นสายพันธุ์นั้นทั้งหมด (positive predicted value, PPV) จากการทดลองพบว่าสายพันธุ์ข้าวที่มีค่าสัดส่วนของการจำแนกสายพันธุ์ตามเงื่อนไขการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต มีอยู่ 18 สายพันธุ์ จาก

ทั้งหมด 26 สายพันธุ์ คิดเป็น 69% ของสายพันธุ์ที่ได้ศึกษาสำหรับระบบนี้ จะพบว่าข้าวที่มีลักษณะระบุเป็นหลายชนิดนั้นจะมีลักษณะพื้นฐานของข้าวที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ที่มีความผิดพลาด หรือสัดส่วนของการจำแนกถูกต้องต่ำจะเป็นพันธุ์ข้าวในกลุ่ม 7 ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ (LLR 019) ก่ำแกดำ (LLR 065) ก่ำ (LLR 069) ก่ำฟ้าเหลือง 2 (LLR 075) และ ข้าวก่ำ (LLR 182) เนื่องจากมีค่า Feature สำหรับการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่ใกล้เคียงกัน

ในกระบวนการออกแบบโครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจในการศึกษานี้ได้นำเอาข้อมูลลักษณะพื้นฐานของข้าวที่มีค่าเฉพาะเพียงค่าเดียวสำหรับแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งเหมาะกับการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ ได้แก่ สีและรูปร่างของข้าวเปลือก รูปร่างและการกระจายของสีในข้าวกล้อง และลักษณะความหนาของเปลือกข้าวกล้อง ซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุสายพันธุ์ข้าวได้ครบทั้ง 26 สายพันธุ์โดยวิธีการนี้ ซึ่งข้อมูลลักษณะทางสัณฐานของข้าวในกลุ่มต่าง ๆ ที่แบ่งได้จากต้นไม้ตัดสินใจ จะมีค่าซ้อนทับอยู่ในช่วงเดียวกันของแต่ละลักษณะ ไม่สามารถระบุสายพันธุ์ได้ จึงนำเอาตรรกะฟัซซีที่มีความสามารถในการตัดสินใจในสิ่งที่มีความคลุมเครือมาช่วยในการตัดสินใจระบุสายพันธุ์ในขั้นตอนสุดท้าย

การออกแบบนี้แสดงให้เห็นว่าระบบที่ออกแบบสามารถใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจจัดกลุ่มสายพันธุ์ข้าวได้ และในขั้นตอนการประมวลผลด้วยตรรกะฟัซซี จะประมวลผลเฉพาะ 22 กฎของสายพันธุ์ข้าวจำนวน 6 กลุ่ม ที่ไม่สามารถระบุสายพันธุ์ได้โดยต้นไม้ตัดสินใจเท่านั้น ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการประมวลผลลงไปได้ ซึ่งหากเป็นระบบตรรกะฟัซซีปกติจะต้องประมวลผลในทุก ๆ กฎที่มีอยู่ในระบบ

Table 3 Data for the fuzzy set from histogram data analysis.

	Feature 1	Feature 2	Feature 3	Feature 4	Feature 5	Feature 6	Feature 7
Group 1	9.51	3.56	6.72	2.73	16.25	21.75	407.50
Group 2*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Group 3	9.66	3.17	6.74	2.47	13.75	20.50	425.00
Group 4	9.59	3.18	6.49	2.47	23.75	19.50	445.00
Group 5	8.94	3.37	6.21	2.64	25.01	20.33	475.00
Group 6*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Group 7	8.95	3.47	6.35	2.74	15.00	20.00	460.00
Group 8	8.63	3.45	6.02	2.80	25.00	22.50	420.00
Group 9*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Group 10*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

* The group of rice varieties can be classified with the decision tree

Table 4 Result of the experiment

Number	Code of Rice Varieties	Number of Correct data	Number of Not Correct data	Number of identified	PPV
1	LLR 005	5	125	5	1.00
2	LLR 006	5	125	5	1.00
3	LLR 015	5	125	12	0.42
4	LLR 019	5	125	15	0.33
5	LLR 022	5	125	5	1.00
6	LLR 026	5	125	7	0.71
7	LLR 027	5	125	5	1.00
8	LLR 028	5	125	10	0.50
9	LLR 030	5	125	6	0.83
10	LLR 039	5	125	4	1.00
11	LLR 065	5	125	17	0.29
12	LLR 069	5	125	19	0.26
13	LLR 073	5	125	5	1.00
14	LLR 075	5	125	8	0.63
15	LLR 077	5	125	5	1.00
16	LLR 078	5	125	5	1.00
17	LLR 079	5	125	5	1.00
18	LLR 080	5	125	9	0.56
19	LLR 081	5	125	5	1.00
20	LLR 139	5	125	5	1.00
21	LLR 145	5	125	5	1.00
22	LLR 182	5	125	30	0.17
23	LLR 262	5	125	5	1.00
24	LLR 284	5	125	5	1.00
25	LLR 292	5	130	6	0.83
26	LLR 298	5	130	7	0.71

4 สรุป

จากการออกแบบระบบโดยใช้วิธีการของต้นไม้ตัดสินใจ และตรรกะฟัซซีร่วมกันประมวลผลข้อมูลเพื่อจำแนกสายพันธุ์ข้าวพบว่าสามารถจำแนกสายพันธุ์ข้าวได้ตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีค่าสัดส่วนของการจำแนกสายพันธุ์ที่ถูกต้องต่อการจำแนกทั้งหมดตามเงื่อนไขการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่มีค่ามากกว่า 70% มีอยู่จำนวน 18 สายพันธุ์ จากทั้งหมด 26 สายพันธุ์ ซึ่งนับว่าเป็นผลการจำแนกที่ดี ส่วนสายพันธุ์ข้าวที่มักจะระบุได้เป็น

หลายชนิดนั้นจะมีลักษณะสัณฐานของข้าวที่ใกล้เคียงกันมาก ในทางวิทยาศาสตร์การเกษตรนั้น เมื่อเกิดความไม่มั่นใจในลักษณะสายพันธุ์จะต้องนำเข้าสู่กระบวนการทางเคมีวิเคราะห์เพื่อข้อมูลเชิงเคมีประกอบการวิเคราะห์ต่อไป แต่ในมุมมองของการประมวลผลทางคณิตศาสตร์อาจจะต้องมีการปรับปรุงกฎของตรรกะฟัซซีให้เหมาะสมมากขึ้น หรืออาจจะนำเอาข้อมูลอย่างอื่นมาช่วยประกอบการประมวลผล หรือแม้กระทั่งการนำเอา

โครงข่ายประสาทเทียมที่มีความซับซ้อนมากขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์จำแนกสายพันธุ์ข้าว

5 เอกสารอ้างอิง

กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. 2559. คุณภาพข้าว. แหล่งข้อมูล: <http://webold.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=6-2.htm>. เข้าถึงเมื่อ 9 ตุลาคม 2562.

ธีระ ธรรมวงศา, จิรวัฒน์ สนธิชน, อมรรัตน์ มีสวาสดี, และ ปิยะรัตน์ อัฐรัตน์ 2555. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของข้าวเปลือกข้าวต๋านาสวน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย, วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ฉบับที่ 40. หน้า 1138-1148.

สุรีย์ ศรีวันพนิยกุล, สรรเสริญ ศรีสุนทร, ศิริชัย สมบูรณ์พงษ์, เล็กจันทร์เกษม, สมบัติ รุจาคม และ อรพิน วัฒนเสถียร. 2539. การรวบรวม อนุรักษ์ ประเมิน ลักษณะและจัดหมวดหมู่ข้าวพื้นเมืองในเขตศูนย์วิจัย ข้าวพิษณุโลก. ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สถาบันวิจัย ข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์. 215 หน้า.

Appa, R.S., Bounphanousoy, C., Kanyavong, K., Phetpaseuth, V., Sengthong, B., Schiller, J.M., Thirasack, S., and Jackson, M.T. 1997. Collection and Classification of Rice Germplasm from the Lao PDR. Part 2: Northern, Southern and Central Regions, LaoIRRI Project. (pp. 41). Vientiane: National Agricultural Research Center, Lao PDR.

Dengchao, H., Wenning, H., Wenyan, G., Gang C., and Dawei, J. 2013. A Decision Tree Algorithm Based on Dispersion Measure of Attribute Information. 2013 10th Web Information System and Application Conference. pp. 84-89.

Mahmoud, O. 2011. Design of an expert system for sorting pistachio nuts through decision tree and fuzzy logic classifier. Expert Systems with Applications. 38(4), 4339-4347.

Mulyani, E. D. S., and Susanto, J. P. 2017. Classification of maturity level of fuji apple fruit with fuzzy logic method. 2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), pp. 1-4.

OuYang, A.G., Gao, R. J., Liu, Y. D., Sun, X. D., Pan, Y. Y., and Xiao-ling Dong. 2010. An automatic method for identifying different variety of rice seeds using machine vision technology. 2010 Sixth International Conference on Natural Computation. pp. 84-88.

Safavian, S. R., and Landgrebe, D. 1991. A survey of decision tree classifier methodology. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 21(3), 660-674.