



การประเมินประสิทธิภาพรถตัดอ้อยในเขตภาคเหนือตอนล่าง

Performance Evaluation of Sugarcane Harvester in Lower North Region of Thailand

ปิยะรัตน์ จิตมุน¹, รัตนา การุญบุญญานันท์^{1*}, อนูปงศ์ วงศ์ตามี²

Piyarat Jitmun¹, Rattana Karoonboonyanan^{1*}, Anupong Wongtamee²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 65000

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

²คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 65000

²Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

*Corresponding author: E-mail: rattanakar@nu.ac.th

บทคัดย่อ

รถตัดอ้อยมีบทบาทสำคัญในการลดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) จากการเผาใบอ้อยและการขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อยขนาดกลาง (MSH) (164 และ 179 kW) และขนาดใหญ่ (LSH) (251 และ 260 kW) ที่ใช้ในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทยเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ขนาดของรถตัดอ้อยให้เหมาะสมกับระยะห่างระหว่างแถวและขนาดความยาวของแถวอ้อย ทดสอบรถตัดอ้อย MSH2 Model และ LSH 2 Model ในแปลงอ้อยปลูก พันธุ์ขอนแก่น 3 ระยะห่างระหว่างแถว 1.72 m ความยาวแปลงเฉลี่ย 287.73 m ความหนาแน่นอ้อยเฉลี่ย 10.93 ton rai⁻¹ แปลงย่อยละ 6 แถว พื้นที่เฉลี่ย 1.86 rai plot⁻¹ จำนวน 3 rep ณ อำเภอวังนาราย จังหวัดพิจิตร แปลงดินร่วน ที่ระดับความลึก 0-10 cm มีค่าความชื้นดินและความหนาแน่นมวลรวมของดินเฉลี่ย 13.72% d.b. และ 1.16 g cm⁻³ ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่และความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักของรถตัดอ้อย MSH และ LSH แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย 1.06 และ 1.51 m s⁻¹ ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักเฉลี่ย 35.14 และ 44.05 ton h⁻¹ ตามลำดับ รถตัดอ้อย MSH2 มีประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่และเชิงเวลา 83.04 และ 85.78% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าอีก 3 Model อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความยาวท่อนอ้อย 17.2 ถึง 25.0 cm ไม่มีผลต่อความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ท่อนอ้อยยาวจะมีปริมาณสิ่งเจือปนติดไปกับท่อนอ้อยมากกว่าท่อนอ้อยสั้น เนื่องจากเกษตรกรในเขตภาคเหนือตอนล่างส่วนใหญ่ปลูกอ้อยที่ระยะห่างระหว่างแถว 1.50 m และเป็นเกษตรกรรายย่อย (น้อยกว่า 50 rai) ดังนั้น รถตัดอ้อยที่เหมาะสมสำหรับทำงานในแปลงอ้อยที่มีความยาวแถวอ้อยเฉลี่ย 287.73 m หรือสั้นกว่า ควรเลือกใช้รถตัดอ้อย MSH ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้งระยะห่างระหว่างแถว 1.50 หรือ 1.72 m โดยที่ล้อรถตัดอ้อยไม่มีผลกระทบต้ออ้อย และมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 4 years

คำสำคัญ: รถตัดอ้อย, ประสิทธิภาพของรถตัดอ้อย, ขนาดของรถตัดอ้อย

Abstract

Sugarcane harvesters play an important role in the reduction of atmospheric PM2.5 caused by the burning of sugarcane crops and the shortage of labor in sugarcane harvesting. This research aimed at the performance evaluation of two medium-size (MSH) (164 and 179 kW) and two large-size (LSH) (251 and 260 kW) sugarcane

Received: December 11, 2023

Revised: May 9, 2024

Accepted: May 9, 2024

Available online: August 9, 2024

harvester used in Lower North region of Thailand for decision making to select the size of sugarcane harvester suitable for row spacing and row length. Two MSHs and two LSHs were tested in a Khon Kaen-3 variety sugarcane field with the row spacing of 1.72 m, the average row length of 287.73 m, average yield of 10.93 ton rai⁻¹, 6 rows per each plot and average area of 1.86 rai plot⁻¹, 3 replications at Amphoe Bueng Na Rang, Phichit province. The average soil moisture and bulk density of the loam soil at the depth of 0-10 cm was 13.72% d.b. and 1.16 g cm⁻³, respectively. The results showed that the speed and field efficiency of MSH and LSH were significantly different. The average speeds of MSH and LSH were 1.06 and 1.51 m s⁻¹, while the average field capacities were 35.14 and 44.05 ton h⁻¹, respectively. The MSH2 was found to have field efficiency and time efficiency of 83.04 and 85.78%, respectively, which were significantly higher than the other 3 Models. The billet lengths between 17.2 to 25.0 cm were found insignificantly different on bulk density of billet, however, the longer billets were found having higher percentage of contamination than short billets. However, the farmers in the Lower North region mostly grow their sugarcane with the row spacing of 1.50 m and small farm size (less than 50 rai). The MSHs were suitable for the row length of 287.73 m or shorter and the row spacing of 1.50 or 1.72 m as the wheels would not damage the sugarcane stubble and the payback period was lower than 4 years.

Keywords: Sugarcane harvester, performance of sugarcane harvester, size of sugarcane harvester

1. บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกในปี 2566 จำนวน 11,398,823 ไร่ น้ำหนักอ้อยสด 113,024,061 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 9.9 ton rai⁻¹ และในเขตภาคเหนือตอนล่าง ประกอบด้วยจังหวัดนครสวรรค์ กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ สุโขทัย พิษณุโลก อุตรดิตถ์ พิจิตรและตาก มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 2.7 million ไร่ คิดเป็น 23.7% ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายแห่งประเทศไทย, 2566) จากการเก็บข้อมูลของ ธนัชสัมพันธ์ และคณะ (2561) จาก 4 จังหวัดในเขตภาคเหนือตอนล่าง ได้แก่ พิษณุโลก สุโขทัย กำแพงเพชร และนครสวรรค์ พบว่ามีเกษตรกรรายย่อย (มีที่ดินเพาะปลูกอ้อยไม่เกิน 50 ไร่) จำนวน 47.8% เกษตรกรรายกลาง (มีที่ดินเพาะปลูกอ้อยตั้งแต่ 50-200 ไร่) จำนวน 41.1% และเกษตรกรรายใหญ่ (มีที่ดินเพาะปลูกอ้อยมากกว่า 200 ไร่) จำนวน 11.1% จะเห็นได้ว่าในเขตภาคเหนือตอนล่าง มีเกษตรกรรายย่อยมากที่สุด รองลงมาเป็นเกษตรกรรายกลาง โดยส่วนใหญ่ปลูกอ้อยที่ระยะห่างระหว่างแถว 1.50 m ในการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยแรงงานคน จะนิยมเผาอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ซึ่งเป็นต้นเหตุของมลพิษทางอากาศและปัญหาด้านสุขภาพ (สิทธิพร และคณะ, 2564) ประกอบกับปัญหาขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อย และค่าจ้างแรงงานสูง (กรุงเทพมหานคร, 2564) ทำให้รถตัดอ้อยได้รับความนิยมมากขึ้น

เนื่องจากรถตัดอ้อยสามารถเก็บเกี่ยวได้รวดเร็วและไม่ต้องเผาอ้อยก่อนทำการเก็บเกี่ยว ประเทศไทยมีรถตัดอ้อยใช้งานประมาณ 2,000-2,500 unit ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการในการเก็บเกี่ยวผลผลิต (บริษัท ไทยเอเยนซี เอ็นจิเนียริง จำกัด, 2565) และรถตัดอ้อยส่วนใหญ่เป็นรถตัดอ้อยที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ชาติชาย, 2560) เนื่องจากสภาพพื้นที่ วิธีการปลูก และพันธุ์อ้อยที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความเสียหายทั้งต่อรถตัดอ้อยและแปลงอ้อย ประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อยจะขึ้นอยู่กับขนาดของรถตัดอ้อยและสภาพแปลง Shinzato et al. (2013) ได้ทำการทดสอบรถตัดอ้อยขนาดเล็ก (น้อยกว่า 95 kW) และรถตัดอ้อยขนาดกลาง (95-170 kW) ในแปลงดินเปียกซึ่งมีความชื้นดิน 43% และ 39% ตามลำดับ ในเมืองโอกินาวา พบว่ารถตัดอ้อยขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่ารถตัดอ้อยขนาดกลาง และสามารถทำงานในแปลงที่มีระยะห่างระหว่างแถวอ้อยแคบได้ (1.2-1.4 m) นอกจากขนาดของรถตัดอ้อยและสภาพแปลงแล้ว ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อย ความหนาแน่นอ้อยในแปลง และจำนวนการเลี้ยวกลับหัวแปลง มีผลต่อความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ของรถตัดอ้อยด้วยเช่นกัน (Kaewkabthong and Udompetaikul, 2019) ในการตัดอ้อยแถวแรก ถ้ามีพื้นที่ว่างเพียงพอที่จะให้รถตัดอ้อยและรถบรรทุกสามารถเคลื่อนที่ทำงานคู่กันได้ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลาและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Kaewkabthong and Udompetaikul, 2017) ในเขตภาคเหนือตอนล่างรถตัดอ้อยเป็นที่นิยมเช่นกัน แต่

ยังขาดข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ขนาดรถตัดอ้อยให้เหมาะสมกับการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อยขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่ใช้ในเขตภาคเหนือตอนล่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ขนาดรถตัดอ้อยให้เหมาะสมกับระยะทางระหว่างแถวอ้อยและขนาดความยาวของแถวอ้อย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ข้อมูลรถตัดอ้อย

รถตัดอ้อยที่ทำการทดสอบเป็นแบบล้อยาง มีระบบลำเลียงอ้อยแบบต่อเนื่อง มีทั้งหมด 4 model โดยแบ่งเป็นรถขนาดกลาง (MSH) 2 model (164 และ 179 kW) และขนาดใหญ่ (LSH) 2 model (251 และ 260 kW) รุ่นละ 1 unit คนขับรถตัดอ้อยทั้ง 4 model มีประสบการณ์ในการขับรถตัดอ้อยไม่น้อยกว่า 4 year

2.2 สภาพแปลงอ้อยทดสอบ

พื้นที่ทดสอบ เป็นแปลงอ้อยปลูกของเกษตรกร ณ อำเภอวังนาราย จังหวัดพิจิตร ชนิดดินแปลงทดสอบเป็นดินร่วน (Loam soil) แปลงอ้อยปลูก พันธุ์ขอนแก่น 3 มีระยะทางระหว่างแถวเฉลี่ย 1.72 m ความยาวแถวอ้อยเฉลี่ย 287.73 m ปลูกแบบร่องคู่ เก็บเกี่ยวที่อายุอ้อย 10 month จากการประเมินน้ำหนักอ้อยต่อพื้นที่ประมาณ 12 ton rai⁻¹ เพื่อให้สะดวกต่อการเก็บข้อมูลจึงออกแบบขนาดแปลงย่อยให้รถตัดอ้อยสามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้เต็มรถบรรทุก 1 unit plot⁻¹ จึงทำการแบ่งแปลงออกเป็นแปลงย่อยละ 6 row จำนวน 12 plot สำหรับทำการทดสอบรถตัดอ้อย 4 model รุ่นละ 3 replication

1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของดิน

ศึกษาหาความชื้นดินและความหนาแน่นมวลรวมของดินในแต่ละแปลงย่อยโดยเก็บตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งช่องว่างระหว่างแถวอ้อยที่ 3 และ 4 ห่างจากหัวแปลงประมาณ 50 m เพื่อหลีกเลี่ยงการอัดแน่นของดินที่เกิดจากการกลับรถที่หัวแปลง โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน เป็นวงแหวนทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.05 cm และสูง 5 cm เก็บดินที่ระดับความลึก 0-10, 10-20 และ 20-30 cm แปลงย่อยละ 1 point ชั่งน้ำหนักดินก่อนนำเข้าตู้อบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (OHAUS) ที่มีความละเอียด 0.01 g อบดินด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert model 30-1060) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 24 h (ASTM D2216-19, 2019) ชั่งน้ำหนักดินหลังอบ คำนวณหา

เปอร์เซ็นต์ความชื้นดินแห้งและความหนาแน่นมวลรวมของดินแห้ง (Soil bulk density)

2) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอ้อย

สุ่มเก็บต้นอ้อยแปลงย่อยละ 4 plant โดยตัดต้นอ้อยชิดกับผิวดิน เก็บข้อมูลความสูงจากโคนถึงปลายใบด้วยตลับเมตร จากนั้นดึงใบออกจากลำทั้งหมดและหักอ้อยที่จุดหักธรรมชาติ วัดความยาวจากโคนถึงจุดหักธรรมชาติ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำอ้อยด้วยเวอเนียคาลิเปอร์ (Mitutoyo รุ่น 500-196-30) ที่ตำแหน่งโคนลำ กลางลำ และปลายลำ จากนั้นชั่งน้ำหนักลำอ้อยและใบอ้อยด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (Model SF-400) ที่มีความละเอียด 1 g

2.3 การทดสอบหาความสามารถในการทำงานของรถตัดอ้อย

วิธีการทดสอบอ้างอิงจาก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรถตัดอ้อย (มอก.2773-2560) เริ่มต้นการทดสอบด้วยการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงให้เต็มถังบรรจุของรถตัดอ้อย จากนั้นเริ่มการทดสอบโดยจับเวลาขณะตัดอ้อยของแต่ละแถวจากจุดเริ่มต้นของแถวอ้อยจนถึงตำแหน่งสุดท้ายของแถวอ้อย บันทึกเป็นเวลาที่ใช้ในการตัดอ้อย และจับเวลาที่ใช้ในการเอาอ้อยออกจากสายพานลำเลียงและกลับรถ บันทึกเป็นเวลาที่สูญเสีย เมื่อทดสอบเสร็จแต่ละแปลงย่อย เติมน้ำมันให้เต็มถังบรรจุอีกครั้ง บันทึกปริมาณน้ำมันที่ใช้ วัดขนาดพื้นที่แปลงที่ตัดอ้อยและชั่งน้ำหนักอ้อยที่ตัดได้ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของโรงงานน้ำตาล คำนวณหาความหนาแน่นของอ้อยต่อพื้นที่ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อย ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนัก ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักต่อปี ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ และประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลา รายละเอียดสมการที่ใช้ในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

$$C_{th} = W \times S \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ rai}}{1600 \text{ m}^2} \quad (1)$$

เมื่อ C_{th} คือ ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี (rai h⁻¹)

W คือ ระยะทางระหว่างแถวอ้อย (m)

S คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อย (m s⁻¹)

$$C_a = \frac{A}{T_t} \quad (2)$$

เมื่อ C_a คือ ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ (rai h⁻¹)

A คือ พื้นที่ทำการตัดอ้อย (rai)

T_t คือ เวลารวมทั้งหมดที่รถตัดอ้อยทำงาน (h)

$$C_m = \frac{M}{T_t} \quad (3)$$

เมื่อ C_m คือ ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนัก (ton h⁻¹)

M คือ มวลของอ้อยที่เก็บเกี่ยว (ton)

$$C_{myear} = C_m \times H_d \times D_{year} \quad (4)$$

เมื่อ C_{myear} คือ ความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักต่อปี (ton year⁻¹)

H_d คือ จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน (h d⁻¹)

D_{year} คือ จำนวนวันในการทำงานต่อปี (d year⁻¹)

$$E_a = \frac{C_a}{C_{th}} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ E_a คือ ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ (%)

$$E_t = \frac{T_w}{T_t} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ E_t คือ ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลา (%)

T_w คือ เวลาที่ใช้ในการตัดอ้อย (h)

2.4 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อย

สุ่มอ้อยจากรถบรรทุกมาใส่กล่องขนาด 1.0×1.0×0.5 m ใส่ให้เต็มกล่อง และนำออกมาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาค่าความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อย จากนั้นทำการสุ่มอ้อยที่ชั่งน้ำหนักแล้ว นำมาแยกชั่งน้ำหนักท่อนอ้อย ใบอ้อย ยอดอ้อยและดิน เพื่อประเมินหาร้อยละสิ่งเจือปนจากการตัดอ้อย และเก็บข้อมูลความยาวท่อนอ้อยจำนวน 20 ท่อน หาค่าเฉลี่ยความยาวท่อนอ้อย

2.5 การสูญเสียอ้อยในแปลง

การสูญเสียอ้อยในแปลง คือปริมาณท่อนอ้อยที่ตกจากรถตัดอ้อย โดยต้องไม่เกิน 3% ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้กรอบขนาด 3×3 m (มอก.2773-2560) วางคร่อมกึ่งกลางแถวอ้อยแถวที่ 3 ของแปลงย่อย เก็บท่อนอ้อยไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละท่อนอ้อยที่สูญเสีย

2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุน และระยะเวลาการคืนทุน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจใน

การเลือกใช้ขนาดของรถตัดอ้อยให้เหมาะสมกับปริมาณของอ้อยที่ต้องการตัดต่อปี รายละเอียดสมการที่ใช้ในการคำนวณ มีดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht year⁻¹) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นไม่ว่ารถตัดอ้อยจะทำงานหรือไม่

$$\text{ค่าใช้จ่ายคงที่} = \text{ค่าเสื่อมราคา} + \text{ค่าดอกเบี้ยเงินกู้} \quad (7)$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{(P-S)}{L} \quad (8)$$

เมื่อ P คือ ราคาซื้อรถตัดอ้อย (Baht)

S คือ ราคาขายซากของรถตัดอ้อย (Baht) โดยทั่วไปคิดที่ 10% ของราคาซื้อ

L คือ อายุการใช้งานของรถตัดอ้อย (year)

$$\text{ค่าดอกเบี้ยเงินกู้} = \frac{(P+S)}{2} \times \frac{i}{100} \quad (9)$$

เมื่อ i คือ อัตราดอกเบี้ย (% year⁻¹)

การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่เชิงน้ำหนัก (Baht ton⁻¹) สามารถคำนวณได้จากค่าใช้จ่ายคงที่ (สมการที่ 7) หารด้วยความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักต่อปี (สมการที่ 4)

2) ค่าใช้จ่ายแปรผัน (Baht ton⁻¹) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อรถตัดอ้อยทำงาน เป็นผลรวมของค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (Baht ton⁻¹) ค่าบำรุงรักษา (Baht ton⁻¹) และค่าจ้างคนขับรถตัดอ้อย (Baht ton⁻¹)

3) ค่าใช้จ่ายรวม (Baht ton⁻¹) คือผลรวมของค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht ton⁻¹) และค่าใช้จ่ายผันแปร (Baht ton⁻¹)

4) กำไร (Baht ton⁻¹) คือ ผลต่างระหว่างอัตราค่าบริการในการตัดอ้อย (Baht ton⁻¹) กับค่าใช้จ่ายรวม (Baht ton⁻¹)

5) การใช้งานคุ้มทุน (ton year⁻¹) คือ ปริมาณอ้อยต่ำสุดที่ต้องตัดได้ต่อปี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$\text{การใช้งานคุ้มทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่}}{(\text{อัตราค่าจ้าง} - \text{ค่าใช้จ่ายแปรผัน})} \quad (10)$$

6) จุดคืนทุน (ton) คือ ปริมาณอ้อยที่ต้องตัดได้ตลอดอายุการใช้งานของรถตัดอ้อย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

$$\text{จุดคืนทุน} = \frac{\text{ราคาซื้อรถตัดอ้อย}}{\text{กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อตัน}} \quad (11)$$

7) ระยะเวลาการคืนทุน (year⁻¹) คือ ระยะเวลาในการทำงานที่มีกำไรรวมสุทธิเท่ากับราคาซื้อรถตัดอ้อย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 12

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{ราคาซื้อรถตัดอ้อย}}{\text{กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (12)$$

2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำหรับความชื้นดิน ความหนาแน่นมวลรวมของดิน ลักษณะทางกายภาพของอ้อย ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อย ความสามารถในการทำงานของรถตัดอ้อย ประสิทธิภาพของรถตัดอ้อย ความสะอาดท่อนอ้อยและการสูญเสียท่อนอ้อย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 ทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) ด้วยวิธี Fisher's least significant difference (LSD)

Table 1 Specifications of sugarcane harvesters.

Specifications	Model			
	MSH1	MSH2	LSH1	LSH2
Engine power (kW)	179	164	251	260
Fuel tank (L)	400	200	605	400
Mass (kg)	10,870	9,150	17,070	16,850
Front wheel diameter (m)	0.780	0.710	0.940	0.875
Rear wheel diameter (m)	1.247	1.321	1.612	1.612
Front wheel width (m)	0.26	0.21	0.33	0.41
Rear wheel width (m)	0.54	0.51	0.63	0.64
Front outer dimension (m)	2.080	1.875	2.610	2.410
Rear outer dimension (m)	2.270	2.130	2.490	2.510
Wheelbase (m)	2.260	2.290	2.650	2.525

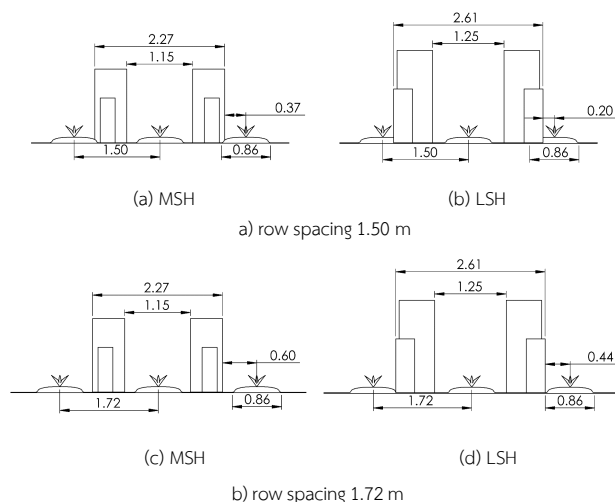


Figure 1 Comparison of LSH and MSH with 1.50 and 1.72 m row spacing.

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ข้อมูลรถตัดอ้อย

ข้อมูลรถตัดอ้อยที่ใช้ในการทดสอบแสดงรายละเอียดดัง Table 1 พบว่ารถตัดอ้อย LSH มีต้นกำลังเฉลี่ย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหน้าเฉลี่ย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหลังเฉลี่ย ระยะกว้างสุดที่ล้อหน้า ระยะกว้างสุดที่ล้อหลัง และความยาวระหว่างเพลาล้อหน้า-หลังเฉลี่ย 1.49, 1.22, 1.26, 1.27, 1.14 และ 1.14 เท่าของรถตัดอ้อย MSH ตามลำดับ ในขณะที่รถตัดอ้อย LSH มีน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่ารถตัดอ้อย MSH 1.69 เท่า

จาก Figure 1 เมื่อพิจารณาความกว้างของรถตัดอ้อย MSH และ LSH พบว่า รถตัดอ้อย MSH และ LSH สามารถทำงานในแปลงอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถว 1.72 m ได้ แต่เมื่อต้องทำงานในแปลงอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถว 1.50 m พบว่าล้อรถตัดอ้อย MSH และ LSH จะมีระยะห่างจากแถวตออ้อย 0.37 และ 0.20 m ตามลำดับ ซึ่งรถตัดอ้อย LSH มีโอกาสที่จะเหยียบแถวตออ้อยและส่งผลให้ตออ้อยเกิดความเสียหายได้มากกว่ารถตัดอ้อย MSH ขณะเก็บเกี่ยว

3.2 สภาพแปลงอ้อยทดสอบ

1) ลักษณะทางกายภาพของดิน

แปลงอ้อยที่ทำการทดสอบเป็นดินร่วน (Loam soil) ที่ระดับความลึกดิน 0-10 cm มีค่าเฉลี่ยความชื้นดินและค่าความหนาแน่นมวลรวมของดินเฉลี่ย 13.72% d.b. และ 1.16 g cm^{-3}

ตามลำดับ และพบว่า ความหนาแน่นมวลรวมของดินที่ระดับความลึก 0-10 cm มีค่าน้อยกว่าที่ระดับความลึก 10-20 และ 20-30 cm (Table 2) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้เครื่องมือพรวนดินและใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 0-10 cm ส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นมวลรวมน้อยกว่าระดับความลึก 10-20 และ 20-30 cm

Table 2 Moisture content and bulk density of soil.

Soil depth (cm)	Moisture content (% d.b.)	Bulk density (g cm ⁻³)
0-10	13.72±2.84	1.16±0.09b
10-20	14.40±2.65	1.31±0.10a
20-30	13.47±2.71	1.33±0.08a
p-value	>0.05	<0.05*

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at p≤0.05 by LSD.

Table 3 Physical properties of sugarcane Khon Kaen-3 variety.

Model	Height (m)		Diameter (mm)			Mass (kg)		
	Ground to natural breaking point		Base	Middle	Top	Stalk	leaf	Total
		Ground to top of leaf						
MSH1	2.50±0.27	4.04±0.29	27.97±3.42ab	27.16±3.28	32.58±2.62	1.66±0.42	0.33±0.06	1.99±0.46
MSH2	2.53±0.20	3.92±0.28	25.94±4.02b	27.88±2.68	31.93±2.84	1.66±0.29	0.31±0.08	1.97±0.34
LSH1	2.52±0.34	4.10±0.34	29.04±3.58a	28.55±3.15	31.75±4.30	1.89±0.64	0.34±0.01	2.23±0.70
LSH2	2.43±0.36	3.96±0.39	26.36±2.98ab	28.23±4.08	32.44±3.14	1.66±0.40	0.31±0.01	1.97±0.44
Avg.	2.49±0.29	4.01±0.32	27.33±3.63	27.96±3.27	32.18±3.20	1.72±0.45	0.32±0.08	2.04±0.50
p-value	>0.05	>0.05	<0.05*	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at p≤0.05 by LSD.

2) ลักษณะทางกายภาพของอ้อย

ต้นอ้อยมีความสูงเฉลี่ยจากโคนต้นถึงจุดหักธรรมชาติ และโคนถึงปลายใบ 2.49 และ 4.01 m ตามลำดับ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่โคนลำ กลางลำและปลายลำ 27.33 27.96 และ 32.18 mm ตามลำดับ น้ำหนักต้นอ้อยเฉลี่ย 2.04 kg โดยเป็นน้ำหนักใบอ้อยเฉลี่ย 15.69% (Table 3)

Table 4 Performance of sugarcane harvesters.

Model	Yield (ton rai ⁻¹)	Speed (m s ⁻¹)	Effective field capacity (rai h ⁻¹)	Theoretical field capacity (rai h ⁻¹)	Field efficiency (%)	Field capacity (ton h ⁻¹)	Fuel consumption (L ton ⁻¹)
MSH1	11.92±0.46a	1.07±0.09b	3.01±0.19c	4.14±0.36b	72.86±3.49b	35.81±0.87b	1.74±0.49ab
MSH2	10.62±0.45b	1.04±0.13b	3.14±0.05c	4.05±0.51b	83.04±7.11a	34.22±0.50b	1.16±0.06bc
LSH1	9.84±0.85b	1.53±0.12a	4.39±0.22a	5.93±0.46a	74.14±2.18b	43.33±5.90ab	0.96±0.09c
LSH2	11.34±0.58ab	1.49±0.14a	3.94±0.28b	5.77±0.55a	68.41±2.49b	44.82±5.24a	1.94±0.29a
p-value	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

3.3 ความสามารถในการทำงานของรถตัดอ้อย

จากผลการศึกษาใน Table 4 พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี และความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักของรถตัดอ้อย MSH และ LSH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย 1.06 และ 1.51 m s⁻¹ ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีเฉลี่ย 4.09 และ 5.85 rai h⁻¹ และความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักเฉลี่ย 35.17 และ 44.08 ton h⁻¹ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ารถตัดอ้อย LSH ซึ่งมีขนาดต้นกำลังมากกว่ารถตัดอ้อย MSH 1.49 เท่า ส่งผลให้สามารถเคลื่อนที่ตัดอ้อยได้เร็วกว่ารถตัดอ้อย MSH 1.43 เท่า และมีความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักสูงกว่ารถตัดอ้อย MSH 1.25 เท่า ขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของรถตัดอ้อย

สำหรับความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่พบว่า รถตัดอ้อย MSH มีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 3.06 rai h⁻¹ ซึ่งต่ำกว่ารถตัดอ้อย LSH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ารถตัดอ้อย

LSH1 มีความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่มากกว่ารถตัดอ้อย LSH2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นของอ้อยในแปลง LSH1 น้อยกว่าแปลง LSH2 ส่งผลให้รถตัดอ้อย LSH1 เคลื่อนที่ตัดอ้อยได้เร็วกว่ารถตัดอ้อย LSH2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewkabthong and Udompetaikul (2019) ที่ความหนาแน่นอ้อยมีผลต่อความสามารถในการทำงาน

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่และเชิงเวลา (Table 4 และ 5) พบว่า รถตัดอ้อย MSH2 มีประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่และเชิงเวลาเฉลี่ย 83.04 และ 85.78% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ารถตัดอ้อย MSH1 และรถตัดอ้อย LSH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาเวลาที่สูญเสียซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการเอาอ้อยออกจากสายพานลำเลียงและกลับรถ พบว่า เวลาที่สูญเสีย ไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของรถตัดอ้อย

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่และเชิงเวลา พบว่า รถตัดอ้อย MSH2 มีความเหมาะสมกับการทำงานในแปลงที่มีความยาวเฉลี่ย 287.73 m

Table 5 Time efficiency of sugarcane harvesters.

Model	Average length of row (m)	Area (rai)	Harvesting time (min)	Loss time (min)	Total time (min)	Time efficiency (%)
MSH1	290.66±1.95a	1.88±0.01a	28.39±1.90a	9.11±0.41a	37.51±2.31a	75.69±0.40b
MSH2	292.62±8.53a	1.89±0.06a	30.17±2.76a	5.19±1.58b	36.64±0.77a	85.78±4.60a
LSH1	278.94±1.95b	1.80±0.01b	18.83±1.66b	5.80±0.62b	24.63±1.04c	76.35±3.57b
LSH2	288.70±5.17a	1.86±0.03a	20.76±1.62b	7.68±0.54a	28.43±1.70b	72.96±2.11b
p-value	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

3.4 ประสิทธิภาพในการทำงานของรถตัดอ้อย

จาก Table 6 พบว่า รถตัดอ้อย LSH มีความยาวท่อนอ้อยเฉลี่ยต่ำกว่าท่อนอ้อยจากรถตัดอ้อย MSH และพบว่าความยาวท่อนอ้อยเฉลี่ยระหว่าง 17.2 ถึง 25.0 cm ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อยเฉลี่ย 438.93 kg m^{-3}

Table 6 Billet length and bulk density.

Model	Billet length (cm)	Bulk density of billet (kg m^{-3})
MSH1	25.0±1.9a	430.74±2.77
MSH2	22.5±2.0b	428.89±8.05
LSH1	19.3±3.4c	449.05±7.76
LSH2	17.2±1.5d	447.04±10.41
p-value	<0.05*	>0.05

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

Table 7 Composition of the collected materials from harvesters.

Model	Leaf (%)	Top (%)	Soil (%)	Trash (%)	Billet (%)
MSH1	2.60±0.38a	15.95±0.85	0.88±0.46a	19.43±1.15	80.57±1.15
MSH2	1.73±0.42b	15.99±1.94	0.36±0.11b	18.08±2.42	81.92±2.42
LSH1	1.43±0.11b	17.94±2.52	0.19±0.09b	19.56±2.52	80.44±2.52
LHS2	1.72±0.23b	13.33±4.16	0.83±0.08a	15.88±4.34	84.12±4.34
p-value	<0.05*	>0.05	<0.05*	>0.05	>0.05

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

3.5 การสูญเสียอ้อยในแปลง

จากข้อมูลการสูญเสียอ้อยในแปลง (Table 8) เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทั้ง 4 Model คือ สูญเสียไม่เกิน 3% โดยรถตัดอ้อย MSH และ LSH มีการสูญเสียเฉลี่ย 1.34 และ 2.02% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการสูญเสียอ้อยในแปลงกับปริมาณสิ่งเจือปนจากการตัดอ้อยด้วยรถตัดพบว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันต่อกัน กล่าวคือ สิ่งเจือปนจากใบอ้อยน้อยการสูญเสียท่อนอ้อยในแปลงจะเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความเร็วลมของพัดลมทำความสะอาด เมื่อพัดลมทำความสะอาดมีความเร็วลมสูง ส่งผลให้สามารถเป่าใบอ้อยออกได้มาก ในขณะที่เดียวกันท่อนอ้อยที่มีขนาดสั้นจะมีโอกาสถูกพัดออกไปได้ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wang (2018) เมื่อความเร็วพัดลมเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณสิ่งเจือปนจะลดลงแต่การสูญเสียท่อนอ้อยจะมากขึ้น

สิ่งเจือปนจากการตัดอ้อยด้วยรถตัดทั้ง 4 Model (Table 7) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีสิ่งเจือปนรวมเฉลี่ย 18.24% เมื่อพิจารณาจากปริมาณสิ่งเจือปนทั้งหมดพบว่า เป็นสิ่งเจือปนจากยอดอ้อย 86.65% ในกรณีของสิ่งเจือปนจากใบอ้อย พบว่า รถตัดอ้อย MSH1 มีสิ่งเจือปนจากใบอ้อยสูงสุดคือ 2.60% ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรถตัดอ้อยอีก 3 Model ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของความยาวของท่อนอ้อย ท่อนอ้อยยาวส่งผลให้ใบหลุดจากท่อนอ้อยได้ยาก สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Wang F. el. al. (2018) ที่ความยาวของท่อนอ้อยส่งผลต่อความสะอาดของอ้อย สำหรับสิ่งเจือปนที่เป็นดิน พบว่า รถตัดอ้อย MSH1 และ LSH2 มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการสังเกตขณะทำการทดสอบพบว่า คนขับรถตัดอ้อย LSH2 จะตัดอ้อยชิดผิวดิน ทำให้มีฝุ่นฟุ้งกระจายส่งผลให้มีดินติดมากับท่อนอ้อยมากขึ้น สำหรับกรณีรถตัดอ้อย MSH1 ซึ่งมีปริมาณใบอ้อยสูงกว่ารถตัดอ้อยรุ่นอื่น ส่งผลให้มีเศษดินติดไปกับใบอ้อยได้มากกว่า

Table 8 Billet lost in field.

Model	Billet lost (%)
MSH1	1.04±0.21b
MSH2	1.82±0.96ab
LSH1	2.24±0.43a
LSH2	1.79±0.62ab
p-value	<0.05*

*Mean followed by the same letter in a column are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

Table 9 Economic analysis of sugarcane harvesters.

Parameter	Model			
	MSH1	MSH2	LSH1	LSH2
Purchase price (P) (Baht)	8,000,000	8,000,000	13,000,000	12,000,000
Life (year)	10	10	10	10
Interest rate (%)	7	7	7	7
Operating hour (h day ⁻¹)	8	8	8	8
Operating date (day)	90	90	90	90
R&M price (Baht year ⁻¹)	170,000	170,000	200,000	200,000
Fuel price (Baht L ⁻¹)	31.00	31.00	31.00	31.00
Fixed cost (Baht ton ⁻¹)	39.87	41.73	53.55	47.78
Variable cost (Baht ton ⁻¹)	71.53	53.86	47.17	77.34
Total cost (Baht ton ⁻¹)	111.41	95.59	100.72	125.12
Sugarcane Harvester fee (Baht ton ⁻¹)	190.00	190.00	190.00	190.00
Break-even point (ton year ⁻¹)	8,678	7,551	11,696	13,687
Return on investment (ton)	101,788	84,733	145,611	184,943
Payback period (year)	3.95	3.44	4.67	5.73

3.6 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในเขตภาคเหนือตอนล่างมีอัตราค่าจ้างคนขับรถตัดอ้อย 11 Baht ton⁻¹ และใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบในแปลงอ้อยที่มีความหนาแน่นอ้อยเฉลี่ย 10.93 ton rai⁻¹ และแปลงอ้อยมีความยาวเฉลี่ย 287.73 m ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ ดังแสดงรายละเอียดใน Table 9 พบว่ารถตัดอ้อย MSH1 MSH2 LSH1 และ LSH2 มีจุดคืนทุนที่ 8,678 7,551 11,696 และ 13,687 ton year⁻¹ ตามลำดับ และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 3.95 3.44 4.67 และ 5.73 ปี ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ารถตัดอ้อย MSH มีจุดคืนทุนและระยะเวลาคืนทุนที่น้อยกว่ารถตัดอ้อย LSH

4. สรุป

การศึกษาเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพของรถตัดอ้อยขนาดกลาง (MSH) (164 และ 179 kW) และขนาดใหญ่ (LSH) (251 และ 260 kW) ที่ใช้ในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย ในแปลงอ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ความหนาแน่นอ้อยเฉลี่ย 10.93 ton rai⁻¹ พบว่า รถตัดอ้อย LSH มีความเร็วในการเคลื่อนที่และความสามารถในการทำงานเชิงน้ำหนักมากกว่ารถตัดอ้อย MSH ในขณะที่รถตัดอ้อย MSH2 มีประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่และประสิทธิภาพในการทำงานเชิงเวลามากกว่ารถตัดอ้อยอีก 3

Model ในการเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลงอ้อยที่มีความยาวเฉลี่ย 287.73 m และพบว่า ความยาวท่อนอ้อยเฉลี่ยระหว่าง 17.2 ถึง 25.0 cm ไม่มีผลต่อความหนาแน่นมวลรวมของท่อนอ้อย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีผลต่อปริมาณสิ่งเจือปนที่ติดไปกับท่อนอ้อย ท่อนอ้อยที่ยาวจะมีใบอ้อยติดไปกับท่อนอ้อยได้มากกว่าท่อนอ้อยที่สั้น

รถตัดอ้อย MSH มีความเหมาะสมในการใช้งานกับแปลงอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถว 1.50 และ 1.72 m ซึ่งสามารถทำงานในแปลงอ้อยของเกษตรกรในเขตภาคเหนือตอนล่างที่มีระยะห่างระหว่างแถวเฉลี่ย 1.50 m ได้โดยไม่มีผลกระทบต่ออ้อย แต่รถตัดอ้อย LSH มีโอกาสเหยียบแถวอ้อยมากกว่าเมื่อต้องทำงานในแปลงอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถว 1.50 m

การใช้เลือกใช้รถตัดอ้อยเพื่อทำงานในแปลงอ้อยที่มีความยาวแถวอ้อยเฉลี่ย 287.33 m หรือสั้นกว่า ควรเลือกใช้รถตัดอ้อย MSH ซึ่งมีจุดคืนทุนและระยะเวลาคืนทุนต่ำกว่ารถตัดอ้อย LSH

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากบริษัท น้ำตาลพิษณุโลก จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์รถตัดอ้อย และจัดหาพื้นที่ทำการทดสอบรถตัดอ้อยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

กรุงเทพธุรกิจ. 2564. สมาคมชาวไร่อ้อย ร้องขอรับคนต่างด้าว
แก้วิกฤตขาดแคลนแรงงาน. แหล่งข้อมูล: <https://www.bangkokbiznews.com/news/984815>. เข้าถึงเมื่อ 17
เมษายน 2567.

ชาติชาย ศิริพัฒน์. 2560. SD Tech รถตัดอ้อยไทยทำ.
แหล่งข้อมูล: <https://www.thairath.co.th/>. เข้าถึงเมื่อ 9
พฤศจิกายน 2566.

ธนัชสิทธิ์ พูน, ไพบุลย์ พิพัฒน์, วิภา หอมหวล, วันวิสาข์ ปั่นศักดิ์
, อนุพงศ์ วงศ์ตามี. 2561. การประเมินการผลิตอ้อยและการ
ใช้เครื่องจักรกลพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง. รายงานการวิจัย.
กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.

บริษัท ไทยเอเยนซี เอ็นจิเนียริง จำกัด. 2565. ตัดอ้อยสดด้วยรถ
ตัดอ้อย ลดฝุ่น PM2.5 เพิ่มมูลค่าผลผลิต. แหล่งข้อมูล
<https://thaia.co.th/2022/11/30/ตัดอ้อยสดด้วยรถตัดอ้อย>. เข้าถึงเมื่อ 9 พฤศจิกายน 2566.

มอก.2773-2560. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรถตัดอ้อย
กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายแห่งประเทศไทย.
2566. รายงานการผลิตอ้อยของประเทศไทยประจำปีการ
ผลิต 2565/66.

สิทธิพร เกษจ้อย, วรชาติ ทะสา, สัจจารักษ์ ไร่สงวน, สุดาทิพย์
เกษจ้อย. 2564. ผลกระทบจากการเผาใบอ้อยที่ก่อให้เกิด
มลพิษ PM 2.5 ตำบลในเมือง อำเภอเวียงเก่า จังหวัด
ขอนแก่น. Journal of Buddhist Education and
Research 7(1), 16-25.

ASTM D2216-19. 2019. Standard test methods for
laboratory determination of water (moisture)
content of soil and rock by mass. American Society
for Testing and Materials.

Kaewkabthong, A., Udompetaiku, V. 2017. Influences of
the field accessibility to the performance of
mechanical sugarcane harvesting. The 10th TSAE
international conference: TSAE 2017, 4-7.
Nonthaburi: IMPACT Exhibition Center. 7-9
September 2017, Bangkok.

Kaewkabthong, A., Udompetaiku, V. 2019.
Determination of field capacity for the sugarcane

harvester using GNSS data. IOP Conference Series:
Earth Environment Science, 301 012016.

Shinzato, Y., Uehara, K., Ueno, M. 2013. Performance of
sugarcane harvesters in Okinawa. Proceedings of the
International Society of Sugar Cane Technologists,
28.

Wang, F., Yang, G., Ke, W., Ma, S. 2018. Effect of
sugarcane chopper harvester extractor parameters
on impurity removal and cane losses. IFAC-
PapersOnLine 51-17, 292-297.



การพัฒนาเครื่องล้างข่าเหลืองอ่อนแนวตั้งแบบกึ่งอัตโนมัติ

Development of Semi-Automatic Vertical Yellow Galangal Washing Machine.

นิรันดร์ พรหมเกษา^{1*}, วิเชียร ดวงสีเสน¹, ดวงทิพย์ ฤกษ์นิย¹

Nirun Promkesa^{1*}, Wichian Duangsrisen¹, Duangthip Rukanee¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา, พระนครศรีอยุธยา 13000

¹Department of Farm Machinery Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Hantra District, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000

*Corresponding author: Tel.: +66-9-0113-9223, E-mail: nirun.p@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องล้างข่าเหลืองอ่อนแนวตั้งแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการยกระดับการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้นวัตกรรมเข้ามาช่วยในการทำงานแบบเดิม เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดจากกระบวนการล้างข่าที่ยังใช้แรงงานคนในการล้างซึ่งใช้ระยะเวลานาน และเพื่อช่วยประหยัดน้ำ โดยเครื่องล้างข่าใช้มอเตอร์ขนาด 1.5 hp เป็นต้นกำลัง ซึ่งประกอบด้วยชุดโครงสร้างเครื่อง ชุดถังล้าง ชุดเพลาส่งกำลัง และชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ลักษณะการทำงานเหมือนเครื่องซักผ้า จากผลการทดลองพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่อง คือ ความเร็วรอบ 350 rpm เวลาในการล้าง 15 min ปริมาณน้ำ 40 L น้ำหนักข่าที่ 15 kg ให้ค่าความสะอาดข่าสูงสุด 92% มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 3,194 W h⁻¹ สามารถล้างข่าได้ 600 kg day⁻¹ ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมลดลงร้อยละ 70 เมื่อทำงานวันละ 8 hr จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 6 day และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 17 hr year⁻¹

คำสำคัญ: เครื่องล้างข่า, ข่าเหลืองอ่อน, กึ่งอัตโนมัติ

Abstract

The objectives of this research were to develop and assess the efficiency of a semi-automatic vertical light-yellow galangal washing machine. The expectation of this research was to raise the production of washing machines to higher performance. Innovation aids in traditional tasks, cuts down on labor-intensive work durations, and conserves water. The galangal washing machine uses a 1.5 hp motor as the power source, which consists of a machine structure set, a washing tank set, a power transmission shaft set, and a motor control unit. Working characteristics are similar to washing machines. The result shows that the optimum conditions for operating the machine are a speed of 350 rpm, a washing time of 15 min, a water volume of 40 L, a galangal weight of 15 kg, giving the highest galangal cleanliness value of 92%, and an electrical energy consumption rate of 3,194 W h⁻¹ that can wash 600 kg of galangal day⁻¹. An engineering economic analysis showed that the production cost per kilogram is reduced by 70% when working 8 hr day⁻¹, the break-even period was 6 days, and the break-even point was 17 hr year⁻¹

Received: September 13, 2023

Revised: March 11, 2024

Accepted: March 12, 2024

Available online: August 9, 2024

1 บทนำ

ข่า (Galanga) เป็นไม้ล้มลุกมีลำต้นใต้ดิน เจริญเติบโตเป็นกอ มีเนื้อในสีเหลืองอ่อน นำมาใช้ในการประกอบอาหาร โดยเฉพาะในประเทศไทยและประเทศอินโดนีเซีย การใช้ประโยชน์ เช่น ส่วนของเหง้าข่า ใช้สำหรับปรุงอาหารเพื่อดับกลิ่นคาว เป็นส่วนผสมในเครื่องแกง เหง้าอ่อน ต้นอ่อน และดอกอ่อน นำมารับประทานสดๆ หรือลวกให้สุกเป็นเครื่องจิ้มกับน้ำพริก เหง้าอ่อนสดสามารถนำไปปรุงเป็นอาหาร เช่น ใช้ใส่ในต้มยำ ส่วนของเหง้าแก่มีน้ำมันหอมระเหย สรรพคุณ แก้ท้องอืด จุกเสียด ลมพิษ กลากเกลื่อน ขำบดเป็นผงใช้ผสมน้ำรับประทาน เป็นยา ขับลม ลดการอักเสบของแผลในกระเพาะอาหาร ข่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา (สุนทร, 2560)



Figure 1 Galangal.

ปัจจุบันเกษตรกรในหลายพื้นที่ของประเทศไทยปลูกข่าเป็นอาชีพเพื่อหารายได้เลี้ยงครอบครัว หรือปลูกเพื่อจำหน่ายเป็นธุรกิจ SME ของกลุ่มเกษตรกร เพราะข่าเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่หารายได้แก่ประเทศ (Sripour et.al, 2014) ราคาข่าเหลืองที่ขายกันทั่วไป โดยราคาซื้อจากไร่ต้นละ 40,000 Baht ราคาซื้อหน้าตลาดต้นละ 60,000 Baht โดย 1 ไร่จะให้ผลผลิตประมาณ 3.5 ถึง 4 ตัน การขายข่าแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข่าอ่อน เป็นข่าที่เก็บผลผลิตในช่วงเดือนที่ 6 จะมีราคากิโลกรัมละ 30-35 Baht ส่วนที่สอง ข่าแก่ เป็นข่าที่อยู่ในช่วงเก็บผลผลิตในเดือนที่ 8 ขายได้ราคากิโลกรัม 10-15 Baht เมื่อเปรียบเทียบกับข่าแก่กับข่าอ่อนแล้วอัตราส่วนในแปลงที่ขุดได้แต่ละวันจะมีข่าอ่อน 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยการเก็บข่าต่อไร่จะได้ปริมาณข่าเฉลี่ยประมาณ 3 - 4 ตัน (ไกรเลิศ และวีระ, 2561)

ข่าที่ทำการเก็บเกี่ยวมาจากไร่ก่อนมีการแปรรูปจำหน่ายจะต้องทำการล้างเอาเศษดินและทรายออก กระบวนการล้างข่า

แบบเดิมยังต้องอาศัยแรงงานคนในการล้างทำความสะอาด ดัง Figure 2 ส่งผลทำให้การใช้น้ำล้างทำความสะอาดปริมาณสูง ใช้เวลาในการล้างต่อครั้งนาน ได้ปริมาณข่าที่ล้างต่อครั้งจำนวนน้อย และทำให้วัตถุดิบมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอและไม่ได้มาตรฐาน ประกอบกับเครื่องจักรที่ทันสมัยต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งราคาแพงและมีต้นทุนการผลิตสูง



Figure 2 Traditional yellow galangal cleaning.

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา ชุมพร และคณะ (2557) ได้สร้างเครื่องล้างข่าด้วยแรงดันน้ำ โดยมีอัตราการความเร็วรอบในการล้างที่ 385 rpm ให้อัตราการผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 300 kg hr⁻¹ ซึ่งแรงดันน้ำ และความเร็วรอบมีผลต่อการล้าง ฉัตรพล และคณะ (2559) ได้วิจัยการสร้างเครื่องล้างหัวมันเทศโดยใช้แรงดันน้ำ โดยเครื่องสามารถทำงานได้ 24,338 kg day⁻¹ เทียบกับการทำงานของเกษตรกรที่ทำได้ 1,920 kg day⁻¹ ทำให้ต้นทุนในการผลิตของเกษตรกรลดลงจาก 0.30 เป็น 0.03 Baht kg⁻¹ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่อง คือ แรงดันน้ำ ความเร็วรอบ และเวลาในการทำงาน หรือสหัสวรรษ และรักพงษ์ (2561) ได้สร้างเครื่องล้างทำความสะอาดหัวข่าแบบกึ่งอัตโนมัติ ใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 hp รอบการหมุน 1,450 rpm เป็นต้นกำลัง ใช้ปั้มน้ำขนาด 0.5 hp ช่วยในการฉีดล้างเศษดินที่ติดมากับหัวข่า จากการทดสอบพบว่า หัวข่าที่น้ำหนัก 5 kg สะอาดที่สุดที่เวลา 120 s ผลต่างของน้ำหนักข่าก่อนล้างและหลังล้างเท่ากับ 0.9 kg หรือ 18% ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้คน เท่ากับ 90.8 min เครื่องล้างหัวข่ามีปริมาณน้ำที่ใช้ต่ำกว่าใช้คนล้าง เท่ากับ 295.8 L

ด้วยเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาและสร้างเครื่องล้างข่าเหลืองอ่อนแนวตั้งแบบกึ่งอัตโนมัติ และประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยคาดว่าจะ เป็นประโยชน์ในการพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีนวัตกรรมที่เหมาะสมให้กับกลุ่มเกษตรกรในกระบวนการล้างข่าต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องล้างขำต้นแบบที่สร้างขึ้น

โดยเครื่องล้างขำที่สร้างขึ้น (Fig.3) มีขนาดความกว้าง 70 cm ความยาว 100 cm และความสูง 80 cm โดยมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 4 ส่วน คือ

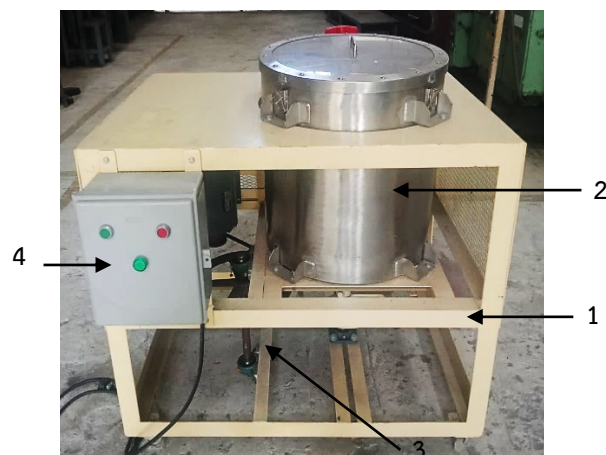


Figure 3 Galangal cleaning machine.

1) โครงสร้างเครื่อง (No.1 Fig.3) ทำหน้าที่ยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนแบบรีดร้อน มีลักษณะเป็นฉากขนาดกว้าง 50.8 × 50.8 cm ความหนา 3 mm นำมาทำการตัดและเชื่อมประกอบ โดยมีขนาดความกว้าง 70 cm ขนาดความยาว 100 cm และขนาดความสูง 80 cm

2) ถังล้าง (No.2 Fig.3) ประกอบด้วยฝาปิดถังและตัวถังโดยทำจากวัสดุแผ่นสแตนเลสเกรด 304 มีขนาดความหนา 1 mm ทำการม้วนขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 cm ขนาดความสูง 55 cm ตะแกรงใส่ขำทำจากสแตนเลสเกรด 304 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm นำมาตัดและทำการเชื่อมเป็นรูปทรงกระบอก โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 cm มีความสูง 50 cm และใบพัดทำจากวัสดุสแตนเลสเกรด 304 มีลักษณะเป็นฉากขนาดกว้าง 76.2 × 15 × 76.2 cm มีความหนา 3 mm เชื่อมติดกับจานหมุนในถังล้าง แสดงดัง Figure 4



Figure 4 Grille and impeller.

3) ชุดเพลาส่งกำลัง (No.3 Fig.3) โดยเพลารับกำลังจากมอเตอร์ขนาด 1.5 hp จากนั้นส่งถ่ายกำลังผ่านสายพานไปยังมูเลย์ทรอบที่อยู่กับเพลากลาง เพลากลางจะทำหน้าที่ส่งกำลังไปยังเพลาจานหมุน เพื่อหมุนใบพัดที่เชื่อมติดกับจานหมุนในถังล้าง ซึ่งทำให้เกิดกระแสน้ำไหลวนชะล้างทำความสะอาดขำขึ้น

4) ชุดควบคุมการทำงาน (No.4 Fig.3) ประกอบด้วยสวิตช์ควบคุมเปิด-ปิด ภายในเป็นวงจรไฟฟ้าแบ่งออกเป็นวงจรกำลังและวงจรควบคุมซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์

2.2 หลักการทำงานของเครื่องล้างขำ

ขั้นตอนแรกผู้ใช้งานเปิดวาล์วเพื่อเติมน้ำลงในถังล้างของเครื่อง และนำขำที่ยังไม่ได้ทำความสะอาดเข้าทำการล้าง โดยใส่ลงในตะแกรงใส่ขำ ขั้นตอนที่สองเปิดสวิตซ์การทำงานของเครื่อง ซึ่งจะควบคุมการสั่งให้ระบบต่าง ๆ ของเครื่องทำงาน สามารถกำหนดให้เป็นระบบอัตโนมัติได้ เช่น เวลาในการล้าง ความเร็วรอบขับของมอเตอร์ โดยมอเตอร์จะทำหน้าที่หมุนเพลากลางใบพัดที่ติดกับจานหมุนอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดกระแสน้ำไหลวนในถังชะล้างทำความสะอาดขำขึ้น โดยมีแนวความคิดการออกแบบเหมือนเครื่องซักผ้า ส่วนตะแกรงใส่ขำวางในแนวตั้งอยู่กับที่ไม่หมุน เพื่อลดการบอบซ้ำของขำขณะทำการล้าง โดยเฉพาะการล้างขำอ่อน เมื่อเทียบกับกระบวนการล้างขำแบบใช้ตะแกรงหมุน และนำขำออกจากถังล้างเมื่อล้างเสร็จ

2.3 การทดสอบโดยใช้แรงงานคน

การทดสอบหาประสิทธิภาพโดยการใช้แรงงานคน ทำการล้างขำโดยใช้คนล้างทำความสะอาดขำน้ำหนัก 75 kg ด้วยหัวฉีดซึ่งใช้ปั๊มน้ำขนาด 1 hp เป็นตัวช่วยฉีดเพิ่มแรงดันน้ำดัง Figure 2 เพื่อใช้ฉีดเอาดินและสิ่งสกปรกออกจากขำ กำหนดให้ความเร็วของการทำงานขึ้นอยู่กับความสามารถของแรงงานคน ทำการจับเวลา ซึ่งน้ำหนักขำหลังจากล้างเสร็จ และจดบันทึกผล

2.4 การทดสอบโดยใช้เครื่องล้างข้าว

โดยเครื่องล้างข้าวที่สร้างขึ้นใช้ความเร็วรอบในการหมุนของใบพัดมี 3 ระดับ คือ 190 270 และ 350 rpm ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่ 30 35 และ 40 L และเวลาที่ใช้ในการล้างแต่ละครั้งที่ 10 15 และ 20 min

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างข้าว โดยนำข้าวเหลืองอ่อน (Figure 5) ที่ยังไม่มีการล้างเป็นวัสดุในการทดลอง นำมาแบ่งเป็นกองกองละ 1 kg ต่อการล้าง 1 ครั้ง



Figure 5 galangal.

ในการล้างข้าวแต่ละการทดสอบ จะทำการชั่งน้ำหนักก่อนล้าง น้ำหนักหลังจากการล้าง บันทึกข้อมูล และนำข้อมูลจากการทดสอบไปคำนวณหาความสามารถในการทำงานของเครื่องล้างข้าว ซึ่งมีสมการค่าชี้ผลการศึกษาดังนี้

ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดข้าว C คือ ค่าความสะอาดที่เครื่องล้างสามารถทำได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังต่อไปนี้ (สุกัญญา และคณะ, 2545)

$$C = \frac{(Ms1 - Ms2)}{Ms1} \times 100\% \quad 1$$

เมื่อ C = ความสะอาด (%)

Ms1 = สัดส่วนน้ำหนักดินต่อน้ำหนักข้าวก่อนทำความสะอาด (g)

Ms2 = สัดส่วนน้ำหนักดินต่อน้ำหนักข้าหลังทำความสะอาด (g)

ความสามารถในการทำงาน ($kg\ h^{-1}$) โดยพิจารณาจากการทำงานได้จริงของเครื่องต่อหน่วยเวลา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังต่อไปนี้ (สหัสวรรษ และรักพงษ์, 2561)

$$Q = \frac{M}{t} \quad 2$$

เมื่อ Q = อัตราการทำงาน ($kg\ h^{-1}$)

M = น้ำหนักข้าทั้งหมด (kg)

T = เวลาที่ใช้ทั้งหมด (h)

2.5 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกโครงการหรือ บริการ ซึ่งมีความมุ่งหมายเพื่อประหยัดทรัพยากร โดยเน้นความคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เป็นการประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับการลงทุน (วันชัย และช่อม, 2538) โดยมีหลักการคิดดังต่อไปนี้

- 1) ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) ต้นทุนเริ่มแรก คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร ที่ดิน เป็นต้น
- 2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) ต้นทุนในการดำเนินการ มี 2 แบบ คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือ ค่าที่คงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาสของทุนในเครื่องล้างข้าว และค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าไฟฟ้า จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณของข้าที่นำมาล้างด้วยเครื่อง
- 3) ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการล้างข้าว ดังแสดงตัวอย่างในสมการที่ 3

$$AC = FC + VC \quad 3$$

เมื่อ AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการล้างข้าว (Baht Year⁻¹)

FC = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องล้างข้าว (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)

VC = ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

ค่าเสื่อมราคา คิดจากสมการที่ 4

$$D = \frac{P-S}{L} \quad 4$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน คิดจากสมการที่ 5

$$R = \left(\frac{P+S}{2} \right) \times I \quad 5$$

เมื่อ P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องล้างข้าว (Baht)

L = อายุการใช้งานเครื่องล้างข้าว = 10 (year)

S = ราคาเครื่องใช้งานครบ 10 ปี = 0.1P (Baht)

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี (Baht year⁻¹)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุนต่อปี (Baht year⁻¹)

I = อัตราดอกเบี้ยที่ 10% year⁻¹

4) จุดคุ้มทุน (Blank et.al, 1998) ดังแสดงตัวอย่างในสมการที่ 6

$$BEPs = \frac{FC}{(SUu - VCu)} \quad 6$$

เมื่อ BEPs = จุดคุ้มทุน (unit year⁻¹)
VCu = ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (Baht unit⁻¹)
SUu = ค่าจ้างต่อหน่วย (Baht unit⁻¹)

5) ระยะเวลาคืนทุน ดังแสดงตัวอย่างในสมการที่ 7

$$PBP = \frac{MC}{p} \quad 7$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (year)
MC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่อง (Baht)
p = กำไร (Baht year⁻¹)

2.6 การออกแบบการทดลอง

ออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของทาгуชิ (Roy, 2001) ซึ่งเลือกการออกแบบจากปัจจัย เพื่อให้มีคุณภาพเป้าหมายตามที่กำหนดของผลิตภัณฑ์ สำหรับลักษณะการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานตามอัตราส่วนของ Signal to Noise โดยจะดำเนินการทดลองตาม Orthogonal Arrays แบบ L9 (3³) เพื่อรวบรวมข้อมูลที่ส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง

จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณจากค่า S/N (Larger is better) มาวิเคราะห์อิทธิพลปัจจัยในการทำความสะอาด เพื่อหาผลกระทบของปัจจัยต่างๆและวิเคราะห์ค่าที่มีอิทธิพลสูงสุดจากสมการที่ 8

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad 8$$

เมื่อ S/N คือ อัตราส่วนของความสะอาดในแต่ละการทดลอง

n คือ จำนวนการทดลองซ้ำในแต่ละการทดลอง

y_i คือ ค่าตอบสนองในแต่ละการทดลอง

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ค่าเฉลี่ยของ S/N

จากผลการทดลองล้างทำความสะอาดฆ่าโดยเครื่องที่พัฒนาขึ้น (Table 1) ซึ่งทำการทดสอบตามตัวแปรที่กำหนดไว้พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความสะอาดจะเปลี่ยนไปตามปัจจัย ความเร็วรอบ เวลา และปริมาณของน้ำ ที่ปรับเปลี่ยนตามกระบวนการล้าง จากซึ่งความสามารถในการทำความสะอาดของเครื่องที่พัฒนาขึ้นอยู่ที่ 65.37 - 87.75% อัตราส่วน S/N อยู่ระหว่าง 36.30 - 38.86 โดยค่าเฉลี่ยของ S/N อยู่ที่ 37.77

Table 1 Experimental results according to the Taguchi experimental design.

Experiments	Speed (rpm)	Time (min)	Water (Liter)	Cleanliness (%)	S/N
1	190	10	30	65.37	36.30
2	190	15	35	71.49	37.08
3	190	20	40	73.25	37.29
4	270	10	35	74.15	37.40
5	270	15	40	82.48	38.32
6	270	20	30	79.03	37.95
7	350	10	40	80.83	38.15
8	350	15	30	87.75	38.86
9	350	20	35	85.45	38.63

3.2 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการทำความสะอาด

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการทำความสะอาด (Table2) พบว่าถ้าค่า S/N ของปัจจัยควบคุมใดมีค่ามาก

หมายความว่าที่ระดับปัจจัยควบคุมนั้นจะมีผลทำให้คุณภาพของวัสดุออกมามีประสิทธิภาพดี

Table2 Analysis of the influence of factors based on the average S/N-Ratio of galangal cleanliness.

Factor	S/N-Ratio			max-min
	Level 1	Level 2	Level 3	
Speed	36.90	37.90	38.55	1.65
Time	37.29	38.09	37.96	0.81
Water	37.71	37.71	37.92	0.22

จากการวิเคราะห์หาค่าร้อยละของอิทธิพลปัจจัยหลัก (%main effect) ของแต่ละปัจจัยพบว่า ความเร็วรอบ (Speed) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า S/N เฉลี่ยของการทำความสะอาดของข่ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 61.57 รองลงมาคือ เวลา (Time) คิดเป็นร้อยละ 29.85 และปริมาณน้ำ (Water) คิดเป็นร้อยละ 7.69 ซึ่งนำมาสร้างกราฟผลตอบสนอง S/N ของแต่ละปัจจัย คำนวณโดยใช้โปรแกรม Minitab19 ได้ผลความสัมพันธ์ของอิทธิพลของปัจจัยดัง (Figure 6)

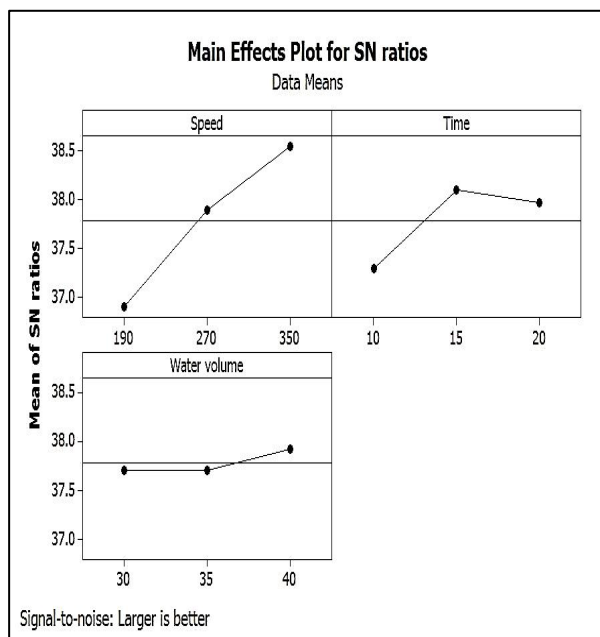


Figure 6 Relationship of factor-value influence level S/N.

จาก (Figure 6) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเวลา (Time) กับปริมาณน้ำ (Water) มีผลต่อค่า S/N ความสะอาดของข่าน้อย เมื่อเทียบกับระดับปัจจัยความเร็วรอบ (Speed) โดยความเร็วรอบที่ระดับ 3 ให้ค่า S/N ความสะอาดมากที่สุดที่ 38.55 ดังนั้นเงื่อนไขเหมาะสมของเครื่อง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดของเครื่องล้างข่าที่ดีที่สุด คือ ความเร็วรอบในการล้างระดับที่ 3 คือ 350 rpm เวลาในการล้างระดับที่ 2 คือ 15 min และใช้ปริมาณน้ำ ระดับที่ 3 คือ 40 L

3.3 ผลการทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่อง

เมื่อได้เงื่อนไขในการล้างที่เหมาะสมของเครื่องล้างข่าแล้ว จากนั้นนำข่ามาทดลองล้าง (Figure 6) โดยได้กำหนดปริมาณข่าในการล้างต่อรอบที่ 15 20 25 และ 30 kg เพื่อเปรียบเทียบหาความสามารถในการทำงานของเครื่อง จากผลการทดสอบพบว่า จำนวนปริมาณข่าที่ใส่เข้าเครื่องล้างมีผลต่อความสามารถในการล้าง โดยการล้างข่าที่ปริมาณ 15 kg ให้ค่าความสะอาดข่า สูงสุดที่ 92% เมื่อเทียบกับปริมาณข่าที่ 30 kg เครื่องล้างมีความสามารถล้างข่าสะอาดน้อยสุดที่ 80.2% เนื่องจากกำลังของเครื่องทำงานหนักขึ้นเมื่อปริมาณข่าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการทำงานของเครื่องลดลง

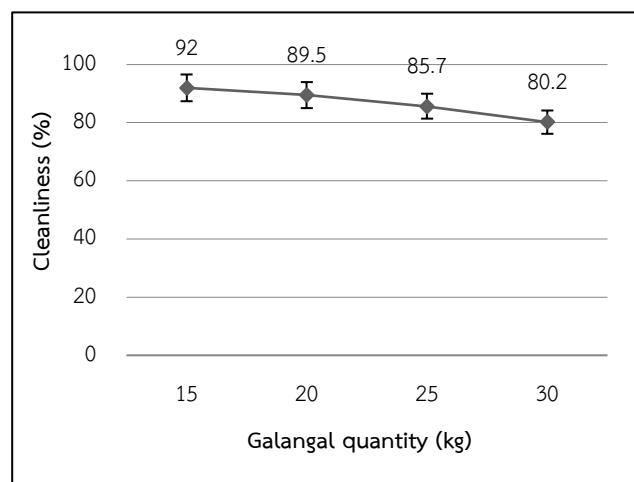


Figure 7 The cleaning ability of the galangal washing machine.

3.4 ผลการทดสอบหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

การล้างข่าในการทดสอบการทำงานของเครื่องจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในการให้พลังงานแก่มอเตอร์ ซึ่งเครื่องล้างข่านี้ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง จาก (Figure 8) การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการล้างข่าต่อรอบที่ 15 min และได้กำหนดปริมาณข่าในการล้างที่ 15 20 25 และ 30 kg จากผลการทดลองพบว่า การล้างข่าต่อรอบที่ปริมาณ 15 kg มีอัตราการใช้ปริมาณไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ 798.5 W เมื่อเทียบกับปริมาณของข่าที่ 30 kg มีอัตราการใช้ปริมาณไฟฟ้าสูงสุด คือ 851 W เนื่องจากต้นกำลังของเครื่องทำงานหนักขึ้นเมื่อมีภาระโหลดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการใช้พลังงานยิ่งเพิ่มสูงขึ้น

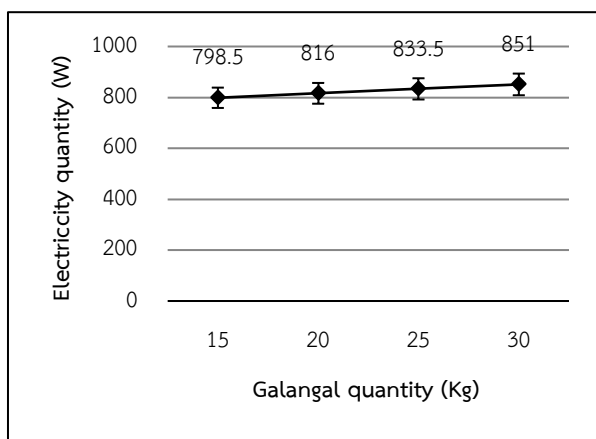


Figure 8 Electricity consumption rate of the galangal washing machine.

3.5 ผลการเปรียบเทียบการใช้เครื่องล้างข่ากับการล้างแบบเดิม

ในการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องล้าง ข่า กับ แรงงานคนล้างข่า โดยกำหนดปริมาณข่าในการล้าง 75 kg (Table 3) พบว่าการล้างข่าโดยเครื่องที่พัฒนาขึ้นใช้เวลาในการล้าง 60 min ซึ่งล้างได้เร็วกว่าการล้างโดยใช้แรงงานคน ซึ่งใช้เวลาถึง 160 min เนื่องจากการล้างข่าด้วยเครื่องเป็นการใช้เครื่องทุ่นแรงทำให้ล้างข่าได้เร็วกว่าการใช้แรงงานคน ส่วนปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างข่าพบว่าการล้างข่าโดยใช้เครื่องใช้ปริมาณน้ำในการล้างที่ 200 L ต่อการล้างข่า 75 kg น้อยกว่าการใช้แรงงานคนถึง 50 L เนื่องจากการล้างโดยใช้แรงงานคนไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำในการล้างได้ และเมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณไฟฟ้า การล้างข่าโดยเครื่องมีค่าใช้จ่ายที่มากกว่าการล้างข่าโดยใช้แรงงานคนที่ 3.75 Baht time⁻¹

Table 3 Comparison results between the use of the galangal washing machine and the traditional galangal washing machine.

Method	Time (min)	Amount of water (L)	Electricity charge (Baht)
Manual	160	250	15.25
Galangal washing Machine	60	200	19
Difference	100	50	3.75

3.6 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาต้นทุนการสร้างเครื่อง 20,000 Baht มีอายุการใช้งาน 10

year ประเมินจากผู้ผลิต โดยการประเมินอัตราดอกเบี้ยที่ 7% (2566) ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน มีความสามารถในการทำงาน 600 kg day⁻¹ อัตราสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 3,194 W hr⁻¹ ทำงานวันละ 8 hr ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่อง 319.5 Baht day⁻¹ มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 6 day และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 17 hr year⁻¹

4 สรุป

เครื่องล้างข่าเหลืองอ่อนแนวตั้งแบบกึ่งอัตโนมัติที่ได้ทำการสร้างขึ้น ซึ่งการทดสอบหาประสิทธิภาพโดยมีเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำความสะดวกที่ความเร็วรอบการหมุนล้าง 350 rpm เวลาในการล้าง 15 min และใช้ปริมาณน้ำที่ 40 L ให้ประสิทธิภาพในการล้างทำความสะอาดข่า 15 kg ได้เฉลี่ยสูงสุดที่ 92% อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 3,194 W h⁻¹ สามารถลดแรงงานคนได้ 1 คน ความสามารถในการทำงานได้ 600 kg day⁻¹ และผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมลดลงร้อยละ 70 เมื่อทำงานวันละ 8 hr จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 6 day และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 17 hr year⁻¹

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ที่สนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินการทำงานวิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ได้สนับสนุนเงินงบประมาณการทำวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- ไกรเลิศ ทวีกุล, วีระ ภาคอุทัย. 2561. บทเรียนชุดที่ 4 พืชเศรษฐกิจในครัวเรือน. แหล่งที่มา: <https://risned.kku.ac.th>. เข้าถึงเมื่อ 15 กรกฎาคม 2566.
- ฉัตรพล พิมพา, สุประวิทย์ เมืองเจริญ, จีรัฐติกุล กล้าหาญ, ปิติชน เปี่ยมบริบูรณ์, ธงชัย อรัญชัย. 2559. โครงการวิจัยการสร้างเครื่องล้างหัวมันเทศโดยใช้แรงดันน้ำและชุดอบแห้ง. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ชุมพร ชันโท, ธรณินทร์ ไชยเจริญ, สหภูมิ ภัควันต์, กุลชาติ จุลเพ็ญ. 2557. การสร้างเครื่องล้างข่าด้วยแรงดันน้ำ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 3947(13).
- วันชัย วิจิรวนิช, ช่อม พลอยมีค่า. 2538. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สหัสวรรษ ภูจิระ, รักพงษ์ ชันฉวีธิ. 2561. เครื่องล้างทำความสะอาดหัวข้าวแบบกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 9(3), 1-16.

สุกัญญา จัตตพรพงษ์, อุทัย คั่นโธ, วิลาวัณย์ ประจวบวัน, ไชยยงค์ ทาราช. 2546. เครื่องทำความสะอาดแบบแห้งและชุดผิวหัวมันสำปะหลัง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4 ประจำปี 2546, 75. เคยูโฮม. 13-14 มีนาคม 2546 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

สุนทร ปุณณทก. 2557. ข่าสมุนไพรร. แหล่งที่มา: <https://medthai.com>. เข้าถึงเมื่อ 15 กรกฎาคม 2566.

Blank, L.T., Tarquin, A.J. 1998. Engineering Economy. Singapore: Mc Graw Publishing.

Roy, R.K. 2001. Design of Experiments using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement. New York: John Wiley & Sons.

Sriporn, W., Nakanyapattara, J. 2014. Effect of Alpinia galangal essential oil on bacteria spoilage. In: Proceedings of the 26th Annual Meeting of the Thai society for biotechnology and international conference, 382-287. (In Thai)



ผลของความเร็วลูกกวาดเครื่องเกี่ยวนวดถั่วเหลืองต่อการแตกหักและการสูญเสียเมล็ด

Effect of Thresher Speed of Soybean Combine Harvester on Breakage and Loss of Seed

มงคล ตุ่นเข้า^{1*}, ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์¹, ประสาท แสงพันตา¹, วรณธนะ สมณี¹, อนุชา เชาว์โชติ¹, นิรุติ บุญญา¹

Mongkol Tunhaw^{1*}, Tinnasit Kaisinburasak¹, Prasat Sangphunta¹, Wantana Somnuak¹, Anucha Chowchoot¹, Nirut boonya¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, จังหวัดกรุงเทพฯ, 10900

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

*Corresponding author: Tel.: +66-8-2172-3595, Fax: +66-43-255-038, E-mail: mono-jobs@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เพื่อประเมินการสูญเสียและการแตกหักของเมล็ดจากการเกี่ยวเกี่ยวถั่วเหลืองพันธุ์ลพบุรี 84-1 ด้วยเครื่องเกี่ยวนวด ซึ่งปรับปรุงมุมครีบบางเดือน ส่วนประกอบล้อโน้ม ความเร็วรอบตะแกรงคัดและระบบลำเลียงเมล็ด โดยศึกษาความเร็วเชิงเส้นของลูกกวาด 2 ระดับคือ 10.72 m s^{-1} (330rpm) และ 12.83 m s^{-1} (395rpm) ผลการศึกษาพบว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการเกี่ยวเกี่ยวไม่หมดและเกิดการร่วงของต้นถั่วที่ถูกตัดแล้วบริเวณหัวเกี่ยวคือ 16.98% และ 14.64% ตามลำดับ การสูญเสียที่เกิดจากระบบนวดพบว่ามีปริมาณการสูญเสีย 1.78% และ 1.62% ปริมาณของเมล็ดแตกหัก 21.98% และ 26.45% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (T-test)

คำสำคัญ: ถั่วเหลือง, เครื่องเกี่ยวนวด

Abstract

The study of the effect of harvesting method using combine harvester on quality losses and seed quality of Lopburi 84-1 soybean was improved the rotation control plate angle, wheel head components, speed around the screening sieve and the grain conveying system. The linear velocity of rotor was set at 10.72 m s^{-1} (330rpm) and 12.83 m s^{-1} (395rpm). Results of the study found that the causes of harvest loss and tumbling were 16.98% and 14.64% the losses of the threshing was 1.78% and 1.62%, while the broken seeds was 21.98% and 26.45% respectively. The result of the t test of the linear velocity of rotor showed that all dimensions were not a significant difference.

Keywords: Soybean, Combine Harvester

1 บทนำ

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย เนื่องจากเมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีนสูง จึงเป็นแหล่งอาหารสำคัญที่ใช้ในการบริโภคและเลี้ยงสัตว์ แต่ผลผลิตถั่วเหลืองในปัจจุบันยังไม่เพียงพอต่อการบริโภคในประเทศที่มีการขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะถั่วเหลือง

คุณภาพดีเพื่อการบริโภคและอุตสาหกรรมอาหาร ในขณะที่ผลผลิตในประเทศลดลง ซึ่งการผลิตถั่วเหลืองในประเทศไทยมี 2 ลักษณะ คือ การผลิตเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ และเพื่อการบริโภค โดยในการผลิตเมล็ดพันธุ์นั้นต้องเน้นการผลิตให้ได้เมล็ดถั่วเหลืองมีชีวิต และสามารถงอกได้เมื่อได้รับปัจจัยในการงอกที่เหมาะสม

Received: 26 January, 2024

Revised: 6 September, 2024

Accepted: 6 September, 2024

Available online: 28 December, 2024

ส่วนการผลิตเพื่อบริโภคนั้น เมล็ดไม่จำเป็นต้องมีชีวิตแต่จะเน้นคุณค่าทางโภชนาการและความปลอดภัยต่อการบริโภค อย่างไรก็ตามในการผลิตทั้ง 2 ลักษณะ จำเป็นต้องใช้กระบวนการจัดการหรือวิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี ตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ ปัญหาที่สำคัญของผู้ผลิตหรือผู้ปลูกข้าวเหลืองคือการเก็บเกี่ยวเนื่องจากขั้นตอนการปลูกและการดูแล เกษตรกรมีเครื่องจักรกลที่สามารถนำมาใช้ดำเนินการได้แต่ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวยังขาดแคลนแรงงานและเครื่องจักรกลที่มีประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวมีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตข้าวเหลือง ในการเก็บเกี่ยวข้าวเหลืองเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี จะต้องคำนึงถึงระยะสุกแก่ของเมล็ดสภาพแวดล้อมในช่วงเมล็ดสุกแก่ทางสรีรวิทยา รวมถึงกรรมวิธีเก็บเกี่ยวด้วย (นิลบลและละอองดาว, 2553) เพื่อแก้ปัญหาการเก็บเกี่ยวนี้ มีการนำเครื่องเกี่ยววางราย มาทดสอบเก็บเกี่ยวข้าวเหลืองเพื่อทดแทนแรงงาน พบว่ามีความสามารถในการทำงานที่ 1.14 Rai hr^{-1} (สุวรรณ, 2542) ในขณะที่แรงงานคนเก็บเกี่ยวได้ 0.05 Rai hr^{-1} และต้องนำผลผลิตมาตากให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมก่อนนำไปนวดด้วยเครื่องนวด จากการศึกษาของสาทิสและคณะ (2536) มีการใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวนำมาใช้รับจ้างเกี่ยวข้าวเหลืองในอัตราค่าจ้าง $400 \text{ Baht Rai}^{-1}$ อัตราการทำงาน $2-3 \text{ Rai hr}^{-1}$ และรูปร่างของแปลงมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานในพื้นที่ (Field Efficiency) ปัญหาที่สำคัญคือร่องน้ำในแปลงทำให้เกิดการสูญเสียสูง เนื่องจากเกี่ยวไม่หมดหรือข้าวเหลืองที่ได้จะมีดินเจือปนมาด้วย อนุสร (2556) ได้ปรับปรุงเครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้เหมาะสมสำหรับใช้ในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเหลืองผลการทดสอบพบว่ามีความสามารถในการทำงาน 1 Rai hr^{-1} ความสูญเสียจากการเกี่ยว 4-5% ซึ่งสามารถลดขั้นตอนการนำไปนวดได้ แสดงว่าการเกี่ยวข้าวเหลืองด้วยเครื่องเกี่ยวนวดนั้นมีมานานและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เป็นที่ยอมรับ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการปรับปรุงให้มีความเหมาะสมเพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากการเกี่ยว การคัดแยกปริมาณเมล็ดแตกหัก และเพิ่มประสิทธิภาพการทำความสะอาด (อนุชิต, 2539)

การศึกษานี้จึงได้ปรับปรุงเครื่องเกี่ยวนวด เพื่อทดสอบการเกี่ยวเกี่ยวข้าวเหลือง ซึ่งลักษณะของเครื่องเกี่ยวนวดที่ปรับปรุงนี้จะใช้ระบบนวดเป็นแบบซี่นวดและอุปกรณ์โน้มเป็นวงล้อใช้ซี่พลาสติกยึดหยุ่นสปริงตัวเพื่อดิ่งลำต้นพืช การลำเลียงเมล็ดเป็นแบบกระบายลำเลียง เพื่อให้เป็นทางเลือกในการพิจารณาการใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวเหลืองทดแทนแรงงานเก็บเกี่ยวที่ขาดแคลน

การเก็บเกี่ยวข้าวเหลืองด้วยเครื่องเกี่ยวเกี่ยวที่ปรับปรุงนี้ ต้องประเมินผลจากการทดสอบเพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ประกอบการหรือเกษตรกรได้นำข้อมูลไปใช้เป็นประโยชน์ต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

จากค่าชี้ผลของงานวิจัยนี้คือ ปริมาณการสูญเสียของเมล็ดข้าวโดยน้ำหนักและการแตกหักของเมล็ด ซึ่งจะเทียบกับผลผลิต การสูญเสียที่เกิดขึ้นประกอบด้วยจากการตัดหรือเก็บลำเลียงเข้าระบบนวดไม่ได้ เช่น ตัดร่วง ตัดต่ำเกี่ยวเกี่ยวไม่หมด เป็นต้น ส่วนการสูญเสียส่วนท้ายเป็นการสูญเสียที่เกิดจากระบบนวด เช่น นวดไม่หมดยังคงมีเมล็ดติดฝัก หรือเมล็ดที่ปะปนผสมออกมาจากเศษชิ้นต้นข้าวที่ตะแกรงคัดแยกไม่สามารถคัดแยกได้ จะออกตรงบริเวณช่องปล่อยเศษส่วนท้ายของตัวเครื่อง และคุณภาพของเมล็ดข้าวที่ได้จากการเกี่ยวเกี่ยว หมายถึง เปอร์เซนต์การแตกหักของเมล็ดดี ของข้าวเหลืองในถังเก็บเมล็ดโดยได้จากการสุ่มแล้วคัดแยก เมล็ดแตก เมล็ดร้าว หรือปิ่น เป็นต้น

การทดสอบเก็บเกี่ยวข้อมูลได้ดำเนินการในแปลงปลูกของเกษตรกรซึ่งเป็นแปลงขนาดใหญ่ที่มีอายุปลูกและเกี่ยวเกี่ยวเดียวกัน แล้วแบ่งเป็นแปลงย่อยตามแผนการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบข้อมูล ของระดับการทดสอบ โดยมีอุปกรณ์คือ 2.1 เครื่องเกี่ยวนวด คูโบต้า รุ่น DC 70G

เครื่องเกี่ยวนวดข้าว ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น DC 70G ซึ่งระบบนวดแบบป้อนตามแนวแกน ได้ปรับปรุงกลไกเพื่อใช้เกี่ยวเกี่ยวข้าวเหลือง ดังนี้คือ

1. ชุดนวดเกี่ยวล้อโน้มเป็นพลาสติกแบบยึดหยุ่น (Figure 1)



Figure 1 Reel Unit

2. ปรับมุมชุดแผ่นวงเดือนให้มีขนาด 10 องศา (Figure 2)

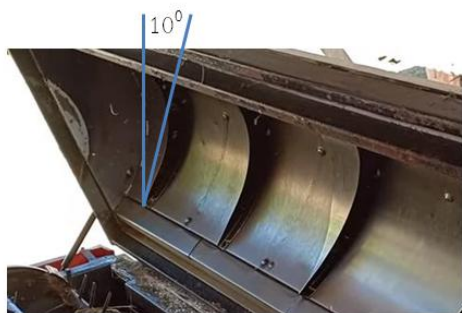


Figure 2 Cylinder cover

3. ปรับรอบการหมุนของลูกนวดจาก 560 รอบต่อนาที แล้วศึกษาความเร็วรอบ 2 ระดับคือ ความเร็วรอบ การหมุน 395 rpm (12.83 m s^{-1}) และความเร็วรอบ 330 rpm (10.72 m s^{-1}) วัดจากเพลาลูกนวดส่วนท้ายด้วยการเปิดฝาครอบช่องปล่องเศษด้วยเครื่องวัดรอบ Digital Tachometer รุ่น AR925 วัดแบบ 3 ซ้ำ สังเกตค่ารอบเครื่องยนต์เป็นข้อมูลประกอบ

4. ปรับเปลี่ยนระบบลำเลียงเมล็ดเป็นแบบกระบวยลำเลียง

5. เปลี่ยนตะแกรงคัดแยกเป็นขนาดรู 11 mm (Figure 3)



Figure 3 Sorting sieve unit

2.2 แปลงทดสอบ

จัดเตรียมแบ่งแปลงถั่วเหลืองสำหรับการทดสอบ ขนาด $10 \times 40 \text{ m}$ ปลุกด้วยวิธีการหยอดในอัตรา $12-15 \text{ kg Rai}^{-1}$ เก็บเกี่ยวที่ระยะอายุการเก็บเกี่ยว ที่ฝึกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 95% (กัณทิมาและคณะ, 2558) กรรมวิธีละ 5 แปลง

2.3 วิธีการทดสอบและเก็บข้อมูล

การดำเนินการทดสอบการเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง 2 กรรมวิธีคือ กรรมวิธีที่ 1 เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวนวดที่ความเร็ว รอบลูกนวด 395 rpm (12.83 m s^{-1}) กรรมวิธีที่ 2 เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวนวดที่ความเร็วรอบลูกนวด 330 rpm (10.72 m s^{-1})

2.4 การเก็บข้อมูล

1. ข้อมูลพื้นฐานต้นถั่วเหลืองที่เก็บเกี่ยว ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร 5 ซ้ำ แบบสุ่ม

2. จับเวลาการเคลื่อนที่ขณะเก็บเกี่ยวทั้ง 2 กรรมวิธีที่ระยะการเคลื่อนที่ 40 เมตร

3. เก็บเมล็ดร่วงหล่นการเก็บเกี่ยว โดยมวลในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในพื้นที่ที่เก็บเมล็ดสูญเสียระบบนวด

4. เก็บเมล็ดสูญเสียระบบนวด ด้วยการนำตาข่ายรองรับในระหว่างการเคลื่อนที่รถเกี่ยว 5 เมตร (Figure 4)



Figure 4 Distance of Sample

5. สุ่มผลผลิตในถังเก็บ 500 กรัม เพื่อตรวจสอบคุณภาพเมล็ดและสิ่งเจือปน จากถังบรรจุเมล็ด

6. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (T-test)

2.5 ค่าชี้ผล

เก็บข้อมูลปริมาณการสูญเสียรวมจากการเก็บเกี่ยวดังนี้

1. การสูญเสียรวม = การสูญเสียหัวเกี่ยว+สูญเสียระบบนวด(1)

2. การสูญเสียหัวเกี่ยว = (มวลเมล็ดถั่วที่ร่วงหล่น+เมล็ดเกี่ยวไม่หมด)/มวลเมล็ดถั่วเหลืองทั้งหมด (2)

3. การสูญเสียระบบนวดรถเกี่ยวนวด = (มวลเมล็ดถั่วที่ร่วงจากช่องปล่อยเศษ)/มวลเมล็ดถั่วเหลืองทั้งหมด (3)

4. ปริมาณเมล็ดตกหัก = มวลเมล็ดเก็บเกี่ยวได้เมล็ดตก/มวลเมล็ดถั่วเหลืองทั้งหมด (4)

5. ปริมาณสิ่งเจือปน = มวลของวัสดุที่ไม่ใช่เมล็ดถั่ว/มวลเมล็ดถั่วเหลืองทั้งหมด (5)

การสูญเสียหัวเกี่ยว คือ มวลของเมล็ดถั่วเหลืองที่ร่วงหล่นเมื่อทำการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวเกี่ยวและที่ไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้

การสูญเสียระบบนวด คือ มวลของเมล็ดที่ได้จากร่วงออกจากช่องปล่อยเศษวัสดุรวมกับเมล็ดถั่วที่ร่วงจากตะแกรงโยกคัดทำความสะอาดที่ปะปนออกมา (Figure 5)

มวลเมล็ดถั่วเหลืองทั้งหมดคือน้ำหนักรวมของผลผลิตทั้งหมดของแปลงที่ทดสอบ

ลักษณะของเมล็ดถั่วเหลืองที่นำมาพิจารณาในการคัดแยกตัวอย่าง จะพิจารณาตาม Figure 6



Figure 5 Sample loss

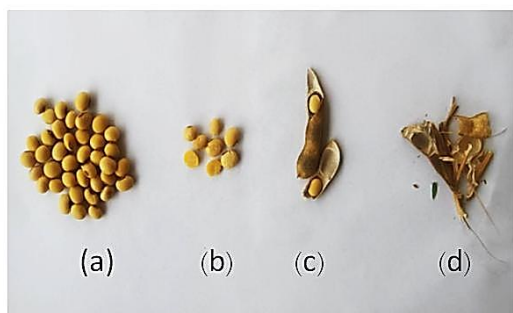


Figure 6 Examples of seeds and impurities (a)=good, (b)=broken, (c)=outstanding, (d)= impurity

3 ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดสอบและการเก็บข้อมูลให้ผลดังนี้

3.1 แปลงทดสอบและข้อมูลทั่วไป

แปลงทดสอบปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ลพบุรี 84-1 อัตราเมล็ดพันธุ์ 12-15 kg Rai⁻¹ คลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมใช้รอกหยอดระยะระหว่างแถว 50 cm ระหว่างต้น 20 cm ที่ต.ธารเกษม อ.พระพุทธรบาท จ.ลพบุรี ซึ่งสภาพแปลงมีหินในแปลง ซึ่งการทดสอบนี้ จับเวลาการเคลื่อนที่ของการเก็บเกี่ยวที่ระยะ 40 m (Table 1) ส่วนข้อมูลทั่วไปของต้นถั่วเหลือง (General characteristics) แสดงได้ตาม Table 2 ดังนี้

Table1 Speed of Combine Harvester (40 m)

Treatment	Speed (s)	F	Sig.
(395rpm)	64.42±17.93	0.29	0.65 ^{ns}
(330rpm)	62.59±15.41		

P≤0.05

Table 2 Soybean General Information

General characteristics	Tr1 (12.83 m s ⁻¹) 395rpm.	Tr2 (10.72 m s ⁻¹) 330rpm.
Pods plant ⁻¹	33.22	34.7
Early height (cm)	51.3	49.06
first pod(cm)	9.8	9.22
Seed moisture (%)	11.3	11.32

P≤0.05



Figure 7 Threshing loss

3.2 ผลการของการสูญเสีย

Table 3 Harvest residue in the field

	X	Y	Z
395 rpm	14.64 ±2.61	1.2 ±0.95	0.42 ±0.38
330rpm	16.98 ±1.83	0.97 ±0.45	0.81 ±0.74
F	2.41	1.12	1.22
sig.	0.16 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.30 ^{ns}

P≤0.05, X= loss of front, Y= Loss of screening scree, Z= Not threshing

จากข้อมูลผลของการเก็บปริมาณการสูญเสียของระบบนวด (Table 3) ส่วนด้านท้ายตัวเครื่องเก็บเกี่ยว (Figure 7) ที่ความเร็ว (Table 2) อธิบายได้ว่าที่ความเร็วรอบลูกนวด 395 rpm (12.83 m s⁻¹) พบว่ามีปริมาณการสูญเสียรวมน้อยกว่า ที่ความเร็วรอบลูกนวด 330 rpm (10.72 m s⁻¹) แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของการสูญเสียที่เกิดขึ้นพบว่า การสูญเสียดังกล่าวนี้ที่ความเร็วรอบลูกนวด 330 rpm เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการนวดไม่หมดมีฝักถั่วเหลืองที่ยังไม่ถูกนวดปะปนออกมา (0.81%) อธิบายได้ว่า

เมื่อใช้ความเร็วรอบลูกนวดที่ต่ำประสิทธิภาพของการนวดในระบบนวดจะลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของวุฒิพลและคณะ (2562)

3.3 การสูญเสียที่หัวเกี่ยว

ผลของการเก็บปริมาณการสูญเสียที่หัวเกี่ยวเครื่องเกี่ยวนวด (Table 3) พบว่าที่ความเร็วรอบลูกนวด 330 rpm มีปริมาณการสูญเสียเมล็ดและฝักที่เก็บเกี่ยวมากกว่าที่ 395 rpm คือ 16.98% ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้ความเร็วรอบลูกนวดที่ต่ำอาจเป็นผลให้ชุดล้อโน้มซึ่งมีกลไกรับกำลังขับเคลื่อนจากเพลาลูกนวดทำให้มีความเร็วลดลง ทำให้ต้นข้าวเหลืองที่ถูกตัดร่วงหล่นและปริมาณการสูญเสียที่หัวเกี่ยวส่วนใหญ่มาจากปริมาณเก็บเกี่ยวไม่หมดเนื่องจากสูงของฝักแรกต่ำ (Figure 8) และพื้นที่แปลงมีหินสอดคล้องกับงานวิจัยของ วินิตและคณะ (2547)

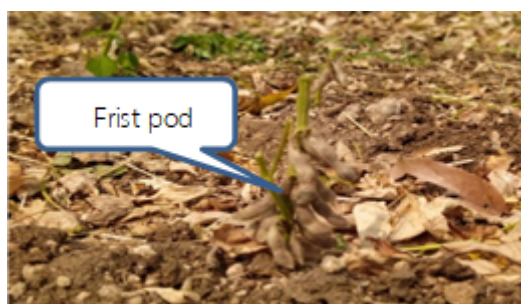


Figure 8 Loss of frist pod

3.4 การแตกหักของเมล็ด

ข้อมูลคุณภาพของเมล็ดในถังเก็บ (Table 4) อธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วรอบของลูกนวดลดลง (330 rpm) ปริมาณเมล็ดแตกหักลดลงจาก 26.45% เหลือ 21.98% อธิบายได้เกิดจากหมุนตัวของลูกนวดที่มีจำนวนครั้งของการกระทำ มีผลต่อการแตกหักของเมล็ดข้าวเหลือง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhan et al. (2021)

Table 4 Harvest residue in the field

	a	b	c
395rpm	66.03 ±26.60	26.45 ±36.80	7.52 ±33.40
330rpm	71.88 ±7.72	21.98 ±10.27	6.14 ±14.68
F	1.87	2.13	2.90
sig.	0.21 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.12 ^{ns}

P≤0.05, a= Seeds not broken, b= Seed broken, C= Impurity

4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การทดสอบเก็บเกี่ยวข้าวเหลืองพันธุ์ลพบุรี 84-1 ด้วยเครื่องเกี่ยวนวดที่ปรับปรุงสำหรับการเก็บเกี่ยวข้าวเหลืองครั้งนี้ เมื่อพิจารณาข้อมูลการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเก็บเกี่ยวพบว่า การสูญเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการเก็บเกี่ยวไม่หมดและเกิดการร่วงของต้นข้าวที่ถูกตัดแล้วบริเวณหัวเกี่ยว การสูญเสียที่เกิดจากระบบนวดนั้นพบว่ามีปริมาณการสูญเสียน้อยคือไม่เกิน 2% ปริมาณของเมล็ดแตกหักพบว่ามีปริมาณสูงคือ 21.98% และ 26.45% ข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาระบบนวดและทดสอบเพิ่มเติม เพื่อให้เครื่องเกี่ยวนวดสามารถเก็บเกี่ยวในส่วนหัวเกี่ยวและระบบนวดให้มีประสิทธิภาพที่ดี สำหรับการพัฒนาต่อไป อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่าความเร็วเชิงเส้นลูกนวด 2 ระดับนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (T-test)

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์ลพบุรี กรมวิชาการเกษตร ที่ร่วมทำการทดสอบประสานงานใช้พื้นที่แปลงในเครือข่ายในการทดสอบครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

กัณทิมา ทองศรี, นริลักษณ์ วรรณสาย, นิภาภรณ์ พรรณรา, สนอง บัวเกตุ. 2558. การศึกษาช่วงอายุเก็บเกี่ยวและวิธีการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเหลือง, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53, 218-225. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 3-6 กุมภาพันธ์ 2558, กรุงเทพฯ.

นิลบล ทวีกุล, ละอองดาว แสงหล้า. 2547. วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง. เอกสารวิชาการลำดับที่ 10/2547 สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ, 171 หน้า

วินิต ชินสุวรรณ, นิพนธ์ ป้องจันทร์, สมชาย ขวนอุดม, วราจิต พยอม. 2547. ผลของดัชนีล้อยโน้มที่มีต่อความสูญเสียในการเกี่ยวของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 10(1), 7-9.

วุฒิพล จันทรสระคู, ศักดิ์ชัย อาษาวัง, มงคล ตุนเฮ้า, วรรณะ สมนึก, เอกภาพ ป่านภูมิ, อนุชิต คำสิงห์, สมชาย ขวนอุดม. 2562. ปัจจัยที่มีผลต่อความสูญเสียในเครื่องนวดแบบไหลตามแกนของการนวดถั่วเหลือง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 50(3) (พิเศษ), 292-295.

สาทิส เวณจันทร์, จารุวัฒน์ มงคลธนทรศ, สมโภชน์ สำราญ, สักร สังกะ. 2536. วิจัยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาการใช้เครื่องนวดข้าวเพื่อใช้เกี่ยวนวดถั่วเหลือง. รายงานการวิจัยกลุ่มงานทดสอบและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตร. กองเกษตรวิศวกรรมกรมวิชาการเกษตร.

สุวรรณ แซ่ซื่อ. 2542. ผลกระทบของเครื่องเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองแบบวางรายต่อการสูญเสียผลผลิตถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 87 หน้า

อนุชิต คำสิงห์. 2539. การศึกษาแนวทางการใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวสำหรับเกี่ยวนวดถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตรบัณฑิต วิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 160 หน้า.

อนุสร เวชสิทธิ์. (2556). โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง. กรมวิชาการเกษตร

Su, Z., Ding, Z., Tian, L., Lin, X., Wang, Z. 2021. Design and performance test of variable diameter threshing drum of combine harvester. Food Science & Nutrition, 9(8), 4322-4334.



การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังในอำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครราชสีมา

Feasibility Study of Biogas Power Generator Project of Cassava Processing Plant in Khonburi District, Nakhon Ratchasima Province

เกรียงไกร رایณะสุข^{1*}, อนุวัฒน์ ภาชนะวรรณ¹, นเรนทร บุญส่ง¹, เอกมินทร์ แสงภักดีโยธิน²

Kriengkrai Rayanasuk^{1*}, Anuwat Pachanawan¹, Naraintorn Boonsong¹, Ekkamin Saengpukyothin²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹Division of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agricultural and Natural Resource, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงานและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

²School of Energy and Logistics Management Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima

*Corresponding author: Tel.: +66-8-1282-7089, E-mail: kriengkrai_ra@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังแห่งหนึ่งในอำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครราชสีมา โดยมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแล้วนำมาผ่านกระบวนการผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ จากนั้นนำก๊าซชีวภาพที่ได้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยผลการศึกษาคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังขนาด 200 tons of starch day⁻¹ มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต 2,000 m³ day⁻¹ ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 16,800 m³ day⁻¹ สามารถผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 28,848 kWh day⁻¹ กำหนดอายุโครงการที่ 20 years ที่ต้นทุนเงินทุนอยู่ที่ 6% เงินลงทุนโครงการ 64,535,500 Baht ผลการศึกษา พบว่า ในกรณีพื้นฐาน มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 148,722,796.07 Baht อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 27.35% และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.76 years ซึ่งผลการวิเคราะห์กรณีพื้นฐานมีความคุ้มค่าในการลงทุน และเนื่องจากมันสำปะหลังมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตตามฤดูกาลทำให้การเดินเครื่องจักรในการผลิตทำไม่ได้ทั้งปี แม้ในปัจจุบันมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตนอกฤดูกาลบ้างแต่มีปริมาณผลผลิตไม่มาก นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การเดินเครื่อง 75% year⁻¹ กรณีที่ 2 การเดินเครื่อง 50% year⁻¹ และกรณีที่ 3 การเดินเครื่อง 25% year⁻¹ ซึ่งผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทั้ง 3 กรณี พบว่ากรณีที่ 1 มีความน่าสนใจในการลงทุนมากที่สุด รองลงมาคือกรณีที่ 2 ส่วนกรณีที่ 3 การเดินเครื่องจักรผลิตไฟฟ้า 25% ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนเพราะมูลค่าปัจจุบันสุทธิติดลบและไม่สามารถประเมินค่าได้ผลตอบแทนโครงการได้

คำสำคัญ: การศึกษาความเป็นไปได้, ก๊าซชีวภาพ, มันสำปะหลัง

Abstract

The objective of this research was to conduct a feasibility study for a biogas power generation project at a cassava processing plant in Khonburi District, Nakhon Ratchasima Province. The study involved processing

Received: 21 August, 2023

Revised: 7 December, 2024

Accepted: 23 December, 2024

Available online: 28 December, 2024

wastewater from the cassava processing into biogas, which was then used as fuel for electric power generators to produce electricity. The cassava starch plant, with a daily capacity of 200 tons of starch, generates $2,000 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ of wastewater. This wastewater can be processed to produce $16,800 \text{ m}^3$ of biogas day^{-1} and generate $28,848 \text{ kWh day}^{-1}$ of electricity. The project's lifespan is set at 20 years with a capital cost of 64,535,500 Baht and a cost of capital of 6%. The results showed that in the fundamental case analysis, the net present value was calculated at 148,722,796.07 Baht, the rate of return within the project is 27.35%, and the payback period is 3.76 years. These results indicate that the fundamental case analysis supports the feasibility and worthiness of the investment. Given that cassava harvesting is seasonal and the production machinery is not available year-round, the sensitivity analysis considered three cases: case 1 with 75% operation year^{-1} , case 2 with 50% operation year^{-1} , and case 3 with 25% operation year^{-1} . The sensitivity analysis revealed that case 1 is the most attractive investment, followed by case 2. However, case 3, with only 25% of the machinery in operation, is not considered a worthwhile investment due to a negative net present value, and the project's return cannot be assessed.

Keywords: Feasibility study, Biogas, Cassava

1 บทนำ

การใช้พลังงานของประเทศไทย สูงขึ้นต่อเนื่องมาหลายปี อันเนื่องมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลกทำให้เกิดความต้องการในการใช้สินค้าทั้งอุปโภคและบริโภค ส่งผลให้เกิดการสร้างโรงงานขึ้นใหม่หรือการต่อขยายโรงงานเดิมเพื่อติดตั้งเครื่องจักรเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ซึ่งในปัจจุบันทางภาครัฐได้มีนโยบายในการจัดหาพลังงานทางเลือกเพื่อเป็นพลังงานทดแทนโดยส่งเสริมให้ผู้ประกอบการช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศซึ่งเดิมต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมากกว่า 70% (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556) โดยพลังงานทดแทนถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ เป็นต้น ในการบริหารจัดการด้านพลังงานของประเทศ กระทรวงพลังงานได้วางกรอบแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ ที่ให้ความสำคัญใน 3 ด้าน ประกอบด้วย (1) ด้านความมั่นคงทางพลังงาน (Security) ในการตอบสนองต่อปริมาณความต้องการพลังงานที่สอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ อัตราการเพิ่มของประชากร และอัตราการขยายตัวของเขตเมือง รวมถึงการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสม (2) ด้านเศรษฐกิจ (Economy) ที่ต้องคำนึงถึงต้นทุนพลังงานที่มีความเหมาะสมและไม่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจและ สังคมของประเทศในระยะยาว การปฏิรูปโครงสร้างราคาเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ให้

สอดคล้องกับต้นทุน และให้มีภาระภาษีที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของประเทศไม่ให้เกิดการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย รวมถึงส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (3) ด้านสิ่งแวดล้อม (Ecology) เพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานหมุนเวียนภายในประเทศ และการผลิตพลังงานด้วยเทคโนโลยีประสิทธิภาพสูงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และชุมชน

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยก๊าซธรรมชาติมีสัดส่วนการใช้น้ำมากที่สุดรองลงมาคือ น้ำมัน ถ่านหิน ตามลำดับ (อัคร และคณะ, 2557) ทำให้ประเทศจำเป็นต้องจัดหาแหล่งพลังงานอื่นเพื่อมาทดแทน สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตเกษตรโดยเฉพาะการแปรรูปมันสำปะหลังจะมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต หากการจัดการน้ำเสียไม่ดีอาจก่อให้เกิดมลภาวะด้านสิ่งแวดล้อมกับชุมชนรอบข้างได้ ซึ่งปัจจุบันโรงงานส่วนใหญ่ได้ทำการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพ เป็นไปตามกฎหมายกำหนด แก้ไขปัญหากล้นรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังมีผลพลอยได้คือ ก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมประเภทผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ยมีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่ $416,540,000 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$ (อัคร และคณะ, 2557) ทำให้ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นพลังงานทดแทนได้ ทั้งเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงาน (อัคร และคณะ, 2557; วรพจน์และรัชพล, 2555) สำหรับการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านในการลงทุนโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยมีขอบเขตในการศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลโครงการ การประเมินผลโครงการ และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการโดยการนำน้ำเสียจากการกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังมาผลิต

ก๊าซชีวภาพจะทำให้บริษัทประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดการพลังงาน ลดต้นทุนในการผลิต สามารถจัดการของเสียให้เกิดประโยชน์และเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และก่อให้เกิดผลกำไรแก่บริษัทอีกด้วย

2 อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การศึกษาโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพโดยเริ่มจากน้ำเสียในกระบวนการผลิตนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพและส่งเข้าไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์และผลิตไฟฟ้าออกมา โดยศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค และการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ โดยใช้ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คำนวณได้จากสมการ 1

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

โดยที่ B_t คือ ผลตอบแทนในปีที่ t ($t = 1, 2, 3, \dots, n$), C_t คือ ต้นทุนในปีที่ t ($t = 1, 2, 3, \dots, n$), i คือ อัตราดอกเบี้ย และ n คือ อายุโครงการ

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) คำนวณได้จากสมการ 2

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period: PB) คือระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี

2.1 เครื่องมือที่ใช้

เอกสารรายงาน บทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่รวบรวมจากเอกสาร รายงาน บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแหล่งข้อมูล คือ อินเทอร์เน็ต ศูนย์หนังสือเผยแพร่ การผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังซึ่งศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท

2.3 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง เริ่มจาก

การศึกษาข้อมูลโครงการ คุณสมบัติและปริมาณก๊าซชีวภาพ การศึกษาทางด้านเทคนิคของเครื่องจักร กำลังการผลิต จัดทำประมาณการเงินลงทุนโครงการและผลตอบแทนทางการเงิน วิเคราะห์โครงการด้วย NPV, IRR, PB โดยกรณีพื้นฐานของโครงการนี้คือการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า 100% แต่การผลิตไฟฟ้าอาจไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้จึงมีการศึกษาความอ่อนไหวของโครงการแยกเป็น 3 กรณีศึกษาของการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าดังนี้ กรณีที่ 1 เดินเครื่อง 75%, กรณีที่ 2 เดินเครื่อง 50% และกรณีที่ 3 เดินเครื่อง 25% ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนดำเนินการวิจัย รายละเอียดแสดงดัง Figure 1

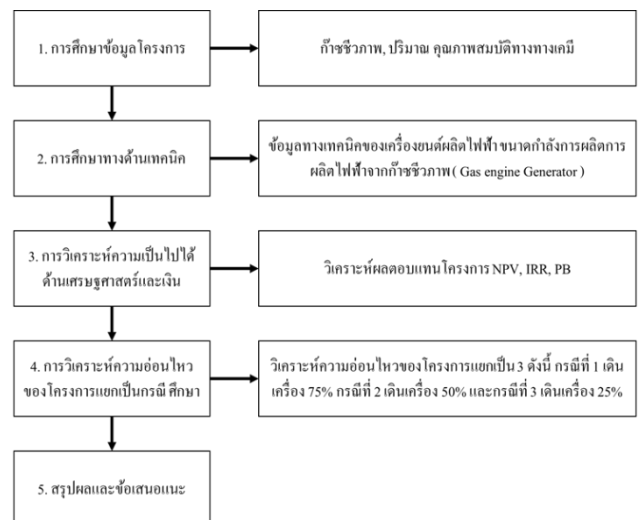


Figure 1 Research methods

การศึกษาข้อมูลโครงการ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังขนาด 200 tons of starch day⁻¹ มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่ปล่อยออกมา 2,000 m³ day⁻¹ และส่งต่อไปยังโรงบำบัดน้ำเสียและผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งถูกจัดเก็บในถังบัลลูนที่ใช้สำหรับเก็บก๊าซชีวภาพที่มีขนาด 3,000 m³ เพื่อบรรณาไปใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า (Gas engine generator) และนำไปใช้งานต่อไปตามรายละเอียดดัง Figure 2

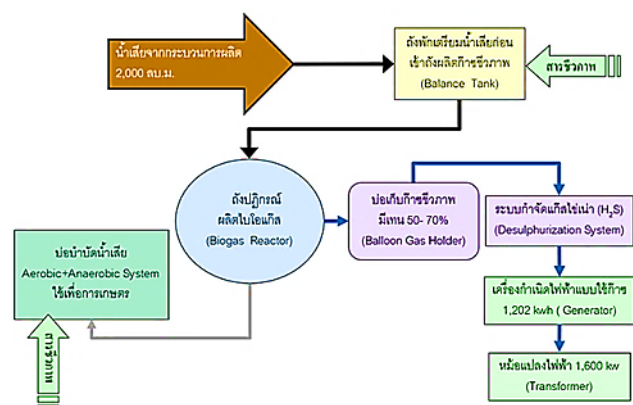


Figure 2 Power generation using biogas

การศึกษาด้านเทคนิค เครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง เป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในซึ่งใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งต้องร่วมกับชุดขับเคลื่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งข้อกำหนดรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องจักรนำมาประมาณการเป็นเงินลงทุนของโครงการรวมทั้งค่าซ่อมบำรุง ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพครั้งนี้มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 1,202 kWh เป็นเครื่องยนต์ใหม่ที่มีเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพโดยตรงรุ่น JMS 416 B25 ยี่ห้อ Jenbacher และมีอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 60,000 hr ซึ่งมีรายละเอียดแสดงดัง Table 1

Table 1 Engine Specification

Type of fuel	Biogas
Number of engines	1
Engine model	JMS 416 B25
Engine life (h)	60,000
Fuel gas LHV (kWh N ⁻¹ m ⁻³)	5
Fuel feed rate 50% (Nm ³ h ⁻¹)	344
Fuel feed rate 75% (Nm ³ h ⁻¹)	489
Fuel feed rate 100% (Nm ³ h ⁻¹)	635
Power generation capacity (@ pf 1.0 kW)	1,202

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินของโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง โดยประเมินจากการหาค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนโครงการ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) โดย $NPV \geq 0$ โครงการนำลงทุน $IRR \geq i$ มากกว่าต้นทุนของเงินทุน แสดงว่าโครงการนำลงทุน (6%) และ $PB < 7.5$ years โครงการนำลงทุนมีรายละเอียดดัง Figure 3

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis) เพื่อศึกษาว่าเมื่อสถานการณ์การดำเนินโครงการไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ มีปัจจัยต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายและรายรับของโครงการ จึงวิเคราะห์เปรียบเทียบว่าโครงการนี้ยังคุ้มค่าที่จะลงทุนหรือไม่ โดยมีสมมติฐานการเดินเครื่องจักรผลิตไฟฟ้าเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 เดินเครื่องจักร 75%, กรณีที่ 2 เดินเครื่องจักร 50% และกรณีที่ 3 เดินเครื่องจักร 25% เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และตามกรอบความคิดงานวิจัยดัง Figure 3

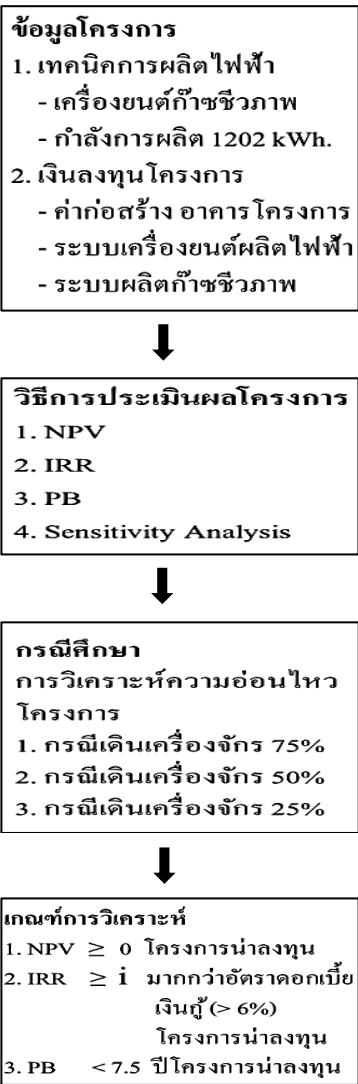


Figure 3 Conceptual framework

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ข้อมูลโครงการ

ข้อมูลประกอบใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ จำนวน 46,283,700 Baht เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ กำลังการผลิต 1,202 kWh ราคา 13,600,000 Baht ค่าอาคารโรงงาน 3,520,000 Baht การผลิตจำนวน 24 hr day⁻¹ อัตราเงินเดือนพนักงานทั้งหมด 2,172,000.00 Baht year⁻¹ ค่าบำรุงรักษาอาคาร 60,000 Baht year⁻¹ ค่าสาธารณูปโภค 50,000 Baht year⁻¹ ค่าใช้จ่ายดำเนินการอื่น ๆ 100,000 Baht year⁻¹หนี้สินระยะยาว (กู้ธนาคาร) 50% เป็นเงิน 13,050,000.00 Baht ส่วนของเจ้าของ 50% เป็นเงิน 13,050,000.00 Baht อายุโครงการ 20 years เงินหมุนเวียน เท่ากับ 500,000 Baht คงที่ตลอดอายุโครงการ เงินลงทุนรวมทั้งโครงการทั้งหมด เท่ากับ 64,535,500.00 Baht

3.2 โครงสร้างการลงทุน

งบประมาณการลงทุนโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ แบ่งงบประมาณลงทุน ดังนี้ 1) ค่าก่อสร้าง อาคาร และสิ่งปลูกสร้าง 3,520,000.00 Baht 2) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 41,865,500.00 Baht 3) ระบบผลิตไฟฟ้า 19,150,000.00 Baht รวมทั้งสิ้น 64,535,500.00 Baht

3.3 การประมาณการรายจ่ายโครงการ

รายจ่ายโครงการแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนแรกจ่ายจากการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ประกอบ เช่น เทอร์โบชาร์จเจอร์ อินเตอร์คูลเลอร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วย Gas Engine-Generator ค่าบำรุงรักษาอื่น ๆ และอีกส่วนคือรายจ่ายจากค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการซึ่งประกอบด้วย ค่าจ้างพนักงาน ได้แก่ ผู้บริหารโครงการ พนักงานเดินระบบหรือพนักงานควบคุมเครื่องและช่างซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นต้น โดยมีค่าบำรุงรักษา Gas Engine-Generator 1,958,400 Baht year⁻¹ ค่าน้ำมันหล่อลื่น 570,240 Baht year⁻¹ ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์อื่น ๆ 756,013 Baht year⁻¹ และค่าจ้างพนักงานทั้งหมด 1,236,000 Baht year⁻¹

3.4 การประมาณการรายรับโครงการ

การประมาณการรายได้ซึ่งเกิดจากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ขนาดกำลังการผลิต 1,202 kWh ทำให้สามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า 28,848 kWh day⁻¹ คิดเป็นต่อปี 8,654,400 kWh year⁻¹ และจากการประมาณการรายจ่ายของโครงการซึ่งเกิดจากค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร และอุปกรณ์ประกอบ รวมกับค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณค่าจ้างพนักงานในตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดัง Table 2

Table 2 Forecasting project revenue

รายการ	จำนวน	หน่วย
การผลิตไฟฟ้า		
- ปริมาณการผลิตไฟฟ้า	28,848.00	kWh day ⁻¹
- อัตราค่าไฟฟ้า	3.50	Baht kWh ⁻¹
- คิดเป็นเงินจากการผลิตไฟฟ้า (หรือคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้)	100,968.00	Baht day ⁻¹

3.5 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนโครงการ

แผนการเงินถือเป็นส่วนที่แสดงข้อมูลเชิงปริมาณที่ผู้ให้บริการแหล่งเงินทุน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการพิจารณาและเป็นแผนการบริหารเงินให้กิจการสามารถดำเนินการได้อย่างราบรื่น และเป็นแนวทางในการตัดสินใจ มีดังนี้

3.5.1 ค่าใช้จ่ายในการบริหาร

ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายพนักงาน และค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องจักร โดยค่าใช้จ่ายแต่ละปีเท่ากันทุกปี (ปีที่ 1-20) เท่ากับ 3,410,900 Baht ยกเว้นปีที่ 8 และ 16 เท่ากับ 5,566,900 Baht รายละเอียดแสดงดัง Table 3

Table 3 Administrative expense

ระยะเวลา	ปีที่ 1-20 (ซึ่งเท่ากันทุกปี ยกเว้นปีที่ 8 และ 16)	ปีที่ 8 และ 16
ค่าใช้จ่ายพนักงาน		
- ค่าประกันชีวิตพนักงาน	6,500.00	6,500.00
- เงินเดือนพนักงาน 13 คน	1,236,000.00	2,172,000.00
ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องจักร		
- ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร	1,958,400.00	1,958,400.00
- ค่าบำรุงรักษาอาคาร	60,000.00	60,000.00
- ค่าบำรุงรักษาอาชีพ	50,000.00	50,000.00
- ค่าสาธารณูปโภค	-	1,220,000.00
- ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	100,000.00	100,000.00
รวมค่าใช้จ่ายในการบริหาร	3,410,900.00	5,566,900.00

3.5.2 การคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร

การคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอาคาร โดยใช้วิธีคิดค่าแบบเส้นตรง ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของระบบผลิตก๊าซ 27,079,200.00 Baht จำนวน 20 years ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรผลิตไฟฟ้า 17,235,000.00 Baht จำนวน 20 years และค่าเสื่อมราคาของอาคาร 3,344,000.00 Baht จำนวน 20 years รายละเอียดแสดงดัง Table 4

Table 4 Depreciation

ระยะเวลา	ปีที่ 1-20 (ซึ่งเท่ากันทุกปี)
ค่าเสื่อมราคาของระบบผลิตก๊าซ	1,353,960.00
ค่าเสื่อมราคาของระบบผลิตไฟฟ้า	861,750.00
ค่าเสื่อมราคาของอาคาร	167,200.00
รวมค่าเสื่อมราคา	2,382,910.00

3.5.3 อัตราการผลิตไฟฟ้า

เครื่องยนต์ที่ใช้ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพโดยตรง ยี่ห้อ Jenbacher รุ่น JMS 416 B25 เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ประสิทธิภาพ 100% คือมีผลผลิตมันสำปะหลังตลอดทั้งปี จะมีกำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 1,202 kWh จำนวนชั่วโมงทำงานต่อวัน 24 hr อัตราการผลิตไฟฟ้าต่อวัน 28,848 kWh จำนวนวันทำงานต่อปี 300 day จำนวนชั่วโมงทำงานต่อปี 7,200 hr และอัตราการผลิตไฟฟ้าต่อปี 8,654,400 kWh รายละเอียดแสดงดัง Table 5

Table 5 Produce electricity rate

ระยะเวลา	ปีที่ 1-20 (ซึ่งเท่ากันทุกปี)
อัตราการผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี)	8,654,400
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท)	3.50
เป็นจำนวนเงินต่อปี (บาท)	30,290,400.00

3.5.4 ตารางการผ่อนเงินกู้

การจ่ายดอกเบี้ยและเงินต้นประกอบด้วย เงินต้น 32,267,750.00 Baht (คิดที่ 50% ของงบประมาณการลงทุนโครงการ 64,535,500.00 Baht) อัตราดอกเบี้ย 6% (อ้างอิงจากธนาคารพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมแห่งประเทศไทย อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายใหญ่ชั้นดีเฉลี่ย 6%) และระยะเวลาการผ่อนชำระ 8 years รวมเงินต้นพร้อมดอกเบี้ย เท่ากับ 5,088,532.61 Baht ซึ่งเท่ากันทุกปี รายละเอียดแสดงดัง Table 6

Table 6 Pay by installments

ปีที่	ยอดเงินกู้ (บาท)	ผ่อนชำระคืนเงินต้น	ดอกเบี้ย	รวม
	32,267,750.00 บาท	(ปีละ)	(ปีละ)	(เงินต้น+ดอกเบี้ย)
1	29,027,128.26	3,240,621.74	1,847,910.87	5,088,532.61
2	25,586,632.06	3,440,496.20	1,684,036.42	5,088,532.61
3	21,933,933.58	3,652,698.48	1,435,834.14	5,088,532.61
4	18,055,944.65	3,877,988.93	1,210,543.69	5,088,532.61
5	13,938,769.85	4,117,174.80	971,357.82	5,088,532.61
6	9,567,656.72	4,371,113.13	717,419.48	5,088,532.61
7	4,926,942.90	4,640,713.82	447,818.79	5,088,532.61
8	1,675,185.50	4,926,942.90	161,589.72	5,088,532.61
รวม				40,708,260.88

3.5.5 บัญชีงบดุล กำไร-ขาดทุน

บัญชีงบดุลเป็นบัญชีที่แสดงผลการดำเนินงานของกิจการว่ามีผลกำไรหรือขาดทุนสุทธิเท่าใดประกอบด้วยรายละเอียดของรายได้และค่าใช้จ่าย โดยปีที่ 1-5 ผลรวมรายได้สุทธิเท่ากันทุกปีเท่ากับ 17,449,657.39 Baht รายละเอียดแสดงดัง Table 7

Table 7 Earnings statement

งบกำไร - ขาดทุน	ปีที่ 1-5 (ซึ่งเท่ากัน ทุกปี)
1. รายได้	
- จำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้า (หน่วย)	8,654,400.00
- อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	3.50
รวมจำนวนเงิน (บาท)	30,290,400.00
2. รายจ่าย (ต้นทุนผันแปร)	
- ค่าใช้จ่ายในการบริหาร	3,410,900.00
- วัสดุสิ้นเปลืองและสารหล่อลื่น	1,958,400.00
รวมรายจ่าย	5,369,300.00
3. รวมค่าเสื่อมราคา (ต้นทุนคงที่)	2,382,910.00
4. กำไรก่อนหักดอกเบี้ย และภาษี เงินได้	22,538,190.00
5. จ่ายเงินต้นและดอกเบี้ยจ่าย	5,088,532.61
รายได้สุทธิ	17,449,657.39

3.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

เมื่อสถานการณ์การดำเนินโครงการไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ มีปัจจัยต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปซึ่งมีผลต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าทำให้ค่าใช้จ่ายและรายรับของโครงการเปลี่ยนแปลงไป เพราะการเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังทำได้ตามฤดูกาล ไม่สามารถทำได้ตลอดทั้งปี ทำให้โรงงานแปรรูปมันสำปะหลังต้องเดินเครื่องจักรตามฤดูกาล ซึ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพด้วย ดังนั้นจึงวิเคราะห์ที่ 25%, 50% และ 75% ของระยะเวลาการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าต่อปี สอดคล้องกับงานวิจัยของ พิศาล และคณะ (2557) ที่ทดสอบภาระทางไฟฟ้า 100%, 75%, 50% และ 25% ด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีวภาพ จากนั้นเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลตอบแทนซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายและรายรับของโครงการ แบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 คิด 75% ของการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า อัตราการผลิตไฟฟ้า 6,490,800 kWh year⁻¹ อัตราค่าไฟฟ้า 3.50 Baht kWh⁻¹ (อัตรารับซื้อไฟฟ้าของโรงงานผลิตไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ) คิดเป็นรายได้ 22,717,800.00 Baht year⁻¹ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ลัดดาวรรณ (2563) ที่ศึกษารายได้จากก๊าซชีวภาพในการผลิตไฟฟ้า เพื่อจำหน่ายพบว่า ประมาณ 20,000,000.00 Baht year⁻¹

คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 66,782,111.71 Baht อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ 15.95% และระยะเวลาคืนทุน 6.74 years สอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิศักดิ์ (2549) ที่ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังพบว่า อัตราผลตอบแทนภายในโครงการต้องมากกว่าต้นทุนของเงินทุน โครงการดังกล่าวเหมาะที่จะลงทุน และระยะเวลาคืนทุนไม่ควรเกิน 10 years

กรณีที่ 2 คิด 50% ของการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า อัตราการผลิตไฟฟ้า 4,327,200 kWh year⁻¹ อัตราค่าไฟฟ้า 3.50 Baht kWh⁻¹ คิดเป็นรายได้ 15,145,200.00 Baht year⁻¹ คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ -15,158,572.65 Baht อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ 3.45% และระยะเวลาคืนทุน 32.26 years

กรณีที่ 3 คิด 25% ของการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า อัตราการผลิตไฟฟ้า 2,163,600 kWh year⁻¹ อัตราค่าไฟฟ้า 3.50 Baht kWh⁻¹ คิดเป็นรายได้ 7,572,600.00 Baht year⁻¹ คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ได้เท่ากับ -97,099,257.01 Baht อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) และระยะเวลาคืนทุนไม่สามารถคำนวณได้ รายละเอียดแสดงดัง Table 8

Table 8 Project analysis

กรณีศึกษา	NPV (Baht)	IRR (%)	PB (years)	ผลการวิเคราะห์
กรณีพื้นฐาน	148,722,796.00	27.35	3.76	น่าลงทุน
กรณีที่ 1 (75%)	66,782,111.71	15.95	6.74	น่าลงทุน
กรณีที่ 2 (50%)	-15,158,572.65	3.45	32.26	ไม่น่าลงทุน
กรณีที่ 3 (25%)	-97,099,257.01	-	-	ไม่น่าลงทุนและไม่สามารถประเมินค่าได้

4 สรุป

จากการการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง โดยมีเงินลงทุนของโครงการอยู่ที่ 64,535,500 Baht และเมื่อโครงการเปิดดำเนินการจะมีค่าใช้จ่ายในการบริหารเท่ากับ 3,410,900 Baht year⁻¹ ค่าวัสดุสิ้นเปลืองและสารหล่อลื่นเท่ากับ 1,958,400 Baht year⁻¹ และจ่ายคืนเงินต้นและดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับ 5,088,532.61 Baht year⁻¹ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิได้ 1,202 kWh ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการพบว่า กรณีพื้นฐาน มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 148,722,796.00 Baht มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนภายในโครงการมีค่าเท่ากับ 27.35% ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 3.76 years แสดงว่าโครงการมีผลตอบแทนคุ้มค่าในการลงทุน

เมื่อทดสอบความอ่อนไหวของโครงการภายใต้การสมมติเนื่องจากการแปรรูปมันสำปะหลังมีผลผลิตและการเก็บเกี่ยวตามฤดูกาลไม่ได้มีตลอดทั้งปี ทำให้การเดินเครื่องจักรผลิตไฟฟ้าอาจจะไม่สามารถเดินเครื่องผลิตได้ตลอดทั้งปี ซึ่งผลทดสอบตามสมมติฐาน กรณีที่ 1 มีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยการเดินเครื่องจักรผลิตไฟฟ้า 75% กรณีที่ 2 โดยการเดินเครื่องจักรผลิตไฟฟ้า 50% อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับ 3.45% ซึ่งต่ำกว่าต้นทุนของเงินทุนที่ 6% และสอดคล้องกับระยะเวลาคืนทุนที่นานเกินไปที่ 32.26 years โครงการจึงไม่น่าลงทุนเพราะมูลค่าปัจจุบันสุทธิติดลบและเวลาในการเดินเครื่องไม่ควรน้อยกว่า 75% year⁻¹ (8 months year⁻¹) เพราะเป็นช่วงฤดูการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ส่วนในกรณีที่ 3 โดยการเดินเครื่องจักรผลิตไฟฟ้า 25% ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนเพราะมูลค่าปัจจุบันสุทธิติดลบและผลตอบแทนโครงการไม่สามารถประเมินค่าได้ ดังนั้นกรณีพื้นฐาน คือการเดินเครื่องจักรผลิตไฟฟ้า มีความคุ้มค่าทางการเงินมากกว่ากรณีอื่น ๆ รองลงมาคือการเดินเครื่องจักรผลิตไฟฟ้าในกรณีที่ 1 ผลตอบแทนโครงการสูงกว่าต้นทุนของเงินทุนและระยะเวลาคืนทุนไม่นานเกินไป ตามลำดับ

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท เน็กซ์โคราช เอ็นจิเนียริง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556. เอกสารเผยแพร่คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน. อัคร ผลพันธ์, วลัยรัตน์ อุตตะมะปรากรม, ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. 2557. การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียภาคอุตสาหกรรม. วารสารวิจัยพลังงาน 11(1), 50-62.

พิศาล สมบัติวงศ์, ธนภุต นนท์ชนะ, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ, กุลเชษฐ เพียรทอง, คณิต วัฒนวิเชียร. 2557. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในใช้ก๊าซชีววมวล กรณีศึกษาการติดตั้งและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 75 kW. รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, 123-130. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 15-17 ตุลาคม 2557, ขอนแก่น.

ลัดดาวรรณ พลหงษ์. 2563. การใช้ประโยชน์ของเสีย กรณีศึกษาโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในจังหวัดมุกดาหาร. การค้นคว้าอิสระวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. อุบลราชธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

วรพจน์ คำจันลา, รัชพล สันติวรกร. 2555. รายงานการวิจัยเรื่องการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนบ่อพักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมัน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อภิศักดิ์ อุ่มจันสา. 2549. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต. เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.



การจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยระบบการประมวลผลภาพร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม

Classification rice seeds using image processing combined with artificial neural network

สมพร หงษ์ก้ง^{1*}, จรรย์ มงคลวัย¹, สุริยา โชคเพิ่มพูน¹

Somporn Hongkong^{1*}, Jaran Monkolvai¹, Suriya Chokphoemphun¹

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร, จังหวัดสกลนคร 47160

¹Mechanical Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Sakonnakhon

*Corresponding author: Tel.: +668-9570-9298, E-mail: somporn.ho@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอการจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยการวิเคราะห์ภาพร่วมกับการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) โดยมีขั้นตอนที่เริ่มจากการใช้ภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวมาฝึกฝนและสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Back propagation algorithm โดยมี input เป็นค่าของสี 0 - 255 ระดับ และ output เป็นพันธุ์ข้าว กข.6 และข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีแบบจำลอง 2 รูปแบบคือ แบบจำลองแรก ANN-1 มี input 3 ค่า คือ [R G B] และแบบจำลองที่สอง ANN-2 มี input 4 ค่า คือ [R G B K] ทุกๆ แบบจำลองมีการปรับเปลี่ยนจำนวน perceptron ในชั้น Hidden layer จาก 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 โดยแบบจำลองที่ได้สร้างแต่ละรูปแบบนั้นได้ถูกนำมาใช้สำหรับการตัดสินใจให้ชุดระบบสาพานคัดแยกตามตำแหน่งเมล็ดพันธุ์ ผลพบว่าการแบบจำลอง ANN-2 ที่มีจำนวน perceptron ในชั้น Hidden layer เท่ากับ 15 มีความเหมาะสมในการจำแนกชนิดพันธุ์ทั้งข้าว กข.6 และข้าวดอกมะลิ 105 ได้สูงถึงร้อยละ 98 ซึ่งมีผลจากปัจจัยของข้อมูลที่ถูกป้อนในการเรียนรู้และจดจำของแบบจำลองที่มี input 4 ค่า จะมีการแยกรูปแบบได้ดีกว่า input 3 ค่า ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาใช้ในการจำแนกเมล็ดพันธุ์อื่นๆ ในด้านงานเกษตรด้วยลักษณะทางกายภาพ รูปทรงหรือขนาดโดยไม่ทำลายโครงสร้างภายในเมล็ดพันธุ์

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ โครงข่ายประสาทเทียม ข้าว กข.6 ข้าวขาวดอกมะลิ 105

Abstract

This research presents the classification rice seeds using image processing combined with artificial neural network (ANN). First, the rice seed images had been trained and synthetic of artificial neural network model with back propagation algorithm. The input of ANN models was color value from 0 to 255 levels and the output is the rice variety RD6 and Jasmine rice 105. Which 2 models were: the ANN-1 has 3 input values [R G B] and the second model ANN-2 has 4 input values [R G B K]. Each model has the number of perceptrons in a hidden layer adjusted from 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, and 20. The model is used to make a decision for the conveyor system to sort seeds by true position. The results showed that the ANN-2 model with the number of perceptrons in the hidden layer equal to 15 was suitable for classification the species of both RD6 and Jasmine rice 105, can be classification is true to 98 percent, which was due to the factor of input data into the learning and memorization of the model with 4 input values, which had better pattern separation than 3 input values. The benefits of this research can be

Received: 19 March, 2023

Revised: 4 December, 2024

Accepted: 4 December, 2024

Available online: 28 December, 2024

developed for use in classification other seeds in agriculture based on physical characteristics, shape or size without destroy the internal structure of the seed.

Key words: Image processing, Artificial neural network, RD-6, Jasmine rice 105

1 บทนำ

การปลอมปนของเมล็ดพันธุ์ข้าวมักสร้างปัญหาสำหรับการปลูกข้าวและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว จากข้อมูลพบว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าวมากเป็นอันดับต้นๆ ของโลกและข้าวขาวดอกมะลิ 105 จัดเป็นข้าวที่มีชื่อเสียงมากเพราะเป็นข้าวที่มีกลิ่นหอมเวลาหุงสุก จึงเป็นที่ต้องการในหลายๆ ประเทศทั่วโลก แต่ในกระบวนการผลิตข้าวได้เกิดปัญหาการปลอมปน ทำให้คุณภาพของพันธุ์ข้าวลดต่ำลงและเสียภาพลักษณ์ (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559) ดังนั้น ในกระบวนการส่งออกจึงต้องมีการตรวจสอบการปลอมปนของพันธุ์เมล็ดข้าว เพื่อควบคุมคุณภาพของพันธุ์ข้าวในการส่งออก

การตรวจสอบการปลอมปนของพันธุ์ข้าวมีด้วยกันหลายวิธีทั้งแบบทั้งกายภาพภายนอกเมล็ดและคุณสมบัติภายในเมล็ด โดยวิธีแรกจะเป็นการตรวจสอบขนาดทางกายภาพของเมล็ดข้าวได้แก่ ขนาดความกว้างและความยาว แต่การวัดด้วยวิธีนี้ต้องใช้สายตาของมนุษย์ ทำให้ตรวจสอบได้ยากเนื่องจากเมล็ดข้าวมีขนาดเล็กและใกล้เคียงกันมากทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้ จึงไม่เป็นที่นิยมในการตรวจสอบ ส่วนวิธีที่สองเป็นการตรวจสอบหาคุณสมบัติของเมล็ดข้าวแต่ละพันธุ์โดยส่วนใหญ่จะเป็นการหาเปอร์เซ็นต์ของแป้งอะไมโลส (Amylose) เช่น ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ควรมีปริมาณแป้งอะไมโลสอยู่ร้อยละ 13-18 ที่ระดับความชื้นร้อยละ 14 ซึ่งถ้าปริมาณแป้งอะไมโลสน้อยกว่าหรือมากกว่าช่วงนี้แสดงว่าไม่ใช่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Guzman and Peralta, 2008; Liu Guangrong, 2011) นอกจากนี้แล้วยังมีการตรวจสอบความคงตัวและอุณหภูมิของข้าวสุกด้วย แต่เนื่องจากปริมาณของแป้งอะไมโลสมีค่าใกล้เคียงกันมากทำให้การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยม วิธีสุดท้ายเป็นวิธีใหม่และมีความแม่นยำค่อนข้างสูง คือการตรวจสอบดีเอ็นเอ (DNA) ของแต่ละพันธุ์ข้าว เนื่องจากข้าวแต่ละพันธุ์จะมีเครื่องหมายดีเอ็นเอที่เฉพาะตัว จึงสามารถตรวจสอบได้ค่อนข้างแม่นยำและตรวจสอบได้หลายพันธุ์ แต่เนื่องจากการตรวจสอบมีค่อนข้างจำกัดและต้องตรวจสอบภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบ 1-2 วัน ราคาในการตรวจสอบค่อนข้างแพง จึงยังเป็นอุปสรรคต่อการตรวจสอบการปลอมปนของพันธุ์

ต่างๆ (N. Ferdous et al. 2018; B. Verma, 2010; C. C. Yang, 2002; Ferdous, 2018)

งานวิจัยนี้จึงเสนอการตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการตรวจสอบ โดยมีหลักการคือ เริ่มต้นจากถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลแล้วนำภาพถ่ายที่ได้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อแยกองค์ประกอบของภาพระหว่างเมล็ดพันธุ์ข้าวกับพื้นหลัง หลังจากนั้นระบบจะทำการตรวจสอบลักษณะของข้าว โดยมีแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกฝนด้วยพันธุ์ข้าวที่ถูกต้องมาแล้ว เพื่อระบุชนิดพันธุ์ข้าวและคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยการสั่งงานให้ชุดสายพานลำเลียงที่มีกลไกแยกเมล็ดให้ตกตามตำแหน่งของสายพันธุ์

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบระบบ

การทำงานของระบบคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าวจะใช้โปรแกรม MATLAB version R2022a ติดตั้งในระบบปฏิบัติการ Windows 10, CPU 2.50GHz, RAM 16GB และบอร์ด Arduino โดยการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ 1. ระบบสายพานลำเลียงจะมีชุดขับเคลื่อนสายพานที่ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นตัวประมวลผลและส่งสัญญาณไปยังบอร์ด Arduino สำหรับควบคุมระบบสายพานให้เคลื่อนที่หรือหยุด 2. ระบบถ่ายภาพจะใช้กล้องกล้องดิจิทัลถ่ายภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวที่อยู่ในสายพาน โดยใช้โปรแกรม MATLAB สั่งให้กล้องถ่ายภาพและประมวลผล ซึ่งใช้หลักการประมวลผลภาพแบบแบ่งระดับสี 0-255 ระดับ ที่ประกอบด้วยสีแดง (R) สีเขียว (G) สีน้ำเงิน (B) และสีเทา (K) ร่วมกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อวิเคราะห์ผลระบุชนิดของเมล็ดพันธุ์ 3. จำแนกเมล็ดพันธุ์และคัดแยกตามสายพันธุ์ โดยมีการทำงานทั้งโปรแกรมที่มีการฝึกฝนด้วยพันธุ์ข้าวที่ถูกต้องมาก่อนและใช้ในการจำแนกตามผลของแบบจำลอง เพื่อส่งคำสั่งไปยังบอร์ด Arduino ที่เป็นตัวควบคุมการลำเลียงของสายพาน และมี servo moter สำหรับติดตั้งกลไกแยกเมล็ดพันธุ์

รูปที่ 1 ระบบการเคลื่อนที่ของเมล็ดพันธุ์จะเริ่มต้นนำเมล็ดพันธุ์มาวางบนสายพานลำเลียง โดยการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียงจะทำการสั่งให้ระบบเคลื่อนที่ได้ด้วยโปรแกรม MATLAB ผ่านบอร์ด Arduino ให้ระบบลำเลียงเคลื่อนที่เป็น 3 ช่วง โดย

ช่วงที่ 1 เคลื่อนที่ไป 2.5 วินาที วัดการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ 30 เซนติเมตร ส่วนช่วงที่ 2 ระบบลำเลียงเคลื่อนที่วัตถุไปอีก 1.8 วินาที วัดการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ 20 เซนติเมตร และช่วงที่ 3 ของระบบเคลื่อนที่วัตถุไปอีก 1.8 วินาที วัดการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ 20 เซนติเมตร

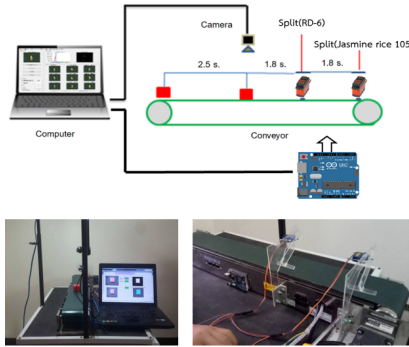


Figure 1 Layout of the conveyor system

2.2 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) คือโมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่าย เช่นเดียวกับประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบและการอุปมาความรู้เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ “นิวรอน” และจุดประสานประสาท แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า “เดนไดรต์” ซึ่งเป็นอินพุตและปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า “แอกซอน” เป็นเหมือนเอาต์พุตของเซลล์ ซึ่งเซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่นิวเคลียส ซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของโครงข่าย (B. Verma. 2010)

รูปที่ 2 - 4 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแตกต่างจากข่ายงานในสมอง แต่ยิ่งเหมือนสมองในแง่ที่ว่าข่ายงานประสาทเทียม คือการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อยๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของข่ายงาน เมื่อพิจารณาขนาดแล้วสมองมีขนาดใหญ่กว่าข่ายงานประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของข่ายงาน โดยหน้าที่สำคัญของ

สมองอย่างเช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นได้ด้วยโครงข่ายประสาทนี้

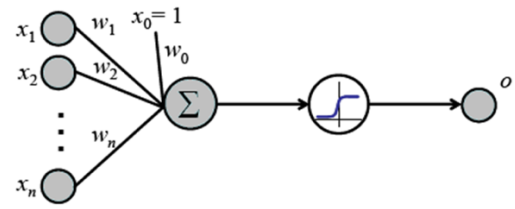


Figure 2 A model of an artificial neural network

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม คือเมื่อมีข้อมูลเข้ามายังโครงข่ายจะเอาข้อมูลเข้ามาคูณกับน้ำหนักของแต่ละขา ผลที่ได้จากข้อมูลเข้าทุกๆ ขาของเซลล์ประสาทจะถูกเอามารวมกัน แล้วก็เอามาเทียบกับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน เซลล์ประสาทก็จะส่งข้อมูลออกไป ซึ่งข้อมูลออกนี้ก็就会被ส่งไปยังข้อมูลเข้าของเซลล์ประสาทอื่นๆ ที่เชื่อมกันในโครงข่าย ถ้าค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะไม่เกิดข้อมูลออก สิ่งสำคัญจะต้องระบุค่าน้ำหนักและค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับสิ่งที่เราต้องการเพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จัก ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยการสอนให้โครงข่ายได้รู้จักรูปแบบของสิ่งที่เราต้องการให้คอมพิวเตอร์รู้จัก โดยขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นนี้เรียกว่า การแพร่กระจายแบบย้อนกลับ (Back propagation) ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จำ ในการฝึก Feed-forward neural networks จะมีการใช้ขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายแบบย้อนกลับ (Back propagation algorithm) เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนักของเครือข่าย หลังจากใส่รูปแบบของข้อมูลสำหรับฝึกให้เครือข่ายในแต่ละครั้ง ค่าข้อมูลออกที่ได้รับจากเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักต่อไป (López et al., 2005)

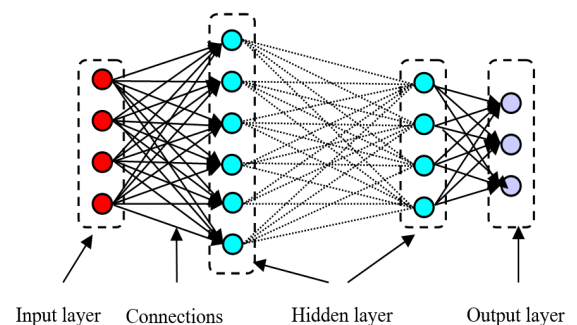


Figure 3 Architecture of artificial neural networks

ขั้นตอนวิธีการกระจายแบบย้อนกลับที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมวิธีหนึ่งที่ยิยมใช้ในเซลล์ประสาทแบบหลายชั้น (Multilayer perceptron) เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่าน้ำหนักนี้จะขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการคาดหวัง พิจารณาตามรูปภาพที่ 4 ดังนี้

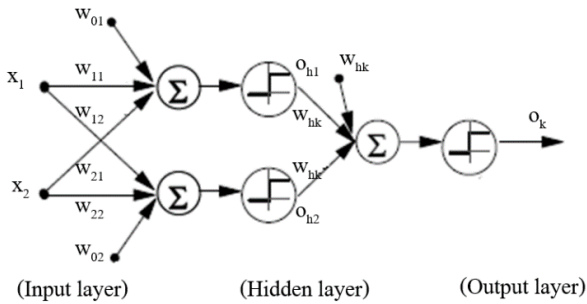


Figure 4 Back propagation algorithm

กระบวนการทำงานในรูปที่ 4 จะเริ่มการรับข้อมูลเข้า อินพุตแต่ละขาของชั้นข้อมูลเข้า (Input layer) จากนั้นจะนำข้อมูลเข้านี้มาคูณกับค่าน้ำหนัก (Weight) แล้วผ่านฟังก์ชันกระตุ้น (Active function) ซึ่งข้อมูลออก (Output) ที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลเข้าของชั้นต่อไป โดยจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองและค่าจริงของข้อมูล ถ้าเกิดความผิดพลาดมากก็จะไปปรับค่าน้ำหนักที่กำกับข้อมูลเข้า (Input) ของแต่ละชั้นโดยใช้วิธีการแบบการกระจายแบบย้อนกลับซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (D. Savakar, 2012)

โดยข้อมูลออกของแต่ละโหนดคำนวณจากสมการ 1

$$y_i = f(w_1^i x_1 + w_2^i x_2 + w_3^i x_3 + \dots + w_m^i x_m) \quad (1)$$

$$= f\left(\sum_{j=1}^m w_j^i x_j\right)$$

เมื่อ y_i คือ ค่าออกจากชั้นที่ i

$w_1^i, w_2^i, w_3^i, \dots, w_m^i$ คือ น้ำหนักในชั้นที่ i ของแต่ละหน่วย 1 ถึง m

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ คือ ข้อมูลเข้าของแต่ละหน่วย 1 ถึง m

m คือ จำนวนโหนดทั้งหมดในแต่ละชั้น

i คือ ชั้นของโครงข่าย

j คือ โหนดใด ๆ ในแต่ละชั้น

ขั้นตอน 1 สุ่มค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5

ขั้นตอน 2 ป้อนตัวอย่างเข้าที่ชั้นข้อมูลเข้า (Input layer) แล้วคำนวณค่าข้อมูลออกของเพอร์เซปตรอนที่ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นข้อมูลออก (Output layer) ตามลำดับ

ขั้นตอน 3 คำนวณค่าความผิดพลาดในแต่ละชั้น เพื่อปรับน้ำหนัก

- ค่าความผิดพลาดของเพอร์เซปตรอนตัวที่ k ชั้นข้อมูลออก (Output layer)

$$\delta_k = o_k (1 - o_k) (t_k - o_k) \quad (2)$$

- ค่าความผิดพลาดของเพอร์เซปตรอนตัวที่ h ชั้นซ่อน (Hidden layer)

$$\delta_h = o_h (1 - o_h) \left(\sum_{k \in \text{output}} w_{hk} \right) \delta_k \quad (3)$$

ขั้นตอน 4 ปรับปรุงค่าน้ำหนักแต่ละเส้น เมื่อ η คืออัตราการเรียนรู้

$$w_{ji} = w_{ji} + \Delta w_{ji} \quad (4)$$

$$\Delta w_{ji} = \eta \delta_j x_{ji}$$

ขั้นตอน 5 ทำซ้ำขั้นตอน 2 จนกระทั่งผลรวมของค่าผิดพลาดเข้าใกล้ศูนย์หรือน้อยที่สุด

2.3 การวิเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยหลักการของภาพ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวจะเริ่มจากการถ่ายภาพเมล็ดพันธุ์โดยใช้กล้องดิจิทัลเก็บตัวอย่างของระดับสีของเมล็ดพันธุ์ข้าวมาอย่างละ 100 เมล็ด จากนั้นจะทำการแยกข้อมูลทางสีของเมล็ดพันธุ์ออกเป็น R G B และ Gray scale โดยกำหนด pixel ของภาพเท่ากับ 256x256 pixel

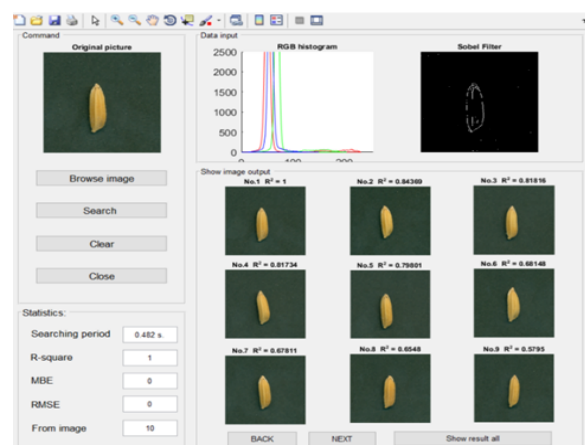
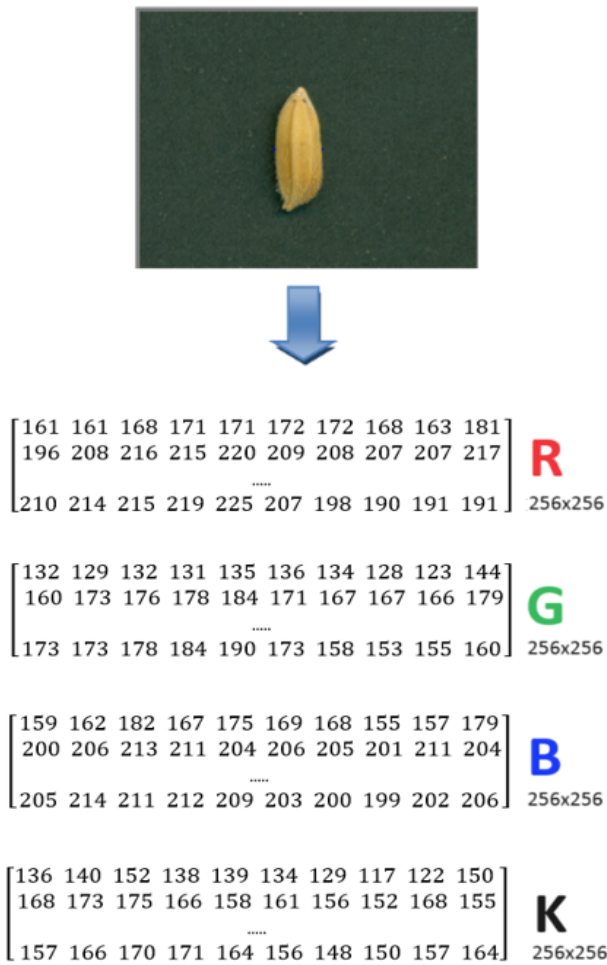


Figure 5 Photography of rice seeds.



(R=red, G=Green, B, Blue and K=Gray scale)

Figure 6 Color information of rice seeds.

ซึ่งจะได้ลักษณะข้อมูลดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จะแสดงข้อมูลของเมล็ดพันธุ์ข้าวและรู้ชนิดพันธุ์โดยข้อมูลทางสีที่แสดงออกมาในรูปตัวเลขที่ระดับ 0 – 255 และอยู่ในรูปเมทริกซ์ขนาด 256x256 pixel ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ในการเรียนรู้หรือฝึกฝนแบบจำลองต่อไป

2.4 การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับพันธุ์ข้าว

1. คัดเมล็ดพันธุ์ข้าวตัวอย่างจำนวน 100 เมล็ด ที่มีความสมบูรณ์ในแต่ละสายพันธุ์ นำมาหาค่าระดับของสี R G B และ Gray scale เพื่อใช้เป็น input ในการฝึกฝนแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อคัดแยกชนิดพันธุ์ข้าว โดยกำหนดเงื่อนไขในการฝึกฝนแบบจำลองที่แตกต่างกัน

2. รูปแบบการฝึกฝนแบบจำลอง ดังรูปที่ 7

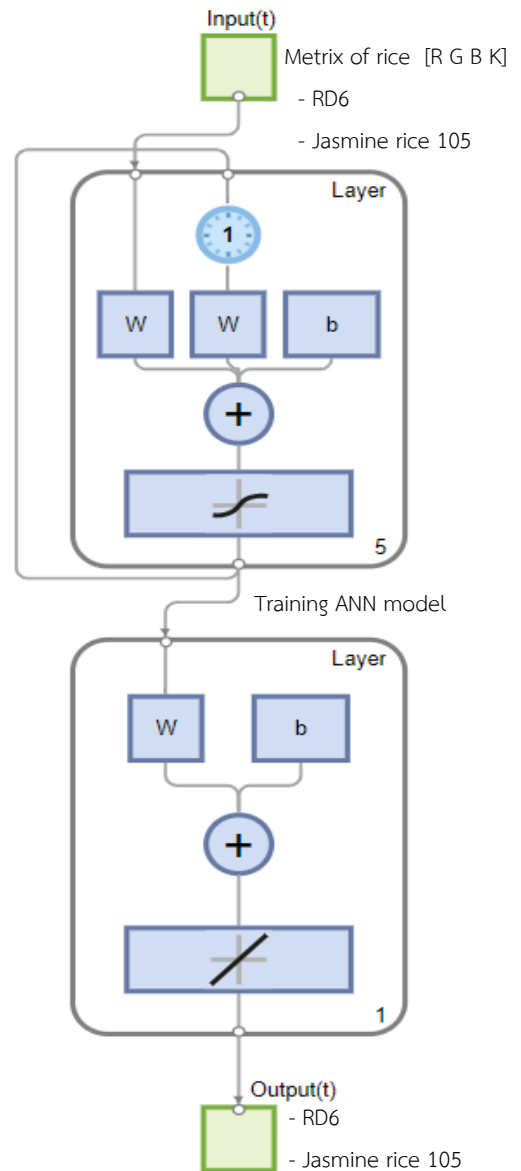


Figure 7 Training model.

3. เงื่อนไขแบบจำลอง

แบบจำลองที่ 1 จำนวนข้อมูล input [R, G, B]

แบบจำลองที่ 2 จำนวนข้อมูล input [R, G, B, Gray scale]

โดยในแต่ละแบบจำลองจะมีการปรับเปลี่ยน perceptron ของแบบจำลองที่ระดับ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 และ 20 ตามตารางที่ 1

Table 1 Properties for training with ANN model.

รายละเอียด	คุณสมบัติ
Hidden layer	1
Input layer	3 [R G B] and 4 [R G B Gray scale]
Output layer	2 [RD6 and Jasmine rice 105]
Perceptron	1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 and 20
Training fucntion	Quasi-Newton (trainbfg)
Transfer function in hidden layer	Tan-Sigmoid (tansig)
Transfer function in output layer	Step function (hardlim)
Lreannig rate	0.5
ecops	1000
Network type	Feed forward neural network

4. ทดสอบความถูกต้องในการจำแนกเมล็ดพันธุ์จากการถ่ายรูปเมล็ดพันธุ์ ข้าว กข.6 และ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 อย่างละ 100 ตัวอย่าง วางในระบบสายพานตามรูปที่ 1 ทำการทดสอบผลคัดแยกเมล็ดพันธุ์

3 ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการทดสอบแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) 2 รูปแบบ ผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 2 พบว่าแต่ละรูปแบบเมื่อมีการปรับค่า perceptron ในชั้น Hidden layer จากเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดความแม่นยำเพิ่มขึ้นในทิศทางแปรผันตรงกัน เพราะมีจำนวน perceptron ที่เพิ่มขึ้นจะสร้างความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมให้มีการแบ่งกลุ่มหรือทำงานให้มีความแม่นยำที่มากขึ้น แต่ความซับซ้อนของแบบจำลองก็จะซับซ้อนตามจำนวนของ perceptron เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (MBE) ในการสร้างแบบจำลองพบว่า เมื่อเพิ่มค่า perceptron ในชั้น Hidden layer จาก 1 เพิ่มขึ้นไปถึง 20 จะทำให้ร้อยละค่าเฉลี่ยความผิดพลาด MBE เข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทำนายและข้อมูลจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 8

Table 2 Results of training model.

Model	Perceptron	MBE (%)	RMSE (%)	R ²
ANN-1 [R,G,B]	1	-	21.657	0.86558
		2.0693		
	2	-	7.0868	0.88668
		1.0467		
	3	-	4.6175	0.89434
		0.6302		
	4	-	2.4555	0.89841
		0.3066		
	5	-	2.5193	0.89830
		0.2544		
ANN-2 [R,G,B,K]	10	-	1.8551	0.89907
		0.0103		
	15	-	1.1490	0.89964
		0.0172		
	20	-	0.9456	0.89976
		0.0178		
	1	-	16.830	0.82376
		0.7766		
	2	-	6.1394	0.99061
		0.3927		
	3	-	5.6965	0.99122
		0.3283		
	4	-	2.8578	0.99801
		0.0415		
	5	-	2.1335	0.99886
		0.0807		
	10	-	2.1547	0.99875
		0.0422		
	15	0.0489	1.2234	0.99960
	20	0.0376	0.8587	0.99980

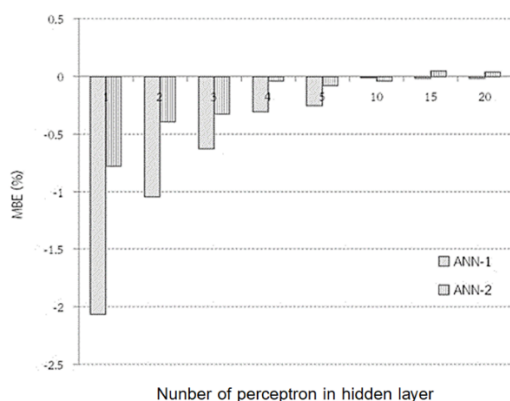


Figure 8 Mean bias error.

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละเฉลี่ยรากที่สองของความผิดพลาด (RMSE) ในการสร้างแบบจำลองพบว่า เมื่อเพิ่มค่า perceptron ในชั้น Hidden layer จาก 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 จะทำให้ค่าร้อยละเฉลี่ยรากที่สองของความผิดพลาดในทิศทางลดลง เมื่อ perceptron มากกว่า 4 ค่า RMSE จะมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 จนถึงระดับ 20 ดังรูปที่ 9

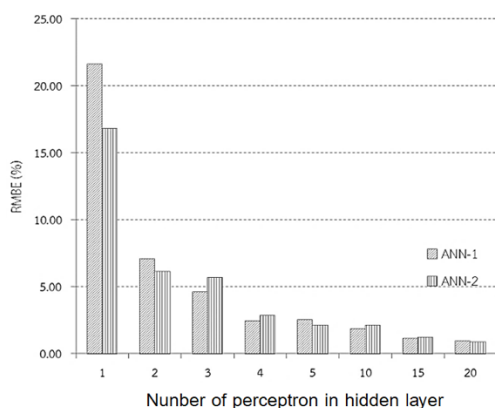


Figure 9 Root mean square error.

ในส่วนของระยะเวลาในการฝึกฝนแบบจำลองทั้ง 2 รูปแบบพบว่า ระยะเวลาจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวน perceptron ในชั้น Hidden layer จาก 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 หมายถึง กระบวนการการเรียนรู้และจดจำข้อมูลจะมีขั้นตอนมากส่งผลให้ใช้ระยะเวลามากขึ้นตามไปด้วย ด้วย ANN-1 และ ANN-2 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 10

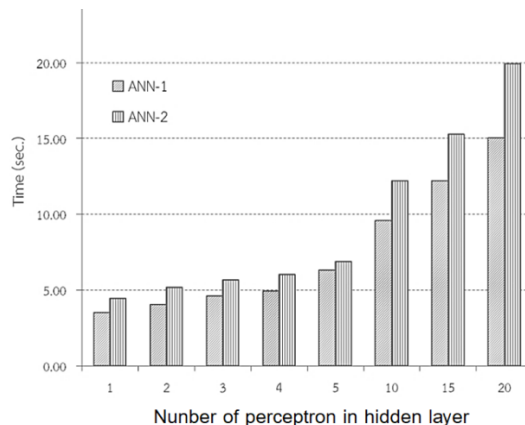


Figure 10 Time for training models.

รูปที่ 11 แสดงระดับค่า R^2 ในการสร้างแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง ซึ่งค่า R^2 อยู่ในระดับสูง มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงแบบจำลองมีความแม่นยำในระดับสูง โดยมีทิศทางสอดคล้องกับจำนวนชั้น perceptron ที่เพิ่มขึ้น และจำนวน input ของแบบจำลอง ANN-2 ที่มีรายละเอียดของข้อมูลระดับสีเพิ่มจากแบบจำลอง ANN-1 จาก 3 [R G B] เป็น 4 [R G B K] จะทำให้การเรียนรู้และจำจดได้ดีกว่า

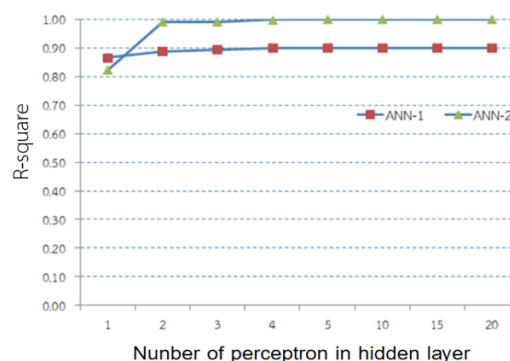


Figure 11 R-square for each model.

3.2 ผลการทดสอบการคัดแยกเมล็ดพันธุ์

ผลการทดสอบโดยใช้แบบจำลอง ANN-1 และ ANN-2 สำหรับจำแนกชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่บันทึกผลในระบบสายพานที่จำแนกด้วยแบบจำลอง โดยพบว่าแบบจำลองทั้ง 2 แบบ เมื่อมีการเพิ่มจำนวน perceptron จะส่งผลทำให้การจำแนกชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวมีความแม่นยำมากขึ้น ผลแสดงตามตารางที่ 3 ซึ่งแบบจำลอง ANN-1 ที่ใช้ [R G B] จะจำแนกชนิดของเมล็ดพันธุ์ได้ดีกว่าแบบจำลอง ANN-2 ที่ใช้ [R G B K] เนื่องจากตัวแปรพาเข้าที่มากขึ้นจะส่งผลต่อการเรียนรู้จดจำได้ดียิ่งขึ้น แต่ก็มีการใช้ระยะเวลาในกระบวนการเรียนรู้และจดจำที่มากขึ้น โดยแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับคือ ANN-2 เนื่องจากจำแนกได้แม่นยำทั้ง 2 ชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าว

Table 3. R² for testing model by using new seed rice.

Models	perceptron	RD6	Jasmine rice 105
ANN-1	1	75	89
	2	86	92
	3	94	92
	4	90	93
	5	96	95
	10	97	96
	15	97	97
	20	98	97
ANN-2	1	83	92
	2	86	92
	3	87	93
	4	92	94
	5	97	96
	10	98	97
	15	98	98
	20	98	98

ผลการทดสอบแบบจำลองมีทดสอบการจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าว กข.6 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งประมวลผลด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแล้วส่งงานร่วมกับบอร์ด Arduino ให้เมล็ดพันธุ์ถูกแยกตามตำแหน่งที่ติดตั้งในระบบสายพาน ตารางที่ 3 พบว่า สำหรับเมล็ดพันธุ์ข้าว กข.6 แยกด้วยแบบจำลอง ANN-1 ได้รับความถูกต้องร้อยละ 75-97 และ ANN-2 ได้รับความถูกต้องร้อยละ 83-98 ในส่วนของเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 การทำนายผลด้วยแบบจำลอง ANN-1 ได้รับความถูกต้องร้อยละ 89-97 และ ANN-2 ได้รับความถูกต้องร้อยละ 92-98 ซึ่งพบว่าจากผลการทดสอบแบบจำลองที่เหมาะสมจะเป็น ANN-2 ที่จำนวน perceptron เท่ากับ 15 ซึ่งจะทำการทำนายการจำแนกชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวตัวอย่างได้ดี

4 สรุปผล

การจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยระบบการประมวลผลภาพร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมในบทความวิจัยนี้ใช้ข้อมูลของค่าระดับสีของรูปภาพที่ประกอบไปด้วยสีแดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) และขาวดำ (K) มาใช้เป็นข้อมูล input ของแบบจำลอง โดยมี output เป็นชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 ชนิด (กข.6 และขาวดอกมะลิ 105) โดยการสร้างฝึกแบบ Back propagation algorithm ซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนจำนวน perceptron ที่

แตกต่างกันในชั้น Hidden layer ซึ่งผลที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการคัดแยกเมล็ดพันธุ์ พบว่าการแบบจำลอง ANN-2 มีความเหมาะสมในการจำแนกได้ดีกว่าแบบจำลอง ANN-1 ด้วยปัจจัยที่มี input ที่เป็นตัวบ่อนในกระบวนการเรียนรู้และจดจำได้มากกว่า

อย่างไรก็ตามการนำเสนอแบบจำลองในงานวิจัยนี้ยังเป็นเพียงการใช้ training fuction ของโครงข่ายเพียงรูปแบบเดียว ซึ่งอาจจะปรับเปลี่ยนรูปแบบตามลักษณะของข้อมูลของ input หรือ output ในการพัฒนาควรมีการเพิ่มข้อมูล input เช่น ขนาดความยาว น้ำหนัก เพื่อให้แบบจำลองมีกระบวนการเรียนรู้จดจำรูปแบบข้อมูลที่มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการทำนายที่แม่นยำขึ้นตาม

5 กิตติกรรมประกาศ

วิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ปีงบประมาณ 2562

6 เอกสารอ้างอิง

- กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2559. พันธุ์ข้าว. แหล่งข้อมูล: <http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=11.htm>. เข้าถึงเมื่อ: 31 พฤษภาคม 2565.
- Verma, B. 2010. Image Processing Techniques for Grading & Classification of Rice. ICCCT 10, 220-223.
- Yang, C. C., Prasher, S. O., Landry, J. A. 2002. Weed recognition in corn fields using back-propagation neural network models. CANADIAN BIOSYSTEMS ENGINEERING 44(7), 15-22.
- Guzman, J. D., Peralta, E K. 2008. Classification of Philippine Rice Grains Using Machine Vision and Artificial Neural Networks. IAALD AFITA WCCA 2008, 41-48.
- Savakar, D. 2012. Recognition and lassification of Similar Looking Food Grain Images using Artificial Neural Networks. Journal of Applied Computer Science & Mathematics 13(6), 61-65.
- Guang-rong, L. 2011. Detection of Chalk Degree of Rice Based on Image Processing Technique. SIE 83, 515-518.
- Ferdous, N., Elias, S. M., Howlader, Z. H., Biswas, S. K., Rahman, M. S., Habiba, K. K., Seraj, Z. I. 2018. Profiling

Bangladeshi rice diversity based on grain size and amylose content using molecular markers. *Current Plant Biology* 14, 56-65.

López, G. , Batlles, F. J. , Tovar- Pescador, J. 2005. Selection of Input Parameters to Model Direct Solar Irradiance by using Artificial Neural Networks. *Fuel and Energy* 47, 1675-1684.



การพัฒนาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแหล่งความร้อนที่นำมาใช้สำหรับการระเหยแก๊สของการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก

The development of a heat exchange system and heat source used for gas evaporation in the whole longan drying

อัจฉรา จันทร์ผง^{1,2*}, พฤทธิ เนตรสว่าง^{1,2}, นิลวรรณ ไชยหนู^{1,2}, อัจฉรา ไชยยา^{1,2}, อนุวัตร ศรีนวล^{1,2}

Autchara Junphong^{1,2*}, Prud Natsawang^{1,2}, Ninlawan Chaitanoo^{1,2}, Atchara Chaiya^{1,2}, Anuwat Srinoun^{1,2}

¹หน่วยวิจัยและพัฒนาคุณสมบัติวัสดุทางการเกษตรและพลังงานชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, เชียงใหม่ 50300

²หลักสูตรวิศวกรรมเกษตรและชีวภาพ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่, เชียงใหม่ 50300

¹Research and Development Unit for Agricultural Materials and Bio-Energy Properties, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300

²Agricultural and Biological Engineering, Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300

*Corresponding Author: Tel.: +66-8-9759-8846, E-mail: autchara11@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแหล่งความร้อนที่นำมาใช้สำหรับการระเหยแก๊สของกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก ด้วยการถ่ายเทความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดทองแดงที่มี LPG ไหลภายในท่อทำให้แก๊สที่มีสถานะเป็นของเหลวเปลี่ยนเป็นไอแก๊สที่รวดเร็วขึ้นและไม่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อม และศึกษาแหล่งพลังงานความร้อน 2 แบบ คือ แหล่งพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้กับน้ำ 6,000 W และแหล่งพลังงานความร้อนจากเศษแก๊สที่เหลือกันถึงมาจุดหัวเผาให้ความร้อนกับน้ำ ซึ่งในการออกแบบชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใช้ข้อมูลเดิมจากการอบแห้งลำไย 24,500 kg ใช้ปริมาณแก๊ส LPG 102 kg เป็นเวลา 440 min ทำให้มีอัตราการไหลของแก๊ส LPG เท่ากับ $0.00386 \text{ kg s}^{-1}$ สามารถนำมาคำนวณหาความยาวท่อทองแดงได้ 0.30 m และจำนวนการขด 26 ขด และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อขดทองแดง (D_c) เท่ากับ 0.38 m ซึ่งทำการควบคุมโดยการใช้อุณหภูมิของน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 50°C พบว่า ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแหล่งพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแหล่งพลังงานความร้อนจากเศษแก๊ส สามารถทำให้แก๊ส LPG ระเหยได้ดีและสามารถทำให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งทั้ง 4 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิสม่ำเสมอในตู้อบลำไยทั้งเปลือก และสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในถัง (T_{tank}) สามารถควบคุมได้ง่ายและสะดวกต่อผู้ใช้ได้ดี และเปรียบเทียบกับระบบเดิมมีต้นทุนการใช้แก๊ส 3,735 บาท (น้ำหนักแก๊สที่ใช้รวมกับน้ำแก๊สเหลือกันถึง) ระบบใหม่ที่มีชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ฮีตเตอร์และหัวเผา สามารถลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจาก LPG คิดเป็นร้อยละ 15.85 และ 20.34

คำสำคัญ: ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, ขดทองแดง, อบลำไยทั้งเปลือก

Abstract

The development of heat exchanger equipment and a heat source for gas evaporation in the longan drying process was achieved by a heat transfer with a copper helical heat exchanger that LPG flowed inside a tube. This

Received: 31 October, 2023

Revised: 27 November, 2024

Accepted: 28 November, 2024

Available Online: 28 December, 2024

method rapidly altered the stage of LPG from liquid to gas without heat exchange with the environment. Two types of heat sources from a 6,000 W electrical heater and from a residual gas at the bottom of LPG tank were applied to start a burner for heating water. The heat exchanger equipment was designed based on the capacity of longan drying of 24,500 kg with a LPG consumption of 102 kg and 440 min drying time. This resulted in a LPG flow rate of $0.00386 \text{ kg s}^{-1}$ that was used to determine a length of copper tube with 0.30 m, 26 coils and a diameter of the copper coil (D_c) of 0.38 m. A water temperature of 50°C was applied in the heat exchanger. The study found that the evaporation of LPG was achieved by the heat exchanger equipment with both heat sources. They resulted in uniform internal tank temperature (T_{tank}) at four positions and were user-friendly for operation. Compared to the original system with a gas cost of 3,735 baht (including the weight of the gas used and the residual gas in the tank), the developed heat exchanger with two types of heat sources—a heater and a burner—reduces LPG fuel consumption by 15.85% and 20.34%, respectively.

Keywords: Heat exchanger equipment, Copper coil, Longan drying

1 บทนำ

การอบแห้งลำไยทั้งเปลือกเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลไม้แห้ง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกลำไยอย่างแพร่หลาย เช่น ภาคเหนือของประเทศไทย ลำไยเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีรสชาติหวานหอม แต่เนื่องจากลำไยสดมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่จำกัด การนำมาอบแห้งจึงเป็นวิธีที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาโดยไม่สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ การอบแห้งทั้งเปลือกช่วยรักษาความสดและป้องกันความเสียหายของเนื้อลำไย นอกจากนี้ยังช่วยให้ลำไยสามารถขนส่งและจัดเก็บได้ง่ายขึ้น รวมถึงเพิ่มมูลค่าในตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ การแปรรูปด้วยการอบแห้งจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค ซึ่งในการแปรรูปด้วยการอบแห้งจะใช้อากาศร้อนเพื่อต้มน้ำที่ผิวของเปลือก โดยส่วนใหญ่จะใช้แหล่งความร้อนจากน้ำมันดีเซลและแก๊ส LPG เป็นหลัก

ในกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกที่เน้นการส่งออกจะเป็นตู้อบขนาดใหญ่ มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากแก๊ส LPG ลักษณะของการนำแก๊สมาจุดหัวแก๊สอินฟราเรดสำหรับตู้อบแห้งเปลือกลำไย เกิดความร้อนและนำความร้อนเข้าไปใช้ในตู้อบเพื่อไล่ความชื้นออกจากลำไย และจากการลงสำรวจพบว่า สถานประกอบการใช้แก๊ส 1 วาล์วเป็นหลักปัญหาที่พบ จากการใช้แก๊ส 1 วาล์ว จากการเปลี่ยนสถานะของเหลวให้เป็นไอแก๊สนั้นจะต้องนำความร้อนจากภายนอกมาช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้แก๊สเกิดการระเหยเป็นไอ ซึ่งหากแก๊สระเหยไม่ทันจะต้องนำถังไปตากแดดหรือใช้ถังแก๊สสำรองจำนวนมากเพื่อให้มีปริมาณไอแก๊สพอต่อการใช้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงปัญหาจากช่วง

ฤดูหนาวและฤดูฝน ที่มีผลต่อการระเหยของไอแก๊สและการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ตัวถังแก๊ส ทำให้เกิดสนิมขึ้นผิวถังแก๊ส

การศึกษาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Jinliang et al. (2015) ได้ศึกษาและวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อขด (Shell and helical tube heat exchangers) โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ใช้การไหลของไหลในท่อขด และทำการวัดอัตราการไหล อุณหภูมิและค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน พบว่าการใช้ท่อขดจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากกว่าท่อแบบตรง และการไหลแบบปั่นป่วนในท่อขดจะบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อน และ Jamshidi et al. (2013) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยใช้รูปแบบท่อเกลียวหรือท่อขด ทำการทดลองและการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อดูพฤติกรรมของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนของพารามิเตอร์เช่นค่าอุณหภูมิ แรงดัน และความเร็วของของไหล พบว่าการสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน จากความปั่นป่วนของการไหลภายในท่อขดได้ดีเมื่อเทียบกับท่อแบบตรง

การศึกษาการเปลี่ยนสถานะแก๊ส LPG ในการระเหยแก๊สนั้น Shi et al. (2018) ได้พัฒนาและวิเคราะห์การจำลองเชิงพลศาสตร์ของกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอแก๊สด้วยหัวเผา (Burner) โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่นอัตราการไหลของแก๊ส อุณหภูมิ ความดัน และลักษณะการถ่ายเทความร้อน เห็นได้ว่าการระเหยของแก๊ส LPG มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันภายในระบบ การควบคุมความร้อนในระบบเป็นปัจจัยสำคัญในการ

ระเหยแก๊ส และ Tuan et al. (2021) ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทำการทดลองการฉีดแก๊ส LPG ที่มีสถานะเป็นของเหลว เพื่อนำมาวิเคราะห์การทำงานและประสิทธิภาพของหัวฉีดสำหรับลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และเพิ่มประสิทธิภาพในระบบเผาไหม้ จากการศึกษาและทำการทดลอง พบว่าขนาดและการออกแบบของหัวฉีดมีต่อประสิทธิภาพการฉีด LPG ในสถานะที่เป็นของเหลว และการปรับขนาดหัวฉีดจะสามารถปรับอัตราการไหลของแก๊สได้ นำไปสู่การลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้

Junphong et al. (2021) ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาการระเหยแก๊ส LPG แบบอัตโนมัติสำหรับโรงงานเซรามิก โดยทำการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในการให้ความร้อน พบว่า การนำระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ากำหนดค่าอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้แก๊สมีการระเหยตัวได้ดี สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเห็นได้ว่าการพัฒนาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแหล่งความร้อนที่นำมาใช้สำหรับการระเหยแก๊สของกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก เลือกลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบท่อขด และใช้แหล่งความร้อนจากฮีตเตอร์และหัวเผา (Burner) สำหรับการระเหยแก๊ส LPG เหลว จากการดึงแก๊สเหลวขึ้นมาใช้นั้นจะต้องเป็นถังแบบ 2 วาล์ว ที่มีท่อดูดยาวถึงก้นถัง ดึงแก๊สเหลวขึ้นมาใช้และนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับแก๊ส LPG ในท่อ สำหรับเปลี่ยนสถานะให้แก๊สเหลวกลายเป็นไอแก๊ส การพัฒนานี้จะทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานและมีการใช้แก๊สได้หมดถึง ส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายพลังงานเชื้อเพลิงด้านกระบวนการแปรรูปลำไยอบแห้งทั้งเปลือกได้

2 แนวคิดในการออกแบบ

หลักการถ่ายเทความร้อนมาแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สเหลวและน้ำร้อน เพื่อเปลี่ยนสถานะของแก๊สเหลวให้มีสถานะเป็นไอแก๊สแทนการแลกเปลี่ยนในสภาวะอากาศภายนอก การนำชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะสามารถทำให้แก๊สมีการระเหยได้รวดเร็วเพื่อการใช้อีกต่อไปอย่างต่อเนื่อง และลดการเกิดไอน้ำหรือเกล็ดน้ำแข็งเกาะบริเวณถังแก๊ส ซึ่งการนำเอาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาช่วยในกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก ต้องมีการปรับเปลี่ยนชนิดถังแก๊สแบบ 1 วาล์วมาเป็น แบบ 2 วาล์ว ลักษณะของถังแก๊สแบบ 2 วาล์วจะมีท่อ

ยาวสามารถดูดแก๊สจากก้นถังที่เป็นของเหลวขึ้นมาแลกเปลี่ยนในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและอีกทางเลือกหนึ่งสามารถนำถังแก๊สแบบ 1 วาล์วที่มีเศษแก๊สเหลืออยู่มาจุดหัวเผา (Burner) ให้ความร้อนกับน้ำได้เช่นกัน ดังนั้นแหล่งความร้อนให้น้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2 แบบ คือ การใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าและการใช้หัวเผา (Burner) Figure 1 ซึ่งการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้เข้ามาใช้ในระบบการระเหยแก๊สนั้นจะทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้และมีการใช้แก๊สได้หมดถึง ส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายพลังงานเชื้อเพลิงและการรักษาคุณภาพสีผิวของเปลือกลำไยให้มีสีเท่ากัน ด้านกระบวนการแปรรูปลำไยอบแห้งทั้งเปลือกได้

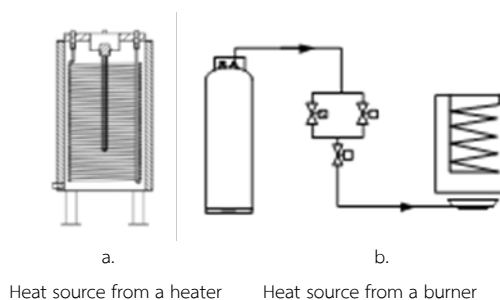


Figure 1 Two types of heat sources for water used in helical coil heat exchanger set.

2.1 การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากการศึกษาปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกแบบเดิมนั้นได้ทำการอบแห้งลำไย 24,500 kg ใช้ปริมาณแก๊ส LPG ในการอบแห้ง 102 kg เป็นเวลา 440 min ทำให้มีอัตราการไหลของแก๊ส LPG เท่ากับ $0.00386 \text{ kg s}^{-1}$ นำข้อมูลปริมาณใช้แก๊สและอัตราการไหลเชิงมวล คำนวณโดยการกำหนดอุณหภูมิทางเข้าของแก๊ส LPG เหลว ที่ 25°C อุณหภูมิทางเข้าของน้ำที่ 70°C และฮีตเตอร์ขนาด 6,000 W เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิทางออกของไอแก๊ส LPG และนำไปหาความยาวของท่อทองแดง โดยชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้มีฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อม

2.2 การออกแบบชุดท่อทองแดงสำหรับใช้ในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การออกแบบชุดท่อทองแดงกำหนดให้ขนาดท่อทองแดงเท่ากับ 0.5 in หรือท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.01092 m และขนาดท่อภายนอก 0.0127 m และใช้หลักการถ่ายเทความร้อนระหว่างแก๊ส LPG เหลว กับ น้ำร้อน ซึ่งในการออกแบบให้

แก๊สเหลวไหลในท่อทองแดง ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้แก๊สเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของผสมและเปลี่ยนเป็นไอแก๊สก่อนเข้าสู่เรกกูเรเตอร์เพื่อลดความดันและฉีดไอแก๊สเข้าสู่หัวแก๊สสำหรับตู้อบแห้งเปลือกลำไย โดยใช้สมการสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในและภายนอกจาก Table 1 สามารถหาความยาวท่อทองแดงได้ 0.30 m และจำนวนการขด 26 ขด และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อขดทองแดง (D_c) เท่ากับ 0.381 m Figure 2

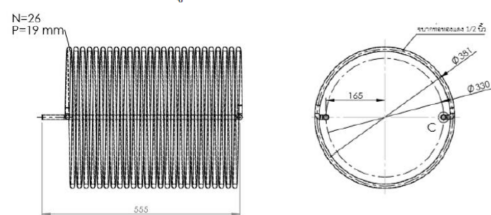
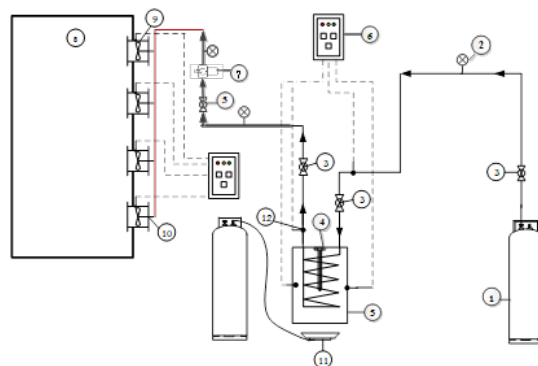


Figure 2 Design of copper helical coils for a heat exchanger system.

2.3 การออกแบบการทำงานของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การออกแบบการทำงานของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้นำระบบควบคุมเข้ามาช่วยในการให้ความร้อนกับน้ำเพื่อนำ

ความร้อนไปแลกเปลี่ยนกับแก๊สเหลวในท่อทองแดง โดยการควบคุมอุณหภูมิน้ำ T_{tank} เพื่อตัดการทำงานของฮีตเตอร์ และหัวเผา (Burner) ดัง Figure 3 และขั้นตอนการทำงานและเงื่อนไขของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดัง Figure 4



- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| 1 Tank LPG | 2 Pressure gauge | 3 Ball valve |
| 4 Heater | 5 Helical coil heat exchanger set | 6 Control system |
| 7 Regulator | 8 Drying oven | 9 Fan |
| 10 Infrared gas burner head | | 11 Burner |
| 12 Temperature sensor | | |

Figure 3 The process for whole longan drying using water hot from electric heater.

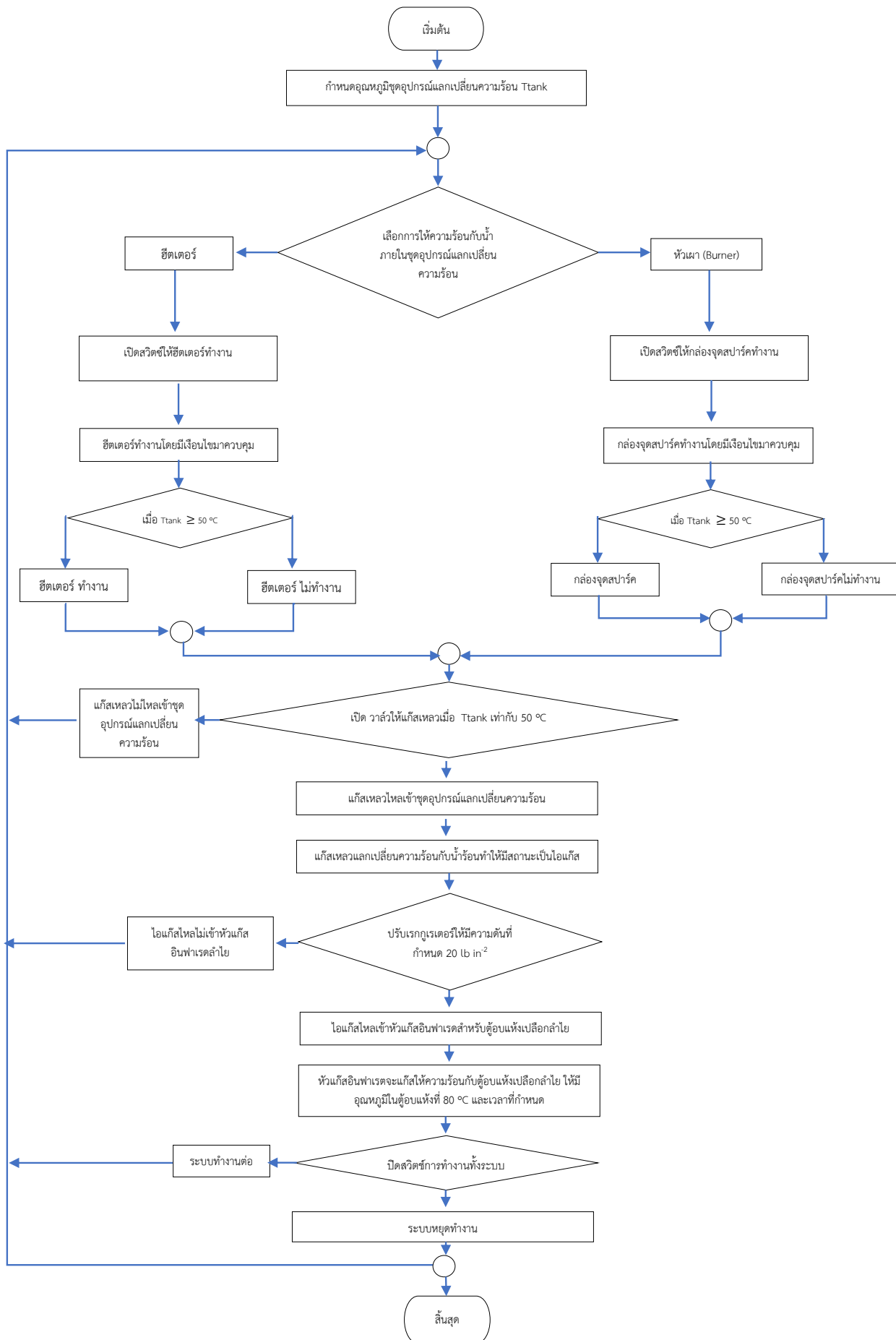


Figure 4 Workflow and conditions for a heat exchanger system.

Table 1 Side of heat transfer coefficients. (ASHRAE, 1997)

description	Equation
Inside heat transfer coefficients; Dittus and Boelter	$Nu = 0.023ReD^{0.8}Pr^n$ where $n = 0.3$ for refrigerant being cooled $n = 0.4$ for refrigerant being heated
Outside heat transfer coefficients; Mcadams	$h_o = 0.79F_1[h_{fo}/(ND_o\Delta T_m)]$ $F_1 = [(K^3P^2g)/\mu]^{1/4}$ $D_c = \frac{L}{\pi(N-1)}$

3 วิธีการและขั้นตอน

3.1 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิของแก๊สและน้ำ

3.1.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแก๊ส

เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลสกรู M8 Type K มีสายยาว 10 m และสามารถอ่านช่วงอุณหภูมิได้ 0 ถึง 400 °C ทำการติดตั้งอุณหภูมิทางเข้าและออกของแก๊สเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และติดตั้งอ่านค่าอุณหภูมิในตู้อบแห้งเปลือกลำไยจำนวน 4 ชุด



Figure 5 Thermocouple.

3.1.2 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแสดงค่าอุณหภูมิของแก๊สและน้ำเมื่อมีการควบคุมและการเปลี่ยนสถานะของแก๊สเหลวเป็นไอ และทำการติดตั้งอ่านค่าอุณหภูมิในตู้อบแห้งเปลือกลำไยจำนวน 4 ชุด เพื่อทราบค่าอุณหภูมิในตู้อบแห้งที่ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 80 °C โดยการใช้เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิรุ่น AP-400-201, O/P SSR 1 Alarm



Figure 6 Temperature control., model AP-400-201.

3.2 ศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้แก๊สของอุณหภูมิและความดันระบบเดิม

การอบแห้งลำไยแบบระบบเดิม คือ การใช้ถังแก๊ส LPG แบบ 1 วาล์ว โดยปล่อยให้แก๊สมีการระเหยกับสภาวะอากาศภายนอกการทำแบบนี้จะต้องมีถังแก๊สสำรองจำนวนมาก หากถังแก๊สขณะที่ใช้ยังไม่สามารถระเหยได้ทัน ซึ่งในการทดลองนั้นจะใช้อุณหภูมิในตู้อบแห้งเปลือกลำไย (T_1 T_2 T_3 และ T_4) เป็นตัวบ่งบอกว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนของถังแก๊สกับสภาวะอากาศภายนอก และการความดันของแก๊ส ที่ระเหยเพียงพอหรือไม่ในกระบวนการอบแห้งลำไย ดัง Figure 7

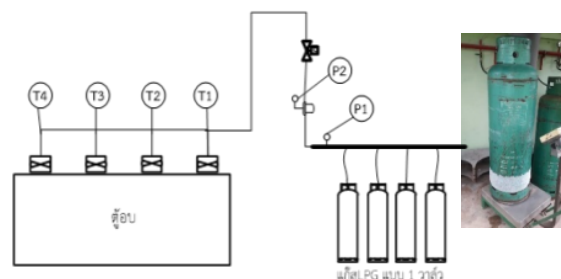


Figure 7 Temperature measurement position in the drying oven of the original system.

3.3 การติดตั้งชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำและความดันระบบใหม่

การติดตั้งชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับท่อส่งแก๊สชุดใหม่เนื่องจากแก๊สที่ผ่านความร้อนจะต้องมีท่อพักสำหรับสะสมไปแก๊สก่อนดึงไปใช้เพื่อให้มีไอแก๊สเพียงพอต่อกระบวนการอบแห้ง และทำการติดตั้งเกจวัดความดันและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า-ออก ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีแหล่งพลังงานความร้อน 2 แบบ คือ การใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า และการใช้หัวเผา (Burner) ซึ่งทำการควบคุมโดยการใช้อุณหภูมิของน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งแก๊ส LPG



3.4 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิสำหรับท่อแบ้ง

4 ผลและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองเก็บการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบเดิม

การเก็บผลการทดลองการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก 24,500 kg มีการใช้ปริมาณแก๊ส 102 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 440 min ผลที่ได้จากการเก็บค่าความดันและค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ

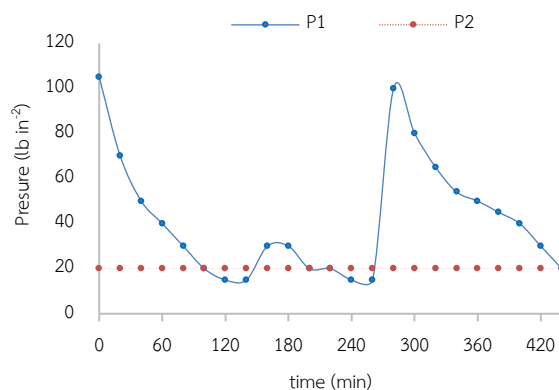


Figure 11 Inlet and outlet gas pressure of the original system.

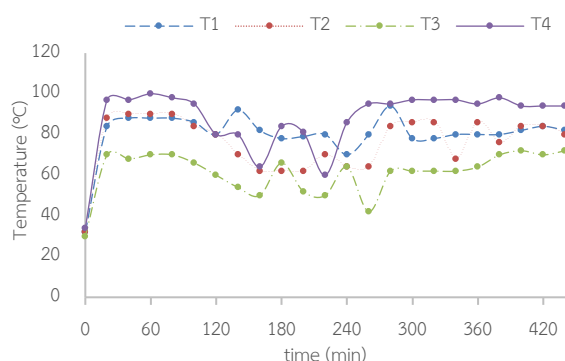


Figure 12 Temperatures in the drying oven of the original system.

48

คุณภาพไอน้ำที่ผ่านเรกกูเรเตอร์ไม่เหมือนกัน ซึ่งตัวที่ส่งผลต่อคุณภาพไอน้ำคืออุณหภูมิที่ทำให้แก๊สมีการขยายตัว สังเกตจากทางออกเรกกูเรเตอร์มีไอน้ำมาจับหรือมีเกล็ดน้ำแข็งมาเกาะเนื่องจากการใช้แก๊สในปริมาณที่มาก แต่ระเหยได้น้อย จึงส่งผลต่อค่าอุณหภูมิในตู้อบแห้งทั้ง 4 จุด ให้ค่าที่แตกต่างกันออกไป ส่งผลต่ออุณหภูมิในการอบแห้งลำไยที่มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ 80°C ทำให้สีเปลือกลำไยไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งจะต้องมีการใช้แก๊สสำรองจำนวนมากเพื่อเปลี่ยนในช่วงที่แก๊สในถังระเหยไม่ทัน อีกปัจจัยหนึ่งเกิดจากการทำงานของพนักงานที่ไม่มีความคอยเฝ้าทำให้มีการเปลี่ยนถังแก๊สช้าส่งผลต่อค่าความดันของแก๊สจากถังและเมื่อความดันต่ำไม่เพียงพอต่อการระเหยจะทำให้มีแก๊สเหลือกันถึงประมาณ 3 ถึง 4 kg คิดเป็น 100 บาทต่อถัง ดังนั้นการใช้ระบบเดิม จะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากแก๊ส LPG เท่ากับ 3,735 บาท

4.2 ผลการทดลองชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบควบคุมการระเหยแก๊ส ระบบใหม่

4.2.1 การทดลองการใช้ฮีตเตอร์ให้ความร้อนกับน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากการใช้ฮีตเตอร์ 6,000 W ให้ความร้อนกับน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า การใช้ฮีตเตอร์อบแห้งลำไยจำนวน 24,500 kg ใช้ปริมาณแก๊ส 125 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 440 min

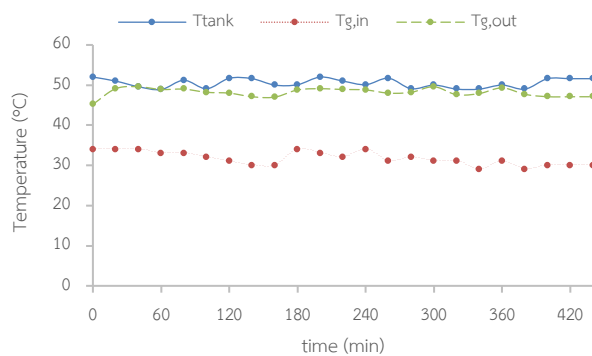


Figure 13 Comparison of gas and water temperatures using a heater.

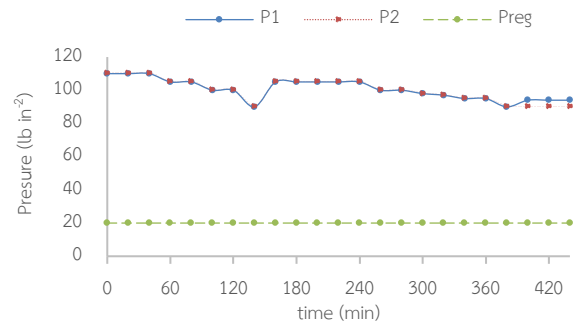


Figure 14 Comparison of inlet and outlet gas pressures using a heater.

จาก Figure 13 เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง อุณหภูมิภายในถังชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_{tank}) อุณหภูมิของแก๊ส LPG เข้าชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{\text{g,in}}$) และอุณหภูมิของแก๊ส LPG ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{\text{g,out}}$) จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิของแก๊สทางเข้าชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{\text{g,in}}$) มีอุณหภูมิของน้ำแก๊ส เฉลี่ยอยู่ที่ 33°C และมีความดันเฉลี่ยอยู่ที่ 100 lb in^{-2} ดัง Figure 14 แต่เมื่อผ่านชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ความดันทางออกจะยังมีค่าใกล้เคียงกับทางเข้าแต่จะมีค่าอุณหภูมิ ($T_{\text{g,out}}$) ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_{tank}) จากการคำนวณจะเห็นว่าการเปลี่ยนสถานะที่เป็นของเหลวเป็นไอน้ำ ก่อนที่จะไหลผ่านเรกกูเรเตอร์ เพื่อทำการปรับลดความดันเป็น 20 lb in^{-2} ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตเห็นว่าทางออกจากรีกูเรเตอร์จะไม่มีไอน้ำมาเกาะนั้นแสดงว่าอุณหภูมิที่กำหนดในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 50°C เหมาะสมสำหรับการลดความดันและไม่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศภายนอก และจาก Figure 15 ทั้ง 4 ตำแหน่งมีอุณหภูมิในตู้อบแห้งไม่ต่ำกว่า 80°C และมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงตลอดกระบวนการอบแห้ง ทำให้สีของเปลือกลำไยมีความสม่ำเสมอ ดังนั้นการใช้ฮีตเตอร์ให้ความร้อนกับชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากแก๊ส LPG เท่ากับ 3,125 บาท และค่าใช้จ่ายของฮีตเตอร์ไฟฟ้า เท่ากับ 40 บาท รวมเป็นเงินทั้งสิ้นในกระบวนการนี้ 3,165 บาท

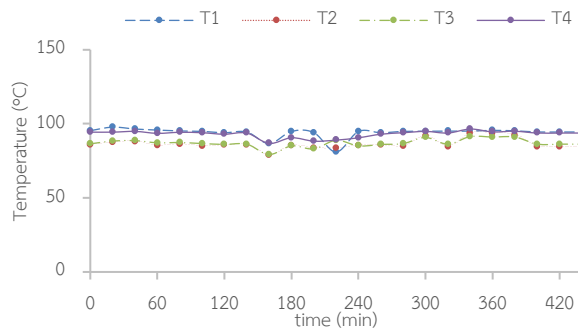


Figure 15 Temperatures in the drying oven when using a heater.

4.2.2 การทดลองการใช้หัวเผา (Burner) ให้ความร้อนกับน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากการใช้หัวเผา (Burner) ให้ความร้อนกับน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า การอบแห้งลำไยจำนวน 24,500 kg ใช้ปริมาณแก๊ส 116 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 440 min

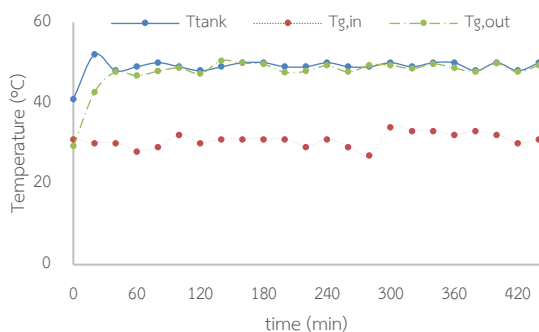


Figure 16 Comparison of gas and water temperatures using a burner.

จาก Figure 16 ในการทดลองการใช้หัวเผา (Burner) ให้ความร้อน โดยการนำเอาเศษแก๊สมาเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ทำให้ให้น้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีอุณหภูมิตามที่กำหนด โดยเป็นการตัดต่อแก๊สแบบอัตโนมัติ จากการทํางานจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_{tank}) และอุณหภูมิทางออกจากชุดอุปกรณ์จะมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นเพราะการใช้หัวเผา (Burner) เป็นตัวตัดต่อแก๊ส ทำให้การหมุนเวียนของความร้อนน้อยกว่าการใช้ฮีตเตอร์ และเมื่อเทียบกับความดันทางเข้าและออกของแก๊สจะมีลักษณะกราฟที่คล้ายกับการใช้ฮีตเตอร์ แต่เมื่อเทียบกันแล้วการใช้ เศษแก๊สให้ความร้อนกับน้ำได้ดีกว่าการใช้ฮีตเตอร์ เนื่องจากฮีตเตอร์เป็นรูปแบบการใช้พลังงานทางไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะใช้เวลาที่มากกว่า ส่วน Figure 17 ค่า

อุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่งในตู้อบแห้งมีค่าใกล้เคียงกันอย่างสม่ำเสมอ และมีอุณหภูมิในห้องอยู่เฉลี่ยที่ 90 °C ดังนั้นการใช้หัวเผา จะทำให้เพิ่มความร้อนทำให้เกิดสระเหยเป็นไอแก๊สได้ดีกว่าการใช้ฮีตเตอร์ และใช้เศษแก๊สเพียง 3 kg เท่านั้นในกระบวนการอบแห้ง และสามารถประเมินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากแก๊ส LPG เท่ากับ 2,975 บาท

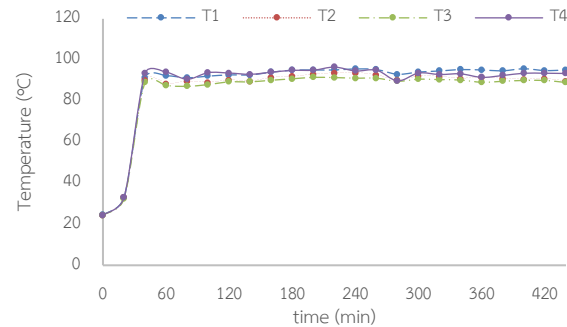


Figure 17 Temperatures in the drying oven when using a burner.

4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้งของระบบเดิมและระบบใหม่

การเปรียบเทียบระบบเดิมกับระบบใหม่ จะเห็นได้ว่าการสร้างชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและการนำระบบให้ความร้อน 2 แบบ คือ การใช้ฮีตเตอร์และหัวเผา (Burner) เข้ามาเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในห้องมีความสม่ำเสมอมากกว่าการที่ไอแก๊สที่เป็นแบบ 1 วาล์ว ซึ่งการนำชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใช้ร่วมกับแก๊ส LPG แบบ 2 วาล์ว จะเป็นการนำแก๊สเหลวที่อุณหภูมิต่ำออกมา แล้วนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ ทำให้แก๊สที่วิ่งในท่อนั้นมีอุณหภูมิสูงและความดันสูง โดยการควบคุมอุณหภูมิในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำให้อุณหภูมิก่อนเข้าตู้อบแห้งให้มีค่าอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกดัง Figure 18

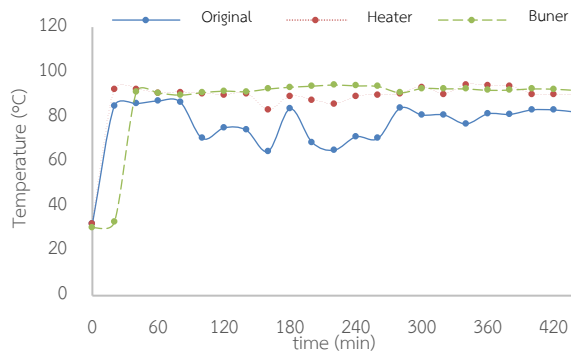


Figure 18 Comparison of the average temperature in the original, heater, and burner systems.

5 สรุป

การพัฒนาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแหล่งความร้อนที่นำมาใช้สำหรับการระเหยแก๊สของกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก ด้วยการนำหลักการของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาช่วยในการทำให้แก๊สที่เป็นของเหลวกลายเป็นไอแก๊สได้รวดเร็วขึ้นและไม่เกิดการเกาะของไอน้ำ หรือการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ตัวถังแก๊ส ซึ่งลักษณะนี้จะต้องใช้ร่วมกับแก๊ส LPG แบบ 2 วาล์ว เนื่องจาก แก๊ส LPG แบบ 2 วาล์วนี้จะมีท่อดูดแก๊สจากสถานะที่เป็นของเหลวยาวไปถึงก้นถัง เป็นการนำเอาแก๊สที่เป็นของเหลวขึ้นมาแลกเปลี่ยนในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ได้ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับแก๊ส LPG ในท่อ สำหรับเปลี่ยนสถานะให้แก๊สกลายเป็นไอน้ำที่ท่อขดทองแดงในชุดอุปกรณ์นั้น ซึ่งใช้แหล่งพลังงานความร้อนเป็นฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้กับน้ำ และอีกทางเลือกหนึ่งสามารถนำเศษแก๊สที่เหลือกันถึงมาจุดให้ความร้อนกับน้ำ การใช้ระบบนี้เข้ามาทดแทนระบบเดิมในการแก้ไขปัญหาสามารถใช้แก๊สได้หมดถึง และยังสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งให้มีค่าคงที่ ทำให้มีความร้อนสำหรับการอบแห้งแบบสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงของ LPG จากปริมาณการใช้พิจารณาจากน้ำหนักแก๊สพบว่า ระบบเดิมมีต้นทุนการใช้แก๊ส 3,735 บาท (น้ำหนักแก๊สที่ใช้รวมกับน้ำแก๊สเหลือกันถึง) ระบบใหม่ที่มีชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ฮีตเตอร์และหัวเผา มีต้นทุนการใช้แก๊ส 3,165 บาท และ 2,975 บาท ตามลำดับ (คิดจากน้ำหนักแก๊สที่โลกกรัมละ 25 บาท) และสามารถลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจาก LPG คิดเป็นร้อยละ 15.85 และ 20.34

6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ในการวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและชีวภาพ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา เชียงใหม่ ในรูปแบบสหกิจศึกษาในสถานประกอบการ ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากรทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ความร่วมมือ และข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ขอขอบคุณที่ให้โอกาสนักวิจัยได้ศึกษาและทำวิจัยเรื่องนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

7 เอกสารอ้างอิง

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 1997. ASHRAE Handbook – Fundamentals. (6th ed.). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, G.A., U.S.
- Jamshidi, N., Farhadi, M., Ganji, D., Sedighi, K. 2013. Experimental analysis of heat transfer enhancement in shell and helical tube heat exchangers. *Applied Thermal Engineering* 51, 644–652.
- Jinliang, X., Chuanyong, Y., Wei, Z., Dongliang, S. 2015. Turbulent convective heat transfer of CO₂ in a helical tube at near-critical pressure. *Journal of Heat and Mass Transfer* 80, 748–758.
- Junphong, A., Sukjak, N., Singkaew, P., Prakhomthong, T., Yeunyongkul, P., Nattaporn C., Munsin, R. 2021. Design and development of LPG vaporizer with automatic control system for ceramic factory. *Proceeding of the 13th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being*, 46– 55. 18 September 2021, Online, Thailand.
- Shi, G.H., Aye, L., Liu, Y.C., Du, X.J. 2018. Dynamic simulation of liquefied petroleum gas vaporisation for burners. *Applied Thermal Engineering* 137, 575–583.
- Tuan, N. T., Donga, N. P. 2021. Theoretical and experimental study of an injector of LPG liquid

phase injection system. Energy for Sustainable Development 63, 103–112.



การศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบการทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

A study of the ability to reduce the temperature and increase the relative humidity of a greenhouse using an evaporative cooling pad system

วัศพล จันพายัพ^{1*}, เทวรัตน์ ตรีอานรรค¹, กระวี ตรีอานรรค²

Watsapon Junpayap^{1*}, Tawarat Treeamnuk¹, Krawee Treeamnuk²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

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

²School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

*Corresponding author: Tel: +66-8-2865-5058, E-mail: watsapon.m6402679@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (EC) และระบบระบายอากาศด้วยพัดลม (NEC) ด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. เป็นเวลา 4 วัน แบ่งเป็นระบบ EC 2 วัน และระบบ NEC 2 วัน ผลการทดสอบ พบว่าระบบ EC สามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 5-8°C ในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างเย็น โรงเรือนมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยต่อวันที่ 18°C และ 78% ตามลำดับ ส่วนในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โรงเรือนมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยต่อวันที่ 28°C และ 85% ตามลำดับ ส่วนระบบ NEC สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้เล็กน้อยแต่ไม่สามารถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศได้ จะเห็นได้ว่าโรงเรือนที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำสามารถลดอุณหภูมิในโรงเรือนให้เหมาะสมแก่การปลูกพืชที่ต้องการอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 15-30°C แต่ในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์นั้นยังมีค่าเฉลี่ยสูงเกินกว่าที่พืชต้องการ ดังนั้นโรงเรือนเพาะปลูกนี้หากต้องการใช้เพาะปลูกพืชจะต้องทำการพัฒนาระบบให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชต่อไป

คำสำคัญ: โรงเรือนเพาะปลูก, ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ, อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

Abstract

The purpose of this research was to test the ability to reduce the temperature and increase the relative humidity in a greenhouse equipped with an evaporative cooling pad system. By collecting the temperature and relative humidity inside the greenhouse using the evaporative cooling system (EC) and the fan ventilation system or the Non-evaporative cooling pad system (NEC) with temperature and humidity sensors from 8:00 a.m. to 5:00 p.m. 4 days, divided into 2-day EC system and 2-day NEC system. The test results show that the EC system

Received: 8 August, 2023

Revised: 30 April, 2024

Accepted: 30 April, 2024

Available Online: 28 December, 2024

can reduce the average daily temperature to 5-8°C on a relatively cool day. The mean house temperature and relative humidity were 18°C and 78%, respectively. The average daily house temperature and relative humidity were 28°C and 85%, respectively. It can be seen that houses equipped with evaporative cooling systems can control the temperature suitable for growing plants that require temperatures in the range of 15-30°C, but the relative humidity is still above average for plants need. Therefore, this greenhouse, if wanting to grow plants, will have to develop a system to control the relative humidity to suit the needs of plants in the future.

Keywords: Greenhouse, Evaporative cooling pad system, Temperature and relative humidity

1 บทนำ

ประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ผลผลิตทางการเกษตรจึงถือเป็นธุรกิจสำคัญที่สร้างรายได้ให้เกษตรกร มีทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ ในการปลูกพืชเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมการผลิตและควบคุมคุณภาพให้ได้มาตรฐาน แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ยังมักประสบปัญหาในการควบคุมการผลิตและคุณภาพ และพืชผักบางชนิดปลูกได้ในสภาพอากาศที่เหมาะสมเท่านั้น หากนำไปปลูกในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้ผลผลิตน้อยกว่าปกติหรือไม่สามารถปลูกได้ เพื่อให้ได้การผลิตและการควบคุมคุณภาพที่ได้มาตรฐานจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมแก่การปลูกพืช จึงมีการพัฒนาการปลูกพืชในระบบโรงเรือนซึ่งสามารถควบคุมการผลิตพืชให้ได้ทั้งปริมาณ คุณภาพ ตลอดจนช่วยป้องกันความเสียหายจากสภาพอากาศที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืชผัก

โรงเรือนเพาะปลูก (Greenhouse) คือสิ่งก่อสร้างที่มีโครงสร้างของผนังและหลังคาเป็นวัสดุโปร่งแสงที่ให้แสงซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชผ่านเข้ามาได้ และมีความสูงเพียงพอต่อการเข้าไปปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงาน โรงเรือนเพาะปลูกนั้นมีประโยชน์ที่สำคัญคือสามารถปกป้องพืชจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น อุณหภูมิ ศัตรูธรรมชาติ และภัยธรรมชาติต่างๆ ซึ่งยังสามารถควบคุมปัจจัยที่จำเป็นและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและช่วยเพิ่มผลผลิต ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดจนถึงปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ ซึ่งการปลูกพืชในโรงเรือนให้เจริญเติบโตได้นั้นอุณหภูมิในโรงเรือนควรอยู่ในช่วง 15-30°C (Sultan et al., 2016) และความชื้นสัมพัทธ์ควรอยู่ที่ 60-80% (Amani et al., 2020)

เนื่องด้วยสภาพอากาศในประเทศไทยนั้นจัดอยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้นจึงทำให้ในฤดูร้อนอุณหภูมิภายในโรงเรือนนั้นมีอุณหภูมิสูง มีการสะสมความร้อนภายในโรงเรือนและไม่มีการระบายอากาศออกสู่ภายนอก ส่งผลให้อุณหภูมิสูงเกินกว่าที่พืชต้องการจึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของพืช ในการแก้ปัญหาเรื่องความร้อนภายในโรงเรือน ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ จึงเป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในโรงเรือนเพาะปลูกในพื้นที่เขตร้อน มีข้อดีคือ สามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ซึ่งระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำที่นิยมใช้มี 2 ระบบ ได้แก่ แบบพ่นหมอก และแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำนั้นมีจุดเด่นกว่าแบบพ่นหมอกคือ สามารถลดอุณหภูมิได้รวดเร็ว และเพิ่มความชื้นในอากาศ โดยที่ความชื้นในอากาศที่ได้ไม่สูงเกินไปเหมือนกับแบบพ่นหมอกที่มีความชื้นสูงจนเกิดหยดน้ำไปเกาะที่ผิวใบพืชซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของพืชและประหยัดการใช้น้ำกว่าแบบพ่นหมอก ยิ่งไปกว่านั้น ความชื้นที่มากเกินไปจะทำให้เชื้อราและโรคต่างๆ เจริญเติบโตได้ดีและเข้าทำลายพืชได้ (FAO, 2013)

ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad system) เป็นระบบทำความเย็นที่ใช้แผ่นระเหยน้ำหรือแผงรังผึ้ง (Cooling pad) ร่วมกับพัดลม อาศัยหลักการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) คือเมื่ออากาศร้อนผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เปียก ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ของอากาศจะสูญเสียไป เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นการทำความเย็นแฝง (Latent heat) น้ำที่ระเหยจากแผ่นระเหยน้ำจะทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงและความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการระเหยนี้มาจากความร้อนของอากาศไม่จำเป็นต้องจัดหาพลังงานใดมาให้ความร้อน พัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งหน้าแผ่นระเหยน้ำทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ให้อากาศเคลื่อนที่ เมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะปลูกให้ต่ำกว่าสภาพอากาศภายนอกได้ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วจะสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 5-8°C สำหรับสภาพอากาศในประเทศไทย

แต่ยังมีปัจจัยหลายส่วนที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของโรงเรือน เช่น สถานที่ทดลอง ช่วงเวลาทำการทดลอง (นิติรงค์ และคณะ , 2558) ขนาดและความยาวของโรงเรือนที่ทำให้อุณหภูมิและความชื้นในแต่ละช่วงที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำไม่เท่ากัน (Xu et al., 2015)

ปัจจุบันโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำถูกนำมาใช้ในการปลูกพืชเชิงพาณิชย์ เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิต เช่น ภาณุวิชญ์ และคณะ (2560) ได้ใช้โรงเรือนปลูกสตรอเบอร์รี่ ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นประมาณ 2.5 เท่า Tsafaras et al (2021) ได้ปลูกมะเขือเทศ ผลผลิตน้ำหนักสดที่ได้เพิ่มขึ้น 14% ซึ่งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำเมื่อร่วมกับตาข่ายพรางแสง สามารถช่วยลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศภายในโรงเรือน (Aljubury and Ridha, 2017) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ทดสอบหาค่าความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการและเหมาะสมกับการทำการเกษตรได้ต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 โรงเรือนเพาะปลูก

โรงเรือนแบบปิดขนาด 4x8x3 m³ คลุมด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน หลังคาทรงโค้งคลุมเสริมด้วยตาข่ายพรางแสง 50 % ดัง Figure 1 ตั้งอยู่ที่อาคารจักรเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย (ตำแหน่งพิกัด ละติจูด 14.8925 N, ลองจิจูด 102.0039 E) ประกอบด้วยพัดลมหมุนเวียนอากาศขนาด 12 นิ้ว กำลังไฟ 27 W ปริมาณลม 15 ft³ min⁻¹ จำนวน 2 ตัวภายในโรงเรือน พัดลมระบายอากาศขนาด 16 นิ้ว กำลังไฟ 190 W ปริมาณลม 4,000 ft³ min⁻¹ จำนวน 4 ตัวด้านหน้าของโรงเรือนซึ่งทำหน้าที่ดึงอากาศภายในโรงเรือนออกสู่ภายนอกโรงเรือน แผ่นระเหยน้ำขนาด 1.8x3.6x0.15 m³ ด้านหลังโรงเรือน ใช้ปั๊มน้ำขนาด 0.5 HP มีอัตราการไหลของน้ำ 32 L min⁻¹ หมุนเวียนน้ำให้แผ่นระเหยน้ำ

2.2 การวัดค่าข้อมูลของสภาพอากาศและการใช้พลังงาน

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 ถูกติดตั้งภายในและภายนอกโรงเรือน โดยตำแหน่งการวัดที่ 1, 2, 3 อยู่ภายในโรงเรือนและตำแหน่งที่ 4 อยู่ภายนอก

โรงเรือน (สภาพแวดล้อม) ที่ระยะต่างๆ แสดงใน Figure 1 เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งประมวลผลโดยใช้บอร์ด Arduino Mega360 ในการรับข้อมูลและแสดงค่า ใช้ Solar power meter รุ่น TM-20813 ในการอ่านค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ใช้การตวงน้ำและเติมน้ำชัดเจนเพื่อหาปริมาณการใช้น้ำ การใช้พลังงานไฟฟ้าอ่านค่าจากมิเตอร์ไฟฟ้า

2.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง เป็นอัตราส่วนระหว่างผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำและอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ กับผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ ดังสมการ (1) (ASHARE, 2008)

$$Eff = \frac{T_{do} - T_{di}}{T_{do} - T_{wo}} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ T_{do} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, (°C)

T_{di} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ, (°C)

T_{wo} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, (°C)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก คืออุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้าเปียก เมื่อมีอากาศไหลผ่าน แสดงบนเส้นแนวทแยงของแผนภูมิไซโครเมตริก สามารถคำนวณได้จากสมการ (2) (Stull, 2011)

$$T_{wb} = T_{db} \tan^{-1}[0.151977(\%RH + 8.313659)^{1/2}] + \tan^{-1}(T_{db} + \%RH) - \tan^{-1}(\%RH - 1.676331) + 0.00391838(\%RH)^{3/2} \tan^{-1}(0.023101\%RH) - 4.686035 \quad (2)$$

เมื่อ T_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, (°C)

T_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ, (°C)

$\%RH$ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (%)

2.4 การทดสอบโรงเรือน

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ระบบ 1. ระบบทำความเย็นที่ไม่ใช้แผ่นระเหยน้ำ Non-evaporative cooling pad system (NEC) ซึ่งใช้พัดลมระบายอากาศอย่างเดียว ทำการทดสอบเมื่อ

วันที่ 29 มกราคม 2566 และวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2566 เป็นวันที่อากาศมีอุณหภูมิไม่สูงมาก (อากาศเย็น) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 17–29°C และวันที่อากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง (อากาศร้อน) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26–39°C ตามลำดับ โดยเปิดพัดลมของโรงเรือน 6 ตัว เพื่อใช้ในการระบายและดึงอากาศภายในโรงเรือนออกสู่ภายนอก โดยระบบ NEC จะไม่มีการหมุนเวียนน้ำที่แผ่นระเหยน้ำ 2. ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ Evaporative cooling pad system (EC) ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2566 และวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2566 เป็นวันที่อากาศมีอุณหภูมิไม่สูงมาก (อากาศเย็น) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 17–30°C และวันที่

อากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง (อากาศร้อน) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27–38°C ตามลำดับ โดยเปิดพัดลมของโรงเรือน 6 ตัว และเปิดปั๊มน้ำเพื่อใช้หมุนเวียนน้ำให้แผ่นระเหยน้ำ ซึ่งทั้ง 2 ระบบนี้เก็บข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 5 นาที ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้น้ำและค่ารังสีความร้อนดวงอาทิตย์เก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง เนื่องจากใช้เครื่องมือวัดค่าข้อมูล ซึ่งไม่ได้ใช้เซนเซอร์ในการรับข้อมูล จึงทำการวัดและเก็บข้อมูลโดยผู้ทดสอบ การทดสอบและเก็บข้อมูลอยู่ช่วงเวลา 08:00-17:00 น.

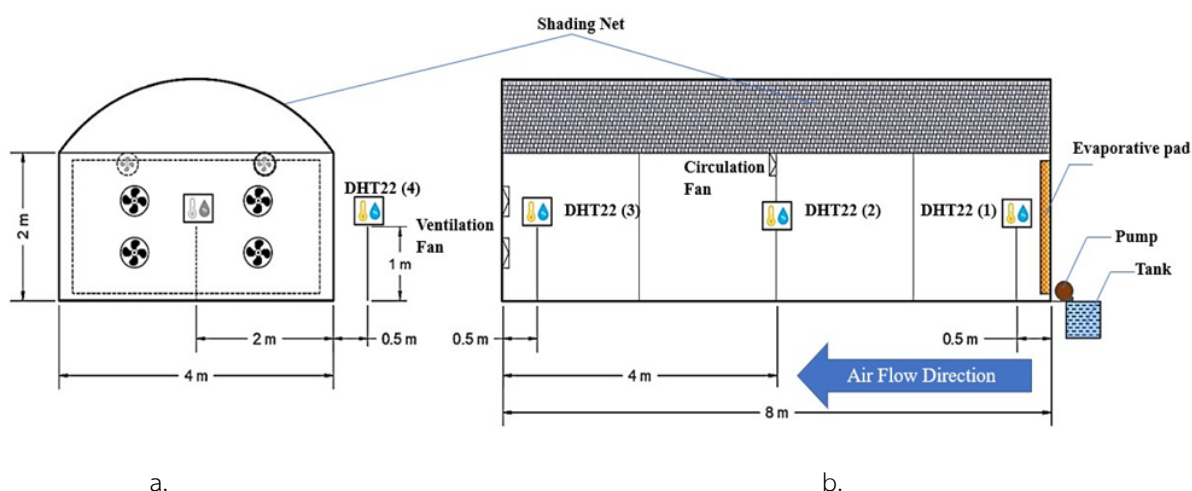


Figure 1 Component of greenhouse a. The front view of the greenhouse. b. The side view of the greenhouse.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกและภายในโรงเรือนแสดงใน Figure 2 พบว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) ภายนอกโรงเรือนของระบบ NEC และระบบ EC จะมีค่าอยู่ในช่วง 51-871 W m⁻² ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยที่ช่วงเวลา 12:00-13:00 น. จะมีค่าสูงสุด แต่ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของวันที่ 10/02/2023 ช่วงเวลา 12:00-15:00 น. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าวันอื่นๆ เนื่องจากช่วงเวลาที่วัดค่าข้อมูล มีเมฆฝนบังแสงอาทิตย์ ทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้มีค่าน้อย และค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือนของทั้งสองระบบจะมีค่าอยู่ในช่วง 4-114 W m⁻² จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าภายนอกโรงเรือน เนื่องมาจากหลังคาโรงเรือนได้ทำการติดตั้งตาข่ายพรางแสงเพื่อลดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือน โดยตาข่ายพรางแสงจะทำหน้าที่ดูด

ซับรังสีดวงอาทิตย์เอาไว้ ส่งผลให้อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในโรงเรือนมีค่าลดลง แต่ตาข่ายพรางแสงที่ดูดซับรังสีดวงอาทิตย์เอาไว้นั้นก็ก็จะค่อยๆ ปลดปล่อยพลังงานความร้อนให้ผ่านผนังโรงเรือนหรือแผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีนเข้าสู่โรงเรือนได้ แต่จะมีค่าความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการไม่คลุมตาข่ายพรางแสง ดังนั้นการติดตั้งตาข่ายพรางแสงช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนลงได้

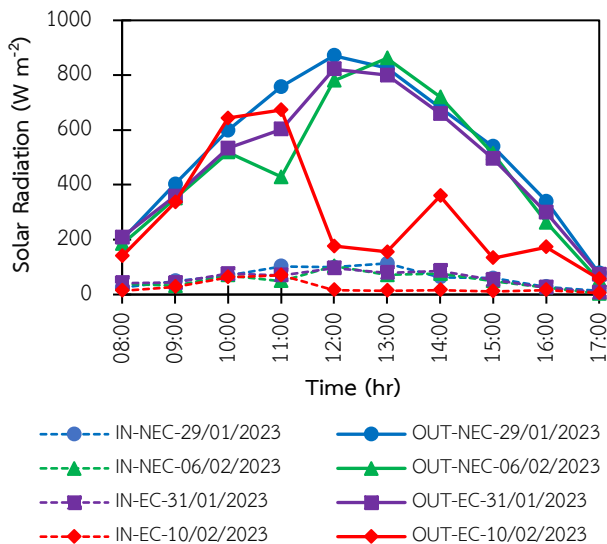


Figure 2 Solar Radiation.

3.2 อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศภายนอก โรงเรือนหรือสภาพแวดล้อม (Tout) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในโรงเรือน (T1, T2, T3) ที่ตำแหน่งการวัดค่าต่าง ๆ ที่ทำการติดตามเชอร์ พบว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนที่ทำการทดสอบระบบ NEC ในวันที่ 29/01/2023 ซึ่งเป็นวันที่อากาศเย็น (Figure 3) และวันที่ 06/02/2023 ซึ่งเป็นวันที่อากาศร้อน (Figure 4) มีความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 08:00-17:00 น. อยู่ที่ 17-29°C และ 26-38°C ตามลำดับ เมื่อระบบ NEC ทำงานต่อเนื่องส่งผลให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ย (Tavg) ภายในโรงเรือนจะมีความเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาดังกล่าวของทั้งสองวันอยู่ที่ 18-28°C และ 25-39°C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในวันที่ 29/01/2023 ระบบ NEC สามารถลดอุณหภูมิได้เล็กน้อยจากตำแหน่งแผ่นระเหยน้ำถึงกึ่งกลางโรงเรือน สังเกตได้จากตำแหน่งการวัด (T1, T2) ส่วนระยะท้ายโรงเรือนหรือก่อนที่พัดลมจะดูดอากาศออก (T3) แสดงใน Figure 3 จะมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกโรงเรือน ส่วนในวันที่ 06/02/2023 ซึ่งอากาศร้อน ระบบ NEC นั้นไม่สามารถลดอุณหภูมิในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนได้ สังเกตได้จากตำแหน่งการวัด (T1, T2, T3) แสดงใน Figure 4 จะเห็นได้ระบบ NEC ของทั้งสองวันนั้นไม่สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนลงได้ และเกิดการไล่ระดับของอุณหภูมิภายในโรงเรือนตามระยะทางจากแผ่นระเหยน้ำไปถึงพัดลมดูดอากาศ โดยที่ตำแหน่งใกล้แผ่นระเหยน้ำอุณหภูมิจะต่ำกว่าด้านหน้าโรงเรือนที่ติดตั้งพัดลมดูดอากาศออกภายนอกโรงเรือน เนื่องจากอากาศที่เข้าสู่โรงเรือนจะรับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เกิด

การสะสมความร้อนทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกในขณะ ที่อากาศเคลื่อนที่อุณหภูมิของอากาศจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น

จากการทดสอบระบบทำความเย็นของโรงเรือนที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (EC) พบว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือน ในวันที่ 31/01/2023 ซึ่งมีอากาศเย็น (Figure 5) และวันที่ 10/02/2023 ซึ่งมีอากาศร้อน (Figure 6) มีความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 08:00-17:00 น. อยู่ที่ 17-30°C และ 27-38°C ตามลำดับ เมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่องส่งผลให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยภายในโรงเรือนจะมีความเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาดังกล่าวของทั้งสองวันอยู่ที่ 13-20°C และ 26-30°C ตามลำดับ ซึ่งในวันที่ 31/01/2023 ระบบสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนโดยที่อุณหภูมิลดลงเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 7.9°C ส่วนในวันที่ 10/02/2023 ระบบสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันที่ 5.2°C และมีบางช่วงเวลาที่เกิดเมฆฝนทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงทำให้อุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงแสดงใน Figure 6 คล้ายกับงานวิจัยของ Mehmet and Silileli (2015) ซึ่งทำการศึกษาดูอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแนวลำตัวโรงเรือนซึ่งเป็นแนวลำเดียวกับ การปลูกพืชในโรงเรือนที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ร่วมกับตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งได้หลังคา ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนเฉลี่ย 7°C จะเห็นได้ว่าระบบ EC สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือน แต่ยังเกิดการไล่ระดับของอุณหภูมิเช่นเดียวกับระบบ NEC ที่กล่าวมาข้างต้น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนนั้นจะใกล้เคียงกับตำแหน่งของอุณหภูมิที่ตำแหน่งการวัดที่กึ่งกลางโรงเรือน

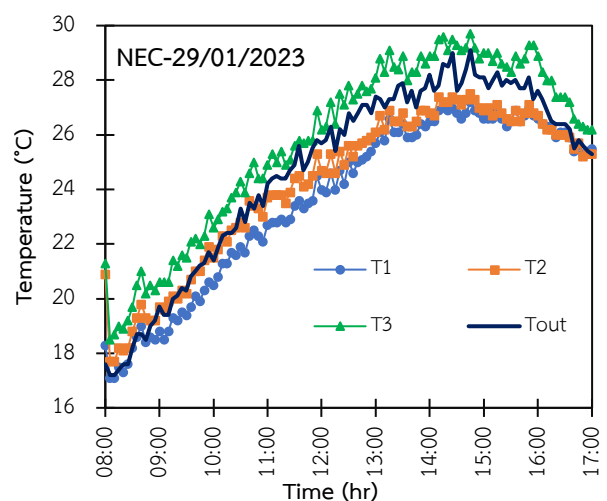


Figure 3 Temperature NEC 29/01/2023.

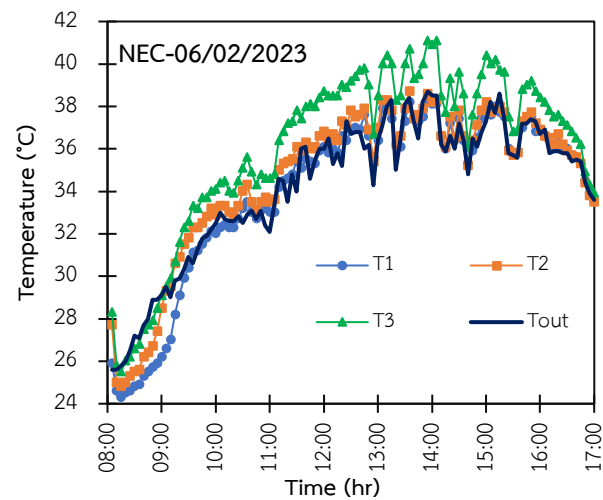


Figure 4 Temperature NEC 06/02/2023.

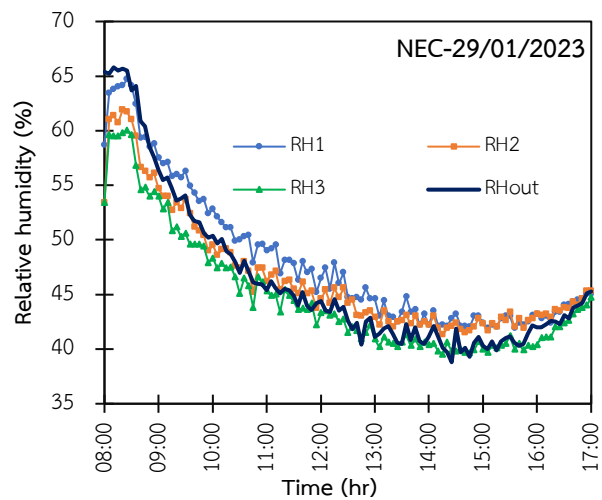


Figure 7 Relative humidity NEC 29/01/2023.

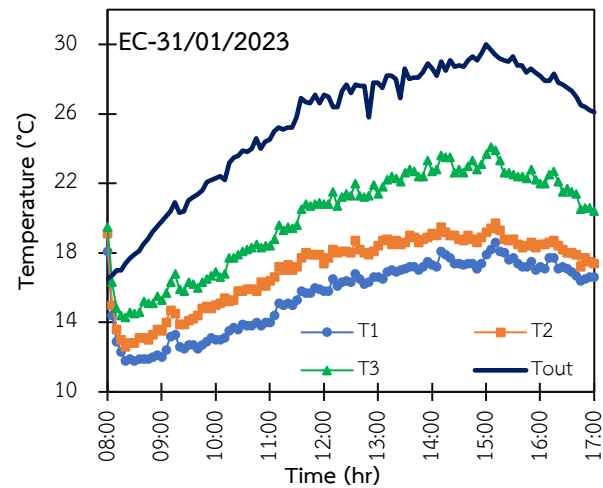


Figure 5 Temperature EC 31/01/2023.

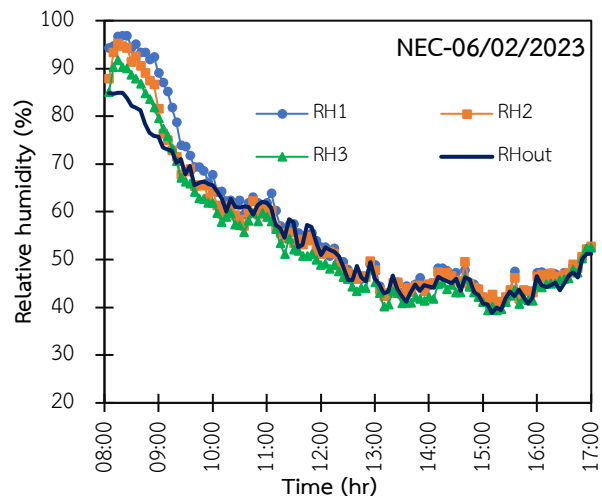


Figure 8 Relative humidity NEC 06/02/2023.

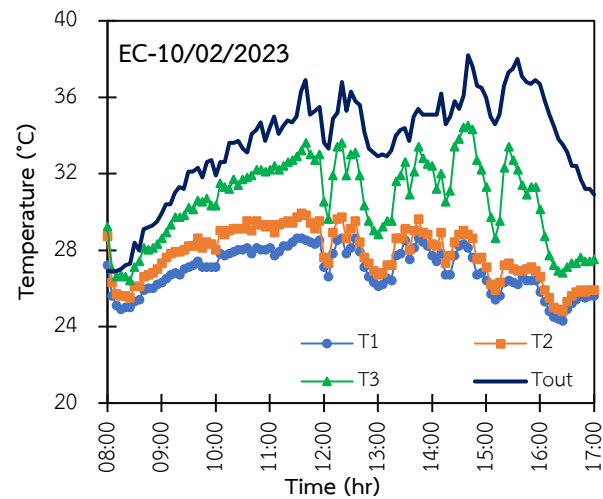


Figure 6 Temperature EC 10/02/2023.

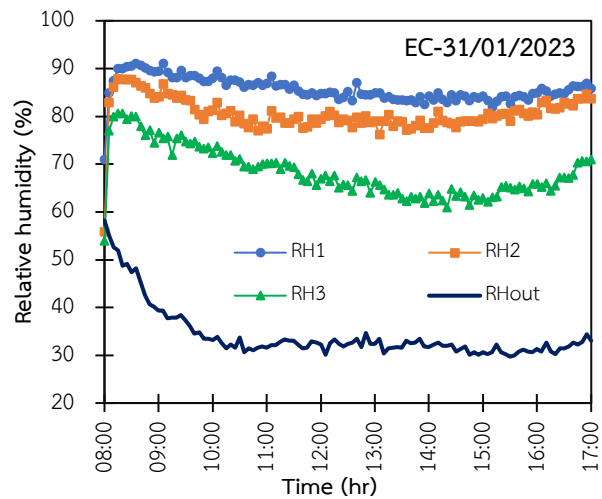


Figure 9 Relative humidity EC 31/01/2023.

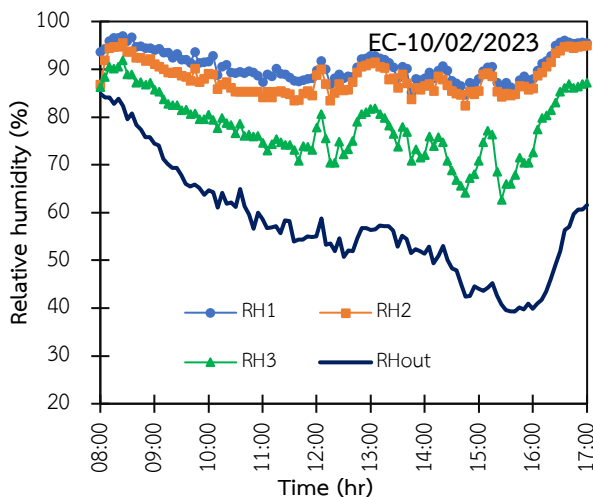


Figure 10 Relative humidity EC 10/02/2023.

3.3 ความชื้นสัมพัทธ์

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก โรงเรือนหรือสภาพแวดล้อม (RHout) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน (RH1, RH2, RH3) ที่ตำแหน่งการวัดค่าต่าง ๆ ที่ติดตั้งเซนเซอร์ พบว่าเมื่อระบบ NEC ทำงานอย่างต่อเนื่องความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจะมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนแสดงใน Figure 7 และ Figure 8 โดยในวันที่วันที่ 29/01/2023 ซึ่งมีอากาศเย็น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่อนข้างต่ำและลดต่ำลงเรื่อยๆ ตั้งแต่เวลา 08:00-15:00 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในช่วงเวลา 14:00-15:00 น. โดยมีค่าต่ำสุดคือ 38.3% เช่นเดียวกับในวันที่ 6/02/2023 ซึ่งมีอากาศร้อนค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดคือ 38.0% จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่อง ระบบ NEC นั้นไม่สามารถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศภายในโรงเรือนได้ แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับภายนอกโรงเรือน เนื่องจากเมื่อระบบทำงานต่อเนื่องจะส่งผลให้อากาศจากภายนอกโรงเรือนเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในโรงเรือนและถ่ายเทออกจากภายนอกโรงเรือนอย่างต่อเนื่อง จึงไม่มีการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ

เมื่อระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำหรือระบบ EC ทำงานอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพิ่มสูงขึ้น โดยในวันที่ 31/01/2023 ซึ่งเป็นวันที่อากาศเย็นมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่อนข้างต่ำแสดงใน Figure 9 เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 31.1% ส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 78.2% เช่นเดียวกับในวันที่ 10/02/2023 ซึ่งเป็นวันที่อากาศร้อนแสดงใน Figure 10 เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์

ภายนอกโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 57.3% ส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 85.4% จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่องสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้ เมื่ออากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เปียกชุ่มมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา น้ำจะระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งเป็นผลทำให้อากาศที่ผ่านตัวแผ่นระเหยน้ำเข้าใกล้สภาวะอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าเมื่อระบบ EC ทำงานอย่างต่อเนื่องค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนนั้นมีค่าไม่สม่ำเสมอ เกิดการไล่ระดับของค่าความชื้นสัมพัทธ์ตามระยะทางจากแผ่นระเหยน้ำไปถึงพัดลมดูดอากาศออกนอกโรงเรือน โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ใกล้แผ่นระเหยน้ำมีค่าสูง จากนั้นค่าความชื้นสัมพัทธ์ค่อยๆ ลดลงตามระยะทางเพิ่มขึ้น ($RH1 > RH2 > RH3$) สังเกตได้จากค่าความชื้นสัมพัทธ์ตามตำแหน่งที่ระยะต่างๆ แสดงใน Figure 9 และ Figure 10 ดังนั้นเมื่ออากาศในโรงเรือนเคลื่อนที่ อุณหภูมิจากตำแหน่งที่ 1-3 มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นในตำแหน่งที่ดังกล่าวเช่นกัน แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์แปรผันตามอุณหภูมิ

3.4 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

Figure 11 แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (EC) และผลต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ (Tdo-Tdi) พบว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นของวันที่ 31/01/2023 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 79.2% ซึ่งมากกว่าวันที่ 10/02/2023 ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 71.9% ทั้งนี้เนื่องจากในวันที่ 31/01/2023 มีสภาพอากาศที่เย็นและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าต่ำกว่าวันที่ 10/02/2023 ทำให้น้ำสามารถระเหยและเติมไอน้ำเข้าสู่อากาศได้มากกว่า ส่งผลให้อุณหภูมิลดลงได้มากกว่าซึ่งสามารถลดอุณหภูมิลงได้เฉลี่ย 7.9°C ในขณะที่วันที่ 10/02/2023 นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สูงกว่าทำให้สามารถเติมไอน้ำได้น้อยกว่า อุณหภูมิในอากาศจึงลดลงได้น้อยกว่าซึ่งสามารถลดอุณหภูมิลงได้เฉลี่ย 5.2°C จึงเห็นได้ว่าระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำนั้นสามารถช่วยลดอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนลงได้ $5-8^{\circ}\text{C}$ และสามารถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศได้

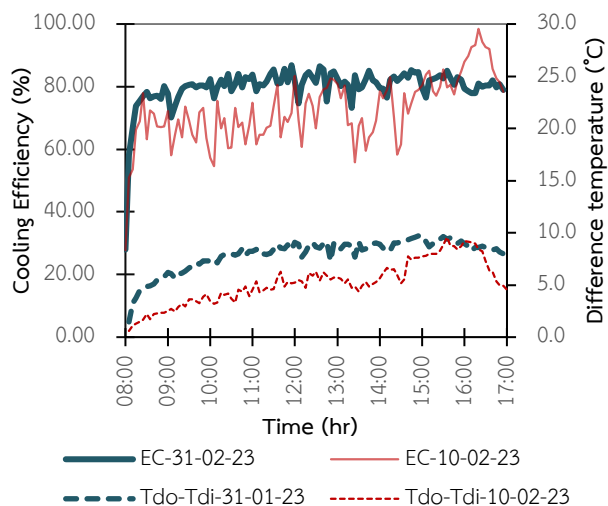


Figure 11 Cooling Efficiency.

3.5 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้า

การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนที่ใช้ระบบ NEC มีอัตราการใช้พลังงานต่อชั่วโมงละ 0.66 kWh ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนระบบ EC ที่มีอัตราการใช้พลังงานต่อชั่วโมงละ 0.75 kWh เนื่องจากระบบ EC มีการทำงานของปั้มน้ำที่ใช้หมุนเวียนน้ำให้แผ่นระเหยน้ำ โดยวันที่ 31/01/2023 มีการใช้น้ำสูงสุด 2 ช่วงเวลาคือ 14:00-15:00 น. และ 15:00-16:00 น. ซึ่งมีการใช้น้ำ 53 L และวันที่ 10/02/2023 การใช้น้ำสูงสุดที่ช่วงเวลา 14:00-15:00 น. ซึ่งมีการใช้น้ำ 45L จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้น้ำนั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศที่เข้าสู่โรงเรือนในแต่ละช่วงเวลา ทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกภายในโรงเรือนแสดงใน Figure 12 ซึ่งผลต่างมีค่ามากแสดงให้เห็นว่าอากาศในเวลานั้นแห้ง ส่งผลให้ระบบจะต้องสูญเสียน้ำมากขึ้นเพื่อระเหยให้กับอากาศแวดล้อมที่ผ่านระบบมากขึ้น

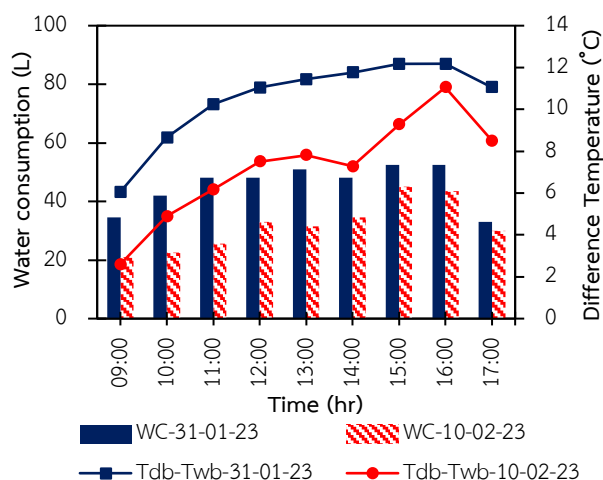


Figure 12 Water consumption.

4 สรุป

การศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูก พบว่าระบบ NEC ซึ่งใช้การเปิดพัดลมระบายอากาศเพียงอย่างเดียวสามารถลดอุณหภูมิได้เล็กน้อยและไม่สามารถเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนได้ เมื่อเทียบกับระบบ EC ที่ใช้พัดลมร่วมกับการจ่ายน้ำให้กับแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 5-8°C และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้สูงขึ้นได้อีก 28-47% แต่มีการใช้น้ำค่อนข้างสูงในช่วงที่อากาศร้อนและแห้ง ดังนั้นในการใช้งานในอนาคตควรมีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่การปลูกพืช เพื่อลดความสิ้นเปลืองของน้ำและพลังงานไฟฟ้า และสามารถนำไปปรับใช้กับเกษตรกรในระดับครัวเรือนได้จริงต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนเครื่องมือและพื้นที่ในการทดสอบ

6 เอกสารอ้างอิง

- นิติรงค์ พงษ์พานิช, วชรพล ชยประเสริฐ, ภัทรพร สัตยชาติเจตน์, อธิเดช มูลมั่งมี, ฤทธิญา แสงเพชรส่อง. 2558. การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบ Evaporative cooling. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 361-365. 17-19 มีนาคม 2558, บางนา, กรุงเทพมหานคร
- ภาณุวิชญ์ พุทธิรักษา, ปรีดา นาเทเวศน์, สุกฤษณา มงคล. 2560. ศักยภาพการทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนปลูกสตรอเบอรี่เชตร้อน. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13, 56-64. 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560, เมืองเชียงใหม่, เชียงใหม่
- Amani, M., Foroushani, S., Sultan, M., Bahrami, M. 2020. Comprehensive review on dehumidification strategies for agricultural greenhouse applications. Applied Thermal Engineering 181, 115979.
- Aljubury, I. M. A., Ridha, H. D. 2017. Enhancement of evaporative cooling system in a greenhouse using geothermal energy. Renewable Energy 111, 321-331.
- ASHRAE, 2008. ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2008.
- FAO. 2013. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Mehmet, A., Silleli, D. 2015. Performance analysis of a greenhouse fan-pad cooling system: Gradients of horizontal temperature and relative humidity. *Tarım Bilimleri Dergisi* 21(1), 132-143.
- Stull, R. 2011. Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50(11), 2267-2269.
- Sultan, M., Miyazaki, T., Saha, B. B., Koyama, S. 2016. Steady-state investigation of water vapor adsorption for thermally driven adsorption based greenhouse air-conditioning system. *Renewable Energy* 86, 785-795.
- Tsafaras, I., Campen, J. B., Stanghellini, C., de Zwart, H. F., Voogt, W., Scheffers, K., Harbi, A. A., & Assaf, K. A. 2021. Intelligent greenhouse design decreases water use for evaporative cooling in arid regions. *Agricultural Water Management*, 250.
- Xu, J., Li, Y., Wang, R. Z., Liu, W., Zhou, P. 2015. Experimental performance of evaporative cooling pad systems in greenhouses in humid subtropical climates. *Applied Energy* 138, 291-301.