

การพัฒนาเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไข่มดริน Development of a Complete Rice Milling Machine for Khai Mod Rin Rice

อนรรักษ์ ตรีเพชร¹ ชโลธร ศักดิ์มาศ¹ และปริญญา หม่อมพิบูลย์^{1*}
Anurak Tripetch¹ Chalotron Sakmas¹ and Parinya Mompiboon^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์เครื่องสีข้าวไข่มดรินครบวงจร โดยรวบรวมทั้งกระบวนการนวดข้าว กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก และกระบวนการสีข้าวอยู่ภายในชุดเดียว สามารถทำงานต่อเนื่องด้วยอุปกรณ์ชุดกระพ้อลำเลียงส่งต่อวัตถุดิบ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีต้นทุนต่ำ อีกทั้งสามารถสีได้ทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องและผลิตภัณฑ์ข้าวขาว เครื่องสีข้าวมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับกำลังการผลิตในระดับครัวเรือนหรือวิสาหกิจชุมชน วิธีการทดสอบเครื่องสีข้าวแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการนวดข้าว ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว โดยขั้นตอนที่ 1 ถึง ขั้นตอนที่ 3 ใช้ข้าวเปลือกจำนวน 100 กิโลกรัมต่อครั้งการทดสอบ ส่วนขั้นตอนที่ 4 ใช้ข้าวกล้องจำนวน 100 กิโลกรัมต่อครั้งการทดสอบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่า 1) ขั้นตอนการนวดข้าว ข้าวที่ใช้เคียวเก็บเกี่ยวข้าวใช้ระยะเวลา 14.15 นาที และข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าว (เครื่องมือเก็บข้าวของชาวนาภาคใต้ใช้เก็บข้าวที่ละรวง) ใช้ระยะเวลา 7.27 นาที 2) ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น อบข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ได้ค่าความชื้น 12.6 เปอร์เซ็นต์ 3) ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง ได้ปริมาณข้าวกล้องเฉลี่ย 64.4 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาการสีเฉลี่ย 33.8 ชั่วโมง ความสมบูรณ์ข้าวเฉลี่ย 79.2 เปอร์เซ็นต์ 4) ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว ได้ปริมาณข้าวขาวเฉลี่ย 84.4 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาการสีเฉลี่ย 4.24 ชั่วโมง ความสมบูรณ์ข้าวเฉลี่ย 88.5 เปอร์เซ็นต์ 5) ค่าไฟฟ้าที่ใช้สีข้าวเปลือกจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ข้าวขาวคิดเป็น 1.55 บาทต่อข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม

คำสำคัญ: นวดข้าว อบแห้งข้าวเปลือก สีข้าว ข้าวไข่มดริน

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* Corresponding author e-mail: parinya_mom@nstru.ac.th

Received: 15 August 2021, Revised: 4 October 2021, Accepted: 24 November 2021

Abstract

The aim of this research was to develop a complete Khai Mod Rin rice milling machine that combines the threshing, drying, and milling of rice in one device. This rice milling machine can be operated continuously with the bucket elevator conveying the raw material, which reduces the production time. The product obtained is inexpensive and can mill both brown rice and white rice. It is small and suitable for the production capacity of a household or a communal enterprise. The test method of the rice milling machine was divided into 4 steps: threshing, dehumidification, milling brown rice, and milling white rice. From step 1 to step 3, 100 kg of paddy was used for each test. In step 4, 100 kg of brown rice was used for each test. The results of the tests revealed that 1) the threshing step: threshing the paddy harvested with the sickle and the Kae (a harvesting tool used by southern Thai farmers to collect the rice one by one) took 14.15 and 7.27 minutes, respectively. 2) The step of dehumidification: after the paddy was dried at 70 degrees Celsius for 3 hours, the moisture content was 12.6 percent. 3) The step of milling brown rice: the average yield of brown rice was 64.4 kg. The average rice milling time was 33.8 hours. The average maturity of the rice was 79.2 percent. 4) The step of milling white rice: the average yield of white rice was 84.4 kg. The average time for polishing rice was 4.24 hours. The average maturity of the rice was 88.5 percent. 5) The electricity cost of milling the paddy into the white rice was 1.55 baht per 1 kg of paddy.

Keywords: Rice threshing, Paddy drying, Rice milling, Khai Mod Rin rice

บทนำ

จังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ทั้งสิ้น 6,214,064 ไร่ พื้นที่ 286,120 ไร่ (ข้าวนาปี) คิดเป็นร้อยละ 9.4 พบว่าการปลูกข้าวนาปี ปี 2559/2560 อำเภอที่มีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวมากที่สุด คือ อำเภอหัวไทร จำนวน 78,872 ไร่ (สำนักงานสถิติ จังหวัดนครศรีธรรมราช, 2561)

ข้าวไข่มดรีน เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดนครศรีธรรมราช มีถิ่นกำเนิดในอำเภอหัวไทร มีลักษณะเมล็ดเล็กยาวเรียว เหมือนไข่ของมดลิ้น เมล็ดข้าวเปลือก กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ $2.50 \times 9.47 \times 1.90$ มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ $2.0 \times 6.9 \times 1.7$ มิลลิเมตร มีปริมาณอะไมโลสปานกลางประมาณ 21.80-23.74 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพการสีดีมาก ให้ข้าวเต็มเมล็ด ลักษณะประจำพันธุ์เป็นข้าวเจ้า มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนมากกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ ข้าวไข่มดรีน เมื่อผ่านการหุงเสร็จแล้ว จะสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไปประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ ที่สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไปประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ข้าวไข่มดรีนมีรสชาติ หอม

มัน มีรสนุ่ม เนื้อแน่นเต็มเมล็ด รับประทานง่าย ไม่แข็งกระด้าง (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2561)

ทีมวิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจข้อมูลเกษตรกร ตำบลเขาพังไกร และตำบลควนชะลิก อำเภอยะหริ่ง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไม่เต็มต้นนิยมขายข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวให้แก่โรงสีข้าว เก็บข้าวเปลือกบางส่วนไว้บริโภคและเป็นเมล็ดพันธุ์สำหรับปลูกในรอบปีถัดไป การนำข้าวมาบริโภคเกษตรกรต้องนำข้าวไปสีโรงสีข้าว ทำให้ต้นทุนในการผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ขั้นตอนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารหลังการเก็บเกี่ยวนั้นต้องใช้ระยะเวลาและความเอื้ออำนวยของสภาพอากาศเนื่องจากในช่วงฤดูฝนไม่เหมาะต่อการตากข้าว (ปิยะพงษ์ และศักดิ์, 2562) ยังรวมถึงสถานที่สำหรับตากแห้งไล่ความชื้นของข้าวที่ต้องอาศัยพื้นที่มาก ทำให้เกิดปัญหาการนำข้าวมาตากตามท้องถนนส่งผลให้เกิดปัญหาอุบัติเหตุและปัญหาทางสังคมตามมา ทางผู้วิจัยจึงคิดหาวิธีการแก้ปัญหาตรงส่วนนี้โดยให้เกษตรกรพึ่งพาตนเองให้มากที่สุด การแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการนวดข้าว กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก และกระบวนการสีข้าว การออกแบบและสร้างเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่หมด สามารถทำงานต่อเนื่องด้วยอุปกรณ์ชุดกระพ้อลำเลียงส่งต่อวัตถุดิบ มีดังนี้

1) กระบวนการนวดข้าว คือการแยกข้าวเปลือกที่ติดอยู่กับฟางข้าวออกจากกัน กระทำได้หลายวิธี เช่น การเหยียบ การฟาด การใช้เครื่องนวด จากการศึกษาพบว่าการใช้เครื่องนวดข้าวที่มีขนาดเล็กเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับครัวเรือนกลุ่มเกษตรกรมากที่สุด และยังทำให้ได้ปริมาณเมล็ดข้าวเปลือกดีกว่าการใช้รถเกี่ยวข้าว (สมชาย และวินิต, 2554) สมรรถนะเครื่องนวดข้าวขนาดเล็กแบบแถบนวด โดยใช้ตัวนวดข้าวภายในแบบแถบไหลตามแกน ซึ่งทำให้มีน้ำหนักเบาและให้ประสิทธิภาพที่ออกมาค่อนข้างดี (Zhong *et al.*, 2021) การติดตั้งชุดลูกป็นทำให้ลดแรงเสียดทานขณะหมุนของแถบนวดเพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนตรงตัวนวดข้าว (ชัยยันต์ และคณะ, 2558) เครื่องนวดข้าวแบบป้อนฟ่อนข้าวที่มีการออกแบบให้สามารถเป่าเมล็ดข้าวลีบและเศษฟางออกมาได้ โดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง ใช้งานได้ง่ายสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

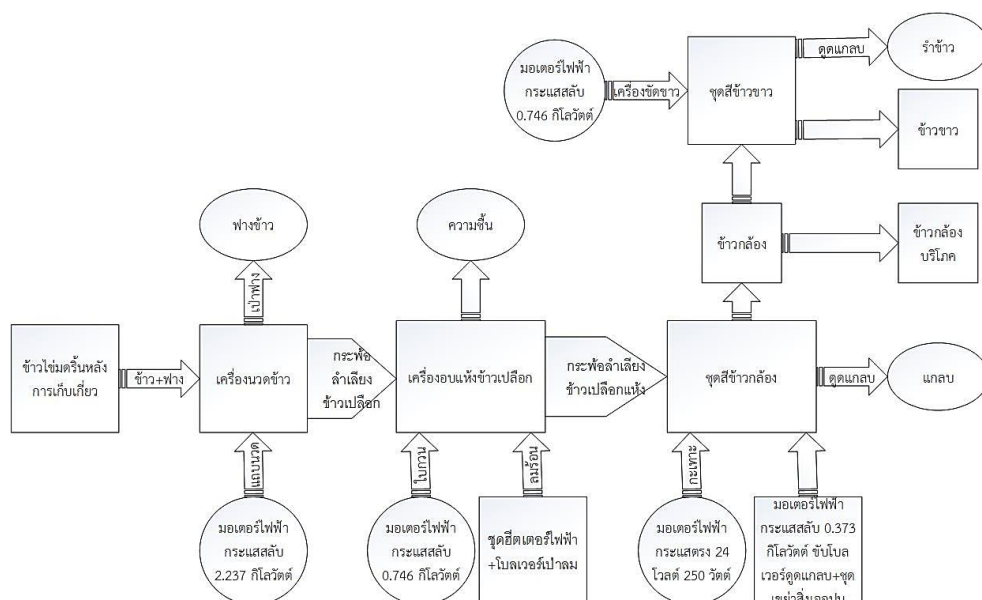
2) กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก การอบไล่ความชื้นมีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวเป็นอันมากการอบแห้งโดยควบคุมอุณหภูมิ เวลา ความเร็วของอากาศให้มีความเหมาะสมส่งผลให้ได้ข้าวมีคุณภาพดี (สุชาติ และคณะ, 2555; สุรพงษ์ และไกรสร, 2559; พิรสิทธิ์ และคณะ, 2557; Weerachet *et al.*, 2010) เครื่องลดความชื้นแบบฟลูอิดไดซ์-เบด สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพที่ดี จึงเลือกออกแบบถังอบแบบฟลูอิดไดซ์-เบด ในการออกแบบเครื่องอบไล่ความชื้นสิ่งที่คำนึงถึงอันดับแรกคือความชื้นของข้าวเปลือกในระดับที่ต้องการลด ข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ที่ 12-13 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมต่อการนำไปสีมากที่สุด (ธีรศาสตร์ และคณะ, 2560) อุณหภูมิของการอบแห้งแบบมีการไหลของลมร้อนที่เหมาะสมคือ 70 องศาเซลเซียส

3) กระบวนการสีข้าว เป็นการกะเทาะข้าวเปลือกออกจากข้าวสาร จากการศึกษาพบว่าเครื่องสีข้าวขนาดเล็กมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับครัวเรือน (วิวัฒน์ และมฤตติ, 2558; สุรสิทธิ์, 2553) อีกทั้งสามารถสีได้ทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง (ธนัสต์ และคณะ, 2558) และข้าวขาว (ภัทรารุช และคณะ, 2563) หาประสิทธิภาพในการสีข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และระยะห่างของลูกกลิ้ง เพื่อลดการแตกหักของข้าว

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อประดิษฐ์เครื่องสีข้าวไม่ครั้นครบวงจร สำหรับสีข้าวไม่ครั้น โดยรวบรวมทั้งกระบวนการนวดข้าว กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก และกระบวนการสีข้าวอยู่ภายในชุดเดียว สามารถทำงานต่อเนื่องด้วยอุปกรณ์ชุดกระพ้อลำเลียงส่งต่อวัตถุดิบ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับการผลิตในระดับครัวเรือน หรือวิสาหกิจชุมชน เมื่อปริมาณข้าวที่สีแต่ละครั้งมีความเพียงพอต่อการรับประทานทำให้ข้าวมีความสดใหม่ ทำให้มีคุณภาพและคุณค่าทางสารอาหารสูง หากจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่มีคุณภาพ นอกจากนี้เศษข้าวที่เหลือจากการบริโภคที่มาจากครัวเรือนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ (เอนก และคณะ, 2564) เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนใช้ในครัวเรือน

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ครั้น มีขั้นตอนการทำงานตามบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 1 เริ่มการทำงานโดยนำข้าวที่ผ่านการเก็บเกี่ยวเข้าเครื่องนวดเพื่อแยกข้าวออกจากฟางข้าว ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการนวดออกไปยังกระพ้อลำเลียงส่งเข้ายังเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ภายในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกมีใบพัดกวนข้าว และมีชุดฮีตเตอร์ไฟฟ้ากับโบลเวอร์เป่าลมร้อนจากทางด้านล่างของเครื่อง ในส่วนนี้ลมร้อนจะไหลผ่านข้าวเปลือกทำให้ความชื้นภายในข้าวเปลือกลดลง ข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่ออกจากเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกไปยังชุดกระพ้อลำเลียงไปยังเครื่องสีข้าว โดยเครื่องสีข้าวทำงาน 2 ระบบ คือ 1) สีข้าวกล้อง ข้าวเปลือกเข้ายังชุดสีข้าวกล้องในชุดอุปกรณ์นี้จะทำการกะเทาะเปลือกข้าวออกผลิตผลิตภัณฑ์ได้คือ ข้าวกล้อง และแกลบ 2) สีข้าวขาว ข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกข้าวจากชุดสีข้าวกล้อง ไหลผ่านยังชุดสีข้าวขาวเพื่อทำการขัดขาวได้ผลิตภัณฑ์ข้าวขาว และรำข้าว เมื่อพิจารณา ออกแบบ สร้างและเลือกใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ครั้น

1. กระบวนการนวดข้าว หลักในการออกแบบเครื่องนวดข้าวที่เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ประกอบของเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับข้าวไม่ดรีน ออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย และปลอดภัย เมื่อทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการสร้างเครื่องนวดข้าวมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องนวดข้าว มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ 1) ใช้เครื่องยนต์ 2) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป ในการออกแบบครั้งนี้ทางทีมวิจัยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน เนื่องด้วยมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าเครื่องยนต์ ราคาที่ถูกลง และไม่ปล่อยมลพิษออกมาทำลายสิ่งแวดล้อม แต่พลังกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องยนต์

ออกแบบให้ชิ้นส่วนในการทำงานมีน้ำหนักเบาและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน แบบขึ้นงาน และอุปกรณ์ประกอบเครื่องนวดข้าว ดังภาพที่ 2 โดยใช้ตัวนวดข้าวภายในแบบแถบไหลตามแกน ทำให้มีน้ำหนักเบาและให้ประสิทธิภาพที่ออกมาค่อนข้างดี มีการเป่าเมล็ดข้าวลีบและเศษฟางออกมา โดยใช้ใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว เป็นอุปกรณ์สร้างลมเป่า ทำให้ลดขั้นตอนของการทำความสะอาดข้าวเปลือกก่อนเข้ากระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกและกระบวนการสีข้าว

การคำนวณกำลังของมอเตอร์ได้ จากสมการ (1)

$$P = \frac{2\pi \times T \times N}{60} \quad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังมอเตอร์ มีหน่วยเป็น วัตต์ T คือ แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร N คือ ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

การคำนวณภาระของเพลลาที่ได้รับ จากสมการ (2)

$$T = \frac{Hp \times 60}{2\pi N} \quad (2)$$

เมื่อ T คือ ภาระของเพลลา Hp คือ แรงม้าของมอเตอร์ N คือ ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที จากการคำนวณกำลังมอเตอร์ในขั้นต้น ได้กำลังมอเตอร์ที่ใช้คือ ขนาด 3 แรงม้า (2.237 กิโลวัตต์)

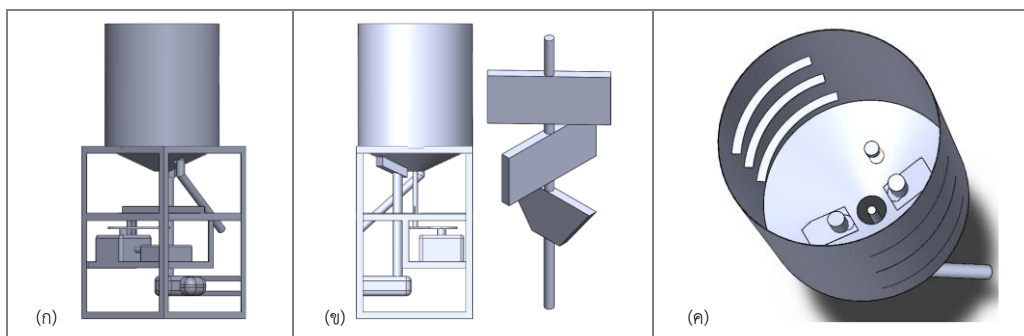


ภาพที่ 2 แบบชิ้นงาน และอุปกรณ์ประกอบเครื่องนวดข้าว

- (ก) แบบเครื่องนวดข้าว (หน้า) (ข) แบบเครื่องนวดข้าว (หลัง) (ค) แบบแถบนวดไหลตามแกน
 (ง) เครื่องนวดข้าว (จ) ชิ้นนวดข้าวกับถังนวดด้านล่าง (ฉ) ทางออกข้าวเปลือก
 (ช) แถบนวดข้าว (ซ) ฝาปิดบนติดตั้งครีบบางเดือน (ณ) พัดลมเป่าข้าวสับ

2. กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก เมื่อข้าวผ่านการนวดเพื่อแยกเมล็ดข้าวออกมาแล้วนั้น ข้าวยังมีความชื้นสูงอยู่หากนำไปสีจะทำให้ข้าวที่สีนั้นแตกหักง่ายเป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวดีลดน้อยลง และข้าวจะเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องลดความชื้นข้าวเปลือกก่อนนำไปสู่กระบวนการสีข้าว ออกแบบให้ขนาดเครื่องมีขนาดเล็ก อบข้าวได้ครั้งละ 100-150 กิโลกรัม (คิดตามขนาดของแปลงปลูกข้าวไร่ของเกษตรกร ประมาณ 1 ไร่ต่อแปลงนา โดยอัตราผลผลิตข้าวไร่ประมาณ 400-450 กิโลกรัมต่อแปลงนา อัตราการผลิตที่เกษตรกรสามารถเก็บรักษาข้าวไว้จำหน่ายและบริโภคครั้งละ 100-150 กิโลกรัม) โดยออกแบบถังอบแห้งข้าวเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.70 เมตร ขนาดความสูง 1 เมตร ภายในถังติดตั้งครีบบางเดือนจำนวน 6 ครีบ เพื่อให้เกิดการหมุนวนข้าวเมื่อใบกวนหมุน แบบชิ้นงาน และอุปกรณ์ประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ดังภาพที่ 3 และ 4 การอบแห้งข้าวเป็นแบบแบบฟลูอิดไดซ์-เบต ออกแบบให้ข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่โดยอาศัยใบพัดกวนข้าว ที่รับกำลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า (0.746 กิโลวัตต์) มีความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที ผ่านชุดเกียร์ทดรอบ 1:60 ทำให้ใบกวนหมุนด้วยความเร็ว 24 รอบต่อนาที ชุดเป่าลม

ร้อนติดตั้งอยู่ด้านล่างถังอบ ประกอบด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบท่อขดลดความร้อนขนาด 3,000 วัตต์ ควบคุมการทำงานด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ เป่าลมร้อนเข้าถังอบด้วยโบลเวอร์ไฟฟ้า ขนาด 260 วัตต์ มีความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ความเร็วลมเป่า 5.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ ที่ตั้งไว้สำหรับอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์-เบด เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ความชื้น ข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ที่ 12-13 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 3 แบบชิ้นงาน เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (ก) แบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (ข) แบบใบกวนข้าวภายในถัง (ค) แบบถังด้านในติดครีบบงเดียน

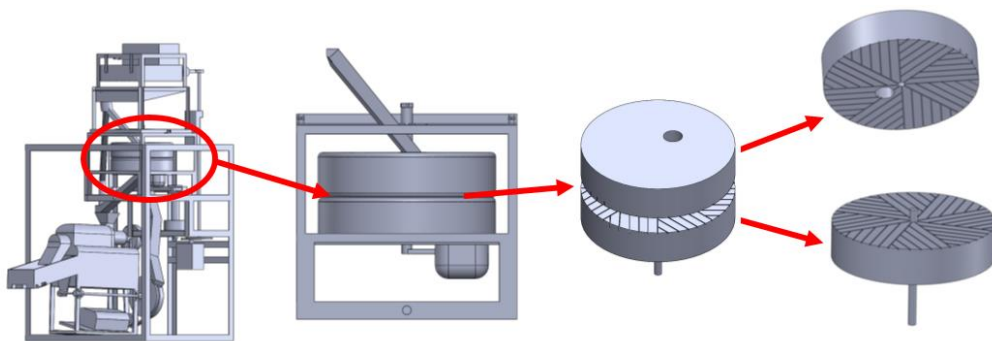


ภาพที่ 4 อุปกรณ์ประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (ก) เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (ข) ใบกวนข้าวภายในถัง (ค) ชุดเป่าลมร้อน (ง) ถังด้านในติดครีบบงเดียน

3. กระบวนการสีข้าว การออกแบบเครื่องสีข้าวสำหรับสีข้าวไม่ครั้นได้ออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนที่กะเทาะข้าวเปลือก 2) ส่วนที่เป็นเครื่องขัดข้าวขาว ซึ่งในส่วนที่ 1 นั้นข้าวที่ได้มา จะเป็นข้าวกล้อง และส่วนที่ 2 ข้าวที่ได้มาเป็นข้าวสารขาว

การออกแบบเครื่องสีข้าวกล้องเป็นส่วนแรกของการทำงานของเครื่องสีข้าว การออกแบบ ชุดหัวกะเทาะข้าวที่สร้างด้วยไม้เนื้อแข็ง ดังภาพที่ 5 ออกแบบโดยใช้หลักการสีข้าวแบบโบราณทำให้ ไม่มีสิ่งเจือปนจำพวกหินหรือยางที่หลุดจากหัวกะเทาะ โดยหัวกะเทาะสร้างด้วยไม้มะขามซึ่งเป็นไม้ เนื้อแข็งทำการเซาะร่องรูปตัววีทำมุม 45 องศา ขนาดของร่องตัววี กว้าง x ลึก เท่ากับ 2.0 x 0.6 มิลลิเมตร (ออกแบบขนาดของร่องรูปตัววีจากขนาดเมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา ประมาณ

2.0 × 6.9 × 1.7 มิลลิเมตร) สลับทางกันที่หน้าสัมผัสกะเทาะเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกที่กะเทาะเปลือกออกเป็นข้าวกล้องตกในร่องที่ชะและวิ่งออกโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากการหมุนของชุดหัวไม้กะเทาะออกไปทางด้านนอกโดยมีมอเตอร์กระแสตรง ขนาด 24 โวลต์ 250 วัตต์ การเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าได้คำนวณจากแรงในการทำให้ข้าวเปลือกข้าวแตกออก (แรงเฉือน) คำนวณได้จากสมการ (3) และ (4) สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของตัวมอเตอร์ได้ ทำให้ข้าวมีความสมบูรณ์สูงมีจมูกข้าวติดอยู่ด้วย แกลบก็โดนชุดพัดลมดูดออกไปเก็บไว้ในที่เก็บแกลบโดยมีมอเตอร์กระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 0.5 แรงม้า (0.373 กิโลวัตต์) เป็นต้นกำลังในการขับพัดลมดูดแกลบและขับชุดเขย่าแยกสิ่งเจือปนจากข้าวเปลือกก่อนเข้าเครื่องกะเทาะ และยังขับเคลื่อนชุดเขย่าแยกสิ่งเจือปนข้าวเปลือกก่อนเข้าเครื่องสีข้าว ข้าวกล้องที่ผ่านการสีข้าวไหลลงด้านล่างตามแรงโน้มถ่วงของโลก แยกทางออกเป็น 2 ช่อง คือทางออกไปใช้บริโภค และทางออกไปขัดขาว ชุดเครื่องขัดขาวใช้มอเตอร์กระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 1 แรงม้า (0.746 กิโลวัตต์) เป็นต้นกำลัง ข้าวที่ผ่านการขัดขาวออกมาทางช่องทางข้าวขัดขาวออก มีถาดคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดกับข้าวหัก ติดอยู่เพื่อทำการคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดกับข้าวหักออกจากกัน



ภาพที่ 5 แบบชิ้นงานเครื่องสีข้าวกล้อง

การคำนวณหาค่าแรงเฉือนที่ใช้การกะเทาะเปลือกข้าว จากสมการ (3) (พิชัย, 2549)

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (3)$$

เมื่อ τ คือ แรงเฉือนที่ใช้ในการกะเทาะเปลือกข้าว P คือ แรงเฉือนสูงสุด A คือ พื้นที่ที่ถูกเฉือน

การคำนวณหาแรงบิดของเพลารอบชุดสีข้าว จากสมการ (4) (พิชัย, 2549)

$$T = P \times r \quad (4)$$

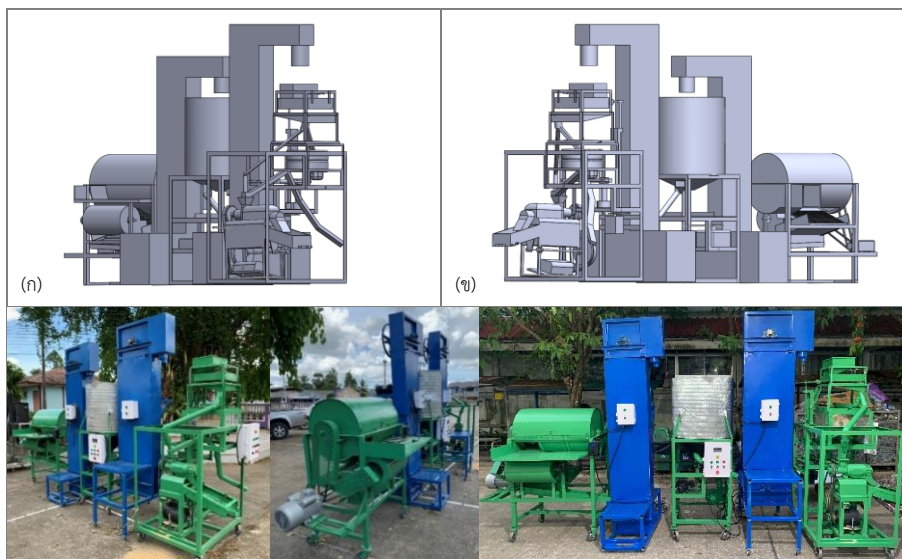
เมื่อ T คือ แรงบิด P คือ แรง r คือ รัศมีล้อสีข้าว

การคำนวณค่าไฟฟ้า จากสมการ (5) (พิชัย, 2549)

$$\text{ค่าไฟฟ้า (บาท)} = \text{หน่วยไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)} \times \text{อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)} \quad (5)$$

หาหน่วยไฟฟ้าได้ จากสมการ (6)

$$\text{หน่วยไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)} = \text{กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)} \times \text{ชั่วโมง (ระยะเวลาใช้งาน)} \quad (6)$$



ภาพที่ 6 แบบ และภาพถ่ายเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่มดรีน

(ก) แบบเครื่องด้านหน้า (ข) แบบเครื่องด้านหลัง

เครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่มดรีนมีรูปแบบลักษณะการออกแบบเครื่อง (ภาพที่ 6) ทำงานต่อเนื่อง 3 กระบวนการขนถ่ายวัตถุดิบด้วยอุปกรณ์ชุดกระพ้อลำเลียง โดยชุดกระพ้อลำเลียงเชื่อมต่อการส่งวัตถุดิบระหว่างกระบวนการ ดังนี้ คือ 1) ขนถ่ายข้าวเปลือกที่มาจากกระบวนการนวดข้าวไปยังกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกส่งเข้าทางด้านบนของถังอบแห้ง 2) ขนถ่ายข้าวเปลือกแห้งที่ออกทางด้านล่างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกส่งไปยังกระบวนการสีข้าวโดยเข้ายังชุดเขย่าแยกสิ่งเจอปนที่อยู่บนสุดของชุดเครื่องสีข้าว โดยชุดกระพ้อลำเลียงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 0.5 แอมป์ (0.373 กิโลวัตต์)

ผลการวิจัย

วิธีการทดสอบเครื่องสีข้าวแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการนวดข้าว ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว โดยแยกทำการทดลองเพื่อสามารถทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องได้ครบทุกกระบวนการ ดังนี้

1. ผลการทดสอบการนวดข้าว

การทดสอบเครื่องนวดข้าวทำการทดสอบด้วยข้าวที่ใช้คนเกี่ยวซึ่งเกษตรกรใช้เครื่องมือเกี่ยวเกี่ยวสองแบบ คือ ข้าวที่เกี่ยวโดยใช้เคียวเกี่ยว จะมีความยาวประมาณ 40-50 เซนติเมตร และข้าวที่เกี่ยวโดยใช้กะบักข้าว จะมีความยาวประมาณ 15-25 เซนติเมตร ดังภาพที่ 7

ผลการทดสอบนวดข้าวโดยใช้เครื่องนวดข้าวเปรียบเทียบระหว่างข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยวข้าว กับข้าวที่ใช้กะบักข้าว โดยทดสอบข้าวที่ 100 กิโลกรัม ก่อนทำการนวด แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 7 การทดสอบนวดข้าว (ก) เก็บด้วยเคียว (ข) เก็บด้วยแคะ และ (ค) ทดสอบนวดข้าว

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการนวดข้าวระหว่างข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยวข้าว กับข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าว โดยทดสอบข้าวที่ 100 กิโลกรัม ก่อนทำการนวด

การทดสอบ	ข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยวข้าว	ข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าว
1. ระยะเวลาที่ใช้ขนาด (นาทิจ)	14.15	7.27
2. ปริมาณข้าวเปลือก (กิโลกรัม)	48.4	85.5
3. ปริมาณฟางข้าว (กิโลกรัม)	49.6	11.2
4. เปอร์เซ็นต์เศษฟางที่ปนกับข้าวเปลือก (เปอร์เซ็นต์)	4	8
5. ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.31	0.16

หมายเหตุ: - มีฟางข้าวบางส่วนที่ติดอยู่ภายในเครื่องนวดข้าว
- คำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จากสมการ (5) และ (6)

จากผลการทดลองเครื่องนวดข้าว พบว่าข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าวใช้ระยะเวลาในการนวดน้อยกว่าข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยว 6.88 นาทิจ เปอร์เซ็นต์เศษฟางข้าวปะปนของข้าวที่เก็บด้วยแคะมีมากกว่าข้าวที่เก็บด้วยเคียว 4 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการทดสอบอบแห้งข้าวเปลือก

การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือก ใช้อุณหภูมิในการอบข้าวที่ 70 องศาเซลเซียส และความชื้นที่เหมาะสมในการสีข้าวที่ 12-13 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบอบข้าวโดยใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ใช้ข้าวเปลือกปริมาณ 100 กิโลกรัม ดังภาพที่ 8 ตั้งลมร้อนอบข้าว 70 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างข้าวทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 2



ภาพที่ 8 การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือก

ตารางที่ 2 ความชื้นข้าวเปลือกไข่มดรีนที่อบโดยใช้เครื่องอบไล่ความชื้นข้าวเปลือก

ตัวอย่างข้าว	ความชื้น (moisture; เปอร์เซ็นต์)
ข้าวเปลือกก่อนอบ	18.2
อบข้าว 1 ชั่วโมง	16.6
อบข้าว 2 ชั่วโมง	14.4
อบข้าว 3 ชั่วโมง	12.6
อบข้าว 4 ชั่วโมง	10.6
อบข้าว 5 ชั่วโมง	9.3

หมายเหตุ: - ผลตรวจวัดความชื้นจากศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ทดลองแบบมาตรฐานเปียก

จากการทดลองอบไล่ความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบไล่ความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นข้าวเปลือกก่อนทำการอบอยู่ที่ 18.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการอบข้าวเปลือกผ่านไป 1 ชั่วโมง ความชื้นลดลงเหลือ 16.6 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออบข้าวเปลือกผ่านไป 3 ชั่วโมง ความชื้นอยู่ที่ 12.6 เปอร์เซ็นต์ ตามที่ต้องการ ใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 11.05 กิโลวัตต์ชั่วโมง

3. ผลการทดสอบสีข้าว

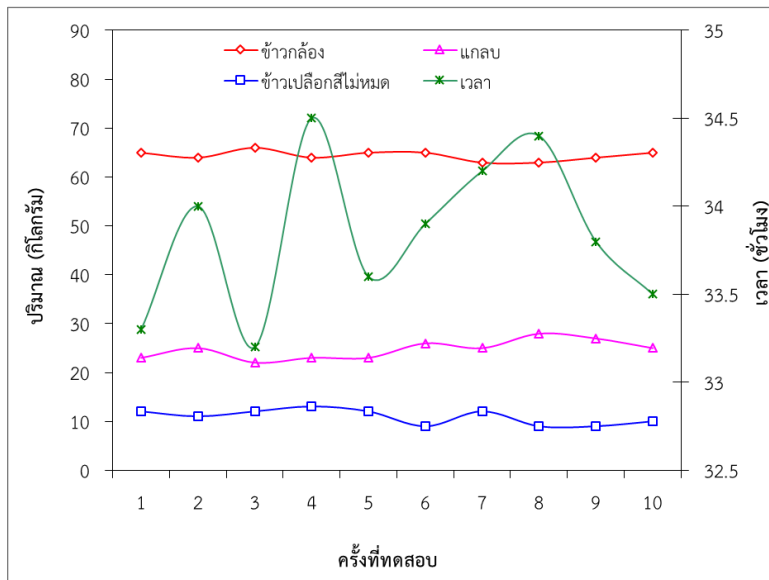
การทดสอบการสีข้าวโดยใช้เครื่องสีข้าวสำหรับสีข้าวไข่มดรีน ทดลองเก็บผล 2 แบบ คือแบบที่ 1 สีข้าวกล้อง กับแบบที่ 2 ขัดขาว ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสีข้าว ประกอบด้วย ข้าวกล้อง ข้าวขาว แกลบ และรำข้าว ดังภาพที่ 9



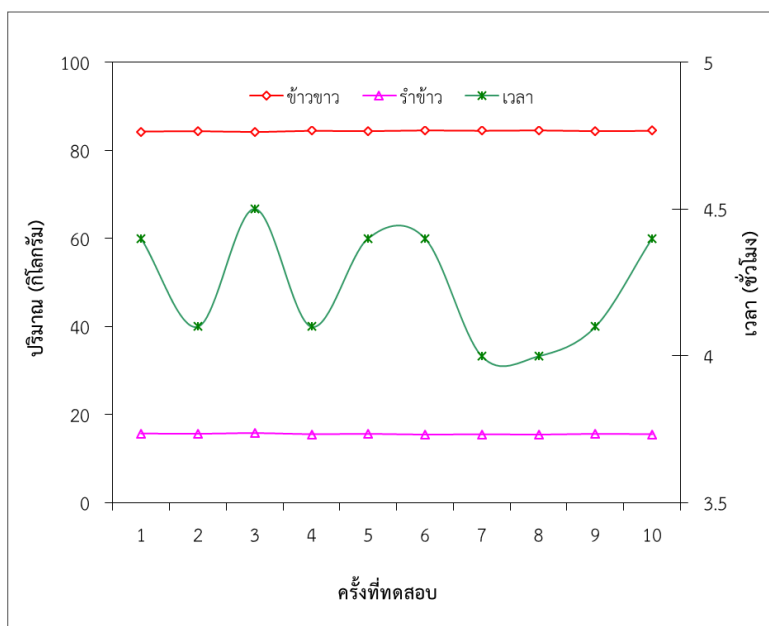
ภาพที่ 9 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสีข้าว (ก) ข้าวกล้อง (ข) ข้าวขาว (ค) แกลบ และ (ง) รำข้าว

จากผลการทดลองสีข้าวกล้องโดยเครื่องสีข้าวกล้อง ดังภาพที่ 10 ใช้ข้าวทดลองครั้งละ 100 กิโลกรัม ได้ข้าวกล้องเฉลี่ย 64.4 กิโลกรัม ปริมาณแกลบเฉลี่ย 24.7 กิโลกรัม ข้าวเปลือกที่สีออกไม่หมดเฉลี่ย 10.9 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการสีเฉลี่ย 33.8 ชั่วโมง ความสมบูรณ์เฉลี่ยของข้าวกล้องอยู่ที่ 79.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ 21.97 กิโลวัตต์ชั่วโมง

จากการทดลองสีข้าวขาวโดยใช้เครื่องขัดขาว ดังภาพที่ 11 ใช้ข้าวกล้องทดลองครั้งละ 100 กิโลกรัม ได้ข้าวสารขาวเฉลี่ย 84.4 กิโลกรัม ได้รำข้าว 15.5 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 4.24 ชั่วโมง ความสมบูรณ์เฉลี่ยของข้าวขัดขาวอยู่ที่ 88.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ 3.18 กิโลวัตต์ชั่วโมง



ภาพที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณข้าวกล้อง แกลบ ข้าวที่สีไม่หมด และเวลาที่สีข้าวกล้อง



ภาพที่ 11 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณข้าวกล้อง ข้าวขัดขาว รำข้าว และเวลาที่สีข้าวขาว

4. ค่าไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดริน

เมื่อดูจากผลการทดลองสีข้าวของเครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดริน โดยทำการทดลองสีข้าวเปลือกจำนวน 100 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการสีข้าวทั้งหมดทุกระบวนการอยู่ที่ 9 ชั่วโมง ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ 36.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบการนวดข้าวทั้ง 2 แบบ ที่มีลักษณะความยาวของต้นข้าวที่ต่างกัน การนวดข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าวใช้ระยะเวลาในการนวดน้อยกว่าข้าวที่ใช้เคียวเกี่ยว เนื่องจากความยาวของฟางข้าวสั้นกว่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์เศษฟางข้าวปะปนข้าวที่เก็บด้วยแคะมีการปะปนมากกว่าข้าวที่เก็บด้วยเคียวเนื่องจากฟางข้าวที่ยาวทำให้เกิดการฟาดกับแถบนวดได้มากกว่าฟางข้าวที่สั้น

การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือก เครื่องอบแห้งข้าวแบบมีการหมุนวนข้าวเปลือกภายในถัง ใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่น้อยกว่าแบบข้าวหยุดนิ่ง และการได้รับความร้อนทั่วถึงตลอดทั้งถังอบแห้ง

การทดสอบกระบวนการสีข้าวทั้ง 2 เครื่อง เครื่องสีข้าวกล้อง สามารถสีได้ข้าวที่มีความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวกล้องที่สูง โดยมีงอกข้าวติดอยู่เป็นส่วนใหญ่ และหวักะเทาะข้าวทำด้วยไม้เนื้อแข็งทำให้ไม่มีสิ่งเจือปนที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ปริมาณการสีข้าวกล้องได้ค่อนข้างต่ำ เมื่อนำข้าวกล้องไปเข้าเครื่องขัดขาว ทำให้ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวออกมาน้อยกว่าเครื่องสีข้าวกล้อง เพราะหัวขัดขาวใช้เหล็กในการขัดสี แต่ใช้ระยะเวลาในการขัดสีข้าวขาวน้อย



ภาพที่ 12 แผนภาพการทำงานของเครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดรีน

เครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดรีน สามารถลดระยะเวลาในการผลิตข้าวไม่ดรีน หลังจากกระบวนการเก็บเกี่ยวจากเดิมที่ใช้ระยะเวลา 1 สัปดาห์ เหลือ 1 วัน เป็นการช่วยลดต้นทุนในด้านแรงงานและระยะเวลา ตามแผนภาพการทำงานของเครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดรีน ที่ลดระยะเวลาในการแปรรูปข้าวเป็นข้าวสาร ดังภาพที่ 12

สรุปผลการวิจัย

เครื่องสีข้าวครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดรีน ใช้ระยะเวลาในการแปรรูปข้าวเปลือกจำนวน 100 กิโลกรัม ในเวลา 9 ชั่วโมง ผลการศึกษาการทดสอบเครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดรีน แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการนวดข้าว ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว โดยขั้นตอนที่ 1 ถึง ขั้นตอนที่ 3 ใช้ข้าวเปลือกจำนวน 100 กิโลกรัมต่อการทดสอบ ส่วนขั้นตอนที่ 4 ใช้ข้าวกล้องจำนวน 100 กิโลกรัมต่อการทดสอบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่า

1) ขั้นตอนการนวดข้าว ข้าวที่ใช้เคียวเก็บเกี่ยวข้าวใช้ระยะเวลา 14.15 นาที และข้าวที่ใช้แคะเก็บข้าว (เครื่องมือเก็บข้าวของชาวนาภาคใต้ ใช้เก็บข้าวที่ละครวง) ใช้ระยะเวลา 7.27 นาที

2) ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น อบข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ได้ค่าความชื้น 12.6 เปอร์เซ็นต์

3) ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง ได้ปริมาณข้าวกล้องเฉลี่ย 64.4 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาการสีเฉลี่ย 33.8 ชั่วโมง ความสมบูรณ์ข้าวเฉลี่ย 79.2 เปอร์เซ็นต์

4) ขั้นตอนการสีผลิตภัณฑ์ข้าวขาว ได้ปริมาณข้าวขาวเฉลี่ย 84.4 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาการสีเฉลี่ย 4.24 ชั่วโมง ความสมบูรณ์ข้าวเฉลี่ย 88.5 เปอร์เซ็นต์

5) ค่าไฟฟ้าที่ใช้สีข้าวเปลือกจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ข้าวขาวคิดเป็น 1.55 บาทต่อข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม

ข้อเสนอแนะ

1. ในกระบวนการนวดข้าวจะมีการปนเศษฟางและเมล็ดข้าวลีบออกมา ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของเศษฟางและเมล็ดข้าวลีบ ควรมีการออกแบบปรับปรุงอุปกรณ์ที่สามารถกับเก็บไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจาย

2. ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกขณะเดินเครื่องทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นจากข้าวออกจากถังอบด้านบน ควรมีการออกแบบให้เป็นระบบปิดและมีชุดดักจับฝุ่น

3. ในกระบวนการสีข้าว ชุดกะเทาะหัวไม่มีการทำงานที่ค่อนข้างช้า และเกิดการอุดตันที่ร่องหัวกะเทาะไม่อยู่เป็นประจำ ควรหาวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

4. เครื่องสีข้าวแบบครบวงจรสำหรับสีข้าวไม่ดรีน สามารถนำไปใช้กับข้าวที่มีขนาดเมล็ดข้าวเปลือกประมาณ $2.50 \times 9.47 \times 1.90$ มิลลิเมตร หรือใกล้เคียงได้ หากต้องการใช้กับเมล็ดข้าวที่มีขนาดต่างจากข้าวไม่ดรีนต้องทำการเซาะร่องสีข้าวตามขนาดข้าวที่ต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ประจำปีงบประมาณ 2563 รหัสโครงการ มรภ. 005/2563 ขอขอบคุณ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไม่ดรีน ตำบลเขาพังไกร อำเภอกำแพงเพชร จังหวัดนครศรีธรรมราช และกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไม่ดรีน ตำบลควนชะลิก อำเภอกำแพงเพชร จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับข้าวไม่ดรีน

เอกสารอ้างอิง

ชัยยันต์ ใจบุญมา วสันต์ ยศเสนา และสุขสถิตย์ ขาวหล้า. (2558). การสร้างและศึกษาเครื่องนวดข้าวแบบป้อนฟ่อนข้าว. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2*. กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

ธนัสถ์ นนทพุทธ กรภัทร เกลิมวงศ์ ศักดิ์ชัย ตันติวิวัฒน์ และณชพร รัตนภรณ์. (2558). เครื่องสีข้าวกล้องขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, (พิเศษ), 489-498.

ธีรศาสตร์ คณาศรี ปวริศ อุตทอง และสุภาภรณ์ ยอดสำโรง. (2560). แนวทางการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระบอกหมุน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 3(พิเศษ), 55-58.

ปิยะพงษ์ ศรีวงศ์ราช และศักดา อินทวิชัย. (2562). การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องสีข้าวขนาดเล็กระดับชุมชน. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 29(2), 237-246.

- พิชัย จันทรมณี. (2549). เครื่องสีข้าวกลึงขนาดเล็กแบบหยอดเหรียญ. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูโซนาท มุสตาฟา ยะกา และประชา บุญยวานิชกุล. (2557). การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 9(1), 68-74.
- ภัทรารุช บุญประคอง คณินิต ปทุมมาเกสร และเอนก เทียนบุชา. (2563). การหาประสิทธิภาพของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กสำหรับการสีข้าวพันธุ์การค้าจังหวัดชัยนาท. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 15(2), 105-117.
- วิวัฒน์ ไม่แก่นสาร และมฤดี จันทรรัตน์. (2558). การดำเนินงานและปัญหาของโรงสีข้าวชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารปัญญาวิวัฒน์*, 7(2), 17-27.
- ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2561). *Rice milling food wiki*. สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2563, จาก: <http://www.foodnetworksolution.com>.
- สมชาย ขนอุดม และวินิต ชินสุวรรณ. (2554). อิทธิพลของการออกแบบชุดนวดของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวแบบไหลตามแกนที่มีต่อความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิ. *วารสารวิจัย มข.*, 16(3), 252-260.
- สำนักงานสถิติ จังหวัดนครศรีธรรมราช. (2561). *ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดนครศรีธรรมราช*. สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2563, จาก: <http://nksitham.nso.go.th>.
- สุชาติ ธนสุขประเสริฐ ธนิต สวัสดิ์เสวี สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2555). การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 1(2), 1-10.
- สุรพงษ์ โชทอง และไกรสร รวยป้อม. (2559). การอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดไธซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 10(3), 88-97.
- สุรสิทธิ์ ช่อวงศ์. (2553). การสร้างเครื่องสีข้าวกลึง. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 2(1), 133-143.
- เอนก สวະอินทร์ ฌานิกา แซ่แง ชุกกลิน และกัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์. (2564). การพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษข้าวโดยถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (MABR). *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(1), 121-134.
- Weerachet, J., Natthiga, S. and Apinya, C. (2010). Industrial paddy drying and energy saving options. *Journal of Stored Products Research*, 46(2010), 209-213.
- Zhong, T., Ben, Z., Meilin, W. and Haotian, Z. (2021). Damping behaviour of a prestressed composite beam designed for the thresher of a combine harvester. *Biosystems engineering*, 204(2021), 130-146.