การออกแบบและพัฒนาเครื่องนึ่งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่องสำหรับการแปรรูปข้าว

Design and Development of the Continuous Steamer for Rice Processing

สุธรรม คล่องการเขียน[1] และ เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์[1]*

Suthum Klongkankien[1] and Chouw Inprasit[1*]

Received 9 October 2020, Accepted 10 March 2021

ABSTRACT

This research aimed to design and develop the continuous paddy steaming machine for hang rice or parboiled rice production which was acceptable to community and small enterprises. The machine was made of stainless steel with 150 kg loading capacity of soaked paddy. The initial moisture content of soaked paddy was 31.14±0.78 % (w.b.) then, the soaked paddy was steamed in the designed steamer and the temperature of pressurized steam was set at 109.5 °C (40 kPa). The steaming time of paddy was controlled by speed of the screw conveyor. The screw speed was 10.2, 15.4 and 20.6 rpm according to the frequencies of the variable frequency drives (inverter) at 5, 7.5 and 10 Hz respectively. The sample of paddy was collected at the first 15 minutes after steam valve and screw conveyor were operated. The sample of steamed paddy was collected every 10 minutes until 105 minutes. After drying, the quality of steamed paddy was determined, i.e. moisture content, head rice yield of brown rice, head rice yield of milled rice, color and chalky kernels. The results showed that the production capacity of the steamer was 0.70±0.01, 1.06±0.01 and 1.42±0.07 kg/min at the screw speed 10.2, 15.4 and 20.6 rpm respectively. Increasing of steaming time raised the percentage of head rice yield and the yellow color value of parboiled rice increased but reduced the percentage of chalky kernels. The suitable condition for streaming the RD31 paddy was 15.4 rpm of screw conveyor and at least 35 min of steaming time. At this condition, the head rice yield of brown parboiled rice and milled parboiled paddy was 69.67±1.67% and 65.83±1.84% respectively. The designed machine could decrease the percentage of chalky kernels and increase the yellow value (b*) of the parboiled rice. The parboiled rice obtained from the speed of screw conveyor at 15.4 rpm had uniform quality and showed the same trend with the result from other researchers.

Keywords: Parboiled rice, Continuous steamer

[1*] ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

[*] Corresponding author: Tel. 0-3435-1896, Fax. 0-3435-1896, E-mail address: fengchi@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องนึ่งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตข้าวฮาง ข้าวนึ่ง หรือข้าวกล้องนึ่งเพาะงอก เพื่อวิสาหกิจชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยเครื่องนึ่งข้าวทำด้วยสแตนเลส สามารถบรรจุข้าวเปลือก (กข31) หลังแช่น้ำได้ประมาณ 150 kg หลังการแช่ข้าวนึ่งมีความชื้นที่ 31.14±0.78 % (w.b.) แล้วนึ่งด้วยเครื่องที่ออกแบบ โดยใช้ไอน้ำอุณหภูมิในการนึ่งที่ 109.5 °C (ความดัน 40 kPa) และควบคุมเวลานึ่งด้วยความเร็วของสกรูลำเลียงออกโดยการปรับอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 3 ระดับคือ 5 7.5 และ 10 Hz ได้ความเร็วรอบสกรูที่ 10.2 15.4 และ 20.6 rpm ตามลำดับ ในการทดลองเริ่มเก็บตัวอย่างแรกหลังจากเปิดไอน้ำเข้าเครื่อง และเปิดสกรูลำเลียงที่ความเร็วต่าง ๆ ที่เวลา 15 นาที และเก็บตัวอย่างทุก 10 นาที จนถึง 105 นาที หลังจากข้าวแห้งแล้วนำข้าวที่ได้ไปสีเพื่อตรวจสอบคุณภาพ ของข้าวนึ่ง (ความชื้นหลังการลดความชื้น เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องนึ่ง เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสาร สี และเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่) ผลการศึกษาระดับความเร็วรอบของสกรูที่ 10.2 15.4 และ 20.6 rpm มีอัตราการผลิตเท่ากับ 0.70±0.01 1.06±0.01 และ1.42±0.07 kg/min ตามลำดับ และเมื่อใช้เวลาในการนึ่งนานขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและค่าสีเหลือง ของเมล็ดข้าวนึ่งจะเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ลดลง โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการนึ่งข้าวเปลือกพันธุ์ กข31 คือ การนึ่งที่ความเร็วรอบ 15.4 rpm ที่ใช้เวลาตั้งแต่ 35 นาที โดยมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องนึ่ง 69.67±1.67 และ เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสารเป็น 65.83±1.84 ตามลำดับ โดยข้าวมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น และสามารถลดเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ของข้าวได้ โดยการนึ่งข้าวความเร็วของสกรูที่ 15.4 rpm ทำให้ข้าวที่ได้จากการทดลองมีคุณภาพสม่ำเสมอ และ มีแนวโน้มที่เป็นไปในแนวทางของนักวิจัยอื่น

คำสำคัญ: ข้าวนึ่ง เครื่องนึ่งแบบต่อเนื่อง

คำนำ

ข้าวนึ่ง ข้าวฮาง และข้าวกล้องนึ่งเพาะงอก ล้วนเป็นกระบวนการแปรรูปข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าหรือแก้ปัญหาการขาดแคลนข้าวมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2559) จากข้อมูลการส่งออกข้าวนึ่งในประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 มีมูลค่า 58,040.5 ล้านบาท จนถึงปี พ.ศ. 2561 มีมูลค่า 36,324.2 ล้านบาท โดยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาการส่งออกข้าวนึ่งมีมูลค่าการส่งออกลดลง 21,716.3 ล้านบาท (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2559) ทั้งนี้เนื่องจากคู่แข่งมีการพัฒนาการผลิตข้าวและข้าวนึ่ง เช่น เวียดนาม อินเดีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ เป็นต้น มีนโยบายเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศลดปริมาณนำเข้า (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

ข้าวนึ่ง ข้าวฮาง และข้าวกล้องนึ่งเพาะงอก ทั้งสามผลิตภัณฑ์มีกระบวนการผลิตที่มีความคล้ายคลึงกันได้แก่ การแช่น้ำ (Soaking) เพื่อเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวเปลือก จนได้ความชื้นประมาณ 30% (w.b.) (อรอนงค์, 2550) เพื่อให้แป้งในข้าวสุก (Gelatinization) และเนื้อแป้งประสานจนเป็นเนื้อเดียวกันในขั้นตอนการนึ่งข้าว (Steaming) ข้อดีคือ ข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งจะให้ผลผลิตข้าวเต็มเมล็ดมากกว่าข้าวขาว ถึง 5 % (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2559) หลังจากนั้นจะนำข้าวที่ผ่านการนึ่งไปลดความชื้น (Drying) ให้มีความชื้นเหมาะสมต่อการนำไปสีต่อไป โดยส่วนใหญ่การผลิตข้าวนึ่งมักจะเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่มีศักยภาพในการผลิตเนื่องจากมีปริมาณการส่งออกปริมาณมากจึงได้มีการพัฒนาเครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง แต่ในส่วนของการผลิตข้าวฮาง และข้าวกล้องนึ่งเพาะงอกปริมาณการผลิตไม่มากจึงมี

ผู้พัฒนาเครื่องจักรน้อย (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2559)

สำหรับการผลิตข้าวนึ่งที่เป็นแบบการผลิตในครัวเรือน และเป็นผู้ผลิตรายย่อยขนาดเล็กมีข้อจำกัดในส่วนของการนึ่ง โดยในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้วิธีการนึ่งแบบเป็นครั้งหรือการนึ่งแบบกะ โดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการนึ่งข้าวเหนียว หรือ หวด ทำให้ความร้อนจากไอน้ำไม่เพียงพอและทั่วถึงภายในของเมล็ดข้าวเปลือกส่งผลให้เกิดข้าวท้องไข่ (Chalky grain) จากการนึ่งไม่สมบูรณ์ (นึ่งบางส่วน) หรือ เกิด Partially or Surface Parboiled Rice คือ ข้าวนึ่งที่แป้งภายในเนื้อเมล็ดข้าวเกิดเจลาติไนซ์เฉพาะผิวนอกของเนื้อในเมล็ดข้าว ที่กึ่งกลางเมล็ดข้าวไม่เกิดการเจลาติไนซ์ทำให้เกิดเป็นจุดขุ่นขาวทึบแสง ภายในเมล็ดข้าวเปลือกเกิดจากปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวไม่เพียงพอต่อการเกิดการสุกภายในจึงเกิดการจับตัวอย่างหลวมๆ ของผลึกแป้ง (Starch) ด้านท้องที่อยู่ข้างเดียวกับคัพภะ (อรอนงค์, 2550) และเมื่อนำไปสีเป็นข้าวสารจะไม่ได้คุณภาพที่ดีพอ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การออกแบบและพัฒนาเครื่องนึ่งที่มีความสามารถนึ่งข้าวความชื้นสูงสำหรับกระบวนการนึ่งข้าว (Steaming) ของการผลิตข้าวฮาง ข้าวนึ่ง หรือ ข้าวกล้องนึ่งเพาะงอกที่อุณหภูมิ 109.5°C โดยมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าวของเครื่องนึ่งข้าวแบบต่อเนื่องที่มีต่อคุณภาพข้าว (ความชื้นของข้าวเปลือกหลังลดความชื้น เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้อง เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวขาว ค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวขาว และเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่)

1. วิธีการทดลองการออกแบบเครื่องนึ่งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา ออกแบบและพัฒนาเครื่องนึ่งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องนึ่งข้าวเปลือก โดยหลักการทำงานของเครื่องที่ออกแบบ จะออกแบบเป็นทรงกระบอกที่ปล่อยข้าวไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง โดยตรงกึ่งกลางของทรงกระบอกมีจุดปล่อยไอน้ำที่ความดันของไอน้ำ 40 kPa ให้กระจายขึ้นทั้งด้านบนและด้านล่าง ด้วยแรงดัน และการทับถมของข้าวที่อยู่ในท่อทรงกระบอก เพื่อให้ความร้อน (นึ่ง) แก่ข้าวและควบคุมเวลาการนึ่งด้วยเครื่องลำเลียงแบบสกรูที่อยู่ด้านล่างของทรงกระบอก โดยการปรับความเร็วรอบในการหมุนของสกรู โดยที่ถ้าสกรูหมุนเร็วข้าวจะไหลออกเร็วทำให้เวลาทั้งหมดที่ข้าวอยู่ในทรงกระบอกน้อยนั่นคือระยะเวลาในการให้ความร้อนหรือเวลาในการนึ่งจะสั้น แต่ถ้าสกรูหมุนด้วยความเร็วรอบช้าข้าวจะอยู่ในท่อทรงกระบอกนานระยะเวลาในการนึ่งข้าวก็จะนานด้วยตาม Figure 1

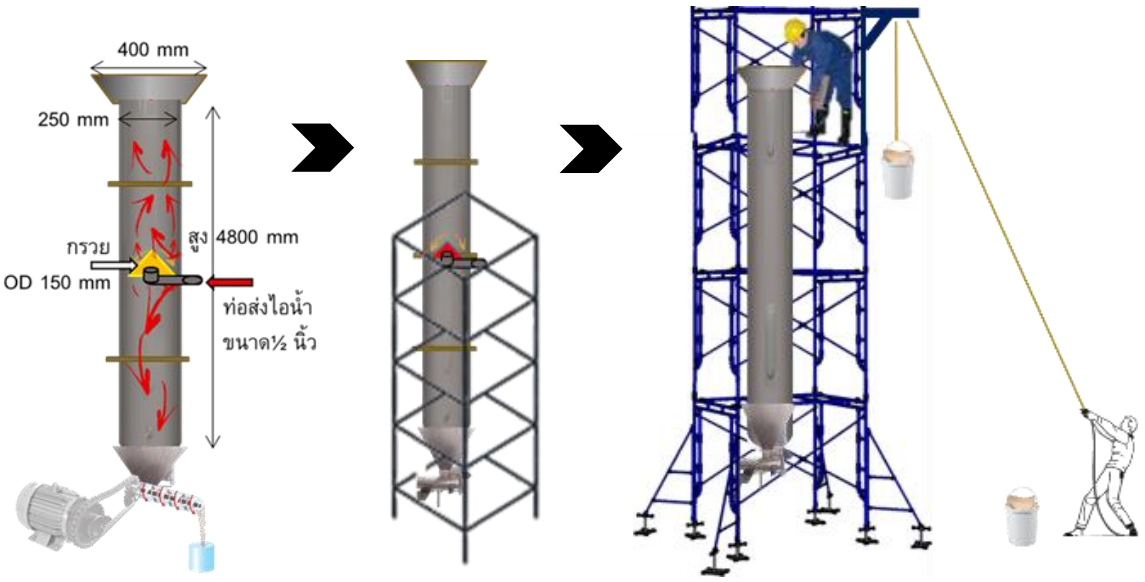

Figure 1 Concept design of continuous rice steaming machine

2. การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ

2.1 การทำความสะอาดข้าวเปลือก

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข31 (ปทุมธานี 80) ซึ่งนำตัวอย่างมาจากโรงสีข้าวจังหวัดนครสวรรค์ ที่มีความชื้นเริ่มต้นได้ที่ 12.52±0.89% (w.b.) เป็นข้าวเปลือกสายพันธุ์ SPR93049-PTT-30-4-1-2 ซึ่งเป็นข้าวไม่ไวแสง จัดเป็นข้าวอมิโลสสูงมีปริมาณ 27.3-29.8 % และปลูกได้ทั่วไปในเขตที่ราบลุ่มภาคกลาง โดยขั้นตอนแรกเริ่มจากการทำความสะอาดข้าวเปลือกด้วยเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกในระดับห้องปฏิบัติการใช้หลักการลมเป่าสิ่งเจือปนที่มีน้ำหนักเบาออกจากตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวเปลือกก่อนนำไปแช่น้ำ

2.2 การแช่ข้าวเปลือก

นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่นำมาแช่ในน้ำประปาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 12 ชม. ให้ได้ความชื้นประมาณ 30 % (w.b.) เพียงพอต่อการนำไปนึ่งตามผลการวิจัยของ (อรอนงค์, 2550) หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกหลังแช่ขึ้นมาพักให้น้ำที่ค้างอยู่ไหลออกจนหมดประมาณ 30 นาที เพื่อไม่ให้น้ำที่ค้างที่บริเวณเปลือกข้าวเกิดการควบแน่นจากความร้อนเป็นหยดน้ำปริมาณมากไหลเข้าสู่สกรูลำเลียงส่งผลต่อระบบลำเลียงข้าวเปลือกออกจากเครื่องนึ่ง และนำไปเข้ากระบวนการนึ่งตาม แผนผังของเครื่องนึ่งข้าวเปลือกสำหรับการแปรรูปข้าวแบบต่อเนื่องดังแสดงใน Figure 2

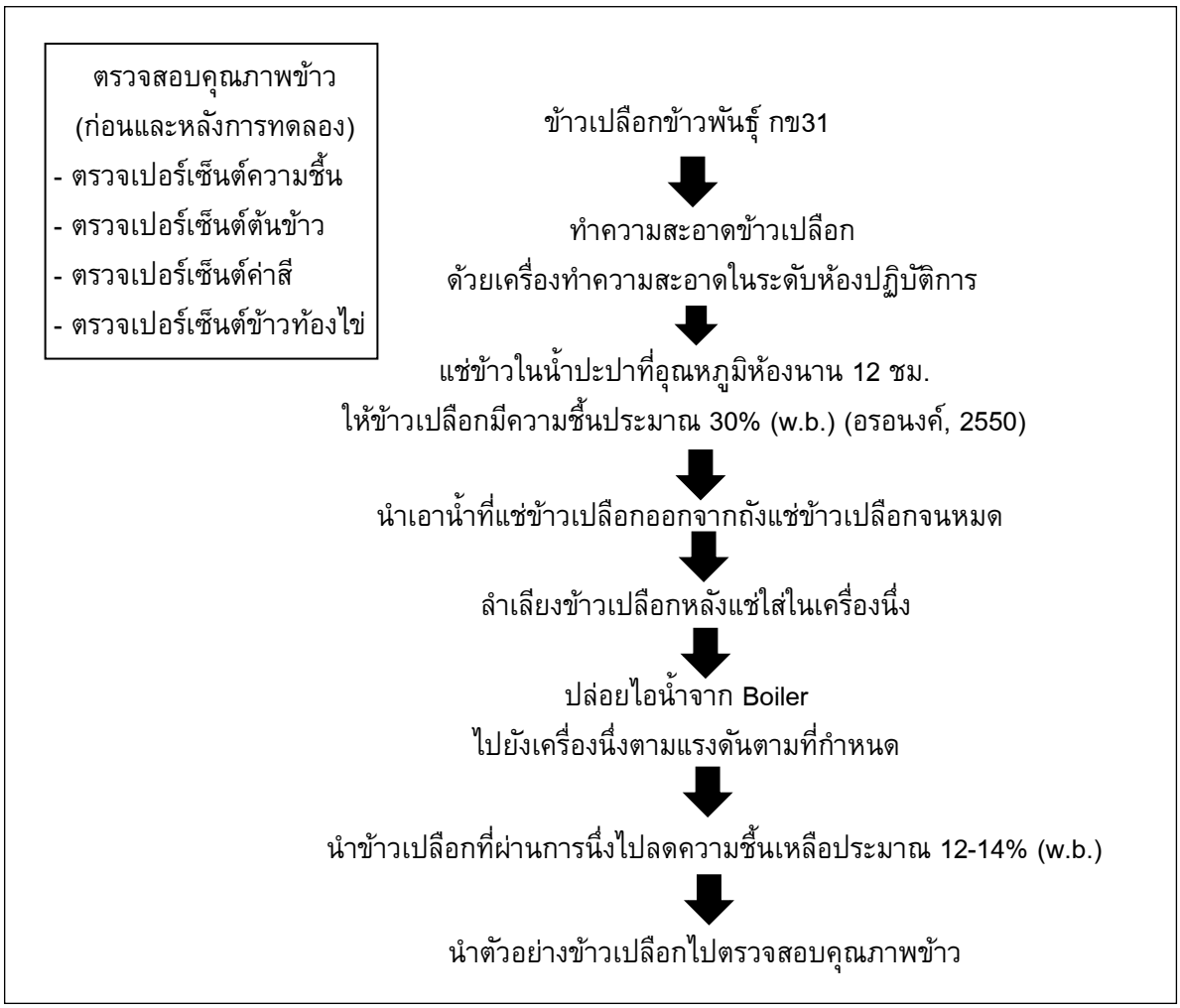

Figure 2 Schematic diagram of paddy steamer machine for rice processing continuous

3. การทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องนึ่ง

การทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องนึ่งเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าว โดยในขั้นตอนการทดลองได้แบ่งการทดลองเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้แก่การหาน้ำหนักข้าวเปลือกโดยการชั่งข้าวเปลือกก่อนแช่น้ำปริมาตรถังนึ่ง และความสัมพันธ์ของความถี่ของอินเวอร์เตอร์กับระยะเวลาการให้ความร้อนข้าวเปลือกในการนึ่งข้าวและจับเวลาการนึ่งข้าวเปลือกในแต่ละความเร็วของสกรูที่ลำเลียงข้าวออก เพื่อศึกษาสภาวะการทำงานของเครื่องนึ่งที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเข้าสู่เนื้อแป้งในเมล็ดข้าวจนเกิดการประสานตัวอีกรอบ เพื่อลดการแตกหักหลังจากการสีเป็นข้าวสาร (จักรวาพ, 2554)

การศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของข้าวเปลือกกับความเร็วรอบของสกรูปล่อยข้าวออกและเวลาที่ให้ความร้อนข้าวเปลือก เป็นการศึกษาปริมาณการไหลของข้าวที่ไหลออกจากเครื่องนึ่งทรงกระบอก โดยการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ให้ความเร็วรอบของเครื่องลำเลียงแบบสกรู และศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของสกรู กับความเร็วรอบสกรู และใช้การคำนวณปริมาณการไหลของข้าวเปลือกออกจากเครื่องนึ่ง และเวลาที่ข้าวอยู่ในเครื่องนึ่งตามสมการต่างๆ ดังนี้ การคำนวณหาอัตราการไหลของข้าวเปลือกออกจากเครื่องนึ่ง หน่วยเป็น (กก./นาที) ดังแสดงใน สมการที่ 1

สมการคำนวณการไหล $(Q) = \frac{m}{t}$..... (1)

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลของข้าวเปลือกออกจากเครื่องนึ่ง (กก./นาที)
m คือ น้ำหนักข้าวที่ออกจากท่อสกรูลำเลียง (กก.)
t คือ เวลาทั้งหมดในการเก็บตัวอย่าง (นาที)

จากนั้น คำนวณหาปริมาตรของเครื่องนึ่ง เพื่อหาน้ำหนักข้าวในเครื่องนึ่ง เนื่องจากเครื่องนึ่งข้าวมีลักษณะเป็นทรงกระบอกจึงสามารถใช้สูตรการคำนวณได้ดัง สมการที่ 2

ปริมาตรเครื่องนึ่ง $(V) = ¶ (r)^2 h$.....(2)

โดยที่ V คือ ปริมาตรถังนึ่งมีหน่วยเป็น (cm^3)
$¶$ คือ *3.1416*
r คือ รัศมีของถังนึ่งทรงกระบอก (ซม)
h คือ ความสูงของถังนึ่งทรงกระบอก (ซม)

การคำนวณปริมาณข้าวหลังแช่น้ำในเครื่องนึ่ง

เมื่อได้ทราบปริมาตรของเครื่องนึ่งข้าวแล้วสามารถคำนวณหาปริมาณข้าวทั้งหมดในเครื่องนึ่งได้ดัง สมการที่ 3

น้ำหนักข้าวในเครื่องนึ่ง (m) = V x ρ_b ……..….. (3)

โดยที่ m คือ น้ำหนักข้าวในเครื่องนึ่งข้าว (*กก.*)
V คือ ปริมาตรถังนึ่ง (m^3)
ρ_b คือ ความหนาแน่นข้าวเปลือก กข31 หลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 12 ชม.

จากความสัมพันธ์ทั้ง 3 สมการ และผลจากการทดลอง สามารถหาอัตราการไหลของข้าวชื้นที่ออกจากเครื่องนึ่ง โดยการเก็บตัวอย่างข้าวที่ออกจากสกรูลำเลียง และจับเวลาทั้งหมดจะสามารถคำนวณค่า อัตราการไหลของข้าวที่แต่ละความเร็วรอบของสกรูได้ (สมการที่ 1) สามารถคำนวณค่าความหนาแน่นกองได้จากการย้ายข้างสมการที่ 3 โดยที่นำข้าวตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแช่น้ำนาน 12 ชม.ที่อุณหภูมิห้อง มาใส่ถ้วยทรงกระบอกที่ทราบปริมาตร แล้วชั่งน้ำหนัก ทำให้สามารถคำนวณค่า ความหนาแน่นกอง ของข้าวเปลือกที่ใส่ในเครื่องนึ่งได้ การคำนวณในสมการที่ 2 จะได้ปริมาตรของเครื่องนึ่ง และสามารถคำนวณปริมาณข้าวในเครื่องนึ่งได้ (สมการที่ 3) และเมื่อย้ายข้างสมการที่ 1 ก็จะสามารถคำนวณระยะเวลาทั้งหมดที่ข้าวอยู่ในข้าวนึ่งได้ สำหรับแต่ละความเร็วรอบสกรูพาข้าวออกจากเครื่องนึ่ง

4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าวของเครื่องนึ่งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่อง

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องนึ่งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการนึ่งคือ อุณหภูมิและเวลา ของการนึ่งข้าว โดยทั้งสองปัจจัยจะมีผลต่อคุณภาพของข้าวเปลือกหลังการนึ่งอบแห้ง และสีเป็นข้าวกล้อง และข้าวสารแต่ในการทดลองนี้มีข้อจำกัดของเครื่องผลิตไอน้ำ ดังนั้น

ในการทดลองครั้งนี้จะกำหนดอุณหภูมิการนึ่งให้คงที่ประมาณ 109.5 °C แต่จะเปลี่ยนความเร็วรอบของสกรูลำเลียง และสุ่มตัวอย่างข้าวในแต่ละช่วงเวลา โดยปรับอัตราการไหลของข้าวเปลือกด้วยการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่แตกต่างกัน 3 ระดับได้แก่ 5 7.5 และ 10 Hz และเริ่มเก็บตัวอย่างนาทีที่ 15 แล้วเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 นาทีจนถึงนาทีที่ 105

5. การตรวจสอบคุณภาพข้าวนึ่ง

5.1 ความชื้นของข้าวเปลือก

ตรวจปริมาณความชื้นข้าวนึ่ง โดยใช้เครื่องอบลมร้อน Hot air oven ยี่ห้อ BENDER รุ่น ED 115 ผลิตที่ประเทศเยอรมนีที่อุณหภูมิ 130 °C ระยะเวลานาน 22 ชม. และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น MC1AC 210P ผลิตจากประเทศเยอรมนีตามวิธีตรวจความชื้น ASAE method (1998) และคำนวณค่าความชื้นตาม สมการที่ 5

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวจากน้ำหนักข้าวเปลือก (w.b.)} = \frac{(W1-W2)}{(W1-W)} \times 100 \quad \text{.....(5)}$$

โดยที่ W = น้ำหนักของ Moisture can (g)
W1 = น้ำหนักของ Moisture can พร้อมตัวอย่างก่อนอบ (g)
W2 = น้ำหนักของ Moisture can พร้อมตัวอย่างหลังอบ (g)

5.2 การสีข้าวกล้องนึ่ง

นำข้าวเปลือก มาทำความสะอาด แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 ชม. และนำมาเข้าเครื่องนึ่งที่ออกแบบ โดยในการปรับความเร็วรอบของสกรูที่ 10.2 15.4 และ 20.6 rpm นำไปนึ่งที่อุณหภูมิไอน้ำ 109.5 °C แล้วนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิระหว่าง 27 - 28 °C โดยใช้พัดลมช่วยถ่ายเทความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 63% ระยะเวลา 4 วัน เพื่อลดความชื้นให้ได้ประมาณ 12-14% (w.b.) ซึ่งเหมาะแก่การนำไปกะเทาะเปลือกและสีเป็นข้าวสารตามมาตรฐานการส่งออกไม่เกิน 14% (w.b.) (มกษ. 4004-2555) โดยใช้เครื่องกะเทาะข้าว ของนาทวี 2 ลูกยางรุ่น NW 150 กำลังการผลิต 15-20 kg/hr มอเตอร์ 1/3 HP 220 Volt ผลิตประเทศไทย หลังจากการสีข้าวกล้องนึ่งแล้วนำข้าวกล้องนึ่งที่ได้ไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องนึ่งโดยนำข้าวกล้องนึ่งหลังจากการกะเทาะเปลือกออกแล้ว มาคัดเลือกต้นข้าวกล้องนึ่ง (Head brown rice) โดยวัดจากเมล็ดข้าวที่มีความยาวของข้าวเต็มเมล็ด และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ 80% ของเมล็ด ถือเป็นต้นข้าวกล้องนึ่ง (มกษ. 4004-2555) แล้วนำน้ำหนักต้นข้าวกล้องนึ่ง มาหารด้วยน้ำหนักข้าวเปลือกก่อนกะเทาะเปลือก แล้วนำไปคูณด้วย 100 ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องนึ่งจากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5.3 การสีข้าวสารนึ่ง

นำตัวอย่างข้าวกล้องนึ่งไปเข้าเครื่องขัดข้าวขาวในห้องปฏิบัติการ ที่ผลิตในประเทศไทย โดยใช้หลักการขัดสีของแกนโลหะ ให้เป็นข้าวสารนึ่งหรือข้าวขาวนึ่งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสารนึ่งโดยนำข้าวหลังจากขัดข้าวขาวในห้องปฏิบัติการมาคัดเลือกต้นข้าวสารนึ่ง (Head milled rice) โดยวัดจากเมล็ดข้าวที่มีความยาวของข้าวเต็มเมล็ด และให้รวมถึงเมล็ดข้าวหักเหลือความยาวตั้งแต่ 80% ของเมล็ดขึ้นไป ถือว่าเป็นต้นข้าวสารนึ่ง (มกษ. 4004-2555) แล้วนำน้ำหนักต้นข้าวสารนึ่ง มาหารด้วยน้ำหนักข้าวเปลือกก่อนเข้าเครื่องกะเทาะเปลือกและก่อนเข้าเครื่องขัดข้าวขาว แล้วนำไปคูณด้วย 100 ค่าที่

ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสารนึ่งจากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5.4 ตรวจค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวสารนึ่ง

นำเป็นข้าวสารหรือข้าวขาวหลังจากเข้าเครื่องขัดข้าวขาวในห้องปฏิบัติการมาคัดเลือกต้นข้าวสารนึ่ง (head rice) โดยนำต้นข้าวสารจากหัวข้อ 5.3 มาวัดค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวสารนึ่ง ซึ่งเป็นดัชนีหนึ่งที่ใช้ในการตกลงซื้อ-ขายของข้าวนึ่งดังนั้นสีของข้าวนึ่งหลังการทดลองจึงมีความจำเป็นในการวัดค่าด้วย แต่ในตลาดก็ไม่มีมาตรฐานในการซื้อขายเพียงแต่เป็นความชอบของผู้ซื้อเท่านั้น การตรวจสีของข้าวสาร จะตรวจหลังจากนึ่ง ตากแห้ง และนำไปสีเป็นข้าวสาร (อรอนงค์, 2550) โดยการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ Hunter Lab Mini-Scan รุ่น EZ 4500L Spectrophotometer) ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.5 เปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่

เปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ของข้าวสารนึ่งเป็นคุณภาพข้าวที่ผู้ซื้อไม่ต้องการ โดยทั่วไปมาตรฐานข้าวท้องไข่ไม่เกิน 6-7 % (มกษ. 4004-2555) น้ำหนักจะขึ้นอยู่กับชั้นคุณภาพข้าว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงวัดเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ของแต่ละตัวอย่างด้วย ซึ่งสามารถเกิดข้าวท้องไข่ได้ในกระบวนการผลิตข้าวนึ่งถ้ากระบวนการผลิตไม่สมบูรณ์ โดยสังเกตข้าวเมล็ดท้องไข่ (Chalky Kernels) จากเมล็ดข้าวสารที่เป็นสีขาวขุ่นคล้ายชอล์ก และมีเนื้อที่ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปของเนื้อที่เมล็ดข้าวในส่วนการหาเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ White Belly (Chalky Kernels) โดยนำต้นข้าวสารนึ่งจาก หัวข้อ 5.3 จำนวน 100 เมล็ดมาคัดแยกข้าวที่เป็น White Bellyออกจากกลุ่ม โดยใช้แสงไฟส่องจากด้านล่างของเมล็ดที่มีพื้นที่สีขาวขุ่นทึบแสงเกินกว่า 50 % ของพื้นที่เต็มเมล็ด ด้วยการแบ่งแยกแต่ละตัวอย่างด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างละ 100 เมล็ด จำนวน 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่นับได้ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การออกแบบเครื่องนึ่งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่อง

เครื่องนึ่งข้าวเปลือกที่ออกแบบเป็นสแตนเลส เกรด 304 ความสูง 4800 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 mm ใช้สแตนเลสหนา 1.5 มม. (1) หรือมีปริมาตรประมาณ 0.2356 m^3 ติดตั้งโดยใช้โครงเหล็ก (2, 3, 5) มีแผ่นกรวยคว่ำ (4) ตรงกลางของเครื่องนึ่ง ครอบท่อปล่อยไอน้ำเพื่อให้ไอน้ำปะทะกับกรวยสแตนเลสที่คว่ำอยู่และกระจายไอน้ำออกไปด้านข้างโดยรอบและได้สัมผัสกับข้าวที่ไหลลงสู่ด้านล่างอย่างทั่วถึง และแพร่ไปทั้งด้านบนและด้านล่างของข้าวเปลือกตามสภาพความดันไอน้ำที่ใช้ (ในการทดลองนี้ใช้ความดันไอน้ำ 40 kPa) โดยใช้เครื่องผลิตไอน้ำจากแก๊ส (7) ที่ด้านล่างของเครื่องนึ่งมีสกรูลำเลียง (6) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 95 มม. ยาว 400 มม. ระยะห่างใบสกรู 40 มม. ทำหน้าที่ลำเลียงข้าวเปลือกออกจากเครื่องนึ่ง ใช้มอเตอร์เกียร์ CPG (INDUCTION MOTOR) ขนาด 1/4 hp แรงดันไฟฟ้า 220/380 V กระแสไฟฟ้าที่ 1.15/0.67 A ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,410 rpm และด้านหน้าเป็นเกียร์ทด ที่มีอัตราทด 1:20 ส่งกำลังผ่านเฟืองโซ่ที่มีระยะพิทช์ 1/2 นิ้ว จำนวน 2 ตัว เฟืองขับที่เพลามอเตอร์ จำนวน 29 ฟัน และ เฟืองโซ่ตามติดตั้งที่สกรูลำเลียง เฟืองจำนวน 20 ฟันทำให้ความเร็วรอบของสกรูเป็น 102.23 รอบต่อนาที ที่ระดับความถี่มาตรฐาน (50 Hz) (ก่อนควบคุมความเร็วรอบจากเครื่องอินเวอร์เตอร์) และควบคุมความเร็วรอบด้วย อินเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วรอบของสกรูลำเลียงข้าวเปลือกออกจากเครื่องนึ่งให้สามารถกำหนดระยะเวลาข้าวเปลือกอยู่ในเครื่องนึ่งได้ตามอัตราการไหลออกของข้าวเปลือก และมีการติดตั้งเครื่องตามที่แสดงใน Figure 3

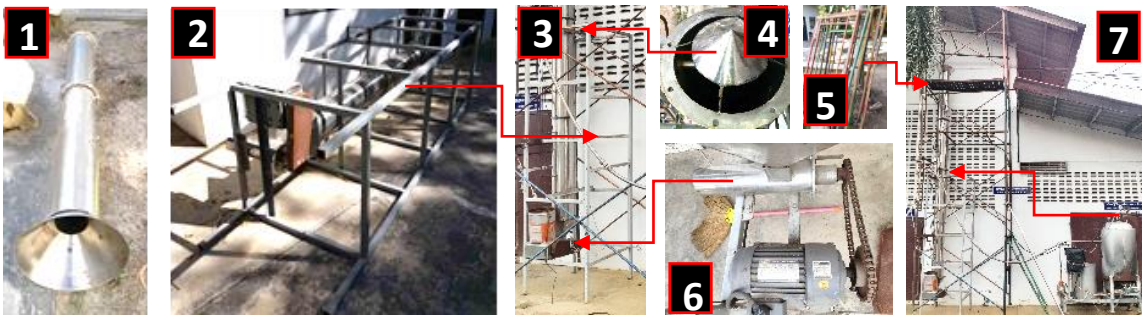

Figure 3 Continuous rice machine production

2. การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ

2.1 การทำความสะอาดข้าวเปลือก

ตัวอย่างข้าวเปลือกที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข. 31 (ปทุมธานี 80) ความชื้น 12.52±0.89 % (w.b.) มาทำความสะอาดข้าวเปลือกด้วยเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้หลักการลมเป่าสิ่งเจือปนที่มีน้ำหนักเบาออกจากตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวเปลือกก่อนที่จะนำไปใช้ในการทดลอง

2.2 การแช่ข้าวเปลือก

ข้าวเปลือกหลังจากทำความสะอาด นำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง ให้จมน้ำทั้งหมด และหลังจากการแช่น้ำนาน 12 ชม. แล้วนำไปวัดความชื้นพบว่ามีความชื้น 31.14±0.78 % (w.b.) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองแช่ข้าวเพื่อนำไปนึ่งของ (อรอนงค์, 2550) ที่ความชื้น 30 % (w.b.)

3. การทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องนึ่ง

การคำนวณหาปริมาตรของเครื่องนึ่งข้าวเปลือก และ น้ำหนักข้าวเปลือกในเครื่องนึ่งข้าวสามารถคำนวณได้ตามสมการ 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 0.2356 m^3

จากการทดลองนำข้าวเปลือก กข31 ไปแช่น้ำและบรรจุในถ้วยทรงกระบอกที่รู้ค่าปริมาตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0594 m และสูง 0.01575 m ได้ถ้วยที่มีปริมาตร 0.000044 m^3 และเมื่อบรรจุข้าวหลังแช่น้ำ จนเต็ม และพบว่าข้าวมีน้ำหนัก เป็น 0.02805 kg และสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นกอง ของข้าวเปลือก กข31 หลังแช่น้ำอุณหภูมิปกตินาน 12 ชม. เป็น 637.50 kg/m^3 ดังนั้นใช้ค่าต่างๆ มาคำนวณ หาน้ำหนักข้าวเปลือก กข31 หลังแช่น้ำในเครื่องนึ่งที่สร้างขึ้น ตามสมการ 3 ทำให้ได้ค่า น้ำหนักข้าวเปลือกเป็น 150.19 กก.

การทดสอบความสัมพันธ์ของความถี่และ ความเร็วรอบของสกรูพบว่า ที่ความถี่ 5 7.5 และ 10 Hz จะได้สกรูมีความเร็วรอบเป็น 10.2 15.4 และ 20.6 rpm ตามลำดับ และทดสอบอัตราการไหลของข้าวเปลือกหลังแช่โดยนำตัวอย่างมาใส่เครื่องนึ่งแล้วการปรับความเร็วรอบของสกรูลำเลียงได้อัตราการไหลของข้าวที่ประมาณ 0.70 1.06 และ 1.42 กก./นาที ตามลำดับ และสามารถหาเวลาในการนึ่งข้าวตามความเร็วรอบสกรูได้ดังแสดงใน Table 1 และระยะเวลาที่ข้าวอยู่ในเครื่องนึ่ง ตั้งแต่ เริ่มเดินเครื่องจนออกจากเครื่องสามารถคำนวณได้ตามสมการ 1 หลังจากที่ทราบอัตราการไหลของข้าวเปลือก โดยได้ผลดังแสดงใน Table 1

Table 1 Relationship of speed of screw, flow rate of soaking rice and steaming time

Frequency Inverter (Hz)	Revolution of screw (rpm)	Rice flow rate (kg/min)	Time for rice in the steamer (min) (Weight of rice :150.19 kg)
5	10.2	0.70±0.01	214.56
7.5	15.4	1.06±0.01	141.69
10	20.6	1.42±0.07	105.76

ดังนั้นในการปรับค่าความถี่เครื่องอินเวอร์เตอร์ให้มีความถี่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วรอบของสกรูหมุนเร็วขึ้น ตามข้อมูลใน Table1 ส่งผลให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะได้ผลผลิตข้าวที่ผ่านการนึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในเครื่องนึ่งจะลดลงตามความเร็วรอบของสกรูสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Omobuwajo, Ige, & Ajayi, 1998) ได้สรุปผลการทดลองว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของสกรูจะทำให้อัตราการป้อนของวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งข้าวของเครื่องนึ่งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่อง

จากการศึกษาเก็บตัวอย่างตลอดการทดลอง ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ความชื้นข้าวเปลือก

ผลจากการตรวจสอบความชื้นข้าวเปลือกหลังจากนึ่งแสดงใน Table 2 ความเร็วรอบของสกรูลำเลียงข้าวเปลือกออกจากเครื่องนึ่งที่ต่างกัน ถึงแม้นว่าระยะเวลาที่เท่ากัน แต่การสัมผัสความร้อนจะแตกต่างกัน เนื่องจากอัตราการไหลออกของข้าวที่ไม่เท่ากัน ความเร็วรอบที่ 10.2 rpm จากการที่สกรูหมุนช้าข้าวเปลือกที่ออกมาที่เวลาเท่ากันจะอยู่ที่ความห่างจากจุดปล่อยไอน้ำไม่เท่ากัน คืออยู่ไกลสุด ทำให้ได้รับความร้อนน้อยกว่าที่ความเร็วรอบมากกว่า แต่ในด้านความชื้นของข้าวหลังการนึ่งจะไม่มีผลจากระยะเวลาในการนึ่ง ทำให้ผลของความชื้นจึงมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากใช้สภาวะในการอบที่สภาวะเดียวกัน และค่าความชื้นข้าวเปลือกหลังจากการอบแห้งที่ความเร็วรอบสกรู 15.4 rpm ทุกเวลาของการนึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ที่ความเร็วรอบ 10.2 rpm และ 20.6 rpm มีค่าความชื้นแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ทุกสภาวะ ก็มีความชื้นต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด โดยทุกตัวอย่างมีค่าความชื้นของข้าวเปลือกต่ำกว่า 14% ตามมาตรฐานการส่งออก กำหนดให้ความชื้นข้าวไม่เกิน 14% (w.b.) (มกษ. 4004-2555) ซึ่งเป็นการยืนยันว่าคุณภาพข้าวด้านอื่นๆ จะไม่มีผลจากกระบวนการอบแห้งลดความชื้นนี้

Table 2 Moisture content % (w.b.) of parboiled rice after shade dry in the air-conditioned room

rpm / Time (min)	Moisture content % (w.b.) per speed of screw conveyor		
	10.2 rpm	15.4 rpm^{ns}	20.6 rpm
Control sample	11.87 ± 0.62^{ab}	11.87 ± 0.62	11.87 ± 0.62^{a}
15	12.60 ± 0.25^{ab}	12.88 ± 1.26	12.41 ± 0.47^{abc}
25	12.06 ± 0.42^{ab}	12.20 ± 1.38	12.42 ± 0.27^{bc}
35	11.65 ± 0.10^{a}	12.15 ± 1.12	12.35 ± 0.02^{abc}
45	12.44 ± 0.89^{ab}	12.15 ± 1.22	12.07 ± 0.15^{ab}
55	12.57 ± 0.83^{ab}	12.50 ± 1.42	12.11 ± 0.12^{abc}
65	12.38 ± 0.60^{ab}	12.20 ± 1.24	12.13 ± 0.25^{abc}
75	12.69 ± 0.33^{ab}	12.56 ± 0.83	12.40 ± 0.03^{abc}
85	12.55 ± 0.75^{ab}	12.21 ± 1.26	12.56 ± 0.02^{bc}
95	12.97 ± 1.06^{b}	12.22 ± 1.22	12.55 ± 0.07^{bc}
105	13.13 ± 0.72^{b}	12.67 ± 1.59	12.65 ± 0.31^{bc}

Note *Data are expressed as mean ± SD

^{ns} = Not significant ($p>0.05$) difference at each steaming conditions using Duncan's new multiple range test

$^{a-d}$ = superscript lowercase letters in columns indicate a significant ($p\leq0.05$) difference at each steaming and drying conditions using Duncan's new multiple range test

.

4.2 คุณภาพการสีข้าวกล้องนึ่ง (Milling quality of brown rice)

ผลตรวจคุณภาพเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องนึ่ง (Brown rice) จาก Table 3 พบว่า ข้าวเปลือกตัวอย่าง ที่นำมากะเทาะเปลือก มีค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องนึ่ง ประมาณ 53.83 % และทุกๆ ช่วงเวลา และ ความเร็วรอบในการเก็บตัวอย่างข้าวออก ตั้งแต่ 15 นาที ค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องนึ่ง จะเพิ่มขึ้น และหลังจากนาทีที่ 35 จะเพิ่มสูงจนไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการสุกของแป้งจนเกิดการประสานรอยร้าวที่อาจจะมีอยู่แต่เดิม หรือ รอยร้าวที่เกิดจากการแช่ข้าว ซึ่งการทดสอบสอดคล้องกับรายงานของ มุทิตา และวัชรี (2559) ทดสอบใช้เวลานึ่งนาน 20 นาที แช่ข้าวที่ 11 ชม. ที่อุณหภูมิ 60 70 และ 90 °C แล้วนำข้าวเปลือกไปกะเทาะเปลือกคัดแยกต้นข้าวกล้องสูงสุด 70.50% ซึ่งโดยทั่วไปการที่แป้งสุกจะทำให้ปริมาณเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มมากขึ้น (จักรวาพ, 2554)

Table3 Percentage of head rice yield of brown rice

RPM / Time (min)	% Head rice (brown rice) per speed of screw conveyor		
	10.2 rpm	15.4 rpm	20.6 rpm
Control sample	55.83 ± 0.50^{a}	55.83 ± 0.50^{a}	55.83 ± 0.50^{a}
15	64.00 ± 3.46^{b}	57.00 ± 0.33^{a}	68.00 ± 1.00^{cd}
25	70.00 ± 0.33^{ef}	67.67 ± 0.67^{bcd}	69.67 ± 0.57^{d}
35	70.67 ± 1.00^{f}	69.67 ± 1.67^{e}	69.67 ± 0.58^{d}
45	69.67 ± 0.34^{def}	69.67 ± 0.67^{e}	70.00 ± 1.00^{de}
55	69.17 ± 0.50^{def}	67.33 ± 1.34^{bcd}	69.67 ± 1.52^{d}
65	69.67 ± 2.00^{def}	68.50 ± 0.17^{cde}	71.67 ± 0.58^{e}
75	67.50 ± 0.83^{cde}	69.00 ± 0.67^{de}	66.67 ± 1.16^{bc}
85	66.00 ± 0.00^{bc}	68.67 ± 0.34^{cde}	66.00 ± 0.00^{b}
95	67.50 ± 0.50^{cde}	66.17 ± 0.17^{b}	68.00 ± 1.73^{cd}
105	67.17 ± 1.84^{cd}	67.17 ± 1.84^{bc}	68.67 ± 1.52^{d}

Note *Data are expressed as mean ± SD

$^{a-d}$ = superscript lowercase letters in columns indicate a significant ($p \leq 0.05$) difference at each steaming and drying conditions using Duncan's new multiple range test.

4.3 การสีข้าวสารนึ่ง (Milled of white rice)

จาก Table 4 เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสาร (ข้าวนึ่ง) จากการเก็บตัวอย่างครั้งแรกที่ 15 นาที เป็นช่วงเวลาที่ข้าวเปลือกเริ่มได้รับความร้อน ถึงแม้ว่าจะเก็บตัวอย่างที่เวลาเท่ากัน แต่การเดินทางของไอน้ำจากบริเวณกึ่งกลางของเครื่อง (จุดปล่อยไอน้ำ) ยังไม่สามารถเดินถึงข้าวที่บริเวณที่เก็บตัวอย่างเนื่องจากที่ความเร็วต่ำ ข้าวส่วนล่างเท่านั้นที่ออกมาจากสกรูลำเลียง ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่ำด้วย ที่ความเร็ว 10.2 rpm ที่ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 15 นาที ถึงแม้ว่าค่าเปอร์ต้นข้าวขาวสูงแต่ค่า SD แสดงว่าข้อมูลส่วนนี้อาจจะเป็นค่าที่แตกต่างกันมากและขาดความสม่ำเสมอของการไหลในเครื่องนึ่ง ส่วนที่ความเร็วรอบ 15.4 rpm มีค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวขาวต่ำมาก แต่ที่ความเร็วเพิ่มขึ้น (20.6 rpm) ถึงแม้ในที่ระยะเวลา 15 นาที ค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวก็เริ่มสูงขึ้น และเห็นได้ชัดที่เวลา 25 นาที ขึ้นไป ค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงทุกระยะเวลาและความเร็วรอบที่เก็บตัวอย่าง ดังนั้น ระยะเวลาการนึ่งทุกความเร็วรอบ หลัง 25 นาที จะเป็นเวลาเหมาะต่อการนำไปใช้ในการผลิต เพราะผลของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวขาวที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับทุกๆ ความเร็วรอบ และเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมต่อเครื่องนึ่งในงานวิจัยนี้ซึ่งการที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการสุกของแป้งจากการนึ่งที่ระยะเวลาสั้นที่สุดเพื่อเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องนึ่งข้าว

Table 4 Percentage of head rice yield of milled rice (White rice)

RPM / Time (min)	% Head rice (White rice) per speed of screw conveyor		
	10.2 rpm	15.4 rpm	20.6 rpm
Control sample	20.67 ± 0.87^{a}	20.67 ± 0.87^{b}	20.67 ± 0.87^{a}
15	44.00 ± 14.33^{b}	15.55 ± 2.83^{a}	58.33 ± 2.08^{b}
25	62.33 ± 0.34^{c}	63.67 ± 0.67^{cd}	62.67 ± 2.31^{cde}
35	64.17 ± 0.84^{c}	65.83 ± 1.84^{d}	63.33 ± 0.58^{de}
45	63.50 ± 0.17^{c}	64.83 ± 0.18^{d}	63.67 ± 2.08^{e}
55	63.67 ± 1.00^{c}	65.17 ± 0.83^{d}	62.67 ± 1.15^{cde}
65	63.83 ± 0.50^{c}	64.33 ± 0.34^{cd}	64.33 ± 1.15^{e}
75	61.67 ± 1.67^{c}	64.50 ± 2.00^{cd}	60.00 ± 1.00^{bc}
85	60.67 ± 0.00^{c}	65.67 ± 2.00^{d}	60.67 ± 0.58^{bcd}
95	61.33 ± 0.67^{c}	63.83 ± 0.50^{cd}	60.67 ± 0.58^{bcd}
105	60.83 ± 0.84^{c}	61.50 ± 2.83^{c}	61.67 ± 2.08^{cde}

Note *Data are expressed as mean ± SD

$^{a-d}$ = superscript lowercase letters in columns indicate a significant ($p \leq 0.05$) difference at each steaming and drying conditions using Duncan's new multiple range test

4.4 วัดค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวสารนึ่ง

สำหรับค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวสารนึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความชอบของผู้บริโภค ในแต่ละพื้นที่ที่มีความชอบไม่เหมือนกัน ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้ในการตัดสินใจในการซื้อขาย (อรอนงค์, 2550) ดังนั้น ในการทดลองนี้จะใช้เพียงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของข้าวสารนึ่ง โดยจากผลการทดลองพบว่า ค่า b* ของข้าวสารจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการนึ่งเพิ่มขึ้น และขึ้นสูงสุด เป็น 16.31±1.12% ที่ 10.2 rpm นึ่งนาน 45 นาที ดังแสดงใน Table 5 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการให้ความร้อนข้าวเปลือกที่นานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Luh (1991) ดังนั้นจากการทดลองนี้พบว่าถ้าหากต้องการข้าวนึ่งที่มีค่าความเป็นสีเหลืองสูง ควรใช้ความเร็วรอบที่ต่ำ และใช้เวลาในการนึ่งข้าวนานกว่า 45 นาที แต่จากผลการทดลองใน Table 5 ที่ความเร็วสูง (20.6 rpm) ค่าความเป็นสีเหลืองที่ได้จะไม่มีแนวโน้ม ดังที่กล่าวมา อาจจะเนื่องจากการที่ไม่เกิดการไหลแบบ first in first out ของข้าวในเครื่องนึ่ง

Table 5 Degree of b-value of milled parboiled rice

rpm / Time (min)	% Degree of value color, yellow (b)		
	10.2 rpm	15.4 rpm	20.6 rpm
Control sample	10.34 ± 0.76^{a}	10.34 ± 0.76^{a}	10.34 ± 0.76^{a}
15	10.69 ± 0.30^{a}	10.68 ± 0.25^{a}	10.47 ± 1.49^{a}
25	14.25 ± 0.65^{b}	14.86 ± 0.47^{cd}	13.40 ± 0.47^{ab}
35	15.23 ± 1.12^{bc}	14.28 ± 0.30^{bc}	13.81 ± 0.44^{ab}
45	16.31 ± 0.80^{d}	13.48 ± 0.24^{b}	13.41 ± 0.79^{ab}
55	14.70 ± 0.72^{bc}	14.72 ± 1.00^{cd}	15.47 ± 0.32$_{b}$
65	16.21 ± 0.50^{d}	15.65 ± 0.62^{de}	13.77 ± 1.22^{ab}
75	14.49 ± 1.21^{b}	14.45 ± 0.78^{bc}	12.97 ± 2.23^{b}
85	15.97 ± 0.11^{cd}	14.46 ± 0.44^{bc}	15.02 ± 1.04^{ab}
95	15.94 ± 0.06^{cd}	14.80 ± 0.97^{cd}	14.69 ± 0.67^{ab}
105	16.18 ± 1.00^{d}	16.05 ± 0.25^{e}	13.57 ± 2.09^{ab}

Note Data are expressed as mean ± SD

$^{a-e}$ = superscript lowercase letters in columns indicate a significant ($p \leq 0.05$) difference at each steaming and drying conditions using Duncan's new multiple range test.

4.5 เปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่

ผลของเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ของข้าวสารนึ่งที่สภาวะต่างๆ แสดงใน Table 6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ เริ่มต้น มีค่าสูง และมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการนึ่งข้าวสำหรับความเร็วรอบต่ำ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่จะมีค่าต่ำเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการนึ่ง ส่วนที่ความเร็วรอบสูง ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ จะมีแนวโน้มที่เหมือนกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ต่ำกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ ตั้งแต่เวลาการเก็บตัวอย่างที่ 15 นาที โดยการลดลงของเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ในการนึ่งดังกล่าวสอดคล้องกับระยะเวลาการนึ่งของ (พิมพ์พรรณ และคณะ , 2560) ที่ใช้เวลาการนึ่งในห้องทดลองนาน 17-32 นาที และแช่ 5-6 ชม. ที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ 11.8% แต่อย่างไรก็ตามมาตรฐานข้าวนึ่งในมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 4004-2555) ก็ไม่ระบุค่ามาตรฐานเปอร์เซ็นต์ท้องไข่ แต่เป็นปัจจัยหนึ่งที่ผู้ค้าใช้เป็นดัชนีชี้วัดด้วยตัวหนึ่งโดยผู้ผลิตจะใช้เครื่อง Color sorter ในการคัดเลือกเมล็ดดังกล่าวออกจากการผลิตซึ่งสิ่งที่สูญเสียจากการผลิตคือ ผลผลิตที่ได้จะมีน้ำหนักลดลง

Table 6 Percentage of chalky grain

rpm / Time (min)	% Chalky grain per speed of screw conveyor		
	10.2 rpm	15.4 rpm	20.6 rpm
Control sample	22.67 ± 3.51^{d}	22.67 ± 3.51^{d}	22.67 ± 3.51^{b}
15	8.00 ± 2.00^{ab}	12.00 ± 1.00^{bc}	4.00 ± 1.00^{a}
25	13.00 ± 2.00^{c}	15.00 ± 6.00^{c}	5.67 ± 1.53^{a}
35	14.67 ± 5.51^{c}	12.33 ± 3.51^{bc}	7.00 ± 3.00^{a}
45	11.00 ± 1.00^{abc}	15.67 ± 1.53^{c}	5.00 ± 3.00^{a}
55	13.33 ± 2.52^{c}	16.00 ± 2.00^{c}	5.00 ± 2.00^{a}
65	11.00 ± 0.00^{abc}	11.67 ± 0.58^{bc}	5.67 ± 0.58^{a}
75	14.33 ± 3.51^{c}	11.00 ± 2.00^{bc}	6.00 ± 0.00^{a}
85	12.67 ± 1.53^{bc}	11.00 ± 4.00^{bc}	7.00 ± 3.00^{a}
95	9.67 ± 0.58^{abc}	7.00 ± 3.00^{ab}	6.00 ± 2.00^{a}
105	7.67 ± 0.58^{a}	3.67 ± 1.53^{a}	5.67 ± 2.52^{a}

Note *Data are expressed as mean ± SD

$^{a-d}$ = superscript lowercase letters in columns indicate a significant ($p \leq 0.05$) difference at each steaming and drying conditions using Duncan's new multiple range test.

สรุป

จากการศึกษาเครื่องที่ออกแบบสามารถนึ่งข้าวได้ตามวัตถุประสงค์ โดยเวลาในการนึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวพันธุ์ กข31 โดยจากการทดลองพบว่าการนึ่งข้าวของกระบวนการผลิตข้าวที่มีการนึ่งหลังจากการแช่ข้าว ของกระบวนการผลิตข้าวฮาง ข้าวนึ่ง และข้าวกล้องนึ่งเพาะงอก เป็นกระบวนการที่ทำให้ % ต้นข้าวสูงขึ้น ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น และค่า % ท้องไข่ลดลง เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อน หรือ นึ่งข้าว แต่พบว่าที่ความเร็วสูง (20.6 rpm) ค่าคุณภาพต่างๆ ไม่เป็นไปตามแนวโน้มที่เกิดขึ้น ดังนั้นค่าความสามารถในการนึ่งข้าวของเครื่องสามารถนึ่งได้ดี ที่ความเร็วรอบของสกรูเป็น 15.4 rpm หรือที่อัตราการไหลเป็น 1.06 กก/นาที ที่ทำให้คุณภาพทั้งหมด ที่ตรวจเช็ค มีแนวโน้ม เป็นไปตามทฤษฎีของการวิจัยเกี่ยวกับข้าวนึ่ง ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถนำเครื่องที่ออกแบบไปทดแทนการนึ่ง โดยใช้หวดนึ่ง ของการผลิตข้าวที่ต้องมีกระบวนการนึ่งได้ เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการผลิตข้าวนึ่งให้กับวิสาหกิจชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และ บุคลากรจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยตรวจสอบ และให้คำแนะนำอย่างละเอียดเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555). *มาตรฐานสินค้าเกษตร 4004-2555 (ข้าวไทย)*. (น. 1-17). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

จักรวาพ จันทร์หล้า. (2554). *การจัดการภูมิปัญญาท้องถิ่นข้าวฮาง ในการทำข้าวฮางของกลุ่มผลิตข้าวฮาง ในเขตเทศบาลตำบลปลาโหล อำเภอวชิรภูมิ จังหวัดสกลนคร.* (น. 213). รายงานการศึกษาอิสระปริญญารัฐประศาสนศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พิมพ์พรรณ ปรืองาม, สมชาติ โสภณรนฤทธิ์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, และสักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. (2560). การปรับปรุงกระบวนการแช่ด้วยการพ่นไอน้ำเพื่อลดเวลาการผลิตข้าวนึ่ง *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนคร, 27*(4), 655-665.

มุทิตา มีนุ่น และวัชรี สีห์ชำนาญธุระกิจ. (2559) *ผลของกระบวนการนึ่ง และระดับการขัดสีต่อคุณสมบัติของข้าวสังข์หยด รวมมาตรฐานสินค้าข้าวไทย.* (น. 93). นนทบุรี: กองมาตรฐานสินค้านำเข้าส่งออก กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ (2562). *สถิติมูลค่าการส่งออกของไทย.* (น. 2). สืบค้นจาก http://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomRecode&ImExType=1&Lang=Th.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. (2559). *กระทรวงพาณิชย์ประชุมหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหาแนวทางแก้ปัญหากรณีฮันจิน เร่งประสานทุกภาคส่วนอำนวยความสะดวก-บรรเทาความเดือนร้อน.* สืบค้นจาก https://moc.go.th/index.php/moc-news/2015- 10- 19- 04-33-08/item/7777444471.html

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ข้อมูลพยากรณ์การผลิตปี 2558 ครั้งที่ 1. ปีเพาะปลูก 2558.* (น. 2-14). สืบค้นจาก https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doclib_CommodityYearly/Yearly-2557_Trend-2558_final.pdf.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). *ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* (พิมพ์ครั้งที่ 2). (น. 123-168). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

American Society of Agricultural Engineers. (1988). ASAE S352. 2 APR1988 (R2012) : Moisture Measurement-Unground Grain and Seeds. *American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, USA*, *1*.

Luh, B. S. (Ed.). (1991). *Rice. Utilization Springer* (2nd ed.). (pp. 269-294). New York: Van Nostrand Reinhold.

Omobuwajo, T. O., Ige, M. T., & Ajayi, A. O. (1998). Theoretical prediction of extrusion pressure and oil flow rate during screw expeller processing of palm kernel seeds. *Journal of Food Engineering, 38*(4), 469-485.