

การพัฒนากระบวนการลดความชื้นข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกังหันโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

Development of Drying Process Germinated Brown Rice with Rotary Dryer using Infrared Ray combine Hot air

กานต์ กอมณี¹, จักรมาส เลหาวิช², ศตวรรษ นคะรังสุ³, สมชัย วัชรชุม³, ศราวุธ จันไตรรัตน์³, ทรงพล วิจารย์จักร^{1*}

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

214 หมู่ 12 ตำบลหนองญาติ อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

² หน่วยวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

41/20 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยนาหว้า มหาวิทยาลัยนครพนม

330 ตำบลนาหว้า อำเภอนาหว้า จังหวัดนครพนม 48180

Corresponding : Songpol.w@npu.ac.th

Abstract

The objective of this research is to development of drying process germinated brown rice with rotary dryer using infrared ray combine hot air. The rotary drum has a length of 4.8 meters and a diameter of 0.8 meters. The moisture reduction process is divided into two steps: the first step involves using infrared radiation, fueled by LPG, and the second step involves using hot air generated from the combustion of the infrared burner. The experiment uses paddy rice of the Khao Dawk Mali 105 variety, Feed rate was about 350 kg/hr. The infrared radiation wavelengths used in the experiment are 2.58, 2.83, and 3.14 micrometers, and the drying process is conducted over 1, 2, and 3 cycles. The results show that the moisture content can be reduced from 34.47, 35.69, and 33.48 % wb. To 22.17, 27.05, and 27.42% wb. After three drying cycles. Additionally, it was found that at an infrared wavelength of 2.58 micrometers, the germinated brown rice had a lower breakage rate compared to other wavelengths, with a breakage percentage of only 1.81 %, and maintained good quality. The analysis of specific heat energy consumption indicated that the infrared wavelength of 2.58 micrometers required higher heat energy compared to other wavelengths.

Keywords: Germinated brown rice, Rotary dryer, Infrared ray

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการลดความชื้นข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังหมุน โดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ถังหมุนมีความยาวของถังหมุน 4.8 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เมตร สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานระหว่างการลดความชื้นได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด ที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง และช่วงที่สองจะเป็นการลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวอินฟราเรด การทดลองจะใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ป้อนด้วยอัตราป้อน 350 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การทดลองใช้ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58, 2.83, และ 3.14 ไมโครเมตร และจำนวนรอบการอบแห้ง 1, 2, และ 3 รอบ ผลการทดลองพบว่า สามารถลดความชื้นจาก 34.47 35.69 และ 33.48 % wb. ให้เหลือ 22.17 27.05 และ 27.42 % wb. ได้ด้วยการอบแห้ง 3 รอบ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตร ข้าวกล้องงอกมีอัตราการแตกหักน้อยกว่าความยาวคลื่นอื่น ๆ โดยมีเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักเพียง 1.81% และสามารถรักษาคุณภาพของข้าวกล้องงอกได้ดี การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะพบว่าที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตร มีการใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าความยาวคลื่นอื่นๆ

คำสำคัญ : ข้าวกล้องงอก, เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน, รังสีอินฟราเรด

บทนำ

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์มาก ปัจจุบันคนไทยประมาณ 3,000 ล้านคนบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ข้าวจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อมูลค่าทางเศรษฐกิจ โดยในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยได้มีการส่งออกข้าวเป็นจำนวน 8.76 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 178,136 ล้านบาท [1] ปัจจุบันได้มีเกษตรกรนำข้าวมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าว ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสำเร็จรูป เป็นต้น [2,3] และได้มีการข้าวเปลือกมาแปรรูปเป็นข้าวกล้องงอก ซึ่งเป็นถือเป็นอาหารทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เพราะข้าวกล้องงอกนี้มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอยู่หลายชนิด เช่น วิตามินอี บี1 บี2 บี6 แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และสาร GABA (Gamma amino butyric acid) [4] ซึ่งสาร GABA เป็นสารสื่อประสาทที่สำคัญในระบบประสาทส่วนกลางช่วยป้องกันความเสียหายของเซลล์ประสาท ซึ่งช่วยในการป้องกันและลดความเสี่ยงของโรคประสาทเสื่อมหรือโรคอัลไซเมอร์ ช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โดยส่งเสริมการหลั่งอินซูลิน ซึ่งมีประโยชน์ต่อผู้ที่เป็เบาหวานและความดันโลหิตสูง และช่วยต้านการอักเสบ ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้และความจำ และช่วยในการเพิ่มสมรรถภาพการทำงานของสมองอีกด้วย [5] และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณสาร GABA มากกว่าข้าวกล้องธรรมดาประมาณ 11 เท่า [6]

ข้าวกล้องงอกสามารถผลิตได้จากข้าว 2 แบบ คือ แบบที่ใช้เมล็ดข้าวเปลือกเพาะงอกและแบบที่ใช้เมล็ดข้าวกล้องเพาะงอก โดยส่วนมากนิยมใช้เมล็ดข้าวเปลือกในการเพาะงอก เนื่องจากจากข้าวเปลือกยังมีเปลือกหุ้มอยู่ จึงมีการป้องกันสารอาหารในเมล็ดข้าวจากการสูญเสียในระหว่างกระบวนการผลิต และสามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น การผลิตข้าวกล้องงอกโดยทั่วไปจะเริ่มจากการนำข้าวเปลือกมาล้างทำความสะอาด จากนั้นแช่ข้าวในน้ำสะอาด 1-2 ชั่วโมง ทำการบ่มเป็นเวลา 1-2 วัน เพื่อให้เกิดการงอก จากนั้นนำมานึ่งเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เพื่อหยุดการ

(Research article)**Journal of Engineering Technology Access**

งอก ขั้นตอนสุดท้ายคือการลดความชื้นโดยการตากแดดเป็นเวลา 2-3 วัน เพื่อให้ความชื้นที่ต่ำกว่า 14 % wb. เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและการกะเทาะ ซึ่งข้าวที่ผ่านการนี้จะมีความชื้นประมาณ 35% wb. รวมเวลาในการผลิตใช้เวลาประมาณ 5-7 วันต่อรอบ [7] อย่างไรก็ตามในขั้นตอนของการลดความชื้นโดยการตากแดด หากสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสมในการตาก เช่น ฝนตก พายุครึ้ม หรือแสงแดดน้อย จะส่งผลให้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการตากมากขึ้นหรืออาจไม่สามารถตากได้เลย ส่งผลให้ข้าวมีกลิ่นเหม็นและอาจเกิดเชื้อราได้ นอกจากนี้ยังทำให้สารอาหารสำคัญในเมล็ดข้าวเสื่อมสภาพอีกด้วย [8]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วย Gas-fired Infrared Dryer (GID) โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง พบว่าความชื้นของข้าวเปลือกลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกของกระบวนการอบแห้ง [9] และได้มีการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน (HA/IR) สามารถลดเวลาการอบแห้งลงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C สามารถลดเวลาอบแห้งลงได้ถึง 54.44 % และลดการใช้พลังงานลง 23.17 % เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และช่วยลดการแตกหักและความเสียหาย ทำให้ข้าวมีคุณภาพในการสีและหุงต้มดีขึ้น [10] และยังมีการใช้เครื่องอบแห้งแบบถึงหมุนเข้ามาช่วยในการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรหลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง เมล็ดข้าวโพด และเมล็ดข้าว เป็นต้น [11,12]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาเห็นได้ว่าการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดสามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว และเครื่องอบแห้งแบบถึงหมุนด้วย ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบลดความชื้นข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถึงหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาในขั้นตอนการลดความชื้นของข้าวหลังการนี้จะให้ระยะเวลาในการลดความชื้นที่เร็วขึ้น และยังสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของข้าวกล้องงอกได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การเตรียมข้าวเปลือกสำหรับการทดลอง

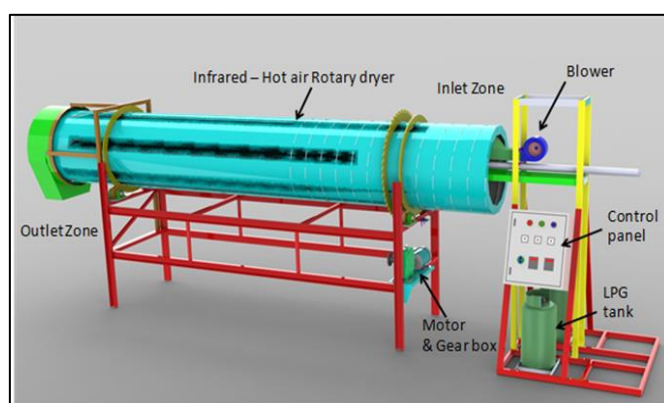
ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นตัวอย่างในการทดลอง โดยนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำเป็นเวลา 2 วัน โดยเมื่อแช่น้ำครบ 1 วัน แล้วจะทำการเปลี่ยนน้ำเพื่อลดกลิ่นเหม็น แล้วจึงแช่ข้าวต่อจนครบ 2 วัน นำข้าวมาบ่มในกระสอบเป็นเวลาประมาณ 1-2 วันเพื่อให้ข้าวเกิดการงอก จากนั้นนำข้าวเปลือกไปนึ่งเป็นเวลา 30 นาที เมื่อสุกแล้วมาผึ่งในร่มประมาณ 30 นาที เพื่อให้ไอน้ำระเหยออก จากนั้นจึงนำไปอบแห้ง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมข้าวเปลือกสำหรับการทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

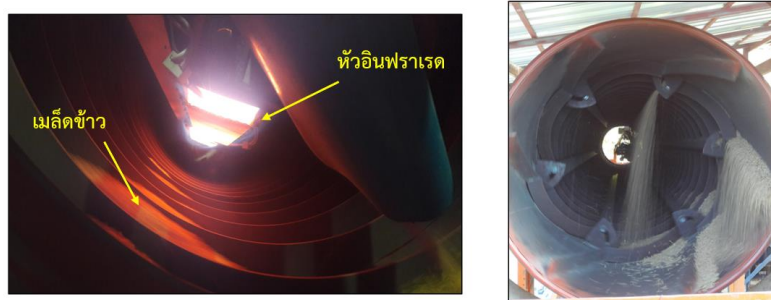
เครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมลมร้อนมีความยาวของถ้งหมุน 4.8 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เมตร โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานระหว่างการลดความชื้นได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วง 2 เมตรแรกของถ้งหมุนจะเป็นการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งแผ่มาจากหัวอินฟราเรดแบบเซรามิกที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยถูกติดตั้งในช่วงต้นทางของถ้งหมุน จำนวน 2 หัว และช่วงสุดท้ายจะเป็นการลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวอินฟราเรดดังกล่าวข้างต้น โดยมีพัดลมขนาด 1/3 แรงม้าเป่าลมร้อนให้กระจายภายในถ้งหมุนระหว่างที่ข้าวเคลื่อนที่ผ่านถ้งหมุนด้วยเกลียวลำเลียง ระหว่างนี้จะมีครีบบนล้อสำหรับโปรยเมล็ดข้าวเพื่อให้ลมร้อนสามารถสัมผัสเมล็ดข้าวอย่างรอบด้าน ความเร็วรอบของถ้งหมุน 6.5 รอบ/นาที ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลัง ส่งกำลังผ่านเกียร์บล็อกและเฟืองโซ่ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

วิธีการทดลอง

การทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกมีปัจจัยในการทดสอบคือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 2.83 และ 3.14 ไมโครเมตร (850 750 และ 650 °C) และจำนวนรอบของการอบแห้ง 1 2 และ 3 รอบ โดยทำการสุ่มสุ่มเก็บข้าวใส่ภาชนะ จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อไปหาความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน AOAC [13] ใช้กระป๋องลำเลียงเป็นอุปกรณ์สำหรับป้อนข้าวเปลือกลงสู่ถ้งหมุน มีอัตราการป้อน 350 กิโลกรัม/ชั่วโมง ขั้นตอนแรกใช้หลักการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรดข้าวเปลือกจะเคลื่อนที่ไปตามเกลียวลำเลียง และใบโปรยจะโปรยข้าวเพื่อให้ข้าวเปลือกสัมผัสกับลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวอินฟราเรด เมื่อข้าวออกจากถ้งทำการสุ่มเก็บข้าวใส่ภาชนะ จำนวน 3 ซ้ำ ทั้งนี้ในการเริ่มสุมนั้นต้องรอให้เครื่องมีการทำงานแล้วประมาณ 5-10 นาที หรือจนกว่าข้าวมีการเคลื่อนที่เต็มเกลียวลำเลียงแล้วจึงทำการสุ่มเก็บค่าได้ ทำการวัดอุณหภูมิของเมล็ดข้าวด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิดิจิตอล (Testo 106) และสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวไปหาความชื้นหลังจากผ่านการอบแห้ง ในการอบแห้ง 1 2 และ 3 รอบ จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาพักไว้ในที่อับอากาศ (Tempering) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อที่จะรอบอบแห้งในรอบต่อไป หลังจากผ่านการอบแห้งในแต่ละรอบ จะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพการสีข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการอบแห้ง โดยจะนำไปลดความชื้นด้วยลมเย็นจนมีความชื้นต่ำกว่า 14 % wb. ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังหมุน โดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

การวิเคราะห์หาค่าความชื้นก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งจะหาได้จากสมการ (1)

$$\text{ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (MC}_{wb.}) = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ $MC_{wb.}$ = ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (% wb.)
 m_w = มวลเปียก (กรัม)
 m_d = มวลแห้ง (กรัม)

การวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความชื้น (MR) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$\text{อัตราส่วนความชื้น (MR)} = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{M_t}{M_0} \quad (2)$$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น
 M_t = ความชื้นตัวอย่างที่เวลาใดๆ (% wb.)
 M_0 = ความชื้นเริ่มของตัวอย่าง (% wb.)
 M_e = ความชื้นสมดุลของตัวอย่าง (% wb.)

การวิเคราะห์คุณภาพการสีข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการอบแห้ง

การวิเคราะห์คุณภาพการสีข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการอบแห้งโดยจะหาเปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังจากกะเทาะ ค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องงอก และปริมาณสารกาบ้า (GABA) โดยการหาเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและข้าวแตกหักหลังจากกะเทาะ จะเริ่มจากเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งจำนวน 250 กรัม จำนวน 3 ตัวอย่าง ไปทำการกะเทาะด้วยเครื่องกะเทาะข้าวขนาดเล็ก เมื่อได้เมล็ดข้าวที่ทำการกะเทาะแล้วนำมาคัดแยกเมล็ดแตกหักด้วยเครื่องคัดแยก จากนั้นคำนวณหาปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและปริมาณข้าวหักดังสมการ (3) และ (4)

$$\text{ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ด}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{ปริมาณข้าวแตกหัก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวแตกหัก}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกเริ่มต้น}} \times 100 \quad (4)$$

การวัดค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องงอก นำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการกะเทาะแล้วมาวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่อง ColorFlex EZ จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระหว่างข้าวที่ผ่านการอบแห้งและข้าวอ้าอิง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การวัดค่าสีของเมล็ดข้าวกล้องงอก

การหาปริมาณสารกาบ้า (GABA) นำตัวอย่างข้าวมาบดให้ละเอียดและชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติมน้ำสกัดเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วน ข้าว : เมทานอล (1 : 10) นำไปแช่ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำส่วนที่เป็นกากสกัดซ้ำ 1 รอบ จากนั้นนำรวมกัน เพิ่มความเข้มข้นด้วยเครื่อง Rotary evaporator ให้เหลือประมาณ 1 ml นำมาละลายกลับด้วยเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์ และปรับปริมาตรเท่ากับ 5 ml กรองด้วยกระดาษกรอง 0.2 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกาบาคด้วยเครื่อง LCMS/MS (Liquid Chromatography – Mass Spectrometry)

การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

ในการวัดปริมาณการใช้แก๊ส LPG ของระบบอบแห้งจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ชั่งน้ำหนักถังแก๊สก่อนและหลังการอบแห้งแล้วบันทึกค่า จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้ในหน่วยกิโลกรัมต่อชั่วโมง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ดังสมการที่ 4

$$SEC_{Heat} = \frac{m_g HHV}{(M_i - M_f)m_D} \quad (4)$$

เมื่อ SEC_{Heat} = พลังงานความร้อนจำเพาะ (MJ/kg_{evap.})

HHV = ค่าความร้อนสูงของแก๊สแอลพีจีเท่ากับ 50.152 MJ/kg

m_g = ปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้ (kg/hr)

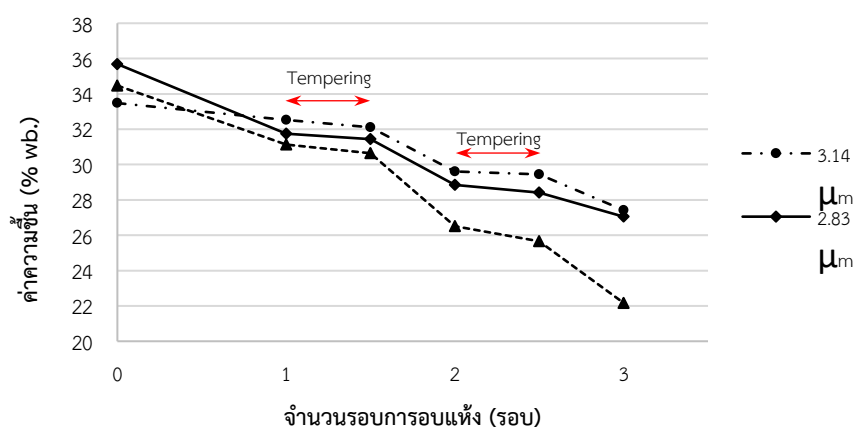
M_i = ความชื้นเริ่มต้น (% db.)

M_f = ความชื้นสุดท้าย (% db.)

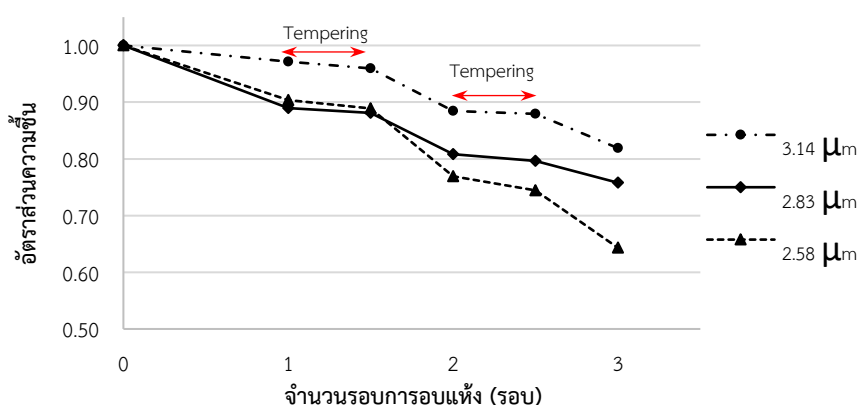
m_D = มวลแห้งของข้าวเปลือก (kg)

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกโดยมีปัจจัยในการทดลองคือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 2.83 และ 3.14 ไมโครเมตร และจำนวนรอบของการอบแห้ง 1 2 และ 3 รอบ โดยมีความชื้นเริ่มต้นที่แตกต่างกันในแต่ละความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 34.47 35.69 และ 33.48 % wb. พบว่าเมื่อผ่านการอบแห้ง 3 รอบมีความชื้นเหลือ 22.17 27.05 และ 27.42 % wb. และนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละรอบมาพักไว้ในที่อับอากาศ (Tempering) พบว่าในช่วงพักข้าวยังคงมีการระเหยของน้ำในเมล็ดข้าวอยู่ และช่วยกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอทั้งเมล็ด ทำให้การอบแห้งครั้งต่อไปมีอัตราการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น [14] และผลของยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด พบว่าที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดแตกต่างกันมีผลต่อการลดความชื้นของข้าวกล้องงอก โดยความยาวคลื่นสั้นจะมีประสิทธิภาพในการเจาะผ่านพื้นผิววัสดุและเพิ่มอัตราการระเหยนํ้ามากกว่า [15] และหลังจากผ่านการอบแห้งพบว่ามีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.64 0.76 และ 0.82 ตามลำดับ ดังภาพที่ 5 และ 6

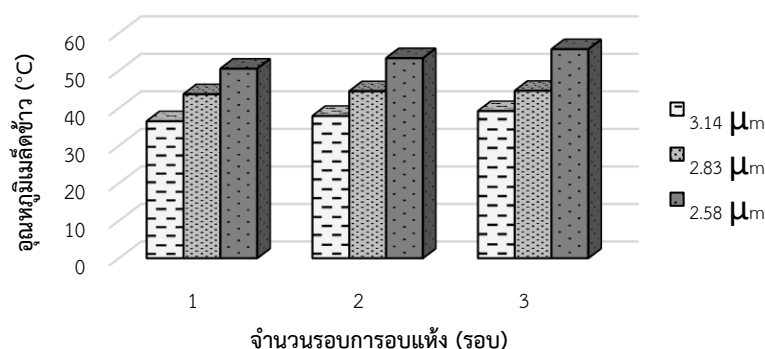


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความค่าความชื้นกับจำนวนรอบการอบแห้งในแต่ละรอบ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความอัตราส่วนความชื้นกับจำนวนรอบการอบแห้งในแต่ละรอบ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของข้าวกล้องงอก พบว่าอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความยาวคลื่นอินฟราเรดลดลง และอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อนำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบในรอบที่ 1 มาอบต่อในรอบที่ 2 และ 3 ซึ่งเกิดจากความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวเมล็ดข้าว และที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตร ข้าวกล้องงอกมีอุณหภูมิสูงกว่าระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดต่างๆ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวกับจำนวนรอบการอบแห้งในแต่ละรอบ

ผลการหาเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและข้าวแตกหัก พบว่าการลดความชื้นข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน สามารถช่วยลดการแตกหักของเมล็ดข้าวระหว่างการกะเทาะ เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้เมล็ดข้าวไม่เกิดความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เมล็ดข้าวแตกหักในกระบวนการอบแห้งแบบดั้งเดิมที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ [16] และที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตร มีเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหัก 1.81 % ซึ่งน้อยกว่าข้าวอังกู (ตากแดด) 3.35 % จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ส่งต่อการลดการแตกหักของเมล็ดข้าวคือความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด สำหรับผลทดสอบการวัดค่าสีของข้าวกล้องงอก โดยพบว่าข้าวอังกู (ตากแดด) มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 58.91 6.64 และ 28.52 ตามลำดับ หลังจากอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 2.83 และ 3.14 ไมโครเมตร และจำนวนรอบของการอบแห้ง 1 2 และ 3 รอบ พบว่ามีค่าสี L^* a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันจากข้าวอังกู การวิเคราะห์คุณภาพข้าวกล้องงอกด้านที่สำคัญอีกด้านคือ ปริมาณสาร GABA การอบแห้งด้วยความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดที่สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด และมีปริมาณข้าวแตกหักน้อยกว่าระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดต่างๆ ดังนั้นจึงเลือกเงื่อนไขที่เป็นประโยชน์ต่อความสามารถในการอบแห้ง คือที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตร นำไปตรวจวัดหาปริมาณสาร GABA พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุนด้วยระบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอังกู เนื่องจากการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยรังสีอินฟราเรดมีผลต่อปริมาณสาร GABA โดยการใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจะช่วยรักษาปริมาณ GABA ให้คงอยู่ในระดับสูง จากการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถลดเวลาการอบแห้งและช่วยลดการสูญเสียสาร GABA เมื่อเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบอื่น การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในกระบวนการอบแห้งจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อรักษาคุณภาพและปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกได้ดีที่สุด [17] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพการสีข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการอบแห้ง

ความยาว คลื่นรังสี อินฟราเรด (μm)	จำนวน รอบการ อบแห้ง (รอบ)	คุณภาพหลังกะเทาะ		ค่าสีของเมล็ดข้าว			ปริมาณสาร GABA (ng./g _{rice})
		ข้าวเต็มเมล็ด (%)	ข้าวแตกหัก (%)	L*	a*	b*	
3.14 (650 °C)	1	72.23 $\pm$ 0.10	3.05 $\pm$ 0.03	58.40 $\pm$ 0.43	6.33 $\pm$ 0.11	28.14 $\pm$ 0.21	N/A
	2	74.08 $\pm$ 0.13	1.83 $\pm$ 0.16	58.72 $\pm$ 0.18	6.56 $\pm$ 0.14	28.19 $\pm$ 0.36	N/A
	3	73.50 $\pm$ 0.26	2.35 $\pm$ 0.29	58.51 $\pm$ 0.46	6.55 $\pm$ 0.15	27.91 $\pm$ 0.16	N/A
2.83 (750 °C)	1	71.91 $\pm$ 0.49	2.86 $\pm$ 0.17	58.42 $\pm$ 0.14	6.54 $\pm$ 0.11	27.47 $\pm$ 0.13	N/A
	2	73.54 $\pm$ 0.37	1.99 $\pm$ 0.16	58.68 $\pm$ 0.49	6.58 $\pm$ 0.13	27.52 $\pm$ 0.43	N/A
	3	72.98 $\pm$ 0.27	2.47 $\pm$ 0.12	58.34 $\pm$ 0.16	6.58 $\pm$ 0.22	27.36 $\pm$ 0.56	N/A
2.58 (850 °C)	1	72.74 $\pm$ 0.46	1.90 $\pm$ 0.06	58.04 $\pm$ 0.17	6.70 $\pm$ 0.07	28.15 $\pm$ 0.27	12.27
	2	71.77 $\pm$ 0.52	1.95 $\pm$ 0.14	58.66 $\pm$ 0.61	6.59 $\pm$ 0.17	27.88 $\pm$ 0.15	11.94
	3	72.14 $\pm$ 0.18	1.81 $\pm$ 0.05	58.31 $\pm$ 0.13	6.62 $\pm$ 0.16	28.00 $\pm$ 0.27	12.04
ข้าวอ้างอิง (ตากแดด)		72.34 $\pm$ 0.27	3.35 $\pm$ 0.08	58.91 $\pm$ 0.66	6.64 $\pm$ 0.16	28.52 $\pm$ 0.22	12.08

ผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งข้าวกล้องงอก ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตร ใช้ปริมาณพลังงานความร้อนสูงกว่าการอบแห้งที่ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 และ 3.14 ไมโครเมตร ตามลำดับ และผลของจำนวนรอบในการอบพบว่าที่ 3 รอบ ใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าการอบที่จำนวนรอบ 2 และ 1 รอบ ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

ความยาวคลื่น อินฟราเรด	รอบการ อบแห้ง	อัตราน้ำระเหย (kg-water evap./h)	พลังงานความร้อน (MJ/h)	พลังงานความร้อนจำเพาะ (MJ/kg-water evap.)
3.14 (650 °C)	1	11.40	36.11	3.17
	2	20.22	76.22	3.77
	3	32.09	108.33	3.38
2.83 (750 °C)	1	19.86	50.15	2.53
	2	37.53	100.3	2.67
	3	46.23	150.46	3.25
2.58 (850 °C)	1	17.80	72.22	4.06
	2	38.52	145.44	3.78
	3	58.25	218.16	3.75

สรุป

จากการพัฒนากระบวนการลดความชื้นข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เป็นตัวอย่างในการทดลอง พบว่าสามารถลดความชื้นข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นเริ่ม 34.47 35.69 และ 33.48 % wb. ให้เหลือ 22.17 27.05 และ 27.42 % wb. ได้ในจำนวนรอบการอบแห้ง 3 รอบ และยังสามารถช่วยลดเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวระหว่างการกะเทาะได้เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง นอกจากนี้ยังช่วยรักษาปริมาณ GABA ให้คงอยู่ในระดับสูง ดังนั้นการลดความชื้นข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสามารถช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการลดความชื้นได้ และยังสามารถรักษาคุณภาพของข้าวกล้องงอกได้ดี สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งคือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตร และอบแห้งจำนวน 3 รอบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม – พวอ. ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจศูนย์ส่งเสริมและผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนตำบลสาวะถี บ้านโนนรัง ตำบลสาวะถี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สถานที่ในการทำวิจัย

อ้างอิง

- [1] กรมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. 2567. สรุปยอดส่งออกข้าวในปี 2566. เว็บไซต์ <https://www.dft.go.th/th-th/NewsList/News-DFT/Description-News-DFT/ArticleId/27608/-27608>
- [2] Chulaluck Charunuch & Pracha Boonyasirikool. (2000). Development of corngrit-broken rice based snack food by extrusion cooking. Kasetsart Journal: Natural Sciences (Thailand), 34(2), 279-288.
- [3] Van Man Phan , Hai Chi Tran , and Sakaya Sombatpraiwan. 2021. Rice bran oil extraction with mixtures of ethanol and hexane. Songklanakarin J. Sci. Technol. 43(3), pp. 630-637.
- [4] Jenjjra Chanya, Cherdpong Chiawchanwattana, Juckamas Laohavanich, Phirayot Khaengkhan , Suphan Yangyuen. 2020. Design and Development of Machine for Soaking and Germination of Paddy in One Step. Thai Society of Agricultural Engineering Journal, 26(1), pp.44-51.
- [5] Su-Jin Oh, Hyun Soo Kim, Seung-Taik Lim, Chagam Koteswara Reddy. 2019. Enhanced accumulation of gamma-aminobutyric acid in rice bran using anaerobic incubation with various additives. Food Chemistry, 271, pp. 187-192.
- [6] Patil, S. B., Khan, M. K. 2011. Germinated brown rice as a value-added rice product: A review. Journal of Food Science and Technology, 48(6), pp. 661-667.
- [7] Songpol Wijanajak, Suphan Yangyuen, Cherdpong Chiawchanwattana, Juckamas Laohavanich. 2016. Development and testing of rotary dryer for germinated brown rice. Agricultural Sci. J. 47(3) (Suppl.), 429-432.

- [8] Leal, A. F., Coradi, P. C., dos Santos Moraes, R., Müller, E., Teodoro, P. E., Teodoro, L. P. R., & Rodrigues, D. M. (2023). Tempering time and air temperature relationships for real-scale paddy drying and their effects on the physical, physicochemical, and morphological qualities of polished rice. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22673415.v1>
- [9] Laohavanich J., Wongpichet S. 2007. Thin layer drying model for gas-fired infrared drying of paddy. Songklanakarin J. Sci. Technol 2008: 343-348.
- [10] P.L., Chen., J., Xu., Y., Tang., M.H., Liu. (2019). Experiments on paddy drying mechanism of far-infrared convection combination in combine harvester.. INMATEH-Agricultural Engineering, 59(3), 133-140. DOI : 10.35633/INMATEH-59-15
- [11] Onyeagba Obinna B, Eje Brendan E. 2022. Optimization of drying process parameters of cassava chips in rotary dryer. Discovery, 2022, 58(321), 983-996
- [12] Decha Prakhethanang, Cherdpong Chiawchanwattana, Juckamas Laohavanich, Phirayot Khaengkhan. (2020). The Influence of Infrared Radiation, Hot Air and the Tempering on Khao Dawk Mali 105 Rice Seedling Germination and Seedling Growth. Thai Society of Agricultural Engineering Journal, 26(1), 152-61
- [13] AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- [14] Aboud, S.A.; Altemimi, A.B.; R. S. Al-Hilphy, A.; Yi-Chen, L.; Cacciola, F. 2019. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. Molecules, 24, 4125. <https://doi.org/10.3390/molecules24224125>
- [15] Jie, Wang., Danyang, Wang., Tingyao, Zhan., Shuo, Qiu., Dongbing, Tao., Dongping, Ji., Ensi, Cheng. (2022). Effect of tempering drying on the physicochemical properties of paddy rice. Journal of Food Processing and Preservation, 46(3) DOI: 10.1111/jfpp.16374
- [16] Jiranan, Ratseewo., Frederick, J., Warren., Naret, Meeso., Sirithon, Siriamornpun. (2022). Effects of Far-Infrared Radiation Drying on Starch Digestibility and the Content of Bioactive Compounds in Differently Pigmented Rice Varieties. Foods, 11(24), 4079-4079. doi: 10.3390/foods11244079
- [17] Zhang Q, Liu N, Wang S S, Pan L Q. (2021). Nondestructive determination of GABA in germinated brown rice with near infrared spectroscopy based on wavelet transform denoising. Int J Agric & Biol Eng, 14(3): 200–206. DOI: 10.25165/j.ijabe.20211403.6178