แนวทางการอบแห้งข้าวกล้องนึ่งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและไฟฟ้า

Drying Strategy of Parboiled Brown Rice using Combined Infrared Radiation and Electric Heating

ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล[1]* สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล[2]
[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112
โทร 0-7428-8775 โทรสาร 074-212817 *E-mail: yutthana.t@psu.ac.th

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112
โทร 0-7428-7306 โทรสาร 074-22896 E-mail: supawan.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งข้าวกล้องนึ่ง โดยการพาความร้อนด้วยลมร้อน การแผ่รังสีอินฟราเรด และพลังงานความร้อนร่วม (รังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า) และทำการศึกษาคุณภาพของข้าวในด้านปริมาณต้นข้าว ความเหลืองของข้าวกล้อง และข้าวท้องไข่ จากการทดสอบอบแห้งข้าวกล้องนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวนึ่งที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาทที่มีความชื้นเริ่มต้น 50-55% มาตรฐานแห้ง อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 70-90°C ความเร็วลมร้อน 1.0±0.5 m/s กระแสป้อนกลับของอากาศอบแห้ง 95% ทำการอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้าย 20-25% มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลองพบว่าข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการนึ่งและนำไปอบแห้งด้วยพลังงานงานร่วม (รังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า) มีร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดสูงกว่าข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยลมร้อนตามลำดับ ส่วนความขาวของข้าวสารจะลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นคุณภาพของข้าวจะลดลง นอกจากนี้ทุกเงื่อนไขการทดลองจะนำเสนอไว้ในการประชุม

คำสำคัญ: ข้าวนึ่ง, ลมร้อน, อินฟราเรด, คุณภาพ

Abstract:

This research is a study system of hot air convection, infrared irradiation (IR) and combined IR and hot air for parboiled brown rice drying and study qualities of product: head rice yield, yellowness and white belly of rice were the main objective of this project. Due to study performance of this prototyped dryer, Chainad paddy variety with initial moisture contents of 50-55% dry-basis was provided and dried using air temperatures of 70°C, 80°C and 90°C. Air velocity was set at 1±0.5 m/s and percentage of recycled air of 95. The desired final moisture content was about 20-25% dry-basis. The results show that parboiled rice with combined drying with hot air convection and infrared radiation has high head rice yield value compared to those of solely infrared irradiation and hot air convection only. Moreover, All drying conditions have been presented in this conference.

Key words: Brown Rice, Hot air, Infrared, Quality

1. บทนำ

ข้าวกล้องนึ่ง เป็นการพัฒนาคุณภาพของข้าวกล้องให้ดียิ่งขึ้น สามารถช่วยเก็บรักษาข้าวกล้องได้นานยิ่งขึ้น เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว เพื่อนำเอาเปลือกออก ข้าวที่ได้จึงเป็นข้าวขุ่น โดยยังมีจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว(รำ) อยู่ ในปัจจุบันข้าวกล้องเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเนื่องจากให้คุณค่าทางโภชนาการที่สูงกว่าข้าวขาว เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินบีรวมและเกลือแร่ เป็นต้น ซึ่งปัญหาที่สำคัญของข้าวกล้องคือ จะมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น คือประมาณ 3-6 เดือนและจะเกิดกลิ่นหืนได้เร็วกว่าข้าวสาร เนื่องจากข้าวกล้องมีปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าข้าวสาร ซึ่งต้องอาศัยการเก็บรักษาที่ถูกต้องเหมาะสม จะช่วยรักษาคุณภาพ รสชาติ และรูปร่างลักษณะทางกายภาพ

ขั้นตอนหลักในการทำข้าวกล้องนึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ การแช่ การนึ่ง และการอบแห้ง ซึ่งในขั้นตอนการแช่ จะแช่ข้าวในน้ำร้อนผลทำให้เกิดเ

ลาติไนต์ โดยน้ำจะซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว ความร้อนจะทำให้น้ำแพร่เข้าในเมล็ดข้าวได้อย่างรวดเร็ว น้ำหรือความชื้นจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ขั้นตอนการนึ่ง เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลาติไนต์ที่สมบูรณ์ ผลจากการเกิดเจลาติไนต์พบว่าสามารถช่วยเพิ่มปริมาณต้นข้าว ส่วนในขั้นตอนของการอบแห้ง เป็นขั้นตอนที่ใช้ลดความชื้นของข้าวกล้องนึ่งให้เหมาะสมกับการเก็บรักษา โดยที่ความชื้นหลังการอบแห้งควรมีค่าสูงกว่า 20% มาตรฐานแห้ง ซึ่งถ้าค่าความชื้นต่ำกว่านี้จะเกิดการคืนตัวของแป้ง (Starch retrogradation) ทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง ดังนั้นจึงต้องทำการอบแห้งให้ได้ความชื้นที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำไปเก็บในที่อับอากาศ (Tempering) และขั้นตอนสุดท้ายจึงนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อม ให้ได้ความชื้นสุดท้ายตามต้องการ

Krit Jaimjiroj (2000) [1] ได้ทำการศึกษาอบแห้งข้าวกล้องโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนและลมร้อน โดยในการอบแห้งข้าวกล้องสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ 1.3-1.5 เท่าของระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือก เนื่องจากข้าวกล้องมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าข้าวเปลือก ปริมาณต้นข้าวที่ได้จะมีค่าที่ลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิของลมร้อนในการอบแห้งเพิ่มขึ้น และพบว่าการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนจะมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่า แต่ร้อยละต้นข้าวที่ได้หลังจากการขัดสีจะมีข้าวที่แตกหักเพิ่มขึ้นกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งข้าวกล้องไม่ได้ทำให้คุณภาพด้านความขาวลดลง

Elbert และคณะ (2001) [2] ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของการอบแห้ง เวลา และระดับความชื้นเริ่มต้นในการทำข้าวนึ่ง โดยใช้ข้าวเปลือก 100 กรัม แช่ในน้ำอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30-40% มาตรฐานเปียก ก่อนการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบชั้นบางที่มีการหมุนเวียนของอากาศจากการทดลองจะใช้ หลักการตอบสนองต่อพื้นผิวของเมล็ดข้าว มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพข้าวนึ่ง พบว่าอุณหภูมิการอบแห้งและเวลาที่ใช้มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ด คือเมื่ออุณหภูมิอบแห้งลดลง เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดจะเพิ่มขึ้น และค่าดัชนีความเหลืองจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ข้าวเปลือก

Miah และคณะ (2000) [3] ศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อคุณภาพของข้าวนึ่ง โดยข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นเริ่มต้น 10.8% มาตรฐานเปียก ความหนาแน่น 600 kg/m^3 และค่าความพรุนของข้าวเปลือกเท่ากับ 56.3% ในการทดลองใช้อุณหภูมิของน้ำแช่เท่ากับ 25 และ 80°C ตามลำดับ พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้แช่ข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นของข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้น และเมื่อนำข้าวนึ่งที่ได้ไปกระเทาะและขัดสี จะได้เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดสูงขึ้น เนื่องจากการแตกหักของข้าวเปลือกลดลง ข้าวที่ได้จึงมีคุณภาพดีขึ้น

Sharma และคณะ (2004) [4] ได้ทำการศึกษาการแผ่รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งหัวหอม ทำการทดลองที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 300, 400 และ 500 วัตต์ อุณหภูมิอบแห้ง 35, 40 และ 45°C ความเร็วลม 1.0 ,1.25 และ 1.5 m/s หัวหอมที่นำมาทดลองทำให้เป็นแผ่นบาง ๆ ความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มของรังสีอินฟราเรดและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลง และเมื่อความเร็วลมที่ใช้เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ในการผลิตข้าวนึ่ง ปัจจัยที่ผลต่อการอัตราการอบแห้งและคุณภาพข้าวนึ่ง ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้แช่ข้าวเปลือก แหล่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย รังสีอินฟราเรดถือได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานที่น่าสนใจเพราะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้ง โดยไม่ทำให้คุณภาพข้าวลดลง ดังนั้นการเลือกแนวทางการนำพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้ง เป็นอีกหนึ่งแนวทางใหม่ที่น่าสนใจ และน่าจะเป็นกรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องนึ่งอีกวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูง

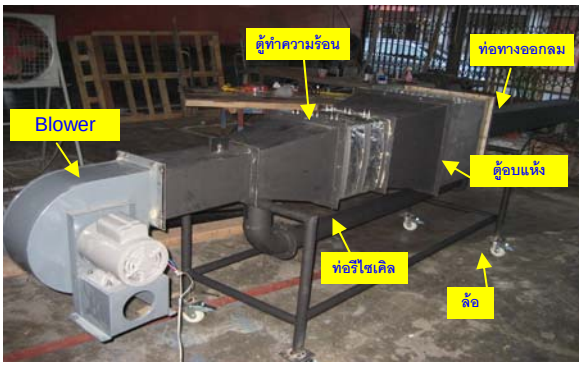
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

ข้าวเปลือกสำหรับทดลอง ได้แก่ ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาทจากศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดพัทลุง ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 50-55% มาตาฐานแห้ง หาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) [5]

2.2 อุปกรณ์

เครื่องอบแห้งข้าวนึ่งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย ตู้อบแห้งขนาด 55×55×55 cm^3 ถาดที่ใช้อบแห้งมีขนาด 30×32×2 cm^2 จำนวน 4ถาด เครื่องทำความร้อนขนาดตัวละ 1000 W จำนวน 6 ตัว พัดลมเป่าอากาศ ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 1 ตัว หลอดรังสีอินฟราเรดขนาดหลอดละ 500 W จำนวน 4 หลอด



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งข้าวนึ่ง โดยใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมข้าวกล้อง

นำข้าวเปลือกมากะเทาะด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก แล้วคัดแยกเมล็ดข้าวส่วนที่ยังมีเปลือกออก

2.3.2 การเตรียมข้าวนึ่ง

(ก) การแช่: นำข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท แช่ในน้ำอุณหภูมิประมาณ 70°C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยจะวัดอุณหภูมิทุก 15 นาที

(ข) การนึ่ง: นำข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการแช่แล้ว มานึ่งในหม้อนึ่งเป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วนำข้าวกล้องมาทำการวัดความชื้นก่อนอบแห้งแล้วทำการบันทึกค่า หลังจากนั้นนำข้าวที่ได้ หลังจากทำการนึ่ง

แล้วไปเก็บในที่อับอากาศเป็นระยะเวลา 30 นาที

(ค) การอบแห้ง: นำข้าวกล้องนึ่งจากการเก็บในที่อับอากาศมาอบแห้งด้วยสภาวะดังนี้

สภาวะที่ 1 อบแห้งด้วยลมร้อนจากกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

สภาวะที่ 2 อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว

สภาวะที่ 3 อบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า

โดยกำหนดความเร็วลมภายในตู้อบแห้ง 1.0±0.5 m/s กระแสป้อนกลับของอากาศอบแห้ง 95% บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ น้ำหนัก อุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และอุณหภูมิอบแห้งภายในตู้อบแห้งโดยใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ SUPCON ความละเอียด ± 0.01°C ต่อกับเทอร์โมคับเปิลชนิด K อบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 20-25% มาตรฐานแห้ง หลังจากนั้นนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปเก็บในที่อับอากาศอีกครั้ง เป็นระยะเวลา 30 นาที

นำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วแต่ละสภาวะไปทดสอบคุณภาพ โดยทดสอบคุณภาพด้าน เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ความเหลืองของข้าว และข้าวท้องไข่

2.3.3 การทดสอบคุณภาพข้าว

(ก) วิธีการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

พิจารณาปริมาณข้าวหักที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการแช่และอบแห้ง โดยนำข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้ง 125 กรัม นำมาแยกส่วนที่เป็นข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหัก โดยทำการคัดแยกด้วยมือ โดยข้าวที่เต็มเมล็ดนั้นต้องมีความยาวของเมล็ดข้าวกล้องตั้งแต่ 7 มิลลิเมตรเป็นต้นไป บันทึกค่าน้ำหนักของข้าวกล้องที่ผ่านการคัดแยกแล้ว

(ข) วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวกล้อง

การทดสอบสีของข้าวกล้องนั้น ใช้ระบบการวัดสีแบบ Hunter scale (L,a,b) โดยใช้เครื่องวัดสี Master Data Color (USA) ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) สอบเทียบใช้อุปกรณ์ในการสอบเทียบค่า
2) นำตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้ง แต่ละชุดมาตรวจสอบค่า L, a และ b แล้วทำการบันทึกค่าที่ได้
3) ทำการทดสอบวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีซ้ำอีก 3 ครั้ง แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

(ค) วิธีการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) นำตัวอย่างข้าวมาจำนวน 100 เมล็ด
2) แยกข้าวที่เป็นข้าวท้องไข่ออกมา โดยใช้แสงไฟส่องโดยจะเลือกข้าวที่มีลักษณะเป็นจุดขาวขุ่นทึบที่มากกว่า 50% ของเมล็ดข้าวกล้องนึ่ง
3) บันทึกจำนวนข้าวที่เป็นข้าวท้องไข่ที่ได้ ทำซ้ำกันตัวอย่างล 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปคิดเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์ ข้าวท้องไข่

2.3.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งจากสมการความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

จากข้อมูลการทดลองทำการคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง ตามสมการที่ (1)

$$SEC = \frac{3.6P}{m_{in} - m_f} \quad (1)$$

โดยที่ m_{in} คือ น้ำหนักของข้าวนึ่งก่อนอบแห้ง (kg)

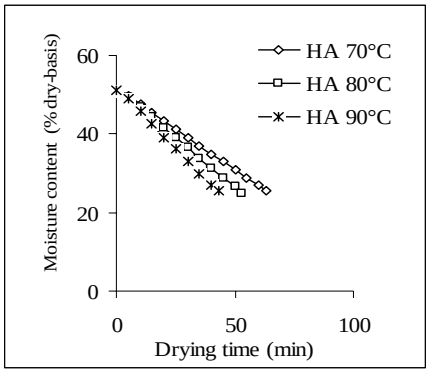
m_f คือ น้ำหนักของข้าวนึ่งหลังอบแห้ง (kg)

P คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kW-h)

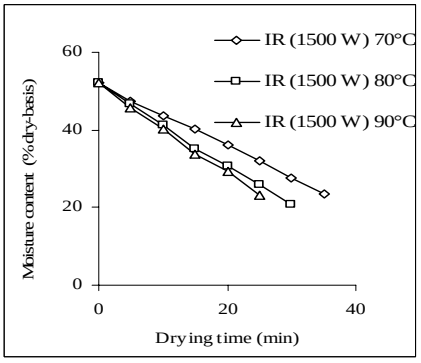
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิและแหล่งพลังงานที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

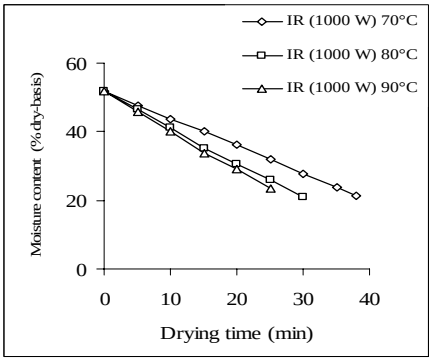
อิทธิพลของอุณหภูมิและแหล่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า การเลือกใช้รังสีอินฟราเรดและการใช้พลังงานความร้อนร่วม (ลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด) แหล่งพลังงาน มีผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยที่การลดลงของความชื้นของข้าวกล้องนึ่ง สามารถลดลงได้เร็วกว่ากรณีที่อบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ได้รับจากหลอดรังสีอินฟราเรด เป็นพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถทะลุผ่านวัสดุเข้าไปภายใน ทำให้โมเลกุลภายในวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนและผลทำให้วัสดุนั้นร้อนขึ้น ในที่นี้เมื่อเมล็ดข้าวนึ่งได้รับการกระตุ้นจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เมล็ดข้าวกล้องนึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น รวมทั้งโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวนึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย กลไกการอบแห้งนอกจากจะเกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลที่ผิวของเมล็ดข้าวนึ่งแล้ว จะเกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลภายในเนื้อของวัสดุพร้อมกันไปด้วย ทำให้อัตราการอบแห้งเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งจะลดลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว และพบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวนึ่งด้วย โดยที่เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น



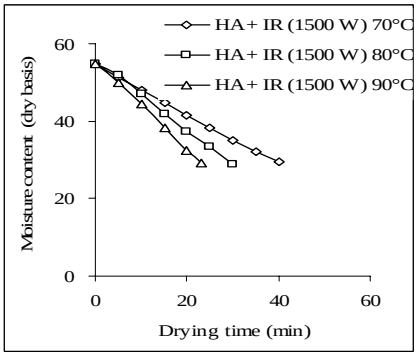
(a) อบแห้งด้วยลมร้อน



(b) อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 1500 W



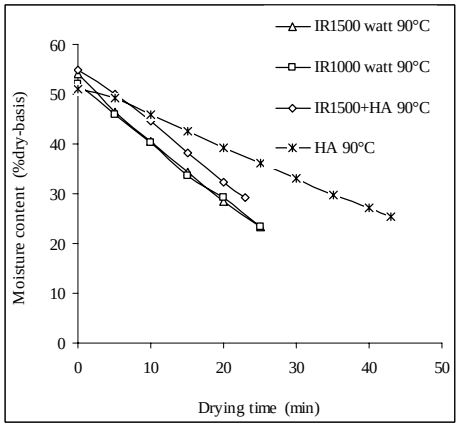
(c) อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 1000 W



(d) อบแห้งด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด

รูปที่ 2 (a-d) อิทธิพลของอุณหภูมิและแหล่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง: อุณหภูมิอบแห้ง 70-90°C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวนึ่ง 50-55% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง 1.0±0.5 m/s

จากรูปที่ 3 ทำการเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเมื่อใช้แหล่งพลังงานความร้อนที่แตกต่างกัน พบว่ากรณีการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วม ผลทำให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว และพลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ



รูปที่3 อิทธิพลของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง: อุณหภูมิอบแห้ง 90°C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวนึ่ง 50-55% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง 1.0±0.5 m/s

3.2 วิเคราะห์คุณภาพข้าวที่ได้จากการอบแห้ง

(ก) ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ด

ผลการทดลองหาค่าร้อยละข้าวเต็มเมล็ด แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งเปรียบเทียบการทดลองอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อน 3 แบบ คือ ลมร้อนอย่างเดียว พลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดที่ และการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วม (พลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่) พบว่า ค่าร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดของข้าวกล้องนึ่งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนทั้ง 3 แบบ จะมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคือ ร้อยละ 70 โดยที่กรณีของการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วม (พลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด) จะมีค่าร้อยละข้าวเต็มเมล็ดสูงที่สุด และการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรด จะมีค่าร้อยละข้าวเต็มเมล็ดที่น้อยที่สุด

(ข) ค่าความเหลือง

จากตารางที่ 1 แสดงค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวกล้องนึ่งที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ พบว่า ที่แหล่งพลังงานทั้ง 3 รูปแบบ ค่าความเหลืองของข้าวมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 14–16 สามารถสรุปได้ว่า แหล่งพลังงานทั้ง 3 แบบที่ใช้ในการทดลอง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวกล้องนึ่งที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 แสดงค่าคุณภาพทางกายภาพของข้าวกล้องนึ่งที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ

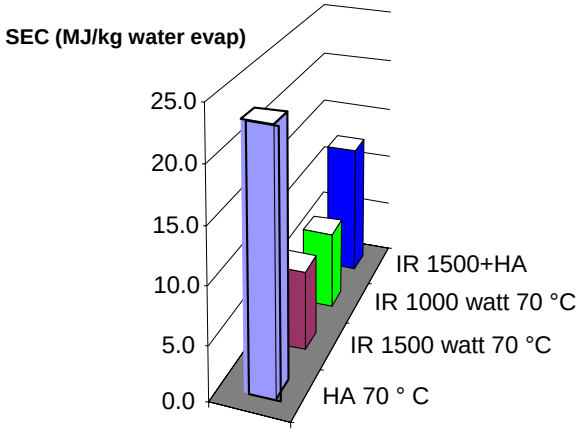
Drying condition	Drying time(min)	Quality		
		%HRY	Yellowness	% White belly
Power of Infrared Radiation 1000 Watt				
70°C	40	74.91	14.73	1.33
80°C	30	75.49	15.06	2.00
90°C	25	78.22	15.17	2.67
Power of Infrared Radiation 1500 Watt				
70°C	35	78.19	15.58	4.66
80°C	25	77.67	15.5	2.33
90°C	25	79.74	15.7	2.33
Hot air + Power of Infrared Radiation 1500 Watt				
70°C	40	87.10	14.14	4.00
80°C	30	89.28	13.99	3.00
90°C	23	87.25	14.96	2.00
*Hot air				
70°C	63	78.38	15.06	2.00
80°C	53	83.05	15.11	2.33
90°C	43	87.42	15.33	3.33

(ค) เปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่

เปอร์เซ็นต์ของข้าวท้องไข่ แสดงถึงลักษณะที่ไม่ดีของข้าวกล้องนึ่งได้ เพราะข้าวจะมีลักษณะเป็นจุดขุ่นขาวและทึบแสงและเกิดช่องว่างขึ้นภายในเมล็ดข้าว โดยจะมีอากาศแทรกอยู่ตามช่องว่าง ซึ่งเกิดจากเกิดการเจลาติไนต์ของแป้งในเมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์ และพบว่าเปอร์เซ็นต์ท้องไข่ของข้าวกล้องนึ่ง ที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ นั้น มีค่าของข้าวท้องไข่ไม่เกินค่ามาตรฐาน คือที่ร้อยละ 5

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งข้าวนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า กรณีทำการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงานมีค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งต่ำกว่ากรณีการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วม และการอบแห้งด้วยลมร้อนจากพลังงานกระแสไฟฟ้าอย่างเดียว ตามลำดับ เนื่องการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าเมื่อเทียบกับกรณีการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแหล่งอื่น ทั้งนี้เป็นผลมาจากจุดเด่นของรังสีอินฟราเรด ในส่วนของประสิทธิภาพการให้ความร้อน



รูปที่ 4 อิทธิพลของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ข้าวกล้องนึ่ง: อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวนึ่ง 50-55% มาตรฐานแห้ง ความเร็วลมที่ใช้ใน การอบแห้ง 1.0±0.5 m/s

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการนึ่งข้าวกล้อง ในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง จะส่งผลต่ออัตราการอบแห้งคือเมื่ออุณหภูมิที่ใช้เพิ่มขึ้นแล้วอัตราการอบแห้งก็จะเพิ่มขึ้นด้วย รวมถึงการเลือกใช้แหล่งพลังงานในการอบแห้ง โดยพบว่า การใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า นั้นจะใช้ลดระยะเวลาในการอบแห้งได้มากกว่า การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียวและพลังงานความร้อนจากกระแสไฟเพียงอย่างเดียวตามลำดับ

2) ค่าร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดของข้าวกล้องนึ่ง มีค่าเพิ่มมากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือร้อยละ 70 โดยที่กรณีของการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วม (พลังงานความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด) จะมีค่าร้อยละข้าวเต็มเมล็ดสูงที่สุด

3) การเลือกใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งจะช่วยลดค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งให้ลดต่ำลง ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอบแห้งมีค่าพลังงานจำเพาะมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา ที่สนับสนุนเงินทุนและสถานที่ดำเนินการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Elbert, G., Marcela, P., and Suarez, C., Effect of Drying Condition on Head Rice Yield and Browning Index of Parboiled Rice, Journal of Food Engineering , Vol.47, pp. 37–41, 2001.

2. Sharma, G. P., Verma, R. C., and Pathare, P.B., Thin-layer Infrared Radiation Drying of Onion Slices, Journal of Food Engineering, Vol.67, pp. 361-366, 2005.
3. AOAC, Official Method of Analysis, 16th ed., Arlington, Verginia. USA: The Association of Official Analytical Chemists, Inc, 1995.
4. Kaddus , M.A., Haque, A. , Paul , M. and Clark , B., Parboiling of rice part I: Effect of Hot Soaking Time on Quality of Milled Rice, International Journal of Food Science and Technology, Vol.37, pp. 538-545, 2000.
5. Das, S. and Satish, B., Specific Energy and Quality of Infrared (IR) Dried Parboiled Rice, Journal of Food Engineering, Vol.62, pp. 9-14, 2004.