



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562
ณ โรงแรมฮาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี
Available online at www.tsaе.asia

ผลกระทบของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและพลังงานของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

Effects of Far-Infrared Radiation on Drying Kinetics and Energy Consumption of Paddy Drying Using a Rotary Dryer

ปฏิวดี คมวชิรกุล^{1*}, ฉัตรชัย นิยมมล², อัสวิน ยอดรักษ์²

Patiwat Khomwachirakul^{1*}, Chatchai Nimmol², Aswin Yodruks²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, 1381 Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

²ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

²Department of Materials Handling and Logistics Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

*Corresponding author: E-mail: patiwat.k@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี การอบแห้งกระทำที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 30 ถึง 32% (d.b) โดยใช้ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล 2 3 และ 4 kW m⁻² และความเร็วรอบของถังหมุน 3 และ 6 rpm จากการศึกษพบว่า การลดลงของความชื้นของข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล ขณะที่ความเร็วรอบของถังหมุนไม่มีผลกระทบต่อการลดลงของความชื้นมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 46.2 MJ kg_{water}⁻¹ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออบแห้งที่ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล 4 kW m⁻² และความเร็วรอบของถังหมุน 3 rpm

คำสำคัญ: การแผ่รังสีอินฟราเรดไกล, ข้าวเปลือก, ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, เครื่องอบแห้งแบบโรตารี

Abstract

The objective of this research was to investigate the effect of far-infrared radiation on the drying kinetics of paddy and specific energy consumption of the rotary dryer. The paddy was dried from the initial moisture content of around 30 to 32% (d.b) with the far-infrared radiation intensity of 2, 3 and 4 kW m⁻² and the drum revolution of 3 and 6 rpm. The results showed that the moisture reduction of paddy was strongly depended on the far-infrared radiation intensity, while the drum revolution had a little effect on the moisture reduction of paddy. In addition, the lowest specific energy consumption of the drying process of 46.2 MJ kg_{water}⁻¹ was found when drying was performed at the far-infrared radiation intensity of 4 kW m⁻² and rotary revolution of 3 rpm.

Keywords: Far-infrared radiation, Paddy, Specific energy consumption, Rotary dryer

1 บทนำ

การอบแห้งข้าวเปลือกสามารถทำได้ด้วยเครื่องอบแห้งหลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต้ต์เบด หรือเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งเหล่านี้ยังคงมีข้อด้อย กล่าวคือ ระบบต้องใช้พลังงานมาก (Mihindukulasuriya and Jayasuriya, 2013) หรือข้าวอาจ

แตกหักซึ่งเป็นผลจากลักษณะการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกภายในเครื่องอบแห้ง (Goksu et al., 2005) เพื่อลดข้อบกพร่องดังกล่าว กระบวนการอบแห้งที่ใช้ความร้อนการเคลื่อนตัวของเมล็ดข้าวอย่างนิ่มนวล (ไม่เกิดการชน หรือกระแทกกันอย่างรุนแรง) และมีการกระจายอุณหภูมิของอากาศระหว่างการอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ โดยเครื่องอบแห้งที่มีคุณลักษณะดังกล่าวได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary dryer)

เครื่องอบแห้งแบบโรตารีเป็นเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานในเกณฑ์สูง สามารถอบแห้งอย่างต่อเนื่องได้ในปริมาณที่มาก มีส่วนประกอบสำคัญ คือ ถังหมุนทรงกระบอก (Drum) ภายในถังทรงกระบอกมีใบกวาด (Flights) ติดตั้งไว้เพื่อช่วยให้วัสดุที่ต้องการอบแห้งเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และสัมผัสกับอากาศร้อนได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลระหว่างอากาศร้อนกับวัสดุที่ต้องการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น (Revol et al., 2001) จากงานวิจัยที่ผ่านมา การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง (Firouzi et al., 2017) ซึ่งการถ่ายเทความร้อนอาศัยกลไกของการพา (Convection) ลักษณะเช่นนี้ส่งผลให้มีโอกาสการสูญเสียพลังงานได้มากและใช้เวลาในการอบแห้งนาน เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อน การหาแหล่งพลังงานความร้อนอื่นที่มีการสูญเสียพลังงานน้อยมาใช้กับเครื่องอบแห้งแบบโรตารีจึงเป็นสิ่งจำเป็น

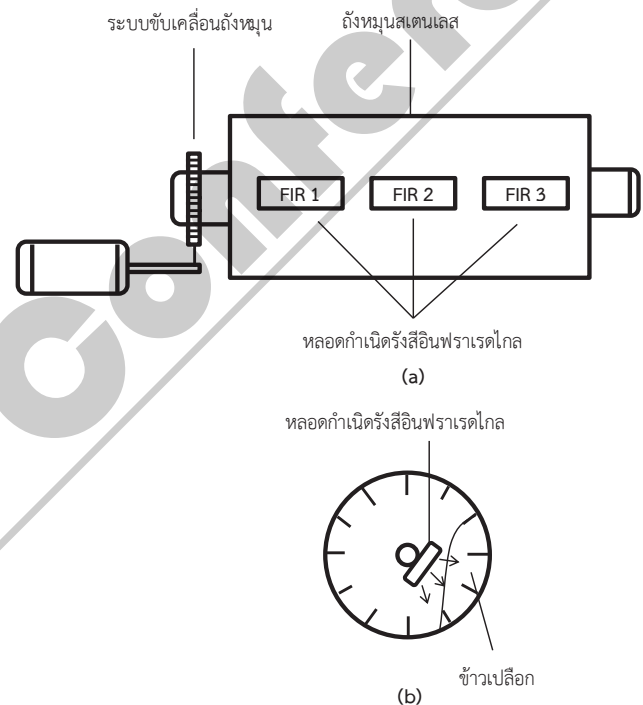
การแผ่รังสีอินฟราเรดไกล (Far-infrared radiation) หรือ FIR ถือเป็นหนึ่งในรูปแบบของแหล่งพลังงานความร้อนที่น่าสนใจและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ คุณสมบัติที่สำคัญของรังสีอินฟราเรดไกล คือสามารถทะลุทะลวงผ่านเข้าไปยังผิวของวัสดุและทำให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนส่งผลให้เกิดความร้อน ด้วยเหตุนี้ น้ำ (หรือความชื้น) ที่อยู่ภายในวัสดุจึงเคลื่อนที่มายังผิวของวัสดุและระเหยออกไป ด้วยเหตุที่รังสีอินฟราเรดไกลสามารถทะลุทะลวงเข้าสู่ภายในเนื้อวัสดุได้โดยตรง พลังงานที่วัสดุได้รับจากรังสีอินฟราเรดไกลจึงมีการสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา ดังนั้นการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลจึงใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการอบแห้งวิธีอื่นค่อนข้างมาก รวมถึงใช้พลังงานน้อยกว่าด้วย (Ginzburg, 1969; Sandu, 1986; Ratti and Mujumdar, 1995) นอกจากนี้ ความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลยังตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะการอบแห้งได้อย่างรวดเร็วและใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย มีผลการศึกษายืนยันอย่างชัดเจนว่าเมื่อนำการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลมาใช้ร่วมกับวิธีการอบแห้งรูปแบบต่างๆ ระยะเวลาการอบแห้งสามารถลดลงได้มาก รวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งยังเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลยังมีคุณภาพสูง (Meeso et al., 2004; Lin et al., 2007; Nimmol et al., 2007; Aktas et al., 2017)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีโดยใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล (Infrared Rotary Dryer: IRD) ซึ่งจะศึกษาผลกระทบของความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล (Far-infrared radiation intensity) และความเร็วรอบของถังหมุน ที่มีต่ออุณหภูมิและการอบแห้งข้าวเปลือกและการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องอบแห้ง

รูปที่ 1 แสดงแผนผังของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลซึ่งประกอบไปด้วยถังหมุนที่ทำจากสแตนเลสซึ่งใช้สำหรับบรรจุข้าวเปลือก ถังหมุนดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 mm และยาว 703 mm มีใบกวาดตามแนวยาวของถังหมุนจำนวน 12 ใบ ขนาด 30 x 700 mm ภายในติดตั้งหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดไกล (Heat Plus, A-2-T) กำลังไฟฟ้าสูงสุด 500 W ขนาด 122 x 60 mm ทำหน้าที่ป้อนพลังงานความร้อนให้แก่ข้าวเปลือกที่นำมาอบแห้ง ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลสามารถปรับได้โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนถังหมุนทำงานด้วยมอเตอร์ขนาด 0.75 kW โดยมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของการหมุน



รูปที่ 1 (a) แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล (b) ภาพตัดของเครื่องอบแห้งและการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล

2.2 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือก

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นวัสดุตัวอย่างในการทดลอง โดยข้าวเปลือกตัวอย่างถูกนำมาเพิ่มความชื้นด้วยการเติมน้ำให้มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30 ถึง 32% (d.b) โดยการหาค่าความชื้นจะกระทำโดยการนำข้าวเปลือกไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 h (AACC, 1995) หลังการเตรียมข้าวเปลือกแล้วเสร็จจะนำข้าวเปลือกไปเก็บในกล่องโฟมที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 1 วัน และก่อนทดลองจะนำข้าวเปลือกมาผึ่งที่อุณหภูมิห้อง 30 min

2.3 วิธีการทดลอง

นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้มาอบแห้ง โดยใช้ความชื้นของการแผ่รังสีอินฟราเรด 2.3 และ 4 kW m⁻² และความเร็วรอบของถังหมุน 3 และ 6 rpm ในระหว่างการอบแห้งจะมีการนำข้าวเปลือกออกจากถังหมุนเป็นระยะเพื่อนำไปชั่งหามวลที่เปลี่ยนแปลง

2.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้ง โดย SEC หมายถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) 1 kg ออกจากข้าวเปลือกซึ่งคำนวณได้จาก

$$SEC = E/m_{\text{water}} \quad (1)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ kg_{water}⁻¹) E คือ พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด (MJ) และ m_{water} คือ มวลน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg_{water})

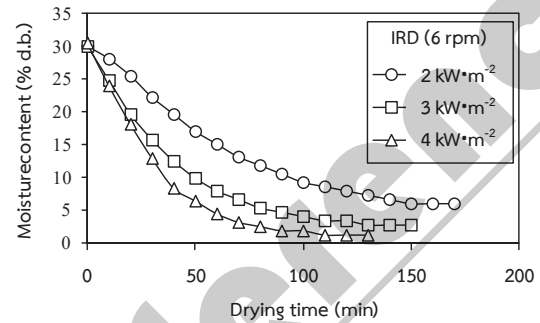
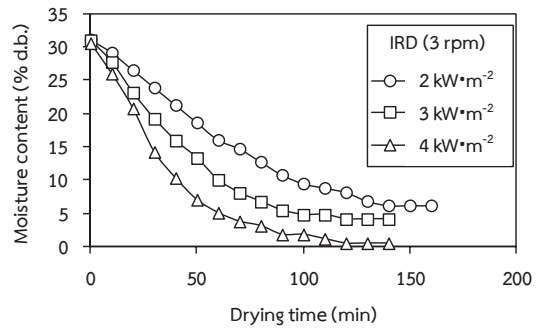
3 ผลและวิจารณ์

3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้งและอัตราการอบแห้ง

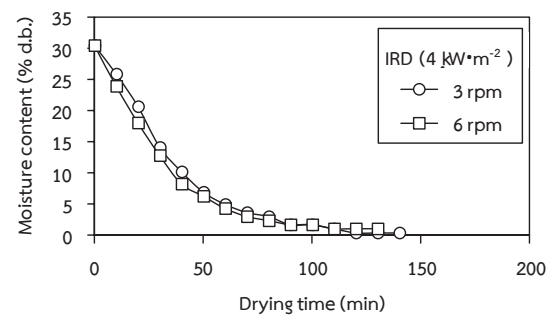
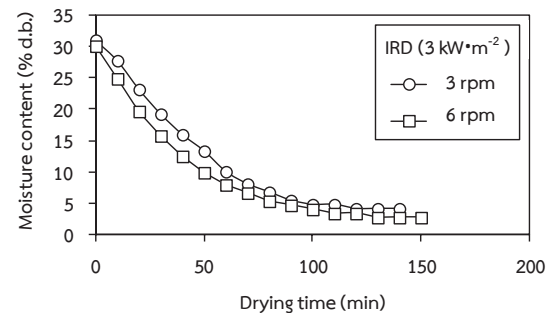
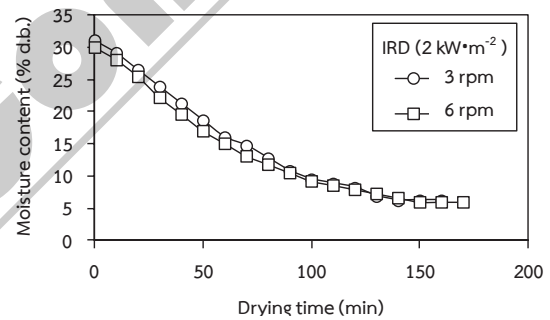
รูปที่ 2 แสดงผลกระทบของความชื้นของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก จะเห็นว่า เมื่อความชื้นของรังสีอินฟราเรดมีค่ามาก ความชื้นสามารถระเหยออกจากข้าวเปลือกได้มากกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการใช้ความชื้นของรังสีอินฟราเรดน้อย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืนโดยข้าวเปลือกได้มากกว่าปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ข้างต้นจะมีลักษณะคล้ายกันทั้งกรณีถึงหมุนหมุนด้วยความเร็วรอบ 3 และ 6 rpm

รูปที่ 3 แสดงผลกระทบของรอบการหมุนของถังที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก จะเห็นว่า การใช้ความเร็วรอบของถังหมุนที่แตกต่างกันไม่ทำให้การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกแตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในระหว่างการอบแห้ง ข้าวเปลือกเกิดการเคลื่อนที่ตลอดเวลา จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดทั้งกรณีใช้ความเร็วรอบของถังหมุน 3 และ 6 rpm ไม่แตกต่างกัน

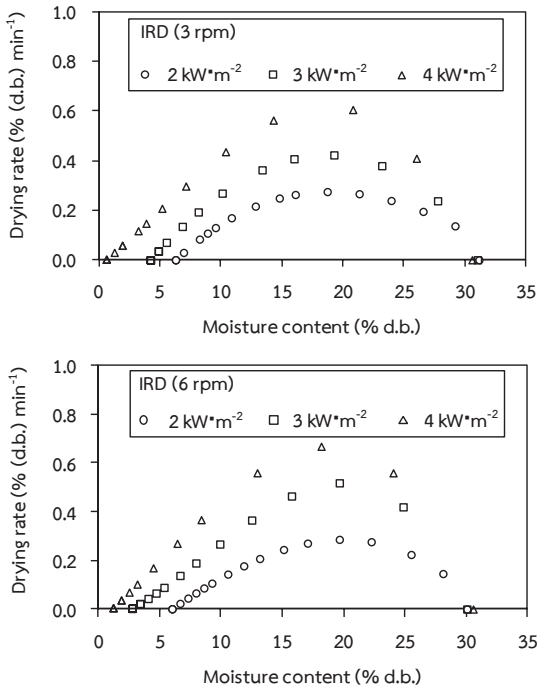
อิทธิพลของความชื้นของการแผ่รังสีอินฟราเรดและรอบการหมุนของถังที่มีต่ออัตราการอบแห้ง (Drying rate) ข้าวเปลือกแสดงให้เห็นในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ จะเห็นว่าแนวโน้มของผลที่ได้คล้ายกับกรณีของการเปลี่ยนแปลงความชื้น กล่าวคือ การอบแห้งด้วยความชื้นของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มากกว่าช่วยให้อัตราการอบแห้งข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่ระเหยได้มากและเร็วกว่า ในขณะที่การอบแห้งด้วยรอบการหมุนของถังหมุนที่ต่างกันไม่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกมากนัก



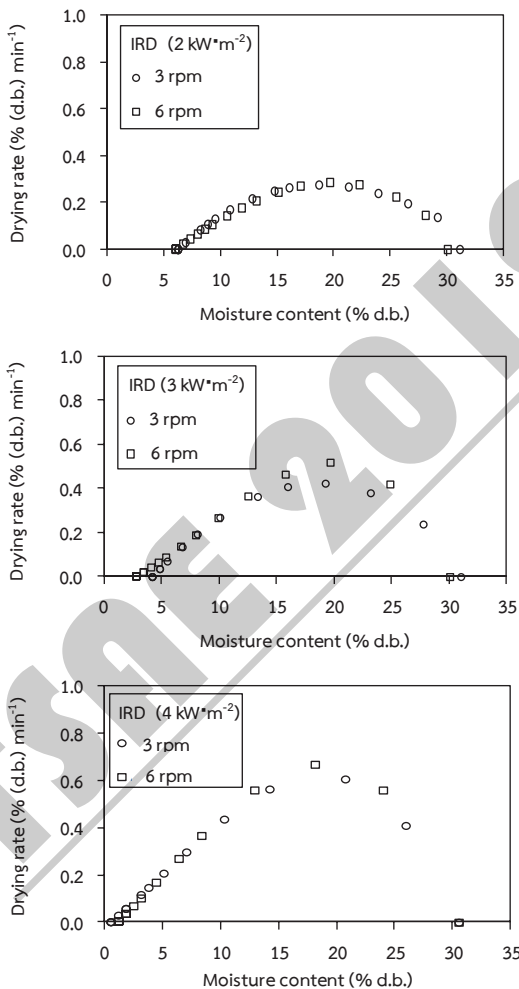
รูปที่ 2 อิทธิพลของความชื้นของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก



รูปที่ 3 อิทธิพลของรอบการหมุนของถังที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก



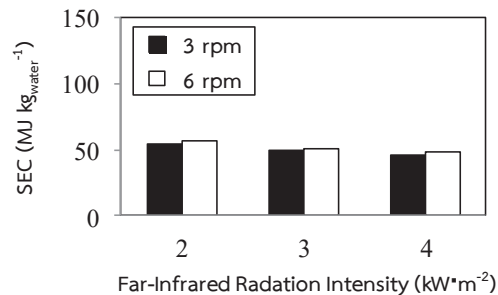
รูปที่ 4 อิทธิพลของความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก



รูปที่ 5 อิทธิพลของรอบการหมุนของถังหมุนที่มีต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

รูปที่ 6 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ หรือ SEC ของกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ จะเห็นว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 46.2 ถึง 52.1 MJ kg_{water}⁻¹ และ 48.8 ถึง 56.4 MJ kg_{water}⁻¹ สำหรับการอบแห้งที่รอบการหมุนของถังหมุน 3 และ 6 rpm ตามลำดับ ในกรณีของความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล พบว่า การใช้ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลมาก ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลง ถึงแม้ว่าการใช้ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลมากจะทำให้หลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดต้องทำงานมากกว่าซึ่งเป็นผลให้ต้องใช้พลังงานมากกว่า แต่ปริมาณความชื้น (น้ำ) ที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกในกรณีนี้ก็กลับมีค่ามากกว่าด้วยเช่นกันดังที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ และด้วยเหตุที่พลังงานที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ระเหย ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะซึ่งคำนวณจากทั้งปริมาณน้ำที่ระเหยและพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งจึงมีแนวโน้มลดลง สำหรับกรณีของรอบการหมุนของถังหมุน พบว่า รอบการหมุนของถังหมุนไม่ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกในแต่ละความเร็วยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน ประกอบกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจึงมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยในงานวิจัยนี้ พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 46.2 MJ kg_{water}⁻¹ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออบแห้งที่ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล 4 kW m⁻² และความเร็วรอบของถังหมุน 3 rpm



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ

4 สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลและรอบการหมุนของถังหมุนที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกและการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีจากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกระหว่างการอบแห้งขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีอินฟราเรดไกล ในขณะที่ความเร็วรอบของถังหมุนไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก การใช้ความเข้มของการแผ่รังสี

อินฟราเรดไกลที่มากขึ้นยังทำให้ความชื้นเล็องพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ความเร็วรอบของถังหมุนไม่ส่งผลให้ความชื้นเปล็องพลังงานจำเพาะมีค่าแตกต่างกันมากนัก

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ได้สนับสนุนเงินทุนสำหรับการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- AACC. 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (9th ed.). St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Ginzburg, A.S. 1969. Application of infrared radiation in food processing. Chemical and Process Engineering Series, Leonard Hill, London.
- Goksu, E.I., Sumnu, G., Esin, A. 2005. Effect of microwave on fluidized bed drying of macaroni beads. *Journal of Food Engineering*, 66, pp. 463–468.
- Firouzi, S., Alizadeh M.R., Haghtalab, D. 2017. Energy consumption and rice milling quality upon drying paddy with a newly-designed horizontal rotary dryer. *Energy*, 119, pp. 629–636.
- Lin, Y.P., Lee, T.Y., Tsen, J.H., King, V.A.E. 2007. Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying. *Journal of Food Engineering*, 79, pp. 1295–1301.
- Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T., Soponronnarit, S. 2004. Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering*, 65, pp. 293–301.
- Mihindukulasuriya, S.D.F., Jayasuriya, H.P.W. 2013. Mathematical modeling of drying characteristics of chilli in hot air oven and fluidizedbed dryers. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15, pp. 154–166.
- Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T., Soponronnarit, S. 2007. Drying and heat transfer behavior of banana undergoing combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation drying. *Applied Thermal Engineering*, 27, pp. 2483–2494.

- Ratti, C., Mujumdar, A.S. 1995. Infrared drying. *Handbook of Industrial Drying: Volume 1, 2nd ed.*, Mujumdar, A.S. (Ed.), Marcel Dekker, New York, pp. 567–588.
- Revol, D., Briens, C.L., Chabagno, J.M. 2001. The design of flights in rotary dryers. *Powder Technology*, 121, pp. 230–238.
- Sandu, C. 1986. Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. *Biotechnology Progress*, 2, pp. 109–119.