



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 13-15 มีนาคม 2562
ณ โรงแรมฮาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี
Available online at www.tsae.asia

จลนพลศาสตร์การอบแห้งและพลังงานของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี
Drying Kinetics and Energy Consumption of Paddy Drying Using a Rotary Dryer

ปฏิวัติ คมวชิรกุล^{1*}, ฉัตรชัย นิยมมล², อัสวิน ยอดรักษ์², อนุชา หิรัญวัฒน์²

Patiwat Khomwachirakul^{1*}, Chatchai Nimmol², Aswin Yodruks², Anucha Hirunwat²

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

เครื่องอบแห้งแบบโรตารีเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สามารถนำมาใช้ในการลดความชื้นวัสดุอนุภาคที่มีความชื้นสูงได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบของถังหมุนที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง การทดลองกระทำที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 100 และ 120°C และความเร็วนรอบของถังหมุน 3 และ 6 rpm จากการศึกษาพบว่า การลดลงของความชื้นของข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วนรอบของถังหมุน สำหรับความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้งมีค่าต่ำสุดที่ 54.5 MJ kg_{water}⁻¹ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C และความเร็วนรอบของโรตารี 6 rpm

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก, ความชื้น, ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, เครื่องอบแห้งแบบโรตารี, อัตราการอบแห้ง

Abstract

Rotary dryer is an effective means that can be used to reduce the moisture of high-moisture particulate material. The aim of this research was to investigate the effects of the drying temperature and rotary revolution on the drying kinetics of paddy and specific energy consumption of the drying process. The drying experiments were carried out at the drying temperatures of 80, 100 and 120°C and the drum revolution of 3 and 6 rpm. The results showed that the moisture reduction of paddy strongly depended on both the drying air temperature and drum revolution. The lowest total specific energy consumption during drying process of 54.5 MJ kg_{water}⁻¹ was found at the drying temperature of 80°C and rotary revolution of 6 rpm.

Keywords: Drying rate, Moisture, Paddy, Specific energy consumption, Rotary dryer

1 บทนำ

ข้าวเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เพราะนอกจากจะเป็นอาหารหลักของคนไทยแล้ว ข้าวยังเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศค่อนข้างมาก แต่ปัญหาที่พบคือหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเปลือกจะมีความชื้นที่สูงทำให้เกิดปัญหาในการเก็บรักษา ถ้าไม่สามารถลดความชื้นให้ลดลงในระดับที่เหมาะสมแล้ว ก็อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณได้ การอบแห้ง (Drying)

หรือการลดความชื้นของข้าวเปลือกก่อนนำไปเก็บรักษานั้นมีความสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวเปลือก สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสามารถทำได้ด้วยเครื่องอบแห้งหลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบต (Hung-Nguyen et al., 2001; Madhiyanon and Soponronnarit, 2005) เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบต (Soponronnarit et al., 1995; Tirawanichakul et al., 2004; Poomsa-ad et al., 2005) หรือแม้กระทั่งเครื่องอบแห้งแบบกระแสน (Nimmol and Devahastin, 2010; Swadisevi et al., 2013) แต่อย่างไรก็ตาม

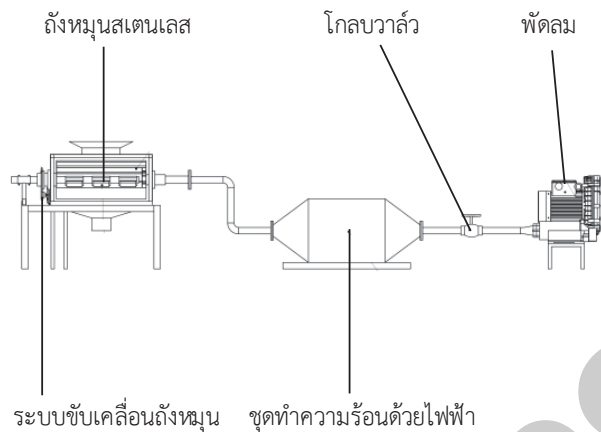
ตาม ทั้งเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดและเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบดต้องใช้พลังงานสำหรับการทำให้เกิดการคลุกเคล้าของข้าวที่นำมาอบแห้ง (Mihindukulasuriya and Jayasuriya, 2013) รวมทั้งข้าวอาจแตกหัก ซึ่งเป็นผลจากลักษณะการลอยตัวและคลุกเคล้าของข้าว ส่วนเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำให้คุณภาพของข้าวที่ได้หลังการอบแห้งไม่ดี กล่าวคือข้าวเกิดการแตกหักค่อนข้างมาก (Swasdisevi et al., 2013) เพื่อลดข้อบกพร่องของเครื่องอบแห้งที่กล่าวข้างต้น กระบวนการอบแห้งที่ใช้ควรมีการเคลื่อนตัวของเมล็ดข้าวอย่างนิ่มนวล ไม่เกิดการชนหรือกระแทกกันอย่างรุนแรง และมีการกระจายอุณหภูมิของอากาศในการอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ โดยเครื่องอบแห้งที่มีคุณลักษณะดังกล่าวได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary Dryer) โดยเครื่องอบแห้งชนิดนี้ถูกนำมาใช้อบแห้งวัสดุในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมยาสูบ หรือแม้กระทั่งอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องอบแห้งแบบโรตารีมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ถังหมุนทรงกระบอก (Drum) ภายในถังทรงกระบอกมีใบกวาด (Flights) ไว้ที่ผิวด้านในเพื่อช่วยให้วัสดุที่ต้องการอบแห้งเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และสัมผัสกับอากาศร้อนได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลระหว่างอากาศร้อนกับวัสดุที่ต้องการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น (Revol et al., 2001)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยจะศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิมอบแห้งและความเร็วรอบของถังหมุนที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องอบแห้ง

รูปที่ 1 แสดงแผนผังของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางการอบแห้ง (Hot-air rotary dryer: HRD) ซึ่งประกอบไปด้วย ถังหมุนที่ทำจากสแตนเลสซึ่งใช้สำหรับบรรจุข้าวเปลือก ถังหมุนดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 mm และยาว 703 mm ภายในติดตั้งใบกวาดตามแนวยาวของถังหมุนจำนวน 12 ใบ ขนาด 30 x 700 mm ระบบขับเคลื่อนถังหมุนทำงานด้วยมอเตอร์ขนาด 0.75 kW โดยมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ควบคุมความเร็วรอบของการหมุนให้เป็นไปตามที่กำหนด นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) ขนาด 15 kW ซึ่งควบคุมอุณหภูมิโดย PID controller ซึ่งมีความแม่นยำ $\pm 1^\circ\text{C}$ พัดลมซึ่งทำงานด้วยมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ถังหมุน ปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าสู่ถังหมุนถูกควบคุมด้วยโกลบวาล์ว



รูปที่ 1 แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

2.2 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือก

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นวัสดุตัวอย่างในการทดลอง โดยข้าวเปลือกตัวอย่างถูกนำมาเพิ่มความชื้นด้วยการเติมน้ำให้มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ $31 \pm 1\%$ (d.b.) โดยการหาค่าความชื้นจะกระทำโดยการนำข้าวเปลือกไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 h (AACC, 1995) หลังการเตรียมข้าวเปลือกแล้วเสร็จจะนำข้าวเปลือกไปเก็บในกล่องโพลีที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 1 วัน และก่อนทดลองจะนำข้าวเปลือกมาผึ่งที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

2.3 วิธีการทดลอง

นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้มาอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิมอบแห้ง 80 100 และ 120°C ความเร็วของอากาศร้อน 11 ms^{-1} และความเร็วรอบของถังหมุน 3 และ 6 rpm ในระหว่างการอบแห้งข้าวเปลือกจะถูกนำออกจากถังเพื่อนำไปชั่งหามวลที่เปลี่ยนแปลง

2.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ของกระบวนการอบแห้งเป็นพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากข้าวเปลือกระหว่างการอบแห้งซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1

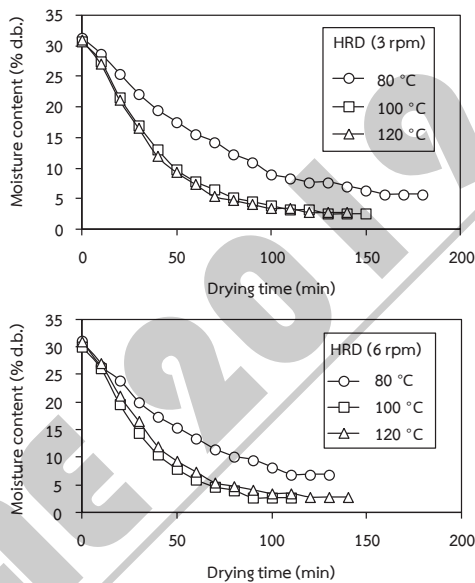
$$\text{SEC} = E/m_{\text{water}} \quad (1)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ($\text{MJ kg}_{\text{water}}^{-1}$) E คือ ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมและชุดทำความร้อน (MJ) และ m_{water} คือ มวลน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg_{water})

3 ผลและวิจารณ์

3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้งและอัตราการอบแห้ง

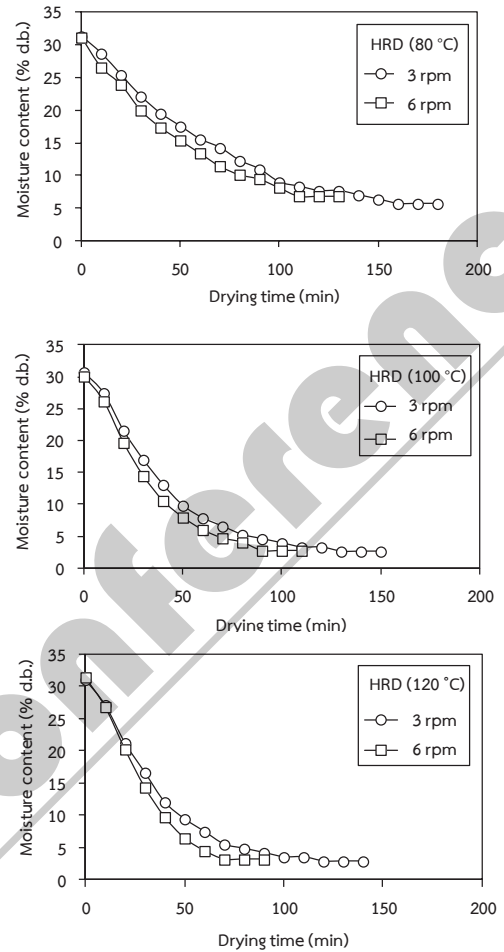
รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก จะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นความชื้นของข้าวเปลือกลดลงได้เร็วมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศ (ตัวกลางในการอบแห้ง) และอุณหภูมิผิวของข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้แรงขับเคลื่อนสำหรับการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ความชื้นที่ผิวของข้าวเปลือกจึงระเหยได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้ง 100 และ 120 °C มีลักษณะใกล้เคียงกันทั้งกรณีความเร็วรอบของถังหมุน 3 และ 6 rpm ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในกรณีนี้ แรงขับเคลื่อนสำหรับการถ่ายเทความร้อนเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 และ 120 °C มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนรูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของรอบการหมุนของถังหมุนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก จะเห็นว่า การใช้ความเร็วรอบของถังหมุนที่มากกว่าส่งผลให้ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเร็วกว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อความเร็วรอบของถังหมุนมากกว่าข้าวเปลือกในถังหมุนจะสัมผัสกับอากาศร้อนได้อย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงกว่า การถ่ายเทความร้อนและมวลสารจึงมีประสิทธิภาพมากกว่า



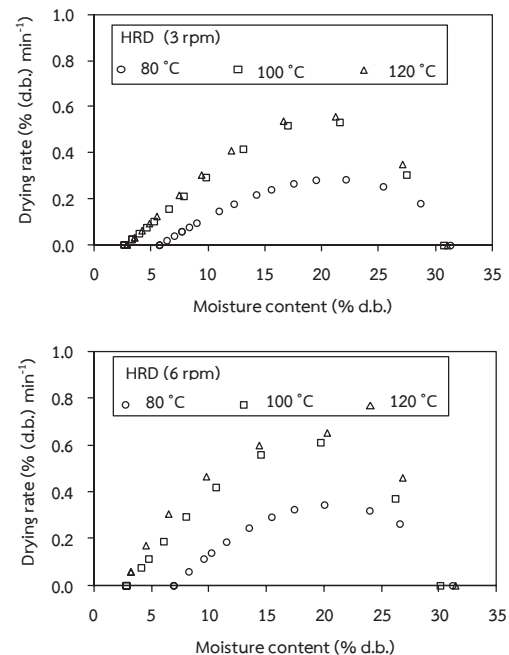
รูปที่ 2 อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก จะเห็นว่า แนวโน้มของผลที่ได้คล้ายกับกรณีของการเปลี่ยนแปลงความชื้น กล่าวคือ การอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงส่งผลให้อัตราการอบแห้งข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ในขณะที่ รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของรอบการหมุนของถังหมุนที่มีต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก โดยแนวโน้มของผลที่ได้มีลักษณะคล้ายกับ

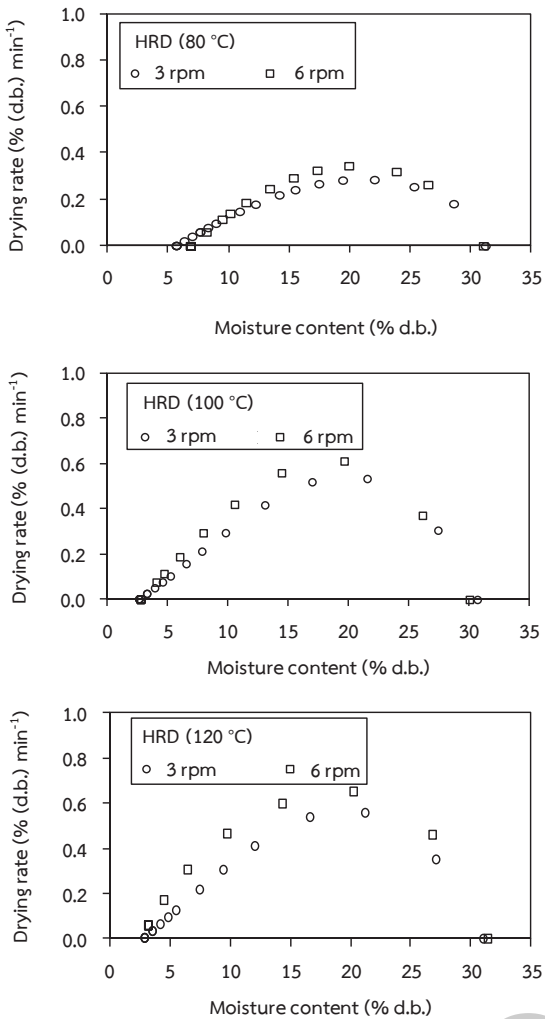
กรณีของการเปลี่ยนแปลงความชื้นเช่นกัน นั่นคือ การอบแห้งด้วยรอบการหมุนของถังหมุนที่มากกว่าส่งผลให้อัตราการอบแห้งข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 อิทธิพลของรอบการหมุนของถังหมุนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก



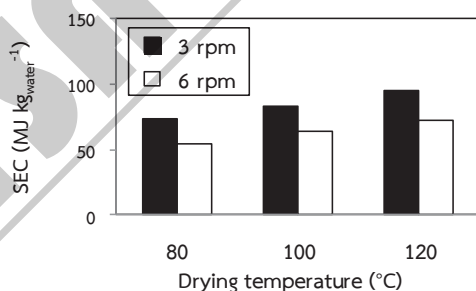
รูปที่ 4 อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก



รูปที่ 5 อิทธิพลของรอบการหมุนของถังหมุนที่มีต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

รูปที่ 6 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ หรือ SEC ของกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ จะเห็นว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 73.8 ถึง 95.4 MJ kg_{water}⁻¹ และ 54.5 ถึง 72.0 MJ kg_{water}⁻¹ สำหรับการอบแห้งที่รอบการหมุนของถังหมุน 3 และ 6 rpm ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ

เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งมีแนวโน้มทำให้ปริมาณน้ำที่ระเหยเพิ่มมากขึ้น แต่กลับทำให้ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้าต้องทำงานมากขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง ในกรณีนี้การเพิ่มของพลังงานมีค่ามากกว่าการเพิ่มของปริมาณน้ำที่ระเหย ดังนั้นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มรอบการหมุนของถังหมุน โดยการเพิ่มความเร็วยรอบของถังหมุนทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ขับถังหมุนเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่ระเหยในงานวิจัยนี้ พบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 54.5 MJ kg_{water}⁻¹ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C และความเร็วยรอบของถังหมุน 6 rpm

4 สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและรอบการหมุนของถังหมุนที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งเมื่อใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง จากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกระหว่างการอบแห้งขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วยรอบของถังหมุน ส่วนในกรณีของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลงเมื่อรอบการหมุนของถังหมุนเพิ่มขึ้น

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ได้สนับสนุนเงินทุนสำหรับการศึกษา

6 เอกสารอ้างอิง

AACC. 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (9th ed.). St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc

Hung-Nguyen, L., Driscoll, R.H., Szrednicki, G. 2001. Drying of high moisture content paddy in a pilot scale triangular spouted bed dryer. *Drying Technology*, 19, 375–387.

Madhiyanon, T., Soponronnarit, S. 2005. High temperature spouted bed paddy drying with varied downcomer air flows and moisture contents: Effects on drying kinetics, critical moisture content, and milling quality. *Drying Technology*, 23, 473–495.

- 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, 154–166.
- Nimmol, C., Devahastin, S. 2010. Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy, *Applied Thermal Engineering*, 30, 2204–2212.
- Poomsa-ad, N., Terdyothin, A., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. 2005. Investigations on head rice yield and operating time in the fluidized-bed drying process: Experiment and simulation. *Journal of Stored Products Research*, 41, 387–400.
- Soponronnarit, S., Yapha, M., Prachayawarakorn, S. 1995. Cross-flow fluidized bed paddy dryer: Prototype and commercialization. *Drying Technology*, 13, 2207–2216.
- Swasdisevi, T., Devahastin, S., Thanasookprasert, S., Soponronnarit, S. 2013. Comparative evaluation of hot-air and superheated-steam impinging stream drying as novel alternatives for paddy drying. *Drying Technology*, 31, 717–725.
- Tirawanichakul, S., Prachayawarakorn, S., Waranyanond, W., Tungtrakul, P., Soponronnarit, S. 2004. Effect of fluidized bed drying temperature on various quality attributes of paddy. *Drying Technology*, 22, 1731–1754.