

การพัฒนากระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี  
ร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดในระดับห้องปฏิบัติการ  
Development of a combined laboratory- scale rotary dryer  
and infrared radiation for high-moisture paddy

อัศวิน ยอดตรีกษ์<sup>1</sup>, ฉัตรชัย นิยมมล<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลหิติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
1518 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800  
\*ติดต่อ: aswin.y@eng.kmutnb.ac.th, 09 2637 5959

### บทคัดย่อ

เครื่องอบแห้งแบบโรตารีเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สามารถนำมาใช้ในการลดความชื้นวัสดุอนุภาคที่มีความชื้นสูงได้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบโรตารียังสามารถเพิ่มขึ้นได้อีก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีสำหรับอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง (ประมาณ 31% d.b.) ด้วยการใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งความร้อนเสริมในกระบวนการอบแห้ง การทดลองจะกระทำโดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 80 100 และ 120°C ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 2 3 และ 4 kW/m<sup>2</sup> และความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี 3 และ 6 RPM โดยผลกระทบของปัจจัยข้างต้นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ได้ถูกประเมิน จากการศึกษาพบว่าการอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากลมร้อนแบบ IHRD ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดเท่ากับ 4 kW/m<sup>2</sup> อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 80°C และความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีเท่ากับ 6 RPM จะให้ SEC ต่ำที่สุด

**คำหลัก:** การแผ่รังสีอินฟราเรด ข้าวเปลือก เครื่องอบแห้งแบบโรตารี ความชื้น ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

### Abstract

Rotary dryer is an effective means that can be used to reduce the moisture of high-moisture particulate material. However, the energy efficiency of the rotary dryer can still be increased. The objective of this research was to study an energy efficiency improvement of the rotary dryer for high-moisture paddy (around 31% (d.b.)) by using infrared radiation as an additional thermal energy. The experiment was carried out at the drying temperatures of 80 100 and 120°C, infrared radiation intensity of 2 3 and 4 kW/m<sup>2</sup> and rotary revolution of 3 and 6 RPM. The effects of the above parameters on the change in moisture content of paddy, drying rate and specific energy consumption (SEC) of the drying system, were investigated. The results showed that regarding the energy efficiency which expressed in terms of SEC, it was noted that drying with IHRD at infrared radiation intensity of 4 kW/m<sup>2</sup>, drying temperature of 80°C and rotary revolution of 6 RPM gave the lowest value of SEC.

**Keywords:** Infrared Radiation, Moisture, Paddy, Rotary Dryer, Specific Energy Consumption

### 1. บทนำ

ข้าว นับเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่ทำรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก และเป็นอาหารหลัก

ของประชากรในหลายประเทศ ข้าวที่มีคุณภาพดีตรงกับความต้องการของตลาดสามารถขายได้ในราคาสูง อย่างไรก็ตาม ข้าวเปลือก (Paddy) ที่เก็บเกี่ยวมาส่วน

ใหญ่ มักมีความชื้นสูงประมาณ 25% (d.b.) ถึง 33% (d.b.) ซึ่งอาจเกิดความเสียหายจากเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา หรืออาจส่งผลให้ข้าวสารมีสีเหลืองเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความชื้น หรืออบแห้ง (Drying) ข้าวเปลือก เพื่อให้ความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าประมาณ 14% (d.b.) ถึง 16% (d.b.) ซึ่งเป็นระดับความชื้นของข้าวเปลือกที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาโดยปราศจากการทำลายของแมลง และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การอบแห้งข้าวเปลือกสามารถทำได้ด้วยเครื่องอบแห้งหลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต้ตเบด (Spouted-bed Dryer) [1] เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized-bed Dryer) [2] หรือแม้กระทั่งเครื่องอบแห้งแบบกระแสด้าน (Impinging Stream Dryer) [3] เป็นที่ทราบกันว่ากระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกต้องใช้พลังงานมาก และอาจส่งผลกระทบต่อตรงต่อคุณภาพของข้าวสารเมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งไปทำการสี [4] ดังนั้น เครื่องอบแห้งที่กล่าวข้างต้น จึงถูกพัฒนาขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก

เมื่อไม่นานมานี้ เครื่องอบแห้งแบบโรตารีถูกนำมาใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกในระดับอุตสาหกรรม เพื่อลดการแตกหักของข้าวสารที่ได้หลังการสี [5] ผลจากการอบแห้งแสดงให้เห็นว่า คุณภาพการสีของข้าวเปลือกที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีซึ่งใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง มีค่าสูงกว่าคุณภาพการสีของข้าวเปลือกที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบเบดนิ่งในระดับอุตสาหกรรม หากพิจารณาในแง่ของระยะเวลา และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีใช้ระยะเวลา และพลังงานมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเร่งกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีให้เร็วขึ้น เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้พลังงาน หรือประหยัดพลังงาน โดยวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวคือ การใช้พลังงานความร้อนเสริมจากการแผ่รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation) ซึ่งถือเป็นแหล่งความร้อนเสริมที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง

ในการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดนั้น เมื่อรังสีอินฟราเรดซึ่งได้จากแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดรูปแบบต่างๆ ตกกระทบกับผิวของวัสดุที่ต้องการอบแห้ง รังสีอินฟราเรดจะทะลุผ่านเข้าสู่ภายในเนื้อวัสดุ พลังงานบางส่วนจากรังสีอินฟราเรดที่ทะลุเข้าสู่เนื้อวัสดุจะถูกดูดกลืนไว้ซึ่งมีผลทำให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุเกิดการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำจะทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นภายในวัสดุ ดังนั้น น้ำที่อยู่ภายในวัสดุซึ่งได้รับ ความร้อนก็จะเคลื่อนที่มายังผิวของวัสดุ และระเหยออกไป ด้วยเหตุที่รังสีอินฟราเรดสามารถทะลุทะลวงเข้าสู่ภายในเนื้อวัสดุได้โดยตรง พลังงานที่วัสดุได้รับจากรังสีอินฟราเรดจึงมีการสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการพาความร้อน (Convection) ด้วยอากาศร้อน ดังนั้นการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดจึงใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการอบแห้งวิธีอื่นค่อนข้างมาก รวมถึงใช้พลังงานน้อยกว่าด้วย [6, 7] นอกจากนี้ การแผ่รังสีอินฟราเรดยังตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะการอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว และใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย ดังนั้นจึงไม่เป็นการยากที่จะนำการแผ่รังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการอบแห้งต่างๆ มีผลการศึกษาที่ยืนยันอย่างชัดเจนว่าเมื่อนำการแผ่รังสีอินฟราเรดมาใช้ร่วมกับวิธีการอบแห้งรูปแบบต่างๆ ระยะเวลาการอบแห้งสามารถลดลงได้มาก รวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งยังเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ ผลผลิตที่ได้จากการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดยังมีคุณภาพสูง [8-14]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง (Drying Kinetics) ของข้าวเปลือก และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกจะถูกดำเนินการในงานวิจัยนี้เช่นกัน

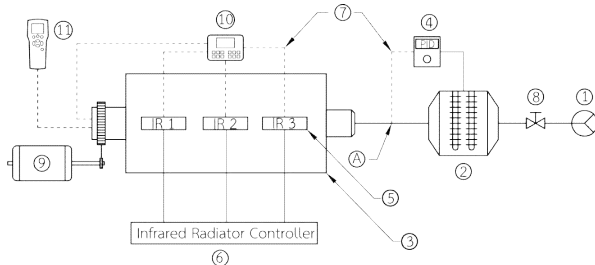
## 2. วิธีวิจัย

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุตัวอย่างทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง โดยข้าวเปลือกตัวอย่างจะถูกนำมาหาความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกตามมาตรฐาน AOAC [15] ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30 ถึง 32% (d.b.)

## 2.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ในงานวิจัย



1) พัดลม 2) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า 3) ถังหมุนสแตนเลส 4) ชุดควบคุมอุณหภูมิ 5) หลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด 6) เครื่องควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรด 7) เทอร์โมคัปเปิล 8) โกลบวาล์ว 9) ระบบขับเคลื่อนถังหมุน 10) เครื่องบันทึกอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 11) เครื่องบันทึกอุณหภูมิกระเปาะเปียก  
รูปที่ 1 แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดที่ใช้ในงานวิจัยนี้

## 2.3 วิธีการทดลอง

ในขั้นแรกข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30 ถึง 32% (d.b.) มวล 2 kg จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบ พัดลมและชุดทำความร้อนจะทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด ในระหว่างการทดลองจะนำข้าวเปลือกทั้งหมดออกจากระบบเพื่อทำการชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก ซึ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะนำข้าวเปลือกออกมาชั่งโดยมีช่วงห่างของเวลาในการเก็บตัวอย่างเท่ากัน จนกระทั่งความชื้นของข้าวเปลือกไม่เปลี่ยนแปลง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้น อัตราการอบแห้งจากการเลือกสมการของการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เหมาะสม และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

## 2.3 เงื่อนไขการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการอบแห้งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 คือการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรด (IRD) เป็นเวลา 50 min ช่วงที่ 2 คือ การเป่าด้วยอากาศแวดล้อม (Ambient Air Ventilation) เป็นเวลา 20 min และช่วงที่ 3 คือการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากลมร้อน (HRD) ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก

รายละเอียด	ค่าที่ใช้
ค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น	30 ถึง 32% (d.b.)
ปริมาณข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	2 kg
อุณหภูมิอบแห้ง	80 100 และ 120°C
ความเข้มของรังสีอินฟราเรด	2 3 และ 4 kW/m <sup>2</sup>
ความเร็วของอากาศที่ใช้ในการพาความร้อนเข้าสู่ระบบ	11 m/s
ความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	3 และ 6 RPM

## 2.4 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง (Drying rate) คือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อหน่วยเวลา อัตราการอบแห้งสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$R = -dM/dt \quad (1)$$

โดยที่ R คือ อัตราการแห้ง (% (d.b.)/min), dM คือ การเปลี่ยนแปลงความชื้น (% (d.b.)) และ dt คือ การเปลี่ยนแปลงเวลาอบแห้ง (min)

## 2.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) เป็นดัชนีแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือก โดยค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจำนวน 1 kg ออกจากข้าวเปลือกซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (2) [7]

$$SEC = E/m_{water} \quad (2)$$

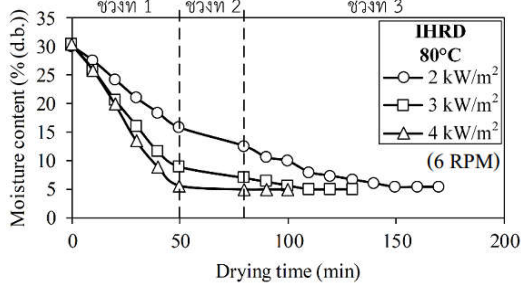
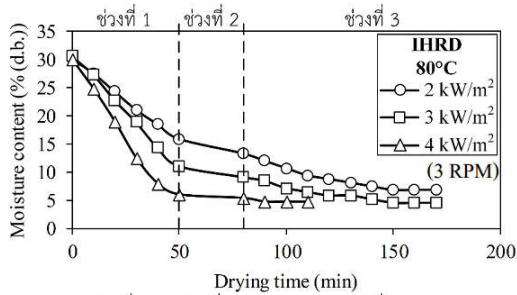
โดยที่ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้ง (MJ/kg<sub>water</sub>) E คือ ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อน (MJ) และ m<sub>water</sub> คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg<sub>water</sub>)

## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

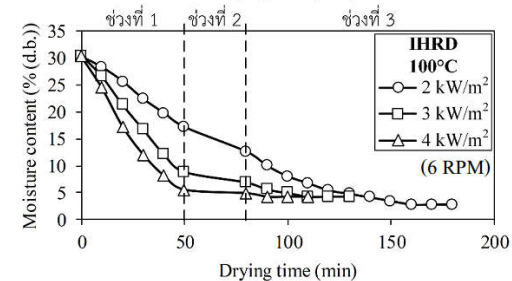
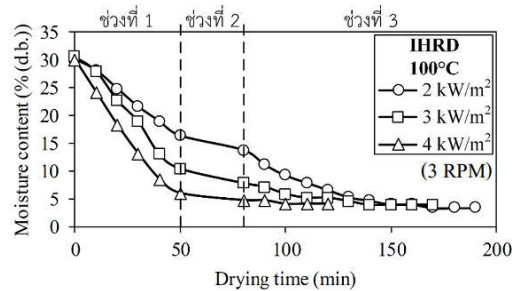
### 3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้น

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก ที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 100 และ 120°C

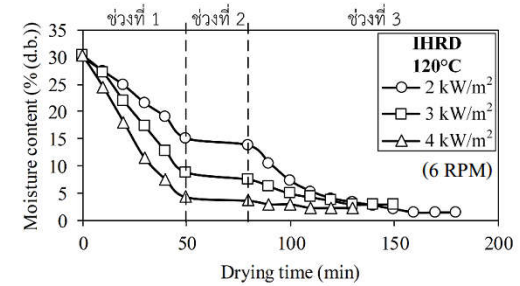
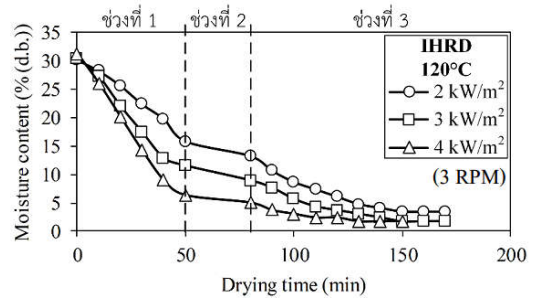
แสดงดังรูปที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มความชื้นของรังสีอินฟราเรดส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยของการอบแห้งช่วงที่ 1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อความชื้นของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้น ข้าวเปลือกจึงดูดกลืนรังสีได้ดีขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่ามากขึ้น



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C

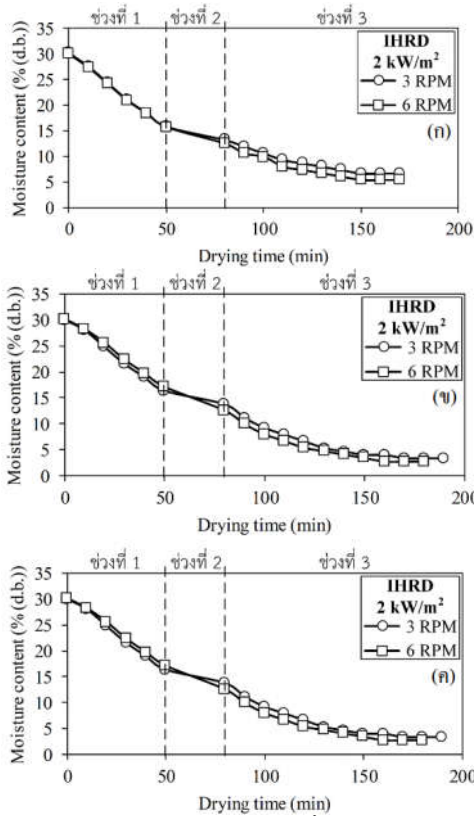


รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C

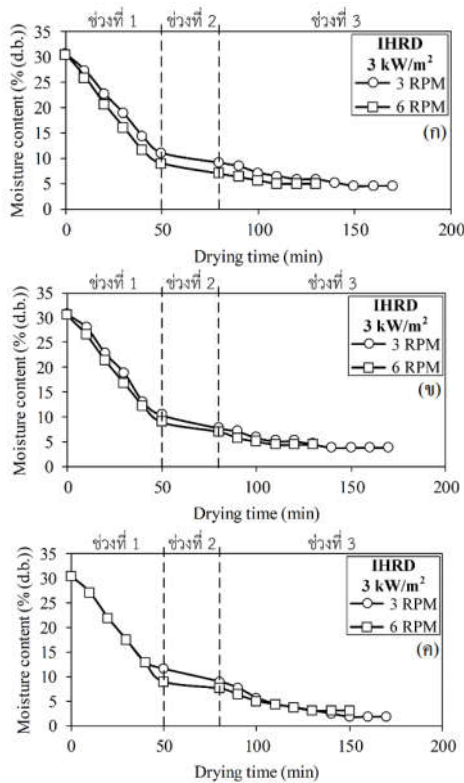


รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง 120°C

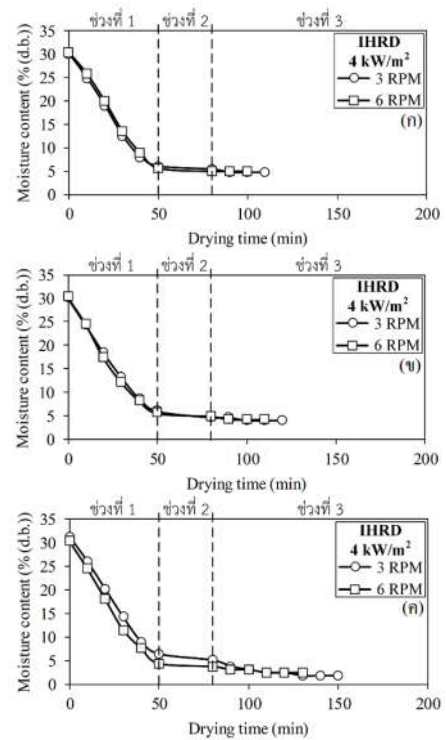
ผลกระทบของความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก ที่ความชื้นของรังสีอินฟราเรด 2 3 และ 4 kW/m<sup>2</sup> แสดงดังรูปที่ 5 6 และ 7 ตามลำดับ พบว่าความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก เนื่องจากขณะอบแห้งข้าวเปลือกเกิดการเคลื่อนที่ตลอดเวลาส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนรังสีลดลง ดังนั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี 3 และ 6 RPM จึงมีประสิทธิภาพในการลดความชื้นใกล้เคียงกัน และสำหรับการอบแห้งช่วงที่ 3 (หลังจากผ่านการอบแห้งช่วงที่ 1 และ 2) ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ภายในข้าวเปลือกมีค่าน้อยมาก ดังนั้นการเพิ่มความเร็วยรอบเครื่องอบแห้งแบบโรตารีจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของการอบแห้งช่วงที่ 3



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก  
(ก) 80°C (ข) 100°C (ค) 120°C



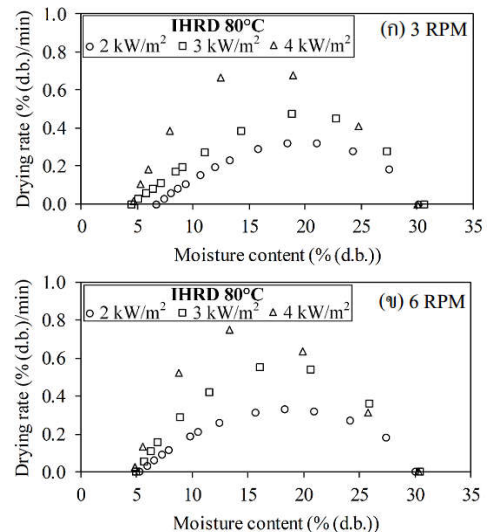
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก  
(ก) 80°C (ข) 100°C (ค) 120°C



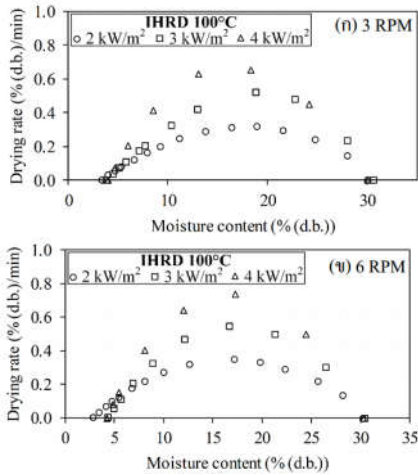
รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก  
(ก) 80°C (ข) 100°C (ค) 120°C

### 3.2 อัตราการอบแห้ง

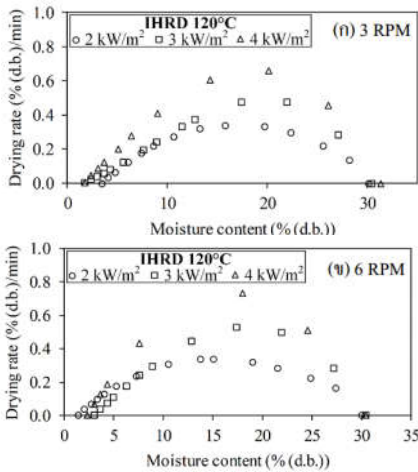
ผลกระทบของความชื้นของรังสีอินฟราเรดที่มีต่ออัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 100 และ 120°C แสดงดังรูปที่ 8 9 และ 10 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มความชื้นของรังสีอินฟราเรดส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อความชื้นของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยในช่วงที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้งจึงมีค่ามากขึ้นด้วย



รูปที่ 8 อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C

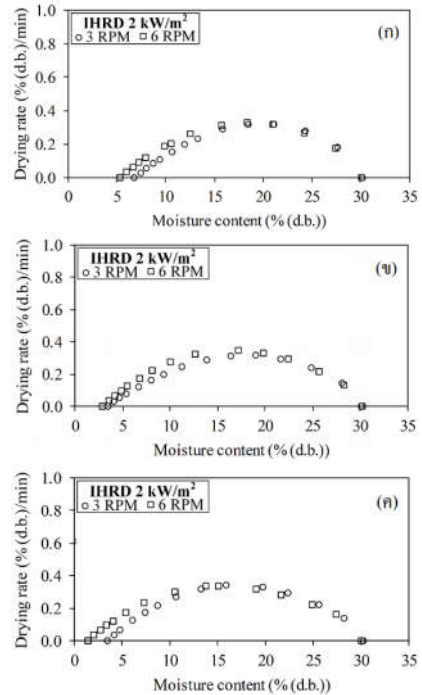


รูปที่ 9 อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C

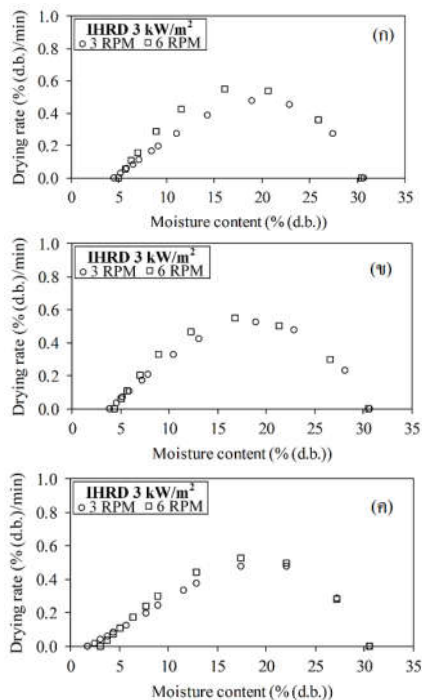


รูปที่ 10 อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 120°C

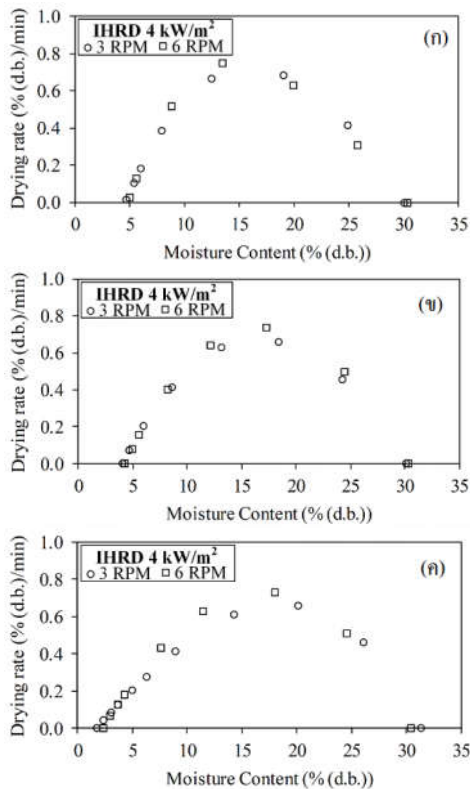
ผลกระทบของความเร็รรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่มีต่ออัตราการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งที่ความชื้นของรังสีอินฟราเรด 2 3 และ 4 kW/m<sup>2</sup> แสดงดังรูปที่ 11 12 และ 13 ตามลำดับ พบว่าความเร็รรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการอบแห้ง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มความเร็รรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก ดังนั้นที่ความเร็รรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี 3 และ 6 RPM จึงมีอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกัน



รูปที่ 11 อัตราการอบแห้งที่ความชื้นของรังสีอินฟราเรด 2 kW/m<sup>2</sup> (ก) 80°C (ข) 100°C (ค) 120°C



รูปที่ 12 อัตราการอบแห้งที่ความชื้นของรังสีอินฟราเรด 3 kW/m<sup>2</sup> (ก) 80°C (ข) 100°C (ค) 120°C



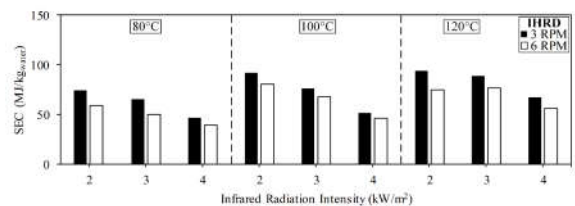
รูปที่ 13 อัตราการอบแห้งที่ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรด 4 kW/m<sup>2</sup> (ก) 80°C (ข) 100°C (ค) 120°C

### 3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะ

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะ พบว่าดังแสดงรูปที่ 14 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นส่งผลให้หลอดอินฟราเรดใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงานมากขึ้น (ความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะมากขึ้น) แต่เมื่อความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นก็ทำให้ปริมาณน้ำที่ระเหยของการอบแห้งช่วงที่ 1 มากขึ้น ความชื้นที่เหลือในข้าวเปลือกสำหรับการอบแห้งช่วงที่ 3 จึงลดลง ส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งช่วงที่ 3 ลดลง (ความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะมีค่าลดลง)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วยรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะ พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วยรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อความเร็วยรอบของเครื่องอบแห้งแบบโร

ตารีเพิ่มขึ้นส่งผลให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงานมากขึ้น (ความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะมีค่ามากขึ้น) แต่การเพิ่มความเร็วยรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีก็ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่ามากขึ้นเช่นกัน โดยในการอบแห้งช่วงที่ 1 จะมีปริมาณน้ำที่ระเหยจะใกล้เคียงกัน ทำให้ปริมาณน้ำที่เหลือในข้าวเปลือกสำหรับการอบแห้งช่วงที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการอบแห้งช่วงที่ 3 เมื่อความเร็วยรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่ระเหยของการอบแห้งช่วงที่ 3 เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งช่วงที่ 3 ลดลง (ความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะมีค่าลดลง) พบว่าการอบแห้งแบบ IHRD มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะอยู่ในช่วง 39.7 - 94.0 MJ/kg<sub>water</sub>



รูปที่ 14 ความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะสำหรับการอบแห้งแบบ IHRD

### 4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น และอัตราการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด (IHRD) จากการวิจัยพบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้น และอัตราการอบแห้งสูงสุด ที่เงื่อนไขการทดลองที่ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรด 4 kW/m<sup>2</sup> อุณหภูมิอบแห้ง 120°C ความเร็วยรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี 6 RPM และพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะต่ำสุดเท่ากับ 39.7 MJ/kg<sub>water</sub> ที่เงื่อนไขการทดลองที่ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรด 4 kW/m<sup>2</sup> อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ความเร็วยรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี 6 RPM ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดนี้มาใช้ในการลดความชื้นข้าวเปลือก

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนทุนวิจัยรวมถึงเชื้อเพลิงอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย กฤษกร แป้นปั้น ณ์ภูธร์อานนท์ ธีรภาพขจรเดช และภัทรนันท์ รสภاطر ที่ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลองจนได้ผลการวิจัยที่สมบูรณ์ คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hung-Nguyen, L., Driscoll, R.H., Srzednicki, G. 2001. Drying of high moisture content paddy in a pilot scale triangular spouted bed dryer. *Drying Technology*, 19, pp. 375–387.
- [2] Soponronnarit, S., Yapha, M., Prachayawarakorn, S. 1995. Cross-flow fluidized bed paddy dryer: Prototype and commercialization. *Drying Technology*, 13, pp. 2207–2216.
- [3] Nimmol, C., Devahastin, S. 2010. Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy, *Applied Thermal Engineering*, 30, pp. 2204–2212.
- [4] Jittanit, W., Saeteaw, N., Charoenchaisri, A. 2010. Industrial paddy drying and energy saving options. *Journal of stored Products Research*, 46, pp. 209–213.
- [5] 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.
- [6] Ginzburg, A.S. 1969. Application of infrared radiation in food processing. *Chemical and Process Engineering Series*, Leonard Hill, London.
- [7] Sandu, C. 1986. Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. *Biotechnology Progress*, 2, pp. 109–119.
- [8] Itoh, K. 1986. Drying of vegetable by far infrared radiation. *Shokuhin Kikai Souchi*, 23, pp. 45–53.
- [9] Mongpraneet, S., Abe, T., Tsurusaki, T. 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. *Journal of Food Engineering*, 55, pp. 147–156.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Dondee, S., Meeso, N., Soponronnarit, S., Siriamornpun, S. 2011. Reducing cracking and breakage of soybean grains under combined near-infrared radiation and fluidized-bed drying. *Journal of Food Engineering*, 104, pp. 6–13.
- [14] Aktas, M., Khanlari, A., Amini, A., Sevik, S. 2017. Performance analysis of heat pump and infrared - heat pump drying of grated carrot using energy-exergy methodology. *Energy Conversion and Management*, 132, pp. 327–338.
- [15] AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000, *Official Methods of Analysis*, 17th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland.