

## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่น  
Paddy Drying in an Infrared Dryer with Vibration Bed

นางจิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยั้งเจริญ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557  
หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่น  
Paddy Drying in an Infrared Dryer with Vibration Bed



นางจิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ

12697096

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557  
หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2557

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 60,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี 6 เดือน

ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 31 มีนาคม 2558

หัวหน้าโครงการวิจัย ดร.จิราพร ศรีภิญโญวิชย์ จงยิ่งเจริญ

หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน (VVIR) ต่อลักษณะการอบแห้งและคุณภาพของข้าวเปลือกอบแห้งที่มีความชื้น 12% ฐานเปียก การศึกษานี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ที่ถูกคั้นความชื้นจนมีค่าเป็น 25% ฐานเปียก และวางเป็นชั้นความหนา 10 mm ความเข้มของรังสีอินฟราเรด คือ 734, 853 และ 952 W/m<sup>2</sup> มีการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งแบบ VVIR กับการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (VIR) และการอบแห้งแบบลมร้อน (HA) ที่อุณหภูมิ 45-120°C ด้วย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งแบบ VVIR ที่ 734 W/m<sup>2</sup> ให้เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง (38.31%) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการอบแห้งแบบ HA ที่ 45°C (44.07%) อย่างไรก็ตาม การอบแห้งแบบ VVIR ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากกว่าและใช้เวลาในการอบแห้งต่ำกว่า (0.0108 ± 0.0003 g/g dry matter·min, 25 นาที) การอบแห้งแบบ HA (0.0018 ± 0.0004 g/g dry matter·min, 360 นาที) การอบแห้งแบบ VVIR และ VIR ยังทำให้ข้าวเปลือกอบแห้งมีอุณหภูมิต่ำในช่วง 40-50°C ในระหว่างการอบแห้งด้วย

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก; การอบแห้งแบบอินฟราเรด; รังสีอินฟราเรด; การสั้น; การอบแห้งแบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** Paddy Drying in an Infrared Dryer with Vibration Bed

**Researcher:** Jiraporn Sripinyowanich Jongyingcharoen, Ph.D.

**Faculty:** Curriculum of Agricultural Engineering, Department of Mechanical Engineering,  
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of vibration-assisted vacuum infrared (VIR) drying on drying characteristics and quality of dried paddy of 12% (w.b.). The remoistened paddy of RD 47 variety with 25% (w.b.) and 10-mm grain bed depth was used in this study. The infrared intensities were 734, 853 and 952 W/m<sup>2</sup>. The comparison of VIR drying with vacuum infrared (VIR) drying and hot air (HA) drying (45-120°C) was also conducted. The results showed that VIR drying at the infrared intensity of 734 W/m<sup>2</sup> provided high percentage of head rice yield (HRY) (38.31%), which was close to the HRY obtained by HA drying at 45°C (44.07%). However, the VIR drying provided higher maximum drying rate and took shorter drying time (0.0108 ± 0.0003 g/g dry matter·min, 25 min) than those of the HA drying (0.0018 ± 0.0004 g/g dry matter·min, 360 min). VIR and VIR drying also generated low paddy temperature of 40-50°C.

**Keywords:** Paddy; Infrared drying; Infrared radiation; Vibration; Vacuum drying

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ</b>
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย
1.3	ขอบเขตของการวิจัย
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
<b>บทที่ 2</b>	<b>แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>
2.1	ข้าวพันธุ์ กข 47
2.2	การแบ่งคุณภาพของข้าวเปลือก
2.3	การลดความชื้นข้าวเปลือก
2.4	การอบแห้ง
2.5	รังสีอินฟราเรด
2.6	การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรด้วยรังสีอินฟราเรด
2.7	การอบแห้งแบบสุญญากาศ
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิธีดำเนินการวิจัย</b>
3.1	ตัวอย่างข้าวเปลือกและการเตรียมตัวอย่าง
3.2	เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น
3.3	แผนการทดลอง
3.4	การทดลองการอบแห้ง
3.5	การวิเคราะห์ความชื้นและข้อมูลลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือก
3.6	การกระเทาะเปลือกและสีข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	3.7	การวิเคราะห์คุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง	16
	3.8	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	17
<b>บทที่ 4</b>	<b>4</b>	<b>ผลการวิจัย</b>	<b>18</b>
	4.1	ลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรด สุญญากาศร่วมกับเบดสั้น	18
	4.2	ลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรด สุญญากาศ	19
	4.3	ลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน	20
	4.4	การเปรียบเทียบลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบ อินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั้นและไม่ร่วมกับเบดสั้น และวิธีการอบแห้ง แบบลมร้อน	21
	4.5	การเปรียบเทียบคุณภาพของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้ง แบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั้นและไม่ร่วมกับเบดสั้น และวิธีการ อบแห้งแบบลมร้อน	23
<b>บทที่ 5</b>	<b>5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>25</b>
	5.1	สรุปผลการวิจัย	25
	5.2	ข้อเสนอแนะ	25
<b>บทที่ 6</b>	<b>6</b>	<b>สรุปผลผลิตงานวิจัย</b>	<b>26</b>
	6.1	การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	26
	6.2	การผลิตบัณฑิต	26
	6.3	ต้นแบบ	26
<b>เอกสารอ้างอิง</b>			<b>27</b>
<b>ภาคผนวก</b>			<b>30</b>
		ภาคผนวก ก	30
		ภาคผนวก ข	41
<b>ประวัตินักวิจัย</b>			<b>42</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ ร่วมกับเบดสั่นจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก	19
4.2 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก	20
4.3 ความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกจากการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิต่างๆ	20
4.4 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบลมร้อนจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก	21
4.5 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกเปรียบเทียบระหว่างวิธีการอบแห้งสามวิธี	23
4.6 เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวและความขาวของข้าวเปลือกอบแห้งโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการอบแห้งสามวิธี	24



## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การผสมพันธุ์ข้าวของข้าวพันธุ์ กข 47	3
2.2 ขนาดของข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก	5
2.3 การอบแห้งแบบธรรมชาติหรือใช้พลังงานแสงอาทิตย์	6
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้น	8
3.1 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันที่ใช้ในการทดลอง	13
3.2 แผนการทดลองการอบแห้งและการวิเคราะห์คุณภาพข้าวเปลือก	14
3.3 กระบวนการกระเทาะเปลือกและสีข้าว: ก เครื่องกระเทาะเปลือก ข เครื่องขัดขาว และ ค เครื่องคัดขนาด	16
4.1 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันที่ความชื้นของรังสีอินฟราเรดต่างๆ	18
4.2 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่ความชื้นของรังสีอินฟราเรดต่างๆ	19
4.3 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ	21
4.4 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันและไม่ร่วมกับเบตสัน และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน	22

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ ก่อนที่จะกลายเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวที่วางจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ข้าวเปลือกชั้นที่เก็บเกี่ยวมาจากแปลงนา ซึ่งมีความชื้นประมาณ 20-25% จะต้องผ่านกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวเสียก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดข้าวเสื่อมคุณภาพ การลดความชื้นข้าวจัดเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่จำเป็นกระบวนการหนึ่ง หากต้องการให้ข้าวสามารถเก็บไว้ได้นานกว่า 3 เดือน ความชื้นของข้าวควรจะต้องต่ำกว่า 12% (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2556)

การลดความชื้นข้าวเปลือกสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้เครื่องอบ ซึ่งวิธีการใช้เครื่องอบมักจะใช้ระบบการอบแห้งด้วยลมร้อน ระหว่างการลดความชื้นข้าว จะเกิดความแตกต่างของความชื้นภายในเมล็ดข้าว ซึ่งทำให้เกิดรอยแยกภายในเมล็ดข้าวได้ เมื่อนำข้าวเปลือกที่มีรอยแยกไปกระเทาะเปลือกและสี จะทำให้เกิดการแตกหักของเมล็ดข้าว ส่งผลให้ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดต่ำ (Jaiboon et al., 2009) เพื่อให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดในปริมาณสูง การเลือกเทคนิคและสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น

การอบแห้งแบบอินฟราเรดใช้การให้ความร้อนแบบแผ่รังสี เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับกันว่ามีข้อดีเหนือการอบแห้งแบบการพาความร้อน เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน หลายประการ ซึ่งข้อดีหลักๆ ของเทคนิคการอบแห้งแบบอินฟราเรด ได้แก่ การสร้างระบบอบแห้งแบบอินฟราเรดทำได้ง่าย การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถใช้ร่วมกับการให้ความร้อนรูปแบบอื่นๆ ได้สะดวก รังสีอินฟราเรดให้ความร้อนได้เร็ว ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น และให้อัตราการถ่ายเทพลังงานสูง และพลังงานคลื่นจากรังสีอินฟราเรดสามารถถูกซึบเข้าสู่วัสดุที่ต้องการให้ความร้อนได้โดยตรงจึงสูญเสียพลังงานต่ำ (Khir et al., 2006; Shih et al., 2008; Zare et al., 2012) ส่วนใหญ่ การอบแห้งแบบอินฟราเรดมักนิยมนำมาใช้ในการอบแห้งผลไม้ และมีการค้นพบว่าเทคนิคการอบแห้งแบบนี้สามารถให้ความร้อนแก่วัสดุได้สม่ำเสมอว่าเทคนิคการอบแห้งแบบอื่น จึงส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งดีกว่าด้วย (Sakai and Hanzawa, 1994; Nowak and Lewicki, 2004) จากผลการค้นพบนี้ การอบแห้งแบบอินฟราเรดจึงเป็นเทคนิคการอบแห้งที่อาจให้ผลดีต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในด้านของการลดความแตกต่างของความชื้น (temperature gradient) ภายในเมล็ดข้าว ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องไปถึงการลดความแตกต่างของความชื้น (moisture gradient) ภายในเมล็ดข้าว และสามารถลดการแตกหักของเมล็ดข้าวได้

แม้ว่ารังสีอินฟราเรดเป็นวิธีให้ความร้อนและอบแห้งอย่างรวดเร็ว วิธีการนี้มักได้รับความนิยมสำหรับการอบแห้งที่ผิวหน้าของวัสดุเท่านั้น มีการรายงานว่าความเข้มของรังสีและความลึกของชั้นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการได้รับรังสีอินฟราเรดอย่างสม่ำเสมอ คือ 3100 ถึง 4290 W/m<sup>2</sup> และ 12 ถึง 16 mm ตามลำดับ (Cakmak and Yildiz, 2011) ดังนั้น เพื่อให้แน่ใจถึงการได้รับรังสีอินฟราเรดในระหว่างอบแห้งอย่างทั่วถึง การใช้เทคนิคเชิงกล เช่น การสั่น จึงน่าจะเป็นประโยชน์ นอกจากนี้ สภาวะสุญญากาศในห้องอบแห้งสามารถทำให้จุดเดือดของน้ำลดต่ำกว่าสภาวะบรรยากาศ ในด้านการอบแห้ง การอบแห้งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิต่ำอาจส่งผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งเนื่องจากการป้องกันการได้รับความร้อนสูงของวัสดุในระหว่างกระบวนการอบแห้งได้

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก ซึ่งจะเป็นเทคนิคการอบแห้งที่ดี และให้ผลิตภัณฑ์ข้าวอบแห้งที่มีคุณภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มของรังสีต่อคุณลักษณะการอบแห้ง อุณหภูมิ และคุณภาพของข้าว

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันกับวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่ไม่มีเบตสัน และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันจะเป็นเครื่องขนาดห้องปฏิบัติการ

1.3.2 ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าวพันธุ์ กข 47

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เทคนิคการอบแห้งข้าวเปลือกที่เป็นการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน

1.4.2 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน ทั้งในด้านกระบวนการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งแบบนี้ในระดับที่ใหญ่ขึ้น

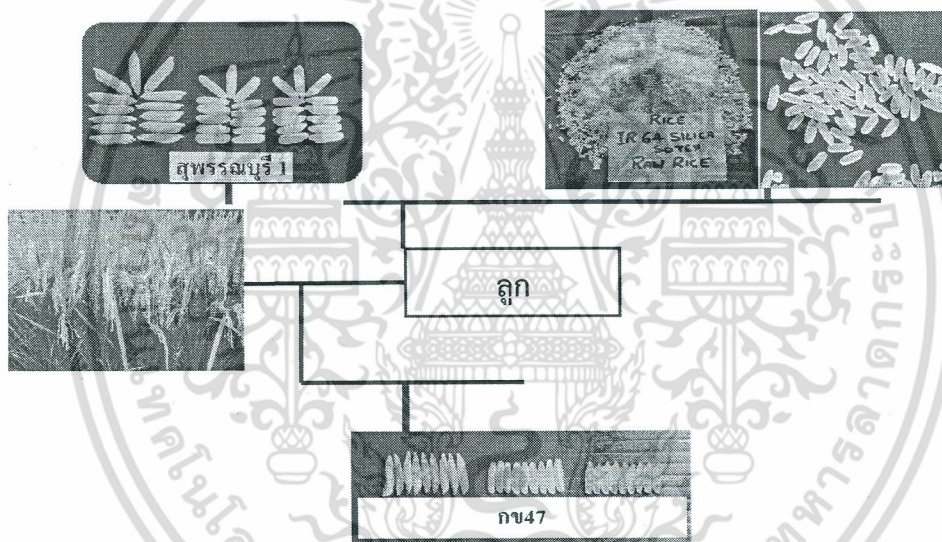
1.4.3 โรงสีข้าวอาจนำข้อมูลที่ได้จากโครงการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ข้าวพันธุ์ กข 47

ข้าวเจ้าพันธุ์ กข 47 เป็นการผสมสามทางระหว่างข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับ ข้าวพันธุ์ กข 64 เมื่อได้ลูกจึงนำไปผสมกับ ข้าวพันธุ์ CNT86074-25-9-1 (รูปที่ 2.1) มีกอดี้ง เป็นข้าวเจ้าที่มีอายุ 104 - 107 วัน ความสูง 90 - 100 cm ลำต้นแข็งแรง รวงยาว 30 cm ข้าวเปลือกสีฟาง ยาว 10.4 mm กว้าง 2.52 mm หนา 2.08 mm อยู่ในกลุ่มข้าวเจ้าแข็งเนื่องจากมีปริมาณอมิโลสสูง (26.81%) เมื่อบุกสุกเป็นข้าวสวยจะมีสีขาวนวลไม่เลื่อมมัน มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างร่วนและแข็ง ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 793 kg/rai มีลักษณะเด่น คือ ให้ผลผลิตสูง มีการต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ กข 41 และต้านโรคไหม้ดีกว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก คุณภาพเมล็ดทางกายภาพดีเป็นข้าวเจ้าเมล็ดยาวเรียวยาว ท้องไข่น้อย คุณภาพการสีดีถึงดีมาก สามารถสีเป็นข้าว 100% ได้ (ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น, 2556)



รูปที่ 2.1 การผสมพันธุ์ข้าวของข้าวพันธุ์ กข 47

ที่มา: ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น (2556)

## 2.2 การแบ่งคุณภาพของข้าวเปลือก

### 2.2.1 คุณภาพการสี (Milling quality)

ข้าวพันธุ์ กข 47 อยู่ในกลุ่มข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (long grain class) คือ ข้าวเต็มเมล็ดที่มีขนาดความยาวเกิน 7.0 mm ซึ่งคุณภาพการสีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวขาวต้องไม่น้อยกว่า 36% (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

คุณภาพการสีของข้าวประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี เป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีแล้วได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวหักน้อย ดังนั้น การประเมินคุณภาพการสีของข้าวจึงเกี่ยวข้องกับการแปรสภาพข้าวหรือการสีข้าว ซึ่งหมายถึง การทำให้เปลือก รำ และคัพภะออกจากเมล็ดข้าว การสีประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การทำความสะอาด (cleaning) เพื่อกำจัดแมลง ใบข้าว เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากข้าวเปลือก (2) การกะเทาะ (shelling หรือ hulling) เป็นการทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ แกลบ และข้าวกล้อง (3) การขัดขาว (whitening) เพื่อให้รำหลุดจากเมล็ดข้าว กล้อง สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ รำ และข้าวสาร และ (4) การคัดแยก (grading) เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหักขนาดต่างๆ ออกจากกัน

สิ่งที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่ (1) แกลบ (hull หรือ husk) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด กลีบเลี้ยง ฟาง และข้าวเมล็ด ซึ่งมีปริมาณประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก (2) รำ (bran) เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen) เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) คัพภะ (embryo) และฝัวนอกๆ ของข้าวสาร ซึ่งมีปริมาณประมาณ 8-10% ของข้าวเปลือก รำมีคุณค่าทางอาหารสูง เพราะมีสารที่เป็นประโยชน์มาก และ (3) ข้าวสาร (milled rice) ซึ่งมีปริมาณประมาณ 68-70% ของข้าวเปลือก ประกอบด้วยแป้งประมาณ 90% มีโปรตีนบ้างเล็กน้อย ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวจะถูกนำไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว และข้าวหัก ในปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าวเปลือกก่อนสี

คุณภาพการสีของข้าวจะแปรปรวนมากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะของพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษาทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้ (1) พันธุ์ คุณภาพการสีของข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะต่างๆ ของพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาวมากจะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าวต่ำ (2) การปฏิบัติดูแลก่อนเก็บเกี่ยว ควรนำน้ำออกจากแปลงนาก่อนเก็บเกี่ยว 7-10 วัน เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกอย่างสม่ำเสมอ พื้นนาไม่แฉะขณะเก็บเกี่ยวทำให้การเก็บเกี่ยว และการตาก สะดวก ได้ข้าวแห้ง สม่ำเสมอ เมื่อนำไปสีจะได้ปริมาณ ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง (3) ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวข้าวเร็วหรือช้าเกินไปจะทำให้ข้าวมีปริมาณและคุณภาพการสีต่ำ กล่าวคือ ข้าวที่เก็บเกี่ยวในขณะที่เมล็ดยังเขียวการสร้างแป้งยังไม่แน่นเต็มเมล็ด เมื่อดอกแห้งแล้วนำไปสี จะทำให้ข้าวหักเพิ่มขึ้น (4) การตากข้าว เป็นการลดความชื้นในเมล็ดอยู่ในระดับที่เหมาะสม เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวมีคุณภาพการสีสูงและเก็บรักษาไว้ได้นาน การตากข้าวทำได้ทั้งก่อนและหลังการนวด แต่ควรคำนึงถึงคุณภาพของข้าวที่ตาก คือ ต้องทำให้ข้าวแห้งอย่างสม่ำเสมอความชื้นในเมล็ด 12-14% สะอาด ไม่มีสิ่งเจือปน แต่ไม่ควรตากนานเกินไป (5) การนวดข้าว เป็นการทำให้เมล็ดข้าวหลุดจากรวง ในแต่ละท้องถิ่นมีวิธีการปฏิบัติแตกต่างกัน เช่น นวดโดยการฟาด ใช้สัตว์ การนวดนี้อาจทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวได้ซึ่งมีผลต่อคุณภาพการสี ข้าวหักเพิ่มขึ้น (6) การเก็บรักษา เป็นขั้นตอนการปฏิบัติหลังจากเก็บเกี่ยว นวด และแอกสารนี้เป็นแอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาก เกษตรกรจะเก็บรักษาข้าวไว้เพื่อรอให้ราคาดีจึงจะขาย หรือเก็บไว้บริโภค การเก็บข้าวเป็นระยะเวลา นานอาจทำให้เกิดข้าวเมล็ดเหลืองหรือเมล็ดเสีย ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการสีทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดและ ต้นข้าวน้อยลง (7) กระบวนการขัดสี ขั้นตอนสำคัญในการสีข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการสี คือ การกะเทาะเปลือก และการขัดขาว ทั้ง 2 ขั้นตอนนี้ ข้าวจะหักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับที่ตั้งระยะห่างระหว่างลูกยางหรือหินกากเพชรในเครื่องกะเทาะ และระหว่างหินกากเพชรกับแท่นยางหรือแท่งเหล็กในเครื่องขัดขาว อัตราการหมุนของลูกยางหรือหินกากเพชร อัตราการไหลของข้าวสู่เครื่องกะเทาะหรือเครื่องขัด หากมี อัตราการไหลสูง ข้าวอาจหักมาก และระยะเวลาในการขัดสี หากขัดสีนาน ข้าวอาจหักมาก (กรมวิชาการ เกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)

### 2.2.2 การคัดขนาดข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก

หลังจากการสีข้าว นั้น จะมีข้าวที่แตกหักเป็นขนาดต่างๆ โดยหลักการแบ่งขนาดข้าวที่หักตามการแบ่งชนิดของข้าวจากกรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีดังนี้ ข้าวเต็มเมล็ด คือ ข้าว 10 ส่วน ต้นข้าว คือ ข้าว 8 - 9.9 ส่วน และข้าวหัก คือ ข้าว 2.5 - 4.9 ส่วน ดังรูปที่ 2.2 (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)



ข้าวเต็มเมล็ด

ต้นข้าว

ข้าวหัก

รูปที่ 2.2 ขนาดของข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก

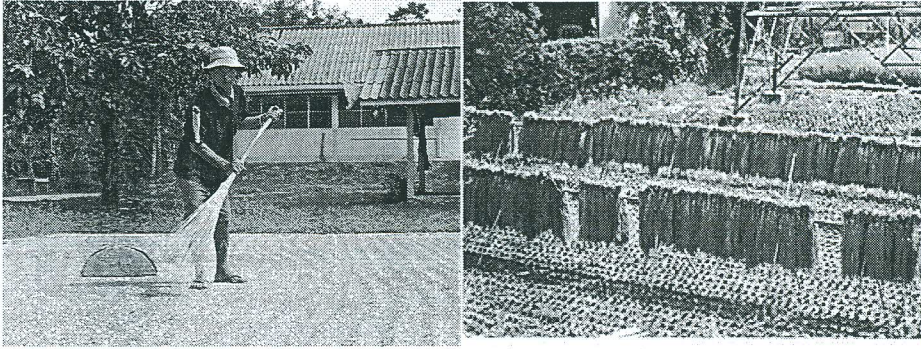
ที่มา: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2556)

## 2.3 การลดความชื้นข้าวเปลือก

2.3.1 การอบแห้งแบบธรรมชาติหรือใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Natural drying or sun drying)

การอบแห้งวิธีนี้คือการใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนโดยมีการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นตัวช่วยพาความชื้นออกจากเมล็ด (รูปที่ 2.3) ทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลง โดยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย แต่มีข้อเสียคือใช้พื้นที่มาก และไม่สามารถควบคุมสภาพอากาศได้ อุณหภูมิที่แปรปรวนจะทำให้เกิดการร้าวในเมล็ด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 2.3 การอบแห้งแบบธรรมชาติหรือใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: เกษตรไทย (2554); สำนักข่าว ไอ.เอ็น.เอ็น. (2556)

#### 2.3.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง (Artificial drying)

วิธีการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งมีข้อดี คือ สามารถปฏิบัติได้ทุกสภาวะอากาศ สามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง ใช้ระยะเวลาลดความชื้นไม่มาก และยังสามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าว แต่มีข้อเสีย คือ เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และมีข้อปฏิบัติยุ่งยาก วิธีการอบแห้งแบบนี้มีการนำมาออกแบบจำลองและใช้ทดลองกับผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด

สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก มีข้อควรระวังในการลดความชื้นข้าวเปลือก ดังนี้ (1) อุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นข้าวเปลือกนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมไม่น้อยและไม่สูงจนเกินไป เพราะเมื่อนำข้าวเปลือกไปสีอาจจะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกร้าวได้ ในการซื้อขายข้าวปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดราคาที่สำคัญ คือ คุณภาพการสี ดังนั้นในการลดความชื้น อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรจะสูงเกิน 50°C และถ้าเป็นเมล็ดพันธุ์ไม่ควรสูงเกิน 43°C มิฉะนั้นจะมีผลต่อเมล็ดทำให้เกิดรอยร้าวหรือแตกร้าวภายในเมล็ด ทำให้คุณภาพการสีต่ำได้ และในขณะที่ลดความชื้นไม่ควรจะลดความชื้นให้ลดต่ำลงในอัตราที่เร็วเกินไป โดยเฉพาะในขณะที่เมล็ดมีความชื้นสูงๆ เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายกับเมล็ดได้ และ (2) ความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบเมล็ดข้าวที่กำลังลดความชื้นจะต้องต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่จุดสมดุลของเมล็ดนั้นๆ การลดความชื้นจึงจะได้ผลโดยปกติความชื้นสัมพัทธ์ไม่ควรจะมีค่าเกิน 60% (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)

## 2.4 การอบแห้ง

### 2.4.1 หลักการและทฤษฎีของการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ การถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุที่มีความชื้นเพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากวัตถุ การอบแห้งส่วนมากจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนไปสู่วัตถุและเป็นตัวช่วยพาความชื้นออกไปจากวัตถุ เมื่อนำวัตถุเข้าไปอบแห้งจะเกิดกระบวนการพื้นฐานขึ้นพร้อมกัน 2 กระบวนการ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1 การถ่ายเทความร้อน จะเกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิจากแหล่งกำเนิดความร้อน และตัววัตถุแตกต่างกัน การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ คือ (1) การนำความร้อน เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนจากโมเลกุลกับโมเลกุลข้างเคียง สภาพการนำความร้อนจะขึ้นกับอุณหภูมิและความร้อน โดยสภาพนำความร้อนของน้ำจะสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าวัตถุแห้ง (2) การพาความร้อน สภาพการพาความร้อนจะเกิดขึ้นโดยอาศัยของเหลวและก๊าซเป็นตัวกลางในการพาความร้อนมายังวัตถุ และ (3) การแผ่รังสีความร้อน จะเกิดขึ้นเมื่อมีการอบแห้งแบบใช้รังสีและการอบแห้งแบบสุญญากาศ การแผ่รังสีความร้อนจะทำให้การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีความแตกต่างกันสูง ซึ่งในการอบแห้งอาจใช้การถ่ายเทความร้อนหลายแบบร่วมกันได้

2.4.1.2 การเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารในระหว่างการอบแห้ง เมื่อวัสดุได้รับความร้อนน้ำที่อยู่ในวัสดุก็จะเคลื่อนตัวมาที่ผิวหน้าของวัตถุจากนั้นก็ระเหยกลายเป็นไอไปสู่บรรยากาศ

2.4.2 การคำนวณและคำจำกัดความของค่าทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง

2.4.2.1 อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio)

อัตราส่วนความชื้น คือ ปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่ภายในวัสดุที่กำลังอบแห้ง เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ในวัสดุซึ่งสามารถระเหยได้ภายใต้สภาวะการอบแห้งหนึ่งๆ โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการได้ว่า

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $M$  คือ ความชื้นของวัสดุ ณ เวลาใด (%ฐานแห้ง)

$M_e$  คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (%ฐานแห้ง)

$M_0$  คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%ฐานแห้ง)

2.4.2.2 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

ความชื้นสมดุลเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการศึกษากระบวนการอบแห้ง โดยเฉพาะการศึกษาระยะเวลาการอบแห้ง (drying period) เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความชื้นของวัสดุ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งของการอบแห้งกับความชื้นสมดุลของวัสดุ คือ การวัดความเป็นไปได้หรือแรงขับเคลื่อนไอน้ำระหว่างวัสดุกับอากาศแวดล้อม ความชื้นสมดุลหาได้จากสมการกึ่งทฤษฎี ซึ่งพัฒนาโดย Henderson (1952) ในสมการที่ (2.2)

$$M_e = \frac{1}{100} \left[ \frac{\ln(1 - RH)}{C_1 T_{abs}} \right]^{C_2} \quad (2.2)$$

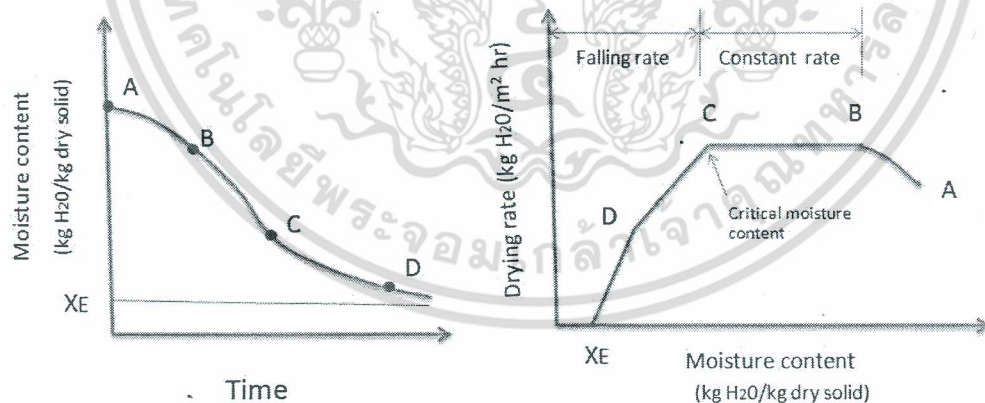
โดยที่ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศอบแห้ง

$T_{abs}$  คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้งสัมบูรณ์

$C_1, C_2$  คือ ค่าคงที่การคายความชื้น สำหรับข้าวเปลือกที่ค่าเท่ากับ  $-3.146 \times 10^{-6}$  และ 2.464 ตามลำดับ

### 2.4.3 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

อัตราการอบแห้งบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง รูปที่ 2.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงของการอบแห้ง ได้แก่ (1) ช่วงการปรับสภาวะเริ่มต้น (initial adjustment period - AB) เป็นช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง ความชื้นเริ่มต้นของอาหารยังสูง ชั้นผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางความรอนกับอาหาร อัตราการทำแห้งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงที่อัตราทำแห้งคงที่ (constant rate) (2) ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant rate period - BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า ความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายในช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานั้นเรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) และ (3) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period - CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าของอาหารได้อย่างไม่ต่อเนื่อง อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2556)



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้น

ที่มา: ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร (2556)

## 2.4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

2.4.4.1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งที่เร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนที่ออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นนั่นเอง

2.4.4.2 ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น ดังนั้นหากอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งที่เกิดขึ้นจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

2.4.4.3 ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าลงเนื่องจากพื้นที่ผิวของอาหารบางส่วนไม่สามารถสัมผัสกับอากาศร้อนได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

2.4.4.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญต่ออัตราการอบแห้ง การที่น้ำจะระเหยได้ดีหรือไม่ดี จะขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

2.4.4.5 ความดัน มีความเกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่มีความดันต่ำลงมา น้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำการอบแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2556)

## 2.5 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรดถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1800 โดย Sir William Herschel จากการทดลองแยกแสงสีต่างๆ ออกมาจากแสงสีขาวโดยใช้ปริซึม ซึ่งต้องการวัดความร้อนของแสงสีต่างๆ จึงได้นำเทอร์โมมิเตอร์ไปวางไว้ที่แถบสีต่างๆ เพื่อวัดอุณหภูมิ และจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของแสงได้เพิ่มขึ้นจากสีม่วงไปหาสีแดง แต่ก็ต้องประหลาดใจว่าแถบแสงที่มองไม่เห็นเหนือสีแดงกลับมีอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งต่อมาแสงนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ รังสีอินฟราเรดหรือใต้แดง

รังสีอินฟราเรด คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 1011-1014 Hz และมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.75 -1000  $\mu\text{m}$  เมื่อวัตถุได้รับรังสีอินฟราเรดจะส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุมีการสั่นจึงทำให้เกิดความร้อน ทำให้น้ำในวัสดุระเหยออกมา รังสีอินฟราเรด สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

- (1) รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (NIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 0.7 - 1.5  $\mu\text{m}$  ใช้ในงานถ่ายภาพความร้อน
- (2) รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (MIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 1.5 - 5.6  $\mu\text{m}$  ใช้ในระบบนำวิถีของจรวดมิสไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (FIR) จะมีความยาวคลื่นประมาณ 5.6  $\mu\text{m}$  ขึ้นไป เป็นช่วงรังสีที่เหมาะสมในการใช้ทำความร้อน ที่คลื่นความยาวช่วงอื่น ๆ จะเป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากรังสีจะถูกสะท้อนกลับหมด

ระหว่างการฉายรังสีอินฟราเรด พลังงานที่ดูดกลืนไว้ในวัสดุอาจเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสถานะทางอิเล็กทรอนิกส์ การสั่น และการหมุนของอะตอมและโมเลกุลของวัสดุดังกล่าวได้ ซึ่งกลไกการเปลี่ยนแปลงของอะตอมและโมเลกุลในวัสดุจะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับช่วงความยาวคลื่นที่วัสดุได้รับ (Sakai and Mao, 2006) อย่างไรก็ตาม มีการพิสูจน์ว่ารังสีอินฟราเรดที่ให้ความยาวคลื่นสูงสุดอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 7  $\mu\text{m}$  ซึ่งถือเป็นช่วงของรังสีอินฟราเรดย่านกลางถึงย่านไกล เหมาะสำหรับการอบแห้ง วัสดุอาหารและวัสดุเกษตร (Ratti and Mujumdar, 1995)

## 2.6 การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยรังสีอินฟราเรด

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา มีการใช้เทคนิคการอบแห้งแบบอินฟราเรดเพื่อลดความชื้นของ วัสดุอาหารและวัสดุเกษตรหลายชนิด ได้มีการยืนยันว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน (Nowak and Lewicki, 2004; Khir et al., 2006; Zare et al., 2012) Sharma et al. (2005) กล่าวว่าระยะเวลาในการอบแห้งขึ้นอยู่กับความชื้นของรังสี ในการทดลองใช้รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาวอบแห้งเมล็ดธัญพืชขึ้นพบว่าเมล็ดข้าวมีการดูดซึมรังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาวได้ดี (Toriyama et al., 2005)

สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก ได้มีการทดลองใช้การอบแห้งแบบอินฟราเรดเช่นกัน แต่มักจะเป็นการอบแห้งแบบชั้นบาง และเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้ง (Nindo et al., 1995; Abe and Afzal, 1997; Das et al., 2004) Laohavanich and Wongpichet (2008) รายงานว่าแบบจำลอง Modified Page เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายการอบแห้งแบบอินฟราเรดชั้นบางของข้าวเปลือก จากการศึกษาของ Khir et al. (2006) ให้ผลว่าการอบแห้งแบบชั้นบางด้วยรังสีอินฟราเรดของข้าวเปลือกที่ความเข้มของรังสี  $5348 \text{ W/m}^2$  และระยะเวลาการอบแห้ง 120 วินาที ซึ่งจะทำให้ข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง  $63.5^\circ\text{C}$  สามารถนำความชื้นออกจากข้าวเปลือกได้ถึง 3.2% หลังจากปล่อยให้เย็นตามธรรมชาติเป็นเวลา 40 นาที ทั้งนี้ หากปล่อยให้เย็นด้วยลมเย็นแบบบังคับเป็นเวลา 5 นาที หรือทำให้เย็นภายใต้สูญญากาศเป็นเวลา 10 นาที จะสามารถนำความชื้นออกจากข้าวเปลือกได้ถึง 3.5 หรือ 3.8% ตามลำดับ

## 2.7 การอบแห้งแบบสูญญากาศ

การอบแห้งที่สภาวะสูญญากาศการระเหยของน้ำจะมีจุดเดือดต่ำกว่าจุดเดือดภายใต้บรรยากาศปกติ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี แต่กระบวนการอบแห้งแบบสูญญากาศนี้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินการกระบวนการสูง จึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีความชื้นต่ำโดยไม่เกิดการทำลายของตัวผลิตภัณฑ์

เครื่องอบแห้งอาหารที่ทำงานภายใต้ภาวะที่มีความดันอากาศต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้น้ำระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง การทำให้เกิดสภาวะสูญญากาศในห้องอบจะต้องใช้ปั๊มสูญญากาศเพื่อสูบน้ำออกเป็นเอกสารถึงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้เชิงพาณิชย์แล้ว ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศออกจากห้องอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบสุญญากาศ จะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าการทำแห้งที่ความดันบรรยากาศปกติ เครื่องอบสุญญากาศยังใช้เพื่อการหาความชื้นของอาหารที่ไวต่ออุณหภูมิสูง เช่น อาหารที่มีน้ำตาลสูง หรืออาหารที่มีน้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนประกอบ เพื่อหลีกเลี่ยงการอบที่อุณหภูมิสูง ที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาด

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Das et al. (2004) ได้พัฒนาและทำการศึกษากการสั้นสะท้อนในการอบแห้งแบบอินฟราเรด โดยการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรด โดยใช้ความเข้มรังสี 3100 และ 4290 W/m<sup>2</sup> และความหนาของชั้นข้าวเปลือก 12 และ 16 mm พบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับระดับความเข้มของรังสี อัตราการอบแห้งที่ถูพบจะขึ้นอยู่กับระดับของความเข้มของรังสี การอบแห้งจะเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งลด ในส่วนของชั้นความหนาของข้าวเปลือกไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ

Das et al. (2009) ได้ทำการศึกษาลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงโดยจะทำการศึกษากายใต้สภาวะการสั้น ที่ความเข้มรังสีอินฟราเรด 5 ระดับ (1509, 2520, 3510, 4520 และ 5514 W/m<sup>2</sup>) และที่ชั้นความหนาของข้าว 4 ระดับ (3, 6, 12, และ 25 mm) โดยพบว่าความถี่และแอมพลิจูดที่ทำให้ข้าวที่ชั้นความหนา 25, 12 และ 6 mm สามารถพลิกตัวได้อย่างสม่ำเสมอ คือ 20 – 22 Hz และ 8 – 9 mm ตามลำดับ การอบแห้งจะเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งทั้งความเข้มรังสีและชั้นความหนาของข้าวมีผลต่อการแพร่ของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

ทั้งนี้ Nindo et al. (1995) ได้รายงานไว้ว่าการใช้เบดสั้นอาจช่วยให้เมล็ดพืชรับรังสีได้สม่ำเสมอมากขึ้น ถึงแม้ Das et al. (2004) จะได้ทำการทดลองโดยใช้เบดสั้นร่วมกับการอบแห้งแบบอินฟราเรดแล้ว แต่มีการรายงานผลเพียงแค่จลนศาสตร์การอบแห้งเท่านั้น ไม่ได้มีการกล่าวถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้มา

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 ตัวอย่างข้าวเปลือกและการเตรียมตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ซึ่งมีความชื้น 13% ฐานเปียก ก่อนการทดลองอบแห้ง นำข้าวเปลือกมาคั้นความชื้นให้มีความชื้นเป็น 25% ฐานเปียก แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้น นำตัวอย่างข้าวเปลือกออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงใช้ในการทดลอง

### 3.2 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน

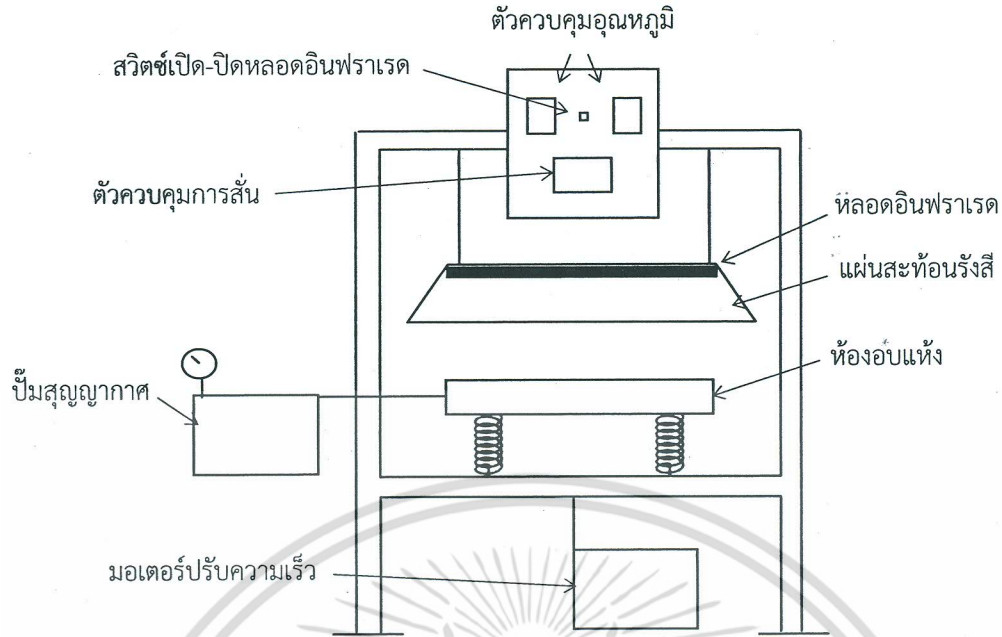
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน ห้องอบแห้งทำจากสเตนเลสสตีล โดยมีปริมาตรของห้องอบแห้งเป็น  $21 \times 29 \times 3 \text{ cm}^3$  ซึ่งภายในห้องอบแห้งถูกแบ่งเป็นช่องที่มีขนาดเท่าๆ กันทั้งหมด 6 ช่อง และใช้กระจกทนความร้อนเป็นแผ่นปิดห้องอบแห้ง ในแต่ละช่องอบแห้งมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล type K เพื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวของตัวอย่าง หลอดอินฟราเรด (220 V, 700 W) ถูกติดตั้งอยู่เหนือห้องอบแห้งและทำงานที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 734, 853 และ  $952 \text{ W/m}^2$  ที่ผิวหน้าของถาดอบแห้ง มีการใช้แผ่นอลูมิเนียมเคลือบด้านบนของหลอดอินฟราเรดเพื่อเป็นตัวสะท้อนรังสีอินฟราเรด

ระบบสั่นของเครื่องอบแห้งประกอบด้วยข้อต่อลูกเบี้ยวที่มีมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบได้ (SF-JR, 0.4 kW, Mitsubishi, Thailand) และสปริงชด 4 ตัว ในระหว่างการอบแห้ง ห้องอบแห้งถูกสั่นด้วยจำนวนรอบ 800 rpm ในระบบมีการใช้ปั๊มสุญญากาศ (VE-290, Value, Zhejiang, China) เพื่อทำให้ความดันสัมบูรณ์เป็น 5 kPa ในระหว่างการอบแห้งด้วย

### 3.3 แผนการทดลอง

นำข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ที่มีความชื้นประมาณ 25% ฐานเปียก มาทำการอบแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายเป็น 12% ฐานเปียก โดยวิธีการอบแห้งที่ใช้ในการศึกษานี้คือ วิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน (vibration assisted vacuum infrared drying, WVIR) วิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (vacuum infrared drying, VIR) และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air drying, HA) ซึ่งวิธีการทดลองโดยละเอียดสำหรับการอบแห้งแต่ละวิธีแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 3.3 ในระหว่างการอบแห้งมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือก และข้าวเปลือกที่อบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายที่ต้องการถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ เเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องเต็มเมล็ด เเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดกับต้นข้าว และความขาว ในทุกการทดลองมีการทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ทั้งนี้ มีการแสดงแผนภาพการทดลองของการศึกษานี้อยู่ในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ใช้ในการทดลอง

### 3.4 การทดลองการอบแห้ง

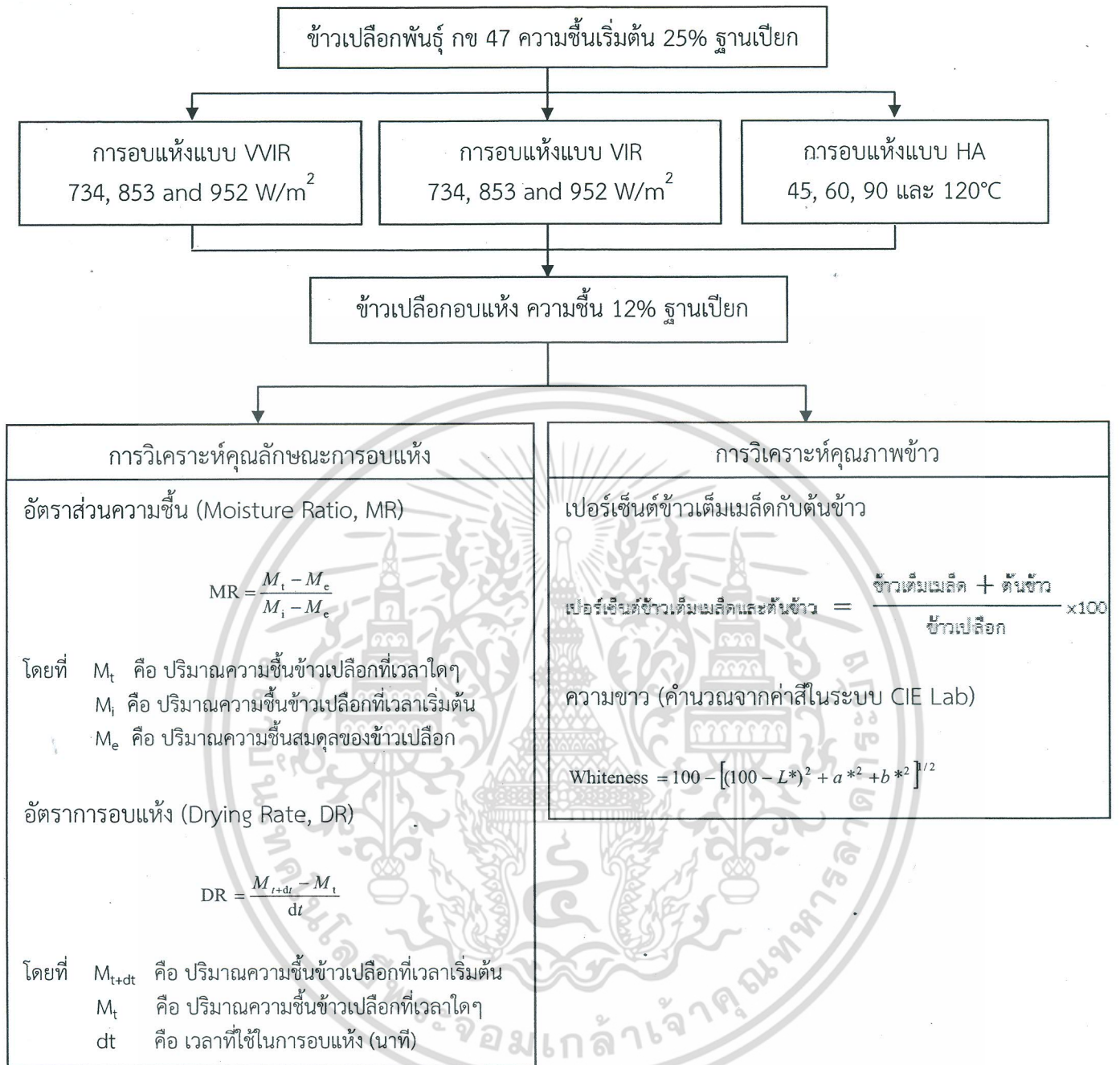
การทดลองนี้มีการอบแห้งข้าวเปลือก 3 วิธี ได้แก่ วิธีการอบแห้งแบบ WVIR วิธีการอบแห้งแบบ VIR และวิธีการอบแห้งแบบ HA โดยรายละเอียดของวิธีการอบแห้งแต่ละวิธีมีดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 วิธีการอบแห้งแบบ WVIR และ VIR

สำหรับสถานะในการอบแห้งแบบ WVIR และ VIR ความเข้มของรังสีอินฟราเรด คือ 734, 853 และ 952 W/m<sup>2</sup> และความดันสัมบูรณ์ คือ 5 kPa สำหรับวิธีการอบแห้งแบบ WVIR ซึ่งมีเบดสั่นร่วมด้วย ใช้การสั่นของเบด 800 rpm โดยก่อนทำการทดลองอบแห้ง เปิดหลอดอินฟราเรดให้ทำงานเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงใส่ข้าวเปลือกเข้าในห้องอบที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 10 mm (ประมาณ 500 g) ทำการอบแห้งจนกระทั่งข้าวเปลือกมีความชื้นสุดท้ายเป็น 12% ฐานเปียก ในระหว่างการอบแห้ง มีการเก็บข้อมูลความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาต่างๆ ของการอบแห้ง เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งด้วย

#### 3.4.2 วิธีการอบแห้งแบบ HA

การอบแห้งแบบ HA ใช้ตู้อบลมร้อน (ULM 500, Memmert GmbH+Co.KG, Schwabach, Germany) ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบชั้นบาง โดยความหนาของชั้นข้าวเปลือก คือ 10 mm (ประมาณ 500 g) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแบบ HA คือ 45, 60, 90 และ 120°C ในระหว่างการอบแห้ง มีการเก็บข้อมูลความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาต่างๆ ของการอบแห้ง เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งเช่นกัน



รูปที่ 3.2 แผนการทดลองการอบแห้งและการวิเคราะห์คุณภาพข้าวเปลือก

### 3.5 การวิเคราะห์ความชื้นและข้อมูลลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือก

การวิเคราะห์ความชื้นของข้าวเปลือกใช้วิธีการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Jindal and Siebenmorgen, 1987)

ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content,  $M_e$ ) สำหรับการอบแห้งแบบ VVIR และ VIR สามารถกำหนดค่าให้เป็น 0% ได้ เนื่องจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเป็นเวลานานจะส่งผลให้ข้าวเปลือกไหม้และไม่มีความชื้นเหลืออยู่ (Assawarachan et al., 2011) ค่า  $M_e$  สำหรับการอบแห้ง HA ถูกคำนวณดังสมการต่อไปนี้

$$M_e = \frac{1}{100} \left[ \frac{\ln(1-RH)}{C_1 T_{abs}} \right]^{C_2} \quad (3.1)$$

โดยที่ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศอบแห้ง

$T_{abs}$  คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้งสัมบูรณ์ (°K)

$C_1, C_2$  คือ ค่าคงที่การคายความชื้นสำหรับข้าวเปลือกที่ค่าเท่ากับ  $-3.146 \times 10^{-6}$  และ 2.464 ตามลำดับ

อัตราส่วนความชื้น (MR) และอัตราการอบแห้ง (DR) สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

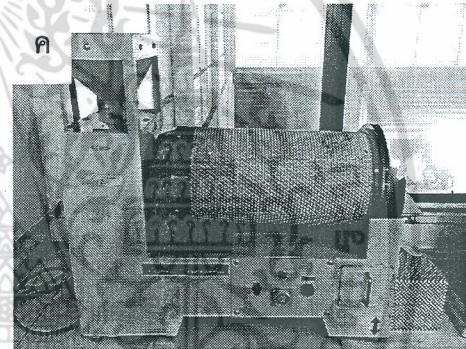
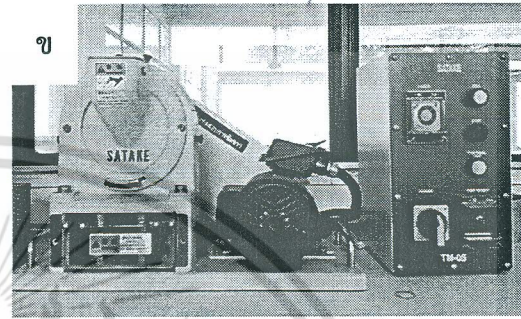
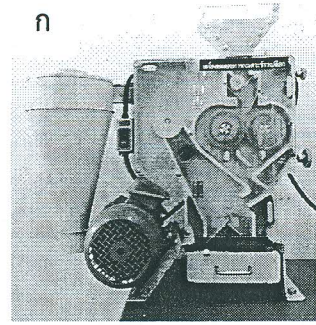
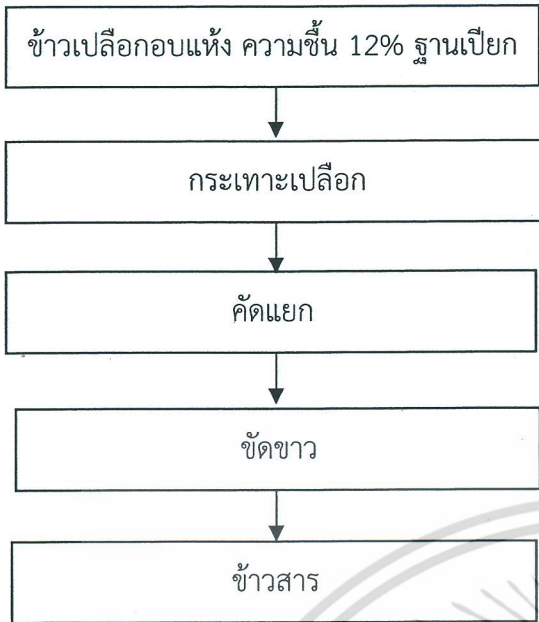
$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (3.2)$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (3.3)$$

โดยที่  $M_i, M_t, M_e$  และ  $M_{t+dt}$  คือ ความชื้น (g/g dry matter) ที่เวลาเริ่มต้น เวลาใดๆ เวลาที่สมดุล และเวลา  $t+dt$  ตามลำดับ และ  $t$  คือ เวลาอบแห้ง (นาที)

### 3.6 การกระเทาะเปลือกและสีข้าว

ตัวอย่างข้าวเปลือกอบแห้งที่มีความชื้น 12 % ฐานเปียก ปริมาณ 250 g จากการอบแห้งแบบต่างๆ ถูกนำมากระเทาะเปลือกด้วยเครื่องกระเทาะเปลือกแบบลูกกลิ้งยาง (THU-35A, Satake Engineering Co., Ltd., Osaka, Japan) ในรูปที่ 3.3ก ตัวอย่างข้าวกล้องหลังจากกระเทาะเปลือกถูกนำไปขัดขาวด้วยเครื่องขัดข้าว (TM05, Satake Engineering Co., Ltd., Osaka, Japan) ในรูปที่ 3.3ข แล้วนำไปคัดขนาด (TRG 05A, Satake Engineering Co., Ltd., Osaka, Japan) ด้วยเครื่องคัดขนาดในรูปที่ 3.3ค ซึ่งจะได้ข้าวขาวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหักออกมา



รูปที่ 3.3 กระบวนการกระเทาะเปลือกและสีข้าว:  
ก เครื่องกระเทาะเปลือก ข เครื่องขัดขาว และ ค เครื่องคัดขนาด

### 3.7 การวิเคราะห์คุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง

#### 3.7.1 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวหลังการสี

สำหรับการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวหลังการสี ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสามารถพิจารณาได้ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4004-2555 ดังต่อไปนี้

ข้าวเต็มเมล็ด	คือ ข้าวเต็ม 10 ส่วน
ต้นข้าว	คือ ข้าว 8 – 9.9 ส่วน
ข้าวหัก	คือ ข้าว 2.5 – 4.9 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.2 ความขาว

สีของข้าวเปลือกถูกวิเคราะห์ในระบบ  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  โดยที่ค่า  $L^*$  (Lightness) แสดงค่าความสว่างและมีค่าเป็นบวกและลบตามลำดับ และค่า  $a^*$  (Redness) แสดงค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียวและมีค่าเป็นบวกและลบตามลำดับ และค่า  $b^*$  (Yellowness) แสดงค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินและมีค่าเป็นบวกและลบตามลำดับ สำหรับการคำนวณความขาวของข้าวมีสมการดังนี้

$$\text{Whiteness} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (3.4)$$

### 3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองทั้งหมดทำขึ้น 3 ซ้ำ เว้นแต่มีการระบุไว้โดยเฉพาะในแต่ละขั้นตอนการทดลอง การทดสอบทางสถิติทำขึ้นโดยใช้วิธี one-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแต่ละสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan' New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

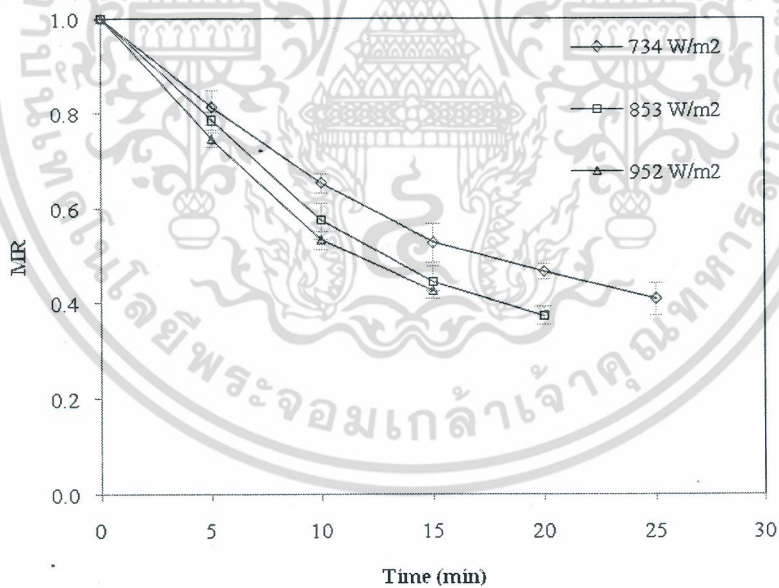


## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน

จากรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงเส้นโค้งการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน (WVIR) ที่ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดต่างๆ พบว่า ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยในช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากข้าวเปลือกมีความชื้นอยู่มาก เมื่อเวลาผ่านไป อัตราการลดลงของความชื้นจึงลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรด คือ 734, 853 และ 952 W/m<sup>2</sup> พบว่าแนวโน้มในการลดลงของความชื้นมีลักษณะเดียวกัน แต่หากใช้ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดมากขึ้นอัตราการลดลงของความชื้นก็มากขึ้นด้วย

อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบ WVIR เพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสุดท้ายเป็น 12% ฐานเปียก แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของรังสีมีผลต่ออัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยที่ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรด 734 W/m<sup>2</sup> ใช้เวลา 25 นาที ในการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรด 952 W/m<sup>2</sup> ใช้เวลาเพียง 15 นาที และให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากขึ้น



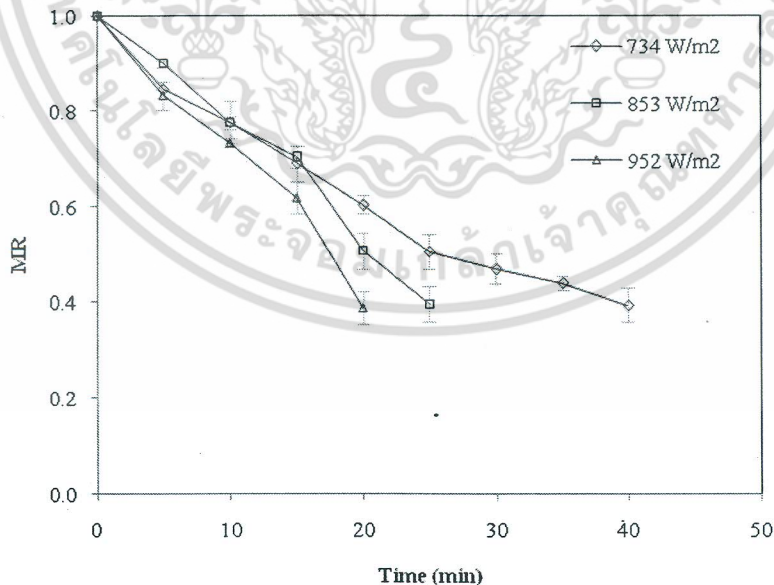
รูปที่ 4.1 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันที่ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดต่างๆ

ตารางที่ 4.1 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสันจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก

ความเข้มของรังสีอินฟราเรด (W/m <sup>2</sup> )	อัตราการอบแห้งสูงสุด (g/g dry matter*min)	เวลา (นาที)
734	0.0108±0.0003 <sup>c</sup>	25
853	0.0134±0.0008 <sup>b</sup>	20
952	0.0160±0.0004 <sup>a</sup>	15

#### 4.2 ลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ

รูปที่ 4.2 แสดงเส้นโค้งการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (VIR) ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดต่างๆ ในการอบแห้ง พบว่าเส้นแนวโน้มของการลดลงของความชื้นมีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการอบแห้งแบบ WVIR ยิ่งความเข้มของรังสีมากขึ้น ความชื้นของข้าวเปลือกก็ลดลงได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งจะสัมพันธ์กับตารางที่ 4.2 ที่แสดงอัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก ความเข้มของรังสีอินฟราเรด คือ 734 W/m<sup>2</sup> ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมีค่าต่ำ คือ 0.0098 g/g dry matter\*min และใช้เวลานาน คือ 40 นาที เมื่อเทียบกับที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 952 W/m<sup>2</sup> ซึ่งให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมีค่าสูงถึง 0.0151 g/g dry matter\*min และใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 20 นาที



รูปที่ 4.2 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก

ความเข้มของรังสีอินฟราเรด (W/m <sup>2</sup> )	อัตราการอบแห้งสูงสุด (g/g dry matter·min)	เวลา (นาที)
734	0.0098±0.0010 <sup>b</sup>	40
853	0.0102±0.0011 <sup>ab</sup>	25
952	0.0151±0.0016 <sup>a</sup>	20

#### 4.3 ลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

##### 4.3.1 ความชื้นสมดุลของข้าวเปลือก

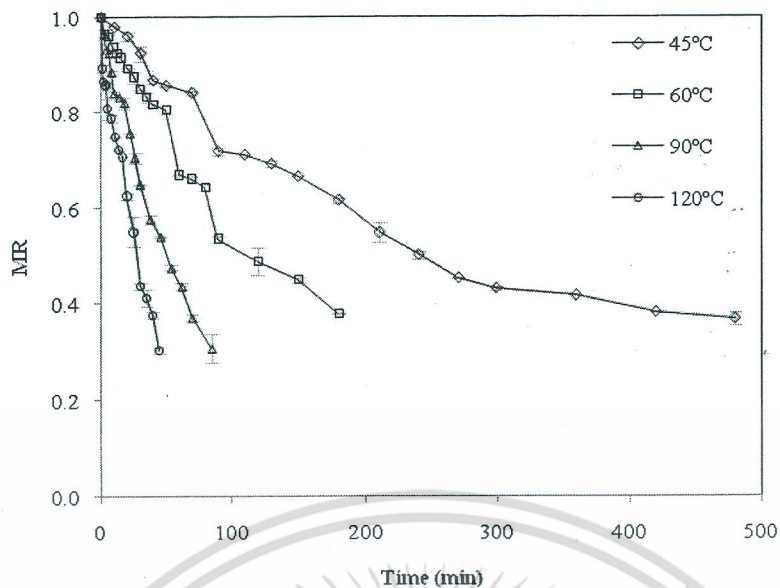
ความชื้นสมดุล ( $M_e$ ) ของข้าวเปลือกจากการอบแห้งแบบลมร้อน (HA) ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 จากการคำนวณค่า  $M_e$  ของข้าวเปลือก ข้าวเปลือกที่อบแห้งโดยวิธีการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิ 45 และ 60°C มีค่า  $M_e$  เป็น 0.0017 และ 0.0015 g/g dry matter ตามลำดับ โดยค่า  $M_e$  ของข้าวเปลือกที่อบแห้งโดยวิธีการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิ 90 และ 120°C มีค่าเป็น 0 g/g dry matter ทั้งนี้ ยิ่งอุณหภูมิในการอบแห้งมีค่าต่ำลง ความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกในสภาวะดังกล่าวยังมีค่ามากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกจากการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสมดุล (% ฐานเปียก)
45	0.17
60	0.15
90	0
120	0

##### 4.3.2 ลักษณะการอบแห้ง

รูปที่ 4.3 แสดงเส้นโค้งการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิ 45, 60, 90 และ 120°C ซึ่งแต่ละอุณหภูมิมียอัตราการอบแห้งที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงอัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบลมร้อนจนข้าวเปลือกมีความชื้นเป็น 12% ฐานเปียก พบว่าที่อุณหภูมิ 45°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เลียนแบบการอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ให้อัตราอบแห้งสูงสุดต่ำที่สุด คือ 0.0018 g/g dry matter·min และใช้เวลาในการอบนานถึง 360 นาที



รูปที่ 4.3 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.4 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบลมร้อนจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก

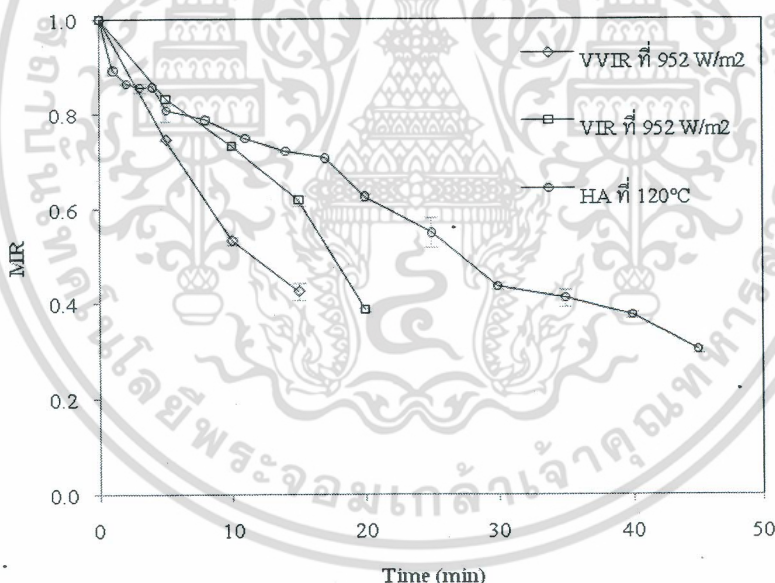
อุณหภูมิ (°C)	อัตราการอบแห้งสูงสุด (g/g dry matter*min)	เวลา (นาที)
45	0.0018±0.0004 <sup>ns</sup>	360
60	0.0036±0.0017 <sup>ns</sup>	150
90	0.0064±0.0010 <sup>ns</sup>	70
120	0.0104±0.0097 <sup>ns</sup>	40

#### 4.4 การเปรียบเทียบลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรด สู่ญญาคร่วมกับเบตสันและไม่ร่วมกับเบตสัน และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างของเส้นโค้งการอบแห้งจากการอบแห้งทั้งสามวิธี ได้แก่ การอบแห้งแบบ VMR และ VIR ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด คือ 952 W/m<sup>2</sup> และการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิ 120°C เนื่องจากสถานะในการอบแห้งเหล่านี้ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดที่มีค่ามากที่สุดสำหรับการอบแห้งแต่ละวิธี โดยมีการรวมการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิ 45°C ไว้ในกราฟด้วย เนื่องจากเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเลียนแบบการอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังนิยมใช้อยู่ ตามที่เสนอโดย Toyoda (1988) ข้าวเปลือกถือว่าเป็นประกอบไปด้วยองค์ประกอบสองส่วน ได้แก่ แกลบ และข้าวกล้อง จึงทำให้มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับถังเก็บน้ำ ในระหว่างการอบแห้งในช่วงแรก แกลบจะถูกอบแห้งก่อนอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้น ในช่วงที่สองของการอบแห้ง ข้าวกล้องจึงจะถูกลดความชื้น แล้วอัตราของการถ่ายเทความชื้นค่อยๆ ลดต่ำลงเรื่อยๆ อย่างไรก็ตาม ดังรูปที่ 4.4 เห็นได้อย่างชัดเจนว่ารังสีอินฟราเรดทำให้เกิดการถ่ายเทความชื้นที่สม่ำเสมอกว่าลมร้อน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการดูดซับรังสีเอกซารันเป็นเอกซารันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินฟราเรดภายในข้าวเปลือกส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในข้าวเปลือกมาที่ผิวหน้าได้ดีขึ้น (Meeso, 2008; Khir et al, 2011)

ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 4.5 อัตราการอบแห้งสูงสุดเพิ่มขึ้นและเวลาในการอบแห้งลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรด (การอบแห้งแบบ VVIR หรือ VIR) หรืออุณหภูมิของลมร้อน (การอบแห้งแบบ HA) ทั้งนี้ อัตราการอบแห้งสูงสุดของข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบ VVIR และ VIR ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการอบแห้งสูงสุดที่ได้รับจากการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิ 120°C ด้วยการอบแห้งแบบ VVIR ที่ 952 W/m<sup>2</sup> ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดที่มีค่ามากที่สุด คือ 0.0160 g/g dry matter·min ซึ่งมีค่าประมาณ 9 เท่าของอัตราการอบแห้งสูงสุดที่ได้รับจากการอบแห้งแบบ HA ที่ 45°C ที่มีค่าต่ำที่สุด คือ 0.0018±0.0004 g/g dry matter·min เวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าและอัตราการอบแห้งสูงสุดที่มากกว่าของการอบแห้งแบบ VVIR สามารถอธิบายได้โดยการได้รับรังสีอินฟราเรดอย่างสม่ำเสมอของตัวอย่างข้าวเปลือกเนื่องจากระบบการสั่นสะเทือนของถาดอบแห้ง (Nindo et al., 1995; Mujumdar, 2004) นอกจากนี้ ยังพบว่าอิทธิพลของการสั่นสะเทือนของถาดอบแห้งมีมากขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดต่ำ คือ 734 W/m<sup>2</sup> ดังที่เห็นในตารางที่ 4.5 มีความแตกต่างระหว่างเวลาในการอบแห้งของวิธีการอบแห้งแบบ VVIR และ VIR มากที่สุดที่ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดระดับนี้



รูปที่ 4.4 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ ร่วมกับเบตสันและไม่ร่วมกับเบตสัน และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกเปรียบเทียบระหว่างวิธีการอบแห้งสามวิธี

สภาวะในการอบแห้ง	อัตราการอบแห้งสูงสุด (g/g dry matter*min)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิสุดท้ายของ ข้าวเปลือกอบแห้ง (°C)
1. การอบแห้งแบบ WVIR			
734 W/m <sup>2</sup>	0.0108±0.0003 <sup>abc</sup>	25	44.50±1.97 <sup>f</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	0.0134±0.0008 <sup>ab</sup>	20	49.67±1.51 <sup>d</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	0.0160±0.0004 <sup>a</sup>	15	48.33±1.03 <sup>de</sup>
2. การอบแห้งแบบ VIR			
734 W/m <sup>2</sup>	0.0098±0.0010 <sup>abc</sup>	40	40.83±1.94 <sup>s</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	0.0102±0.0011 <sup>abc</sup>	25	47.33±1.86 <sup>e</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	0.0151±0.0016 <sup>a</sup>	20	46.83±1.47 <sup>e</sup>
3. การอบแห้งแบบ HA			
45°C	0.0018±0.0004 <sup>d</sup>	360	42.50±0.41 <sup>s</sup>
60°C	0.0036±0.0017 <sup>cd</sup>	150	56.00±0.41 <sup>c</sup>
90°C	0.0064±0.0010 <sup>bcd</sup>	70	80.12±0.85 <sup>b</sup>
120°C	0.0104±0.0097 <sup>abc</sup>	40	107.38±0.48 <sup>a</sup>

#### 4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นและไม่ร่วมกับเบดสั่น และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

คุณภาพของข้าวเปลือกอบแห้ง ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวและความขาวแสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 เมื่อใช้ความเข้มของรังสีอินฟราเรดหรืออุณหภูมิในการอบแห้งสูง เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวยิ่งต่ำลง โดยวิธีการอบแห้งแบบ HA ที่อุณหภูมิ 45°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิมอบแห้งต่ำสุดที่ใช้ในการศึกษานี้ให้เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูงสุด รองลงมาเป็นการอบแห้งแบบ WVIR ที่ 734 W/m<sup>2</sup> อย่างไรก็ตาม เห็นได้ชัดว่าการอบแห้งแบบ WVIR นี้ ใช้เวลาในการอบแห้งต่ำกว่ามาก ซึ่งเร็วกว่าการอบแห้ง HA ที่อุณหภูมิ 45°C ประมาณ 14 เท่า

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งแบบ VIR ที่ 734 W/m<sup>2</sup> กับการอบแห้งแบบ HA ที่ 120°C ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากัน คือ 40 นาที เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวที่ได้จากการอบแห้งแบบ VIR มีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวที่ได้จากการอบแห้งแบบ HA ถึงประมาณ 2.6 เท่า Meeso et al. (2004) เสนอว่าการอบแห้งแบบ FIR ทำให้เกิดการนำความชื้นออกและการปรับระดับความชื้นจากใจกลางมาที่ผิวหน้าของวัสดุพร้อมๆ กัน ดังนั้น จึงลดความแตกต่างของความชื้นและความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดข้าวเปลือก และส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวมีค่าสูง

ความขาวของข้าวเปลือกอบแห้งอยู่ในช่วง 60-67% ผลการทดลองแสดงว่าเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อความขาวของข้าวเปลือก หากเปรียบเทียบในวิธีการอบแห้งวิธีเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าทำให้ความขาวของข้าวเปลือกมีค่าสูงกว่า ยกเว้นการอบแห้งแบบ HA ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของความขาวมีค่าสูงสุดเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C ทั้งนี้ สังเกตได้ว่าการเพิ่มความชื้นของรังสีอินฟราเรดหรืออุณหภูมิอบแห้ง ซึ่งทำให้ลดเวลาในการอบแห้งลง ส่งผลให้ความขาวมีค่าสูงขึ้น ผลการทดลองนี้ตรงข้ามกับที่มีการรายงานโดย Taechapiroj et al. (2003) สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบไอน้ำยวดยิ่ง ซึ่งกล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ความขาวของข้าวเปลือกลดลง

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวและความขาวของข้าวเปลือกอบแห้งโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการอบแห้งสามวิธี

สภาวะในการอบแห้ง	ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว (%)	ความขาว (%)
1. การอบแห้งแบบ WVIR		
734 W/m <sup>2</sup>	38.31±1.63 <sup>b</sup>	61.83±0.69 <sup>de</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	31.00±1.48 <sup>c</sup>	62.52±0.54 <sup>cd</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	28.34±0.89 <sup>c</sup>	64.99±0.79 <sup>b</sup>
2. การอบแห้งแบบ VIR		
734 W/m <sup>2</sup>	35.41±2.70 <sup>b</sup>	63.21±0.62 <sup>c</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	28.31±3.44 <sup>c</sup>	63.42±0.29 <sup>c</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	21.08±0.13 <sup>d</sup>	64.68±0.37 <sup>b</sup>
3. การอบแห้งแบบ HA		
45°C	44.07±0.97 <sup>a</sup>	60.08±0.48 <sup>f</sup>
60°C	30.60±3.09 <sup>c</sup>	60.82±0.01 <sup>ef</sup>
90°C	17.79±0.49 <sup>e</sup>	67.08±0.18 <sup>a</sup>
120°C	13.57±0.78 <sup>f</sup>	65.23±0.56 <sup>b</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การประเมินลักษณะการอบแห้งและคุณภาพในการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 จากความชื้นเริ่มต้น 25% ฐานเปียก จนมีความชื้นสุดท้ายเป็น 12% ฐานเปียก โดยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน (VVIR) วิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ (VIR) และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน (HA) สรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การอบแห้งแบบ VVIR ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากที่สุด ต่อด้วยการอบแห้งแบบ VIR และ HA ตามลำดับ การอบแห้งแบบ VVIR และ VIR ยังใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า ในขณะที่ทำให้ข้าวเปลือกที่อบแห้งมีอุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบ HA การอบแห้งแบบ VVIR ที่ 952 W/m<sup>2</sup> ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากที่สุด คือ 0.0160±0.0004 g/g dry matter\*min และใช้เวลาในการอบแห้งต่ำที่สุด คือ 15 นาที ในขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของข้าวเปลือกมีค่า 48.33±1.03°C ส่วนการอบแห้งแบบ HA ที่ 45°C ให้อัตราการอบแห้งสูงสุคน้อยที่สุด คือ 0.0018±0.0004 g/g dry matter\*min และใช้เวลาในการอบแห้งมากที่สุด คือ 360 นาที ในขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของข้าวเปลือกมีค่า 42.50±0.41°C

5.1.2 การอบแห้งแบบ HA ที่ 45°C ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูงที่สุด คือ 44.07±0.97% แต่ใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งแบบ VVIR ที่ 734 W/m<sup>2</sup> ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวในอันดับรองลงมา คือ 38.31±1.63% ถึงประมาณ 14 เท่า ทั้งนี้ ความชื้นของข้าวมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาในการอบแห้งต่ำลง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละวิธี

5.2.2 ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวอื่นๆ เพิ่มเติม

## บทที่ 6

### สรุปผลผลิตงานวิจัย

#### 6.1 การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

- ผลงานการวิจัย เรื่อง Paddy drying in a vibration-assisted vacuum infrared dryer ได้ถูกนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 8<sup>th</sup> TSAE International Conference ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 17-19 มีนาคม 2558 ซึ่งจัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย โดยผลงานตีพิมพ์แสดงอยู่ในภาคผนวก ก

- มีการนำผลงานไปเผยแพร่และเข้าร่วมแข่งขันในรูปแบบของการนำเสนอโปสเตอร์ เรื่อง การอบแห้งข้าวเปลือกแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน ในการประชุมวิชาการโครงการวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 20 ประจำปี 2557 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

#### 6.2 การผลิตบัณฑิต

มีนักศึกษาระดับปริญญาตรีของหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. อยู่ภายใต้โครงการวิจัยนี้ จำนวน 3 คน

#### 6.3 ต้นแบบ

เงินทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยนี้ได้นำไปใช้สร้างเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบตสัน ระดับห้องปฏิบัติการ 1 เครื่อง ดังแสดงอยู่ในบทที่ 3

## เอกสารอ้างอิง

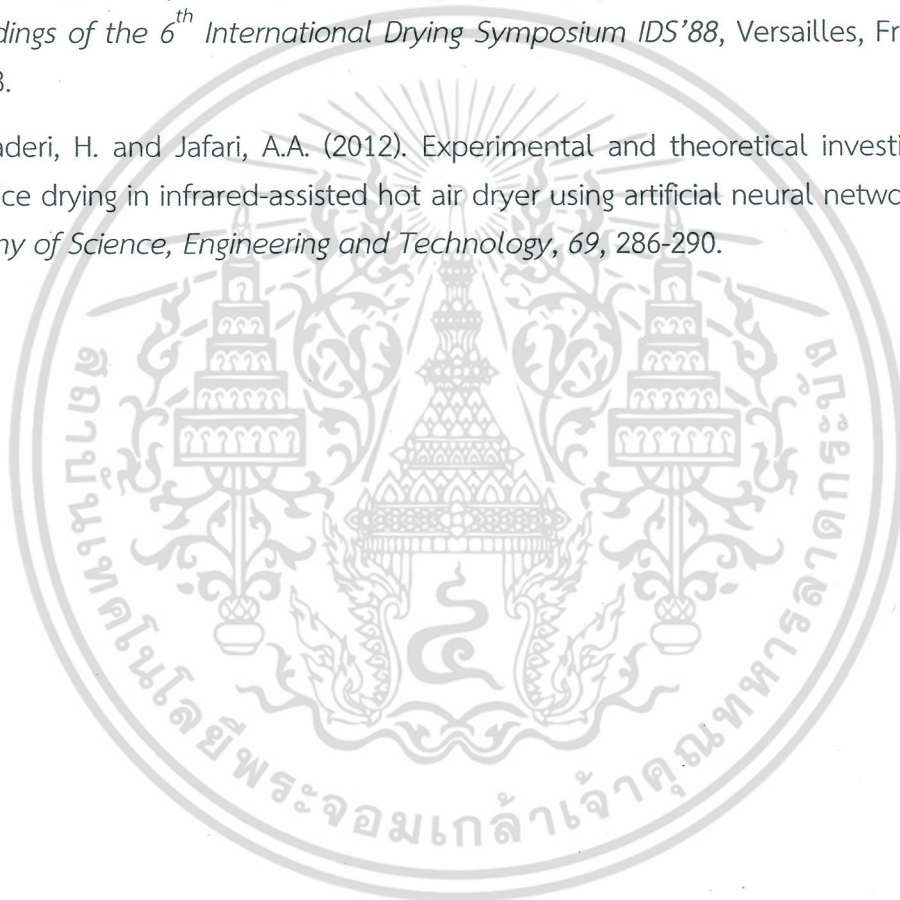
- กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2556). คุณภาพข้าวทางกายภาพ. คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. 1(1): 33-38.
- กรมไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2556). ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. เว็บไซต์ [http://www3.egat.co.th/re/egat\\_business/egat\\_dryer/egat\\_dryer.htm](http://www3.egat.co.th/re/egat_business/egat_dryer/egat_dryer.htm)
- เกษตรไทย. (2554). วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว. เว็บไซต์ <http://kasetintree.com/1588.html>
- สำนักข่าว ไอ.เอ็น.เอ็น. (2556). พิษณุโลกตากข้าวลดความชื้นก่อนเข้าจำนำ. เว็บไซต์ <http://www.innnews.co.th/mobile/show?newscode=419011>
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2555). การแบ่งประเภท กลุ่ม และชั้นของเมล็ดข้าว. *มาตรฐานสินค้าเกษตร*. 129(173): 3-5.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2555). ข้าว. *มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4004-2555*.
- สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. (2556). องค์ความรู้เรื่องข้าว. เว็บไซต์ <http://www.brrd.in.th/rkb/postharvest/index.php-file=content.php&id=3.htm>
- ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2556). อัตราการทำแห้ง. เว็บไซต์ <http://www.foodnetworksolution.com>
- ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. (2556). พันธุ์ข้าว กข47. เว็บไซต์ <http://kkn-rsc.ricethailand.go.th>
- Abe, T. and Afzal, T.M. (1997). Thin-layer infrared radiation drying of rough rice. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67, 289-297.
- Assawarachan, R. Sripinyowanich, J., Theppadungporn, K. and Noomhorm, A. (2011). Drying paddy by microwave vibro-fluidized bed drying using single mode applicator. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9, 50-54.
- Cakmak, G. and Yildiz, C. (2011). The prediction of seedy grape drying rate using a neural network method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 132-138.
- Das, I., Das, S.K. and Bal, S. (2004). Drying performance of a batch type vibration aided infrared dryer. *Journal of Food Engineering*, 64, 129-133.
- Das, I., Das, S.K. and Bal, S. (2009). Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying. *Journal of Food Engineering*, 95, 166-171.
- Henderson, S.M. (1952). A basic concept of equilibrium moisture content, *Agric. Eng.*, 33 (1), 29-31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S. and Soponronnarit, S. (2009). Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. *Journal of Food Engineering*, 95, 517-524.
- Jindal, V.K. and Siebenmorgen, T.J. (1987). Effect of oven drying temperature and drying time on rough rice moisture content determination. *American Society of Agricultural Engineers*, 30, 1185-1192.
- Khair, R., Pan, Z. and Salim, A. (2006). Drying rates of thin layer rough rice drying using infrared radiation. *The 2006 ASABE Annual International Meeting, ASABE Paper No. 066011*. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- Khair, R., Pan, Z., Salim, A., Hartsough, B.R. and Mohamed, S. (2011). Moisture diffusivity of rough rice under infrared radiation drying. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 1126-1132.
- Laohavanich, J. and Wongpichet, S. (2008). Thin layer drying model for gas-fired infrared drying of paddy. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 30, 343-348.
- Meeso, N. (2008). Far-infrared heating in paddy drying process. In A.P. Urwaye (Ed.) *New Food Engineering Research Trends*, Nova Science Publisher, Inc., pp. 225-256.
- Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T. and Soponronnarit, S. (2004). Influence of FIR radiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering*, 65, 293-301.
- Mujumdar, A.S. (2004). Research and development in drying: Recent trends and future prospects. *Drying Technology*, 22, 1-26.
- Nindo, C.I., Kudo, Y. and Bekki, E. (1995). Test model for studying sun drying of rough rice using far infrared radiation. *Drying Technology*, 13, 225-238.
- Nowak, D. and Lewicki, P.P. (2004). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 5, 353-360.
- Ratti, C. and Mujumdar, A.S. (1995). Infrared drying. In Mujumdar A.S. (Ed.), *Handbook of industrial drying*. Volume 1. 2<sup>nd</sup> Ed. Marcel Dekker, New York, USA.
- Sakai, N. and Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science and Technology*, 5, 357-362.
- Sakai, N. and Mao, W. (2006). Infrared heating. In Sun, D.W. (Ed.), *Thermal Food Processing: New Technology and Quality Issues*,. Boca Raton: CRC Press, 493-525.
- Sharma, G.P., Verma, R.C. and Pathare, P. (2005). Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, 71, 282-286.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Shih, C., Pan, Z., McHugh, T., Wood, D. and Hirschberg, E. (2008). Sequential infrared radiation and freeze-drying method for producing crispy strawberries. *Transactions of the ASABE*, 51, 205-216.
- Taechapiroj, C., Dhuchakallaya, I., Soponronnarit, S., Wetchacama, S. and Prachayawarakorn, S. (2003). Superheated steam fluidized bed paddy drying. *Journal of Food Engineering*, 58, 67-73.
- Toriyama, K., Heong, K.L. and Hardy, B. (2005). Development of a far-infrared radiation dryer for grain. *Rice is life: Scientific perspectives for the 21<sup>st</sup> century*, 1(1), 296-298.
- Toyoda, K. (1988). Study in intermittent drying of rough rice in a recirculation dryer. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Drying Symposium IDS'88*, Versailles, France, pp. 171-178.
- Zare, D., Naderi, H. and Jafari, A.A. (2012). Experimental and theoretical investigation of rough rice drying in infrared-assisted hot air dryer using artificial neural network. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 69, 286-290.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เอกสารแสดงการนำเสนอผลงานจากการวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 8<sup>th</sup>  
TSAE International Conference ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร  
เมื่อวันที่ 17-19 มีนาคม 2558



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TSAE 2015

การประชุมวิชาการ  
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558  
และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8  
The 16<sup>th</sup> TSAE National Conference and  
the 8<sup>th</sup> TSAE International Conference  
(TSAE 2015)

ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค  
ชางนา กรุงเทพมหานคร  
17-19 มีนาคม 2558

จัดโดย  
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย



สนับสนุนโดย

**vnu exhibitions**  
asia pacific



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 16<sup>th</sup> TSAE National Conference and the 8<sup>th</sup> TSAE International Conference  
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8

PT-14	PADDY DRYING IN A VIBRATION-ASSISTED VACUUM INFRARED DRYER.....	84
PT-16	EFFECT OF SUPERHEATED STEAM FLUIDIZATION TECHNIQUE ON QUALITY OF BLACK GLUTINOUS RICE .....	85
PT-18	DESIGN, FABRICATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF A POTATO (Solanum tuberosum L.) GRADER FOR VILLAGE-LEVEL OPERATIONS.....	86
SWE-01	OPTIMIZATION OF ZONE LEACHING FOR SALINITY CONTROL IN ARID AND SEMIARID REGIONS.....	87
SWE-03	EVALUATION OF FURROW IRRIGATION METHOD USING THE POWER ADVANCE APPROACH OF THE VOLUME BALANCE MODEL.....	88
SWE-04	GRAIN YIELD AND WATER PRODUCTIVITY OF IRRIGATED LOWLAND RICE (Oryza sativa L.): THE EFFECT OF ALTERNATE WETTING AND DRYING TECHNOLOGY AND CROP ESTABLISHMENT METHODS.....	89
SWE-06	An analysis of groundwater levels and groundwater flow distributions in lower Namkam river, Thailand .....	90
SWE-08	MINIMIZING WATER LOSSES IN SMALL RESERVOIR.....	91
NATIONAL CONFERENCE.....		92
TAM-02	ทดสอบและพัฒนาเครื่องกำจัดวัชพืชสำหรับสวนลำไย.....	93
TAM-04	อิทธิพลของขนาดแปลงนาต่อสมรรถนะของรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กในการเตรียมดิน.....	94
TAM-05	อิทธิพลของขนาดแปลงนาต่อสมรรถนะของเครื่องดำนาแบบนั้งซึบ.....	95
TAM-06	อิทธิพลของขนาดแปลงนาต่อสมรรถนะของเครื่องเกี่ยวขนาดข้าว.....	96
TAM-09	การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิควิศวกรรม ในการใช้ใบมีดรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับสับแยกหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า.....	97
TAM-10	การศึกษาและพัฒนาเครื่องขุดหัวแค้นตะวัน.....	98
TEA-01	อิทธิพลของการสร้างสภาวะความชื้นเทียมและการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพของผลปาล์มน้ำมัน .....	99
✓ TEA-02	การพัฒนาโรงเรือนผลิตเบญจมาศแบบประหยัดในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ .....	100
✓ TEA-03	การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบ Evaporative cooling .....	101
TEA-04	การวัดความพรุนโดยใช้อัตราการลดลงของความดันภายใต้สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง.....	102
✓ TEA-07	ด้วยรับน้ำหยดจากยางธรรมชาติผสมที่ถ้าไม่ยางพารา.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## PADDY DRYING IN A VIBRATION-ASSISTED VACUUM INFRARED DRYER

Jiraporn Sripinyowanich JONGYINGCHAROEN<sup>1</sup>, Sathawat THANIMKARN<sup>2</sup> and \*Pattarachai VICHAIYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curriculum of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

<sup>2</sup>Agricultural Mechanization Department, Rajamangala University of Technology Srivijaya  
Thungsong, Nakorn Sri Thammaraj 80110, Thailand

Corresponding author: Jiraporn Sripinyowanich JONGYINGCHAROEN. E-mail: kjjirapo@kmitl.ac.th

### ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of vibration-assisted vacuum infrared (VVIR) drying on drying characteristics and quality of dried paddy of 12% (w.b.). The remoistened paddy of RD 47 variety with 25% (w.b.) and 10-mm grain bed depth was used in this study. The infrared intensities were 734, 853 and 952 W/m<sup>2</sup>. The comparison of VVIR drying with vacuum infrared (VIR) drying and hot air (HA) drying (45-120°C) was also conducted. The results showed that VVIR drying at the infrared intensity of 734 W/m<sup>2</sup> provided high percentage of head rice yield (HRY) (38.31%), which was close to the HRY obtained by HA drying at 45°C (44.07%). However, the VVIR drying provided higher maximum drying rate and took shorter drying time (0.0108 ± 0.0003 g/g dry matter-min, 25 min) than those of the HA drying (0.0018 ± 0.0004 g/g dry matter-min, 360 min). VVIR and VIR drying also generated low paddy temperature of 40-50°C.

**Keywords:** Paddy; Infrared drying; Infrared radiation; Vibration; Vacuum drying



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PADDY DRYING IN A VIBRATION-ASSISTED VACUUM INFRARED DRYER**Jiraporn Sripinyowanich JONGYINGCHAROEN<sup>1</sup>, Sathawat THANIMKARN<sup>2</sup> and \*Pattarachai VICHAIYA<sup>1</sup><sup>1</sup>Curriculum of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand<sup>2</sup>Agricultural Mechanization Department, Rajamangala University of Technology Srivijaya  
Thungsong, Nakorn Sri Thammaraj 80110, Thailand

Corresponding author: Jiraporn Sripinyowanich JONGYINGCHAROEN. E-mail: kjjirapo@kmitl.ac.th

Keywords: Paddy; Infrared drying; Infrared radiation; Vibration; Vacuum drying

**ABSTRACT**

This study aimed to investigate the effect of vibration-assisted vacuum infrared (VVIR) drying on drying characteristics and quality of dried paddy of 12% (w.b.). The remoistened paddy of RD 47 variety with 25% (w.b.) and 10-mm grain bed depth was used in this study. The infrared intensities were 734, 853 and 952 W/m<sup>2</sup>. The comparison of VVIR drying with vacuum infrared (VIR) drying and hot air (HA) drying (45-120°C) was also conducted. The results showed that VVIR drying at the infrared intensity of 734 W/m<sup>2</sup> provided high percentage of head rice yield (HRY) (38.31%), which was close to the HRY obtained by HA drying at 45°C (44.07%). However, the VVIR drying provided higher maximum drying rate and took shorter drying time (0.0108 ± 0.0003 g/g dry matter-min, 25 min) than those of the HA drying (0.0018 ± 0.0004 g/g dry matter-min, 360 min). VVIR and VIR drying also generated low paddy temperature of 40-50°C.

**INTRODUCTION**

Rice is a global staple food and has been considered as a significant agricultural product for Thai economy. The key discussion of rice post-harvesting is typically related to quality maximization. Harvested paddy has a moisture content in the range of 18 to 43% (d.b.). The drying process must be employed for a safe storage. However, this process has a considerable influence on development of internal cracking in the endosperm of the rice kernel which consequently results in kernel breakage during rice processing [1]. Hence, proper drying of paddy is necessary in order to maximize the rice yield and quality. Although many research has been done on paddy drying, research on new and/or hybrid drying systems for paddy drying is still required.

Far-infrared (FIR) drying has been reviewed as a potential method for drying various agricultural products such as fruits, vegetables and cereal grains. Under FIR drying, material can be dried directly by absorption of FIR radiation. Penetration of FIR radiation provides more uniform heating than heat transferred by hot air. Hence, moisture gradient and stress development in rice kernels during drying are reduced [2,3]. However, penetration depth of FIR radiation, i.e. 1-2 mm into grains, limits its

ability to only surface heating application [3,4]. Mechanical system like vibration would be useful to agitate rice grains in the bed to allow the grains to receive the radiation uniformly [5,6]. Das and Bal found that the bed depth of paddy insignificantly affected the drying rate when drying the paddy in a vibration aided infrared dryer [4].

In addition, vacuum condition in the dryer leads to a lower boiling point of water. Drying at lower temperature is desirable and leads to prevention of a heat damage during the drying process.

Therefore, this study combined the advantages of vibration, vacuum drying and infrared radiation for paddy drying. Drying characteristics and quality of dried paddy undergoing VVIR drying were investigated and compared with those of the paddy subjected to VIR and HA drying.

**MATERIALS AND METHODS****Paddy Sample**

Paddy of RD47 variety was used as a sample of this study. Before using in each experiment, the paddy of 12% (w.b.) was remoistened to the moisture content of 25% (w.b.) and kept at 4-5°C for 5-7 days to ensure uniform moisture throughout the kernels. The paddy was allowed to come to room temperature before drying.

**Experimental Dryer**

Figure 1 shows the experimental set-up of the VVIR dryer. A stainless steel drying chamber with inner dimensions of 21×29×3 cm<sup>3</sup> was equally divided into six channels and covered with tempered glass. Type-K thermocouple was embedded on each channel of the drying chamber to measure the temperature of the paddy bed surface. An FIR heater (220 V, 700 W) was installed over the drying chamber to be operated at the infrared intensities of 734, 853 and 952 W/m<sup>2</sup> at the bed surface. An aluminum cover was placed on top of the FIR heater as an infrared reflector. The vibration system consisted of an eccentric joint with a speed-controlled motor (SF-JR, 0.4 kW, Mitsubishi, Thailand) and four helical springs. The drying chamber was vibrated at 800 rpm during operation. A vacuum pump (VE-290, Value, Zhejiang, China) was used to maintain absolute pressure of 5 kPa in the drying chamber during operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

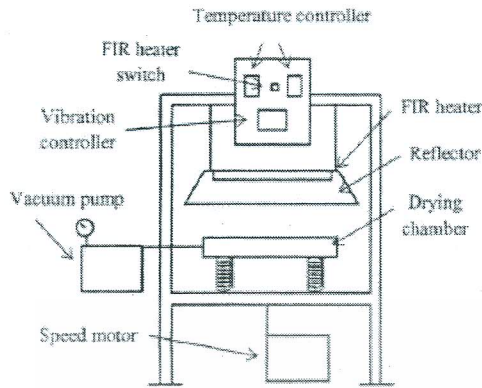


Fig. 1 Schematic diagram of the VVIR dryer

### Drying Procedure and Data Analysis

The VVIR drying experiments were performed at infrared intensities of 734, 853 and 952 W/m<sup>2</sup>, vibration of 800 rpm and absolute pressure of 5 kPa. Before running each experiment, the infrared heater was allowed to stabilize for 5 min. The paddy of 10-mm grain bed depth (500 g) was then fed into the drying chamber and dried until its final moisture content reached about 12% (w.b.) For the VIR drying, no vibration was applied in the drying system. For comparison purposes, the conventional drying method, i.e. HA drying, was also conducted at temperatures of 45, 60, 90 and 120°C in a HA oven (ULM 500, Memmert GmbH+Co.KG, Schwabach, Germany).

During the process of drying, the dried paddy was sampled at predetermined intervals to measure its moisture content by HA drying at 130°C for 24 h [7].

The dimensionless moisture ratio (MR) and drying rate (DR) were calculated as follows:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

$$DR = \frac{M_{i-dr} - M_i}{dt} \quad (2)$$

where  $M_i$ ,  $M_t$ ,  $M_e$  and  $M_{i-dr}$  are moisture content (g/g dry matter) at initial, specific time, equilibrium and  $t+dt$ , respectively; and  $t$  is drying time (min).

As prolonged radiation yields burnt paddy, it was reasonable to omit  $M_e$  for VVIR and VIR drying [8]. The values of  $M_e$  for HA drying of paddy samples were determined using the following equation [9]:

$$M_e = \frac{1}{100} \left[ \frac{\ln(1 - RH)}{C_1 T_{abs}} \right]^{1/C_2} \quad (3)$$

where  $RH$  is relative humidity (decimal);  $T_{abs}$  is absolute temperature (°K); and  $C_1$  and  $C_2$  are equation constants, which are  $-3.146 \times 10^{-6}$  and 2.464 for paddy, respectively. The  $M_e$  of the paddy samples subjected to HA drying at 45

and 60°C were 0.0017 and 0.0015 g/g dry matter respectively while HA drying at the temperatures of 90 and 120°C both provided the  $M_e$  of zero g/g dry matter.

### Determination of Milling Quality of Dried Paddy

HRY and whiteness were determined. Head rice is defined as milled rice having a kernel length at least 80% of its original length. To measure HRY, 250 g of paddy was dehusked by a rubber roll huller (THU-35A, Satake Engineering Co., Ltd., Osaka, Japan), milled by a rice polisher (TM05, Satake Engineering Co., Ltd., Osaka, Japan) and graded to obtain whole grains and head rice by a rice grader (TRG 05A, Satake Engineering Co., Ltd., Osaka, Japan). Whiteness of milled rice was calculated using Equation (4). Color of milled rice in the CIE L\* (lightness to darkness), a\* (redness to greenness), b\* (yellowness to blueness) system was obtained from a spectrophotometer (MiniScan XE Plus, Hunter Associates Laboratory, Inc., Virginia, USA)

$$\text{Whiteness} = 100 - \left[ (100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

### Statistical Analysis

All experiments were triplicate. The data were analyzed using the analysis of variance in a completely randomized design. Significant difference among treatment was determined using Duncan's multiple range test at 95% confidence interval.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Drying Characteristics

Figures 2-4 illustrate the change in MR of paddy with time by VVIR, VIR and HA drying, respectively. As proposed by Toyoda [10], a paddy kernel could be considered to consist of two components, husk and a brown rice kernel, which are assumed to function as water tanks. During drying, the husk is mainly dried in the first short period. In the second longer period, brown rice kernel is principally dried and water transfer from brown rice to the air slows down. However, as seen in these figures, it is obvious that infrared radiation provided more uniform moisture transfer than hot air. It should be because of the absorption of infrared radiation inside the paddy kernel which promotes the migration of moisture from inside to surface of the kernel [2, 3].

As shown in Table 1, drying time decreased and maximum DR increased with increasing either infrared intensity or hot air temperature (Table 1). It appears that maximum DR of VVIR and VIR treatments were insignificantly different. They were also statistically the same as the maximum DR obtained by HA drying of paddy at the temperature of 120°C. VVIR drying at 952 W/m<sup>2</sup> provided the highest maximum DR of 0.0160 g/g dry matter-min, which was about 9 times higher than the lowest maximum DR of HA drying at 45°C. Shorter drying time and higher maximum DR of VVIR drying can be explained by uniform radiation created by a vibration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

system [5,6]. Effect of vibration was more pronounced at the lowest infrared intensity of 734 W/m<sup>2</sup> as the largest difference between the drying times of VVIR and VIR drying at this infrared intensity was observed.

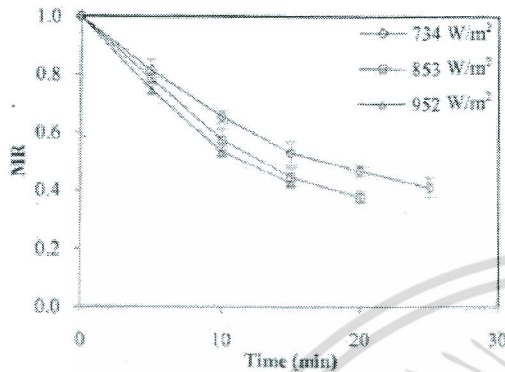


Fig. 2 Drying curves of VVIR drying of paddy at different infrared intensities

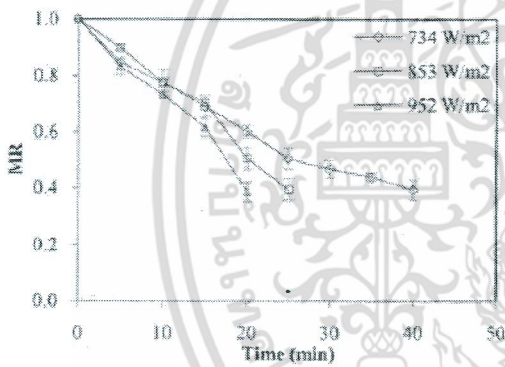


Fig. 3 Drying curves of VIR drying of paddy at different infrared intensities

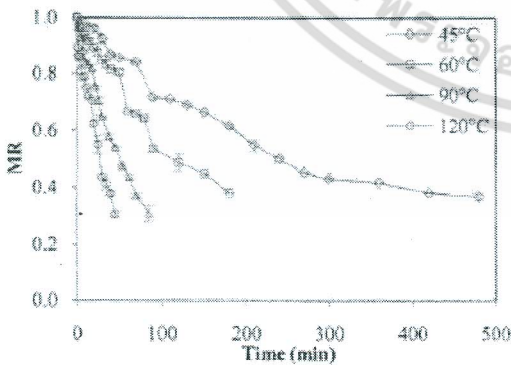


Fig. 4 Drying curves of HA drying of paddy at different drying temperatures

Final temperatures of paddy during drying are shown in Table 2. Final temperature of the paddy undergoing

VVIR drying was slightly higher than that of the paddy undergoing VIR drying. It should be due to the effect of vibration which provided well-distributed radiation. It was also observed that infrared radiation could promote high value of maximum DR while generated low paddy temperature in the range of 40-50°C.

Table 1 Drying times and maximum DR of VVIR, VIR and HA drying of paddy

Drying condition	Drying time (min)	Maximum DR (g/g dry matter·min)
1. VVIR drying		
734 W/m <sup>2</sup>	25	0.0108±0.0003 <sup>abc</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	20	0.0134±0.0008 <sup>ab</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	15	0.0160±0.0004 <sup>a</sup>
2. VIR drying		
734 W/m <sup>2</sup>	40	0.0098±0.0010 <sup>abc</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	25	0.0102±0.0011 <sup>abc</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	20	0.0151±0.0016 <sup>a</sup>
3. HA drying		
45°C	360	0.0018±0.0004 <sup>d</sup>
60°C	150	0.0036±0.0017 <sup>cd</sup>
90°C	70	0.0064±0.0010 <sup>cd</sup>
120°C	40	0.0104±0.0009 <sup>abc</sup>

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

Table 2 Final temperatures of dried paddy undergoing VVIR, VIR and HA drying

Drying condition	Final temperature of dried paddy (°C)
1. VVIR drying	
734 W/m <sup>2</sup>	44.50±1.97 <sup>i</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	49.67±1.51 <sup>j</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	48.33±1.03 <sup>bc</sup>
2. VIR drying	
734 W/m <sup>2</sup>	40.83±1.94 <sup>h</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	47.33±1.86 <sup>e</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	46.83±1.47 <sup>g</sup>
3. HA drying	
45°C	42.50±0.41 <sup>g</sup>
60°C	56.00±0.41 <sup>c</sup>
90°C	80.12±0.85 <sup>b</sup>
120°C	107.38±0.48 <sup>a</sup>

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

**Milling Quality of Paddy**

The milling quality of dried paddy in terms of HRY and whiteness are shown in Table 3. The higher drying condition (either infrared intensity or drying temperature), the greater the HRY lost. The highest percentage of HRY was obtained by HA drying at 45°C, the lowest drying temperature used in this study. The second highest percentage of HRY was provided by VVIR drying at 734

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W/m<sup>2</sup>. It is important to notice that the latter can be operated faster (more than 14 times faster than the 45°C HA drying).

Comparing between VIR drying at 734 W/m<sup>2</sup> and HA drying at 120°C, which took the same drying time of 40 min, HRY of paddy subjected to the VIR drying was about 2.6 times greater than that of the HA drying. Meeso et al. suggested that FIR heating provides simultaneous moisture removal and moisture leveling [11]. Hence, moisture gradient and stress development within the paddy kernel decrease and HRY could be maintained.

Whiteness of dried paddy was in the range of 60-67%. Drying time was an important factor affecting the whiteness of paddy. In the same drying method, the shorter drying time caused a higher value of whiteness, except the HA drying, of which the peak level of whiteness was obtained at the drying temperature of 90°C. It should be noted that an increase in infrared intensity or drying temperature which led to a decrease in drying time consequently resulted in a higher value of whiteness. These results are in contrast with those reported by Tacchapiroj et al. for superheated steam fluidized bed drying of paddy; higher drying temperature led to lower whiteness value [12].

Table 3 HRY and whiteness percentages of dried paddy undergoing VVIR, VIR and HA drying

Drying condition	HRY (%)	Whiteness (%)
1. VVIR drying		
734 W/m <sup>2</sup>	38.31±1.63 <sup>b</sup>	61.83±0.69 <sup>de</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	31.00±1.48 <sup>c</sup>	62.52±0.54 <sup>cd</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	28.34±0.89 <sup>c</sup>	64.99±0.79 <sup>b</sup>
2. VIR drying		
734 W/m <sup>2</sup>	35.41±2.70 <sup>b</sup>	63.21±0.62 <sup>c</sup>
853 W/m <sup>2</sup>	28.31±3.44 <sup>c</sup>	63.42±0.29 <sup>c</sup>
952 W/m <sup>2</sup>	21.08±0.13 <sup>b</sup>	64.68±0.37 <sup>b</sup>
3. HA drying		
45°C	44.07±0.97 <sup>a</sup>	60.08±0.48 <sup>f</sup>
60°C	30.60±3.09 <sup>c</sup>	60.82±0.01 <sup>ef</sup>
90°C	17.79±0.49 <sup>c</sup>	67.08±0.18 <sup>a</sup>
120°C	13.57±0.78 <sup>f</sup>	65.23±0.56 <sup>b</sup>

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

## CONCLUSIONS

In average, VVIR drying provided the highest maximum DR, followed by VIR drying and HA drying, respectively. VVIR and VIR drying also required shorter drying time while generated lower paddy temperature than HA drying. HA drying at low temperature of 45°C was the best way to preserve HRY of paddy. However, it took about 14 times longer than VVIR drying at 734 W/m<sup>2</sup>, which offered the second highest percentage of HRY.

Whiteness of milled rice was higher when drying time of paddy was shorter.

## ACKNOWLEDGEMENT

The financial assistance provided by the budget support from Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is gratefully acknowledged.

## REFERENCES

- Bonazzi, C., du Peuty, M.A. and Themelin, A. Influence of drying conditions on the processing quality of rough rice. *Drying Technology* 15: 1141-1157 (1997)
- Khair, R., Pan, Z., Salim, A., Hartsough, B.R. and Mohamed, S. Moisture diffusivity of rough rice under infrared radiation drying. *LWT – Food Science and Technology* 44: 1126-1132 (2011)
- Meeso, N. Far-infrared heating in paddy drying process, pp. 225-256, in A.P. Urwaye (Ed.) *New Food Engineering Research Trends*, Nova Science Publisher, Inc. (2008)
- Das, I., Das, S.K. and Bal, S. Research note: Drying performance of a batch type vibration aided infrared dryer. *Journal of Food Engineering* 64: 129-133 (2004)
- Nindo, C.I., Kudo, Y. and Bekki, E. Test model for studying sun drying of rough rice using far-infrared radiation. *Drying Technology* 13: 225-238 (1995)
- Mujumdar, A.S. Research and development in drying: Recent trends and future prospects. *Drying Technology* 22: 1-26 (2004)
- Jindal, V.K. and Siebenmorgen, T.J. Effect of oven drying temperature and drying time on rough rice moisture content determination. *American Society of Agricultural Engineers* 30: 1185-1192 (1987)
- Assawarachan, R., Sripiyanonich, J., Theppadungporn K. and Noonhorm, A. Drying paddy by microwave vibro-fluidized bed drying using single mode applicator. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 9: 50-54 (2011)
- Henderson, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 33: 29 (1952)
- Toyoda, K. Study in intermittent drying of rough rice in a recirculation dryer. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Drying Symposium IDS'88, Versailles, France*, pp. 171-178 (1988)
- Meeso, N., Nathakarakule, A., Madhiyanon, T. and Soponronnarit, S. Influence of FIR radiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering* 65: 293-301 (2004)
- Tacchapiroj, C., Dhuchakallaya, I., Soponronnarit, S., Wetchacama, S. and Prachayawarakorn, S. Superheated steam fluidized bed paddy drying. *Journal of Food Engineering* 58: 67-73 (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Scientific Committee

1	Prof. Dr. Somchart Soponronnarit	Chair's Committee
2	Assoc. Prof. Dr. Winit Chinsuwan	Committee
3	Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon	Committee
4	Assoc. Prof. Dr. Sakamon Devahastin	Committee
5	Assoc. Prof. Dr. Somkiat Prachayawarakom	Committee
6	Assoc. Prof. Dr. Adisak Nathakaranakule	Committee
7	Asst. Prof. Dr. Verachai Arjham	Committee
8	Asst. Prof. Dr. Somposh Sudajan	Committee
9	Asst. Prof. Dr. Sunate Surbkar	Committee
10	Dr. Wanrat Abdullakasim	Committee
11	Dr. Nyanakorn Sutassanamarlee	Committee
12	Dr. Anuchit Chamsing	Committee
13	Dr. Vasu Udompetaikul	Committee
14	Dr. Danuwat Thangdee	Committee
15	Dr. Damorn Bunturat	Committee
16	Prof. Vijaya Raghevan	Committee
17	Prof. Arun S. Mujumdar	Committee
18	Asst. Prof. Munehiro Tanaka	Committee
19	Dr. George Szrednicki	Committee
20	Asst. Prof. Dr. Rose Prabin Kingsly Ambrose	Committee
21	Asst. Prof. Dr. Klein E. Ileteji	Committee
22	Prof. Dr. Xiao Dong Chen	Committee
23	Prof. Donald C. Slack	Committee
24	Prof. Dr. Dirk E Maier	Committee
25	Prof. Ito Nobutaka	Committee
26	Prof. Dr. Chin Chen Hsieh	Committee
27	Mrs. Dares Kittiyopas	Committee
28	Mr. Akkapol Senanarong	Committee
29	Mr. Viboon Thepent	Committee
30	Mr. Cherawat Munkit	Committee and Secretary
31	Asst. Prof. Dr. Prasan Choomjaihan	Committee and Asst. Secretary
32	Dr. Watcharapol Chayaprasert	Committee and Asst. Secretary

ขอเชิญท่านผู้สนใจเข้าร่วมการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8

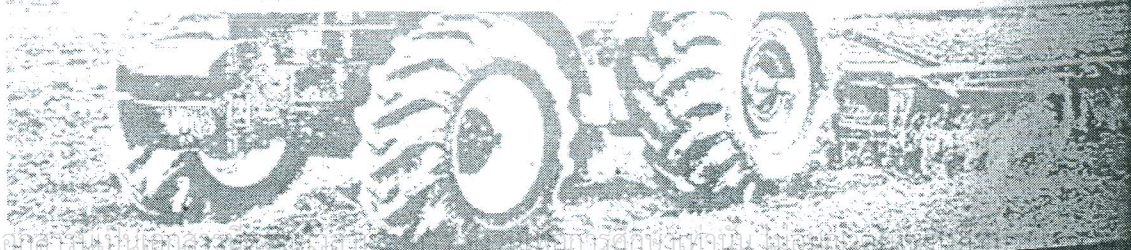
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 16<sup>th</sup> TSAE National Conference and the 8<sup>th</sup> TSAE International Conference  
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (REVIEWER)

- |    |  |   |
|----|--|---|
| 1  | ศ. ดร. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์                | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                            |
|    | Prof. Dr. Somchart Soponronnarit         |   |
| 2  | รศ. ดร. สักกมน เทพพิสตัน ณ อุดยธา        | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                            |
|    | Assoc. Prof. Dr. Sakamon Devahastin      |   |
| 3  | รศ. ดร. อรุณพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล          | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                                      |
|    | Assoc. Prof. Dr. Anupun Terd Wongworakul |   |
| 4  | ดร. วันรัฐ อับดุลลาหาคิม                 | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                                      |
|    | Dr. Wanrat Abdullakasim                  |   |
| 5  | ดร. วัชรพล ชัยประเสริฐ                   | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                                      |
|    | Dr. Watcharapol Chayaprasert             |   |
| 6  | ผศ. สมชาย ชวนอุตม                        | มหาวิทยาลัยขอนแก่น  |
|    | Asst. Prof. Somchai                      |   |
| 7  | ดร. ดนูวดี ทางดี                         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี |
|    | Dr. Danuwat Thangdee                     |   |
| 8  | ดร. กฤษดาจักร บุคคัจฉ์                   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี |
|    | Dr. Khridsadakhon Boodadachan            |   |
| 9  | รศ. เสมอขวัญ ตันติกุล                    | มหาวิทยาลัยแม่โจ้   |
|    | Assoc. Prof. Samerkhwan Tantikul         |   |
| 10 | ผศ. ดร. สุเนตร สิ้นคำ                    | มหาวิทยาลัยแม่โจ้   |
|    | Asst. Prof. Dr. Sunate Surbkar           |   |
| 11 | ดร. นยานการ สุทัศนมาลี                   | มหาวิทยาลัยแม่โจ้   |
|    | Dr. Nyanakorn Sutassanamerlee            |   |
| 12 | รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์              | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง              |
|    | Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon    |   |
| 13 | รศ. สาทิป รัตน์ภาสกร                     | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง              |
|    | Assoc. Prof. Satip Rattanapaskorn        |   |
| 14 | ผศ. ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ               | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง              |
|    | Asst. Prof. Dr. Prasan Choomjaihan       |   |
| 15 | ผศ. ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์                | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง              |
|    | Asst. Prof. Dr. Songvoot Sangchan        |   |
| 16 | ดร. วสุ อุดมแพทยกุล                      | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง              |
|    | Dr. Vasu Udompetaikul                    |   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารของวิศวกรรมเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (REVIEWER)

- |    |                             |            |                                 |
|----|-----------------------------|------------|---------------------------------|
| 17 | ดร. รัชดาภรณ์               | แก้วกล้า   | มหาวิทยาลัยบูรพา                |
|    | Dr. Rachadaporn Kaewklum    |            |                                 |
| 18 | ผศ. ดร.จตุรงค์              | สิงหาพิณดี | สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต |
|    | Dr. Jaturong Langkapin      |            |                                 |
| 19 | ดร. ศานิตย์ดา               | เดี้ยวต้อย | สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต |
|    | Asst. Prof. Sanidda Tiewtoy |            |                                 |
| 20 | ดร. อнуชิต                  | ฉ่ำสิงห์   | กรมวิชาการเกษตร                 |
|    | Dr. Anuchit Chamsing        |            |                                 |
| 21 | นาย วิบูลย์                 | เทพเพนท์   | กรมวิชาการเกษตร                 |
|    | Mr. Viboon Thepent          |            |                                 |
| 22 | นาง ดาเรศร์                 | กิตติโยภาส | กรมส่งเสริมการเกษตร             |
|    | Mrs. Dares Kittiyopas       |            |                                 |
| 23 | นาย ชีจวรรช                 | มันกิจ     | กรมส่งเสริมการเกษตร             |
|    | Mr. Cherawat Munkit         |            |                                 |



แจ้งสู่ท่านเป็นข้อควรระวังถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวม ทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ
งบบุคลากร:ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	10,000	10,000	-
ค่าวัสดุ	50,000	50,000	-
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	60,000	60,000	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้วิจัย

### 1. ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล จิราพร ศรีภิญโญวนิชย์ จงยั้งเจริญ  
Jiraporn Sripinyowanich Jongyingcharoen  
โทรศัพท์ 02-329-8337  
E-mail Address kjirapo@gmail.com

### 2. ตำแหน่งงานปัจจุบัน

ตำแหน่ง อาจารย์  
สาขาวิชา/ภาควิชา หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร  
คณะ วิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษาที่จบ	ประเทศ
2554	Ph.D.	Food Engineering and Bioprocess Technology	Asian Institute of Technology	ประเทศไทย
2549	M.Sc.	Food Engineering and Bioprocess Technology	Asian Institute of Technology	ประเทศไทย
2547	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ประเทศไทย

### 4. สาขาที่มีความชำนาญ

- Processing of Food and Agricultural Products
- Drying Technology and Drying Modeling
- Rice Research and Development
- Statistics for Agricultural Research

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. ประสบการณ์การทำงาน

- 2555 – 2556 อาจารย์พิเศษวิชา “สถิติเพื่อการจัดการทางสิ่งแวดล้อม” ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- 2554 – 2555 อาจารย์พิเศษเรื่อง “วิธีเอกซ์ทราซันในกระบวนการแปรรูปอาหาร” คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยรังสิต
- 2552 ผู้ช่วยอาจารย์ โปรแกรมแบบเข้มข้นเพื่อความยั่งยืน ประจำปี พ.ศ. 2552 โดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยโตเกียวและสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
- 2549 – 2550 นักวิจัย วิศวกรรมอาหารและเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

## 6. ผลงานวิจัย

Thanimkarn, S. and **Jongyingcharoen, J.S.** (2014). Thin-layer drying characteristics of *Cissus Quadrangularis* Linn. and selection of suitable drying models. In the 7<sup>th</sup> TSAE International Conference, 2 – 4 April 2014. Krungsri River Hotel, Ayuthaya, Thailand.

**Jongyingcharoen, J.S.** (2014). Thermal and non-thermal processing of functional foods. In Noomhorm, A., Ahmad, I. and Anal, A.K. (Eds.), *Functional foods and dietary supplements*. Wiley-Blackwell.

Sonsanguan, N., Sirisomboon, P. and **Jongyingcharoen, J.S.** (2012). Selection of objective test for cooked rice texture determination in research and industrial work. In the 2<sup>nd</sup> International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2012), 21-24 November 2012. Swissôtel Le Concorde, Bangkok, Thailand.

Anal, A.K., Ahmad, I., **Sripinyowanich, J.** and Noomhorm, A. (2012). Sustainable food grain processing. In B. Tiwari, T. Norton, N.M. Holden (Eds.), *Sustainable food processing*. Wiley-Blackwell.

**Sripinyowanich, J.**, Sopanattayanon, O., Assawarachan, R., Theppadungporn, K. and Noomhorm, A. (2012). Effect of moisture content of dried coconut residue on its shelf life, quality, and sorption isotherm. In *the International Congress on Food Engineering and Technology 2012*, 28 – 30 March 2012. Impact Convention Center, Bangkok, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Sripinyowanich, J.** and Noomhorm, A. (2012). Effects of freezing pretreatment, microwave-assisted vibro-fluidized bed drying, and drying temperature on instant rice production and quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, DOI: 10.1111/j.1745-4549.2011.00651.x., available online March 2, 2012.

Assawarachan, R., **Sripinyowanich, J.**, Theppadungporn, K. and Noomhorm, A. (2011). Drying paddy by microwave vibro-fluidized bed drying using single mode applicator. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9 (2), 50-54.

Sopanattayanon, O., **Sripinyowanich, J.**, Assawarachan, R. and Noomhorm, A. (2011). Effects of temperature and thin layer on quality change of coconut residue. In *the 12<sup>th</sup> Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering*, 31 March – 1 April 2011. Cholchan Pattaya Resort, Chonburi, Thailand.

**Sripinyowanich, J.** and Noomhorm, A. (2011). A new model and quality of unfrozen and frozen cooked rice dried in a microwave vibro-fluidized bed dryer. *Drying Technology*, 29 (7), 735-748.

**Sripinyowanich, J.**, Assawarachan, R. and Noomhorm, A. (2010). Microwave vibro-fluidized bed drying in a single mode applicator. In *the National Science and Technology Fair 2010*, 7-22 August 2010. BITEC, Bangkok, Thailand.

**Sripinyowanich, J.** and Noomhorm, A. (2009). Effects of heat moisture treatments using microwaves on properties of rice flour products. In *the 4<sup>th</sup> International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering*, 19-20 January 2009. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

**Sripinyowanich, J.** and Noomhorm, A. (2007). Identification of a non-aromatic rice (Chainat 1) in mixing with an aromatic rice (Khao Dawk Mali 105). In V.M. Salokhe, H.P.W. Jayasuriya and P. Soni (Eds.), *International Agricultural Engineering Conference*, 3-6 December 2007. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

**Sripinyowanich, J.** and Noomhorm, A. (2007). Study on quality of Thai aromatic rice. In *International Workshop on Food Safety and Processing Technology*, 29-30 November 2007. Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sripinyowanich, J. and Noomhorm, A. (2006). Identification of a mixture in a Thai aromatic rice (Khao Dawk Mali 105). In *International Conference on Innovations in Food and Bioprocess Technologies*, 12-14 December 2006. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้