อิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อการอบแห้งข้าวนึ่งและความคงตัวของรำข้าว

Effects of microwave and infrared radiation on drying of parboiled rice and rice bran stability

ทักษพร จันทร์งาม

ธนพนธ์ อุตทะบุตร

ธมลวรรณ จันทร์พร้อย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

อิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อการอบแห้งข้าวนึ่งและความคงตัวของรำข้าว

Effects of microwave and infrared radiation on drying of parboiled rice and rice bran stability

ทักษพร จันทร์งาม

ธนพนธ์ อุตทะบุตร

ธมลวรรณ จันทร์พร้อย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effects of microwave and infrared radiation on drying of parboiled rice and rice bran stability

Taksaporn Channgam
Thanapon Auttabut
Tamonwan Chanproy

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อการอบแห้งข้าวนึ่งและความคงตัวของรำข้าว Effects of microwave and infrared radiation on drying of parboiled rice and rice bran stability
นักศึกษาผู้จัดทำ	ทักษพร จันทร์งาม รหัสนักศึกษา 58010466 ธนพนธ์ อุตทะบุตร รหัสนักศึกษา 58010500 ธมลวรรณ จันทร์พร้อย รหัสนักศึกษา 58010557
ปริญญา	วิศกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
หลักสูตร	วิศวกรรมเกษตร
ภาควิชา	วิศวกรรมเกษตร
ปีการศึกษา	2561

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผศ.ดร. จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ อิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อการอบแห้งข้าวนึ่งและความคงตัวของรำข้าว

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวทักษพร จันทร์งาม 58010466

นายธนพนธ์ อุตทะบุตร 58010500

นางสาวธมลวรรณ จันทร์พร้อย 58010557

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1. ศึกษาเวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวนึ่ง 2. ศึกษาอิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อลักษณะการอบแห้ง การใช้พลังงาน และคุณภาพของข้าวนึ่ง และ 3. ศึกษาอิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่ง จากผลการทดลองพบว่าสำหรับข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เวลาในการนึ่งที่เหมาะสมคือ 30 นาที จากการอบแห้งข้าวนึ่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟ (แบบต่อเนื่องและแบบพัลส์) รังสีอินฟราเรด และลมร้อน พบว่าการอบแห้งแบบไมโครเวฟทำให้ความชื้นในข้าวเปลือกนึ่งลดลงได้รวดเร็วและใช้พลังงานน้อยกว่าการอบแห้งวิธีการอื่น การอบแห้งแบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่องให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากที่สุด 0.1344 g water/g dry matter*min ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด 9.5 นาที และใช้พลังงานจำเพาะต่ำที่สุด 0.10 kWh/kg ขณะที่ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่มากที่สุด 50.41% ได้มาจากการอบแห้งแบบอินฟราเรด ในส่วนของการศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่งที่อบแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ผลว่ารำข้าวจากข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้งแบบอินฟราเรดและลมร้อนมีปริมาณกรดไขมันอิสระค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงเวลาเก็บรักษา 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Effects of microwave and infrared radiation on drying of parboiled rice and rice bran stability		
Authors	Taksaporn	Channgam	58010466
	Thanapon	Auttabut	58010500
	Tamonwan	Chanproy	58010557
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Jiraporn Sripinyowanich Jongyingcharoen		
Year	2018		

Abstract

The objectives of this study were 1. to determine suitable steaming time for producing parboiled rice 2. to investigate effects of microwave and infrared radiation on drying characteristic, energy consumption and quality of parboiled rice and 3. to investigate effects of microwave and infrared radiation on parboiled rice bran stability. The results showed that the suitable steaming time for producing parboiled rice from Khao Dawk Mali 105 paddy was 30 min. Drying of parboiled paddy using microwave (continuous mode and pulse mode), infrared radiation, and hot air were conducted. As compared to the other drying methods, microwave drying could reduce moisture in parboiled paddy more rapidly and consumed less energy. Continuous mode microwave drying gave the greatest maximum drying rate of 0.1344g water/g dry matter*min and required the shortest drying time of 9.5 min and the lowest specific energy of 0.10 kWh/kg. However, the highest head rice yield of 50.41% was obtained by infrared drying. In the study on parboiled rice bran stability, free fatty acids of rice bran from infrared and hot air dried parboiled rice were quite stable for the whole storage period of 21 days.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยมีความอนุเคราะห์ของบุคคลหลาย ๆ ท่านซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกคือ ผศ.ดร. จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ ที่คอยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษามาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขปริญญานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และแสดงความคิดเห็นในการจัดทำปริญญานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมไปถึงภาควิชาวิศวกรรมเกษตรที่ให้การช่วยเหลือด้านอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ และสถานที่ในการทำงานมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนั้น ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์นี้ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำที่ให้กำเนิด อบรมสั่งสอน และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ติชม แนะนำ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวทักษพร จันทร์งาม

นายธนพนธ์ อุตทะบุตร

นางสาวธมลวรรณ จันทร์พร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vii
สารบัญรูป	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ข้าวนึ่ง	6
2.1.1 กระบวนการทำข้าวนึ่ง	6
2.1.2 คุณภาพของข้าวนึ่ง	7
2.2 รำข้าว	7
2.2.1 น้ำมันรำข้าว	8
2.2.2 คุณภาพของน้ำมันรำข้าว	8
2.3 ทฤษฎีการอบแห้ง	8
2.3.1 ความชื้น	9
2.3.2 อัตราส่วนความชื้น	9
2.3.3 อัตราการทำแห้ง	10
2.3.4 ความชื้นสมดุล	11
2.3.5 การวัดความชื้นของอาหาร	11
2.4 ทฤษฎีรังสีอินฟราเรด	12
2.4.1 การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.2 ประโยชน์รังสีอินฟราเรดในการอบแห้ง	14
2.5 ทฤษฎีรังสีไมโครเวฟ	14
2.5.1 การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ	14
2.5.2 ประโยชน์ไมโครเวฟในการอบแห้ง	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง	21
3.1 ตัวอย่างทดลองและวิธีการเตรียมตัวอย่าง	21
3.2 เครื่องอบแห้งสำหรับการทดลอง	21
3.2.1 เครื่องอบแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน	21
3.2.2 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ	23
3.3 กระบวนการทำข้าวนึ่งต้นแบบ	23
3.4 แผนการทดลอง	25
3.4.1 การศึกษาเวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสม	25
3.4.2 การศึกษาอิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อลักษณะการอบแห้ง การใช้พลังงาน และคุณภาพของข้าวนึ่ง	25
3.4.3 การศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่ง	26
3.5 การวิเคราะห์ลักษณะการอบแห้ง	28
3.5.1 ปริมาณความชื้น	28
3.5.2 อัตราส่วนความชื้น	29
3.5.3 อัตราการอบแห้ง	29
3.6 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้	29
3.7 การวิเคราะห์ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด	29
3.8 การวิเคราะห์ปริมาณข้าวท้องขาว	30
3.9 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าว	31
3.9.1 วิธีสกัดน้ำมันรำข้าว	31
3.9.2 วิธีการไตเตรท	33
3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	35
4.1 เวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวนึ่ง	35
4.2 อิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อลักษณะการอบแห้ง พลังงานที่ใช้ และคุณภาพของข้าวนึ่ง	36
4.2.1 ลักษณะการอบแห้ง	36
4.2.2 พลังงานที่ใช้	38
4.2.3 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ	39
4.2.4 ปริมาณข้าวท้องขาวของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ	40
4.3 ศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้งแบบไมโครเวฟ และรังสีอินฟราเรด	41
4.3.1 ปริมาณน้ำมันรำข้าว	41
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษารำข้าว	42
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการศึกษา	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน	5
2.1 ปริมาณข้าวท้องขาว ความเหลืองของข้าว และปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้ง	17
4.1 เวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม และอัตราการอบแห้งแบบสูงสุดในการอบแห้งข้าวเปลือกนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW	36
4.2 ปริมาณน้ำมันรำข้าวจากข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้งแบบต่าง ๆ	42
ก.1 ข้อมูลการทำเส้นโค้งความชื้นของการอบแห้งแบบลมร้อน	47
ก.2 ข้อมูลการทำเส้นโค้งความชื้นของการอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรด	48
ก.3 ข้อมูลการทำเส้นโค้งความชื้นของการอบแห้งไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง	49
ก.4 ข้อมูลการทำเส้นโค้งความชื้นของการอบแห้งไมโครเวฟแบบพัลส์	50
ก.5 ข้อมูลพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ	51
ก.6 ข้อมูลวิเคราะห์ความคงตัวของรำข้าวจากข้าว HA	51
ก.7 ข้อมูลวิเคราะห์ความคงตัวของรำข้าวจากข้าว IR	52
ก.8 ข้อมูลวิเคราะห์ความคงตัวของรำข้าวจากข้าว PMW	53
ก.9 ข้อมูลวิเคราะห์ความคงตัวของรำข้าวจากข้าวปกติ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รำข้าว	7
2.2 กราฟระหว่างอัตราการทำแห้ง (drying rate) และความชื้น	10
2.3 ช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด	13
2.4 โครงสร้างระดับจุลภาคของรำข้าวเมื่ออบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ	16
2.5 คณุสมบัติของเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วย (ข, จ) การอบลมร้อน 45°C และ (ค, ฉ) การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ	16
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับระยะเวลาเก็บรักษารำข้าว	19
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาการเก็บรักษา (a) ข้าวไม่ผ่านกระบวนการ (b) ข้าวได้รับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 384 W และ (c) ข้าวได้รับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 539 W	20
3.1 เครื่องอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน	22
3.2 ภายในห้องอบแห้ง	22
3.3 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ	23
3.4 แผนภาพกระบวนการทำข้าวนึ่ง	24
3.5 แผนการทดลอง	27
3.6 การดูปริมาณข้าวเต็มเมล็ด	30
3.7 ข้าวท้องขาว	30
3.8 Soxhlet apparatus	32
3.9 ชุดสกัดน้ำมันรำข้าว	32
3.10 ชุดไตเตรท	34
4.1 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งจากการนึ่งในเวลาต่าง ๆ	35
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของข้าวเปลือกนึ่งกับเวลาในการอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW	37
4.3 เส้นโค้งการอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกกนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW	37
4.4 เส้นโค้งอัตราการอบแห้งข้าวเปลือกนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW	38
4.5 ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ	40
4.7 ปริมาณข้าวท้องขาวของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ	41
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับระยะเวลาเก็บรักษา	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

"ข้าว"เป็นอาหารพื้นฐานของคนไทย เนื่องจากคนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักเหมือนกับเพื่อนบ้านในแถบอาเซียน และในบรรดาข้าวในกลุ่มประเทศอาเซียนทั้งหมด ปฏิเสธไม่ได้เลยว่าข้าวหอมมะลิของประเทศไทย เป็นข้าวที่ได้รับความนิยมไปทั่วโลกมากที่สุด ด้วยกลิ่นหอมคล้ายใบเตยและรสที่นุ่มนวลนั้นทำให้ข้าวหอมมะลิเข้ากันได้ดีกับอาหารทุกประเภท อีกทั้งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่อุดมด้วยคุณค่าทางสารอาหาร ข้าวที่เห็นทั่วไปมักเป็นข้าวขาวเม็ดเรียวยาว ปัจจุบันมีการพัฒนาข้าวในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้มีมูลค่าที่สูงขึ้น มีประโยชน์สำหรับผู้บริโภคมากขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ข้าวชนิดหนึ่งที่น่าสนใจคือ ข้าวนึ่ง (parboiled rice) เกิดจากการนำข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งได้แก่ การแช่ การนึ่ง และการอบแห้ง หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกที่ผ่านการทำข้าวนึ่งมากะเทาะเปลือกและขัดสี สารอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น วิตามิน เกลือแร่ น้ำตาลรีดิวซ์ รวมทั้งเม็ดสีจากส่วนเปลือกและเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอกสามารถซึมเข้าสู่เนื้อในเมล็ดได้เพิ่มขึ้นการแช่ข้าวนึ่งในน้ำ รำข้าวจะทำการดูดซึมสารอาหารเข้าไปในเมล็ดข้าว จึงเป็นผลให้เมล็ดข้าวนึ่งนั้นมีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน ทำให้ข้าวนึ่งนั้นมีระดับวิตามินบีและวิตามินอีสูงกว่าข้าวธรรมดาประมาณ 1-2 เท่า จึงกล่าวได้ว่าข้าวนึ่งเป็นข้าวมากประโยชน์เปี่ยมด้วยวิตามินบี 1 และวิตามินอี (กนกกาญจน์ ปานจันทร์, 2558)

งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนากระบวนการผลิตข้าวนึ่งเชิงวิศวกรรม โดยมุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนการอบแห้ง จากการค้นคว้าวิจัย พบว่าการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดและไมโครเวฟอาจมีประโยชน์ต่อการพัฒนาขั้นตอนการอบแห้งในกระบวนการผลิตข้าวนึ่งได้ รังสีอินฟราเรดนั้นให้ความร้อนโดยส่งคลื่นรังสีอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วเนื่องจากพลังงานที่ถ่ายเทไปยังวัสดุโดยการแผ่รังสีโดยตรง อาศัยการถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงถี่คลื่นอินฟราเรด เมื่อคลื่นรังสีอินฟราเรดกระทบกับชิ้นวัสดุพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับและกลายเป็นพลังงานความร้อนในวัสดุ (วิรัตน์ ทรงงาม, 2559) และจากงานวิจัยของยุทธนา ฏิระวณิชย์กุลและสุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล (2553) การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบแห้งข้าวนึ่งจากความชื้น 55% db เหลือความชื้น 30% db เพียง 20 นาที แต่หากใช้การอบแห้งด้วยลมร้อน ใช้เวลาถึง 35 นาที การทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีค่าสูงกว่าปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งที่อบแห้งแบบลมร้อนด้วย ในด้านของความเป็นข้าวท้องขาวจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดพบว่ามีค่าต่ำกว่า 1.5% ซึ่งเป็นค่าที่มีความเหมาะสมสำหรับข้าวนึ่งในเชิงพาณิชย์ และจากงานวิจัยของธนากรณ์ อุ่นพินิจและคณะ (2560) พบว่าการอบแห้งโดยวิธีไมโครเวฟจะใช้เวลาในการอบแห้งที่รวดเร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน อีกทั้งการแตกหักของเมล็ดข้าวเปลือกหลังอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีดังกล่าวพบว่ามีค่าต่ำกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน เนื่องจากหลักการอบแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟ เป็นการให้ความร้อนโดยตรง เริ่มจากไมโครเวฟจะถูกส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ จึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลจนเกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้น ในวัสดุ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในตัววัสดุจะได้รับความร้อนและเกิดการระเหยของน้ำในตัววัสดุ ทำให้วัสดุแห้ง

งานวิจัยนี้ยังคาดหวังผลประโยชน์ที่ได้จากการอบแห้งข้าวนึ่งต่อรำข้าวจากข้าวนึ่งด้วย รำข้าวคือส่วนประกอบสำคัญของข้าว โดยสามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันรำข้าวได้ แต่มักพบปัญหากลิ่นหืน เพราะในรำข้าวมีกรดไขมันอิสระสูง จากงานวิจัยของจันทร์สม แก้วอุดร (2546) พบว่าการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมันรำข้าวเกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์เปสในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรเอซิลกลีเซอไรด์ (ไตรกรีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นกลีเซอรอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเอนไซม์ไลเปส) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นผลให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นวันละ 1% หรือมากกว่า หากต้องการชะลอการเกิดกลิ่นหืนจำเป็นต้องมีการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปส โดยการนำรำข้าวมาฉายรังสีไมโครเวฟเป็นเวลา 5 นาที จะสามารถทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสได้ค่อนข้างสมบูรณ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งและคุณภาพข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรด โดยมีวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนเป็นวิธีการเปรียบเทียบ อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งข้าวนึ่งต่อคุณภาพของรำข้าวจากข้าวนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาเวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวนึ่ง

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อลักษณะการอบแห้ง การใช้พลังงานและคุณภาพของข้าวนึ่ง

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาลักษณะการอบแห้ง พลังงานที่ใช้ และคุณภาพของข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแบบไมโครเวฟเพื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบอินฟราเรดโดยใช้กำลังไฟฟ้า 800 W และการอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 100°C ความเร็วลม 1 m/s โดยวิธีอบแห้งแบบไมโครเวฟ แบ่งเป็นแบบ 1) PMW เปิด-ปิดในขณะอบแห้ง รอบละ 30 วินาที ใช้ความร้อน 800 W และ 2) CMW จะทำการอบแห้งอย่างต่อเนื่องใช้กำลังไฟฟ้า 800 W

1.3.2 ศึกษากลิ่นหืนของน้ำมันรำข้าวจากข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรด

1.3.3 ใช้ข้าวตัวอย่างเป็นข้าวหอมมะลิ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวนึ่ง

1.4.2 ลักษณะการอบแห้งแบบไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดดีกว่าแบบลมร้อน ข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดมีความเต็มเมล็ดและมีปริมาณข้าวท้องขาวที่ลดลง ค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งจากไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน

1.4.3 รำข้าวจากข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดมีความคงตัว ไม่เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน

1.5.1 ค้นคว้าข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการอบแห้งแบบไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดของข้าวนึ่ง

1.5.2 ทดลองพื้นฐานในการทำข้าวนึ่ง การอบแห้งข้าวนึ่ง และการสีข้าว

1.5.3 ศึกษาลักษณะการอบแห้งของข้าวนึ่งในระบบการอบแห้งแบบไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด และลมร้อน และพลังงานที่ใช้ในระหว่างกระบวนการ

1.5.4 วิเคราะห์คุณภาพของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด และลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.5 ศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งข้าวนึ่งแบบไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด และลมร้อนที่มีต่อความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่ง

1.5.6 สรุปผลและเขียนรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2561 (สัปดาห์)																				พ.ศ. 2562 (สัปดาห์)							
	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.ค้นคว้าข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการอบแห้งแบบไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดของข้าวนึ่ง																												
2.ทดลองพื้นฐานในการทำข้าวนึ่ง การอบแห้งข้าวนึ่ง และการสีข้าว																												
3.ศึกษาลักษณะการอบแห้งของข้าวนึ่งในระบบการอบแห้งแบบไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด และลมร้อน และพลังงานที่ใช้ในระหว่างกระบวนการ																												
4.วิเคราะห์คุณภาพของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด และลมร้อน																												
5.ศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งข้าวนึ่งแบบไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด และลมร้อนที่มีต่อความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่ง																												
6.สรุปผลและเขียนรายงาน																												

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวนึ่ง

ข้าวนึ่ง (parboiled rice) คือผลิตภัณฑ์จากข้าว ที่ผ่านกระบวนการนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำร้อน จากนั้นนำไปนึ่ง นำมาทำให้แห้งด้วยการตากหรืออบ แล้วจึงนำไปสีเอาเปลือกออก จะทำให้ข้าวที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการทางอาหารมากขึ้น เพราะสารอาหารในเปลือกข้าวซึมเข้าเนื้อข้าวในขั้นตอนการแช่แล้ว และเมื่อนำมานึ่งในขณะที่ยังมีเปลือกเนื้อข้าวจะรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้หลังจากการสีจะได้ข้าวที่เต็มเมล็ด อัตราการหักน้อยกว่าปรกติ ข้อดีของข้าวนึ่งหากนำไปหุงเพื่อรับประทาน คือ จะได้ข้าวที่มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นน้อยมาก เมล็ดจะใส แกร่ง ไม่มีท้องขาว และร่วนไม่ติดกัน นอกจากนี้ยังย่อยง่ายกว่าข้าวธรรมดาเพราะแป้งที่สุกไปแล้วครึ่งหนึ่งและสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าข้าวธรรมดาด้วย

2.1.1 กระบวนการทำข้าวนึ่ง

การทำข้าวนึ่งทำได้ทั้งระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม มีกระบวนการสำคัญ 3 กระบวนการที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวนึ่ง ดังนี้

(1) การแช่ (soaking หรือ steeping) จะทำให้น้ำซึมผ่านเปลือกเข้าสู่เมล็ดสตาร์ช (starch granule) พร้อมกับแร่ธาตุและสารอาหาร เช่น น้ำตาลอิสระและกรดอะมิโน การแช่ในอุณหภูมิสูงจะทำให้ใช้เวลาแช่น้อยลง เนื่องจากช่วยเร่งอัตราการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าว แต่น้ำแช่ต้องมีอุณหภูมิน้อยกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชั่นของเมล็ดสตาร์ช เพื่อป้องกันไม่ให้สารอาหารในเมล็ดสตาร์ชละลายไปกับน้ำ อุณหภูมิที่ใช้ทั่วไปจะอยู่ที่ 60 - 70°C แช่ไว้ประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง และต้องมีการหมุนเวียนการแช่อยู่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิกระจายไปทั่วทุกพื้นที่ จะทำให้ข้าวไม่เกิดสีและกลิ่นที่ไม่ต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยเร่งให้ข้าวมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 - 40 ได้เร็ว ซึ่งเป็นความชื้นที่ทำให้เมล็ดข้าวสามารถเจลาติไนซ์ได้สมบูรณ์ขณะที่ทำการนึ่ง

(2) การนึ่ง (streaming) เพื่อให้สตาร์ชได้เจลาติไนซ์ด้วยไอน้ำร้อน เมล็ดสตาร์ชจะขยายตัว สังเกตจากด้านนอกเปลือกจะปริออกเล็กน้อย การนึ่งนั้นยังช่วยเพิ่มสารอาหารในสตาร์ชด้วย เนื่องจากสารอาหารที่ละลายน้ำได้เช่น วิตามิน เกลือแร่ และน้ำตาลรีดิวซ์ จะซึมเข้าสู่เนื้อเมล็ดได้เพิ่มขึ้น

(3) การทำแห้ง (drying) โดยการทำไปตากแดดหรือเข้าเครื่องอบแห้งเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือกให้เหลือร้อยละ 12 - 14 ซึ่งเก็บรักษาได้นานและได้ข้าวเต็มเมล็ดหลังสีมากที่สุด โดยคุณภาพข้าวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

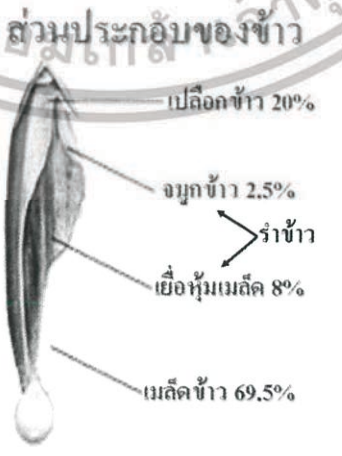
ได้นั้นขึ้นอยู่กับเทคนิคการทำให้แห้ง เพราะหากทำให้แห้งเกินไปเมื่อนำไปหุงสุก เมล็ดข้าวอาจจะแตกหักมาก และเกิดการรีโทรเกรชันของข้าวนึ่งได้

2.1.2 คุณภาพของข้าวนึ่ง

แม้คนไทยจะไม่นิยมบริโภคข้าวนึ่ง แต่เนื่องจากข้าวนึ่งเป็นข้าวแปรรูปที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีวิตามินบีและอีสูงกว่าข้าวธรรมดาพันธุ์เดียวกัน มีอัตราการหักน้อยเมื่อนำมาสี เก็บรักษาได้นาน มีเนื้อสัมผัสแข็งแต่ย่อยง่าย และหุงขึ้นหม้อ มีกลิ่นและรสชาติที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคที่คุ้นเคยกับข้าวธรรมดาเล็กน้อย แต่เป็นที่ต้องการของกลุ่มประเทศแอฟริกา เช่น ไนจีเรีย แอฟริกาใต้ หรือแม้กระทั่งซาอุดิอาระเบีย เป็นต้น โดยสัดส่วนมูลค่าการส่งออกข้าวนึ่งของไทยเป็นร้อยละ 20 ของข้าวทั้งหมด

2.2 รำข้าว

รำข้าว (rice bran) เป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการสีข้าว ซึ่งกระบวนการสีข้าวโดยปกติจะได้เมล็ดข้าว 65.5% เปลือกข้าว 20% จมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว หรือที่เรียกว่ารำข้าวอีกประมาณ 10.5% ดังรูปที่ 2.1 รำข้าวนั้นมีคุณค่าทางอาหารมากมาย เช่น โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เถ้า และแร่ธาตุ เป็นต้น โดยทั่วไปรำข้าวจะมีราคาถูกมาก ในระดับครัวเรือนนิยมนำไปเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ปัจจุบันมีการนำรำข้าวไปสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว เป็นการสกัดเอาสารอาหารที่อยู่ในรำข้าวออกมาอยู่ในรูปของเหลวที่เข้มข้น จัดเป็นน้ำมันบริโภคที่คุณค่าทางอาหารสูงประกอบด้วยวิตามินอี กรดไขมันไม่อิ่มตัว 77% และกรดไขมันที่จำเป็น 31% ด้วยกรรมวิธีนี้จะทำให้น้ำมันรำข้าวมีราคาสูงกว่ารำข้าวปรกติอย่างมาก



รูปที่ 2.1 รำข้าว

ที่มา: http://archive.mfu.ac.th/school/agro2012/events/298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 น้ำมันรำข้าว

น้ำมันรำข้าว (rice bran oil) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดรำข้าวดิบ จึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง นอกจากนี้ยังมีสารอาหารมากมายที่อยู่ในน้ำมันรำข้าว ซึ่งสามารถนำไปผลิตภัณฑ์บำรุงร่างกายและเสริมความงามได้ โดยคุณภาพของน้ำมันรำข้าวนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดแล้วยังขึ้นอยู่กับขั้นตอนการสีด้วย กระบวนการสกัดนั้นจะมีอยู่ 2 วิธีคือการสกัดแบบร้อนและเย็น โดยการสกัดร้อนนั้นจะใช้ความร้อนในการสกัดและมีตัวทำละลายที่เป็นสารออแกนิค เช่น เฮกเซน แต่กระบวนการนี้จะทำให้สารอาหารบางชนิดถูกทำลายด้วยความร้อนทำให้การสกัดแบบนี้ได้น้ำมันรำข้าวที่มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้งยังใช้สารเฮกเซนซึ่งเป็นสารอันตรายตกค้างในกระบวนการด้วยถึงแม้ขั้นตอนสุดท้ายจะกำจัดเฮกเซนออกให้ได้ตามมาตรฐาน อย. แต่ในน้ำมันก็ยังคงมีเฮกเซนหลงเหลืออยู่ถึงจะน้อยมากก็ไม่ควรที่จะมีสะสมอยู่ในร่างกาย ส่วนการสกัดเย็นเป็นการนำรำข้าวที่สดใหม่มาบีบที่อุณหภูมิปรกติด้วยเครื่องบีบน้ำมันโดยตรง ไม่ผ่านสารเคมีใด ๆ ทำให้ได้น้ำมันรำข้าวที่มีคุณภาพ สารอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุอยู่ครบถ้วน แต่วิธีนี้จะยากกว่าและผลิตน้ำมันได้น้อยกว่าเมื่อใช้รำข้าวในปริมาณเท่ากับวิธีแรก

2.2.2 คุณภาพของน้ำมันรำข้าว

โดยทั่วไปข้าวขาวที่รับประทานนั้นจะให้เพียงแค่พลังงานแก่ร่างกายเป็นส่วนใหญ่ สารอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ จะอยู่ในรำข้าวทั้งหมด ซึ่งในปัจจุบันรำข้าวถูกนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำมันรำข้าวที่มีคุณค่าและประโยชน์มากมายทั้งด้านเสริมสร้างสุขภาพและความงาม เช่น น้ำมันรำข้าวมีสรรพคุณในการช่วยป้องกันโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดเพราะมีสารแกรมม่าออริซานอลที่สามารถลดคอลเลสเตอรอลในหลอดเลือดได้ มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระมากมายที่สามารถป้องกันมะเร็งได้เป็นอย่างดี มีคุณสมบัติช่วยบำรุงประสาทและสมอง สายตา อีกทั้งยังช่วยชะลอความแก่ เพราะมีวิตามินอีและบีมากมายช่วยให้ผิวกระจ่างใสมีความชุ่มชื้นอยู่ตลอดด้วย

2.3 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งอบแห้ง คือ การถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุที่มีความชื้น เพื่อกำจัดน้ำออกจากวัตถุโดยการระเหยเป็นกระบวนการที่ลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, a_w) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารได้ เพราะปริมาณน้ำในผลผลิตการเกษตรส่วนมากจะอยู่ในรูปของน้ำอิสระ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ และเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ความชื้น (moisture content, MC)

ความชื้น คือ ปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมด ซึ่งก็คือน้ำในอาหารหรือวัสดุ มีอยู่ 3 รูปได้แก่ น้ำเกาะติด (Bound Water), น้ำดูดซับ (Adsorbed Water) และน้ำอิสระ (Free Water) น้ำที่สูญเสียไปจากการให้ความร้อนจะเป็นปริมาณน้ำอิสระ ในขณะที่น้ำเกาะติดและน้ำดูดซับจะเกาะติดกับโมเลกุลของอาหารซึ่งยากที่จะแยกออกจากอาหาร ปริมาณความชื้นของอาหารนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบ คือ

(1) ความชื้นฐานเปียก (wet basis)

เป็นค่าที่นิยมใช้ในทางการค้า สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$MC\ (\%wb) = \frac{(W_w - W_d)}{W_w} \times 100$$

(2) ความชื้นฐานแห้ง (dry basis)

เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารคงที่ อาจบอกเป็นจำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g_{H2O}/g_{solid}) หรือเปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$MC\ (\%db) = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \times 100$$

เมื่อ MC คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกหรือแห้ง (%wb, %db)

W_w คือ มวลวัสดุเริ่มต้น (g)

W_d คือ มวลวัสดุแห้ง (g)

2.3.2 อัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR)

อัตราส่วนความชื้น คือ ปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่ภายในวัสดุที่กำลังอบแห้ง เทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ภายในวัสดุ ซึ่งสามารถระเหยได้ภายใต้สภาวะการอบแห้งหนึ่ง ๆ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ

M_0 คือ ความชื้นที่เวลาเริ่มต้น

M_e คือ ค่าความชื้นสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

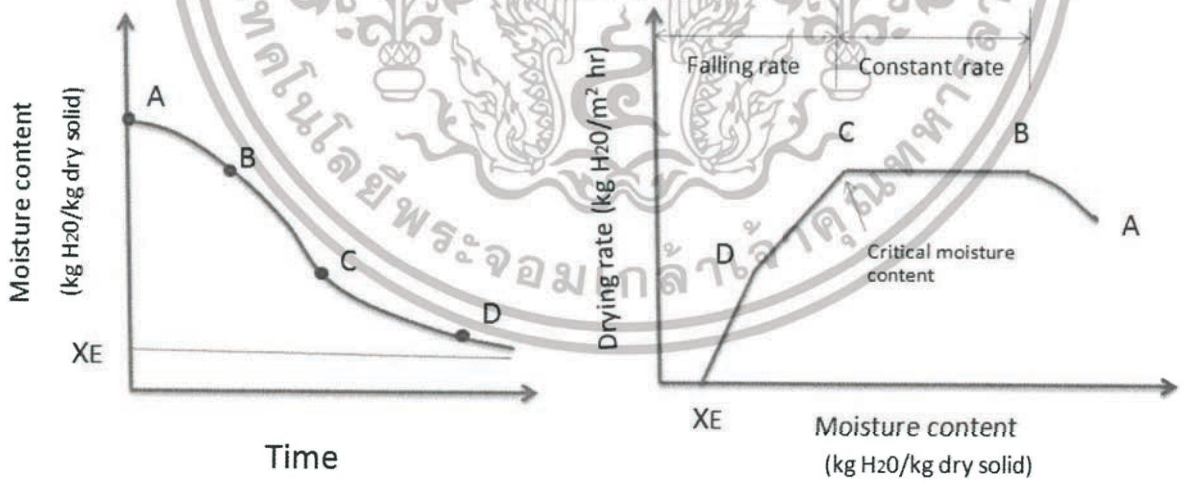
2.3.3 อัตราการทำแห้ง (drying rate, DR)

อัตราการทำแห้ง คือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลาระหว่างการทำแห้ง โดยปกติอัตราการทำแห้งของวัสดุจะไม่คงที่ จะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาดังรูปที่ 2.2 แบ่งได้เป็น 3 ช่วงหลัก ๆ ได้แก่

(1) ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period - AB) เมื่อวัสดุเริ่มสัมผัสลมร้อน ความชื้นเริ่มต้น (A) ยังสูงอยู่ ผิวของวัสดุยังเปียกมาก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนที่ได้รับจะถูกนำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ

(2) ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant rate period - BC) เมื่อวัสดุมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิลมร้อนแล้ว ความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุต่อเนื่อง น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าวัสดุ และระเหยออกไปในปริมาณที่คงที่ จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)

(3) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในวัสดุเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าไม่ทัน ผิวหน้าของวัสดุเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุสูงขึ้นเรื่อย ๆ อัตราการอบแห้งจะลดลงความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)



รูปที่ 2.2 กราฟระหว่างอัตราการทำแห้ง (drying rate) และความชื้น
ที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)

เป็นปริมาณความชื้นของวัสดุที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ที่สภาวะนี้วัสดุจะไม่มีการดูดและคายความชื้นจากอากาศรอบ ๆ มีค่าความชื้นคงที่ ภาวะสมดุลจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ถ้าต้องการให้ความชื้นลดลงจากนี้ต้องเปลี่ยนสภาวะการอบ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุ เช่น ลดขนาด

2.3.5 การวัดความชื้นของอาหาร

น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดจะมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้าง หรือโมเลกุลของสารอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบและความแข็งแรงที่แตกต่างกันไป ดังนั้นเทคนิคที่จะนำมาใช้ในการหาความชื้นของอาหารแต่ละชนิดก็แตกต่างกันไปด้วย ต้องเลือกวิธีให้เหมาะสมกับอาหาร ทั้งในด้านความยากง่าย ความซับซ้อนของอุปกรณ์ และความถูกต้องแม่นยำของค่าที่ได้

(1) การวัดความชื้นโดยตรง (direct method) เป็นการวัดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหารโดยตรง สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแยกเอาน้ำออกด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกไป หรือการใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นต้น วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดที่ทำลายตัวอย่าง แต่ละวิธีจะมีความถูกต้องแตกต่างกัน วิธีที่มีการยอมรับกันทั่วไปว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูงจะนิยมใช้เป็นค่าความชื้นมาตรฐานเพื่อใช้ปรับเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ก่อนนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์

ก. Karl fischer method การทำปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction) เป็นวิธีวัดปริมาณน้ำ โดยการไทเทรตตัวอย่างที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบด้วยสารละลายไอโอดีนในเมทานอล ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) และไพริดีน (pyridine) โดยไอโอดีนจะทำปฏิกิริยากับน้ำ เมื่อน้ำทำปฏิกิริยาจนหมด การไตเตรทสิ้นสุด วัดปริมาตรของไอโอดีนที่ใช้ในการไตเตรท

ข. การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการอบแห้ง

ค. การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการกลั่น (distillation) นำตัวอย่างเมล็ดพืชที่บดเป็นแป้งผสมกับตัวทำละลายโทลูอีน (toluene) แล้วนำไปต้ม น้ำจะระเหยออกมาและควบแน่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งวัดเป็นปริมาตรและน้ำหนักได้

ง. การใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ (infrared and microwave radiation) เป็นการใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ เพื่อระเหยน้ำในแป้งที่ได้จากการบดตัวอย่างเมล็ดพืช วิธีวัดความชื้นเหล่านี้มีจุดเด่นที่ให้ผลการวัดถูกต้อง แต่จุดด้อยสำคัญคือ อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง การใช้งานต้องเตรียมอุปกรณ์หลายชิ้น และการวัดแต่ละครั้งใช้เวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การวัดโดยอ้อม (indirect methods) เป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดความชื้นโดยทางอ้อมมีจุดเด่นตรงรู้ผลเร็ว สะดวก และทำได้บ่อย จุดด้อยคือ ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าโดยประมาณการ การวัดโดยอ้อมวัดได้หลายวิธีเช่นกันคือ

ก. การวัดความต้านทานไฟฟ้า (resistance) อุปกรณ์วัดความต้านทานไฟฟ้าของเมล็ดพืช ทำได้โดยบรรจุเมล็ดพืชตัวอย่างลงช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในภาชนะปิดแน่น ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรเป็นค่าปริมาณความชื้น

ข. ความจุไฟฟ้า (capacitance) ตัวอย่างจะถูกบรรจุในภาชนะปิด โดยผนังภาชนะทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงออกมา การวัดวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ตารางคาลิเบรชัน (calibration) ประกอบด้วยค่าความชื้นที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการวัดจากค่าความต้านทานไฟฟ้า

ค. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) เป็นวิธีหาค่าความชื้นในเมล็ดพืชจากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ด เนื่องจากปริมาณความชื้นในเมล็ดจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ดเปลี่ยนแปลง ซึ่งความถูกต้องของค่าความชื้นที่วัดได้จากวิธีนี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของความชื้น ดังนั้นการวัดด้วยวิธีนี้ต้องรอเวลานานประมาณ 1 - 2 ชั่วโมงเพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศต่าง ๆ เกิดสมดุลก่อนวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2561)

2.4 ทฤษฎีรังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด หรือรังสีความร้อน (Infrared Radiation, IR) บางครั้งอาจจะเรียกว่ารังสีใต้แดง เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1800 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ Sir William Herschel รังสีอินฟราเรด มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 1 - 1000 ไมโครเมตร หรือในช่วงความถี่ 1011 – 1014 Hz ดังรูปที่ 2.3 สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -200°C ถึง 4000°C จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมาจากตัวมันเองเสมอ เป็นคลื่นความร้อนที่มนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ คุณสมบัติของรังสีอินฟราเรดขึ้นอยู่กับความถี่ นั่นคือยิ่งความถี่สูงมากขึ้น พลังงานก็สูงขึ้นด้วย ซึ่งความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด มีการแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

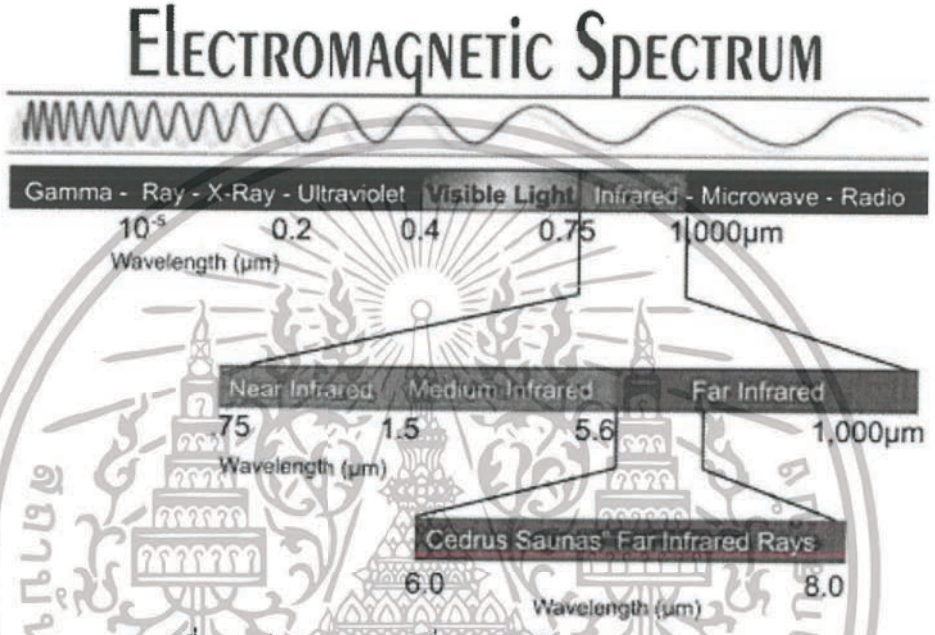
(1) รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infra-red หรือ NIR) จะมีความยาวคลื่นประมาณ 0.7 ไมโครเมตร จนถึง 1.5 ไมโครเมตร ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่สูง สามารถให้ความร้อนได้สูง ความร้อนผ่านเข้าในเนื้อวัสดุได้ลึกและรวดเร็ว

(2) รังสีอินฟราเรดย่านกลาง (Middle Infra-red หรือ mid-IR) จะมีความยาวคลื่นประมาณ 1.5 ไมโครเมตรจนถึง 5.6 ไมโครเมตร ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกปาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางระหว่างรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นและคลื่นยาว เหมาะกับการให้ความร้อนเช่น การอบแห้งในการสีผ้า การอบแห้งในการผลิตกระดาษ

(3) รังสีอินฟราเรดย่านไกล (Far Infra-red หรือ FIR) จะมีความยาวคลื่นประมาณ 5.6 ไมโครเมตรขึ้นไป ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ต่ำ ความร้อนผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ไม่ลึก เหมาะสำหรับใช้งานประเภทที่ต้องการความร้อนต่ำและจำกัดบริเวณพื้นผิว



รูปที่ 2.3 ช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด

ที่มา: http://thermoscanthailand.blogspot.com/2013/12/blog-post_9156.html

2.4.1 การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด

การให้ความร้อนโดยคลื่นรังสีอินฟราเรดเป็นการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วเนื่องจากพลังงานจะถ่ายเทไปยังวัสดุโดยการแผ่รังสีโดยตรง หลักการทำงานจะอาศัยการถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงถี่คลื่นอินฟราเรด เมื่อคลื่นรังสีอินฟราเรดกระทบกับชิ้นวัสดุพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับและกลายเป็นพลังงานความร้อนในวัสดุ ซึ่งการดูดซับได้มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัสดุ ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ มุมการตกกระทบ และสีของวัสดุ ถ้าหากวัสดุมีลักษณะผิวมันวาวสะท้อนแสง จะทำให้รังสีส่วนใหญ่ถูกสะท้อนออกและทำให้ประสิทธิภาพการให้ความร้อนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประโยชน์รังสีอินฟราเรดในการอบแห้ง

เนื่องจากการให้ความร้อนแก่วัสดุทางการเกษตรเหมาะที่จะใช้ช่วงความยาวของคลื่นในลักษณะคลื่นยาวเพราะให้ความร้อนต่อพื้นที่ต่ำและสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ดี เหมาะกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากและจำกัดบริเวณผิวหรือสารเคลือบวัสดุ จึงนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการอบแห้งอาหารต่าง ๆ เช่น เมล็ดพันธุ์พืช ผลิตภัณฑ์ผัก และผลไม้ รวมถึงเนื้อสัตว์ ซึ่งข้อดีของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดก็คือ ระบบให้ความร้อนควบคุมได้ง่าย มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพลังงานบางชนิด ทั้งระบบน้ำหนักเบา ใช้พื้นที่ของอุปกรณ์น้อย ติดตั้งง่าย และสามารถใช้ร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบทั่วไปได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแห้งสม่ำเสมอ และมีความสะอาด เป็นต้น แต่ถึงอย่างนั้นการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดก็มีข้อจำกัดในการใช้คือไม่เหมาะสมกับวัสดุที่มีความหนามาก ๆ

2.5 ทฤษฎีไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ (microwave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่น 1 mm – 10 cm และความถี่อยู่ระหว่าง 0.3 GHz – 300 GHz ความถี่สูงชนิดที่สายตาไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะเท่านั้น ซึ่งคลื่นไมโครเวฟมีคุณสมบัติ ดังนี้

(1) การสะท้อนกลับ (Reflection) โดยคลื่นไมโครเวฟ จะไม่สามารถวิ่งทะลุผ่านโลหะได้ ดังนั้นเมื่อคลื่นวิ่งไปกระทบกับวัสดุจำพวกโลหะ มันจะสะท้อนกลับมาทั้งหมด

(2) การส่งผ่าน (Tranmission) หากคลื่นไมโครเวฟตกกระทบกับวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ คลื่นจะสามารถทะลุผ่านไปได้

(3) การดูดซับ (Adsorption) เมื่อคลื่นไมโครเวฟวิ่งกระทบกับวัสดุที่มีน้ำหรือความชื้นภายในโมเลกุลของน้ำจะดูดซับพลังงานคลื่นและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทั้งนี้คลื่นไมโครเวฟเมื่อถูกดูดซับจะสลายตัวทันที ไม่มีการตกค้าง

2.5.1 การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ

ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัววัสดุนั้น ไม่ได้เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ แต่เกิดจากการที่วัสดุดูดซับคลื่นไมโครเวฟแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน น้ำที่อยู่ในอาหารซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้ว จะเกิดปฏิสัมพันธ์กับคลื่นไมโครเวฟ (interaction) โดยเมื่อน้ำอยู่ในสนามไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟ จะจัดรียงตัวใหม่ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟ แต่เนื่องจากทิศทางของขั้วสนามไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนสลับไปมาหลายล้านๆ ครั้งต่อวินาที จึงเกิดการจัดเรียงตัวโมเลกุลของน้ำสลับไปมาด้วย ทำให้เกิดพลังงานจลน์สูงและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด ดังนั้นอัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจึงเป็นส่วนสำคัญต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น

2.5.2 ประโยชน์ไมโครเวฟในการอบแห้ง

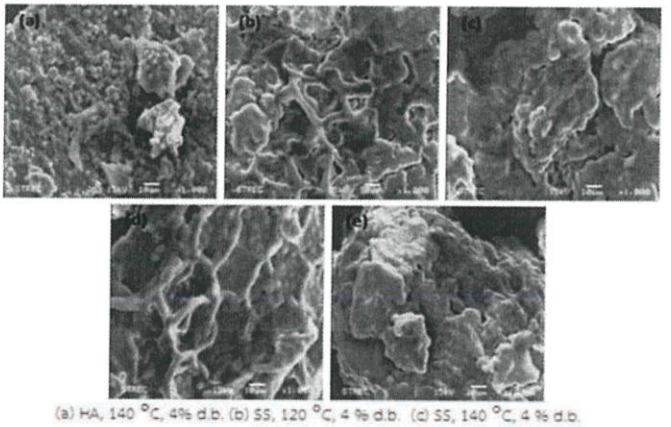
การทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟในอุตสาหกรรม อาจใช้ไมโครเวฟที่มีทั้งระบบธรรมดา และระบบสุญญากาศ โดยนำไปช่วยเสริมในระบบการทำแห้งแบบต่าง ๆ ใช้คลื่นความถี่ในช่วง 915 – 2450 MHz โดยเป็นแหล่งกระตุ้นให้เกิดความร้อนภายในอาหารหรือวัสดุ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นเร็วหรือช้าจะขึ้นกับปริมาณความชื้น รูปร่าง ปริมาตร และมวลของวัสดุนั้น ซึ่งรังสีไมโครเวฟจะเกิดความร้อนและทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะโมเลกุลของน้ำเกิดการสั่น อีกทั้งยังสามารถป้องกันการให้ความร้อนมากเกินไปในระหว่างการอบแห้งด้วยวิธีการปรับอัตราเร็วของคลื่นไมโครเวฟลดลงได้ ปัจจุบันการอบด้วยรังสีไมโครเวฟเป็นที่นิยมอย่างมาก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การอบแห้งรำข้าวแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งเปรียบเทียบกับแบบอากาศร้อน

ชลิดา เนียมนุ้ยและคณะ (2560) ได้ศึกษาการอบแห้งรำข้าวแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งเปรียบเทียบกับแบบอากาศร้อนในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของรำข้าว ดังรูปที่ 2.4 เป็นโครงสร้างของรำข้าวระดับจุลภาค ซึ่งทำการศึกษาผลของเทคนิคและอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้งและความคงตัวของรำข้าว การเปลี่ยนแปลงคุณภาพรำข้าวระหว่างการเก็บรักษา วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของรำข้าว วิเคราะห์กิจกรรมของเอมไซม์ไลเปสและปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยทำการอบแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 4% และ 6% จากผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมในการทำรำข้าวให้คงตัว คือ การอบด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 140°C และความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 4% เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิอื่น ๆ การอบแห้งด้วยอากาศร้อนและที่ความชื้นสุดท้ายของรำข้าวเท่ากับ 6% พบว่า ณ อุณหภูมิและความชื้นสุดท้ายนี้มีอัตราการอบแห้งสูงกว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงสีสูงกว่า และมีกิจกรรมเอมไซม์ไลเปสต่ำกว่าด้วย ดังนั้นจึงน่าจะเป็นสภาวะที่รำข้าวคงตัวได้ดี สามารถยับยั้งการทำงานของเอมไซม์ไลเปสเพื่อลดการเกิดกรดไขมันอิสระในรำข้าวก่อนเข้ากระบวนการสกัดเป็นน้ำมันรำข้าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) HA, 140 °C, 4% d.b. (b) SS, 120 °C, 4 % d.b. (c) SS, 140 °C, 4 % d.b.

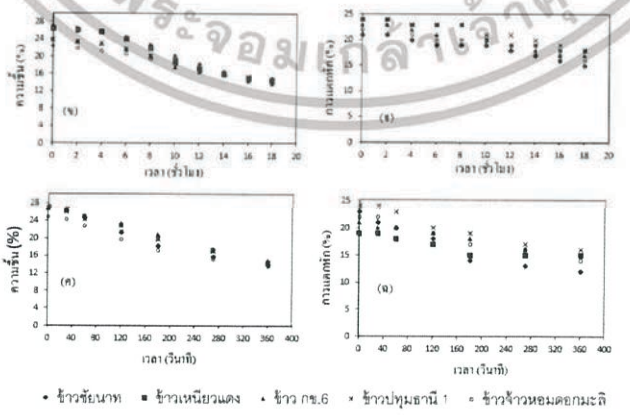
(d) SS, 160°C, 4 % (e) SS, 140 °C, 6% d.b

รูปที่ 2.4 โครงสร้างระดับจุลภาคของรำข้าวเมื่ออบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

ที่มา: ชลิดา เนียมนุ้ยและคณะ (2560)

2.6.2 การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบอัตโนมัติ

ธนากรณ์ อุ่นพินิจและคณะ (2560) ได้ศึกษาการลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่าง ๆ ด้วยวิธีการแบบอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ การอบด้วยลมร้อน และการผึ่งแดดปกติ โดยได้สร้างโดยโปรแกรมการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบอัตโนมัติด้วยคลื่นไมโครเวฟมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในการอบเท่ากันที่ 240 W โดยการเปิดคลื่น 3 วินาที และปิด 7 วินาที ซึ่งจากการทดลองพบว่าวิธีการดังกล่าวเหมาะสมที่สุด ในแต่ละรอบจะทำให้ความชื้น การแตกหัก ปริมาณกรดไขมันอิสระ โปรตีน สารให้กลิ่นหอม 2AP ของเมล็ดข้าวลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณวิตามิน B1 และอะไมโลส จะลดลงเช่นกัน และเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นสั้นกว่าและข้าวมีคุณภาพที่ดีกว่าดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วย (ข, จ) การอบลมร้อน 45°C และ (ค, ฉ) การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ที่มา: ธนากรณ์ อุ่นพินิจและคณะ (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 เครื่องทำความร้อนอินฟราเรดในการอบแห้งอาหาร

Muhmmed et al. (2014) ได้ศึกษาวิเคราะห์ลักษณะการอบแห้งอาหารด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งพบว่ามีข้อดีหลายอย่างมากกว่าการอบแห้งอาหารด้วยวิธีอื่น คือ ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่า มีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่า และปัจจัยหลักคือประหยัดพลังงานมากขึ้นด้วย การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับการอบแห้งชนิดอื่น ๆ ได้ง่าย เช่น ลมร้อน การสั่น และสุญญากาศ ปัจจุบันการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย

2.6.4 การเปรียบเทียบการอบแห้งแบบลมร้อนและการอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดของข้าวนึ่งในด้านจลน์ศาสตร์การอบแห้งข้าวนึ่งและคุณภาพของข้าวนึ่ง

สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุลและคณะ (2555) ศึกษาวิเคราะห์ผลของการอบแห้งโดยใช้การอบแห้งที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ประกอบด้วยการอบแห้งลมร้อน (HA), การอบแห้งแบบอินฟราเรด (IR) และแบบการอบแห้งลมร้อนร่วมกับอินฟราเรด (HA + IR) เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวนึ่งและทำการประเมินคุณภาพของข้าวนึ่งหลังผ่านการอบแห้งดังรูปที่ 2.6 โดยผลการทดลองถูกจำลองโดยใช้สมดุลความชื้นและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้หาสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในข้าวนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามกฎของการถ่ายโอนมวลโดยการแพร่ของโมเลกุล เพราะน้ำในข้าวนึ่งจะมีการระเหยออกระหว่างการอบแห้ง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณข้าวท้องขาว ความเหลืองของข้าว และปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้ง

Drying method	Drying temperature (C)	Drying time (min)	Drying rate (kg/h)	Whiteness	Yellowness CIE Lab *b* value	HRY (%)
Reference rice		-	-	54.7[a]	12.3[d]	50.0[e]
Control rice		-	-	24.8[b]	18.7[b]	63.6[d]
HA	61.1	87	0.07	22.4[c]	18.2[c]	69.8[b]
	78.6	54	0.11	19.6[d]	18.8[b]	69.6[b]
	100	39	0.16	19.9[d]	19.8[a]	70.5[a]
IR 1000 W	61.3	54	0.11	19.6[c]	19.2[a]	69.2[b]
	80.9	30	0.21	18.6[d]	19.6[a]	63.7[d]
	95.8	24	0.26	17.8[e]	19.2[a]	66.7[c]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Drying method	Drying temperature (C)	Drying time (min)	Drying rate (kg/h)	Whiteness	Yellowness CIE Lab *b* value	HRY (%)
IR 1500 W	62.9	43	0.12	21.3^{c}	18.9^{b}	67.5^{c}
	78.4	27	0.24	19.0^{d}	18.8^{b}	67.3^{c}
	96.8	18	0.30	17.7^{e}	19.5^{a}	67.2^{c}
HA+IR 1000 W	61.3	54	0.11	23.2^{c}	18.5^{b}	68.6^{c}
	84.3	39	0.21	20.5^{d}	19.1^{a}	70.4^{a}
	99.7	24	0.26	19.4^{e}	19.2^{a}	70.6^{a}
HA+IR 1500 W	60.0	48	0.15	23.3^{c}	18.7^{b}	70.6^{a}
	78.1	27	0.24	21.2^{d}	18.8^{a}	67.0^{c}
	98.8	21	0.35	20.0^{e}	19.0^{a}	70.0^{a}

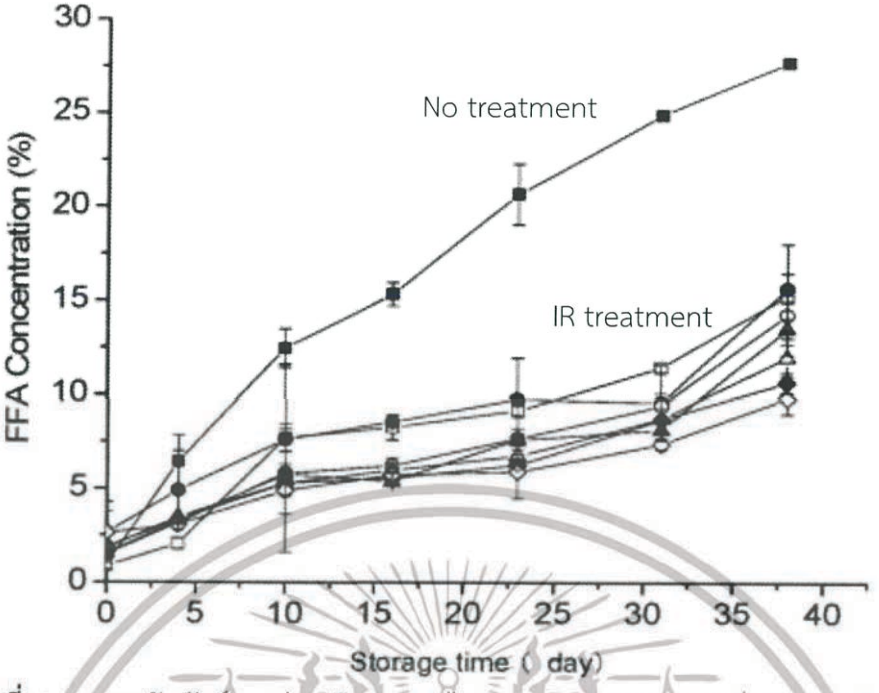
Note: Control rice is parboiled rice which was dried in ambient air; reference rice is raw rice which was not parboiled rice. In a column, means with common superscript letter(s) are not significantly different at $P < 0.05$ level based on analysis of variance test. HA, hot air; HRY, head rice yield; IR, infrared-radiation.

ที่มา: สุภาวรรณ ฏิระวณิชย์กุลและคณะ (2555)

2.6.5 การทดลองอบแห้งข้าวเปลือกและศึกษาการคงตัวของรำข้าวโดยใช้การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด

Wang et al. (2017) ได้พัฒนาวิธีการอบแห้งข้าวเปลือกและศึกษาความคงตัวของรำข้าวโดยการให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรด พบว่ามีอัตราการให้ความร้อนและการอบแห้งสูง คุณภาพการสีข้าวเปลือกที่ดีใช้เวลาเพียง 55 วินาทีเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวอย่างข้าวถึง 60°C การให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรด ไม่ได้ส่งผลเสียต่อคุณภาพการสีข้าวเปลือก ที่สำคัญสามารถเก็บรักษารำข้าวเพิ่มขึ้นเป็น 38 วัน เมื่อเทียบกับรำข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ จะมีอายุการเก็บรักษารำข้าวเพียง 7 วัน ตามรูปที่ 2.6 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระในรำข้าวที่เพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษารำข้าวไว้นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



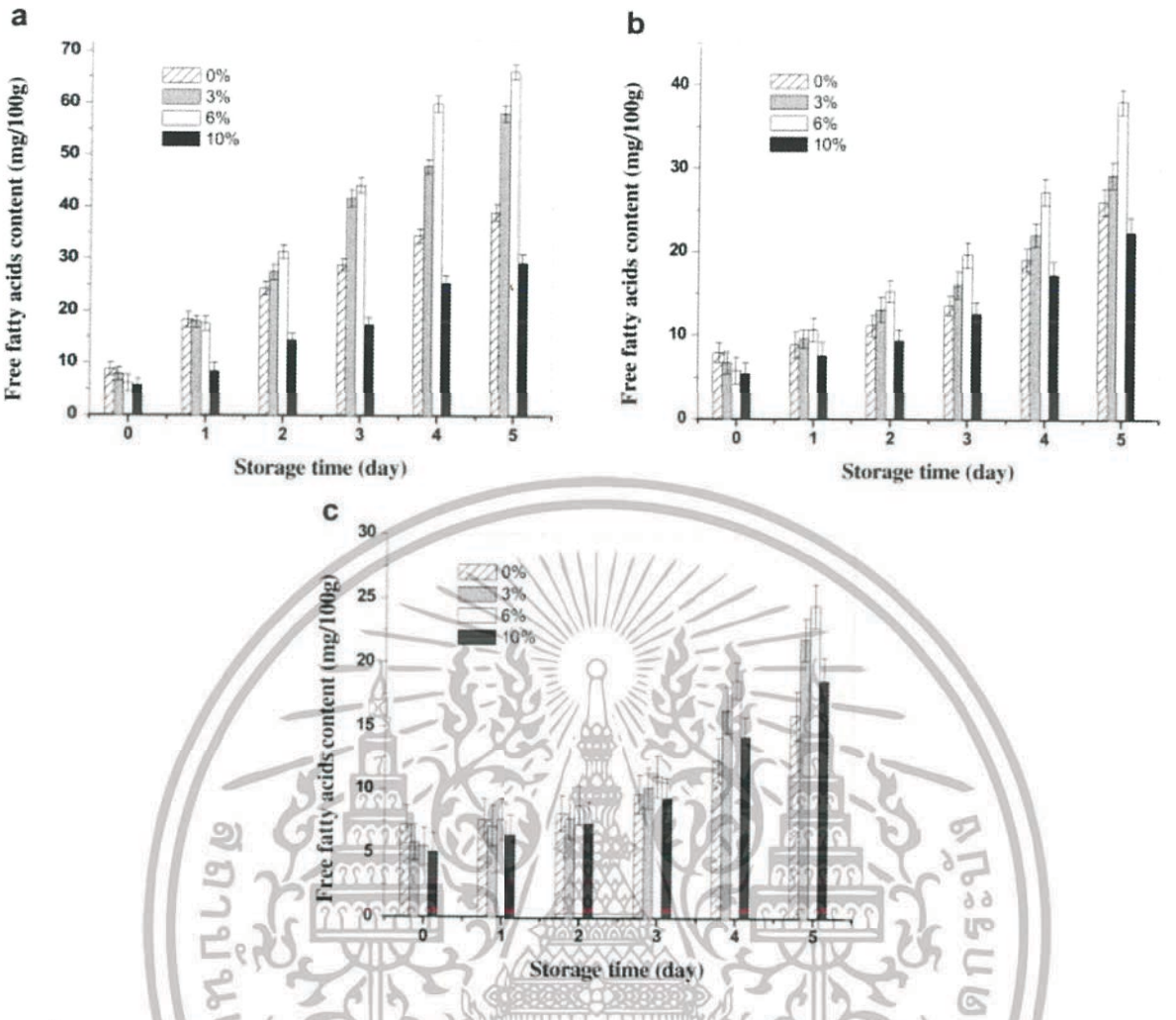
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับระยะเวลาเก็บรักษารำข้าว

ที่มา: Wang et al. (2017)

2.6.6 อิทธิพลของรังสีไมโครเวฟต่อองค์ประกอบโครงสร้างและคุณสมบัติของข้าว

Zhong et al. (2013) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของรังสีไมโครเวฟต่อองค์ประกอบ, โครงสร้าง, ความร้อน และสมบัติการเก็บรักษาของข้าว การที่ข้าวได้รับรังสีไมโครเวฟทำให้เอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ไลออกซิเดสบางส่วนเกิดความเสียหายและสามารถเกิดเป็นข้าวพองได้ เมื่อเพิ่มพลังงานของไมโครเวฟการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคพบรอยแตกของความเครียดเกิดขึ้นในเมล็ดข้าวหลังจากการได้รับรังสีไมโครเวฟ การวิเคราะห์คุณสมบัติการเก็บรักษาพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวอย่างข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการให้รังสีไมโครเวฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในกระบวนการเก็บรักษา ส่วนข้าวที่ได้รับรังสีด้วยไมโครเวฟจะช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ตามรูปที่ 2.7 ยิ่งให้พลังงานไมโครเวฟสูงขึ้นก็สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาการเก็บรักษา (a) ข้าวไม่ผ่านกระบวนการ (b) ข้าวได้รับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 384 W และ (c) ข้าวได้รับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 539 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง

3.1 ตัวอย่างทดลองและวิธีการเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งข้าวเปลือกจะถูกเก็บรักษาไว้ที่ตู้เก็บข้าว ณ อุณหภูมิห้อง ข้าวเปลือกดังกล่าวถูกบรรจุแบบถุงสุญญากาศ โดยมีน้ำหนักบรรจุถุงละ 3 kg

3.2 เครื่องอบแห้งสำหรับการทดลอง

เครื่องอบแห้งที่ทำการทดลองมี 2 ประเภท คือ เครื่องอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ รายละเอียดดังนี้

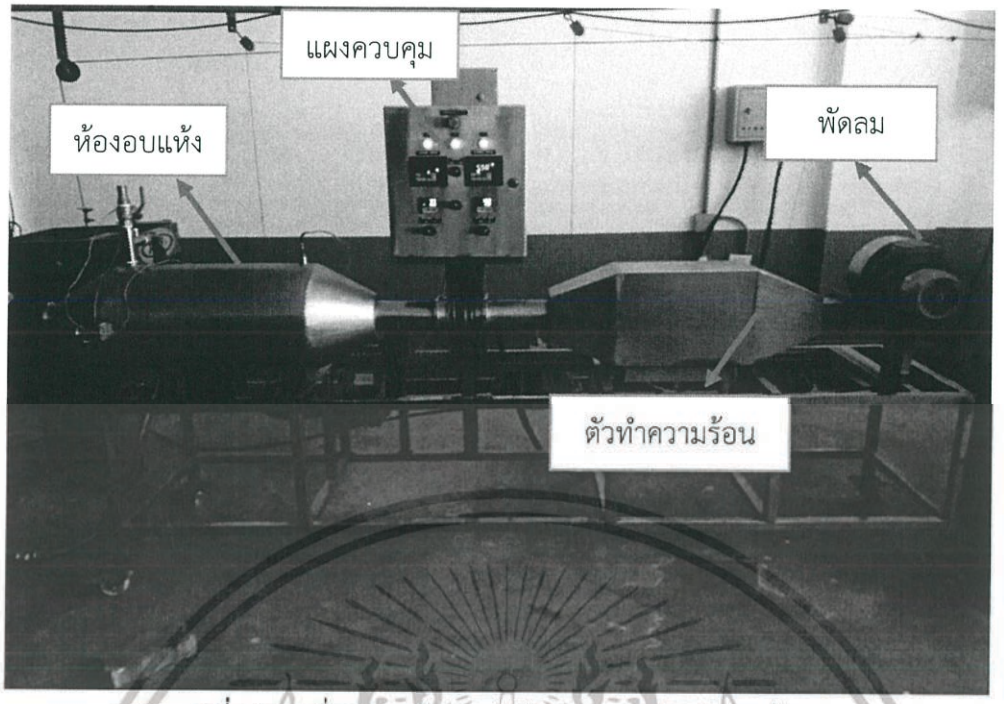
3.2.1 เครื่องอบแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

เครื่องอบแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน แสดงอยู่ในรูปที่ 3.1 และ 3.2 สามารถทำงานได้ทั้งการอบแบบใช้ลมร้อนอย่างเดียว การอบแบบใช้รังสีอินฟราเรดอย่างเดียว หรือสามารถใช้ทั้งอินฟราเรดและลมร้อนร่วมกัน

ในส่วนของการอบแบบใช้ลมร้อนเป็นการนำอากาศที่มีอุณหภูมิสูงถึง 100°C เข้าสู่ตู้อบเพื่อให้วัสดุที่อยู่ด้านในสัมผัสความร้อน และระเหยน้ำที่อยู่ในตัววัสดุออกมา ซึ่งจะทำให้วัสดุนั้นแห้ง และมีความชื้นลดลง มีส่วนประกอบสำคัญคือ ตัวทำความร้อน และตัวพัดลมหรือเครื่องเป่าลม มีหน้าที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ ซึ่งในการทดลองกำหนดความเร็ว 1 m/s และสามารถกำหนดทิศทางตามที่ต้องการใช้งานได้ ห้องอบแห้งทำจากวัสดุ คือ เหล็กกล้าไร้สนิมทรงกระบอกแนวนอนจำนวนสองชั้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 cm ความยาว 60 cm

ในส่วนการอบแบบรังสีอินฟราเรด มีจุดเริ่มต้นจากการที่รังสีอินฟราเรดที่กำเนิดมาจากหลอดรังสีอินฟราเรดขนาด 800 W จำนวน 2 หลอด ซึ่งมีฝาครอบอลูมิเนียมไว้เพื่อทำให้เกิดการสะท้อนของรังสีอินฟราเรด ซึ่งรังสีอินฟราเรดจะแผ่กระจายเข้าสู่ผิววัสดุ และความร้อนจากผิววัสดุจะกระจายเข้าไปสู่ด้านในของวัสดุในลำดับถัดไป รังสีอินฟราเรดจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 750°C ที่ความยาวคลื่นสูงสุดเท่ากับ 3.1 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



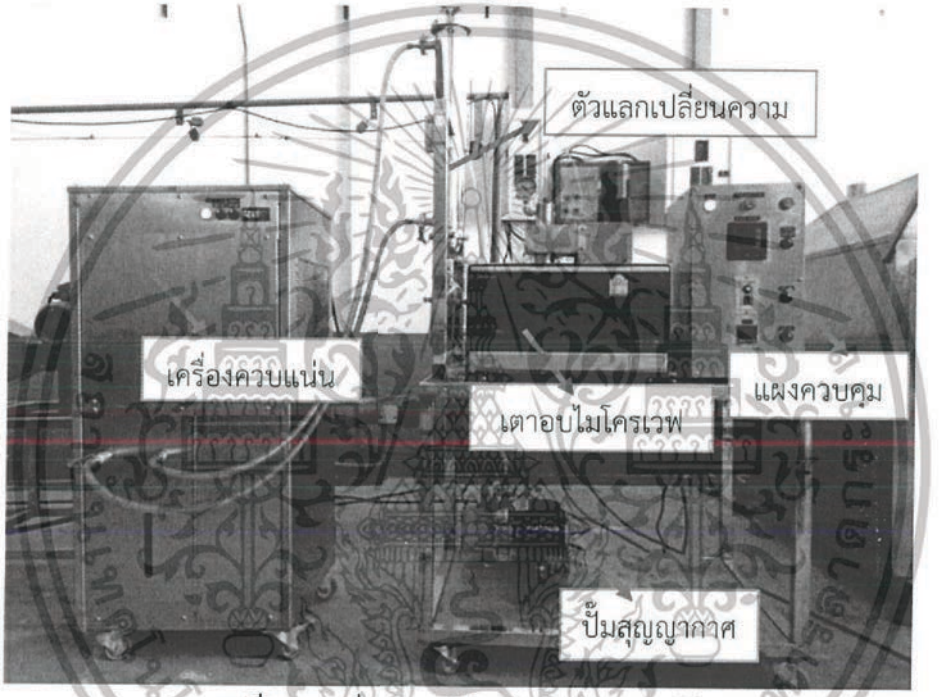
รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

รูปที่ 3.2 ภายในห้องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ

เป็นการใช้เครื่องไมโครเวฟ มาทำงานร่วมกับระบบสุญญากาศ มีส่วนประกอบสำคัญ คือ เตาอบไมโครเวฟ ปั๊มสุญญากาศ และตัวแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับควบแน่นเป็นไอน้ำ โดยนำตัวอย่างทดลองใส่ในโถแก้ว ใช้กำลังไฟฟ้า 800 W และหมุนด้วยความเร็ว 12 รอบต่อนาที คลื่นไมโครเวฟจะทำให้น้ำในตัววัสดุเกิดการเรียงตัวของขั้วโมเลกุลสลับไปมาเกิดการสั่น ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในตัววัสดุ ไอน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุตัวอย่างจะออกไปจากห้องไมโครเวฟ แล้วกลั่นตัวเป็นน้ำด้วยตัวแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

3.3 กระบวนการทำข้าวนึ่งต้นแบบ

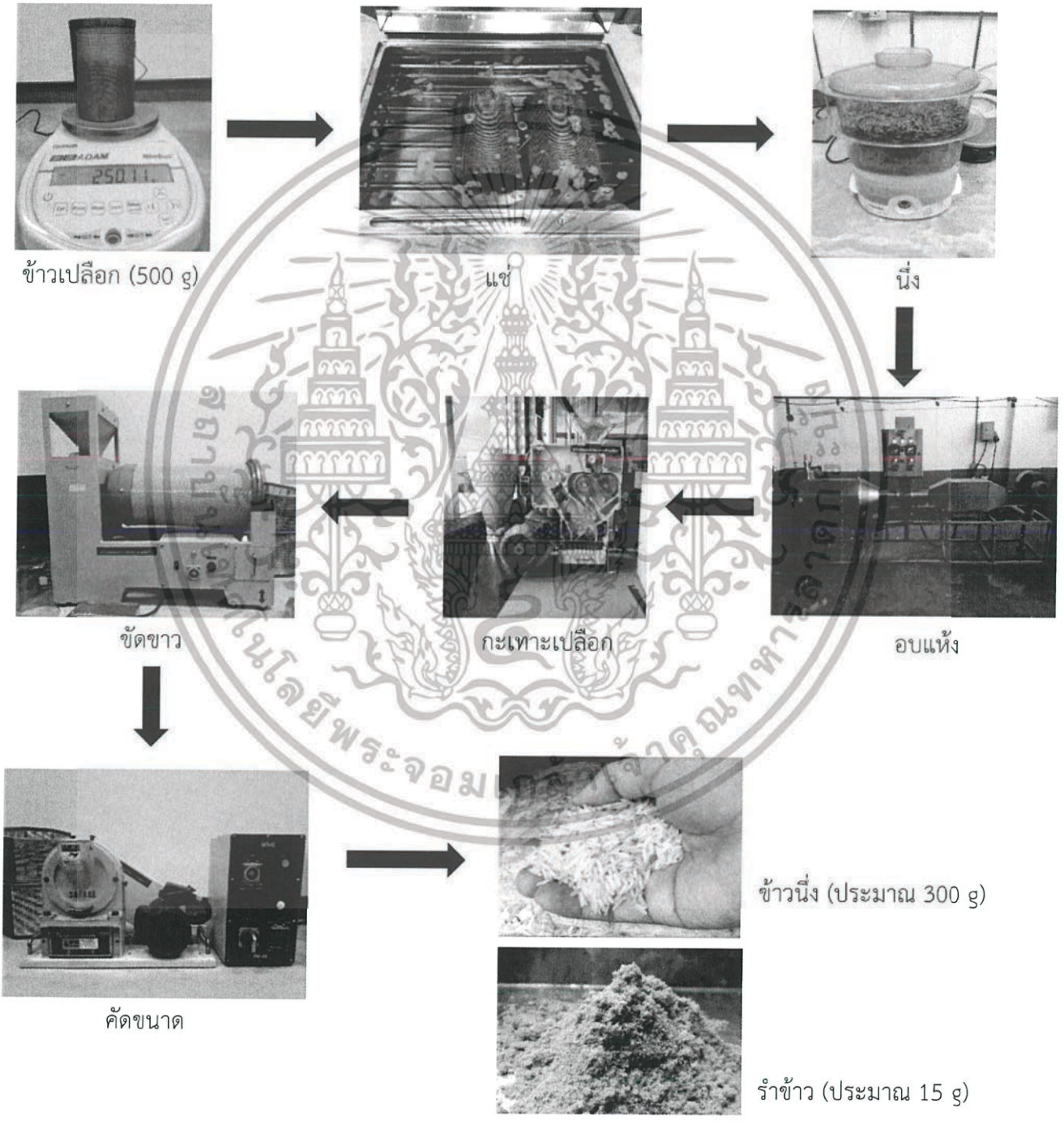
จากงานวิจัยของนายกาญจน์ ศรีพานิชและคณะ (2560) ได้กระบวนการทำข้าวนึ่งสำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ดังนี้

1. นำข้าวเปลือก 500 g แบ่งบรรจุในกระบอกตะแกรงสแตนเลส 2 กระบอก
2. แช่ข้าวเปลือกที่บรรจุแล้วลงในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 20 นาที ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นที่ 0.45 - 0.48 g water/g dry matter ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดข้าวจะเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ได้สมบูรณ์ขณะนึ่ง (กนกกาญจน์ ปานจันทร์, 2558)
3. นึ่งข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่แล้วในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อบแห้งข้าวเปลือกนึ่งด้วยการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 1 m/s จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 0.13 g water/g dry matter

5. การนำข้าวเปลือกนึ่งมาสีโดยการนำข้าวเปลือกประมาณ 500 g ไปเข้าเครื่องกะเทาะเปลือก ทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาวเป็นเวลา 30 วินาที ทำซ้ำตัวอย่างละ 5 ครั้ง จะได้ข้าวขาวนึ่งและรำข้าวออกมา ซึ่งข้าวขาวนึ่งจะถูกนำไปคัดขนาดต่อไปเพื่อแยกข้าวหักออกจากข้าวเต็มเมล็ด



รูปที่ 3.4 แผนภาพกระบวนการทำข้าวนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แผนการทดลอง

จากกระบวนการทำข้าวนึ่งต้นแบบ (หัวข้อ 3.3) พบว่าข้าวนึ่งยังมีลักษณะสุกไม่สมบูรณ์และได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดต่ำ ดังนั้นนอกจากเป้าหมายการพัฒนาขั้นตอนการอบแห้งในกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง ผู้วิจัยจึงทำการทดลองปรับเวลาในการนึ่งข้าวเปลือกในขั้นตอนการนึ่งข้าวด้วย งานวิจัยนี้จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ 1.การศึกษาเวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสม 2.การศึกษาอิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อลักษณะการอบแห้ง การใช้พลังงาน และคุณภาพของข้าวนึ่ง และ 3.การศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่ง รูปที่ 3.5 แสดงแผนการทดลองทั้งหมดของการศึกษานี้ รายละเอียดของแผนการทดลองในแต่ละหัวข้อมีดังนี้

3.4.1 การศึกษาเวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสม

จากหัวข้อ 3.3 กระบวนการทำข้าวนึ่งต้นแบบในขั้นตอนที่ 3 ทำการปรับเวลาในการนึ่งข้าวนึ่ง 20, 25, 30 และ 35 นาที โดยมีเกณฑ์การพิจารณาเวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสมคือ ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (หัวข้อ 3.6)

3.4.2 การศึกษาอิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อลักษณะการอบแห้ง การใช้พลังงาน และคุณภาพของข้าวนึ่ง

จากหัวข้อ 3.3 กระบวนการทำข้าวนึ่งต้นแบบในขั้นตอนที่ 4 ทำการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคการอบแห้ง 4 เทคนิคดังนี้

(1) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศแบบพัลส์ (Pulse mode microwave, PMW)

ใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศในรูปที่ 3.3 โดยนำข้าวเปลือกบรรจุในห้องอบแห้ง เปิดระบบสุญญากาศให้มีความดันสมบูรณ์ 5 kPa เปิดระบบไมโครเวฟด้วยกำลังไฟ 800 W โดยการอบแห้งแบบพัลส์โหมด จะเป็นการให้กำลังไฟเป็นจังหวะ เปิดระบบไมโครเวฟ 30 วินาที และปิดระบบไมโครเวฟ 30 วินาที ถือว่าครบ 1 รอบ ทำการทดลองเป็นรอบ ๆ จนได้ความชื้นสุดท้าย 0.13 g water/g dry matter

(2) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศแบบโหมดต่อเนื่อง (Continuous mode microwave, CMW)

ใช้เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ แบบเดียวกับหัวข้อ (1) โดยการอบแห้งแบบโหมดต่อเนื่อง จะเป็นการให้กำลังไฟฟ้าต่อเนื่อง จนได้ความชื้นสุดท้าย 0.13 g water/g dry matter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared, IR)

ใช้เครื่องอบแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนในรูปที่ 3.1 เปิดหลอดรังสีอินฟราเรดที่กำลังไฟ 800 W เปิดเครื่องเป่าลมที่ความเร็วลม 0.5 m/s เปิดเครื่องรอจนได้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ประมาณ 80 - 90°C จากนั้นนำข้าวเปลือกบรรจุในห้องอบแห้ง ทำการอบต่อเนื่องจนได้ความชื้นสุดท้าย 0.13 g water/g dry matter

(4) การอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air, HA)

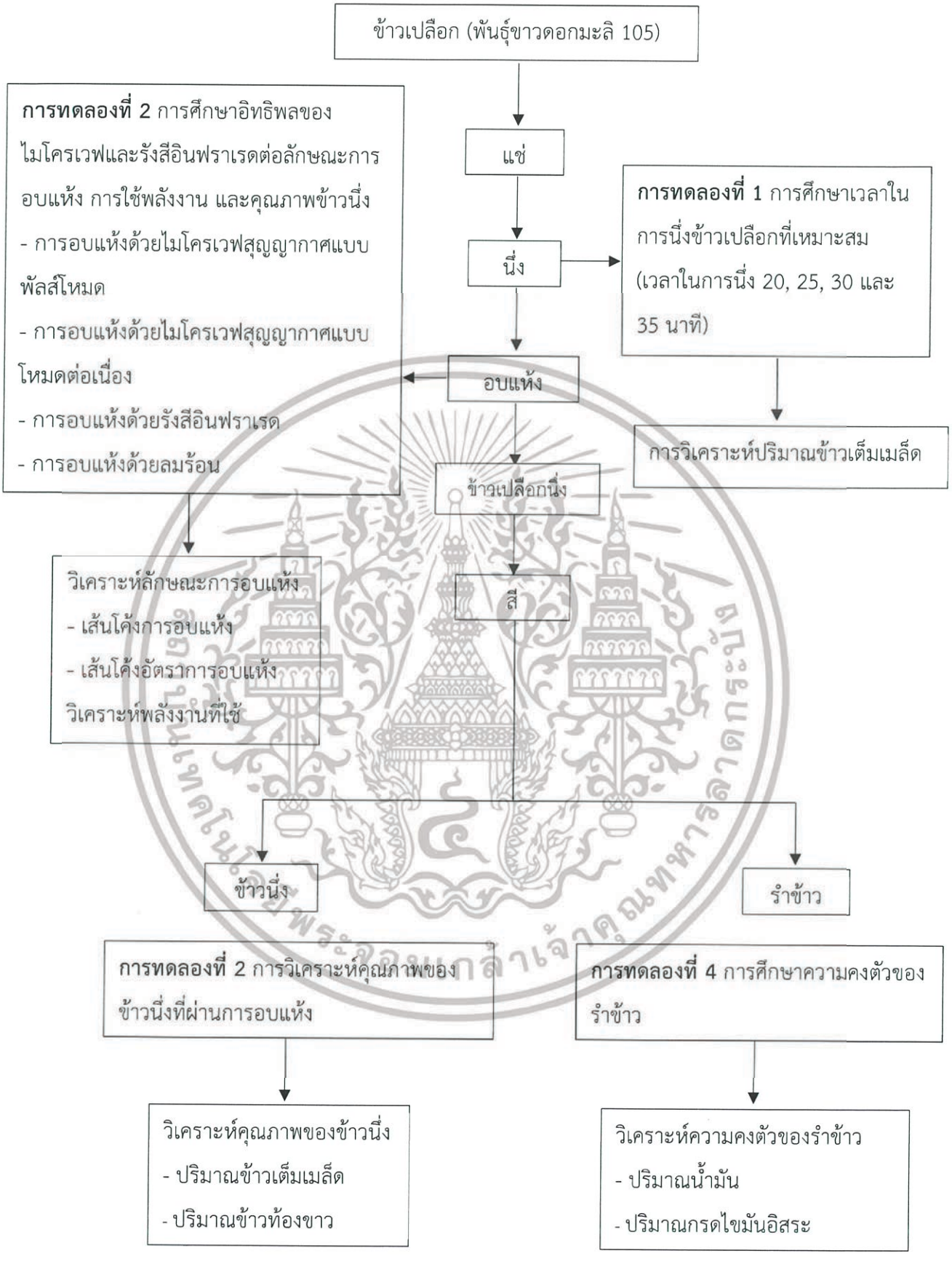
ใช้เครื่องอบแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนในรูปที่ 3.1 เปิดตัวทำความร้อน และเปิดพัดลมที่ความเร็วลม 0.5 m/s เพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องอบให้ได้ 100°C แล้วนำข้าวเปลือกบรรจุในห้องอบแห้ง ทำการอบต่อเนื่องจนได้ความชื้นสุดท้าย 0.13 g water/g dry matter

ในระหว่างการอบแห้งข้างต้น ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อทำข้อมูลน้ำหนักมาวิเคราะห์ความชื้น (หัวข้อ 3.5.1) และวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ (หัวข้อ 3.6) ส่วนข้าวเปลือกนึ่งอบแห้งนำมาผ่านกระบวนการสีดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.3 กระบวนการทำข้าวนึ่งต้นแบบ ในขั้นตอนที่ 5 และทำการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (หัวข้อ 3.7) ปริมาณข้าวท้องขาว (หัวข้อ 3.8)

3.4.3 การศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่ง

เมื่อได้รำข้าวจากข้าวนึ่งแล้ว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 21 วัน โดยในระหว่างการเก็บรักษารำข้าว ทำการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 3 วัน มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและปริมาณกรดไขมันอิสระ (หัวข้อ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์ลักษณะการอบแห้ง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

1. เปิดตู้อบเพื่อเตรียมการอบแห้งข้าวเปลือก

2. นำข้าวที่ผ่านการนึ่งใส่ถาดสำหรับการอบแห้งแบบลมร้อนและรังสีอินฟราเรด ให้ความหนาข้าวเปลือกประมาณ 1 cm ส่วนการอบแห้งแบบไมโครเวฟนำข้าวเปลือกใส่โถแก้ว

3. ทำการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกที่เวลาต่าง ๆ ใส่ moisture can แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักตัวอย่างเปียก + น้ำหนัก moisture can) เพื่อนำไปหาค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่เวลาการอบแห้งต่าง ๆ ทดลอง 2 ซ้ำ

4. นำ moisture can ทั้งหมดที่ได้ เปิดฝาและอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. นำออกจากตู้อบ ใส่ไว้ในโถดูดความชื้น และปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักตัวอย่างแห้ง + น้ำหนัก moisture can)

6. นำไปคำนวณหาปริมาณความชื้น (moisture content, MC), อัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR) และอัตราการอบแห้ง (drying rate, DR) ตามสมการที่ 3.1 ถึง 3.3 ตามลำดับ

สำหรับปริมาณความชื้นสมดุล ในการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW ทุกสภาวะ กำหนดให้มีค่าเป็น 0 g water/g dry matter

3.5.1 ปริมาณความชื้น (moisture content, MC)

สมการหาความชื้นฐานแห้ง

$$\%MC_{db} = \frac{M_w - M_s}{M_s} \times 100 \qquad (3.1)$$

เมื่อ M_w = น้ำหนักตัวอย่างเปียก (g)

M_s = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 อัตราส่วนความชื้น (moisture ratio MR)

สมการหาอัตราส่วนความชื้น

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ M_t = ความชื้นที่เวลาใด ๆ (g water/g dry matter)

M_0 = ความชื้นที่เวลาเริ่มต้น (g water/g dry matter)

M_e = ความชื้นสมดุลของวัสดุ (g water/g dry matter)

3.5.3 อัตราการอบแห้ง (drying rate DR)

สมการหาอัตราการอบแห้ง

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

เมื่อ M_{t+dt} = ความชื้นของวัสดุที่เวลา t+dt

M_t = ความชื้นของวัสดุที่เวลา t (g)

dt = ผลต่างระหว่างเวลาที่ทำการอบแห้งระหว่างความชื้น M_t ถึง M_{t+dt} (min)

3.6 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้

ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Metrel, MI2883, Horjul, Slovenia) ให้ผลออกมาเป็นพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการ จากนั้นนำมาคำนวณพลังงานจำเพาะ

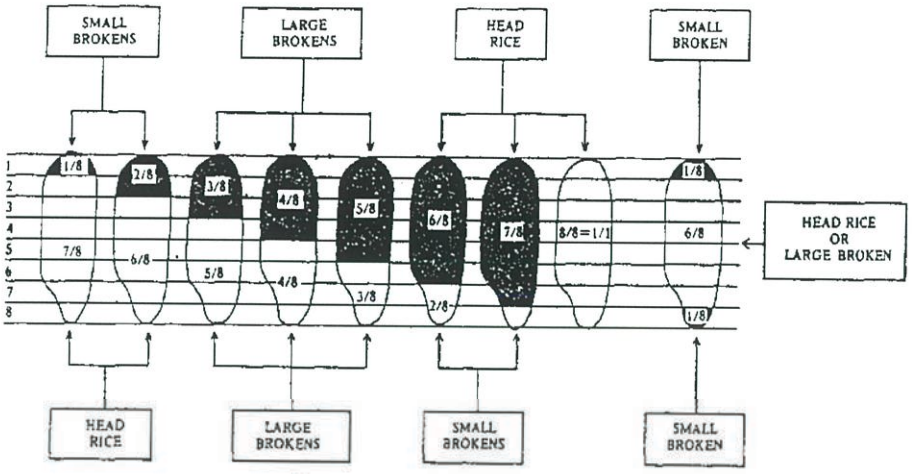
สูตรการหาพลังงานจำเพาะ

$$\text{พลังงานจำเพาะ (kWh/kg)} = \frac{\text{พลังงานทั้งหมด (kWh)}}{\text{ปริมาณน้ำที่ออกจากวัสดุ (kg)}} \quad (3.4)$$

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด

ข้าวเต็มเมล็ดมีค่าจำกัดความว่าเป็นข้าวที่มีความยาวของเมล็ดข้าวมีสัดส่วนเป็น 6 ส่วน จากทั้งหมด 8 ส่วน ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การดูปริมาณข้าวเต็มเมล็ด

ที่มา: www.fao.org

สูตรการหาปริมาณข้าวเต็มเมล็ด

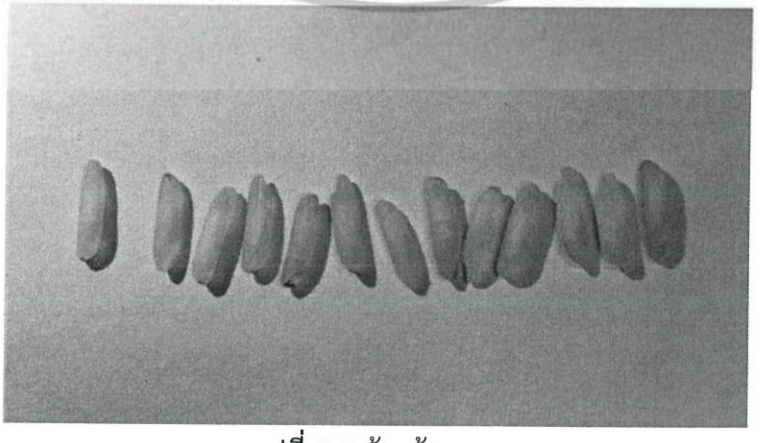
$$\text{ข้าวเต็มเมล็ด } (\%) = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ด } (g)}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก } (g)} \times 100 \qquad (3.5)$$

3.8 การวิเคราะห์ปริมาณข้าวท้องขาว

ข้าวท้องขาว หรือข้าวท้องไข่ มีลักษณะเป็นเป็นข้าวขุ่นเหมือนชอร์กที่มีเนื้อตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปของเนื้อเมล็ดข้าว การหาปริมาณข้าวท้องขาวทำได้โดยสุ่มตัวอย่างข้าวมาครั้งละ 20 กรัม แยกข้าวที่เป็นท้องขาวออกมา แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในแต่ละตัวอย่างจะทำการหาปริมาณข้าวท้องขาว 3 ซ้ำ

สูตรการหาปริมาณข้าวท้องขาว

$$\text{ข้าวท้องขาว } (\%) = \frac{\text{น้ำหนักข้าวท้องขาว}(g)}{\text{น้ำหนักข้าวตัวอย่าง } (g)} \times 100 \qquad (3.6)$$



รูปที่ 3.7 ข้าวท้องขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าว

การสกัดน้ำมันรำข้าวที่ได้มาด้วยวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ และการเก็บรักษารำข้าวที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาที่ต่างกัน เพื่อดูแนวโน้มปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าว โดยใช้วิธีการ Soxhlet extraction ในการสกัดน้ำมัน และตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระด้วยวิธีการไตเตรท

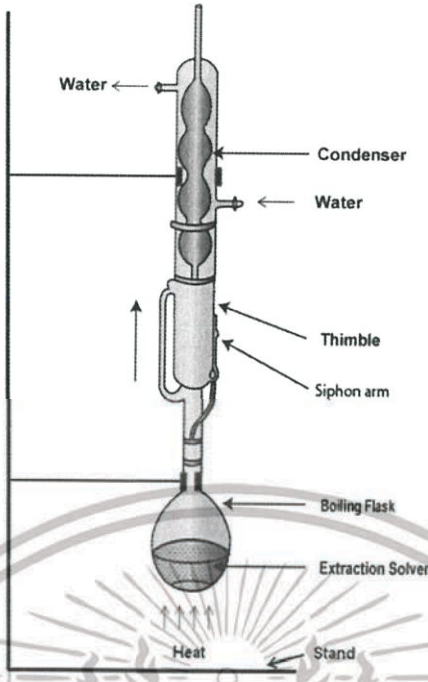
3.9.1 วิธีสกัดน้ำมันรำข้าว

การสกัดน้ำมันรำข้าวจะใช้วิธีการ Soxhlet extraction สกัดด้วยเครื่อง Soxhlet apparatus ดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 เป็นการสกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ แล้วให้ความร้อนจนตัวทำละลายระเหยขึ้นไปแล้วกลั่นตัวลงมาใน thimble ซึ่งบรรจุตัวอย่างไว้ เมื่อสารที่สกัดได้สูงถึงระดับกาลักน้ำ สารสกัดจะไหลกลับลงมาใน flask วนเวียนเช่นนี้จนกระบวนการสกัดสมบูรณ์

ขั้นตอนการสกัดน้ำมันมีดังนี้

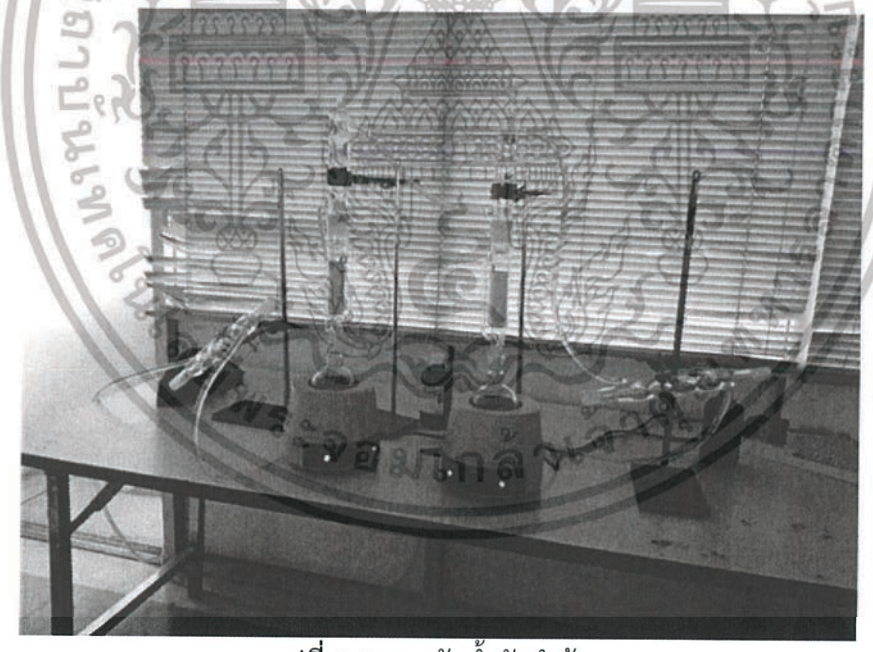
1. ต่อสายยางให้น้ำผ่านเข้าเครื่องที่จะทำ Soxhlet extraction
2. ชั่งขวดแก้วก้นกลม (Boiling Flask) บันทึกน้ำหนัก
3. พับกระดาษรูปกรวยเตรียมไว้ จากนั้นใส่รำข้าว 5 กรัม ลงในกระดาษพับก้นกระดาษให้ทรงกรวยให้แน่นเพื่อป้องกันการรั่วไหลของรำข้าว ใส่ลงไปใน thimble
4. ตวงตัวทำละลาย hexane ขนาด 110 ml ใส่ขวดแก้วก้นกลม
5. ต่ออุปกรณ์ทุกอย่างเข้าด้วยกัน เปิดน้ำให้ไหลตามสายยาง พร้อมเปิดเตาทำความร้อนให้ทำงาน
6. รอ 4 ชั่วโมง จะได้สารละลายเฮกเซนที่ผสมกับน้ำมันรำข้าวในขวดแก้วก้นกลม
7. กลั่นเฮกเซนออกไป เพื่อให้เหลือแค่น้ำมันรำข้าว
8. บันทึกค่าน้ำหนักของน้ำมันรำข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 Soxhlet apparatus

ที่มา: https://nptel.ac.in/courses/102103016/module4/lec33/3.html



รูปที่ 3.9 ชุดสกัดน้ำมันรำข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 วิธีการไตเตรท

เมื่อเราสกัดน้ำมันรำข้าวมาได้แล้ว ก็นำมาไตเตรทเพื่อดูแนวโน้มของปริมาณกรดไขมันอิสระหลังการให้ความร้อน สามารถทำได้โดย

1. เตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 0.1% โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน 5 กรัม ละลายในเมทิลแอลกอฮอล์ปริมาตร 1000 ml (ควรเก็บรักษาสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนในขวดสีชา และอายุการใช้งานไม่ควรเกิน 1 ปี)

2. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.1 N โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 95% จำนวน 5.6 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 ml

3. ตวงไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol) 50 ml ใส่ในขวดก้นกลมที่มีน้ำมันรำข้าวที่สกัดมาได้ แกว่งเบา ๆ จนน้ำมันละลาย

4. หยดฟีนอล์ฟทาลีนที่เตรียมไว้ จำนวน 2 - 3 หยดลงในขวดก้นกลม

5. หยดสารละลายด่าง โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.1 N จากบิวเรท ลงในขวดก้นกลมพร้อมเขย่าให้เข้ากัน

6. หยดจนกว่าสารละลายในขวดก้นกลมเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือสีม่วง

7. บันทึกค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

8. วิเคราะห์ค่ากรดในน้ำมันจากการคำนวณด้วยสมการที่ (3.7)

$$\text{ปริมาณน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างรำ}} \times 100 \qquad (3.6)$$

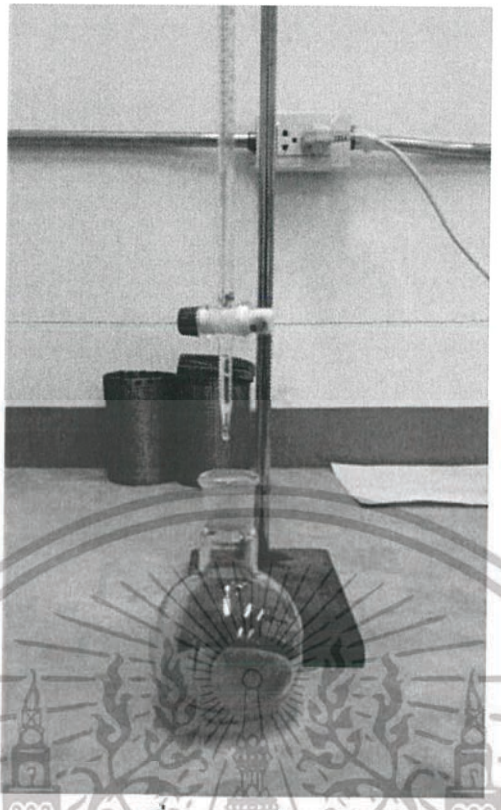
$$\text{AV (mg KOH/g)} = \frac{\text{factor AV} \times \text{ml KOH}}{m} \qquad (3.7)$$

เมื่อ AV คือ ค่าความเป็นกรด

factor AV คือ ค่าความเข้มข้น KOH × 56.11

m คือ น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ชุดไตเตรท

3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

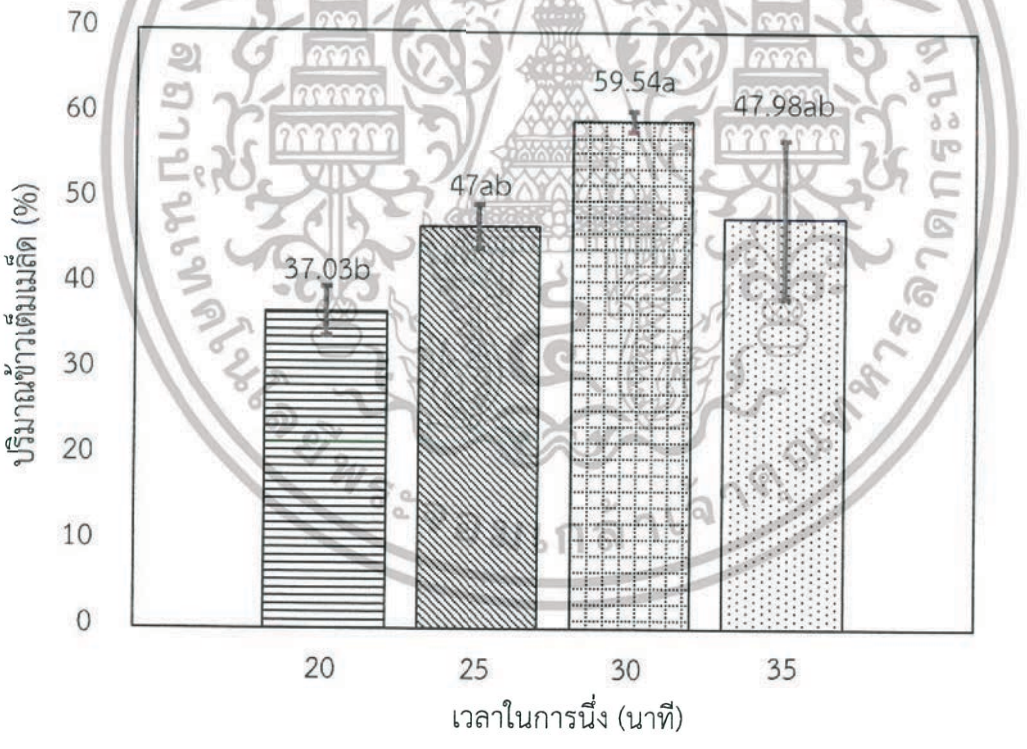
มีการทำซ้ำ 2 ซ้ำในแต่ละการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one - way ANOVA) และวิเคราะห์ Duncan's multiple range ($p \leq 0.05$) เพื่อแสดงนัยสำคัญทางสถิติของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 เวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวนึ่ง

จากรูปที่ 4.1 แสดงปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่แตกต่างกันอันเนื่องมาจากการใช้เวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่แตกต่างกัน จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าการนึ่งข้าวเปลือกโดยใช้ระยะเวลาในการนึ่ง 20 นาที ให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ต่ำที่สุด จากนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการนึ่งจะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงขึ้น โดยระยะเวลาในการนึ่ง 30 นาที ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมีค่าสูงสุดเกือบ 60% อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเวลาในการนึ่งเป็น 35 นาที ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดกลับลดลง ดังนั้นจึงเลือกเวลาในการนึ่งข้าวเปลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวนึ่งเป็น 30 นาที



รูปที่ 4.1 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งจากการนึ่งในเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อิทธิพลของไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดต่อลักษณะการอบแห้ง พลังงานที่ใช้ และคุณภาพของข้าวนึ่ง

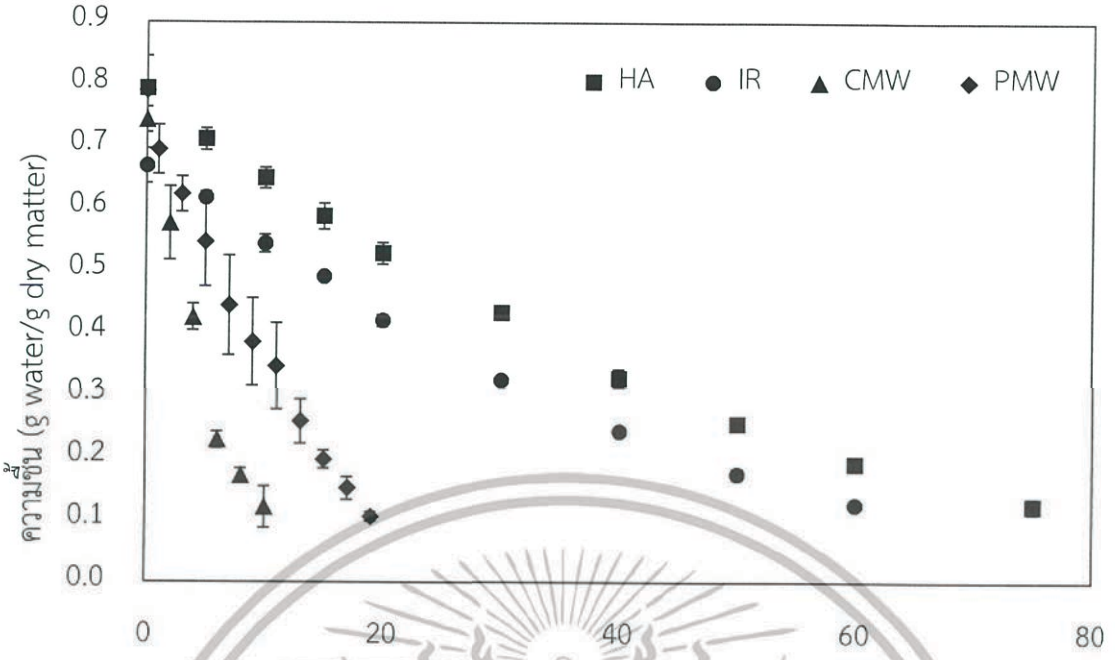
4.2.1 ลักษณะการอบแห้ง

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งสูงสุดในแต่ละวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ ของการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW สำหรับการอบแห้งข้าวนึ่ง โดยการอบแห้งแบบ HA เป็นตัวควบคุม ดังตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งแบบ HA ใช้เวลาในการอบแห้งนานถึง 74.5 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบ CMW ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 9.5 นาที จะเห็นได้ว่าการอบแห้งแบบ CMW สามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบ HA เกือบ 8 เท่า อย่างไรก็ตามในส่วนของการอบแห้งแบบ IR เวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวนึ่งยังคงมีค่าใกล้เคียงกับการอบแห้งแบบ HA จากรูปที่ 4.2 แสดงการลดลงของความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง และรูปที่ 4.3 แสดงเส้นโค้งการอบแห้ง โดยมีการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW จะเห็นได้ว่าในแต่ละวิธีการ ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวนึ่งนั้นมีปริมาณมาก แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นของการอบแห้งแบบ HA และ IR แตกต่างจากการอบแห้งแบบ CMW และ PMW อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการอบแห้งแบบ CMW และ PMW ความชื้นในเมล็ดข้าวจะลดได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบ HA และ IR จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอัตราการอบแห้งสูงสุดของการอบแห้งแบบ CMW ให้ค่าสูงที่สุด ดังนั้นการอบแห้งแบบ CMW จะช่วยให้ระยะเวลาของกระบวนการผลิตข้าวนึ่งเร็วขึ้น

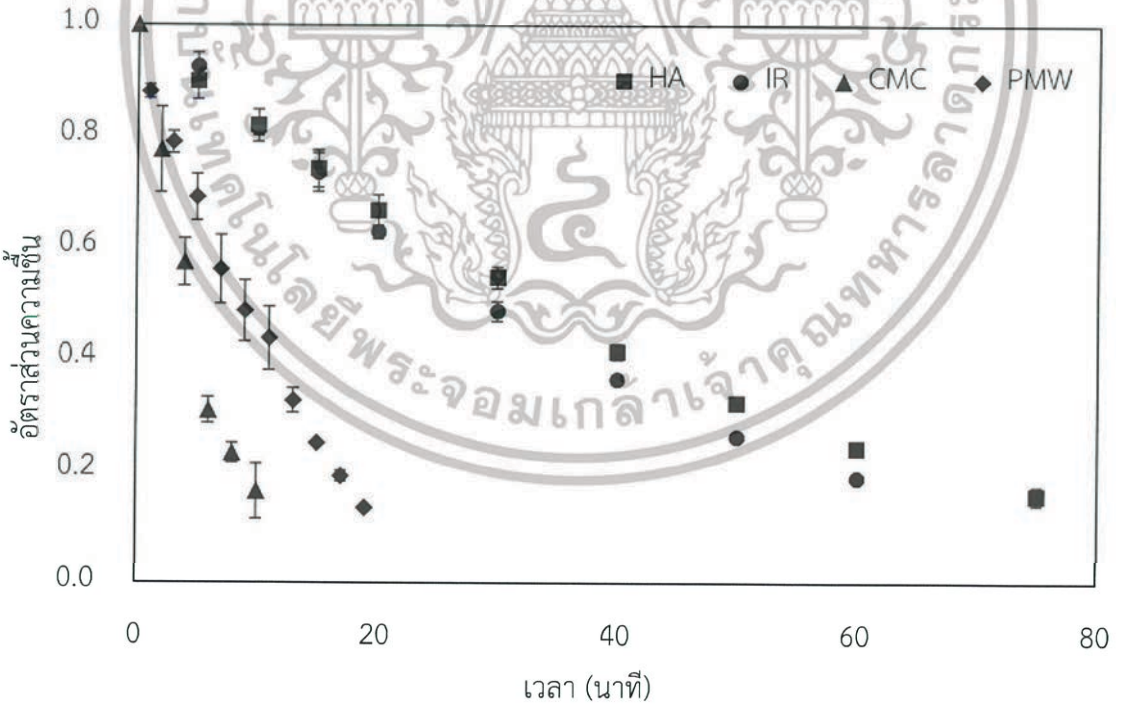
ตารางที่ 4.1 เวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมและอัตราการอบแห้งแบบสูงสุดในการอบแห้งข้าวเปลือกนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW

วิธีการอบแห้ง	เวลาในการอบ (นาที)	อัตราการอบแห้งสูงสุด (g water/g dry matter*min)
HA	74.5	0.0205
IR	61	0.0224
CMW	9.5	0.1344
PMW	17	0.1201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

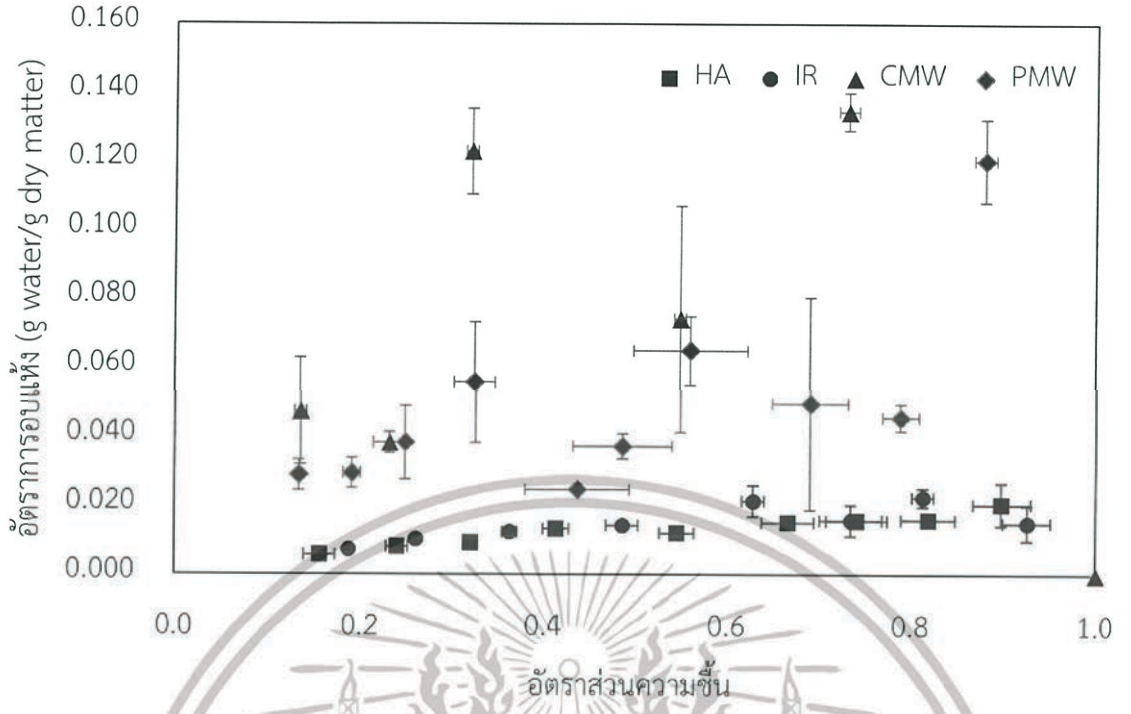


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของข้าวเปลือกนึ่งกับเวลาในการอบแห้ง ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW



รูปที่ 4.3 เส้นโค้งการอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกกนึ่ง ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

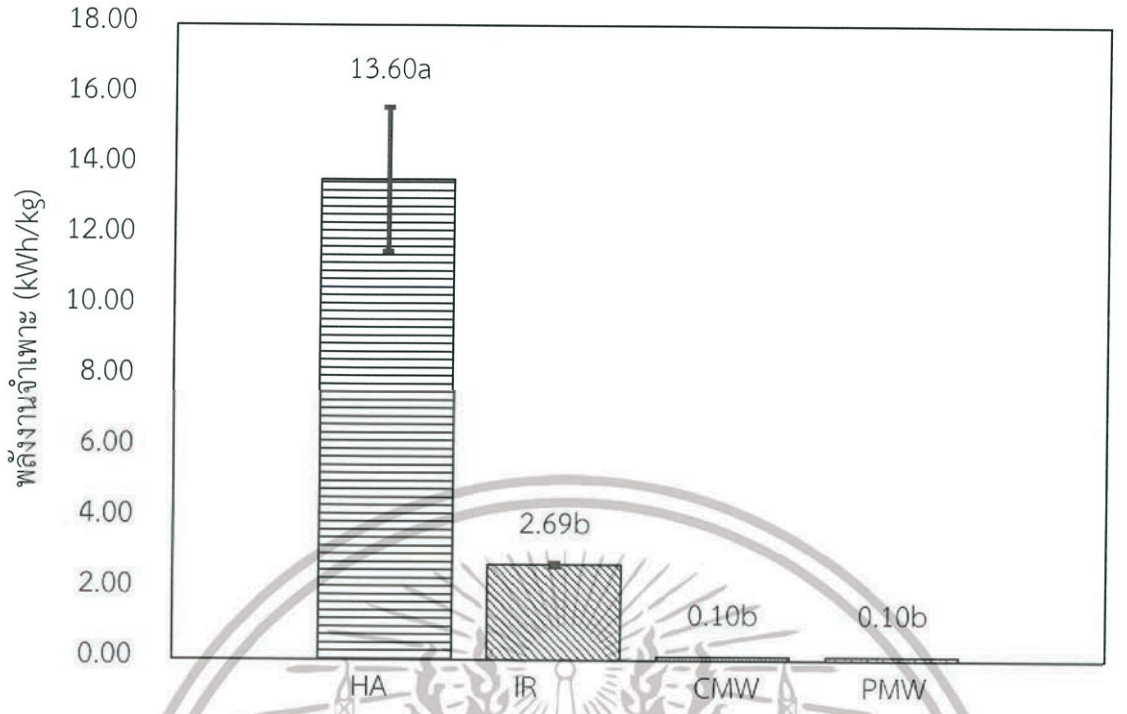


รูปที่ 4.4 เส้นโค้งอัตราการอบแห้งข้าวเปลือกนึ่ง
ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW

4.2.2 พลังงานที่ใช้

มีการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการอบแห้งแบบต่าง ๆ ได้ผลตามรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าการอบแห้งแบบ HA ใช้พลังงานจำเพาะสูงสุด 13.60 kWh/kg ซึ่งหมายความว่าในการนำน้ำออกจากวัสดุ 1 kg ใช้พลังงาน 13.60 kWh การอบแห้งแบบ HA จึงไม่เหมาะสมต่อการอบแห้งเนื่องจากใช้พลังงานที่สูง ซึ่งพลังงานที่สูงทำให้ต้นทุนการอบแห้งสูง ในส่วนของกระบวนการอบแห้งแบบ PMW และ CMW จะใช้พลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่เท่ากันและต่ำที่สุด ซึ่งใช้พลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งแบบ HA ถึง 136 เท่า จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้วิธีการอบแห้งแบบ PMW และ CMW ช่วยในการประหยัดพลังงานที่ใช้ระหว่างกระบวนการได้เยอะมากจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เชิงอุตสาหกรรมเพื่อลดต้นทุน ส่วนในด้านของการอบแห้งแบบ IR ก็ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการอบแห้งแบบ PMW และ CMW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

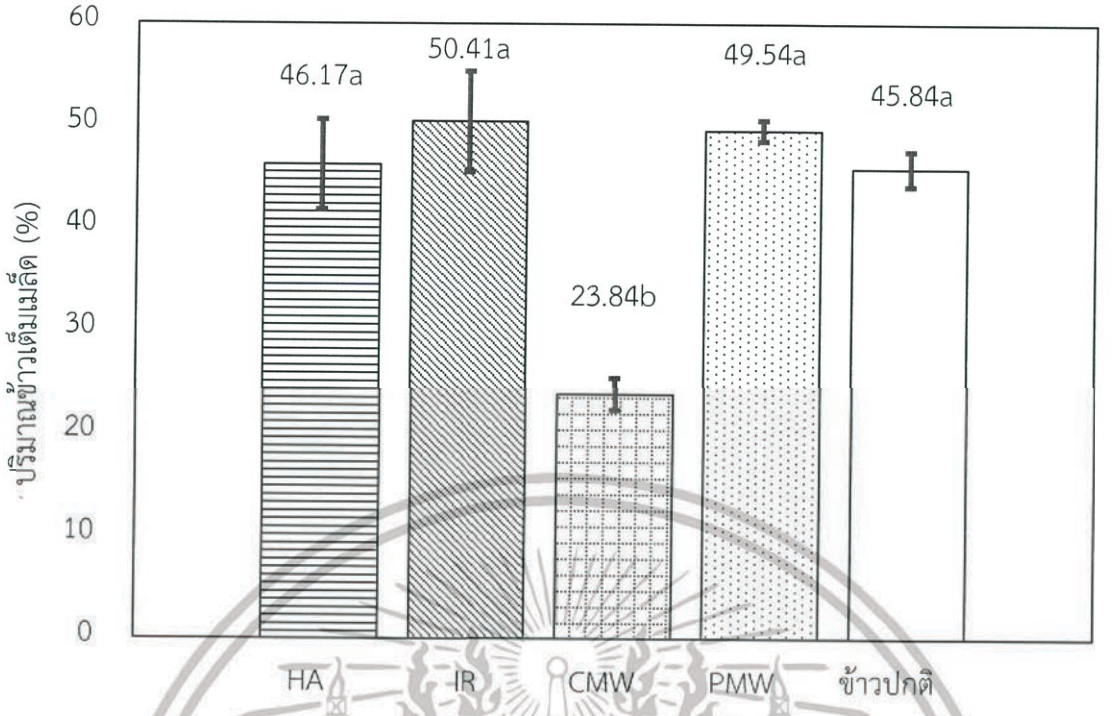


รูปที่ 4.5 ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ

4.2.3 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ

ผลของปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW, PMW และ ข้าวปกติ แสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งจะบอกได้ว่าการอบแห้งแบบ IR ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงที่สุด และในส่วนของการอบแห้งแบบ CMW จะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดต่ำที่สุด เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนแก่ข้าวเปลือกนึ่งด้วยไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง จะเกิดการสะสมความร้อนภายในเมล็ดข้าว เมล็ดข้าวมีความเค้นเกิดขึ้น ทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย ดังนั้นปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ได้จากกระบวนการอบแห้งแบบ CMW จึงได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

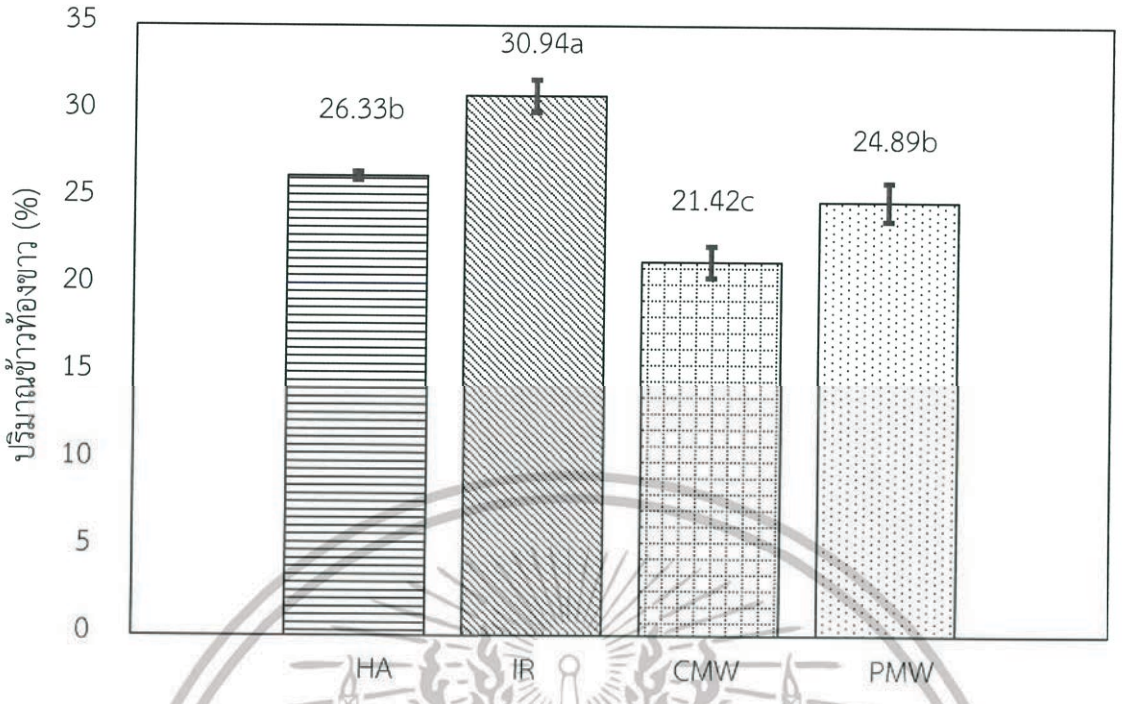


รูปที่ 4.6 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ

4.2.4 ปริมาณข้าวท้องขาวของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ

ผลของปริมาณข้าวท้องขาวโดยมีการเปรียบเทียบกันของแบบต่าง ๆ โดยมีการอบแห้งแบบ HA, IR, CMW และ PMW ซึ่งตามรูปที่ 4.7 เห็นได้ว่าการอบแห้งแบบ CMW ได้ปริมาณข้าวท้องขาวต่ำที่สุด เนื่องจากการนำข้าวเปลือกนึ่งที่มีความชื้น ไปให้ความร้อนจะเกิดการเจลาติไนเซชันภายในเมล็ดข้าวสมบูรณ์ยิ่งขึ้นในช่วงแรกที่ได้รับความร้อน ทำให้ปริมาณข้าวท้องขาวที่เกิดขึ้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ปริมาณข้าวท้องขาวของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ

4.3 ศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้งแบบไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรด

จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดตามหัวข้อ 4.2.3 กระบวนการอบแห้งแบบ CMW ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ต่ำมากและได้ปริมาณรำข้าวที่ต่ำตามไปด้วย ดังนั้นจึงไม่นำมาศึกษาความคงตัวของรำข้าว

4.3.1 ปริมาณน้ำมันรำข้าว

จากการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันรำข้าวแสดงในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณน้ำมันต่อรำข้าวแบบ ข้าว HA, ข้าว IR และ ข้าวปกติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าปริมาณน้ำมันที่มากที่สุดคือข้าว HA ส่วนข้าว PMW ได้ปริมาณน้ำมันน้อยที่สุด เนื่องจากในระหว่างกระบวนการอบข้าวนึ่งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ อาจจะมีการระเหยของน้ำมันรำข้าวเกิดขึ้นได้ เพราะอุณหภูมิภายในห้องอบมีค่าสูง อีกทั้งเมื่อเป็นระบบสุญญากาศทำให้จุดเดือดของน้ำมันรำข้าวต่ำลง ส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำมันได้ง่าย

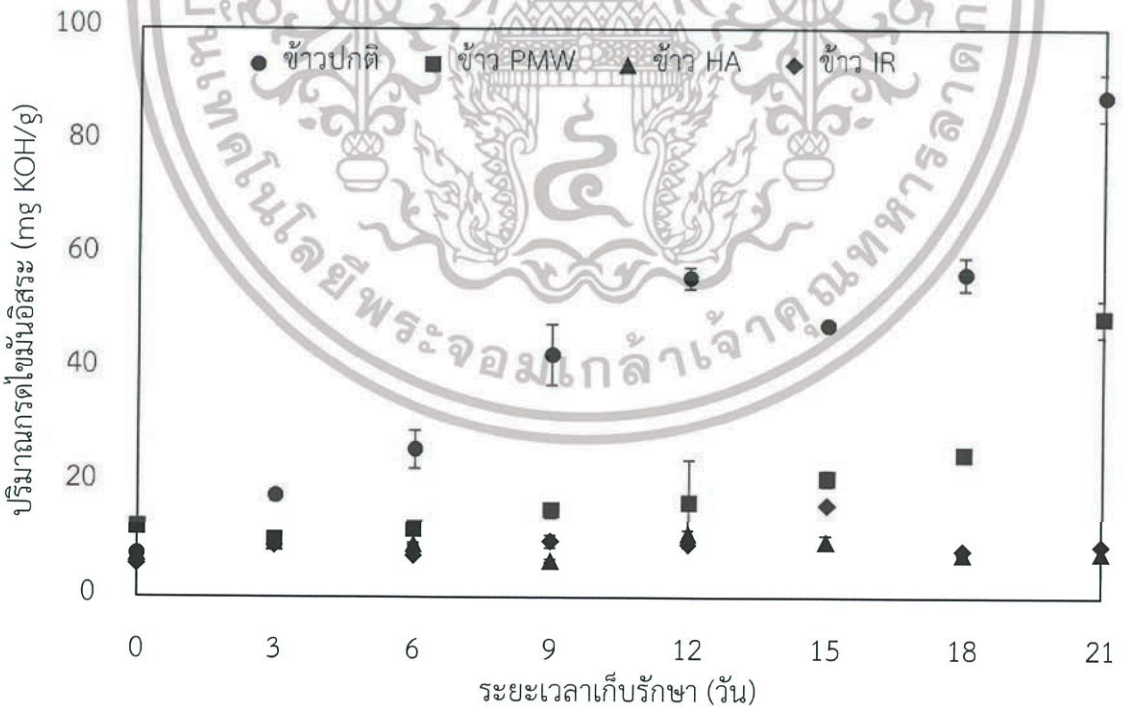
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำมันรำข้าวจากข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้งแบบต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	ปริมาณน้ำมัน (g/g รำข้าว)
ข้าว HA	0.30 ± 0.08a
ข้าว IR	0.31 ± 0.04a
ข้าว PMW	0.25 ± 0.04b
ข้าวปกติ	0.32 ± 0.06a

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษารำข้าว

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษารำข้าวแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้าว HA และข้าว IR ให้ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ใกล้เคียงกันและค่อนข้างคงที่ ซึ่งแตกต่างจากข้าวปกติอย่างเห็นได้ชัด ที่มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นสูงเมื่อเก็บรักษาในระยะเวลาที่นานขึ้น ในส่วนของข้าว PMW ถึงแม้จะโดนให้ความร้อนเหมือนกับข้าว HA และข้าว IR แต่ระยะเวลาที่ข้าวนึ่งได้รับความร้อนอาจจะไม่นานพอที่จะไปยับยั้งเอนไซม์ไลเปส จึงทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาในระยะเวลาที่นานขึ้น



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับระยะเวลาเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

1. ข้าวเปลือกที่ถูกนึ่งเป็นเวลา 30 นาที จะให้ร้อยละข้าวเต็มเมล็ดสูงที่สุดคือ 59.54 ดังนั้นโครงงานนี้จึงเลือกใช้เวลา 30 นาทีในกระบวนการนึ่งข้าว

2. กระบวนการอบแห้งแบบ CMW และการอบแห้งแบบ PMW สามารถทำให้ความชื้นในข้าวลดลงได้รวดเร็วกว่ากระบวนการอบแห้งแบบ HA และกระบวนการอบแห้งแบบ IR อย่างมาก ในขณะที่การอบแห้งแบบ CMW ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุดมากที่สุดโดยอยู่ที่ 0.1344 g water/g dry matter*min ใช้ระยะเวลาการอบแห้งเพียง 9.5 นาที ในด้านการใช้พลังงานการอบแห้งแบบ CMW และ PMW จะใช้พลังงานจำเพาะ คือ 0.10 kWh/kg ซึ่งต่ำที่สุด ส่วนการอบแห้งแบบ HA จะมีการใช้พลังงานสูงกว่าการอบแห้งแบบอื่นมาก ในส่วนของคุณภาพข้าวนึ่งนั้น กระบวนการอบแห้งแบบ IR ให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด 46.17% ซึ่งสูงที่สุด และการอบแห้งแบบ CMW ให้ปริมาณข้าวท้องขาวต่ำที่สุด ถ้าพิจารณาด้านกระบวนการแล้ว การอบแห้งแบบ PMW เหมาะสมที่สุด เพราะเวลาในการอบแห้งต่ำ ใช้พลังงานจำเพาะต่ำ และให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่สูงใกล้เคียงกับการอบแห้งแบบ IR

3. รำข้าวที่ผ่านการอบแห้งแบบ IR ให้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุด และการอบแห้งแบบ PMW ได้ปริมาณน้ำมันต่ำที่สุด ในส่วนของความคงตัวของรำข้าวนั้น การอบแห้งแบบ HA และ IR จะได้ปริมาณกรดไขมันอิสระที่คงที่ตลอดช่วงเวลาเก็บรักษา 21 วันในด้านความคงตัวของรำข้าววิธีที่เหมาะสมที่สุดคือการอบแห้งแบบ IR เพราะเมื่อเทียบในด้านการใช้พลังงานแล้ว ต่ำกว่าการอบแห้งแบบ HA ถึง 5 เท่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทำการทดลองซ้ำมากกว่าสองตัวอย่างเพื่อความแม่นยำทางการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผล
2. ควรศึกษาเปรียบเทียบพันธุ์ข้าวหอมมะลิกับสายพันธุ์อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กาญจน์ ศรีพานิช, ปัณณธร อนุรักษ์สุนพร และสิริกาญจน์ เหรียญอัมพร. 2560. การอบแห้งข้าวนึ่งด้วยอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นและความคงตัวของรำข้าว. ปริญญานิพนธ์การศึกษาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

ธนชัย ธราพร, ภัสร์ศรัณ หงวนบุญมาก และสุชาดาวงศ์สถาน. 2555. การศึกษาวิธีการเพิ่มสารอาหารในเมล็ดข้าว. ปริญญานิพนธ์การศึกษาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมวงศ์. (2561). ข้าวนึ่ง (Parboiled rice), 20 สิงหาคม 2561. http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1079/parboiled-rice-ข้าวนึ่ง

กนกกาญจน์ ปานจันทร์. (2558). ข้าวนึ่ง (Parboiled rice), 20 สิงหาคม2561. http://lib3.dss.go.th/fulltext/ST-articles/bio_7_2558_Parboiled-rice.pdf

กิตติมา ไตรรัตนศิริชัย และสาโรจน์ รอดคืน. (2555). รำข้าว จากอาหารหมูสู่อาหารเพื่อสุขภาพของคน, 20 สิงหาคม2561. http://archive.mfu.ac.th/school/agro2012/events/298,

พบแพทย์. (2560). น้ำมันรำข้าว คุณประโยชน์จากเมล็ดข้าวต่อสุขภาพ, 20 สิงหาคม 2561. https://www.pobpad.com/น้ำมันรำข้าว/คุณประโยชน์,

พบแพทย์. (2560). น้ำมันรำข้าว, 20 สิงหาคม 2561. http://aibiznetconsult.blogspot.com/p/blog-page.html

ienergyguru. (2558). การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด, 21 สิงหาคม 2561. https://ienergyguru.com/2015/08/infrared-heating

siamchemi. (2560). คลื่นไมโครเวฟ คุณสมบัติ และประโยชน์คลื่นไมโครเวฟ, 21 สิงหาคม 2561. http://www.siamchemi.com /คลื่นไมโครเวฟ/

OrganicBlog. (2556). ข้าวนึ่งไทย ใครขายใครซื้อ, 17 กันยายน 2561. http://www.farmerlanding.com/parboiled-rice.html

ธนากรณ์ อุ่นพินิจ, วรินรำไพ เศรษฐ์ธณบุตร, ทินกร คำแสน, พนมกร ขวาของ และอภิชาต อาจนาเสียว. (2560). การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบอัตโนมัติ. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, *7*(1), 124-136.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชลิดา เนียมนุ้ย, ชนินทร์ คงแหลม,ปรีชา พีรศักดิ์ภักดี และจินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์. (2560). การอบแห้งรำข้าวแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งเปรียบเทียบกับแบบอากาศร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 46*(3), 529-532.

Bualuang, O., Tirawanichakul, Y., & Tirawanichakul, S. (2012). Comparative Study between Hot Air and Infrared Drying of Parboiled Rice: Kinetics and Qualities Aspects. *Journal of Food Processing and Preservation*, *37*, 1119-1132.

Muhmmed, H. R., Siti Anom, B. A., Mohd, H. M. & Azura, C. S. (2014). Infrared Heating in Food Drying: An Overview. *Journal of Drying Technology*, *33*(3), 322-335

Wang, T., Khir, R., Pan, Z., & Yuan, Y. (2017). Simultaneous rough rice drying and rice bran stabilization using infrared radiation heating. *Journal of Food Science and Technology*, *78*, 281-288

Zhong, Y., Tu, Z., Liu, C., Liu, W., Xu, X., Ai, Y., Chen, J., & Wu, J. (2013). Effect of microwave irradiation on composition, structure and properties of rice (Oryza sativa L.) with different milling degrees. *Journal of Cereal Science*, *58*, 228-233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการทำเส้นโค้งความชื้นของการอบแห้งแบบลมร้อน

เวลา (min)	n	น้ำหนักตัวอย่างเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาณน้ำ(g)	Moisture content	MC เฉลี่ย
0	1	298.14	165.86	132.28	0.7975	0.7920
	2	298.19	166.9	131.29	0.7866	
5	1	281.70	165.86	115.84	0.6984	0.7109
	2	287.64	166.90	120.74	0.7234	
10	1	271.43	165.86	105.57	0.6365	0.6483
	2	277.09	166.90	110.19	0.6602	
15	1	260.74	165.86	94.88	0.5720	0.5868
	2	267.33	166.90	100.43	0.6017	
20	1	251.24	165.86	85.38	0.5147	0.5271
	2	256.95	166.90	90.05	0.5395	
30	1	236.27	165.86	70.41	0.4245	0.4320
	2	240.27	166.90	73.37	0.4396	
40	1	221.84	165.86	55.98	0.3375	0.3272
	2	219.82	166.90	52.92	0.3170	
50	1	208.26	165.86	42.4	0.2556	0.2541
	2	209.06	166.90	42.16	0.2526	
60	1	196.55	165.86	30.69	0.1850	0.1905
	2	199.63	166.90	32.73	0.1961	
75	1	184.86	165.86	19.00	0.1145	0.1231
	2	188.90	166.90	22.00	0.1318	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทำเส้นโค้งความชื้นของการอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรด

เวลา (min)	n	น้ำหนักตัวอย่างเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาณน้ำ(g)	Moisture content	MC เฉลี่ย
0	1	295.24	179.13	116.11	0.6482	0.6679
	2	302.29	179.13	123.16	0.6875	
5	1	288.62	179.13	109.49	0.6112	0.6174
	2	290.84	179.13	111.71	0.6236	
10	1	274.52	179.13	95.39	0.5325	0.54284
	2	278.22	179.13	99.09	0.5532	
15	1	267.26	179.13	88.13	0.4920	0.4901
	2	266.58	179.13	87.45	0.4882	
20	1	253.01	179.13	73.88	0.4124	0.4191
	2	255.4	179.13	76.27	0.4259	
30	1	236.98	179.13	57.85	0.3230	0.3241
	2	237.4	179.13	58.27	0.3253	
40	1	221.98	179.13	42.85	0.2392	0.2426
	2	223.18	179.13	44.05	0.2459	
50	1	209.21	179.13	30.08	0.1679	0.1741
	2	211.43	179.13	32.3	0.1803	
60	1	200.65	179.13	21.52	0.1201	0.1251
	2	202.45	179.13	23.32	0.1302	
75	1	189.62	179.13	10.49	0.0586	0.0713
	2	194.18	179.13	15.05	0.0840	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการทำเส้นโค้งความชื้นของการอบแห้งไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

เวลา (min)	n	น้ำหนักตัวอย่างเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาณน้ำ(g)	Moisture content	MC เฉลี่ย
0	1	5.0623	2.9391	2.1232	0.7224	0.7430
	2	4.2265	2.3964	1.8301	0.7637	
2	1	3.6027	2.3661	1.2366	0.5226	0.5435
	2	3.1086	1.9871	1.1215	0.5644	
4	1	3.7190	2.5662	1.1528	0.4492	0.4325
	2	4.4996	3.1782	1.3214	0.4158	
6	1	4.7791	3.8886	0.8905	0.2290	0.2219
	2	4.2377	3.4883	0.7494	0.2148	
8	1	3.6464	3.1145	0.5319	0.1708	0.1663
	2	3.1520	2.7129	0.4391	0.1619	
10	1	3.5466	3.0609	0.4857	0.1587	0.1325
	2	3.6430	3.2931	0.3499	0.1063	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการทำเส้นโค้งความชื้นของการอบแห้งไมโครเวฟแบบพัลส์

เวลา (min)	n	น้ำหนักตัวอย่างเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาณน้ำ(g)	Moisture content	MC เฉลี่ย
0	1	4.3928	2.4021	1.9907	0.8287	0.7893
	2	4.1375	2.3645	1.7730	0.7498	
1	1	4.4678	2.5944	1.8734	0.7221	0.6941
	2	4.2587	2.5560	1.7027	0.6662	
3	1	4.9218	2.9972	1.9246	0.6421	0.6221
	2	3.5824	2.2362	1.3462	0.6020	
5	1	4.1972	2.6296	1.5676	0.5961	0.5456
	2	3.3019	2.2085	1.0934	0.4951	
7	1	3.4057	2.2698	1.1359	0.5004	0.4439
	2	3.9797	2.8687	1.1110	0.3873	
9	1	2.9769	2.0751	0.9018	0.4346	0.3850
	2	3.6797	2.7555	0.9242	0.3354	
11	1	3.4923	2.5028	0.9895	0.3954	0.3463
	2	2.9711	2.2904	0.6807	0.2972	
13	1	3.2670	2.5470	0.7200	0.2827	0.2575
	2	3.1278	2.5380	0.5898	0.2324	
15	1	3.3317	2.7605	0.5712	0.2069	0.1967
	2	2.6448	2.2291	0.4157	0.1865	
17	1	3.9867	3.4267	0.5600	0.1634	0.1506
	2	2.7477	2.4149	0.3328	0.1378	
19	1	3.8345	3.4528	0.3817	0.1105	0.1050
	2	3.0164	2.7437	0.2727	0.0994	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งแบบต่าง ๆ

วิธีการอบแห้ง	n	พลังงาน (kWh)	พลังงานจำเพาะ (kWh/kg)	พลังงานจำเพาะเฉลี่ย (kWh/kg)
HA	1	1.583	15.052	13.602
	2	1.278	12.152	
IR	1	0.287	2.729	2.691
	2	0.279	2.653	
CMW	1	0.011	0.105	0.105
	2	0.011	0.105	
PMW	1	0.011	0.105	0.105
	2	0.011	0.105	

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลวิเคราะห์ความคงตัวของรำข้าวจากข้าว HA

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	n	ปริมาณน้ำมัน (g)	สารละลาย KOH ที่ใช้ (ml)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (mg KOH/g)	ปริมาณกรดไขมันอิสระเฉลี่ย (mg KOH/g)
0	1	1.1614	1.60	7.7300	7.6925
	2	1.1288	1.54	7.6550	
3	1	0.6097	1.00	9.2029	9.6256
	2	0.2792	0.50	10.0484	
6	1	1.2738	2.10	9.2504	9.3941
	2	1.1648	1.98	9.5379	
9	1	1.1002	1.30	6.6300	6.4372
	2	1.1322	1.26	6.2444	
12	1	1.4243	2.96	11.6609	11.2127
	2	1.3344	2.56	10.7645	
15	1	1.0582	2.00	10.6048	9.8572
	2	1.1087	1.80	9.1096	
18	1	1.3129	1.80	7.6927	7.6250
	2	1.2028	1.62	7.5572	
21	1	1.0573	1.60	8.4911	7.9446
	2	1.1680	1.54	7.3981	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลวิเคราะห์ความคงตัวของรำข้าวจากข้าว IR

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	n	ปริมาณน้ำมัน (g)	สารละลาย KOH ที่ใช้ (ml)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (mg KOH/g)	ปริมาณกรดไขมันอิสระเฉลี่ย (mg KOH/g)
0	1	1.2658	1.34	5.9399	5.7957
	2	1.1914	1.20	5.6515	
3	1	1.4299	2.42	9.492	9.1136
	2	1.2853	2.00	8.7310	
6	1	1.1214	1.44	7.2051	7.2978
	2	1.1692	1.54	7.3905	
9	1	0.8989	1.70	10.6115	9.8208
	2	1.0936	1.76	9.0301	
12	1	1.0214	1.74	9.5586	9.2404
	2	1.0691	1.70	8.9222	
15	1	1.0175	2.86	15.7715	16.0422
	2	1.2245	3.56	16.3129	
18	1	0.9306	1.34	8.0795	8.1880
	2	1.2444	1.84	8.2966	
21	1	1.0342	1.62	8.7892	9.0293
	2	1.0896	1.80	9.2693	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลวิเคราะห์ความคงตัวของรำข้าวจากข้าว PMW

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	n	ปริมาณน้ำมัน (g)	สารละลาย KOH ที่ใช้ (ml)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (mg KOH/g)	ปริมาณกรดไขมันอิสระเฉลี่ย (mg KOH/g)
0	1	0.9733	2.24	12.9134	12.2425
	2	0.9601	1.98	11.5715	
3	1	1.0297	1.96	10.6804	10.1470
	2	1.1206	1.92	9.6137	
6	1	1.0429	2.10	11.2984	11.9392
	2	0.9545	2.14	12.5799	
9	1	1.1019	2.80	14.2579	15.1968
	2	0.9389	2.70	16.1356	
12	1	0.8269	1.65	11.1962	16.5309
	2	0.7955	3.10	21.8656	
15	1	0.8439	2.98	19.8137	20.7977
	2	0.5049	1.96	21.7817	
18	1	0.8792	3.82	24.3790	25.0550
	2	0.8897	4.08	25.7310	
21	1	0.9242	7.70	46.7482	49.0342
	2	0.8528	7.80	51.3201	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลวิเคราะห์ความคงตัวของรำข้าวจากข้าวปกติ

ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)	n	ปริมาณน้ำมัน (g)	สารละลาย KOH ที่ใช้ (ml)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (mg KOH/g)	ปริมาณกรดไขมันอิสระเฉลี่ย (mg KOH/g)
0	1	1.3850	1.90	7.6974	7.6104
	2	1.4916	2.00	7.5235	
3	1	1.2432	3.80	17.1507	17.7714
	2	1.1776	3.86	18.3920	
6	1	0.7630	3.20	23.5324	25.9024
	2	1.0320	5.20	28.2725	
9	1	1.0825	7.48	38.7716	42.5528
	2	1.2231	10.10	46.3340	
12	1	0.9475	9.70	57.4424	56.1041
	2	1.0143	9.90	54.7657	
15	1	1.3444	11.50	47.9965	47.7158
	2	1.3958	11.80	47.4350	
18	1	1.3478	13.16	54.7861	56.8373
	2	1.0481	11.00	58.8885	
21	1	1.0683	16.20	85.0868	87.9950
	2	1.2345	20.00	90.9032	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้