

การอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นและความคงตัวของรำข้าว
Vibratory bed assisted infrared drying of parboiled rice and its rice
bran stability

กาญจน์	ศรีพานิช
บัณธรร	อนุรักษ์สุนทร
สิริกานุจน์	เหรียญอัมพร

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยอินฟราเรดร่วมกับเบตสันและความคงตัวของรำข้าว
Vibratory bed assisted infrared drying of parboiled rice and its rice
bran stability

กาญจน์	ศรีพานิช
ปิ่นนธร	อนุรักษ์สุนทร
สิริกานจน์	เหรียญอัมพร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

Vibratory bed assisted infrared drying of parboiled rice and its rice
bran stability

Karn	Sripanich
Pannatorn	Anuraksoontorn
Sirikarn	Rheanaumporn

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 2017

หัวข้อปริญญาโท	การอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยอินฟราเรดร่วมกับเบตสันและความคงตัวของรำข้าว		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายกาญจน์	ศรีพานิช	รหัสนักศึกษา 57010070
	นายปณณธร	อนุรักษ์สุนทร	รหัสนักศึกษา 57010767
	นางสาวสิริกาญจน์	เหรียญอัมพร	รหัสนักศึกษา 57011367
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ		
ปีการศึกษา	2560		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลัก 3 หัวข้อ ได้แก่ (1) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง (2) เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งและคุณภาพของข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน (VIR) และ (3) เพื่อศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง VIR โดยมีการอบแห้งแบบอินฟราเรด (IR) การอบแห้งแบบลมร้อน (HA) และข้าวปกติมาเปรียบเทียบ ในการทดลองที่ 1 มีอุณหภูมิในการแช่ 55, 65 และ 75 °C โดยปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุดคือ 52.5% ได้มาจากการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 55 °C ใช้เวลาในการแช่ 260 นาที เพื่อได้ความชื้น 0.45 g water/g dry matter ในการทดลองที่ 2 การอบแห้ง VIR ให้ลักษณะการอบแห้งที่ดีที่สุด โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด 50 นาที อัตราการอบแห้งสูงสุด 0.0146 g water/g dry matter*min แบบจำลอง Midilli et al. ($MR = a \exp(-kt^n) + bt$) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มากที่สุดเท่ากับ 0.9996 และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 0.00876 วิธีการอบแห้ง VIR ยังให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงสุดเท่ากับ 61.3% ส่วนการทดลองที่ 3 รำข้าวที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง VIR มีปริมาณน้ำมันรำข้าวสูงสุดที่ 0.256 ± 0.041 g/g รำข้าว และมีความคงตัวเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ดีที่สุด โดยมี FFA เพิ่มขึ้นจากวันที่หนึ่งจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาเพียง 0.36% ขณะที่รำข้าวที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง IR, HA และข้าวปกติมีค่า FFA เพิ่มขึ้นถึง 0.38 , 1.36 และ 4.10% ตามลำดับ

Thesis Title	Vibratory bed assisted infrared drying of parboiled rice and its rice bran stability		
Authors	Karn	Sripanich	Student NO. 57010070
	Pannatorn	Anuraksoontorn	Student NO. 57010767
	Sirikarn	Rheanaumporn	Student NO. 57011367
Thesis Advisor	Dr. Jiraporn Sripinyowanich Jongyingcharoen		
Year	2018		

Abstract

The purposes of this research were divided into three parts i.e. (1) to investigate the effect of soaking temperature on quality of parboiled rice, (2) to determine the drying characteristics and quality of parboiled rice undergoing vibratory bed assisted infrared (VIR) drying, and (3) to study the stability of rice bran from the VIR-dried parboiled rice. Infrared (IR) drying and hot air (HA) drying were applied for comparison purpose. For the experiment 1, soaking temperatures of 55, 65, and 75°C were studied. The highest head rice yield of 52.5% was obtained when soaking the paddy at 55 °C for 260 min to the moisture content of 0.45 g water/g dry matter. In the experiment 2, VIR drying of parboiled rice provided the best drying characteristics with the shortest drying time of 50 min and the maximum drying rate of 0.00146 g water/g dry matter*min. Midilli et al. model ($MR = a \exp(-kt^n) + bt$) resulted in the highest R^2 of 0.9996 and the lowest RMSE of 0.00876. VIR drying also produced the greatest head rice yield of 61.3%. Experiment 3 presented that rice bran from VIR-dried parboiled rice had the highest oil content of 0.256 ± 0.041 g / g rice bran and the most stable in term of minimum change in free fatty acid (FFA) content. The increase in FFA from the first day to the end of storage was 0.36%. However, the increases in FFA of rice bran from IR- and HA-dried parboiled rice and normal rice were 0.38, 1.36, and 4.10%, respectively.

สารบัญ

	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	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้าวนี้้ง	4
2.1.1 ลักษณะและสมบัติของข้าวนี้้ง	4
2.1.2 กระบวนการผลิตข้าวนี้้ง	4
2.1.3 เกลาตินในเซชันและรีโทรเกรดชัน	5
2.2 รังสีอินฟราเรดและการใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งวัสดุ	7
2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด	7
2.2.2 แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด	8
2.2.3 การอบแห้งด้วยอินฟราเรด	9
2.2.4 การใช้ระบบสั่นร่วมในการอบแห้งด้วยอินฟราเรด	9
2.3 กรดไขมันอิสระในรำข้าว	10
2.3.1 คำจำกัดความของ กรดไขมันอิสระ	10
2.3.2 ทฤษฎีการเกิดกรดไขมันอิสระ สมการเคมี และโครงสร้าง	10
2.3.3 กรรมวิธีการหยุดกระบวนการเกิดกรดไขมันอิสระ	11
2.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ	11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.4.1 การทดลองอบแห้งข้าวเปลือกและศึกษาความคงตัวของรำข้าวโดยใช้ การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ผลของการนึ่งข้าวต่อสมบัติการทำงานของสารสกัดเอนไซม์จากรำข้าว	11
2.4.3 การรักษาเสถียรภาพของรำข้าวโดยใช้ไมโครเวฟ: การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการและการเก็บรักษา	12
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	13
3.1 ตัวอย่างทดลอง	13
3.2 เครื่องอบแห้งสำหรับการทดลอง	13
3.3 แผนการทดลอง	15
3.4 ขั้นตอนการทำข้าวนี้้ง	17
3.5 การสีข้าว	18
3.6 การวิเคราะห์ลักษณะการอบแห้ง	19
3.7 การวิเคราะห์ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด	20
3.8 การสร้างแบบจำลองการอบแห้ง	20
3.9 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าว	21
3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง	24
4.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวนี้้ง	24
4.1.1 เวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ	24
4.1.2 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนี้้งจากอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ	25
4.2 การศึกษาลักษณะการอบแห้ง สร้างแบบจำลองการอบแห้ง และวิเคราะห์คุณภาพของข้าวนี้้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR โดยมี IR และ HA เปรียบเทียบ	26
4.2.1 ลักษณะการอบแห้งของข้าวนี้้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ	26
4.2.2 ผลของแบบจำลองการอบแห้ง	28
4.2.3 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนี้้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ	32
4.3 การศึกษาความคงตัวของรำข้าว	32
4.3.1 ปริมาณน้ำมันรำข้าว	32
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษารำข้าว	33
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการศึกษา	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 3.1 แบบจำลองการอบแห้งที่ใช้ในการศึกษานี้	21
ตารางที่ 4.1 เวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ	25
ตารางที่ 4.2 เวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมและอัตราการอบแห้งแบบสูงสุดในการอบแห้งข้าวเปลือกหนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ VIR, IR และ HA	26
ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์และการวิเคราะห์ทางสถิติ	29
ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำมันเทียบกับปริมาณรำข้าว	32
ตารางที่ 4.5 ค่าความแตกต่างของกรดไขมันอิสระในวันแรกและวันสุดท้าย	33

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เจลาตินในเซชัน	5
รูปที่ 2.2 รีโทรเกรดเซชัน	6
รูปที่ 2.3 การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด	7
รูปที่ 2.4 ตัวปล่อยคลื่นรังสีอินฟราเรด	7
รูปที่ 2.5 ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด	8
รูปที่ 2.6 ช่วงความยาวคลื่น	9
รูปที่ 2.7 สมการเคมี และ โครงสร้างการเกิดกรดไขมันอิสระ	10
รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งสำหรับการทดลอง	14
รูปที่ 3.2 ภายในห้องอบแห้ง	14
รูปที่ 3.3 แผนการทดลองในการศึกษานี้	16
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำข้าวนี้้ง	17
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการสีข้าว	18
รูปที่ 3.6 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด	20
รูปที่ 3.7 ชุด Soxhlet	22
รูปที่ 3.8 ชุดเครื่องกลั่น	22
รูปที่ 3.9 ชุดไตเตรท	23
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการแช่ข้าว	24
รูปที่ 4.2 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนี้้งที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 °C และข้าวปกติ	25
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของข้าวเปลือกนี้้งกับเวลาในการอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA	27
รูปที่ 4.4 เส้นโค้งการอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกนี้้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA	27
รูปที่ 4.5 เส้นโค้งอัตราการอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกนี้้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA	28
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นของการทำนายกับอัตราส่วนความชื้นของการทดลอง	30
รูปที่ 4.7 เส้นโค้งการอบแห้งของการทดลองและเส้นโค้งการอบแห้งของการทำนาย	31
รูปที่ 4.8 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวนี้้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ	32
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษาร้าข้าว	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ข้าวหนึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวที่สำคัญของประเทศไทย เป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีการผลิตและการส่งออกในปริมาณมากติดอันดับ 1 ใน 5 อันดับแรกของผลิตภัณฑ์ข้าวส่งออกของประเทศ โดยมีปริมาณการผลิตในปี พ.ศ.2559 อยู่ที่ 2.15 ล้านตัน และในปี 2560 อยู่ที่ 3.37 ล้านตัน ซึ่งมีมูลค่าส่งออกถึง 826.19 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และ 1429.52 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร , 2560) แม้ว่าคนไทยจะไม่นิยมบริโภคข้าวหนึ่ง แต่ข้าวหนึ่งก็สร้างมูลค่ามหาศาลกับประเทศ โดยกลุ่มผู้นิยมบริโภคได้แก่ชาวมุสลิม เช่น ซาอุดีอาระเบีย เยเมน แอฟริกาใต้ ไนจีเรีย เป็นต้น

กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งโดยทั่วไปนั้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1.การแช่ เพื่อให้น้ำซึมผ่านผิวเปลือกแข็งเข้าไปในเนื้อเมล็ดข้าว 2.การนึ่ง เพื่อให้สตาร์ชในข้าวเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันด้วยไอน้ำร้อน และ 3.การทำแห้งโดยในระดับอุตสาหกรรมนิยมทำแห้งโดยวิธีผ่านเครื่องแห้งแบบลมร้อน ซึ่งจุดประสงค์ของการทำข้าวหนึ่งคือเพื่อลดปริมาณการแตกหักของข้าวระหว่างการสีข้าว เพิ่มสารอาหารของเมล็ดข้าว ยืดอายุการเก็บรักษาข้าว รวมไปถึงปรับปรุงคุณภาพของข้าวและรักษาความคงตัวของรำข้าว งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการปรับปรุงขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง เพื่อให้ได้เทคนิคการทำแห้งข้าวหนึ่งที่ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำแห้งลดลง คุณภาพของข้าวหนึ่งและรำข้าวดีขึ้น

การอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรด (IR) นั้น เป็นการให้ความร้อนแบบแผ่รังสี รังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลางได้ ขณะที่การอบแห้งแบบลมร้อน (HA) เป็นกลไกการพาความร้อนต้องอาศัยอากาศเป็นตัวกลางและจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังผิวของวัสดุเท่านั้น อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนโดยอินฟราเรด วัสดุจะได้รับรังสีที่ทะลุลงไปในเนื้อวัสดุในระดับหนึ่งซึ่งรังสีสามารถทะลุลงไปได้เท่านั้นโดยขึ้นอยู่กับความลึกในการทะลุ (Penetration depth) ซึ่งหมายความว่ายังต้องใช้เวลาสำหรับการปล่อยให้ความร้อนในวัสดุเกิดการนำความร้อนไปจนทั่วทั้งวัสดุแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาคือการใช้ระบบสั่นของถาดอบแห้งมาช่วยในการพลิกกลับไปมาของวัสดุเพื่อให้ได้รับรังสีอินฟราเรดอย่างทั่วถึง

Pan et al. (2008) การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด สามารถที่จะให้ความร้อนที่สม่ำเสมอและยังสามารถปรับระดับอุณหภูมิระหว่างการการอบแห้งได้อีกด้วยนอกจากนี้ยังสามารถทำให้ข้าวได้รับความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ยิ่งให้อุณหภูมิสูงยิ่งใช้ระยะเวลาสั้น ข้อดีของการอบแห้งข้าวโดยการใช้อินฟราเรด จะทำให้รำข้าวไม่เสียคุณภาพมากนัก โดยรังสีอินฟราเรดจะใช้โดยการให้พลังงานรังสีความร้อน จากการศึกษาอย่างต่อเนื่องได้ยืนยันว่าการให้ความร้อนแบบอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 hr และปล่อยให้เย็นตัวลงจะพบว่ารังสีอินฟราเรดสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพและฆ่าเชื้อโรคได้โดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพสีของข้าว อีกทั้งยังมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน

ดังนั้นการอบแห้งแบบ IR จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพทำให้รำข้าวมีเสถียรภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของรำข้าวได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนการอบแห้งข้าวหนึ่งไปพร้อมกับการรักษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลของคุณภาพข้าวหนึ่งที่ผ่านการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบตสัน (VIR) ได้ผลของคุณภาพรำข้าวที่ได้จากข้าวหนึ่ง และความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบคุณภาพและความคงตัวของรำข้าวกับรำข้าวจากข้าวปกติและข้าวหนึ่งที่อบแห้งแบบ HA ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้ง สร้างแบบจำลองการอบแห้ง และวิเคราะห์คุณภาพของข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR โดยมีการอบแห้งแบบ IR และ HA เปรียบเทียบ

1.2.3 เพื่อศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR และเปรียบเทียบกับ ข้าวปกติ HA และ IR

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 กระบวนการอบแห้งทุกกระบวนการทำในเครื่องอบแห้งแบบ VIR ระดับห้องปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

1.3.2 ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองคือ ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้กระบวนการทำข้าวหนึ่งรูปแบบใหม่ที่สามารถลดเวลาของกระบวนการแต่ไม่ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวหนึ่ง

1.4.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง

1.4.3 คุณภาพของข้าวหนึ่งจากกระบวนการอบแห้ง VIR ที่ปรับปรุงขึ้นจากคุณภาพของข้าวหนึ่งจากกระบวนการปกติ

1.4.4 ความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่งจากกระบวนการอบแห้ง VIR ที่ดีกว่าความคงตัวของรำข้าวปกติ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง
- 1.5.3 การศึกษาลักษณะการอบแห้ง สร้างแบบจำลองการอบแห้ง และวิเคราะห์คุณภาพของข้าวหนึ่งผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR โดยมีการอบแห้งแบบ IR และ HA เปรียบเทียบ
- 1.5.4 การศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่งผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR และเปรียบเทียบกับ ข้าวปกติ HA และ IR

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอนดำเนินงาน	ปี/เดือน						
	พ.ศ. 2560					พ.ศ. 2561	
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					
2. ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง			<input type="radio"/>				
3. ศึกษาลักษณะการอบแห้ง สร้างแบบจำลองการอบแห้ง และวิเคราะห์คุณภาพของข้าวหนึ่งผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR โดยมีการอบแห้งแบบ IR และ HA เปรียบเทียบ			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
4. ศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่งผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR และเปรียบเทียบกับ ข้าวปกติ HA และ IR				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
5. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และเขียนรายงาน						<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวึ่ง (Parboiled rice)

2.1.1 ลักษณะและสมบัติของข้าวึ่ง

ข้าวึ่ง (parboiled rice) มีลักษณะเป็นเมล็ดใสสีออกไปทางเหลืองอ่อนหรือน้ำตาลอ่อน มีรูปร่างเป็นเมล็ดเหมือนข้าวปกติ แต่จะมีแร่ธาตุและสารอาหารที่มากกว่าเนื่องจากการดูดซึมน้ำในขั้นตอนการแช่ข้าวซึ่งจะทำให้เป็นที่มาในการเกิดสีที่ข้าวึ่ง และการนึ่งจะเกิดเจลาตินในเซชันทำให้ข้าวจับตัวกัน และไม่มีช่องว่างในเมล็ดข้าวทำให้ไม่มีท้องไขรวมถึงเมื่อสีข้าวจะได้อุณหภูมิเต็มเมล็ด และข้าวหักน้อย

2.1.2 กระบวนการผลิตข้าวึ่ง

กระบวนการข้าวึ่งมี 3 ขั้นตอนคือ

1. การแช่ข้าวเปลือก (Soaking) ทำให้น้ำซึมผ่านผิวเปลือกแข็งเข้าสู่เนื้อในเมล็ด โดยมีเม็ดสตาร์ช (Starch granule) ดูดซึมน้ำและพองตัวขึ้น การใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ระยะเวลาการแช่ข้าวสั้นลง เนื่องจากช่วยเร่งอัตราการดูดซึมน้ำ แต่น้ำแช่ต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินในเซชัน (Gelatinization temperature) ของเม็ดสตาร์ชเพื่อไม่ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวปริแตกและทำให้สารต่างๆ ที่อยู่ในเมล็ดข้าวละลายลงสู่น้ำที่แช่ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่แช่ข้าวอยู่ที่ 60-70 °C และระยะเวลาการแช่อยู่ในช่วง 3-5 hr โดยให้ข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณร้อยละ 30-40 ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวสามารถเจลาตินในเซชันได้ สมบูรณ์ในขณะนึ่ง

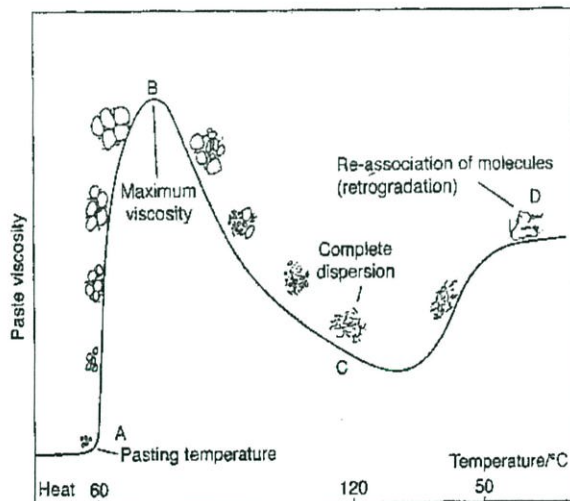
2. การนึ่ง (Steaming) เพื่อให้สตาร์ชในข้าวเปลือกเจลาตินในเซชันด้วยไอน้ำร้อน ส่วนใหญ่ อุณหภูมิไอน้ำร้อนของระบบมักสูงกว่าอุณหภูมิเจลาตินในเซชัน ซึ่งต้องควบคุมระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพียงพอ ที่ทำให้สตาร์ชเจลาตินในเซชันอย่างสมบูรณ์ ถ้าสตาร์ชเกิดเจลาตินในเซชันไม่สมบูรณ์ ลักษณะข้าวสารนึ่งที่ได้จะมีสีขาวขุ่นที่ใจกลางของเมล็ดข้าวึ่ง และเมื่อนำมาหุงให้สุกจะใช้เวลานานการนึ่งช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตหลังการขัดสี เนื่องจากสตาร์ชที่เจลาตินในเซชันกระจายตัวและมีโปรตีนแทรกตัวอยู่เกาะกันแน่น และแทนที่ช่องว่างรอบๆ ในเมล็ดข้าวเป็นผลให้เกิดการแยกจากกันน้อยลง นอกจากนี้สารอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น วิตามิน เกลือแร่ น้ำตาลรีดิวซ์ รวมทั้งเม็ดสีจากส่วนเปลือกและเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอกสามารถซึมเข้าสู่เนื้อในเมล็ดได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การนึ่งนี้ยังทำให้ รา สปอร์ ไข่แมลงและตัวอ่อนถูกทำลาย ถือเป็น การสเทอร์ริไลเซชัน (Sterilization) ข้าวเปลือกทางหนึ่งด้วยส่วนไขมันซึ่งไม่สามารถแพร่ผ่านผนังเซลล์ได้จึงแยกออกจากเมล็ดไปสู่เยื่อหุ้มเมล็ดเป็นผลให้ข้าวมีปริมาณไขมันสูง

3. การทำแห้ง (Drying) โดยนำไปตากแดดธรรมดา หรือผ่านเครื่องอบแห้งเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือก ให้เหลือร้อยละ 12-13 ซึ่งเหมาะสมต่อการเก็บรักษา และให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหลังการสีมากที่สุด ข้าวที่ผ่านการนึ่งแล้วมีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 45-50 และเนื้อสัมผัสเกาะตัวกันแน่นทำ

ให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 100 °C ในการทำแห้งระยะแรกจนข้าวเปลือกหนึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 12-13 แล้วจึงหยุดพักการให้ความร้อนประมาณ 2-48 hr เพื่อทำให้เกิดการปรับสภาพความชื้นภายในเมล็ดไม่ให้ข้าวสารหนึ่งเกิดการแตกร้าหากทำแห้งเมล็ดข้าวมากเกินไปเมื่อนำไปหุงสุก รูปร่างของเมล็ดข้าวสุกจะบานแตก หรือหักเป็นชิ้นเล็กๆการเปลี่ยนแปลงอีกอย่างหนึ่ง คือ การเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวหนึ่ง เกิดเมื่อเก็บรักษาข้าวไว้นานๆหรือเกิดในขั้นตอนการทำแห้ง ซึ่งส่งผลต่อความแข็ง คุณภาพการขัดสี อัตราเร็วการหุงสุก การละลายของสตาร์ช ความหนืด เป็นต้น ซึ่งข้าวหนึ่งที่มีคุณภาพการผลิตที่ดีควรมีสีเหลืองอ่อน หรือน้ำตาลอ่อน ลักษณะเมล็ดใส แกร่ง ไม่มีท้องไข ขนาดรูปร่างเมล็ด เหมือนข้าวปกติ เมื่อหุงสุกแล้วควรมีกลิ่นน้อยที่สุด เมล็ดร่วนไม่ติดกัน

2.1.3 เจลาติไนเซชันและรีโทรเกรเดชัน

2.1.3.1 เจลาติไนเซชัน (gelatinization) คือปรากฏการณ์ของน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโมเลกุลของเม็ดแป้ง (starch granule) เนื่องจากความร้อนทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้ง สายพอลิเมอร์ของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ที่อัดแน่นอยู่ในเม็ดแป้งจะคลายตัวและรวมกับน้ำที่ล้อมรอบส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏ เม็ดแป้งพองตัว และความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิที่สตาร์ชเริ่มเกิดเจลาติไนเซชัน เรียกว่า gelatinization temperature หรือ pasting

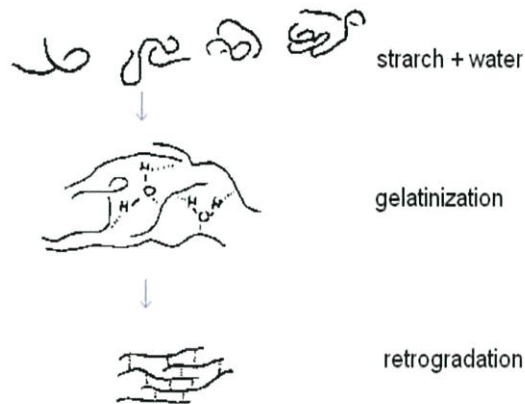


รูปที่ 2.1 เจลาติไนเซชัน

ที่มา : www.foodnetworksolution.com

temperature อยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 60-70 °C ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ช่วงนี้เม็ดแป้งยังคงมีสภาพอยู่ได้โดยไม่แตกออกเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นและความหนืดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะของน้ำแป้งข้น (starch paste) ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวสูงสุด และให้ความหนืดสูงสุด (maximum viscosity) จากนั้นเม็ดแป้งจะแตกถึงจุดสูงสุด ซึ่งไม่สามารถคืนสภาพได้ หรือมีการกวนอย่างรุนแรงจนเม็ดแป้งแตกออก

2.1.3.2 รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวของสตาร์ช (starch) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนำสตาร์ช ที่ผ่านเจลาติไนเซชัน (gelatinization) มา แล้วปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของอะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพกทิน (amylopectin) ซึ่งเคยรวมตัวกับน้ำแล้วเกิดเป็นเจลจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กัน โมเลกุลน้ำตาลกลูโคสในสายจะมาเชื่อมต่อกันเองใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน และขั้วน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุล เรียกว่า syneresis ทำให้เกิดเป็นผลึกใหม่



รูปที่ 2.2 รีโทรเกรเดชัน

ที่มา : www.foodnetworksolution.com

ตัวอย่างของการเกิดรีโทรเกรเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น อาหารพวกแป้งที่ผ่านการทำให้สุก (cooking) ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น หุงต้ม นึ่ง (steaming) อบ (baking) ได้แก่ ข้าวสวย ก๋วยเตี๋ยว ขนมปัง หลังจากสุก เมื่อปล่อยให้ตั้งทิ้งไว้ จะเกิดรีโทรเกรเดชันขึ้นช้าๆ และเพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลานานขึ้นจะเกิดเป็นผลึกแข็ง ทำอาหารมีลักษณะแห้งแข็งขึ้น

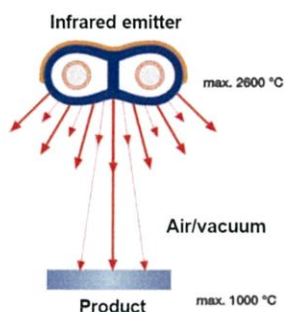
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน

สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินในสตาร์ช เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลส (amylose) ซึ่งเป็นเส้นตรง มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าโมเลกุลของอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลมีลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขา เกกะ ขัดขวางการเคลื่อนที่กลับมารวมกันใหม่ของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส อุณหภูมิ การเก็บรักษาสตาร์ช ที่ทำให้เกิดเจลาติไนซ์ (gelatinization) แล้วที่อุณหภูมิต่ำ เช่น เก็บรักษาแบบแช่เย็น (cold storage) หรือแช่เยือกแข็ง (freezing) จะเร่งทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วขึ้น สภาวะและส่วนผสม ได้แก่ อุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน ปริมาณน้ำที่ใช้ และส่วนผสมอื่นเช่น ไขมัน โปรตีน เกลือ น้ำตาล กรด และวัตถุเจือปนอาหาร สตาร์ชดัดแปร (modified starch) โมเลกุลของสตาร์ชธรรมชาติ (native starch) อาจถูกดัดแปร เพื่อลดการเกิดรีโทรเกรเดชัน เพื่อให้ได้สตาร์ชที่มีสมบัติเหมาะสมกับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น อาหารแช่เย็น อาหารแช่เยือกแข็ง

2.2 รังสีอินฟราเรดและการใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งวัสดุ

2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้งโดยใช้รังสีความร้อนอินฟราเรด

การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดอาศัยหลักการการถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่คลื่นอินฟราเรด ($f = 400 \text{ THz} - 300 \text{ GHz}$) เมื่อคลื่นรังสีอินฟราเรดกระทบกับชิ้นวัสดุพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับและกลายเป็นพลังงานความร้อนในวัสดุ



รูปที่ 2.3 การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด

ที่มา : www.siamchemi.com

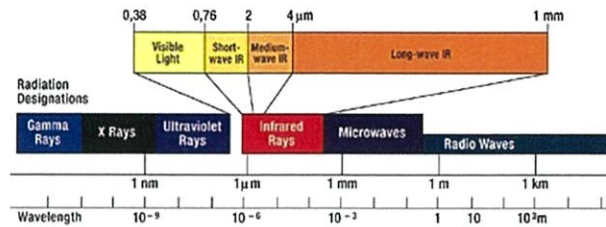
ตัวปล่อยคลื่นรังสีอินฟราเรดทำจากวัสดุได้แก่ คิวทซ์ ทังสเตน โลหะผสม เซรามิก ซึ่งเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปวัสดุเหล่านี้จะปล่อยคลื่นในย่านความถี่รังสีอินฟราเรด (ความยาวคลื่น $0.76 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$)



รูปที่ 2.4 ตัวปล่อยคลื่นรังสีอินฟราเรด

ที่มา : www.siamchemi.com

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (Infrared wavelength) การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดสามารถออกแบบให้มีการให้ความร้อนตามลักษณะการใช้งานที่ต่างกันได้โดยการใช้รังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นต่างกันดังนี้



รูปที่ 2.5 ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด

ที่มา : www.siamchemi.com

ประเภทของรังสีอินฟราเรดจะแบ่งได้ตามความยาวคลื่นซึ่งการดูดซับรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นซึ่งจะมีทั้งหมด 3 ประเภท

1. รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infra-red หรือ NIR)

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ มีความยาวคลื่นในช่วง 0.78 – 1.4 μm สามารถให้อุณหภูมิใช้งานในช่วง 500 – 2,200 $^{\circ}\text{C}$ ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่สูง สามารถให้ความร้อนได้สูง ความร้อนผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึก และรวดเร็ว

2. รังสีอินฟราเรดย่านกลาง (Middle Infra-red หรือ mid-IR)

รังสีอินฟราเรดย่านกลาง มีความยาวคลื่นในช่วง 1.4 – 3 μm สามารถให้อุณหภูมิใช้งานในช่วง 500 – 950 $^{\circ}\text{C}$ สามารถให้ความร้อนได้ปานกลาง และผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกปานกลาง

3. รังสีอินฟราเรดย่านไกล (Far Infra-red หรือ FIR)

รังสีอินฟราเรดย่านไกล มีความยาวคลื่นในช่วง 3 – 1000 μm สามารถให้อุณหภูมิใช้งานในช่วง 300 – 700 $^{\circ}\text{C}$ ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ต่ำ ความร้อนผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ไม่ลึก เหมาะสำหรับใช้งานประเภทที่ต้องการความร้อนต่ำ และจำกัดบริเวณพื้นผิว

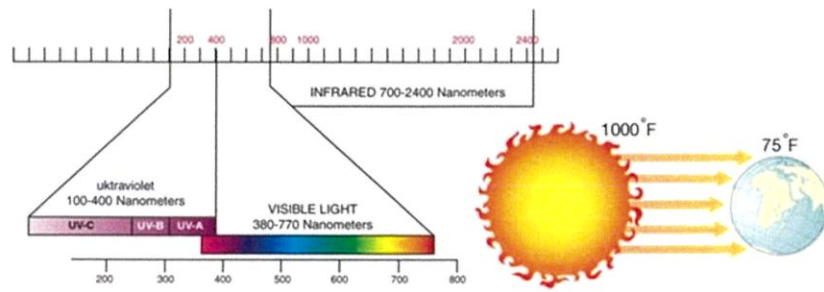
การเกิดความร้อนในวัสดุ (Heating effect)

ความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการดูดซับรังสีอินฟราเรดของวัสดุ ดังนั้นวัสดุเหมาะกับการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดจะต้องมีคุณสมบัติดูดซับรังสีอินฟราเรดได้ดีและไม่มีลักษณะผิวมันวาวสะท้อนแสงซึ่งจะทำให้รังสีส่วนใหญ่ถูกสะท้อนออกและทำให้ประสิทธิภาพการให้ความร้อนต่ำ

2.2.2 แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด

2.2.2.1 ดวงอาทิตย์

รังสีอินฟราเรดที่แผ่จากดวงอาทิตย์มาถึงโลกจะมีความยาวคลื่นในช่วง 0.78-1000 μm โดยมีบางส่วนถูกสะท้อนออกนอกโลก บางส่วนที่ทะลุผ่านเข้าชั้นบรรยากาศจะถูกดูดกลืน (absorption) และกระเจิงออก (scattering) ด้วยอนุภาคก๊าซชนิดต่างๆในชั้นบรรยากาศ โดยมีไอน้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอนุภาคสารที่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดไว้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีผลทำให้บรรยากาศของโลกมีความอบอุ่นขึ้น ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดสามารถวัดได้ด้วยเครื่อง Pyranometer มีหน่วยเป็น W/m^2



รูปที่ 2.6 ช่วงความยาวคลื่น

ที่มา : www.siamchemi.com

2.2.2.2 วัสดุที่มีความร้อน

วัตถุนโลกทุกชนิดที่มีอุณหภูมิในช่วง -200 ถึง 4,000 °C จะสามารถปล่อยรังสีอินฟราเรดได้

2.2.3 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (IR)

การอบแห้งด้วย IR นำมาใช้เพื่อผลิตผลทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น เมล็ดธัญพืช ข้าวเปลือก ถั่วลิสง และเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เหมาะสมในการใช้งานกับวัสดุที่มีความชื้นไม่สูงมากการอบแห้งแบบ IR อาจใช้ร่วมกับการให้ความร้อนแบบอื่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง

2.2.3.1 ข้อดีของการใช้รังสีอินฟราเรดเพื่ออบแห้งอาหาร

1. เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถแผ่ทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่น และเกิดความร้อนซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในเนื้อวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ส่งผลให้ผิวภายนอกของวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวยุบ และได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง
2. รังสีอินฟราเรดยังให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงาน และลดระยะเวลาในการอบแห้ง

2.2.4 การใช้ระบบสั่นร่วมในการอบแห้งด้วย IR

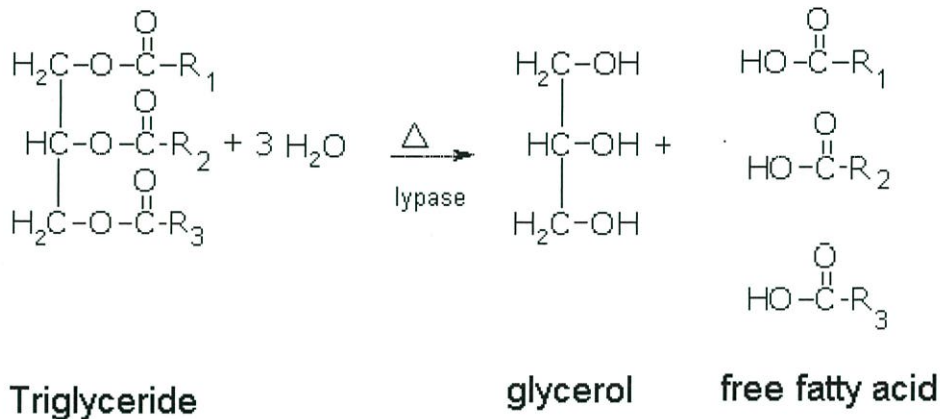
Das et al. (2004) รูปแบบชุดการสั่นที่ใช้เพื่อช่วยในการอบแห้งแบบอินฟราเรดได้รับการรับการพัฒนาศึกษาลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกความชื้นสูงทั้ง 3 โดยใช้น้ำหนักอย่างละ 0.8 kg (อัตราส่วนความชื้นของแต่ละอย่าง (μ) ที่ ADT-37=2.70, Shankar=4.48, Basmati=5.77) ภายใต้ช่วงที่เหมาะสม ที่ความเข้มของการแผ่รังสี 3100 และ 4290 W/m² และความลึกฐาน (2 และ 16 mm) จะพบว่าอัตราการอบแห้งอยู่ในระดับความเข้มข้นของรังสี ระยะเวลาการอบแห้งทั้ง 2 ครั้งคือช่วงเริ่มให้ความร้อนกับช่วงลดความร้อน การอบแห้งเกือบทั้งหมดนั้นจะเกิดในช่วงการลดความร้อน จากอัตราการอบแห้งจะบอกได้ว่าความลึกฐานไม่มีผลสำหรับความเข้มของรังสี

2.3 กรดไขมันอิสระในรำข้าว

2.3.1 คำจำกัดความของ free fatty acids (FFAs) หรือกรดไขมันอิสระ

กรดไขมันอิสระ หมายถึงกรดไขมัน ที่ไม่ได้รวมอยู่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)

2.3.2 ทฤษฎีการเกิดกรดไขมันอิสระ สมการเคมี และโครงสร้าง



รูปที่ 2.7 สมการเคมี และ โครงสร้างการเกิดกรดไขมันอิสระ

ที่มา : www.foodnetworksolution.com

โดยทั่วไปการใช้ประโยชน์ของรำข้าวเป็นสิ่งที่ถูกจำกัด โดยกิจกรรมของเอนไซม์ภายใน เช่น ไลเปส ซึ่งสามารถย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ ให้เกิดเป็น กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ เมื่อข้าวถูกบดรำข้าวจะถูกย่อยสลายและไลเปสจะถูกสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดการเกิดออกซิเดชันซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพน้ำมันลดลงและเกิดกลิ่นผิดปกติ โดยใช้เวลาเพียงไม่ถึง 1 สัปดาห์ในการทำให้กรดไขมันอิสระในน้ำมันมีปริมาณเกิน 10% เมื่อเป็นเช่นนั้นน้ำมันรำข้าวจะไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์อีกต่อไปเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากรำข้าวได้ดียิ่งขึ้นต้องรีบสกัดน้ำมันอย่างรวดเร็วหลังจากกระบวนการโม่แป้งเพื่อควบคุมกรดไขมันอิสระให้อยู่ในระดับต่ำ

ดังนั้นรำข้าวจะผ่านกระบวนการเสถียรภาพในการยับยั้งเอนไซม์ไลเปสที่มีศักยภาพทันทีหลังจากที่ใช้สีเพื่อยืดเวลาในการเก็บรักษา และเพื่อควบคุมความเข้มข้นของ กรดไขมันอิสระในระดับต่ำ (น้อยกว่า 10%) ก่อนการสกัดน้ำมัน

การเกิดกรดไขมันอิสระในอาหารเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันพืช ไขมันและน้ำมันทอดซ้ำ รวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง ปริมาณกรดไขมันอิสระ เป็นต้นเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียอาหาร คือการเกิดกลิ่นผิดปกติ ที่เรียกว่า กลิ่นหืน และทำให้ค่าความเป็นกรด (acid value, AV) ของน้ำมันสูงขึ้น

กรดไขมันอิสระ ที่เป็นกรดไขมันที่มีสายสั้น (short chain fatty acid) เช่น กรดบิวไทริก ตัวมันเองมีกลิ่นเมื่อหลุดออกมาเป็นโมเลกุลอิสระทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในอาหาร นอกจากนี้ กรดไขมันอิสระประเภทกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นสาเหตุเบื้องต้นของการเกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาถูกโซ่ที่ทำให้การเหม็นหืนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

2.3.3 กรรมวิธีการหยุดกระบวนการเกิดกรดไขมันอิสระ

การรักษาเสถียรภาพของรำข้าวมีด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น วิธีการทางเคมี, การอัดขึ้นรูป และการอบไมโครเวฟ โดยวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมข้าวคือการอัดขึ้นรูป

2.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

2.2.4.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. แอลกอฮอล์ (Ethanol 95 %)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1N เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 4 g ละลายในน้ำกลั่นปรับ ปริมาตรให้ได้ 1 L เก็บสารละลายต่างในขวดแก้ว
3. ฟีนอล์ฟทาลีน เข้มข้นร้อยละ 1 (ละลายในแอลกอฮอล์)

2.2.4.2 วิธีการวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระแบบคร่าวๆ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันรำข้าวให้ได้น้ำหนักแน่นอน ตามความต้องการโดยประมาณ 1-10 g ในขวดชมพูขนาด 250 ml
2. เตรียมสารละลายแอลกอฮอล์ Ethanol (ปรับสภาพให้เป็นกลาง) โดยเติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด และ โพรเพน 25 ml
3. เตรียมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.56 g ต่อน้ำกลั่น 100 ml
4. ไตเตรทสารละลายตัวอย่าง จนกระทั่งถึงจุดยุติจะได้สีชมพูถาวร
5. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระจากสูตร

$$\% \text{ FFA} = (\text{ปริมาตรต่างที่ใช้ (ml)} \times \text{ความเข้มข้นต่าง (N)} \times 25.6) / \text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}$$

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การทดลองอบแห้งข้าวเปลือกและศึกษาความคงตัวของรำข้าวโดยใช้การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด

Wang et al. (2017) ทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกและศึกษาความคงตัวของรำข้าวโดยใช้การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด จนวัสดุมีอุณหภูมิ 60 °C พบว่ารังสีอินฟราเรดไม่ส่งผลเชิงลบต่อคุณภาพการสีข้าว แต่สามารถยืดอายุความคงตัวของรำข้าวได้เป็น 38 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการซึ่งมีอายุเพียงแค่ 7 วัน

2.4.2 ผลของการนึ่งข้าวต่อสมบัติการทำงานของสารสกัดเอนไซม์จากรำข้าว

Maria et al. (2016) ได้ทำการศึกษาการนึ่งข้าวโดยการสกัดเอนไซม์ในรำข้าว 2 แบบ คือรำข้าวของรำข้าวปกติกับรำข้าวของข้าวที่นึ่งและนำองค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระมาเปรียบเทียบกัน พบว่าที่องค์ประกอบเคมี ข้าวที่นึ่งมีคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าและมีน้ำมัน

มากกว่าข้าวปกติ แต่ไม่มีความแตกต่างทางโปรตีนส่วนองค์ประกอบทางชีวภาพ ข้าวทั้ง 2 แบบ อุดมไปด้วย phytosterols, tocopherols, tocotrienols, และ gamma oryzanol อย่างไรก็ตาม ข้าวหนึ่งมี tocols และ phytosterols มากกว่า ในขณะที่ข้าวไม่หนึ่งมี hydrophilic phenols เป็นองค์ประกอบมากที่สุด ทางด้านความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า ข้าวไม่หนึ่งมีความสามารถในการป้องกันการออกซิเดชันของไขมันและโปรตีนมากกว่าข้าวหนึ่ง จึงสรุปได้ว่า การปรับสภาพโดยการนึ่งข้าวสามารถเปลี่ยนองค์ประกอบทางชีวภาพของข้าวได้

2.4.3 การรักษาเสถียรภาพของรำข้าวโดยใช้ไมโครเวฟ: การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการและการเก็บรักษา

Patil et al. (2016) ได้ทำการศึกษากระบวนการทำให้รำข้าวคงตัวและการเก็บรักษา การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความคงตัวของรำข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกสดที่สีจาก PB-1121 โดยดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอนเพื่อให้เข้าใจถึงผลของพลังงานไมโครเวฟ ซึ่งจะใช้พลังงานไมโครเวฟหลากหลาย (2, 4 และ 6 W/g) และมีระยะเวลาต่างๆ (1, 3 และ 5 min) ในการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในระหว่างการเก็บรักษาระยะสั้นเพื่อให้มีการเตรียมการรักษาที่เหมาะสมสำหรับการจะรักษาความคงตัวของรำข้าวไว้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3 เดือน ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระ มีนัยสำคัญกับการบ่งชี้การทำงานของเอนไซม์ไลเปส ($p < 0.05$) ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ 4 W/g + 5 min เป็นตัวเลือกที่ปรับปรุงความคงตัวของรำข้าวได้ดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างรำข้าวที่เป็นรำข้าวหนึ่งโดยวิธีทั่วไป (Sela) กับรำข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้คงตัวด้วยไมโครเวฟ พบว่า รำข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้เกิดความคงตัวด้วยไมโครเวฟสามารถเก็บรักษาได้ถึง 3 เดือน โดยที่ไม่มีการสูญเสียคุณภาพทางสารอาหาร และมีคุณภาพน้ำมันสูง (FFA – 3%, PV – 7.63 meq/kg, TBA – 0.071 mg MDA/kg) และปริมาณน้ำมันจากรำข้าวของข้าวหนึ่งทั่วไป (23%) มีมากกว่าในรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยกระบวนการไมโครเวฟ (21%)

บทที่ 3

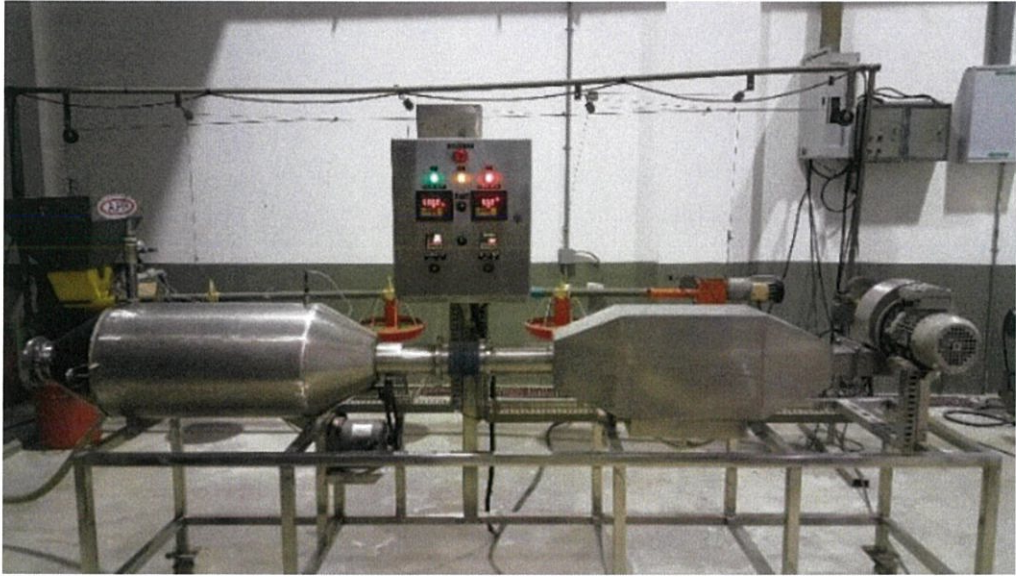
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 ตัวอย่างทดลอง

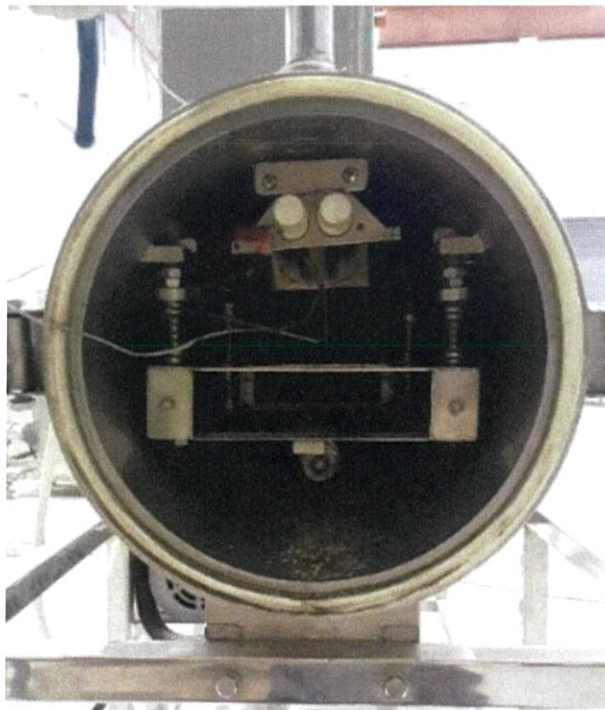
ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จาก จ.สุรินทร์ ในการเก็บรักษาเพื่อนำมาทดลองแบ่งตัวอย่างข้าวเปลือกใส่ในถุงซิปล็อค (polyethylene zip bags) ถุงละ 3 kg และเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C ก่อนการทดลอง จึงนำตัวอย่างออกมาไว้ในอุณหภูมิห้อง

3.2 เครื่องอบแห้งสำหรับการทดลอง

เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่น ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด ส่วนเบดพร้อมระบบสั่นสะเทือน ส่วนให้ความร้อนด้วยลมร้อน และระบบควบคุม ห้องอบแห้งทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมทรงกระบอกสองชั้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 cm ความยาว 60 cm (รูปที่ 3.1) ส่วนที่ให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดประกอบด้วยหลอดอินฟราเรดสองดวงขนาด 800 W ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านบนของห้องอบแห้ง โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 750 °C ที่ความยาวคลื่นสูงสุดเท่ากับ 3.1 mm เมื่อกำหนดให้วัตถุรับรังสีเป็นวัตถุผิวดำ ฝาครอบอลูมิเนียมถูกวางไว้ที่ด้านบนของหลอดอินฟราเรดเพื่อเป็นตัวสะท้อนรังสีอินฟราเรด ระยะห่างระหว่างตัวให้ความร้อนและถาดอบแห้งถูกกำหนดไว้ที่ 20 cm (รูปที่ 3.2) ถาดอบแห้งทำจากสแตนเลสแบบเจาะรู มีขนาด 40 x 20 x 5 cm³ ติดตั้งอยู่เหนือระบบสั่นสะเทือน ระบบสั่นสะเทือนทำงานโดยใช้มอเตอร์ขนาดเล็กติดตั้งร่วมกับเพลาลูกเบี้ยวเพื่อส่งผ่านการสั่นสะเทือนไปยังถาดอบแห้ง แพลตฟอรม์การสั่นสะเทือนของถาดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้เกิดขึ้นจากการติดตั้งขดสปริงแปดจุดทั้งด้านบนและด้านล่าง ซึ่งทำให้แพลตฟอรม์สั่นสะเทือนที่ได้เป็นลักษณะการสั่นในแนวตั้ง ส่วนการให้ความร้อนแบบลมร้อนใช้ตัวทำความร้อนแบบครีบ และในส่วนระบบควบคุมอากาศใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยงที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.5 kW เพื่อช่วยระบายอากาศในกรณีที่ไม่ต้องการระบบสูญญากาศ



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งสำหรับการทดลอง



รูปที่ 3.2 ภายในห้องอบแห้ง

3.3 แผนการทดลอง

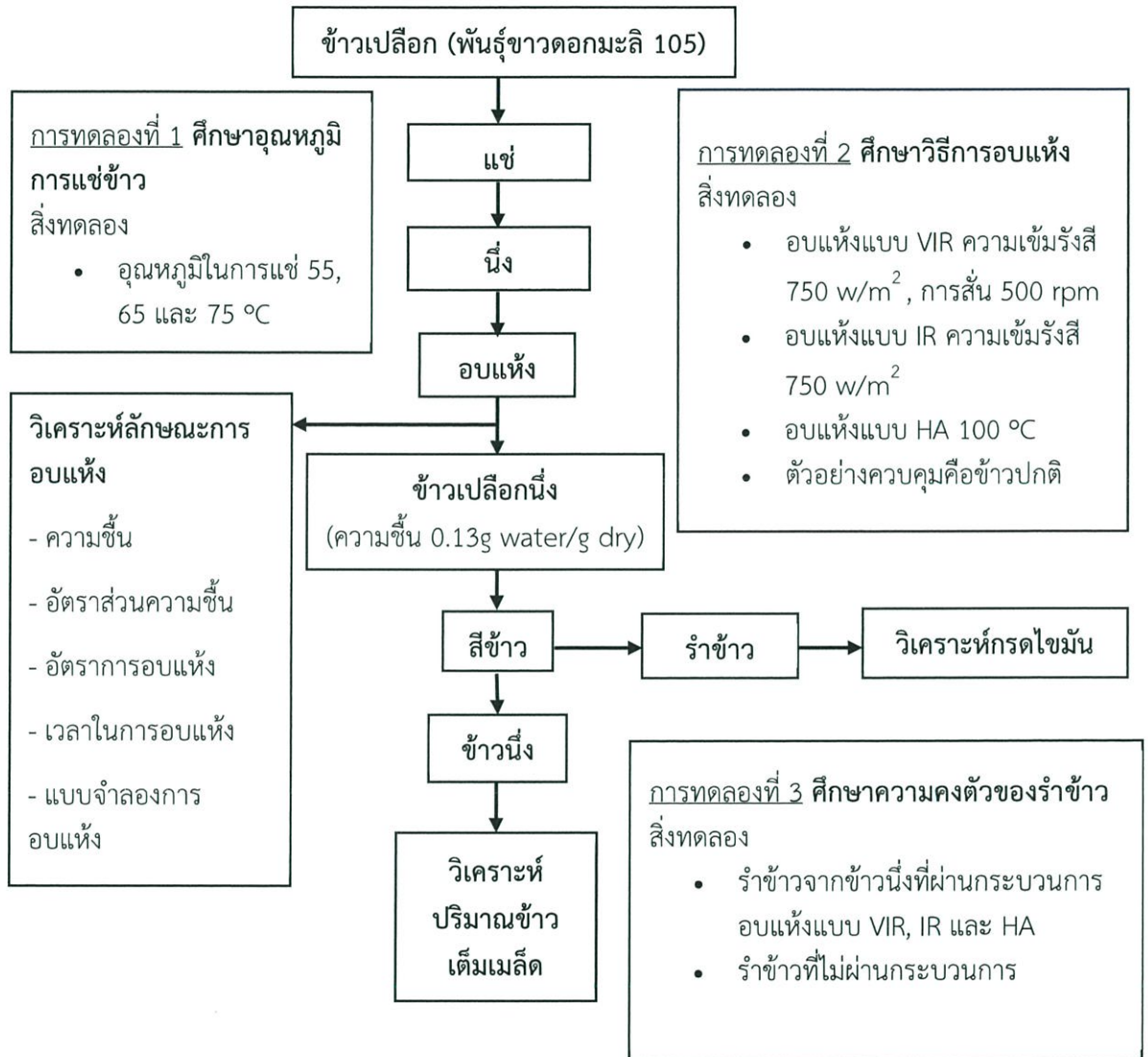
งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ 1. การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง 2. การศึกษาลักษณะการอบแห้ง การสร้างแบบจำลอง และวิเคราะห์คุณภาพของข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR โดยมีการอบแห้ง IR และ HA เปรียบเทียบ และ 3. การศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแบบการอบแห้งแบบ VIR และเปรียบเทียบกับ ข้าวปกติ IR และ HA รายละเอียดของแผนการทดลองในแต่ละหัวข้อมีดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งประกอบด้วย 1.การแช่ 2.การนึ่ง และ 3.การอบแห้ง งานวิจัยนี้ทดลองศึกษาอุณหภูมิในการแช่ 3 ระดับ ได้แก่ 55, 65 และ 75 °C เพื่อวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อปริมาณข้าวเต็มเมล็ดซึ่งเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกมีการศึกษาโดยกำหนดเกณฑ์ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการแช่ข้าวเปลือกคือ 0.45 g water/g dry matter (ศูนย์ทดสอบและมาตรฐานวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)) ในระหว่างการแช่ข้าวเปลือก มีการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกตามเวลาในการแช่ข้าวเปลือกด้วย และในขั้นตอนการนึ่งมีการดำเนินการเป็นเวลา 20 min ในหม้อนึ่ง และขั้นตอนการอบแห้งใช้วิธีการอบแห้งแบบ HA ในตู้อบลมร้อน (UF160, memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วลม 1 m/s จนได้ความชื้นสุดท้ายของข้าวหนึ่งเป็น 0.13 g water/g dry matter ในการวิเคราะห์ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดนำตัวอย่างข้าวหนึ่งไปสีด้วยวิธีการที่แสดงในหัวข้อ 3.5 และคำนวณปริมาณข้าวเต็มเมล็ดด้วยวิธีการที่แสดงในหัวข้อ 3.7

การทดลองที่ 2 การศึกษาลักษณะการอบแห้งและคุณภาพของข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR โดยมี IR และ HA เปรียบเทียบ นำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการแช่และนึ่งอย่างเหมาะสมตามที่ได้ศึกษาในการทดลองที่ 1 มาอบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้ง 3 วิธี ได้แก่ การอบแห้งแบบ VIR, IR และ HA ในเครื่องอบแห้งสำหรับการทดลองที่อธิบายในหัวข้อ 3.2 ในการอบแห้งที่มีรังสีเป็นแหล่งความร้อน ใช้ความเข้มของรังสี 750 W/m² เมื่อมีเบตสัน ตั้งการสั่นเป็น 550 rpm ส่วนการอบแห้งแบบ HA ใช้อุณหภูมิการอบแห้ง 100 °C ทำการอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายของข้าวหนึ่ง 0.13 g water/g dry matter ในระหว่างการอบแห้งมีการศึกษาลักษณะการอบแห้งโดยเก็บข้อมูลความชื้น, อัตราการอบแห้ง และ อัตราส่วนความชื้น ซึ่งมีการแสดงวิธีการคำนวณดังหัวข้อ 3.6 ในการวิเคราะห์คุณภาพของข้าวหนึ่ง นำข้าวหนึ่งที่อบแห้งแล้วมาสี (หัวข้อ 3.5) และคำนวณหาปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (หัวข้อ 3.7)

การทดลองที่ 3 การศึกษาความคงตัวของรำข้าวจากข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแบบการอบแห้งแบบ VIR และเปรียบเทียบกับ ข้าวปกติ, IR และ HA เพื่อเปรียบเทียบความคงตัวของรำข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ นำรำข้าวมาสีและเก็บรำข้าวไว้ในกล่องบรรจุที่มีฝาปิด และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระทุกวันเพื่อเป็นตัวบ่งชี้ความคงตัวของรำข้าว วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของรำข้าวแสดงอยู่ในหัวข้อ 3.9 ในการทดลองนี้มีตัวอย่างรำข้าว

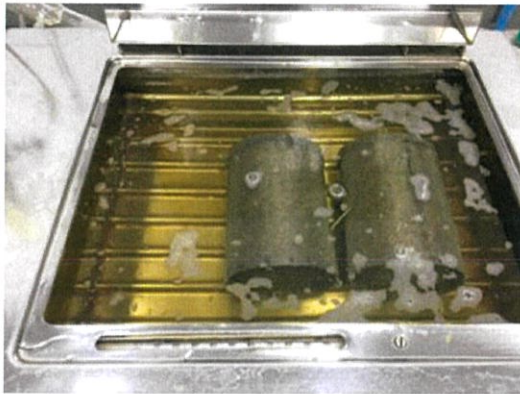
ที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบกับ แผนการทดลองโดยรวมของงานวิจัยนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนการทดลองในการศึกษานี้

3.4 ขั้นตอนการทำข้าวเหนียว

การแช่ นำข้าวเปลือกมาแช่ในน้ำให้มีความชื้น 45% เพื่อให้แบ่งอ่อนตัวลง น้ำที่แช่เป็นน้ำที่มีอุณหภูมิที่ 55 °C เป็นเวลา 260 min หลังจากนั้น นำข้าวเปลือกขึ้นจากขั้นตอนแรกมานึ่งให้สุกเป็นเวลา 20 min เพื่อให้สสารภายในเมล็ดเกิดการเจลาติไนซ์ เม็ดสสารขยายตัวสังเกตจากข้างนอกจะเห็นเปลือกเมล็ดข้าวปริออกเล็กน้อย หลังจากนั้นแล้วข้าวเปลือกจะถูกนำไปทำให้แห้งด้วยวิธีการอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายที่ $13 \pm 2\% \text{db}$



การแช่ข้าว



การนึ่งข้าว



การอบแห้ง

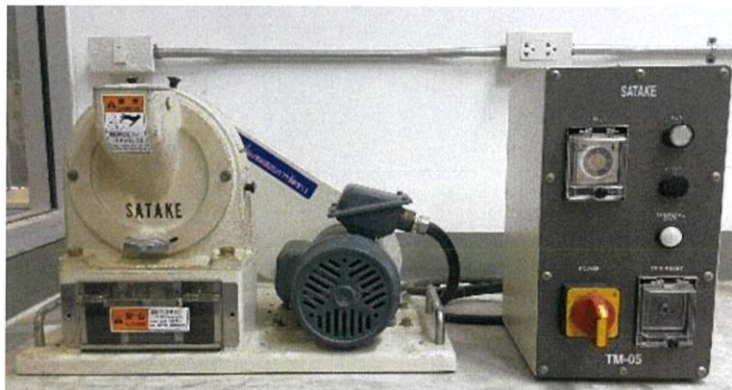
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำข้าวเหนียว

3.5 การสีข้าว

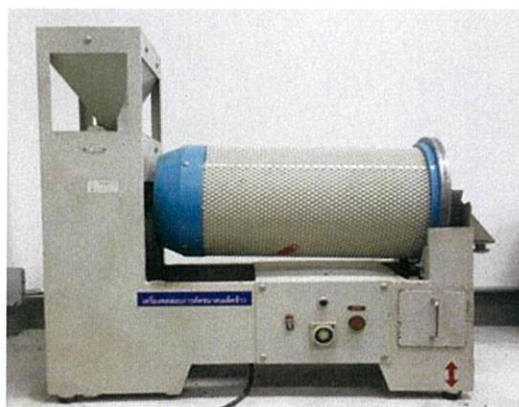
เป็นขั้นตอนการแปรรูปเบื้องต้นของข้าวเปลือกให้ได้เป็นข้าวสาร โดยหลักๆมี 3 กระบวนการ คือ 1.การกะเทาะเปลือก 2.การขัดขาว และ 3.การคัดความเต็มเมล็ด โดยในขั้นตอนการขัดขาวจะใช้เวลาประมาณ 3 min



กะเทาะเปลือก



ขัดขาว



คัดความเต็มเมล็ด

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการสีข้าว

3.6 การวิเคราะห์ลักษณะการอบแห้ง

นำตัวอย่างข้าวใส่ในกระป๋องอลูมิเนียมสำหรับวิเคราะห์ความชื้น (moisture can) ปิดฝาซึ่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักเป็นน้ำหนักตัวอย่างที่มีความชื้นแล้วนำ moisture can เปิดฝาและอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 hr แล้วจึงนำชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักตัวอย่างแห้งนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้น (moisture content, MC) , อัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR) , และอัตราการอบแห้ง (drying rate, DR) ตามสมการที่ 3.1 ถึง 3.3 ตามลำดับ

สำหรับปริมาณความชื้นสมดุล (M_e) ในการอบแห้งแบบ HA, IR และ VIR ทุกสภาวะ กำหนดให้ M_e มีค่าเป็น 0 g water/g dry matter

ปริมาณความชื้น (MC)

ความชื้นฐานแห้ง

$$\%MC_{db} = \frac{M_w - M_s}{M_s} \times 100 \quad 3.1$$

เมื่อ M_w = น้ำหนักตัวอย่างเปียก
 M_s = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง

อัตราส่วนความชื้น (MR)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad 3.2$$

เมื่อ M_t = ความชื้นของวัสดุ ณ เวลาใดๆ (g water/g dry matter)
 M_e = ความชื้นสมดุลของวัสดุ (g water/g dry matter)
 M_0 = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (g water/g dry matter)

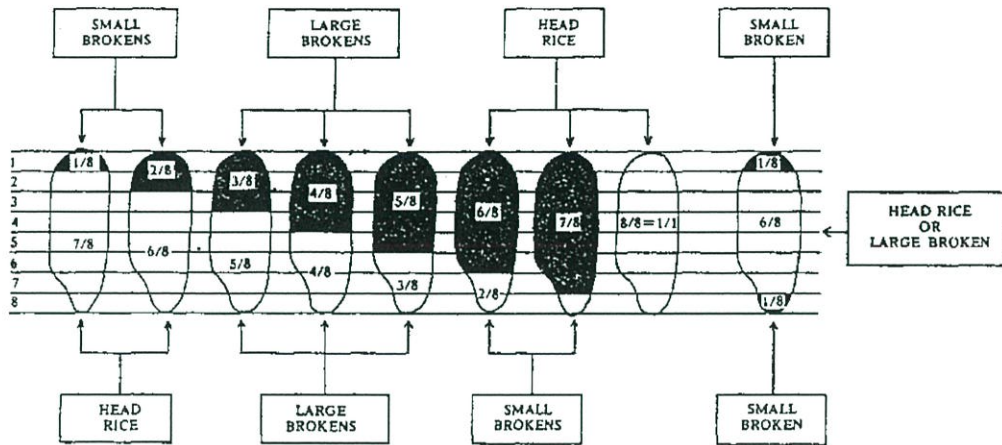
อัตราการอบแห้ง (DR)

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

เมื่อ M_{t+dt} = ความชื้นของวัสดุที่เวลา $t+dt$ (g water/g dry matter)
 M_t = ความชื้นของวัสดุที่เวลา t (g water/g dry matter)
 dt = ผลต่างระหว่างเวลาที่ทำการอบแห้งระหว่างความชื้น M_t ถึง M_{t+dt} (min)

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด

เป็นการวิเคราะห์ความเต็มเมล็ดของข้าวโดยข้าวที่มีความเต็มเมล็ดควรที่จะมีความยาว 6 ใน 8 ส่วน โดยเลือกใช้ข้าวเปลือกตัวอย่างเริ่มต้นที่ 250 g และนำไปชั่งน้ำหนักเมื่อผ่านขั้นตอนการสีข้าวและคัดขนาดข้าว เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณข้าวเต็มเมล็ดตามสมการที่ 3.4



รูปที่ 3.6 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด

ที่มา : www.fao.org

$$\text{ข้าวเต็มเมล็ด(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ด (g)}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก (g)}} \times 100 \quad 3.4$$

3.8 การสร้างแบบจำลองการอบแห้ง

นำข้อมูลอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาการอบแห้งไปวิเคราะห์เพื่อหาแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสม โดยแบบจำลองการอบแห้งที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1 ดัชนีชี้วัดแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสม คือ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลรวมความคลาดเคลื่อนทั้งหมด (Root mean Square Error, RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R²) ดังสมการที่ 3.5 และ 3.6

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - \bar{MR})^2} \times 100 \quad 3.5$$

- เมื่อ $MR_{\text{exp},i}$ = อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง
 $MR_{\text{pre},i}$ = อัตราส่วนความชื้นที่ทำนายจากแบบจำลองการอบแห้ง
 \bar{MR} = อัตราส่วนความชื้นจากการทดลองเฉลี่ย
 N = จำนวนของข้อมูล

$$\text{RMSE} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{\text{pre},i} - MR_{\text{exp},i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad 3.6$$

- เมื่อ $MR_{\text{pre},i}$ = อัตราส่วนความชื้นที่ทำนายจากแบบจำลองการอบแห้ง
 $MR_{\text{exp},i}$ = อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง
 N = จำนวนของข้อมูล

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองการอบแห้งที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองที่	ชื่อแบบจำลอง	แบบจำลอง
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Handerson	$MR = a \exp(-kt)$
4	Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$

3.9 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าว

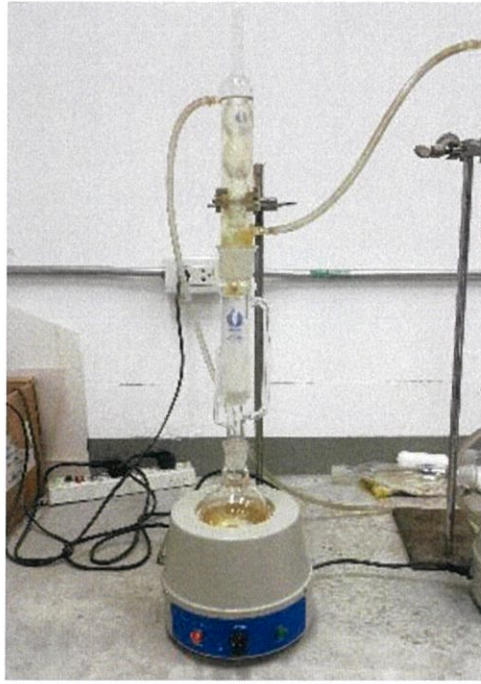
หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบด้วยวิธี Soxhlet Extraction Apparatus

- (1.) ชั่งน้ำหนักขวดซมฟู่ ขนาด 250 ml และบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น
- (2.) ตวงเฮกเซน 110 ml ลงในขวดซมฟู่
- (3.) ใส่กระดาษกรองลงใน thimble โดยการม้วนกระดาษให้เป็นลักษณะกรวยแล้ว

พับด้านกันเล็กน้อย

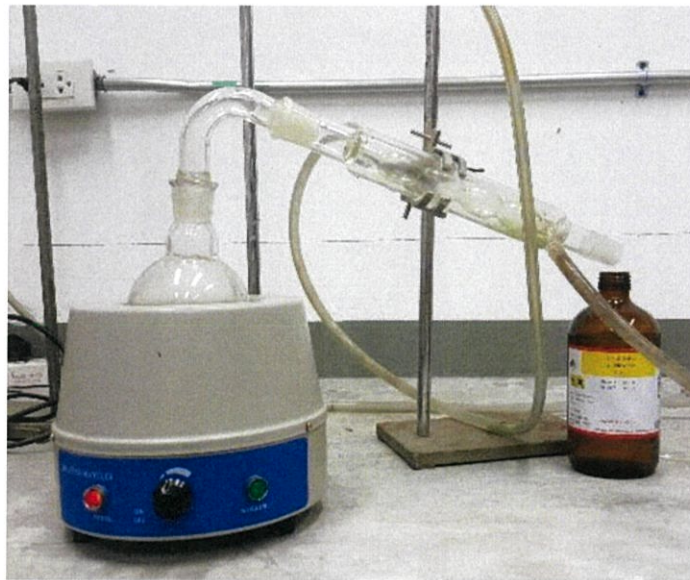
- (4.) ชั่งตัวอย่าง 5 g ใส่ลงไปกระดาษกรวยที่พับ
- (5.) นำ thimble ใส่ใน Soxhlet แล้วจึงต่อ Soxhlet เข้ากับขวดซมฟู่และ

condenser ให้ความร้อนเป็นเวลา 4 hr



รูปที่ 3.7 ชุด Soxhlet

(6.) นำขวดชมพู่ไปเข้าชุดกลั่น เพื่อแยกเฮกเซนออก เป็นเวลา 30 min

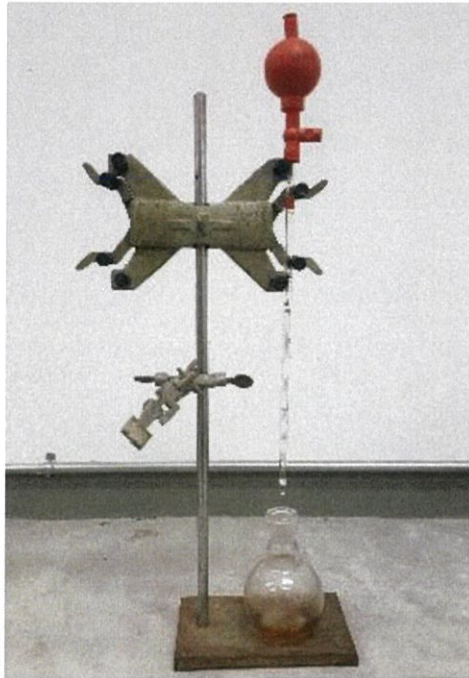


รูปที่ 3.8 ชุดเครื่องกลั่น

- (7.) นำขวดชมพู่ซึ่งน้ำหนัก บันทึกลงแล้วคำนวณหาปริมาณน้ำมันจากสมการที่ 3.7
 (8.) หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด ลงในตัวอย่างน้ำมัน
 (9.) ตวงโพรเพน 25 ml แล้วเทใส่น้ำมันที่หยดฟีนอล์ฟทาลีน แก้วบางๆจนน้ำมัน

ละลาย

(10.) ไตเตรทตัวอย่างด้วย KOH จนถึงจุดยุติ



รูปที่ 3.9 ชุดไตเตรท

(11.) บันทึกจำนวน KOH ที่ใช้คำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระจากสมการที่ 3.8

$$\text{ปริมาณน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100 \quad 3.7$$

$$\% \text{FFA} = \frac{\text{ปริมาณด่างที่ใช้ (ml)} \times \text{ความเข้มข้นด่าง (N)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \quad 3.8$$

3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

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

บทที่ 4

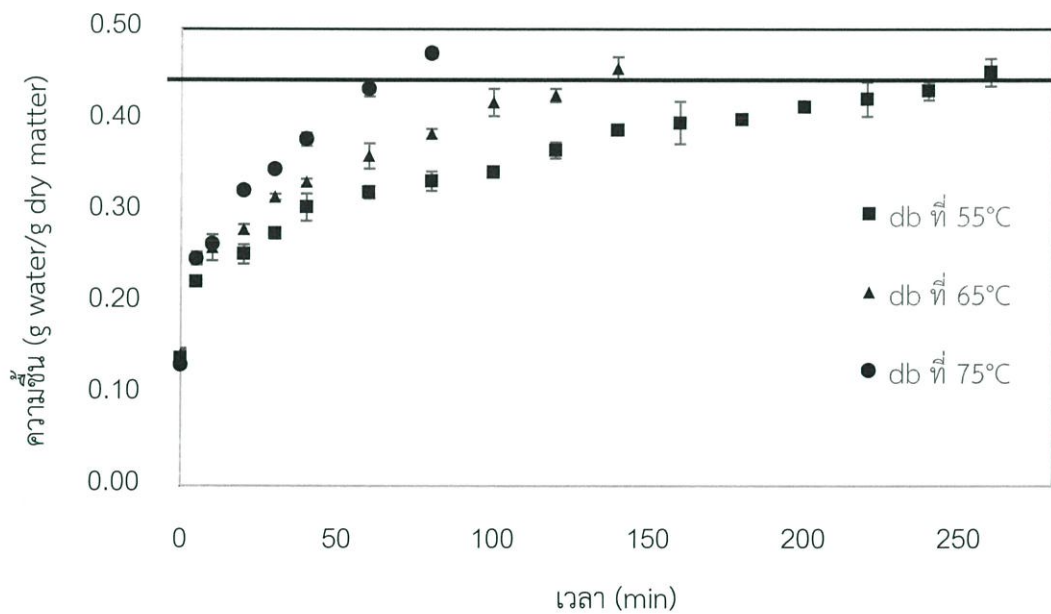
ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวนึ่ง

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวนึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือการหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆและปริมาณข้าวเต็ม เมล็ดของข้าวนึ่งจากอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ

4.1.1 เวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ

ทดลองแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 55, 65 และ 75 °C เพื่อจะหาเวลาของแต่ละอุณหภูมิที่ได้ค่า ความชื้นสุดท้ายที่ 0.45 g water/g dry matter โดยจะได้เวลาของแต่ละอุณหภูมิคือ 240, 140 และ 70 min ซึ่งจะทราบได้ว่าเวลาในการแช่ที่อุณหภูมิ 55 °C ใช้เวลานานที่สุด และที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลารวดเร็วที่สุด



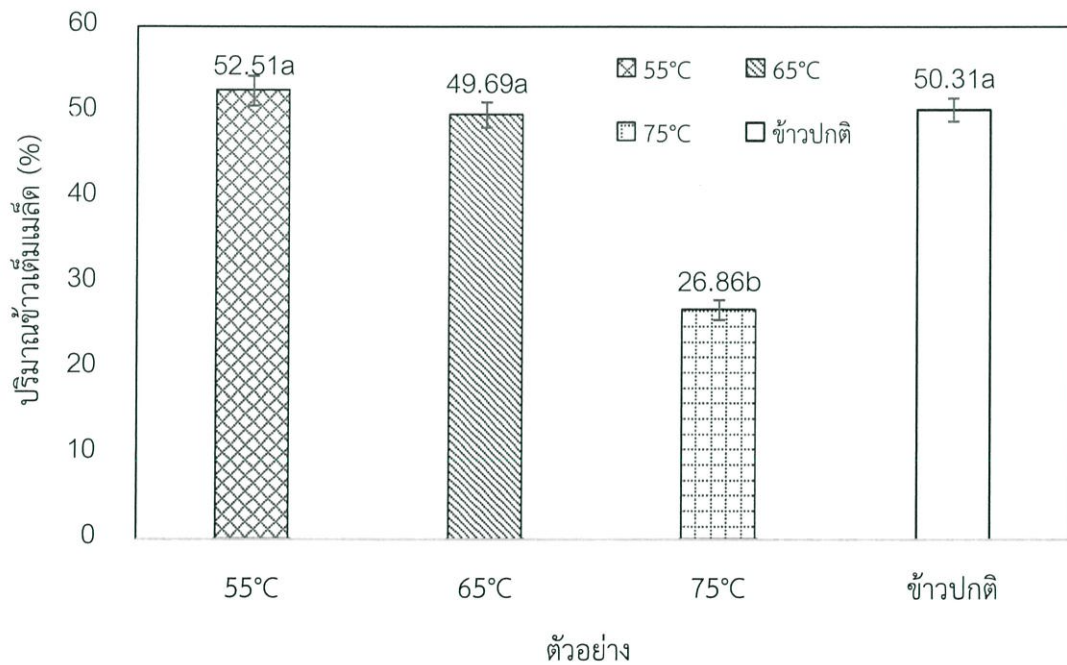
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการแช่ข้าว

ตารางที่ 4.1 เวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ

อุณหภูมิในการแช่ (°C)	เวลา (min)
55	260
65	140
75	70

4.1.2 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวหนึ่งจากอิทธิพลของอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ

ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดโดยมีการเปรียบเทียบกันของอุณหภูมิ 55, 65 และ 75 °C และข้าวปกติ โดยปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของแต่ละชนิดคือ 52.51a, 49.69a, 26.86b, และ 50.31a ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะบอกได้ว่าข้าวหนึ่งที่ 55 °C ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุด ซึ่งที่อุณหภูมิ 75 °C จะได้ค่าปริมาณข้าวเต็มเมล็ดน้อยที่สุด



รูปที่ 4.2 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวหนึ่ง ที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิ 55,65 และ 75 °C และข้าวปกติ

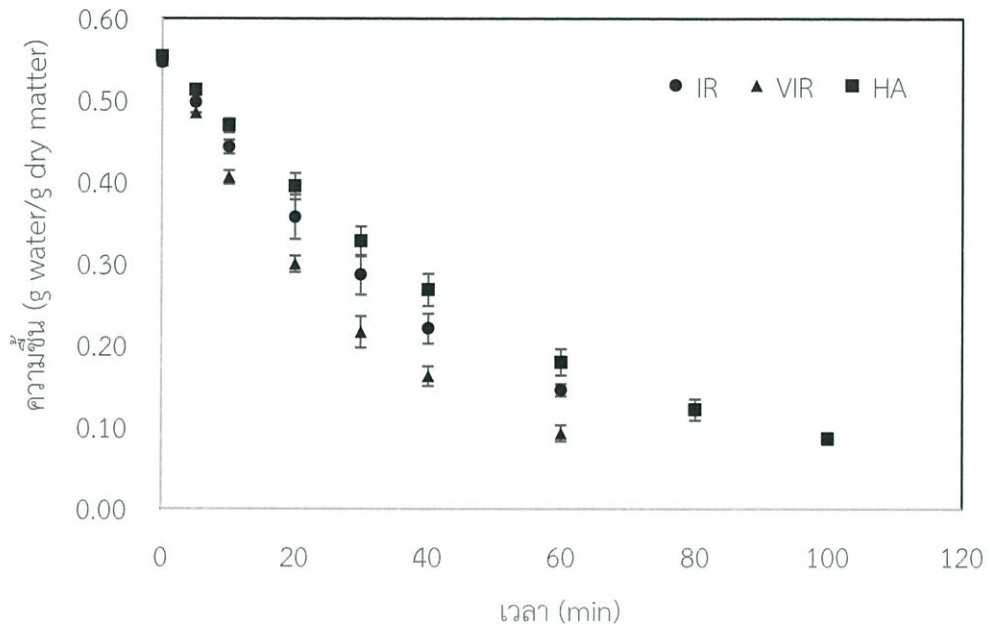
4.2 การศึกษาลักษณะการอบแห้ง สร้างแบบจำลองการอบแห้ง และวิเคราะห์คุณภาพของข้าวหนึ่งที ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR โดยมี IR และ HA เปรียบเทียบ

4.2.1 ลักษณะการอบแห้งของข้าวหนึ่งทีผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ

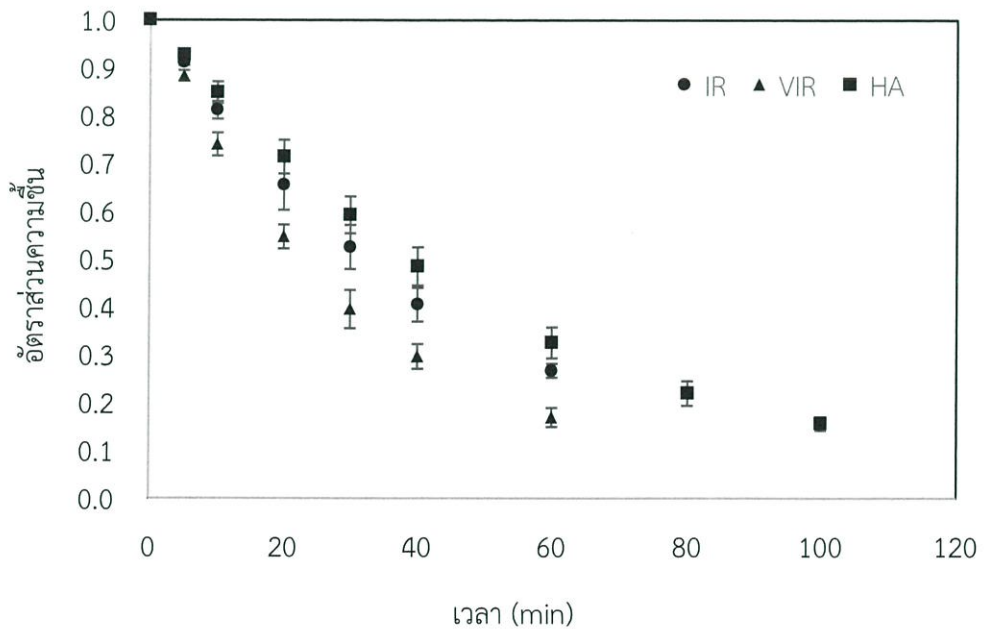
ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งสูงสุดที่วิธีการอบแห้งต่างๆ ของการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA สำหรับการอบแห้งข้าวหนึ่งที แสดงในตารางที่ 4.1 โดยระยะเวลาในการอบแห้ง คือ 80, 60 และ 50 min และอัตราการอบแห้งสูงสุด 0.0109, 0.0146 และ 0.0078 g water/g dry matter*min สำหรับการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA ตามลำดับ รูปที่ 4.3 แสดงการลดลงของความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง และรูปที่ 4.4 แสดงเส้นโค้งการอบแห้งโดยมีการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกนั้นความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีความชื้นอยู่ในตัวข้าวหนึ่งอยู่มาก โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นของการอบแห้งแบบ VIR และ IR จะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งจะต่างจากการอบแห้งแบบ HA ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของการลดความชื้นของข้าวหนึ่งน้อยกว่าการอบแห้งแบบอื่นๆอย่างชัดเจน และในรูปที่ 4.5 จะสามารถอ้างอิงถึงตารางที่ 4.1 ได้ในส่วนของอัตราการอบแห้งสูงสุด ซึ่งจากรูปจะแสดงถึงเส้นโค้งอัตราการอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกหนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA โดยจะบอกได้ว่าการอบแห้งแบบ VIR มีอัตราการอบแห้งสูงสุดและอัตราส่วนความชื้นน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.2 เวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมและอัตราการอบแห้งแบบสูงสุดในการอบแห้งข้าวเปลือกหนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ VIR, IR และ HA

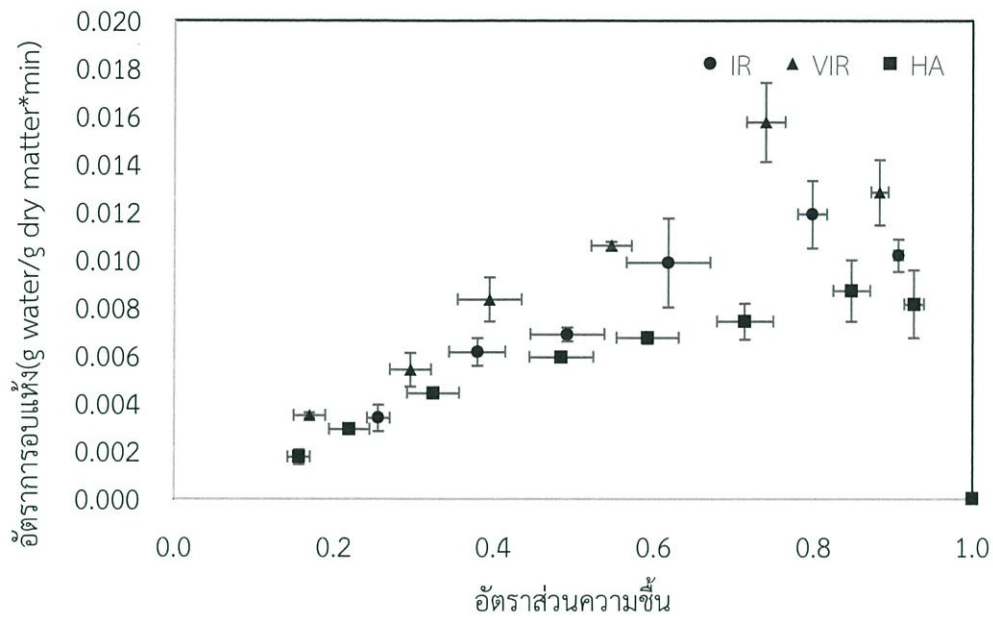
วิธีการอบแห้ง	เวลาในการอบ (min)	อัตราการอบแห้งสูงสุด (g water/g dry matter*min)
IR	60	0.0109
VIR	50	0.0146
HA	80	0.0078



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของข้าวเปลือกหนึ่งกับเวลาในการอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA



รูปที่ 4.4 เส้นโค้งการอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกหนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA



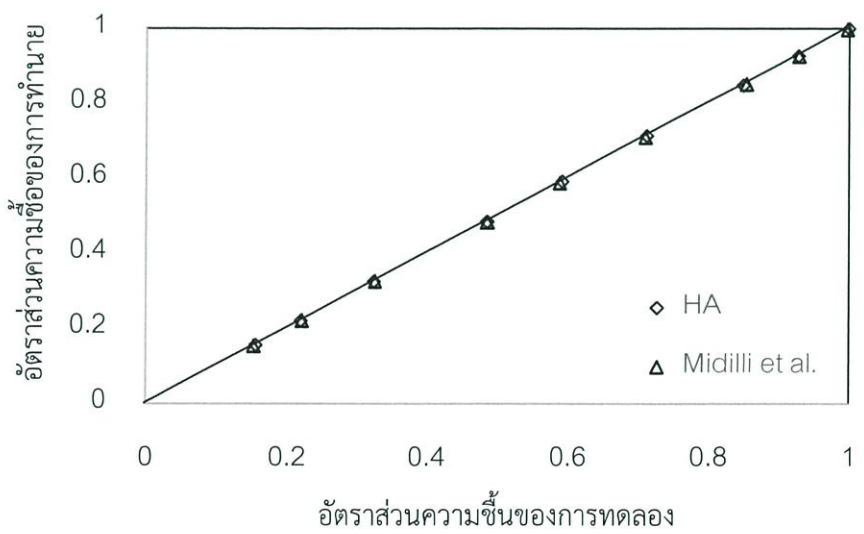
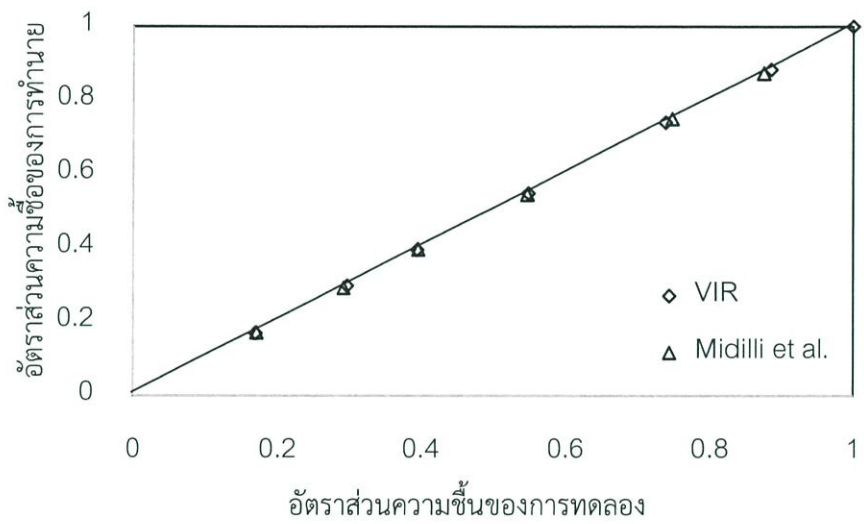
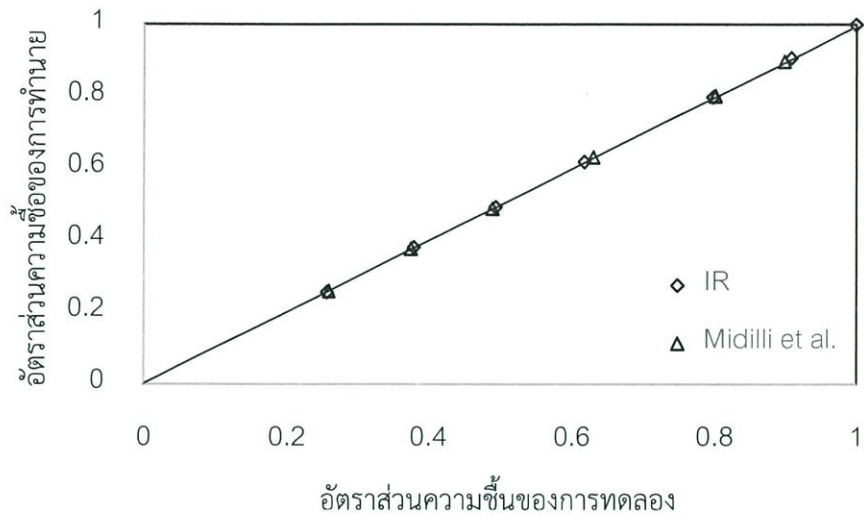
รูปที่ 4.5 เส้นโค้งอัตราการอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกหนึ่งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA

4.2.2 ผลของแบบจำลองการอบแห้ง

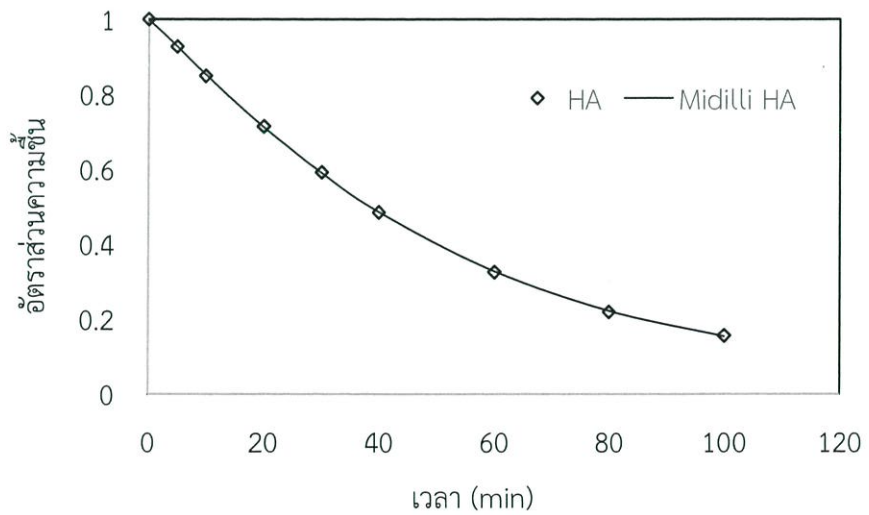
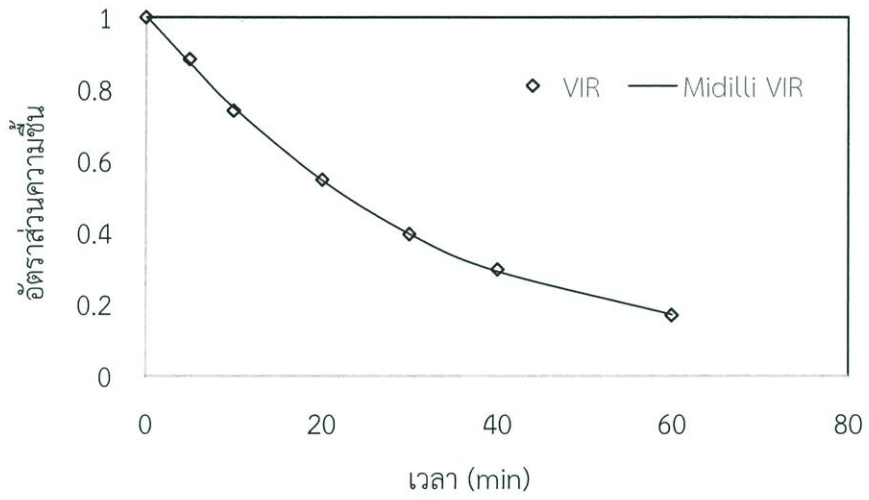
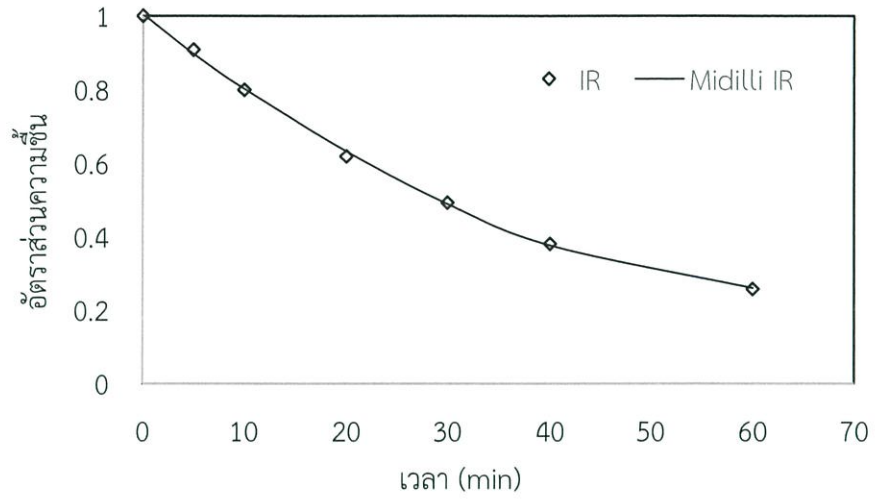
เมื่อนำข้อมูลอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาการอบแห้งไปวิเคราะห์เพื่อหาแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสม โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลรวมความคลาดเคลื่อนทั้งหมด (Root mean Square Error, RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) เป็นดัชนีชี้วัดแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสม โดยได้ค่า R^2 และ RMSE ดังตารางที่ 4.4 พบว่าแบบจำลองของ Midilli et al จะให้ค่า R^2 สูงที่สุด และค่า RMSE ต่ำที่สุดทั้งข้อมูล การอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA จึงสรุปได้ว่า แบบจำลอง Midilli et al. เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งข้าวหนึ่ง ด้วยวิธีการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบเส้นโค้งการอบแห้งระหว่างข้อมูลของการทดลอง และ ข้อมูลของการทำนายจากแบบจำลอง Midilli et al. สำหรับการอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยวิธีการอบแห้งแบบ IR, VIR และ HA

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์และการวิเคราะห์ทางสถิติ

Model	Drying method	Constant and coefficient				R ²	RMSE
Lewis	IR	k=0.02347				0.9985	0.01065
	VIR	k=0.03015				0.9988	0.01058
	HA	k=0.01814				0.9984	0.01238
Page	IR	k=0.02232	n=1.1015			0.9986	0.01137
	VIR	k=0.02777	n=1.025			0.9990	0.01058
	HA	k=0.01397	n=1.068			0.9998	0.004407
Handerson and Pabis	IR	k=0.02375	a=1.007			0.9988	0.01075
	VIR	k=0.03055	a=1.009			0.9991	0.01025
	HA	k=0.01853	a=1.0105			0.9991	0.01017
Midilli et al.	IR	k=-0.007136	n=1.131	a=1.004	b=-0.03048	0.9986	0.01045
	VIR	k=0.02525	n=1.078	a=1.003	b=0.02525	0.9996	0.00876
	HA	k=0.01263	n=1.105	a=0.998	b=0.0002488	0.9999	0.003338



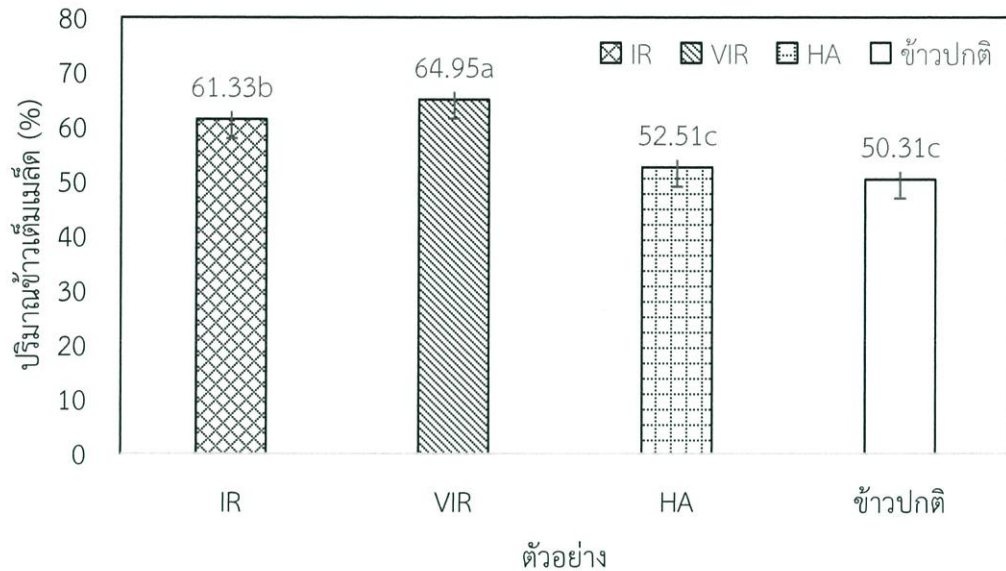
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความถี่ของการทำนายกับอัตราส่วนความถี่ของการทดลอง



รูปที่ 4.7 เส้นโค้งการอบแห้งของการทดลองและเส้นโค้งการอบแห้งของการคำนวณ

4.2.3 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวหนึ่งทีผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ

ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดโดยมีการเปรียบเทียบกันของแบบต่างๆโดยมี การอบแห้งแบบ IR, VIR, HA และ ข้าวปกติ โดยปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของแต่ละชนิดคือ 61.33b, 64.95a, 52.51c และ 50.31c ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งจะบอกได้ว่าข้าวหนึ่งที่ใช้วิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรด ร่วมกับเบดสั้นจะมีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุด ซึ่งในส่วนของข้าวปกติจะได้ค่าปริมาณข้าวเต็มเมล็ดน้อยที่สุด



รูปที่ 4.8 ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดของข้าวหนึ่งทีผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ

4.3 การศึกษาความคงตัวของรำข้าว

4.3.1 ปริมาณน้ำมันรำข้าว

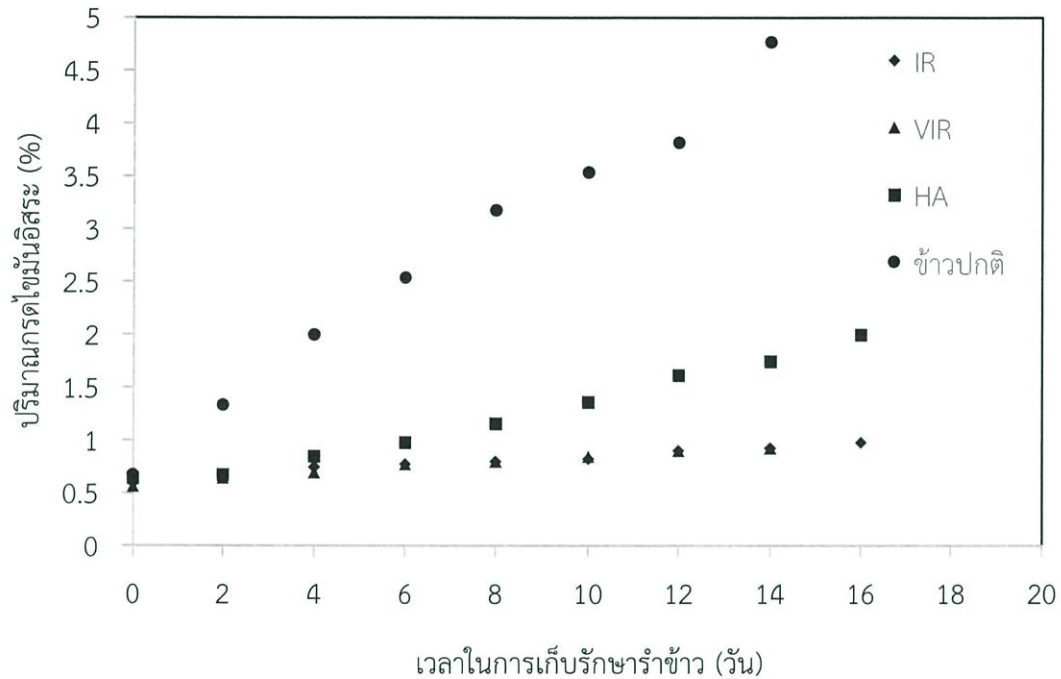
จากการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันต่อรำข้าวแสดงในตาราง 4.5 จะได้ว่าค่าปริมาณน้ำมันต่อรำข้าวสำหรับการอบแห้งแบบ IR, VIR, HA และ ข้าวปกติ จะได้ $0.234 \pm 0.031ab$, $0.256 \pm 0.041a$, $0.243 \pm 0.027ab$ และ $0.220 \pm 0.021b$ ตามลำดับ โดยค่าที่มากที่สุดคือการอบแห้งแบบ VIR

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำมันเทียบกับปริมาณรำข้าว

สิ่งทดลอง	ปริมาณน้ำมัน (g/g รำข้าว)
IR	$0.234 \pm 0.031ab$
VIR	$0.256 \pm 0.041a$
HA	$0.243 \pm 0.027ab$
ข้าวปกติ	$0.220 \pm 0.021b$

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษารำข้าว

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษารำข้าว แสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งจะได้ว่าการอบแห้งแบบ IR และ VIR นั้นจะมีค่าเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งจะแตกต่างจากการอบแห้งแบบ HA และ ข้าวปกติ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะสอดคล้องกับตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระนั้นจะเป็นตัวบ่งบอกได้ว่ายังมีค่าความแตกต่างสูงก็จะมีค่าเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระสูงขึ้นตาม



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเวลาในการเก็บรักษารำข้าว

ตารางที่ 4.5 ค่าความแตกต่างของกรดไขมันอิสระในวันแรกและวันสุดท้าย

สิ่งที่ใช้ในการทดลอง	Δ FFA
IR	0.384
VIR	0.3584
HA	1.3568
ข้าวปกติ	4.096

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของข้าวหนึ่งคือที่อุณหภูมิ 55 °C
2. ลักษณะการอบแห้งและคุณภาพข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ VIR ที่พลังงาน 750 W/m² ความเร็วลม 1 m/s ที่ความถี่เบดสั้น 500 Hz มีลักษณะการอบแห้งและคุณภาพของข้าวที่ดีที่สุด
3. การอบแห้งแบบ VIR มีการให้ค่าปริมาณน้ำมันสูงสุดที่ 0.256±0.041a g/g ร้าข้าว ในขณะที่ความคงตัวของร้าข้าวจากการอบแห้งแบบ VIR มีความคงตัวไม่ต่างจากร้าข้าวจากการอบแห้งแบบ IR ซึ่งมีความคงตัวดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1 ควรศึกษาการอบแห้งโดยการใช้หลอดรังสีอินฟราเรด ที่มีค่าความเข้มข้นรังสีที่หลากหลาย
- 2 ควรศึกษาเปรียบเทียบกับข้าวหลายชนิด
- 3 ควรมีการคำนวณค่าพลังงานของเครื่องที่ใช้ในการอบแห้ง

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2560 ราคาส่งออก เอฟ.โอ.บี.

http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php

กรมการข้าว กระบวนการผลิตข้าวนี้้ง

http://www.ricethailand.go.th/brrd/tech/m6_3_2.htm

ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. เจลาตินไนเซชัน(gelatinization)

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0350/gelatinization>

ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. รีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0591/retrogradation>

รังสีอินฟราเรด

<http://www.siamchemi.com/%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%A%E0%B8%B5%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%9F%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%94>

วิธีการหาค่า FFA

<http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/webboard/view.php?No=651>

Pan et al. 2008 การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด

Das et al. 2004 การใช้ระบบสั่นร่วมในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

Wang et al. 2017 การทดลองอบแห้งข้าวเปลือกและศึกษาการคงตัวของรำข้าวโดยใช้การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด

Maria et al. 2016 ผลของการนึ่งข้าวต่อสมบัติการทำงานของสารสกัดเอนไซม์จากรำข้าว

Patil et al. 2016 การรักษาเสถียรภาพของรำข้าวโดยใช้ไมโครเวฟ: การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการและการเก็บรักษา