

อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดต่อปริมาณ
และคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้

Effect of Infrared drying Temperature of rice bran on quantity
and quality of extracted rice bran oil

จริยะ รองเดช

ณัฐพล ใจอนงค์

ปาลิตา ศรีวรรณนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดต่อปริมาณ
และคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้
Effect of Infrared drying Temperature of rice bran on quantity
and quality of extracted rice bran oil

จริยะ รองเดช
ณัฐพล ใจอนงค์
ปาไลตา ศรีวรรณนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดต่อปริมาณ
และคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้
Effect of Infrared drying Temperature of rice bran on quantity
and quality of extracted rice bran oil

จริยะ รองเดช
ณัฐพล ใจอนงค์
ปาไลตา ศรีวรรณันท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

Effect of Infrared drying Temperature of rice bran on quantity
and quality of extracted rice bran oil

Jariya Rongdet
Nattapon Jaianong
Palita Sriworanan

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 2014

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ อธิพิลของอุณหภูมิในการอบรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดต่อปริมาณและ
คุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้
Effect of Infrared drying Temperature of rice bran on quantity
and quality of extracted rice bran oil

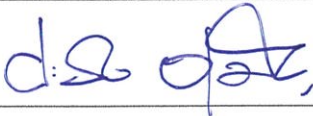
นักศึกษาผู้จัดทำ นายจริยะ รอดเดช รหัสประจำตัว 54010175
นายณัฐพล ใจอนงค์ รหัสประจำตัว 54010430
นางสาวปาไลตา ศรีวรรณท์ รหัสประจำตัว 54010815

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายจริยะ รองเดช	รหัสประจำตัว 54010175
	นายณัฐพล ใจนองค์	รหัสประจำตัว 54010430
	นางสาวปาไลตา ศรีวรรณท์	รหัสประจำตัว 54010815
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	
ปีการศึกษา	2557	

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันรำข้าวซึ่งจะพิจารณาจากค่ากรดและปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ โดยทดลองอบรำข้าวที่อุณหภูมิ 60 , 90 และ 120 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นเริ่มต้นของรำข้าวอยู่ที่ 12.9 %dry-basis (%d.b.) จนถึงที่ความชื้นสมดุลของแต่ละอุณหภูมิ จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งรำข้าวขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้งอย่างมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นของรำข้าว สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของรำข้าว พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งรำข้าวโดยใช้สมการแบบ Logarithmic สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการอบแห้งรำข้าวได้ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูงสุด(0.9684 – 0.9964) เมื่อพิจารณาปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่ากรดในน้ำมันลดลงมากที่สุด และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีค่ามากที่สุด

คำหลัก: รำข้าว , อบแห้งรังสีอินฟราเรด , จลนพลศาสตร์ , ความชื้น , ค่ากรด , ปริมาณน้ำมัน

Thesis Title	Effect of Infrared drying Temperature of rice bran on quantity and quality of extracted rice bran oil	
Authors	Jariya Rongdet	54010175
	Nattapon Jaianong	54010430
	Palita Sriworanan	54010815
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.PrasanChoomjaihan Dr. JirapornSripinyowanichJonyingchareon	
Year	2014	

Abstract

The purpose of this research is study on the effect of infrared drying temperature to quantity and quality of rice bran oil to find the condition for extract oil from rice bran by consider the acid value and quantity of extracted oil. The experiment dried rice bran at 60 , 90 and 120 °C . The initial moisture was 12.9%d.b. and dried to equilibrium moisture at variants temperature. The results found drying rate was depend on dried temperature by compared with the initial moisture of rice bran. For the kinetic of drying the results gave the best fit under the mathematical model of Logarithmic with the highest R² (0.9684 – 0.9964). The quantity and quality of extracted oil at 120 °C gave low acid value and 90 °C gave the highest yield of extracted oil.

Keywords: rice bran , infrared drying , kinetic of drying , moisture , acid value , quantity of extracted oil

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญอาจารย์ที่ปรึกษา และดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมากและขอขอบคุณบริษัทCEO AGRIFOOD LIMITED ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายจริยะ รอดเดช

นายณัฐพล ใจนองค์

นางสาวปาลิตา ศรีวรรณท์

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้ทั่วไปของรำข้าวและน้ำมันรำข้าว	3
2.2 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง	5
2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง	5
2.2.2 ประเภทของการอบแห้งในอุตสาหกรรม	5
2.2.3 การเกิดความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด	9
2.2.4 หลักการของอินฟราเรดในอาหาร	9
2.3 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น	11
2.4 การศึกษาจลนพลศาสตร์และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	12
2.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง	12
2.4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	13
2.5 กระบวนการสกัดน้ำมัน	14
2.5.1 การบีบหรือใช้แรงอัด	14
2.5.2 การสกัดด้วยตัวทำละลาย	14
2.6 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน	16
2.7 การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน	17
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	18
3.1 วิธีการดำเนินงาน	18
3.1.1 การวางแผนการทดลอง	18
3.1.2 การเตรียมตัวอย่างและการหาอัตราการอบแห้ง	18
3.1.3 การศึกษาหาความชื้น	19
3.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์และการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	21
3.2.1 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง	22

3.2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายกระบวนการอบแห้งของ	
รำข้าว	22
3.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันรำข้าว	23
3.3.1 หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบด้วยวิธีSoxhlet	23
3.3.2 หาค่ากรดในวัตถุดิบ	26
3.4 การศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งรำข้าว	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	31
4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งทางกายภาพเบื้องต้นของรำข้าว	31
4.1.1 ค่าความชื้นเริ่มต้น และค่าความชื้นสมดุลที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ	31
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งแบบต่าง ๆ	35
4.2 ผลการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการทำนายค่าความชื้นที่	
เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้ง	36
4.3 ผลการศึกษาปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้	38
4.3.1 ปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบด้วยวิธีSoxhlet	38
4.3.2 ค่ากรดในวัตถุดิบ	39
4.4 ผลการศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งขมึ้นชั้นในสภาวะการอบแห้ง	
แบบแบบใช้รังสีอินฟราเรด	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก. คุณลักษณะการอบแห้งรำข้าวขาวเบื้องต้น	44
ภาคผนวก ข. การตรวจสอบกรดไขมันอิสระ	49
ภาคผนวก ค. การตรวจวัดปริมาณน้ำมันที่สกัดได้	53
ภาคผนวก ง. ตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ	57
เอกสารอ้างอิง	59

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้าที่
2.1 สารอาหารที่มีผลต่อสุขภาพในรำข้าว	4
2.2 คุณสมบัติทางความร้อนของอาหารบางชนิด	9
3.1 รูปแบบสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งแบบต่างๆ	22
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติของแบบจำลองการอบแห้ง	37
4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความชื้นและปริมาณน้ำมันที่สกัดได้	39
4.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ความชื้นกับค่ากรดไขมันอิสระ	40
4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงาน	40

สารบัญญภาพ

ภาพ	หน้าที่
2.1 ส่วนประกอบของข้าว	3
2.2 แสดงเฟสไดอะแกรมของน้ำและวิธีการอบแห้งแบบต่างๆ	8
2.3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10
3.1 แผนการทดลอง	19
3.2 แผนผังการทดลองการหาความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสมดุล	20
3.3 เครื่องอบแห้ง	21
3.4 boiling flask	23
3.5 thimble	24
3.6 ชุดSoxhlet	24
3.7 ชุดเครื่องกลั่น	25
3.8 ตัวอย่างน้ำมันที่ได้	26
3.9 ตัวอย่างเฮกเซนและรำข้าวที่แยกชั้น	26
3.10 การกรองmiscella	27
3.11 ชุดเครื่องกลั่น	27
3.12 ตัวอย่างน้ำมันที่ได้	28
3.13 ชุดไตเตรทและสารเคมี	28
3.14 ตัวอย่างสารที่ได้หลังการไตเตรท	29
3.15 Clamp Meter	29
4.1 การเตรียมตัวอย่างรำข้าวสด	32
4.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้หาความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐาน AOAC	33
4.3 ตู้อบลมร้อนเพื่อใช้หาความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐาน AOAC	34
4.4 ตัวอย่างทดลองที่ทำแห้งโดยตู้อบลมร้อน	34
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าว	36
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมัน(กรัมไขมัน/กรัมรำแห้ง)ของรำข้าว	38
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด(mg KOH/กรัมไขมัน)ของรำข้าว	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นอกจากเมล็ดข้าวขาวที่ผ่านกระบวนการสีข้าวเป็นผลผลิตของข้าวที่ใช้บริโภคอย่างแพร่หลายทั้งภายในและส่งออกไปยังต่างประเทศแล้วนั้น ข้าวขาวมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อนและเป็นองค์ประกอบของเมล็ดข้าวได้รับจากขั้นตอนการขัดขาวในกระบวนการสีข้าวเช่นกัน และเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของเมล็ดข้าวมีคุณค่าทางอาหารสูงองค์ประกอบหนึ่ง โดยข้าวขาวมีปริมาณประมาณร้อยละ 8-10 ของน้ำหนักข้าวเปลือก[1] แต่อย่างไรก็ตามยังมีการนำข้าวขาวมาใช้ประโยชน์ไม่มากนัก หนึ่งใน การนำข้าวขาวมาใช้ประโยชน์คือการนำข้าวขาวมาผลิตเป็นน้ำมันรำข้าว ซึ่งน้ำมันรำข้าวเป็นหนึ่งในน้ำมันเพื่อการบริโภคที่มีคุณค่าทางอาหารมาก เพราะรำข้าวเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ (Natural Antioxidant) ที่สำคัญ ได้แก่โทโคเฟอรอล (Tocopherols) โทโคไตรอีนอล(Tocotrienols) และออริซานอล (Oryzanols) มีงานวิจัยที่ยืนยันว่าสารอาหารในรำข้าวมีประสิทธิภาพในการลดระดับคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ในเลือดได้ โดยเฉพาะไขมันชนิดเลว (LDL) ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและยังพบว่าในรำข้าวมีสารอาหารธรรมชาติที่สามารถลดการเกิดนิ่วในร่างกายมนุษย์ได้ สรรพคุณของ โทโคเฟอรอล (Tocopherols) และโทโคไตรอีนอล (Tocotrienols) ซึ่งเป็นสารอาหารในน้ำมันรำข้าว สามารถยับยั้งการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับ มีฤทธิ์เป็นสารต้านมะเร็ง มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และลดการเสื่อมสภาพของเซลล์[2]มีงานวิจัยต่างประเทศจำนวนมากที่ทำการวิจัยในด้านคุณสมบัติของน้ำมันรำข้าวที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์อาทิ งานวิจัยของมินฮาจัดติน [3] ที่พบว่า น้ำมันรำข้าวมีประสิทธิภาพในการลดคอเลสเตอรอล ของหนูทดลอง และในงานวิจัยต่อมาพบว่าในน้ำมันรำข้าวมีสารที่มีคุณสมบัติในการต้านเซลล์มะเร็งและต้านอาการอักเสบในร่างกายของมนุษย์น้ำมันรำข้าวเป็นน้ำมันที่สกัดจากรำข้าวที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ ทำให้น้ำมันรำข้าวอุดมไปด้วยโปรตีน วิตามิน กรดไขมันและเกลือแร่ โดยเฉพาะวิตามินอี จากเหตุที่รำข้าวมีส่วนประกอบที่อุดมไปด้วยวิตามินอี ทำให้บริษัทในต่างประเทศนำเอาน้ำมันรำข้าวไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตวิตามินอี [4] ยังมีผลการวิจัยที่แสดงให้เห็นว่ารำข้าวเป็น สารอาหารที่มีผลต่อสุขภาพ นอกจากนี้รำข้าวไทยมีคุณภาพและสามารถใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอ้างอิงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพของน้ำมันรำข้าวจากแหล่งรำข้าว 3 ประเทศ [5]

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตข้าวส่งออกสู่ตลาดโลกจำนวนมาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้พยากรณ์ผลผลิตข้าวเปลือก (รวมข้าวนาปีและนาปรัง) ปี 2547 ของประเทศไทยมีประมาณ 25 ล้านตัน ทำให้คาดได้ว่าจะมีรำข้าวไม่ต่ำกว่า 2 ล้านตันต่อปี ทำให้ปัญหาสำคัญของการนำรำข้าวมาใช้ประโยชน์ คือเมื่อเก็บไว้โดยไม่มีการเก็บรักษาที่ดีจะเกิดการขึ้นและมึลกลิ่นไม่ชวนดม ทำให้อาหารเสื่อมสภาพและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมันรำด้วย ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิธีการจัดการรำข้าวเพื่อการผลิตน้ำมันรำข้าวให้ได้ปริมาณสูงและคุณภาพน้ำมันดีจึงมีความจำเป็น สาเหตุหนึ่งของการเสื่อมสภาพของรำข้าวเกิดจากกิจกรรมของไลเปส ดังนั้นวิธีการคงคุณภาพของรำข้าวคือการควบคุมไม่ให้ไลเปสทำงานสสารที่เป็นตัวกระตุ้นหลักให้ไลเปส

ทำงานคือน้ำ ดังนั้นหนึ่งในวิธีที่จัดการและควบคุมการทำงานของไลเปสคือการนำน้ำออกจากจากรำข้าว การนำน้ำออกจากรำข้าว หรือเรียกอีกชื่อคือการอบแห้งสามารถทำได้หลายวิธีและวิธีทำการอบแห้งที่สะดวกคือ การให้ความร้อนกับวัตถุดิบ และหนึ่งในวิธีการให้ความร้อนที่ง่ายต่อการจัดการคือการใช้รังสีอินฟราเรด ดังนั้นการให้ความร้อนกับรำข้าวโดยรังสีอินฟราเรดในเพื่อการคงคุณภาพของรำข้าวจึงมีความเป็นไปได้ ทำให้งานนี้มีวัตถุประสงค์แสดงในหัวข้อ 1.2

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและหาความชื้นเริ่มต้นและอัตราส่วนความชื้นและหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับการอบแห้ง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและค่ากรด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยอินฟราเรด

1.2.3 เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งด้วยอินฟราเรด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการอบสกัดน้ำมันของรำข้าวขาวที่ไม่ผ่านการนึ่ง

1.3.2 ศึกษาการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของรำข้าวและน้ำมันรำข้าว

1.4.2 ศึกษากรรมวิธีกระบวนการอบแห้งและการสกัดน้ำมันจากรำข้าว

1.4.3 ศึกษากรรมวิธีตรวจสอบคุณภาพและปริมาณของน้ำมันรำข้าว

1.4.4 ทำการทดลองทำการอบรำข้าวสกัดน้ำมันและตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการทดลอง

1.4.5 ทำการบันทึกและวิเคราะห์ผลการอบแห้ง คุณภาพของน้ำมัน และปริมาณน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการทดลอง

1.4.6 สรุปและวิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลอง

บทที่ 2

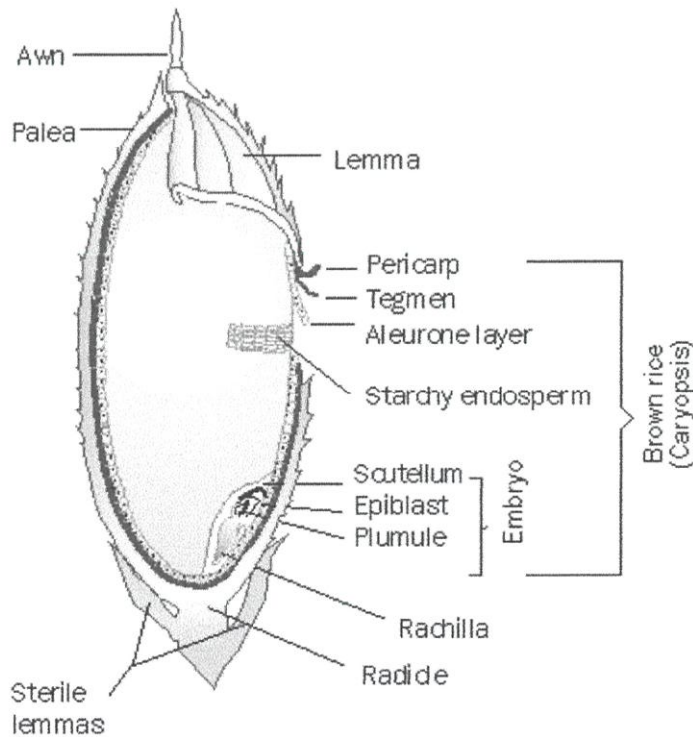
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งรำข้าวโดยใช้การอบแห้งแบบให้ความร้อนด้วยคลื่นอินฟราเรดที่ผลต่อคุณภาพและปริมาณน้ำในการสกัดจำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้ที่สำคัญในการวิเคราะห์ความชื้น การวิเคราะห์แบบจำลองการอบแห้ง การตรวจวัดปริมาณน้ำมัน การตรวจวัดค่ากรดไขมันอิสระ และการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งองค์ประกอบความรู้ที่สำคัญนั้นได้แก่ ความรู้ทั่วไปของรำข้าวและน้ำมันรำข้าว สารสำคัญที่พบในน้ำมันรำข้าว ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง ประเภทของการอบแห้งในอุตสาหกรรม การเกิดความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น กระบวนการสกัดน้ำมัน การศึกษาค่ากรด การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน และการตรวจเอกสาร ตัวอย่างงานวิจัยในด้านการอบแห้ง โดยรายละเอียดเพิ่มเติมของการรวบรวมความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปของรำข้าวและน้ำมันรำข้าว

รำข้าว

รำข้าวมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อนซึ่งเป็นเยื่อหุ้มผิวข้าวที่ถูกขัดออกระหว่างกระบวนการสีข้าวเปลือก ปัจจุบันมีการนำรำข้าวมาใช้ประโยชน์น้อยกว่าคุณค่าที่มี ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์และเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันรำข้าวเพื่อใช้บริโภคในครัวเรือน [6]



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของข้าว [7]

รำข้าวนอกจากเป็นแหล่งของสารชีวโมเลกุลที่สำคัญดังกล่าวข้างต้นแล้วยังมีสารอาหารที่มีประโยชน์มากมาย อาทิเช่น เส้นใย แร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม ไขมันที่มีคุณค่า วิตามิน ซึ่งมีหลายชนิดรวมทั้งไนอาซิน วิตามินอี นอกจากนี้ยังมีไขมันที่มีคุณค่า และสารที่ละลายได้ในไขมัน[8] ในรำข้าวมีปริมาณของแกมมาออริซานอล (γ -oryzanols) สูง อีกทั้งยังมีสารในกลุ่มไฟโตสเตอรอล (phytosterols) กลุ่มพอลิฟีนอล(polyphenols) และวิตามินอี ทั้งชนิด โทโคเฟอรอล(tocopherols) และ โทโคไตรอีนอล(tocotrienol) สารเหล่านี้เป็นไขมันที่มีคุณค่าต่อสุขภาพจากการมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน [5] สารต้านออกซิเดชันที่มีในรำข้าวของข้าวทุกชนิดช่วยลดอนุมูลอิสระในร่างกายได้จึงลดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ที่เป็นสาเหตุของโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคเบาหวานฯ จึงทำให้รำข้าวได้รับความสนใจศึกษาวิจัยมากขึ้น นอกจากนี้ในรำข้าวยังมี สควาลีน (squalene)ซึ่งมีประโยชน์ต่อผิวหนัง เมื่อรวมกับสารอาหารและnutraceuticals ต่าง ๆ ในรำข้าวทำให้เชื่อว่ารำข้าวช่วยบำรุงผิวหนังได้ ชนิดและปริมาณสารสำคัญในรำข้าวอาจกล่าวได้ว่ารำข้าวมีปริมาณสารในกลุ่มไฟโตสเตอรอลและออริซานอลสูงกว่าสารอื่น

ตารางที่ 2.1 สารอาหารที่มีผลต่อสุขภาพ(nutraceuticals)ในรำข้าว[9]

Nutraceutical	ปริมาณ
Phytosterols	2,230-4,400 ppm
γ -Oryzanol	2,200-3,000 ppm
Tocopherols, Tocotrienol	210-440 ppm
Polyphenols	305-309 ppm
Squalene	4,000 ppm

ประโยชน์ของรำข้าวและน้ำมันรำข้าว

รำข้าว มีใยอาหารสูง และมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ จึงมีผู้นำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพเหมาะสำหรับผู้ที่แพ้มล็ดธัญพืชชนิดอื่น และมีงานวิจัยที่พบว่าผู้ที่บริโภครำข้าวเป็นประจำ จะลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและมะเร็งลำไส้ใหญ่ [10]

น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในปริมาณมาก และยังมีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหลายชนิด ได้แก่ วิตามินอี (โทโคไตรอีนอล และโทโคเฟอรอล) และออริซานอล ซึ่งสารประกอบทั้ง สามชนิดนี้จะลดการเกิด Oxidized LDL ลดการเกิดการแข็งตัวของหลอดเลือดและลดการเกิดคอเลสเตอรอลออกไซด์โทโคไตรอีนอล และออริซานอล ในรำข้าวมีผลในการลดระดับคอเลสเตอรอลโดยตรง

เนื่องจากโทโคไตรอีนอลเป็นสารที่ขัดขวางการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย ส่วนออริซานอลเป็นสารที่ลดการดูดซึมของคอเลสเตอรอลจากอาหาร ซึ่งมีการตรวจจู่จาะของกลุ่มคนที่ได้รับออริซานอล พบว่า มีคอเรสเตอรอล ปะปนอยู่มากกว่ากลุ่มคนที่ไม่ได้รับออริซานอลนอกจากนี้ในรำข้าวมีสารประกอบกลุ่มไฟโตสเตียรอล ที่สามารถลดการดูดซึมของคอเลสเตอรอลได้ [11]

2.2 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง

2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง [12]

การทำแห้ง เป็นกระบวนการแปรรูปเพื่อเก็บรักษาอาหารโดยการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในอาหาร โดยการระเหย การระเหิด การสกัดน้ำออกด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม หรือใช้กระบวนการออสโมติกด้วยน้ำตาลหรือเกลือมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity, aw) ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะอยู่ในรูปของน้ำอิสระ ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ และเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาตรของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความสะดวกในการเก็บรักษาขนส่ง การแสดงปริมาณความชื้น (Moisture content) หรือน้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์สามารถบอกในรูปของอัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานเปียก (Wet basis) และมาตรฐานแห้ง (Dry basis)

2.2.2 ประเภทของการอบแห้งในอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมอาหารและการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของสังคมไทยเป็นอย่างมาก การอบแห้งเป็นวิธีการที่มีบทบาทสำคัญในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้นานขึ้น สามารถลดปัญหาผลผลิตทางการเกษตรล้นตลาดได้เป็นอย่างดี

เทคโนโลยีการอบแห้งเป็นกระบวนการให้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมกับวัสดุอาหารหรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีความชื้นสูง เพื่อลดปริมาณน้ำหรือ ความชื้นด้วยวิธีระเหยน้ำออกไป คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งจะขึ้นอยู่กับกลไกการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารในระหว่างกระบวนการอบแห้ง การวิจัยและพัฒนาเพื่อช่วยในการปรับปรุง ประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งจึงเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของสินค้าทางการเกษตรและอาหารอบแห้ง เพื่อสามารถรักษากลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้ใกล้เคียงสินค้าสด วิธีการอบแห้งส่วนใหญ่จะอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำและการพาความร้อนด้วยตัวกลางทางความร้อนแบบต่างๆ โดยจะมีหลักการและกลไกการอบแห้งที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot Air Drying)

การอบแห้งด้วยลมร้อนนี้เป็นวิธีการอบแห้งที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีความสะดวกต่อการ ปฏิบัติและง่ายต่อการควบคุม ซึ่งหลักการของวิธีการอบแห้งด้วยวิธีนี้ จะอาศัยคุณสมบัติและ

ความสามารถในการถ่ายเทมวลของอากาศร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ ความดันในการดูดซึมความชื้นของอากาศและคุณสมบัติของอาหารอบแห้ง วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน นี้ได้รับความนิยมมากในระดับอุตสาหกรรม เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาดหรือตู้อบ (Hot Air Oven) เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel Drying) เครื่องอบแห้งระบบสายพาน (Belt or Conveyor Drying)

(2) วิธีการอบแห้งฟลูอิดซ์เบด (Fluidized Bed Drying)

การอบแห้งด้วยลมร้อนมีข้อจำกัดในด้านต่างๆมากมายเนื่องจากมีอัตราการถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการอบแห้งที่ช้า ส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งที่ต่ำและมีการเสื่อมสลายของคุณภาพอาหารสูง จึงได้มีการพัฒนารูปแบบการอบแห้งเพื่อช่วยเร่งอัตราการระเหย วิธีการอบแห้งโดยวิธีการอบแห้งฟลูอิดซ์เบด นิยมใช้กับการอบแห้งอาหารชนิดผงและธัญพืช เพราะมีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็ก รวมทั้งมีโครงสร้างเซลล์ที่แข็งแรงสามารถทนต่อแรงปะทะของลมร้อนได้โดยไม่เกิดความเสียหายสำหรับกลไกการอบแห้งของวิธีการอบแห้งฟลูอิดซ์เบด โดยการเป่ากระแสลมร้อนที่มีความเร็วสูง จากด้านใต้ของเครื่องอบแห้งจนชิ้นอาหารลอยตัวอยู่ในกระแสลมร้อน อาหารจะถูกปกคลุมในกระแสลมร้อน ทำให้ชิ้นอาหารมีอัตราการอบแห้งที่รวดเร็วและสามารถควบคุมสภาวะการอบแห้งและอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ปัจจุบันได้มีการพยายามพัฒนาการอบแห้งด้วยวิธีอบแห้งฟลูอิดซ์เบด โดยการลดอุณหภูมิแต่เพิ่มอัตราเร็วลม ซึ่งพบว่าสามารถช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและยังช่วยลดการเสื่อมคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง แต่ความเร็วลมต่ำ

(3) วิธีการอบแห้งด้วยวิธีอิมพิงจ์เมนต์ (Air Impingement Drying)

การอบแห้งด้วยวิธีอิมพิงจ์เมนต์ เป็นนวัตกรรมล่าสุดของการพัฒนาการ การอบแห้งด้วยลมร้อนและสามารถใช้ได้กับอาหารหลากหลายประเภท โดยสามารถอธิบายหลักการทำงานแบบง่ายๆได้ดังนี้ การอบแห้งวิธีอิมพิงจ์เมนต์ จะใช้หัวฉีดลมร้อนที่มีอัตราเร็วสูง พ่นไปที่ตัวอาหารในลักษณะรอบทิศทางส่งผลให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วและถูกถ่ายเทออกจากอาหารโดยลมร้อน โดยวิธีการนี้สามารถ ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่ำ แต่มีอัตราการอบแห้งที่สูงได้ดี ทำให้อาหารอบแห้งมีคุณภาพสูง แต่เนื่องด้วยวิธีการวิธีอิมพิงจ์เมนต์ ยังเป็นนวัตกรรมที่ใหม่มาก จึงไม่มีรายงานที่เด่นชัดมาว่าได้มีการนำวิธีการนี้มาใช้ ในระดับอุตสาหกรรมในประเทศไทย

(4) วิธีการอบแห้งด้วยการแช่แข็งแบบระเหิด (Freeze Drying)

วิธีการอบแห้งด้วยการแช่แข็งแบบระเหิด มีกลไกที่สำคัญอยู่สองกระบวนการโดยเริ่มจากการแช่เยือกแข็งอาหารจนปริมาณน้ำนอกเซลล์ของอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง จากนั้นให้ความร้อนแก่ อาหารภายใต้สภาวะแรงดันสูญญากาศ (Vacuum Pressure) ประมาณ 610.5 Pa เมื่ออาหารได้รับความร้อนภายใต้สภาวะดังกล่าว น้ำแข็งที่อยู่ในอาหารแช่เยือกแข็งก็จะเกิดการระเหิด หรือการเปลี่ยนสถานะ จากของแข็งเป็นไอ โดยที่ปริมาณน้ำแข็งในอาหารจะเกิดการระเหิดกลายเป็นไอน้ำออกมาและถูกดูดออกด้วยปั๊มสูญญากาศ ดังนั้นอาหารอบแห้งด้วยวิธีนี้จึงมีคุณภาพสูง สามารถลดความเสียหายของโครงสร้างและเกิดการหดตัวของโครงสร้างเซลล์น้อยมาก ลดอัตราการเสื่อมของสารประกอบกลิ่น รส และสีของอาหาร และมีรูปทรงที่เหมือนกับอาหารสด แต่ทั้งนี้การอบแห้งอาหารด้วยวิธีนี้ก็มีความค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ

หลายเท่า อีกทั้งจะมีข้อจำกัดในเรื่องของอัตราการผลิตที่ต่ำ วิธีการอบแห้งอาหารด้วยวิธีนี้จะนิยมใช้ กับอาหารที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง เช่น การผลิตยาและเครื่องสำอาง

(5) การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Drying)

การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เป็นการอบแห้งโดยใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อช่วยลดผลการกระทบของการถ่ายเทความร้อน โดยรังสีอินฟราเรดจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการระเหยที่ผิวเซลล์และการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ผิวเซลล์ออกมาชั้นผิวนอกของเซลล์ ปัจจุบันนิยมใช้รังสีอินฟราเรดที่ รัศับความยาวคลื่น 780 นาโนเมตร ปัจจุบันมีการนำเอารังสีอินฟราเรดมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในการอบแห้งมากขึ้น และนำไปใช้กับวัสดุที่แตกต่างกันไปเช่น การนำไปใช้กับการอบแห้งลำไย [13]และข้าว [14,15] เป็นต้น เนื่องจากการใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เสียไป สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้เร็วขึ้น เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่าย

(6) การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Drying)

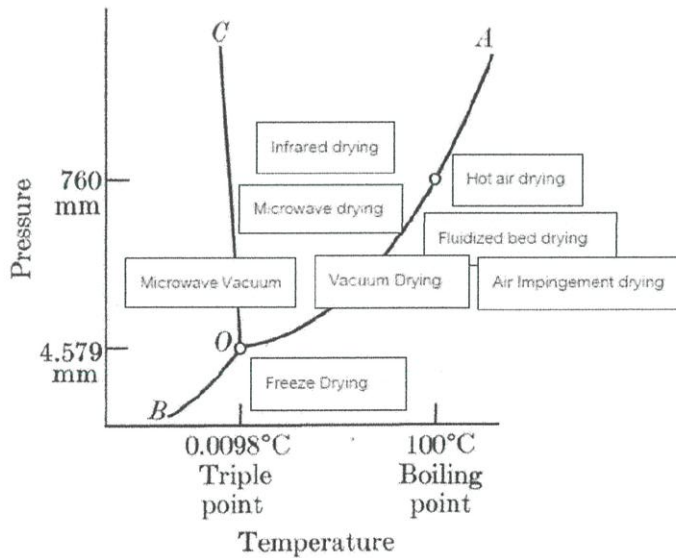
การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นการอบแห้งด้วยการเหนี่ยวนำความร้อนจากภายในอาหารเอง โดยคลื่นไมโครเวฟจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้โมเลกุลน้ำในอาหารเกิดการสั่นและหมุนด้วยความถี่สูง ส่งผลให้เกิดการเสียดสีและชนกันของโมเลกุลน้ำ และทำให้เกิดความร้อนที่อัตราสูง การอบแห้งด้วยคลื่น ไมโครเวฟสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งได้ดี เนื่องจากมีอัตราการอบแห้งที่สูง ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่ได้จึงมีคุณภาพสูง

(7) การอบแห้งด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Drying)

ธรรมชาติของน้ำจะระเหยกลายเป็นไอก็ต่อเมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือดของน้ำ โดยน้ำจะ เริ่มระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสภายใต้ความดันไอ 1 บรรยากาศ การอบแห้งทั่วไป จึงมักจะใช้อุณหภูมิสูงเพื่อช่วยเร่งอัตราการระเหยของอาหารอบแห้ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพอาหารอย่างมาก เนื่องจากสารอาหารจะเสื่อมสลายได้ง่ายเมื่อโดนความร้อนสูง เพื่อพัฒนากระบวนการ อบแห้งและสามารถรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีขึ้นนั้น จึงได้มีการนำระบบสุญญากาศเข้ามาใช้ เพื่อช่วย ลดจุดเดือดของน้ำในอาหาร ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งอาหาร โดยความสัมพันธ์ของความดันไอและจุดเดือดของน้ำ สามารถอธิบายได้ตามหลักการของเฟสไดอะแกรม ดังนั้นผลของการลดความดันไอในระบบการอบแห้ง จะช่วยลดจุดเดือดของอาหารทำให้อัตราการระเหยของอาหารสูงขึ้น โดยอัตรา การอบแห้งจะแปรผันตรงกับอัตราการลดของความดันไอและการเพิ่มของอุณหภูมิในการอบแห้ง การอบแห้งด้วยระบบสุญญากาศจึงนิยมใช้ในกระบวนการอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากภายใต้สภาวะสุญญากาศอาหารจะมีจุดเดือดที่ต่ำและมีอัตราการถ่ายเทมวลที่สูง ทำให้อาหารที่อบแห้งด้วยวิธีนี้มีคุณภาพสูง ทั้งในด้านลักษณะ สัมผัส สี กลิ่น รส และสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ

(8) การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Microwave Vacuum Drying)

การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Microwave Vacuum Dehydration) นับเป็นการพัฒนาวัตรกรรมการอบแห้งที่มีความสมบูรณ์แบบมากที่สุด ทั้งในด้านวิศวกรรมการผลิตและ ด้านความสามารถในการลดการเสื่อมคุณภาพ เนื่องจากการอบแห้งภายใต้ระบบสุญญากาศจะช่วยลด อุณหภูมิในการระเหยของน้ำในอาหาร จึงสามารถช่วยลดการเสื่อมคุณภาพของอาหารอบแห้งได้ดี และ เมื่อนำมาผสมผสานกับการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง จึงเป็นการพัฒนาศักยภาพในกระบวนการอบแห้งได้อย่างดีเยี่ยม โดยปัจจุบันเริ่มมีการนำการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศมาใช้ในระดับอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนามาตรฐานคุณภาพสินค้าทางการเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง ทั้งในแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous) โดยเฉพาะการนำมาใช้อบแห้งพืชสมุนไพรเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าของสินค้า เช่น การอบแห้งขมิ้นชันและเห็ดหลินจือ เพื่อช่วยลดอัตราการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidat) การอบแห้งพริกแดงเพื่อช่วยรักษาสีแดงและสารให้ความเผ็ด (Capsaicin Content) การอบแห้งสับปะรดเพื่อช่วยลดการเสื่อมสลายของสารแคโรทีนอยด์ (Carotenoids Content) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองที่สำคัญในสับปะรด และช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล นอกจากนี้การอบแห้ง ด้วยคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีข้อได้เปรียบในเรื่องของการประหยัดพลังงานและ ค่าใช้จ่ายในการกระบวนการอบแห้งอีกด้วย



ภาพที่ 2.2 แสดงเฟสไดอะแกรมของน้ำและวิธีการอบแห้งแบบต่างๆ

ที่มา : www.foodfocusthailand.com

เฟสไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิซึ่งจุดร่วมสามเป็นจุดที่แยก สถานะของน้ำ ออกเป็น 3 สถานะ (แสดงในภาพที่ 2.2) ซึ่งประกอบไปด้วย ของแข็ง ของเหลวและไอ โดย ให้เส้น OA อยู่ระหว่างของเหลวและไอ เส้น OC จะอยู่ระหว่างของแข็งและของเหลว เส้น OB อยู่ระหว่างของแข็งและไอ

ภาพดังกล่าวแสดงความสามารถในการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิดในช่วงความดันและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

2.2.3 การเกิดความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด

เทคนิคในการเตรียมอาหารที่เกี่ยวข้องกับอินฟราเรด (infrared) ที่ให้อุณหภูมิสูงเป็นการแปรรูปที่มีแนวโน้มที่จะเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคในอนาคตเนื่องจากเตรียมง่ายแต่มีกลิ่นรสและรสชาติดี รังสีอินฟราเรดจะปล่อยออกจากวัตถุที่ทำให้ร้อน โดยที่ความยาวคลื่นของการแผ่รังสีขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุที่ปล่อยความร้อนออกมา อาหารร้อนขึ้นเนื่องจากการดูดซับรังสีอินฟราเรดและ เปลี่ยนไปเป็นความร้อนทำให้อุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น รังสีอินฟราเรดใช้ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ใช้สำหรับแยกเปลือก และทำลายเอ็นไซม์ในเมล็ดถั่วต่างๆ

2.2.4 หลักการของอินฟราเรดในอาหาร

แถบสเปกตรัมของแม่เหล็กไฟฟ้าภายในความยาวคลื่นของอินฟราเรดที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารที่ปล่อยออกมาแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000°C จะให้รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น ($0.7\mu\text{m} - 2\mu\text{m}$) ขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ จะให้รังสีอินฟราเรดคลื่นกลาง ($2\mu\text{m} - 4\mu\text{m}$) และคลื่นยาว ($4\mu\text{m} - 1\mu\text{m}$) (ภาพที่ 2.3) รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวจะเกิดขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึงประมาณ 400°C รังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นสั้นไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่อาหารได้มาก จึงเหมาะสำหรับกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นอาหารก่อนอาหารสามารถผ่านขั้นตอนการทำให้สุกเบื้องต้น เช่น การทำให้เกิดสีน้ำตาล เป็นต้นซึ่งทำให้ผิวหน้าของอาหารปิดก่อน

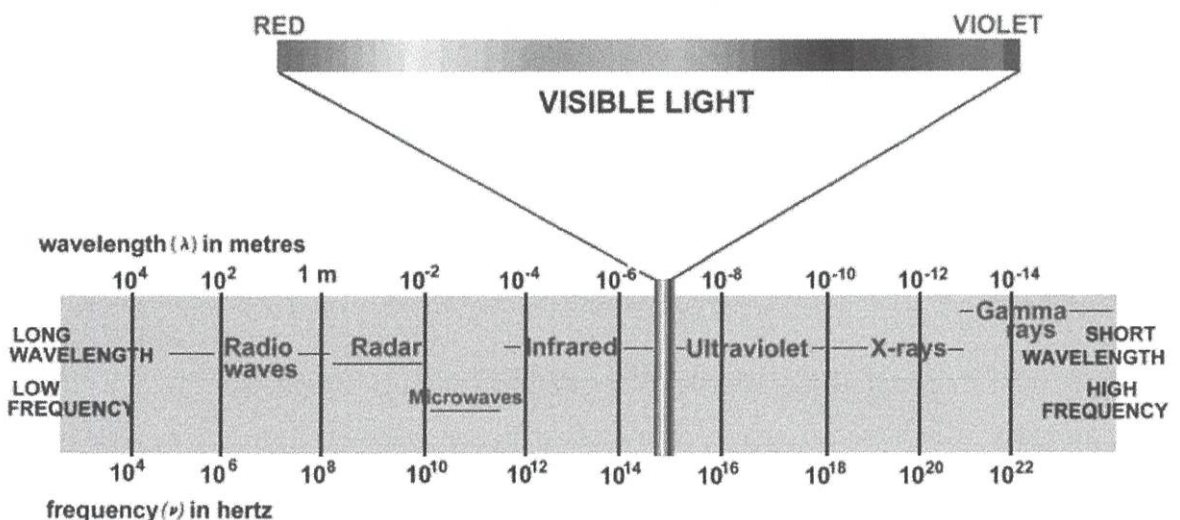
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางความร้อนของอาหารบางชนิด

อาหาร	ความร้อนจำเพาะ ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)
เนื้อ		
เนื้อไม่มีมัน	3.06-3.43	0.36-0.61
ไขมัน	2.59-2.89	0.20-0.26
ผัก		
ผักสดผัก	3.77-4.10	0.30-0.42
อบแห้ง	1.84	0.21
ผลไม้		
ผลไม้สด	3.73-4.10	0.40-0.55
ผลไม้อบแห้ง	2.14-2.47	0.3-0.4

อาหาร	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m °C)
นม		
นมอุดมด้วยมันเนย	3.85	0.54
นมพร่องมันเนย	3.98	0.57
ครีม	3.14	0.57
อื่นๆ		
ขนมปัง	2.85	0.35-0.45
ไข่ดาว	3.85	0.45-0.50
ไข่แดง	2.81	0.33-0.97

ที่มา : King (1989)

แนวคิดพื้นฐานของการแผ่รังสีอินฟราเรดคือ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่สูงการแทรกซึมความร้อนโดยตรงเข้าสู่อาหาร การควบคุมกระบวนการเร็วและไม่มีทำให้ความร้อนแก่อากาศที่อยู่รอบๆ คุณภาพเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า รังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงานอุดมคติสำหรับการให้ความร้อน ตัวให้รังสีอินฟราเรด คือ เรดิเอเตอร์ (radiator) ซึ่งมีหลายชนิดและมีรูปร่างต่างๆ กัน เช่น gas heated radiators (ให้รังสีคลื่นยาว) และ electrically heated radiators (อาจเป็น ceramic heater) ที่ให้รังสีคลื่นยาวหรือ quartz tube heaters (ให้รังสีคลื่นสั้นและปานกลาง)



ภาพที่ 2.3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com>

2.3 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณน้ำ ที่มีอยู่ในผลผลิตเมื่อเทียบกับมวลของผลผลิต ซึ่งโดยทั่วไปจะบอกได้ 2 แบบด้วยกันคือ เมื่อเทียบกับมวลของผลผลิตขึ้นก็จะเรียกว่า ความชื้นในฐานเปียก เป็นความชื้นที่นิยมบอกในทางการค้าหรือการซื้อขายผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกร และเมื่อเทียบกับ มวลของผลผลิตแห้งก็จะเรียกว่า ความชื้นในฐานแห้ง ซึ่งเป็นความชื้นที่นิยมใช้ในเอกสารวิชาการ เนื่องจากว่าน้ำหนักแห้งจะมีค่าคงที่เสมอไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการอบแห้ง ดังนั้นจึงง่ายในการอ้างอิง ซึ่งความชื้นทั้งสองมาตรฐานนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ความชื้นฐานเปียก (wet basis)

$$MC_{wb} = \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of sample}} \quad (\text{eq. 2.1})$$

ความชื้นฐานแห้ง (dry basis)

$$MC_{db} = \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of dry solids}} \quad (\text{eq. 2.2})$$

โดยที่ MC_{wb} = ความชื้นฐานเปียก

MC_{db} = ความชื้นฐานแห้ง

หรือ

$$MC = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (\text{eq. 2.3})$$

โดยที่ MC = ความชื้นฐานแห้ง

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง

สำหรับหน่วยของความชื้นนั้นโดยทั่วไปทางการค้านิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนได้โดยการคูณด้วย 100 และตัวย่อด้านท้าย เปอร์เซ็นต์ d.b. หมายถึงฐานแห้ง และ เปอร์เซ็นต์ w.b. หมายถึงฐานเปียก บางครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนความชื้นจากฐานหนึ่งสู่อีกมาตรฐานหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการซึ่งได้จากการแก้สมการสองสมการข้างต้น

$$MC_{wb} = \frac{MC_{db}}{MC_{db} + 1} \quad (\text{eq. 2.4})$$

$$MC_{db} = \frac{MC_{wb}}{1 - MC_{wb}} \quad (\text{eq. 2.5})$$

ในการหาน้ำหนักของผลผลิตสุดท้ายเมื่อทราบความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย ในกรณีที่ทราบน้ำหนักเริ่มต้นของผลผลิตที่ต้องการอบแห้งสามารถหาน้ำหนักผลผลิตสุดท้ายได้จากสมการ

$$W_w = \frac{(M_i - M_f)W_i}{(100 - M_f)} \quad (\text{eq. 2.6})$$

โดยที่ M_f	= ความชื้นสุดท้าย(ฐานเปียก)
W_i	= น้ำหนักผลผลิตเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)
W_w	= น้ำหนักน้ำที่ต้องการเอาออกจากผลผลิต (กรัม)
M_i	= ความชื้นเริ่มต้น (ฐานเปียก)
W_f	= น้ำหนักผลผลิตสุดท้ายหลังอบ (กรัม)

กรณีใช้น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้งที่ต้องการเป็นฐาน สมการที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่

$$W_w = \frac{(M_i - M_f)W_f}{(100 - M_i)} \quad (\text{eq. 2.7})$$

อัตราส่วนความชื้น

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (\text{eq. 2.8})$$

โดยที่ MR	= อัตราส่วนความชื้น (ไร้นหน่วย)
M_t	= ความชื้น ณ เวลาใดๆ เปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)
M_i	= ความชื้นเริ่มต้น เปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)
M_e	= ความชื้นสมดุล เปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)

ความชื้นสมดุลเปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก)

$$M_e = \frac{\text{Solid Me} - \text{Solid Mi}}{\text{Sample}} \quad (\text{eq. 2.9})$$

โดยที่ Solid Me	= น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือจากการอบแห้งด้วยวิธีการหาความชื้นสมดุล
Solid Mi	= น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือจากการอบแห้งด้วยวิธีการหาความชื้นเริ่มต้น
Sample	= น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

2.4 การศึกษาจลนพลศาสตร์และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

สุเนตรและฤทธิชัย (2554) [16] ได้อธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบวิธีการอบแห้งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องทั้งในด้านวิธีการอบแห้งแหล่งพลังงานที่ใช้ผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ดังนั้นการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะการอบแห้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบระบบการอบแห้งแบบต่างๆเนื่องจากสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลสารและความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งตลอดจนการหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆได้ดีปัจจุบันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งจะถูกนำไปใช้ในการจำลองสภาวะการอบแห้งและการศึกษาผลกระทบของปัจจัยด้านต่างๆในกระบวนการอบแห้งตลอดจนการทดสอบและเปรียบเทียบเงื่อนไขการอบแห้งแบบต่างๆเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งแทนการทดลองจริงดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งซึ่งมีความสะดวกและประหยัด

ค่าใช้จ่ายในการทดสอบเงื่อนไขในการอบแห้ง

จากการสำรวจเอกสารของรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งด้วยระบบการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่นิยมใช้ในการศึกษาสำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรมักจะเลือกใช้แบบจำลองสมการเชิงประจักษ์ (Semiempirical equation) อาทิเช่นแบบจำลองของ Newton, Page, Henderson and Pabis, และ Logarithmic ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์[17]ดังต่อไปนี้

$$\text{Newton} \quad MR = \exp(-kt) \quad (\text{eq. 2.10})$$

$$\text{Page} \quad MR = \exp(-kt^n) \quad (\text{eq. 2.11})$$

$$\text{Henderson and Pabis} \quad MR = a \cdot \exp(-kt) \quad (\text{eq. 2.12})$$

$$\text{Logarithmic} \quad MR = a \cdot \exp(-kt) + c \quad (\text{eq. 2.13})$$

หมายเหตุเมื่อ k , n , a , b คือค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2(D_{\text{eff}})t}{4L^2}\right] \quad (\text{eq. 2.14})$$

โดยที่ D_{eff} = สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (เมตร²/วินาที)

L = ความหนาของตัวอย่าง (เมตร)

T = เวลาในการอบแห้ง (วินาที)

สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลจากค่าความชันของกราฟเส้นตรง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(MR)$ และเวลาในการอบแห้ง (t) ดังแสดงในสมการ

$$\text{Slope} = \frac{\pi^2 \times D_{\text{eff}}}{4L^2} \quad (\text{eq. 2.15})$$

2.4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะอาศัยวิธีการทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์บอกความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยค่า Chi-square (χ^2) ค่า R^2 และค่า RMSE เป็นค่าที่นิยมใช้เปรียบเทียบความแม่นยำสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

(1.) Chi-square (χ^2)

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2}{N-z} \quad (\text{eq. 2.16})$$

โดยที่ $MR_{\text{exp},i}$ = อัตราส่วนความชื้นไม่มีหน่วยจากการทดลอง

N = จำนวนค่าสังเกต

$MR_{\text{pre},i}$ = อัตราส่วนความชื้นไม่มีหน่วยจากการทำนาย

z = ค่าคงที่จากแบบจำลอง

(2.) R^2 (Coefficient of Determination)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pred} - MR_{pred,i})^2} \quad (\text{eq. 2.17})$$

(3.) RMSE (Root Mean Square Error)

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{eq. 2.18})$$

- โดยที่ R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด
 RMSE = ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
 $MR_{exp, i}$ = ค่าอัตราส่วนความชื้นของการทดลอง
 $MR_{pre, i}$ = ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของแบบจำลอง
 $MR_{pre, d}$ = ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของแบบจำลองเฉลี่ย
 N = จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.5 กระบวนการสกัดน้ำมัน[18]

การสกัดน้ำมันเป็นการสกัดจากส่วนต่างๆ เช่น ผลและเมล็ดของพืชน้ำมันเช่นมะพร้าวปาล์ม ถั่วเหลือง ข้าวโพด ถั่วลิสง รำข้าว เป็นต้น ปริมาณน้ำมันที่มีในพืชแต่ละชนิดมีอยู่แตกต่างกันไปตั้งแต่ 10-70% เช่นเนื้อมะพร้าวจะมีน้ำมันสูงถึงเกือบ 70% ของน้ำหนักปาล์มมีประมาณ 50% ในขณะที่ถั่วเหลืองมีน้ำมัน 20% รำข้าว 15% กรรมวิธีในการสกัดน้ำมันมี 2 วิธีหลักๆ ดังนี้

2.5.1 การบีบหรือใช้แรงอัด (mechanical expression)

การบีบหรือใช้แรงอัด (mechanical expression) เช่น ถั่วลิสง และเนื้อมะพร้าวแห้ง การสกัดโดยวิธีธรรมชาติจะได้น้ำมันออกมาน้อย ยังคงมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากอยู่มาก ในทางอุตสาหกรรมจึงนำเอาตัวทำละลายมาช่วยในการสกัดเพื่อให้ได้น้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด ส่วนใหญ่การใช้ตัวทำละลายจะสกัดได้มากกว่า 90% ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบ

2.5.2 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การสกัดไขมันหรือน้ำมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก และใช้สกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณมากหรือสกัดน้ำมันออกจากกากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัดตัวทำละลายที่ใช้จะตองไม่เป็นพิษต่อร่างกายได้แก่ เฮกเซน คาร์บอนไดซัลไฟด์ และ ไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น ตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุดคือ เฮกเซน

วิธีการสกัดทำได้โดยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านเมล็ดที่บดละเอียด น้ำมันที่อยู่ในเมล็ดจะละลายออกมากับตัวทำละลายเมื่อน้ำมันละลายออกมาหมดแล้วนำไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออกสารละลาย

ของน้ำมันในตัวละลายบางที่เรียกว่า miscella ซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลายน้ำหรือความชื้นน้ำมันหรือ กากซึ่งกากจะแยกออกจากน้ำมันโดยการกรองสวนเฮกเซนและน้ำแยกออกโดยการระเหย (evaporation) ที่ความดันต่ำและได้น้ำมันออกมาประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์และมีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่า 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขั้นตอนการระเหยเอาตัวทำละลายออกต้องใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำที่สุดเพราะหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะเร่งให้เกิดออกซิเดชันทำลายสารต้านออกซิเดชันและทำให้น้ำมันที่ได้มีสีเข้มขึ้นการใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายจะได้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าวิธีอื่นเมสตีฟิซบางชนิดใช้วิธีการบีบรวมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายอย่างไรก็ตามการสกัดด้วยตัวทำละลายจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีอื่นๆเพราะตัวทำละลายมีราคาแพงถึงแม้จะกลั่นแยกเอาตัวทำละลายกลับมาใช้ได้อีกก็ตามแต่ก็มีบางส่วนที่ระเหยหายไปด้วยน้ำมันที่ได้ออกมาเป็นน้ำมันที่ไม่บริสุทธิ์เรียกว่า crude oil มักมีสารประกอบต่างๆปนอยู่มากมายต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป

การสกัดสารในสองเฟสโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีการแยกสารพื้นฐานสำหรับการแยกและการทำให้สารบริสุทธิ์โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมเป็นเทคนิคในการสกัดแยกสารเคมีวิธีหนึ่งโดยอาศัยหลักการของการแจกแจง (distribution) ของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย 2 ชนิดที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อตัวถูกละลายแพร่กระจายในตัวทำละลายทั้งสองจนถึงสมดุลอัตราส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายทั้งสองจะมีค่าคงที่โดยทั่วไปพบว่าในตัวทำละลายคู่หนึ่งๆสารตัวหนึ่งจะละลายในตัวทำละลายทั้งสองชั้นนั้นเป็นอัตราส่วนคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งอัตราส่วนนี้ เรียกว่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient) ตัวย่อว่า K สารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวนำมาใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับการสกัดนั้นควรจะมีคุณสมบัติดังนี้

1. ควรละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดีคือมีค่า Distribution coefficient สูง
2. ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับสารละลายของผสมที่จะสกัด
3. ไม่ควรละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการสกัด
4. ควรจะแยกจากสารที่สกัดได้ง่ายภายหลังการสกัดแล้ว
5. ควรเป็นตัวทำละลายที่มีราคาถูกและไม่มีอันตราย

สารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวที่นำมาใช้เป็นตัวทำละลายที่รู้จักกันดีได้แก่คลอโรฟอร์ม (CHCl_3) มีความถ่วงจำเพาะ 1.49 เป็นตัวทำละลายที่หนักกว่าน้ำใช้อย่างกว้างขวางสำหรับแยกสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบเชิงซ้อน (metal co-ordination complexes) จากสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายได้ดีกว่าคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) สำหรับเบนซีน (Benzene, C_6H_6) มีความถ่วงจำเพาะ 0.88 และเอทิลเอเทอร์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$) มีความถ่วงจำเพาะ 0.98 มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำจึงถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง (extensively) โดยเฉพาะสกัดพวก metal association complexes ได้ดีกว่าตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆและบางครั้งอาจจะนำ $(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{PO}_4$ ผสมกับ C_6H_6 หรือ ketone เพื่อทำเป็นตัวทำละลายสำหรับสกัดสารและช่วยเพิ่ม selectivity สำหรับการสกัดเมื่อตัวถูกละลายละลายในตัวทำละลายเช่นน้ำนำมาเทียบกับตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ละลายซึ่งกันและกันก็จะเกิดการแข่งขัน (competition) ระหว่างตัวทำละลายทั้งสองสำหรับตัวถูกละลายที่เราต้องการจะทราบว่าจะตัวถูกละลายจะไปอยู่ในวัฏภาคใดมากกว่าก็อาศัยหลัก “like dissolve like” [19]

2.6 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน

คุณภาพน้ำมันมีความสำคัญต่อการพิจารณาว่าน้ำมันใดบริโภคได้หรือไม่สิ่งที่บอกว่าคุณภาพน้ำมันที่จะบริโภคได้หรือไม่นั้นมีหลายอย่างในที่นี้พิจารณาที่ค่ากรด

ค่ากรด (Acid value ; AV) [20] ค่ากรดคือจำนวนมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระในน้ำมันหนักหนึ่งกรัมการหาค่ากรดทำได้โดยการนำน้ำมันที่ต้องการวิเคราะห์มาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน KOH โดยมีสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์การเขาทำปฏิกิริยาเป็นกลางของกรดไขมันอิสระในน้ำมันกับสารละลายมาตรฐาน KOH แสดงดังสมการ



หมู่ฟังก์ชันของกรดคือหมู่ COOH จะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารละลายมาตรฐาน KOH ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งถึงจุดสมมูลซึ่งฟีนอล์ฟทาไลน์เปลี่ยนสี

2.7 การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

ค่าการใช้พลังงานในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเป็นค่าที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและยังสามารถแสดงถึงต้นทุนการอบแห้งวัสดุชีวภาพในอุตสาหกรรมอาหารอย่างหายาๆ

ค่าพลังงานจำเพาะสามารถคำนวณได้จากปริมาณพลังงานที่วัดได้ในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดโดยสมการ

$$P = IV \cos \phi \quad (\text{eq. 2.19})$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

I = กระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้าความต่างศักย์ไฟฟ้า(โวลต์)

$\cos \phi$ = ตัวประกอบกำลัง

= 0.9

$$\text{จำนวนหน่วย(ยูนิท)ใน 1 วัน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า(วัตต์)} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}}{1000} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน} (\text{eq. 2.20})$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sakai and Hanzawa [21] ศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหัวหอมหั่นบางแบบชั้นบางด้วยลมร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดโดยทำการศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ถึง 80 องศาเซลเซียสระดับชั้นความหนา 2 ถึง 6 มิลลิเมตรความเร็วลม 0.8 ถึง 2 เมตรต่อวินาทีโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบชั้นบางเช่น Page, Modified Page, Fick's และ Exponential ซึ่งใช้อธิบายถึงจลนศาสตร์การอบแห้งของวัสดุอาหารพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page และ modified Page มีความเหมาะสมโดยพิจารณาค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.980 ถึง 0.995 แต่สำหรับแบบจำลองอื่นค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.767 ถึง 0.933 ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 แบบมีค่า R^2 ค่อนข้างแม่นยำแต่ modified Page มีความแม่นยำสูงที่สุดในการทำนายพฤติกรรม

Abe and Afzal [22] ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวบาร์เลย์ด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดจากความชื้น 18 % w.b. ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 15 % w.b. ระยะติดตั้งแผงรังสีอินฟราเรดกับวัสดุ 15 cm อุณหภูมิ

ของอากาศเข้าห้องอบแห้งเท่ากับ 30°C ที่ความเข้มรังสีอินฟราเรด 0.1, 0.333 และ 0.5 W/cm² จากการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้น 0.333 W/cm² มีความเหมาะสมที่สุดโดยลดเวลาลงได้ 55 นาทีซึ่งจะทำให้ความงอกสูงขึ้น 95 %

สุภวรรณภูริระวณิชกุล [23] ได้ศึกษาการอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟและลมร้อน : จลนพลศาสตร์คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส โดยมีความชื้นเริ่มต้นของขนุนอยู่ในช่วง 304.6-346.6% dry-basis และ ความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 13.4-25.4% dry-basis จากการศึกษาพบว่า คุณภาพของขนุนอบแห้งด้วยสภาวะอบแห้งที่แตกต่างกันที่ใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงมีค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นทำให้ภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงสีรวมในรูปของ ΔE^* เพิ่มขึ้นแม้ว่าค่าความเป็นสีแดง (a*) จะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งก็ตาม

อนรรฆอรศรีไสยเพชร[18]ได้ศึกษาการพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ พบว่าจากการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อบแห้งแล้วมาสกัดน้ำมันโดยใช้ Soxhlet Extraction Apparatus มีปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันรวม (%โดยน้ำหนักแห้ง) ของรำละเอียดข้าวโพดคอกกากถั่วเหลืองปลาป่นอาหารสุกรระยะรุ่นและระยะเลี้ยงลูกเท่ากับ 27.95%, 14.82%, 10.97%, 7.94%, 12.84% และ 16.24% ตามลำดับส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำมันรวมที่สกัดได้เมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายเท่ากับ 24.24%, 7.47%, 8.96%, 7.42%, 9.16% และ 14.87% ตามลำดับ เห็นว่าน้ำมันที่สกัดได้โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันรวม ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับเฮกเซน เนื่องจากสภาพขี้ของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดปิโตรเลียมอีเทอร์มีความเป็นขี้ต่ำกว่าเฮกเซน ทำให้มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ จากการทดสอบค่ากรด ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า น้ำมันที่สกัดได้จากตัวอย่างทุกชนิดมีค่า สูงกว่าเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2543)ที่ประกาศให้ค่ากรดสำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีมีค่ากรดได้ไม่เกิน 0.6 และจากข้อมูลอ้างอิงซึ่งรายงานโดยนิธิยา รัตนานนท์[24] พบว่าค่ากรดที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าข้อมูลอ้างอิงแสดงว่ากรดไขมันอิสระจากน้ำมันที่สกัดได้จากการทดลองมีค่าสูง เพราะน้ำมันที่สกัดได้นั้นยังเป็นน้ำมันดิบไม่ได้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อคุณภาพและปริมาณของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ในการอบแห้งรำข้าวด้วยวิธีการอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดซึ่งรำข้าวที่ใช้เป็นรำข้าวขาวที่ผ่านการขัดสี โดยจะมีการศึกษาค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับสมการอบแห้ง การศึกษาค่าชีวิตผลเช่น ค่ากรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยที่รำข้าวดังกล่าวได้ผ่านการอบโดยทำการควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งไว้ที่ 60,90 และ 120 องศาเซลเซียสตามลำดับหลังจากนั้นทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้งที่สภาวะต่างๆเพื่อดูลักษณะการอบแห้ง ปริมาณน้ำมัน ค่ากรดและทำการหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดจากนั้นนำตัวอย่างรำขาวมาสกัดน้ำมันรำข้าวเพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำมันและค่ากรดไขมันอิสระ สำหรับค่าความชื้นเริ่มต้นของรำข้าวหาโดยวิธีการอบแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยรายละเอียดของการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการดำเนินงาน

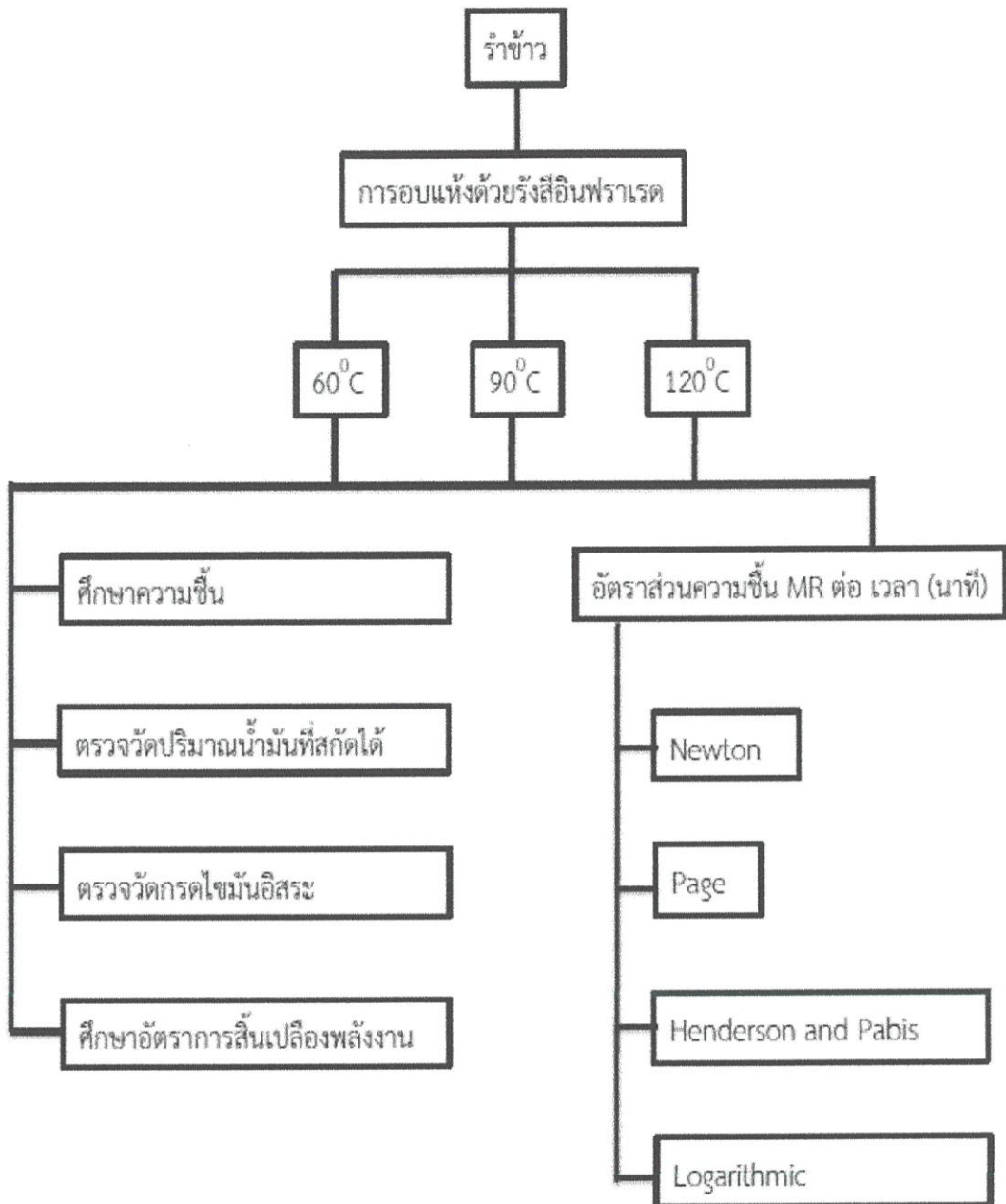
เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงได้แบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนคือการวางแผนการทดลอง, การเตรียมตัวอย่างและการหาอัตราการอบแห้งและการศึกษาหาความชื้นรวมถึงการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพน้ำมันโดยที่รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนแสดงดังต่อไปนี้

3.1.1 การวางแผนการทดลอง

แผนการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงไว้ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการศึกษานี้จะมีศึกษาการอบแห้งรำข้าวด้วยวิธีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดทำการอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ และค่ากรดไขมันอิสระนอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ถึงการหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างและการหาอัตราการอบแห้ง

นำรำข้าวขาวตัวอย่างทดลองไปทดสอบอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 , 90 และ 120 องศาเซลเซียสด้วยเตาอบอินฟราเรด เก็บข้อมูลน้ำหนักรำข้าวระหว่างการอบแห้ง เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาอัตราส่วนความชื้น (MR) โดยชั่งน้ำหนักที่ลดลงทุกๆ 5 นาทีที่อุณหภูมิ 60 , 90 และ 120 องศาเซลเซียสจนกระทั่งความชื้นลดลงจนถึงจุดสมดุลอัตราการอบแห้งของรำข้าวที่แต่ละอุณหภูมิได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 3.1 แผนการทดลอง

3.1.3 การศึกษาหาความชื้น

การศึกษาหาความชื้นเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของรำข้าวชั้นตอนแรกซึ่งแบ่งออกเป็น 2 การวิเคราะห์คือการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (Initial Moisture Content, M_i) และการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, M_e) เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลความร้อนในระหว่างการอบแห้งซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองดังแสดงต่อไปนี้

(1.) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (Initial Moisture Content, Mi) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเริ่มต้นจากการนำรำข้าวไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์นี้สามารถแสดงในรูปของแผนผังการทดลองตามภาพที่ 3.2

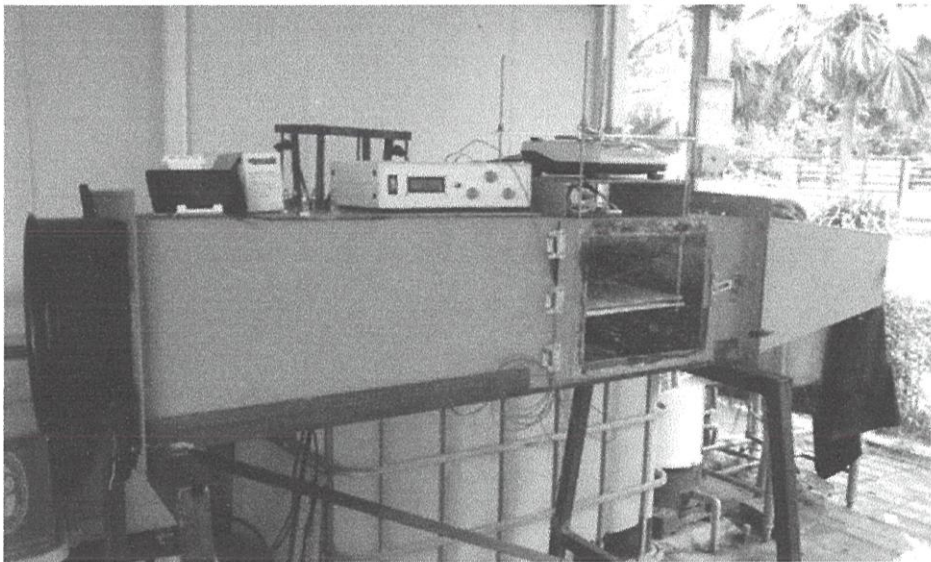
(2.) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, Me) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นสมดุลจากรำข้าวด้วยการอบแห้งอินฟาเรดความชื้นสมดุลของรำข้าวในขณะที่การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียสค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าเท่ากับศูนย์ Dadali และคณะ (2007) [25], Demirhan และ Özbek (2009) [26], Therdthai และ Zhou (2009) [27] ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์นี้สามารถแสดงในรูปของแผนผังการทดลองตามภาพที่ 3.2



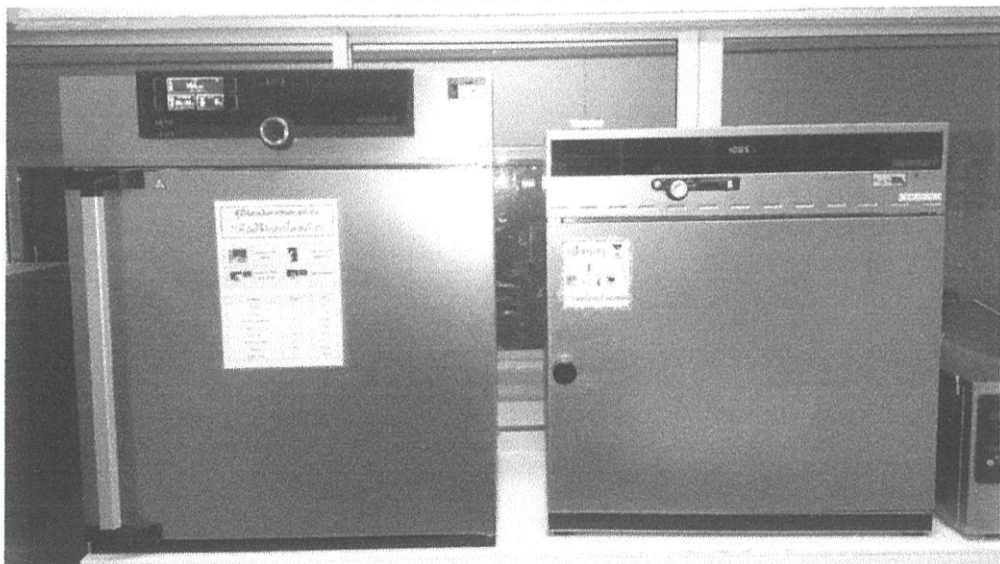
ภาพที่ 3.2 แผนผังการทดลองการหาความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสมดุล

3.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์และการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาจลนพลศาสตร์และการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญต่อการทำนายและการวางแผนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวจากการอบแห้งรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดตั้งนั้นเพื่อให้การศึกษาดังกล่าวสมบูรณ์งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบการอบแห้งรำข้าวที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียสแล้วทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักรำข้าวที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้งทุกๆ 5 นาทีจนกระทั่งความชื้นลดลงจนถึงจุดสมดุลเพื่อนำข้อมูลน้ำหนักดังกล่าวไปวิเคราะห์หาอัตราส่วนความชื้น (MR) ของรำข้าวอัตราความชื้นการอบแห้งของรำข้าวที่แต่ละอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณโดยสมการ (Eq 3.2) ลำดับขั้นตอนการศึกษาในหัวข้อนี้จึงประกอบไปด้วย การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง, และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายกระบวนการอบแห้งของรำข้าวโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



(ก.) เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด



(ข) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

ภาพที่ 3.3 (ก) เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด

(ข) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

3.2.1 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบวิธีการอบแห้งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องทั้งในด้านวิธีการอบแห้งแหล่งพลังงานที่ใช้ผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ดังนั้นการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะการอบแห้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบระบบการอบแห้งแบบต่างๆเนื่องจากสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลสารและความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งตลอดจนการหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆได้ดีปัจจุบันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งจะถูกนำไปใช้ในการจำลองสภาวะการอบแห้งและการศึกษาผลกระทบของปัจจัยด้านต่างๆในกระบวนการอบแห้งตลอดจนการทดสอบและเปรียบเทียบเงื่อนไขการอบแห้งแบบต่างๆเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งแทนการทดลองจริงดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งซึ่งมีความสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบเงื่อนไขในการอบแห้งจากการสำรวจเอกสารของรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งที่นิยมใช้ในการศึกษาสำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรมักจะเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการเคมีเอมพิริคัล (Semi-empirical equation) อาทิเช่นแบบจำลองของ Newton, Henderson and Pabis, Page, Logarithmic และแบบจำลองอื่นๆแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รูปแบบสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งแบบต่างๆ

ชื่อแบบจำลอง	รูปแบบสมการ
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Henderson and Pabis	$MR = a * \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a * \exp(-kt) + c$

3.2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายกระบวนการอบแห้งของรำข้าว

สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear Regression) ใช้ในการประเมินข้อมูลและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรำข้าวโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดอัตราส่วนความชื้น (MR) ของรำข้าวในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (\text{Eq 3.1})$$

โดย MR = อัตราส่วนความชื้น (ไร้หน่วย)
 M_t = ความชื้น ณ เวลาใดๆเปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)
 M_i = ความชื้นเริ่มต้นเปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)
 M_e = ความชื้นสมดุลเปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)

ความชื้นสมดุลของรำข้าวในขณะที่การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียสค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าเท่ากับศูนย์ศูนย์ Dadali และคณะ (2007) [25], Demirhan และ Özbek (2009) [26], Therdthai และ Zhou (2009) [27] สมการแสดงค่าอัตราส่วนความชื้นของรำข้าวระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจึงเป็นไปดังที่แสดงในสมการ (Eq 3.2) ต่อไปนี้

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (\text{Eq 3.2})$$

การทดลองเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งรำข้าวโดยจะใช้แบบจำลองของ Newton, Page, Henderson and Pabis และ Logarithmic ใช้ในการพิจารณา รูปแบบสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 แบบจำลองแสดงในตารางที่ 3.1

ในการพิจารณาหาแบบจำลองที่ดีที่สุดในการอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของรำข้าวจะใช้การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ช่วยในการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองโดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pred} - MR_{pred,i})^2} \quad (\text{Eq 3.3})$$

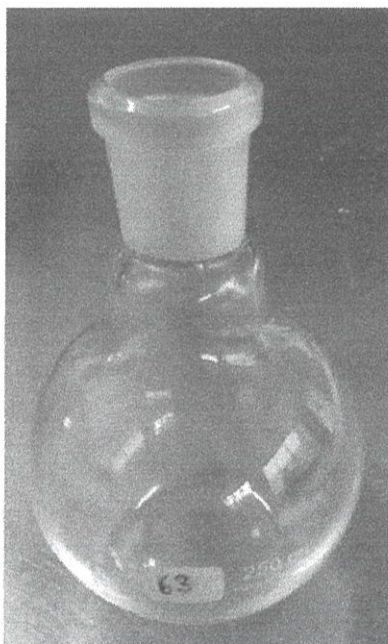
$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Eq 3.4})$$

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันรำข้าว

3.3.1 หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบด้วยวิธี Soxhlet Extraction Apparatus

(1.) ชั่งน้ำหนัก boiling flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุ glass ball และบันทึกน้ำหนัก

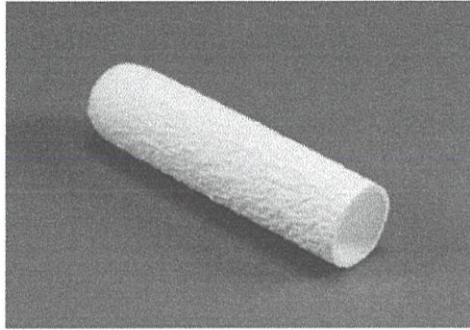
เริ่มต้น



ภาพที่ 3.4 boiling flask

(2.) ตวงเฮกเซน 110 มิลลิลิตร ลงใน boiling flask

(3.) ใส่กระดาษกรองลงใน thimble โดยการม้วนกระดาษกรองให้เป็นลักษณะกรวยแล้ว
 พับด้านกันเล็กน้อย

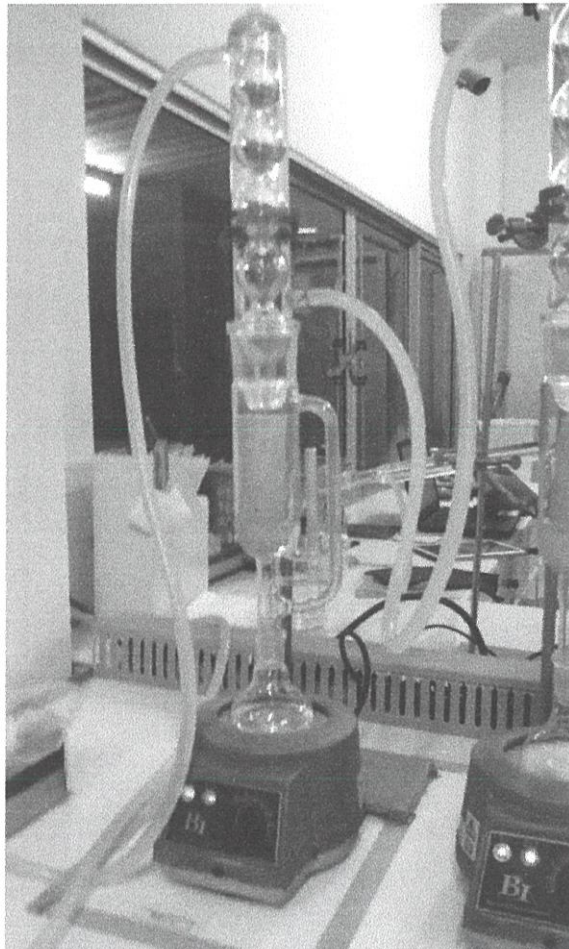


ภาพที่ 3.5 thimble

(4.) ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ลงไป จากนั้นพับกระดาษกรองให้สนิทปิดปาก thimble ด้วย
 สำลี

(5.) นำ thimble ใส่ใน Soxhlet จากนั้นเทเฮกเซนที่อยู่ใน boiling flask ประมาณ 1/3
 ของปริมาณเฮกเซนทั้งหมด

(6.) นำ Soxhlet ต่อเข้ากับ boiling flask และ condensor ให้ความร้อนเป็นเวลา 4
 ชั่วโมง



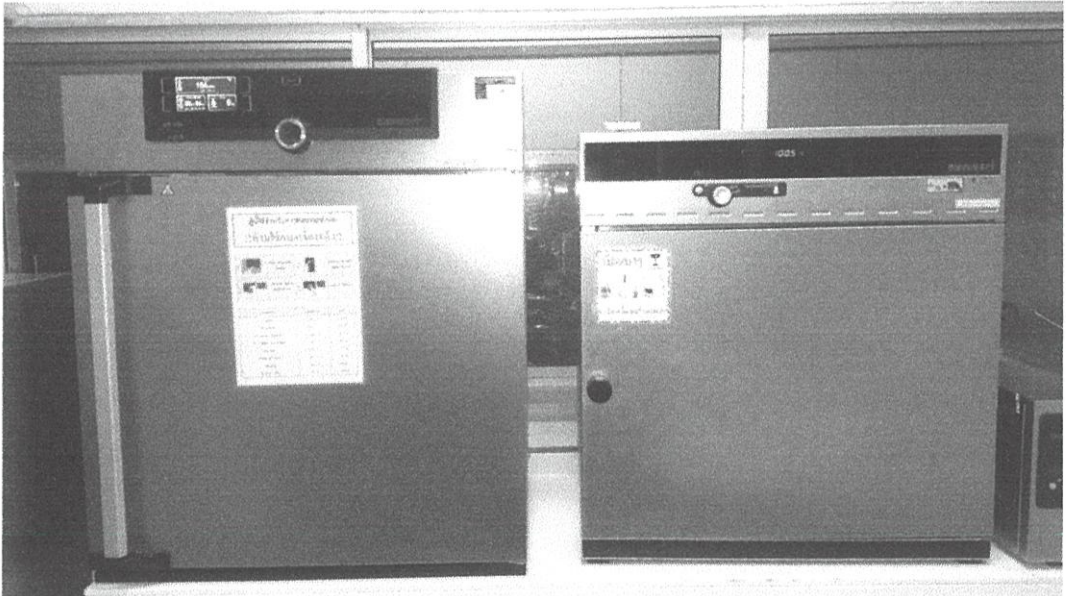
ภาพที่ 3.6 ชุด Soxhlet

(7.) นำ boiling flask ไปเข้าชุดกลั่น เพื่อแยกเฮกเซนออก



ภาพที่ 3.7 ชุดเครื่องกลั่น

(8.) นำ boiling flask ไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที เพื่อไล่ความชื้นและเฮกเซนที่เหลือ

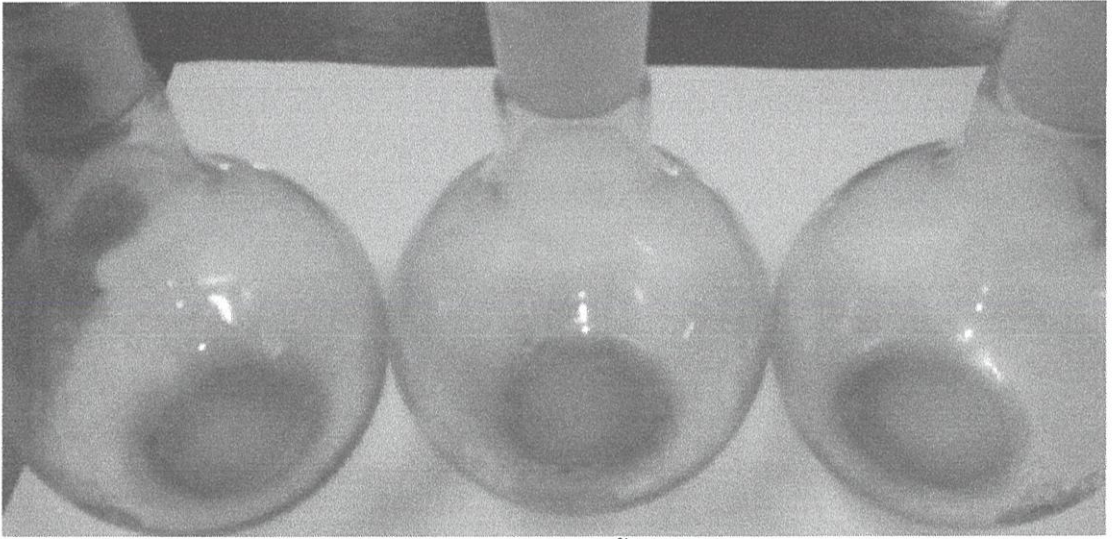


ภาพที่ 3.3 (ข) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

(9.) นำ boiling flask ใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที

(10.) นำ boiling flask ชั่งน้ำหนักบันทึกผลน้ำหนักแล้วคำนวณหาปริมาณน้ำมันจากสมการ(Eq 3.5)

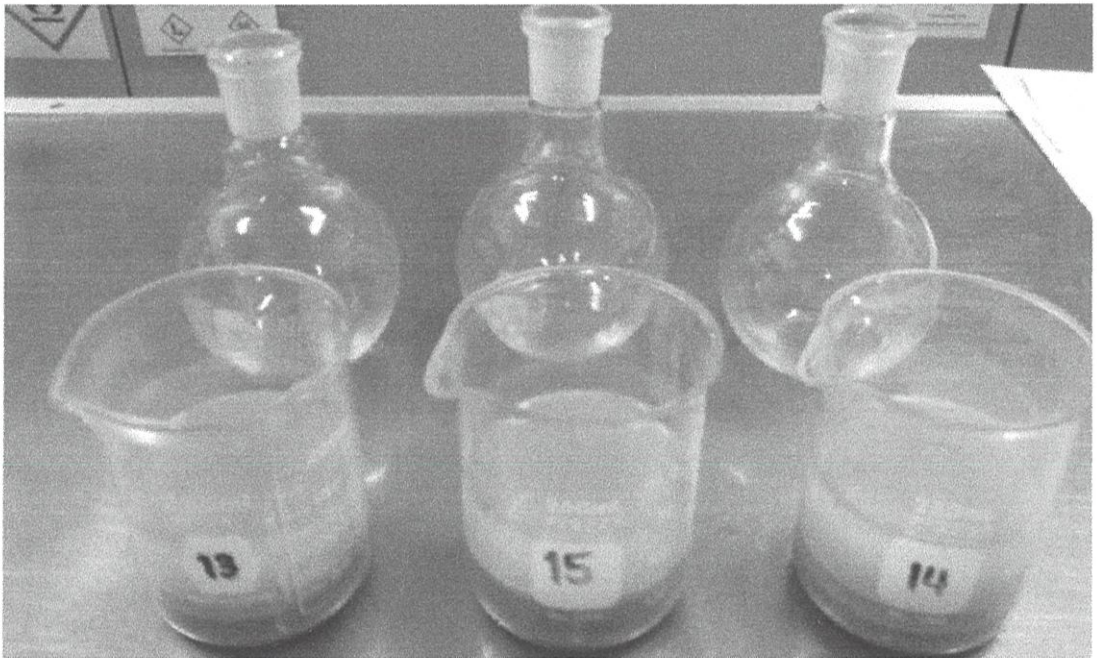
$$\text{ปริมาณน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100 \quad (\text{Eq 3.5})$$



ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างน้ำมันที่ได้

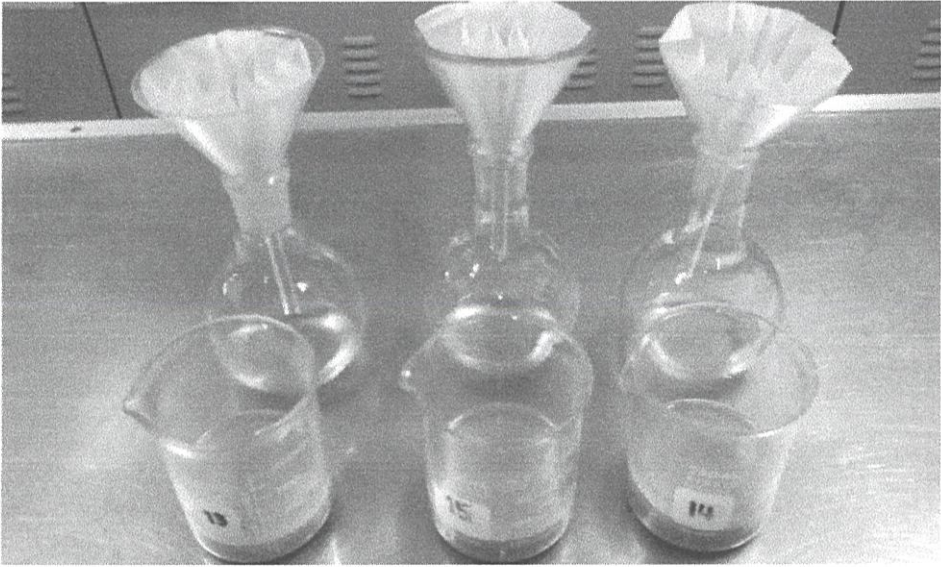
3.3.2 หาค่ากรดในวัตถุดิบ

- (1) ชั่งตัวอย่างรำสด 30 กรัม ลงในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- (2) ตวงเฮกเซน 110 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ คนให้รำข้าวเข้ากันทิ้งให้แยกชั้น



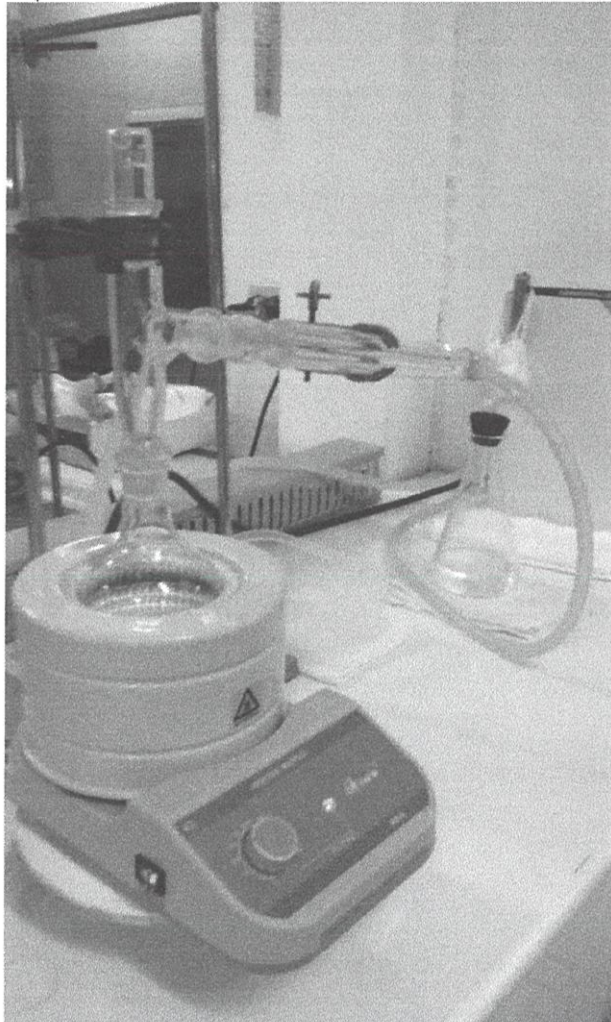
ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างเฮกเซนและรำข้าวที่แยกชั้น

- (3) ชั่ง boiling flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุ glass ball และบันทึกน้ำหนัก
- (4) กรอง miscella ที่ได้จากการผสมของรำข้าวกับเฮกเซนออกจากรำตัวอย่างและเทลงใน boiling flask ที่เตรียม



ภาพที่ 3.10 การกรองmiscella

(5.) ต่อเข้าชุดกลั่น เพื่อแยกเฮกเซนออกจากน้ำมัน



ภาพที่ 3.11 ชุดเครื่องกลั่น

(6.) นำตัวอย่างที่ได้มาเป่าลมเพื่อไล่ความร้อนและเฮกเซนทิ้งให้เย็น

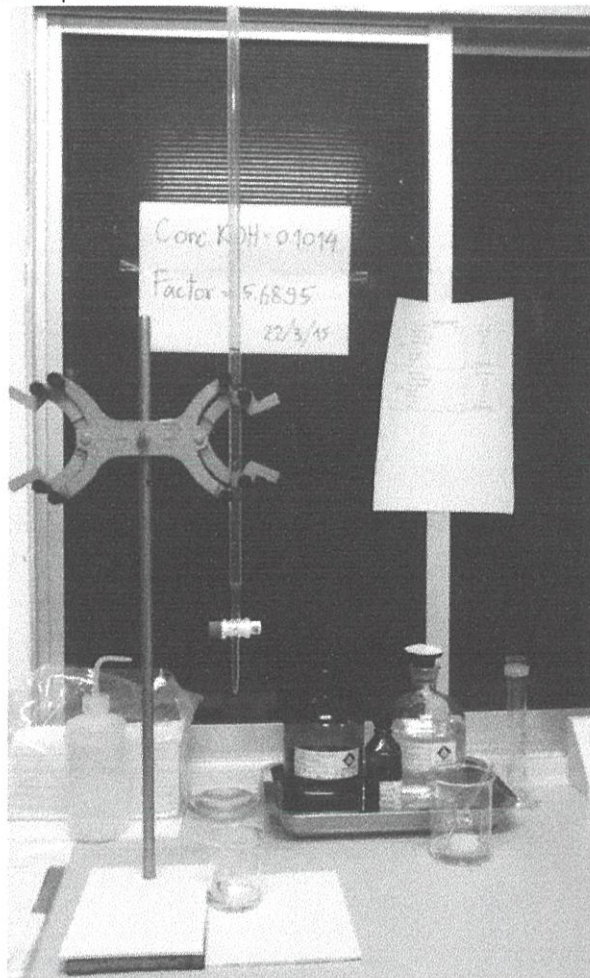
(7.) ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง



ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างน้ำมันที่ได้

(8.) หยด phenolphthalein 2-3 หยด ลงในตัวอย่างน้ำมัน

(9.) ตวง Buffer ที่มีสภาพเป็นกลาง 50 มิลลิลิตร แล้วเทใส่น้ำมันที่หยด phenolphthalein แฉ่งเบาๆ จนน้ำมันละลาย



ภาพที่ 3.13 ชุดไตเตรทและสารเคมี

(10.) ไตเตรทตัวอย่างด้วย KOH จนถึงจุดยุติ



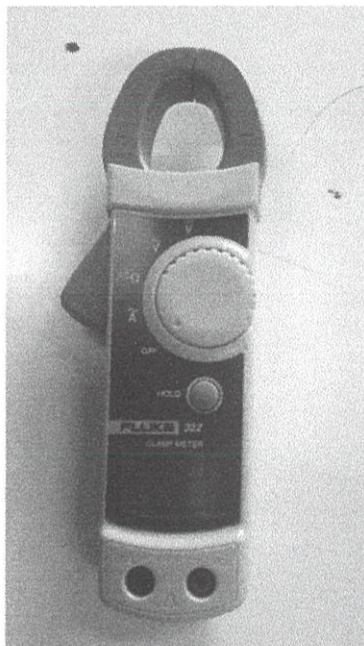
ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างสารที่ได้หลังการไตเตรท

(11.) บันทึกจำนวน KOH ที่ใช้คำนวณหาค่ากรด

$$\text{ค่ากรด} = \frac{56.11 \times \text{ความเข้มข้น KOH} \times \text{จำนวน KOH}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง}} \quad (\text{Eq 3.6})$$

3.4 การศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งรำข้าว

ค่าการใช้พลังงานในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เป็นค่าที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและยังสามารถแสดงถึงต้นทุนการอบแห้งวัสดุชีวภาพในอุตสาหกรรมอาหารอย่างหยาบๆ ค่าพลังงานจำเพาะสามารถคำนวณได้จากปริมาณพลังงานที่วัดได้ในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดโดยทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยเครื่องวัดพลังงาน (ยี่ห้อ Fluke รุ่น Clamp Meter 322) วัดค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างการอบแห้งแบบอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียสทำการบันทึกทุก 5 นาทีเมื่อได้ข้อมูลครบจากนั้นก็คำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ตั้งสมการ (Eq 3.7 – 3.8)



ภาพที่ 3.15 Clamp Meter

$$P = IV\cos\phi \quad (\text{Eq 3.7})$$

$$\text{จำนวนหน่วย(ยูนิท)ใน 1 วัน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า(วัตต์)} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}}{1000} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน} (\text{Eq 3.8})$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งรำข้าวซึ่งเป็นของเหลือจากการขัดสีที่อุดมไปด้วยสารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อร่างกายที่สามารถนำไปต่อยอดในการอบแห้งเพื่อนำไปสกัดเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าว ดังนั้นการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งเพื่อหาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมตลอดจนสภาวะการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนได้แก่การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งเบื้องต้นของรำข้าวเช่นค่าความชื้นเริ่มต้นค่าความชื้นสมดุลที่สภาวะการอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดจากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ของคุณลักษณะการอบแห้งรำข้าวหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นหรืออัตราการถ่ายเทมวลสารออกจากกระบวนการอบแห้งโดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในส่วนที่สองนี้จะถูกนำไปศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัตถุทางการเกษตรเพื่อหาสมการในการจำลองสภาวะการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมในการทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้งและการศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งรำข้าวในสภาวะการอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดเพื่อนำมาวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้งโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งทางกายภาพเบื้องต้นของรำข้าว

การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งทางกายภาพเบื้องต้นของรำข้าวได้มีการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือการศึกษาค่าความชื้นเริ่มต้นและค่าความชื้นสมดุลและการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

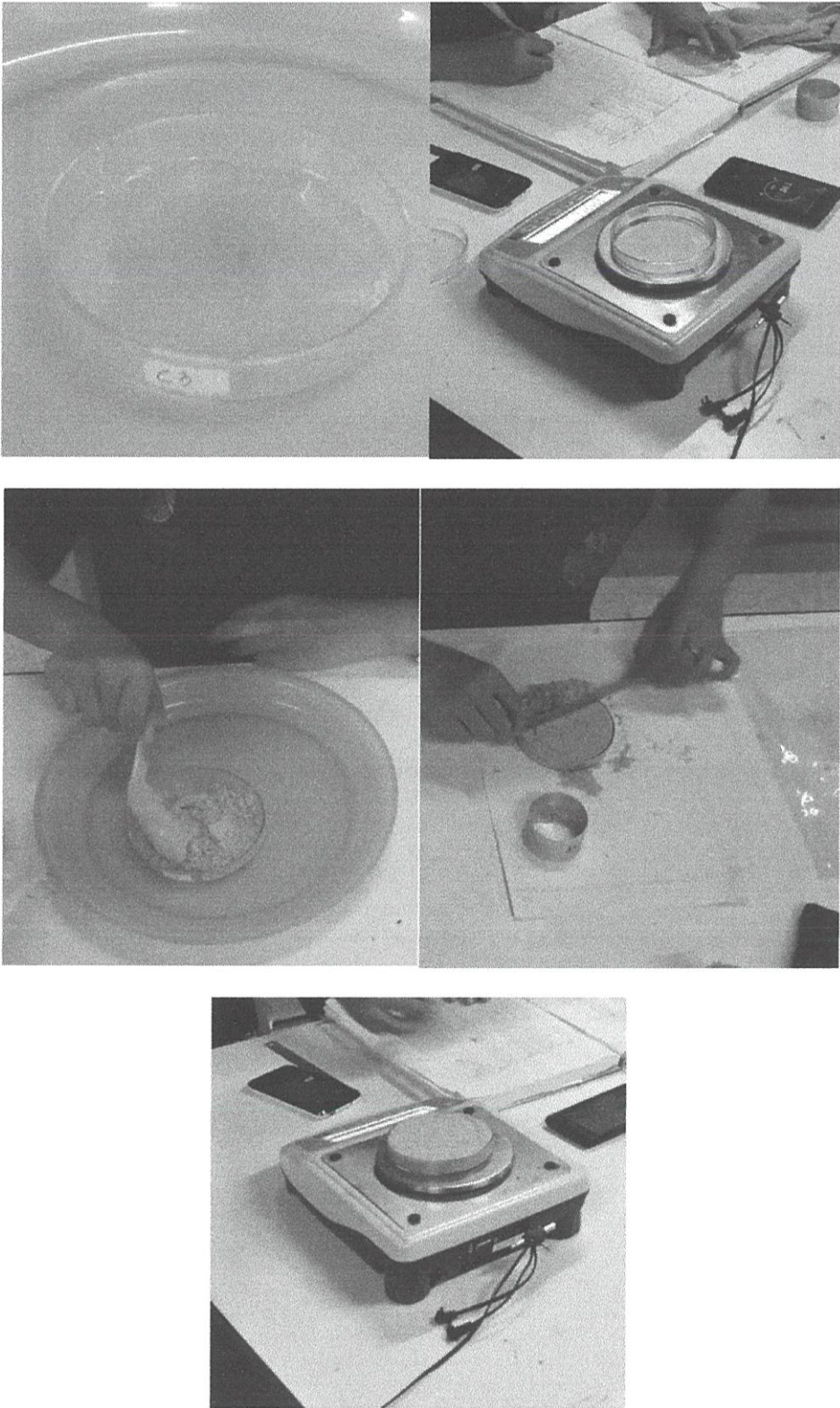
4.1.1 ค่าความชื้นเริ่มต้นและค่าความชื้นสมดุลที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

การวิเคราะห์คุณลักษณะการอบแห้งทางกายภาพเบื้องต้นของรำข้าวจะทำการศึกษาค่าความชื้นเริ่มต้นด้วยวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2005) [17] โดยการชั่งน้ำหนักจานอบและนำรำข้าวตัวอย่างทดลองไปใส่จานอบแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่งจากนั้นทำการหาค่าความชื้นเริ่มต้น ด้วยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีปรับสภาพสมดุลความชื้นของวัสดุทางการเกษตร และทำการหาค่าความชื้นสมดุลจะใช้วิธีเชิงพลวัต (Dynamic methods) ซึ่งเป็นวิธีการปล่อยให้รำข้าวสัมผัสกับอากาศแวดล้อม (60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเร็วลมคงที่ 1 เมตรต่อวินาที) วิธีนี้รำข้าวจะเข้าสู่สมดุลกับสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็ว การหาค่าความชื้นเริ่มต้น จากการดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2005) [17] และมีขั้นตอนการดำเนินการทดลองตามภาพที่ 3.2 โดยใช้ตัวอย่างรำข้าวขาว และใช้จานอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ทำการทดลองหาค่าความชื้นเริ่มต้นจำนวน 4 ตัวอย่าง จากผลการทดลองพบว่าความชื้นเริ่มต้นของรำข้าวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.91 เปอร์เซ็นต์ความชื้น(ฐานแห้ง) และความชื้นสมดุลของรำข้าวที่

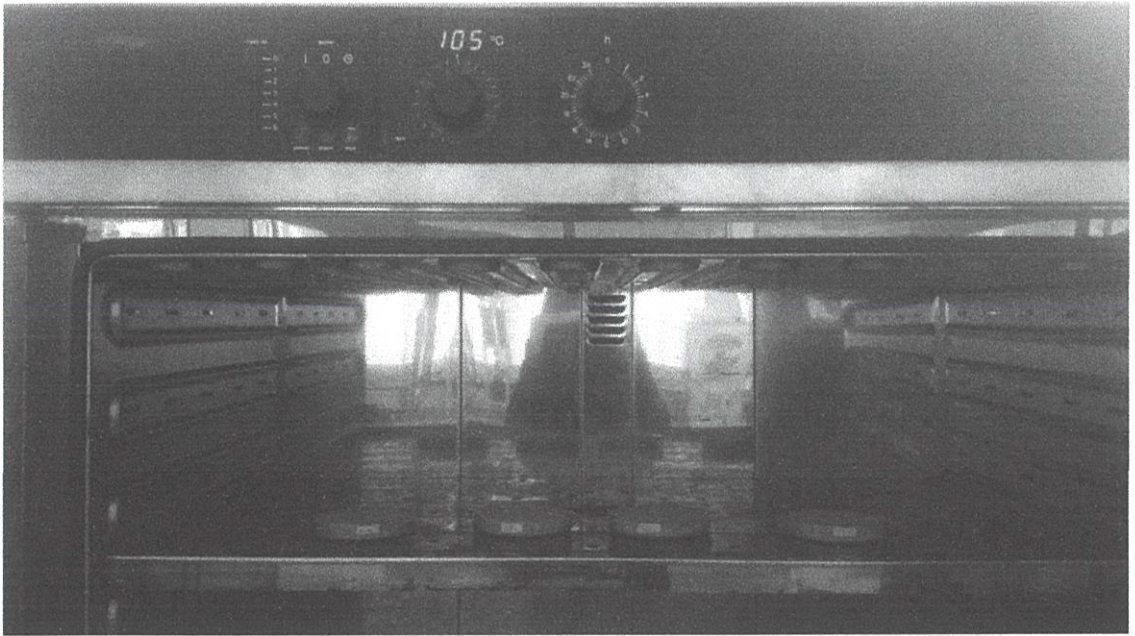
อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสมมูลจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่รำข้าวสูง ส่งผลให้รำข้าวเกิดการระเหยน้ำที่ผิวเซลล์ ค่าความชื้นสมมูลของรำข้าวในระหว่างการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจึงมีค่าเท่ากับศูนย์ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Dadali et al. (2007) [25], Demirhan และ Özbek (2009) [26] และ Therdthai และ Zhou (2009) [27] ซึ่งศึกษาการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพชนิดต่างๆ



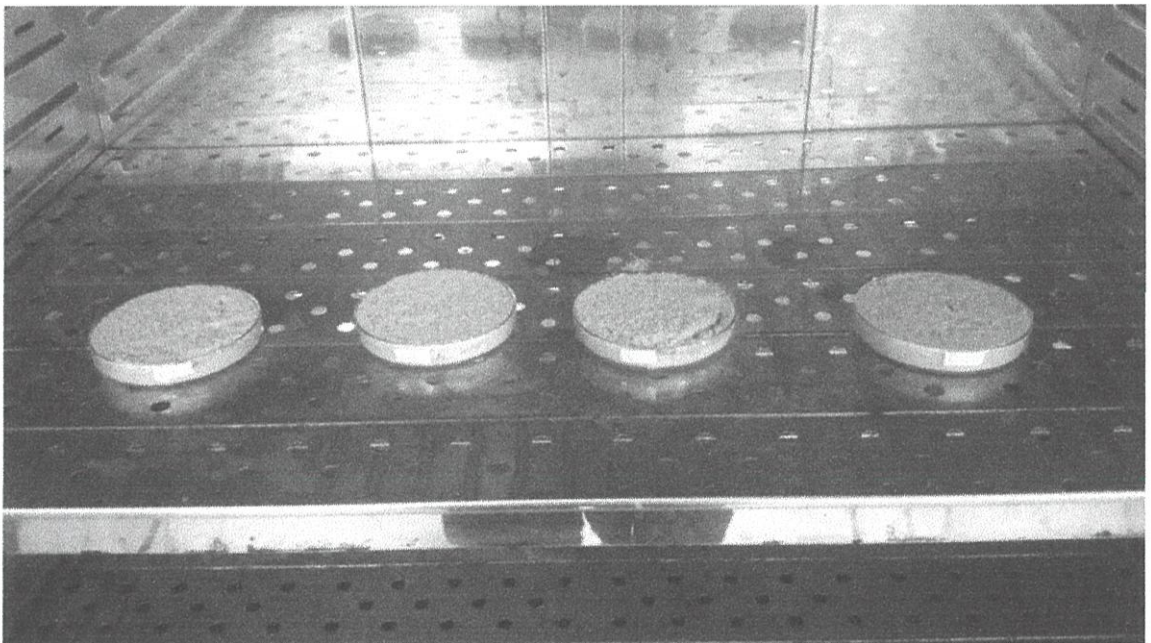
ภาพที่ 4.1 การเตรียมตัวอย่างรำข้าวสด



ภาพที่ 4.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้หาความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐาน AOAC (2005)



ภาพที่ 4.3 ตู้อบลมร้อนเพื่อใช้หาความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐาน AOAC (2005)



ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างทดลองที่ทำแห้งโดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การหาน้ำหนักความชื้นสุดท้ายของรำข้าวอบแห้งสามารถคำนวณได้จากการทำสมการมวลสาร โดยมีรายละเอียดดังนี้มวลตัวอย่าง 100 กรัม, ความชื้นเริ่มต้น 12.91 เปอร์เซ็นต์ความชื้น(ฐานแห้ง), Wf แทนน้ำหนักสุดท้าย

$$Wf = 100 / (1 + (12.91 / 100))$$

$$Wf = 88.57 \text{ กรัม}$$

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งแบบต่างๆ

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งแบบต่างๆของรำข้าวสามารถอธิบายจากค่าอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งเทียบกับเวลาโดยการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดซึ่งอัตราส่วนความชื้นของรำข้าวระหว่างกระบวนการอบแห้งหาได้ตามสมการ (Eq 4.1) ดังที่แสดงในสมการต่อไปนี้

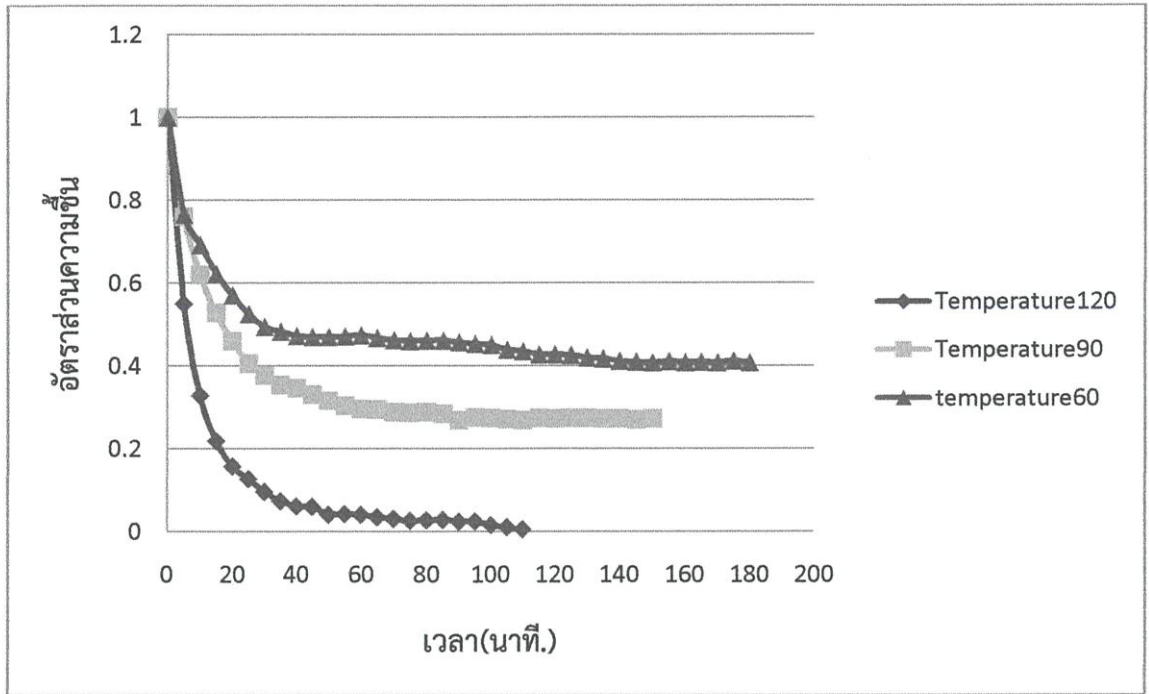
$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (\text{Eq 4.1})$$

โดย MR = อัตราส่วนความชื้น (ไร้หน่วย)
 M_t = ความชื้น ณ เวลาใดๆเปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)
 M_i = ความชื้นเริ่มต้นเปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)
 M_e = ความชื้นสมดุลเปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)

ความชื้นสมดุลของรำข้าวในขณะที่การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าเท่ากับศูนย์ Dadali และคณะ (2007) [25], Demirhan และ Özbek (2009) [26], Therdthai และ Zhou (2009) [27] สมการแสดงค่าอัตราส่วนความชื้นของรำข้าวระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด จึงเป็นไปดังที่แสดงในสมการ (Eq4.2) ต่อไปนี้

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (\text{Eq4.2})$$

การศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาอบแห้งที่สภาวะต่างๆพบว่าการอบแห้งรำข้าวเป็นการอบแห้งแบบอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น กล่าวคือปริมาณความชื้นในรำข้าวมีการถ่ายเทออกจากรำข้าวอย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วงต้นของการทดลองทำให้อัตราการอบแห้งไม่คงที่ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณด้วยสมการอบแห้งแบบเซมิเอมพิริคัล (ภาพที่ 4.5) จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการอบแห้งนั้นอัตราส่วนความชื้นในรำข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็วและเมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้นรำข้าวจะมีความชื้นต่ำลงกล่าวคืออัตราการลดลงของความชื้นในช่วงเวลาอบแห้งจะมีความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นกับเวลาอบแห้งและสามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวที่เวลาใดๆในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบแห้งรำข้าวทุกๆ 5 นาที

จากการเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยสภาวะต่างๆ การอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส ทุกสภาวะการทดลอง พบว่าปัจจัยของเวลาและอุณหภูมิลบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้ง และการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลบแห้งต่ำ ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิลบแห้งสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิต่ำ จากภาพ 4.5 กราฟจะมีความชันสูง เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นกราฟจะมีความชันลดลงตามลำดับ จนถึงความชันสุดท้ายที่ต้องการอบแห้ง และในขณะเดียวกันที่ระดับอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่ากราฟมีค่าความชันสูงสุดในการอบแห้ง ซึ่งหมายถึงว่า ที่อุณหภูมิลบแห้งสูงจะมีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงกว่าที่อุณหภูมิลบแห้งต่ำ

4.2 ผลการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งเป็นการจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในระหว่างการอบแห้งซึ่งจะช่วยในการออกแบบระบบการอบแห้งต่างๆในการศึกษาพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของน้ำในรำข้าวสามารถอธิบายในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งทั้งในรูปแบบของสมการกึ่งประจักษ์ (Semiempirical equation) ซึ่งจะมีรูปแบบความสัมพันธ์ในรูปกฎข้อที่สองของฟิค (Fick's second law) สามารถใช้ในการหาอัตราส่วน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งในรูปแบบของสมการเคมีเอมพิริคัล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งในรูปแบบของสมการเคมีเอมพิริคัลเช่นแบบจำลองของ Newton, Page , Logarithmic และ Henderson and Pabisในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งของรำข้าวในระหว่างการอบแห้งด้วยวิธีแบบต่างๆ ใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบสมการถดถอยที่ไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) แบบจำลองที่มีความแม่นยำและเหมาะสมในการทำนายจะให้ค่า R^2 สูงแสดงถึงคุณภาพของรูปแบบสมการที่มีความเหมาะสมในการทำนายตาราง 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติของแบบจำลองการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองของ Logarithmic มีความเหมาะสมสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวในระหว่างการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุดโดยมีค่า R^2 ในช่วง 0.9684 - 0.9962 ซึ่งมีค่ามากกว่าแบบจำลองการอบแห้งของ Newton, page และ Henderson and Pabisและค่าRSME ในช่วง 0.0044-0.0095 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองการอบแห้งของ Newton, page และ Henderson and Pabis

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์(R^2) และการวิเคราะห์ทางสถิติของแบบจำลองการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดของรำข้าว

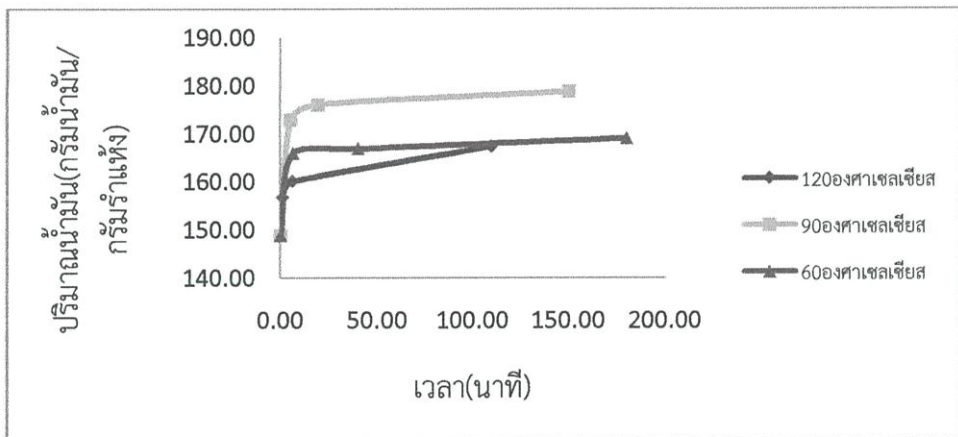
แบบจำลองการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ค่าคงที่แบบจำลองการอบแห้ง				พารามิเตอร์ วิเคราะห์ทางสถิติ	
		k	n	a	c	R^2	RSME
Newton	60	0.0094				0.5482	0.0725
	90	0.0188				0.6941	0.0675
	120	0.0982				0.9802	0.0153
page	60	0.2438	0.2651			0.9448	0.0122
	90	0.2343	0.3780			0.9363	0.0185
	120	0.2182	0.6906			0.9956	0.0068
Henderson and Pabis	60	0.0064		0.8067		0.6008	0.0465
	90	0.0154		0.8680		0.7076	0.0556
	120	0.0962		0.9807		0.9806	0.0150
Logarithmic	60	0.0698		0.5521	0.4319	0.9684	0.0095
	90	0.0674		0.7054	0.2772	0.9964	0.0044
	120	0.1102		0.9531	0.0339	0.9938	0.0080

ดังนั้นในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดแบบจำลองของ Logarithmic เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับใช้ในการทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวในระหว่างการอบแห้งเนื่องจากมีความแม่นยำในการทำนายสูงและค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำ

4.3 ผลการศึกษาปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้

4.3.1 ปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบด้วยวิธีSoxhlet Extraction Apparatus

จากการศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาอบแห้ง โดยพิจารณาที่ปัจจัยของอุณหภูมิ จากภาพที่ 4.6 พบว่า การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสส่งผลให้ปริมาณน้ำมันมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิ60องศาเซลเซียสและ120องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาที่ปัจจัยของความชื้น จากภาพที่ 4.6 พบว่าที่ความชื้นเริ่มต้น ความชื้น10%db , ความชื้น6%db และความชื้นสมดุลพบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งนั้น(ที่ความชื้นเริ่มต้นจนถึงความชื้น10%db) ปริมาณน้ำมันในรำข้าวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้นที่ความชื้น6%db) ปริมาณน้ำมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงความชื้นสมดุล



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมัน(กรัมไขมัน/กรัมรำแห้ง)ของรำข้าวที่เวลาใดๆ ในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบแห้งรำข้าวทุกๆ 5 นาที

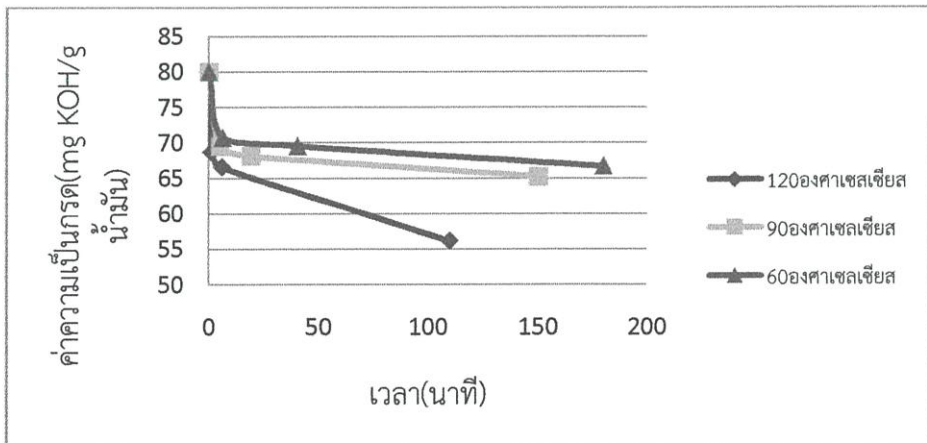
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

%ความชื้น	ปริมาณน้ำมัน		
	60	90	120
เริ่มต้น	a 132.5	a 148.6	a 148.9
10	ab 166.0	a 172.9	b 156.8
6	ab 166.5	a 176.2	b 160.1
สมดุล	ab 169.1	a 178.9	b 167.4

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรยกหน้าเหมือนกันตามแนวนอน และค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรห้อยด้านหลังเหมือนกันตามแนวตั้ง ไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3.2 ค่ากรดในวัตถุดิบ

จากการศึกษาผลกระทบของค่ากรดที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาอบแห้ง โดยพิจารณาที่ปัจจัยของอุณหภูมิ จากภาพที่ 4.7 พบว่า การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ค่ากรดจะมีค่าต่ำกว่าและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส กล่าวคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดค่ากรดลงได้มากกว่าการอบที่แห้งอุณหภูมิต่ำและเมื่อพิจารณาที่ปัจจัยของความชื้น จากภาพที่ 4.7 พบว่าที่ความชื้นเริ่มต้น ความชื้น 10% db , ความชื้น 6% db และความชื้นสมดุลพบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งนั้น (ที่ความชื้นเริ่มต้นจนถึงความชื้น 10% db) ค่ากรดในรำข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้น (ที่ความชื้น 6% db) ค่ากรดจะมีค่าต่ำลง



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด (mg KOH/g น้ำมัน) ของรำข้าวที่เวลาใดๆ ในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบแห้งรำข้าวทุกๆ 5 นาที

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ความชื้นกับค่ากรดไขมันอิสระ

%ความชื้น	AV								
	60			90			120		
เริ่มต้น	a	80.0307	a	a	69.9820	a	a	70.8403	a
10	a	70.7675	b	a	69.5412	a	a	68.7333	b
6	a	69.6224	b	a	68.1925	a	a	66.5967	b
สมดุล	a	66.7333	b	a	65.2700	a	b	56.1730	c

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรยกหน้าเหมือนกันตามแนวนอน และค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรห้อยด้านหลังเหมือนกันตามแนวตั้ง ไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.4 ผลการศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งไขมันชั้นในสภาวะการอบแห้งแบบใช้รังสีอินฟราเรด

การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดโดยที่ลดความชื้นไขมันชั้นแผ่นจากค่าความชื้นเริ่มต้น 12.91 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานแห้ง) ด้วยเครื่องอบแห้งรอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่ระดับอุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียสค่าพลังงานไฟฟ้าได้วัดด้วยเครื่องวัดพลังงาน (ยี่ห้อ Fluke รุ่น Clamp Meter 322)

ตารางที่ 4.4 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน					
อุณหภูมิ (°C)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (นาที)	Electric power used per cycle (Unit)	Electric power (Unit Day per kg dry)
60	3.56	733.07	5.68	0.07	29.74
90	5.12	1054.31	5.17	0.09	38.93
120	5.93	1221.10	1.23	0.03	10.72

จากตารางที่ 4.4 การอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ จะใช้กำลังไฟฟ้าต่างกัน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จะใช้กำลังไฟต่ำสุด โดยจำนวนยูนิตที่ใช้ 10.72 ยูนิตต่อ 8 ชั่วโมงต่อ กิโลกรัมแห้ง จากตารางดังกล่าว เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในการเลือกวิเคราะห์หากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยอินฟราเรด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาอิทธิพลของวิธีการอบแห้ง และสภาวะการอบแห้งแบบต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลง ปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการสกัดน้ำมัน ด้วยการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่ อุณหภูมิ 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร/วินาที โดยผลการทดลอง ทั้งหมดแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ ผลการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งทางกายภาพเบื้องต้นของรำ ข้าว, ผลการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงใน ระหว่างการอบแห้ง, ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้, และผล การศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งรำข้าวขาวในสภาวะการอบแห้งแบบต่างๆ ดังนั้นในบทนี้ได้นำเสนอในสรุปผลการวิจัยใน 4 ส่วนที่กล่าวไปข้างต้น ทั้งนี้ ข้อเสนอแนะที่ควร เพิ่มเติมเพื่อให้งานทดลองสมบูรณ์มากขึ้นได้นำมาแนะนำเสนอในบทนี้เช่นกัน

5.1 สรุปผลการทดลอง

คุณลักษณะการอบแห้งเบื้องต้นของรำข้าวขาว คือมีความชื้นเริ่มต้นของรำข้าวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.91เปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานแห้ง) และความชื้นสมดุลของขมึ้นชั้นแผ่นอบแห้งด้วยการอบแห้งด้วย รังสีอินฟราเรดมีค่าเท่ากับศูนย์สำหรับผลกระทบของวิธีการอบแห้งและสภาวะการอบแห้งต่อการ เปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวขาวโดยการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจนเหลือความชื้นสุดท้ายพบว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบแห้งรำข้าวขาวเร็วกว่าที่ อุณหภูมิ 60, 90 องศาเซลเซียสซึ่งใช้เวลา 110 นาทีซึ่งจะพบการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ที่อุณหภูมิสูงอัตราการอบแห้งจะสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการเอมิเอมพิริคัล ที่เหมาะสมสำหรับการอธิบายพฤติกรรม การอบแห้งของรำข้าวขาวคือแบบจำลองของ Logarithmic มีความเหมาะสมสามารถทำนายการ เปลี่ยนแปลงความชื้นของรำข้าวในระหว่างการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุดโดยมีค่า R^2 ในช่วง 0.9684 - 0.9962 ซึ่งมีค่ามากกว่า แบบจำลองการอบแห้งของ Newton, page และ Henderson and Pabisและค่าRSME ในช่วง 0.0044-0.0095 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองการอบแห้งของ Newton, page และ Henderson and Pabis

สำหรับผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพน้ำมันที่สกัดได้ สำหรับปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการ อบแห้งด้วยอินฟราเรดพบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสส่งผลให้ปริมาณน้ำมันมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิ60 องศาเซลเซียสและ120องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาที่ปัจจัยของ ที่ความชื้นเริ่มต้น ความ10%db , ความชื้น6%dbและความชื้นสมดุลพบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งนั้น(ที่ความชื้นเริ่มต้นจนถึงความชื้น 10%db) ปริมาณน้ำมันในรำข้าวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้นที่ ความชื้น6%db) ปริมาณน้ำมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงความชื้นสมดุล สำหรับคุณภาพน้ำมันที่สกัดได้จาก

การอบแห้งด้วยอินฟราเรดพบว่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ค่ากรดจะมีค่าต่ำกว่าและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและ 60 องศาเซลเซียส กล่าวคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดค่ากรดลงได้มากกว่าการอบที่แห้งอุณหภูมิต่ำและเมื่อพิจารณาที่ปัจจัยของความชื้น พบว่า ที่ความชื้นเริ่มต้น ความชื้น 10% db , ความชื้น 6% db และ ความชื้นสมดุลพบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งนั้น (ที่ความชื้นเริ่มต้นจนถึงความชื้น 10% db) ค่ากรดในรำข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้น (ที่ความชื้น 6% db) ค่ากรดจะมีค่าต่ำลง

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบรำข้าวด้วยรังสีอินฟราเรดต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งรำข้าวด้วยอินฟราเรดคือการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที 50 วินาที ซึ่งจะเหลือความชื้นที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่า AV เท่ากับ 70.7675 ml KOH/g น้ำมัน ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 166.0 มิลลิกรัม น้ำมัน/กรัมรำแห้ง และค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 29.74 (Unit Day per kg dry)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบของสภาวะการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ ต่ออัตราการสลายตัวของสารออกฤทธิ์สำคัญสารที่มีคุณค่าทางเภสัชวิทยาและสารอาหารที่สำคัญต่างๆ เช่น สารแกมมาออริซานอล วิตามินอีเซรามายด์ เป็นต้น

2. ควรศึกษาเพิ่มเติมในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ การสกัดด้วยกรรมวิธีอื่นๆ เช่น การสกัดโดยกรรมวิธีการบีบเย็น หรือการใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ

ภาคผนวก

ภาคผนวก.

คุณลักษณะการอบแห้งรำข้าวขาวเบื้องต้น

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลสำหรับการหาความชื้น(MR)ของรำข้าวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที)	น้ำหนักวัสดุ(g)	น้ำหนักแห้ง(g)	Mt	Me	Mi	MR
0	149.500	132.407	0.129	0.000	0.129	1.000
5	145.490	132.407	0.099			0.765
10	144.230	132.407	0.089			0.692
15	143.050	132.407	0.080			0.623
20	142.150	132.407	0.074			0.570
25	141.380	132.407	0.068			0.525
30	140.860	132.407	0.064			0.495
35	140.650	132.407	0.062			0.482
40	140.490	132.407	0.061			0.473
45	140.430	132.407	0.061			0.469
50	140.430	132.407	0.061			0.469
55	140.460	132.407	0.061			0.471
60	140.510	132.407	0.061			0.474
65	140.400	132.407	0.060			0.468
70	140.300	132.407	0.060			0.462
75	140.270	132.407	0.059			0.460
80	140.280	132.407	0.059			0.461
85	140.290	132.407	0.060			0.461
90	140.210	132.407	0.059			0.456
95	140.150	132.407	0.058			0.453
100	140.100	132.407	0.058			0.450
105	139.900	132.407	0.057			0.438
110	139.850	132.407	0.056			0.435
115	139.720	132.407	0.055			0.428
120	139.710	132.407	0.055			0.427
125	139.680	132.407	0.055			0.425
130	139.580	132.407	0.054			0.420
135	139.540	132.407	0.054			0.417
140	139.450	132.407	0.053			0.412
145	139.400	132.407	0.053			0.409
150	139.380	132.407	0.053			0.408
155	139.420	132.407	0.053			0.410
160	139.390	132.407	0.053			0.409
165	139.410	132.407	0.053			0.410
170	139.380	132.407	0.053			0.408
175	139.450	132.407	0.053			0.412
180	139.390	132.407	0.053			0.409

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลสำหรับการหาความชื้น(MR)ของรำข้าวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนักวัสดุ(g)	น้ำหนักแห้ง(g)	Mt	Me	Mi	MR
0	150.320	133.133	0.129	0.000	0.129	1.000
5	146.200	133.133	0.098			0.760
10	143.780	133.133	0.080			0.619
15	142.210	133.133	0.068			0.528
20	141.020	133.133	0.059			0.459
25	140.100	133.133	0.052			0.405
30	139.600	133.133	0.049			0.376
35	139.200	133.133	0.046			0.353
40	139.080	133.133	0.045			0.346
45	138.800	133.133	0.043			0.330
50	138.550	133.133	0.041			0.315
55	138.330	133.133	0.039			0.302
60	138.200	133.133	0.038			0.295
65	138.180	133.133	0.038			0.294
70	138.080	133.133	0.037			0.288
75	138.050	133.133	0.037			0.286
80	138.070	133.133	0.037			0.287
85	138.000	133.133	0.037			0.283
90	137.740	133.133	0.035			0.268
95	137.860	133.133	0.036			0.275
100	137.830	133.133	0.035			0.273
105	137.780	133.133	0.035			0.270
110	137.750	133.133	0.035			0.269
115	137.820	133.133	0.035			0.273
120	137.800	133.133	0.035			0.272
125	137.820	133.133	0.035			0.273
130	137.830	133.133	0.035			0.273
135	137.800	133.133	0.035			0.272
140	137.810	133.133	0.035			0.272
145	137.770	133.133	0.035			0.270
150	137.810	133.133	0.035			0.272

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสำหรับการหาความชื้น(MR)ของรำข้าวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที)	น้ำหนักวัสดุ(g)	น้ำหนักแห้ง(g)	Mt	Me	Mi	MR
0	136.000	120.451	0.129	0.000	0.129	1.000
5	129.000	120.451	0.071			0.550
10	125.550	120.451	0.042			0.328
15	123.850	120.451	0.028			0.219
20	122.900	120.451	0.020			0.158
25	122.430	120.451	0.016			0.127
30	121.950	120.451	0.012			0.096
35	121.600	120.451	0.010			0.074
40	121.400	120.451	0.008			0.061
45	121.390	120.451	0.008			0.060
50	121.100	120.451	0.005			0.042
55	121.120	120.451	0.006			0.043
60	121.090	120.451	0.005			0.041
65	121.000	120.451	0.005			0.035
70	120.930	120.451	0.004			0.031
75	120.860	120.451	0.003			0.026
80	120.880	120.451	0.004			0.028
85	120.900	120.451	0.004			0.029
90	120.830	120.451	0.003			0.024
95	120.840	120.451	0.003			0.025
100	120.700	120.451	0.002			0.016
105	120.620	120.451	0.001			0.011
110	120.530	120.451	0.001			0.005

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลสำหรับการหาความชื้นเริ่มต้น

ตัวอย่าง	น้ำหนักראข้าวก่อนอบ	น้ำหนักראข้าวหลังอบ	MI
A	20	17.7	0.129944
B	20	17.72	0.128668
C	20	17.72	0.128668
		ค่าเฉลี่ย	0.129093

ภาคผนวกข.
การตรวจสอบกรดไขมันอิสระ

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ความชื้นของ รำข้าว	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรKOH (ml)	AV (mg koH/g oil)	ค่าAVเฉลี่ย (mg koH/g oil)
12.91	1.64	24.3	84.30174	80.03072
	1.62	24.2	84.9913	
	1.78	22.15	70.79912	
ความชื้น10	1.8	23.95	72.41815	70.76748
	1.51	18.9	68.12386	
	1.57	20.7	71.76044	
ความชื้น6	1.86	23.8	69.64315	69.62238
	1.55	19.8	69.5261	
	1.39	17.8	69.69788	
สมดุลย์	1.63	19.50	68.06	66.74
	1.58	19.00	68.42	
	1.75	19.60	63.72	

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ความชื้นของ รำข้าว	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรKOH (ml)	AV (mg koH/g oil)	ค่าAVเฉลี่ย (mg koH/g oil)
12.91	2.07	24.95	68.57634	69.98923
	1.92	22.5	66.67383	
	1.66	21.8	74.71753	
ความชื้น10	1.92	24.75	70.1598	69.54124
	1.72	22.1	69.93237	
	1.64	20.65	68.53156	
ความชื้น6	1.93	23.7	66.83523	68.19248
	1.61	20.25	68.45632	
	1.63	20.75	69.2859	
สมดุลย์	1.72	18.50	61.20	65.27
	1.63	19.60	68.41	
	1.62	18.85	66.20	

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

ความชื้นของ รำข้าว	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตรKOH (ml)	AV (mg koH/g oil)	ค่าAVเฉลี่ย (mg koH/g oil)
12.91	2.060	25.250	69.738	70.840
	1.950	24.350	71.046	
	2.070	26.100	71.737	
ความชื้น10	1.560	18.900	68.930	68.737
	1.620	19.500	68.485	
	1.530	18.500	68.795	
ความชื้น6	1.560	18.800	68.566	66.594
	1.580	18.700	67.338	
	1.670	18.750	63.879	
สมดุลย์	2.130	22.250	59.433	56.173
	2.240	20.750	52.704	
	2.220	22.000	56.382	

ภาคผนวกค.
การตรวจวัดปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบวัดปริมาณน้ำมันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก ตัวอย่าง(g)	Flask เบอร์	น้ำหนักFlask (g)		น้ำหนัก น้ำมัน(g)	น้ำหนักน้ำมัน เฉลี่ย(g)
			ก่อนอบ	หลังอบ		
12.91	10.02	14	103.14	104.65	1.51	1.33
	10.01	16	108.53	109.34	0.81	
	10.01	17	103.15	104.81	1.66	
10	10.00	11	102.42	104.02	1.60	1.66
	10.00	17	103.15	104.76	1.61	
	10.00	29	106.59	108.36	1.77	
5	10.00	8	113.12	114.80	1.68	1.67
	10.01	42	111.89	113.48	1.59	
	10.00	53	103.63	105.37	1.74	
สมดุลย์	10.01	71	104.74	106.37	1.63	1.69
	10.01	76	104.90	106.60	1.70	
	10.02	79	104.84	106.59	1.75	

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบวัดปริมาณน้ำมันที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก ตัวอย่าง(g)	Flask เบอร์	น้ำหนักFlask (g)		น้ำหนัก น้ำมัน(g)	น้ำหนักน้ำมัน เฉลี่ย(g)
			ก่อนอบ	หลังอบ		
12.91	10.02	40	106.44	107.95	1.51	1.49
	10.02	42	111.89	113.39	1.50	
	10.01	43	104.18	105.64	1.46	
10	10.00	1	103.73	105.47	1.74	1.73
	10.00	4	104.31	106.09	1.78	
	10.01	6	102.78	104.45	1.67	
5	10.00	16	108.53	110.26	1.73	1.76
	10.02	19	105.18	107.04	1.86	
	10.01	21	102.97	104.67	1.70	
สมดุลย์	10.02	14	103.17	104.95	1.78	1.79
	10.00	23	101.80	103.57	1.77	
	10.00	41	98.85	100.67	1.82	

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบวัดปริมาณน้ำมันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก ตัวอย่าง(g)	Flask เบอร์	น้ำหนักFlask (g)		น้ำหนัก น้ำมัน(g)	น้ำหนักน้ำมัน เฉลี่ย(g)
			ก่อนอบ	หลังอบ		
12.91	10.00	11	102.41	103.89	1.48	1.49
	10.01	13	103.73	105.24	1.51	
	10.01	16	108.52	110.00	1.48	
10	10.01	50	108.33	109.89	1.56	1.57
	10.01	53	103.65	105.27	1.62	
	10.01	58	102.81	104.34	1.53	
5	10.02	4	104.33	105.89	1.56	1.60
	10.01	19	105.20	106.78	1.58	
	10.01	21	102.98	104.65	1.67	
สมดุลย์	10.02	17	103.15	104.87	1.72	1.68
	10.01	18	110.45	112.12	1.67	
	10.01	19	105.20	106.84	1.64	

ภาคผนวก.
ตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดสอบทางสถิติแบบ Factorial in CRD ของค่ากรดไขมันอิสระ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ค่าAV

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	952.192 ^a	11	86.563	8.101	.000
Intercept	169122.515	1	169122.515	15826.476	.000
อุณหภูมิในการอบแห้ง	232.379	2	116.189	10.873	.000
ความชื้น	549.716	3	183.239	17.147	.000
อุณหภูมิในการอบแห้ง * ความชื้น	170.098	6	28.350	2.653	.041
Error	256.465	24	10.686		
Total	170331.173	36			
Corrected Total	1208.658	35			

a. R Squared = .788 (Adjusted R Squared = .691)

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการทดสอบทางสถิติแบบ Factorial in CRD ของปริมาณน้ำมัน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ปริมาณน้ำมัน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.006 ^a	11	.001	2.663	.022
Intercept	.945	1	.945	4675.731	.000
อุณหภูมิในการอบแห้ง	.001	2	.000	2.267	.125
ความชื้น	.004	3	.001	7.220	.001
อุณหภูมิในการอบแห้ง * ความชื้น	.001	6	.000	.516	.790
Error	.005	24	.000		
Total	.956	36			
Corrected Total	.011	35			

a. R Squared = .550 (Adjusted R Squared = .343)

เอกสารอ้างอิง

- [1] นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์. น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์, 2545.
- [2] Chu, B.S., Baharin, B.S., and Quek, S.Y. Factors affecting pre-concentration of tocopherols and tocotrienols from palm fatty acid distillate by lipase-catalysed hydrolysis. *Food Chem*, 2002 :79, 55-59.
- [3] Minhajuddin M, Beg ZH, Iqbal J. "Hypolipidemic and antioxidant properties of tocotrienol rich fraction isolated from rice bran oil in experimentally induced hyperlipidemic rats." *Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*.2005; 43(5):747-53.
- [4] ธิติรัตน์ หน่อสุวรรณ. "สมบัติของวิตามินซีที่สกัดจากดิสทิลเลตของน้ำมันรำข้าว โดยใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.2550.
- [5] Marini F., Balestrieri F., Bucci R., Magri A., Marini D. 2003. Supervised pattern recognition to discriminate the geographical origin of rice bran oils:a first study. *Microchem. J.* 74: 239-248.
- [6] วารสารศูนย์บริการวิชาการ ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกรกฎาคม-กันยายน 2548
- [7] ชาญ มงคล. 2536. ข้าว. ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู, กรุงเทพฯ. 149 น.
- [8] Perretti G.,Miniati E.,Montanari L., Fantozzi P. 2003. Improving the value of rice by-products by SFE.J.Supercr. Fluids. 26: 63-71.
- [9] Qureshi A., Samai S., Khan F. 2002. Effects of stabilized rice bran, its soluble and fiber fractions on blood glucose levels and serum lipid parameters in humans with diabetes mellitus Types I and II. *J. Nutr. Biochem.* 13: 175-187.
- [10] อรอนงค์ นัยวิกุล. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.
- [11] นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์. น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์, 2545.

- [12] สมชาติ โสภณธรมฤทธิ (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, กรุงเทพฯ: โครงการส่งเสริมการสร้างตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [13] Nuthong P, Achariyaviriya A, Namsanguan K, Achariyaviriya S. Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air. *J.ofFood Eng.*2011;102(3): 233-239.
- [14] DasI, DasSK, BalS. Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying. *J.ofFood Eng.*2009;95(1):166-171.
- [15] DasS, SatishB. Specific Energy and Quality of Infrared (IR) Dried Parboiled Rice. *J. of Food Eng.* 2004;62:9-14
- [16] สุเนตร สืบคำ และฤทธิชัย อัศวราชันย์. 2554. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวัสดุพรุณ. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย* 17(1): 59-66
- [17] AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 18th Edn., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.,
- [18] อนรรฆอร ศรีไสยเพชร และ มาโนชญ์ธนอมวัฒน์(2555). การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ, เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [19] คณิตา ตังคณานุรักษ์. 2542. เทคนิคการแยกสารทางเคมี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. หน้า.1-2.
- [20] ดาวัลย์ ฉิมภู. 2550. ชิวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. หน้า 162.
- [21] Sakai, N. and Hanzawa, T. 1994. "Applications and advances in far-infrared heating in Japan". *Trends in Food Science & Technology*. 5: 357-362.
- [22] Abe, T. and Afzal, T. M., 1997, Thin-Layer Infrared Radiation Drying of Rough Rice, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67: 289-297
- [23] สุภวรรณ ภูริระวณิชกุล, สากีนา ลาแมปะ, ยุทธนา ภูริระวณิชกุล. (2555). *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 1 : 117-129
- [24] นิธิยา รัตนาปนนท์. 2529 *วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. pp.83-87.

- [25] Dadali, G., Apar, D.K. and Özbek, B. 2007. Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technology*. 25(5): 917-924.
- [26] Özbek, B. and Dadali, G. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment, *Journal of Food Engineering*. 83: 541-549
- [27] Therdthai, N and Zhou, W. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering*. 91: 482–489