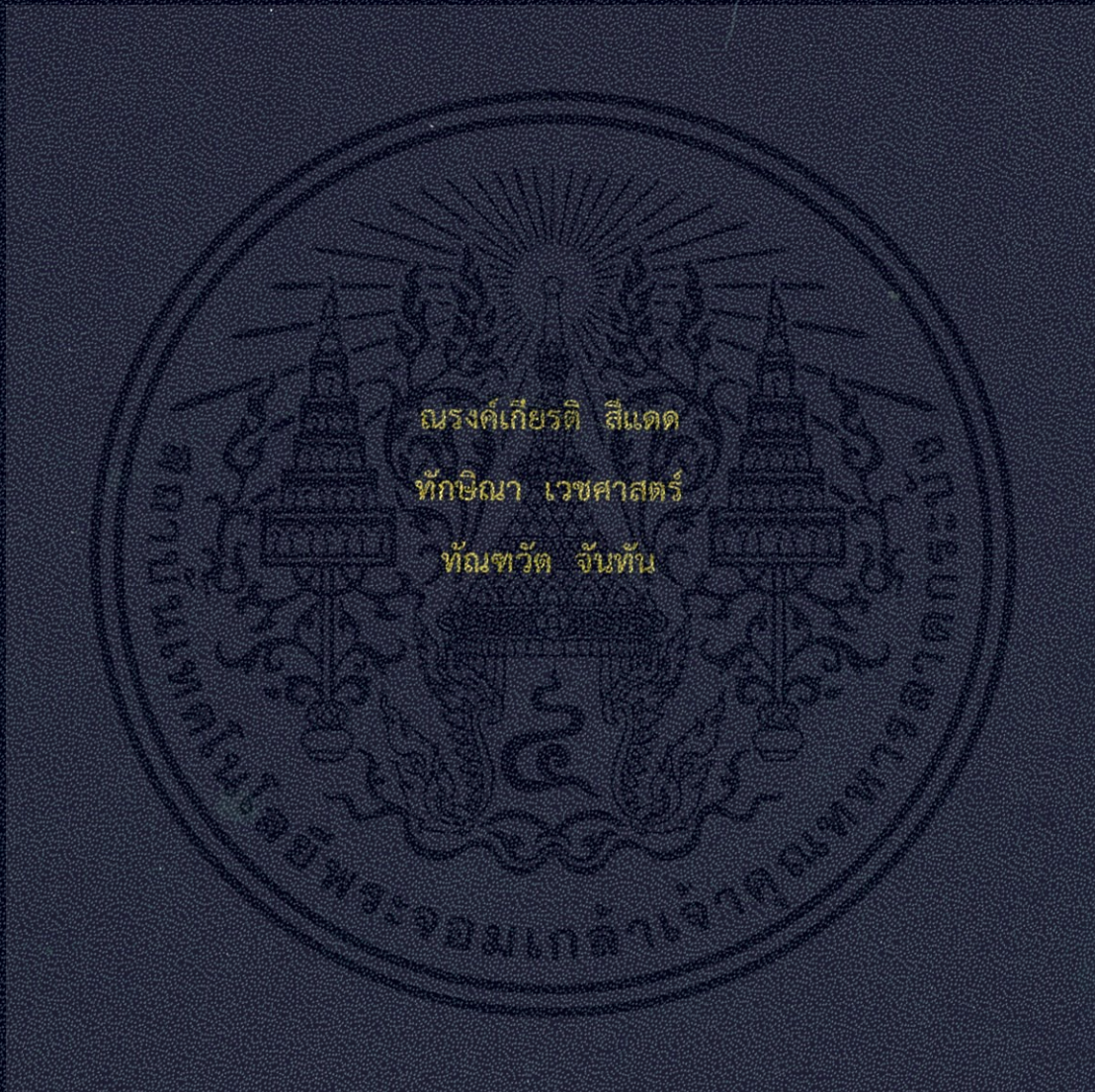


การศึกษาวีธีการอบแห้งเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวล

A Study of Drying Method of Food Waste for Producing Bio-Mass



ณรงค์เกียรติ สีแดด

ทักษิณา เวชศาสตร์

พัฒนวัต จันทัน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

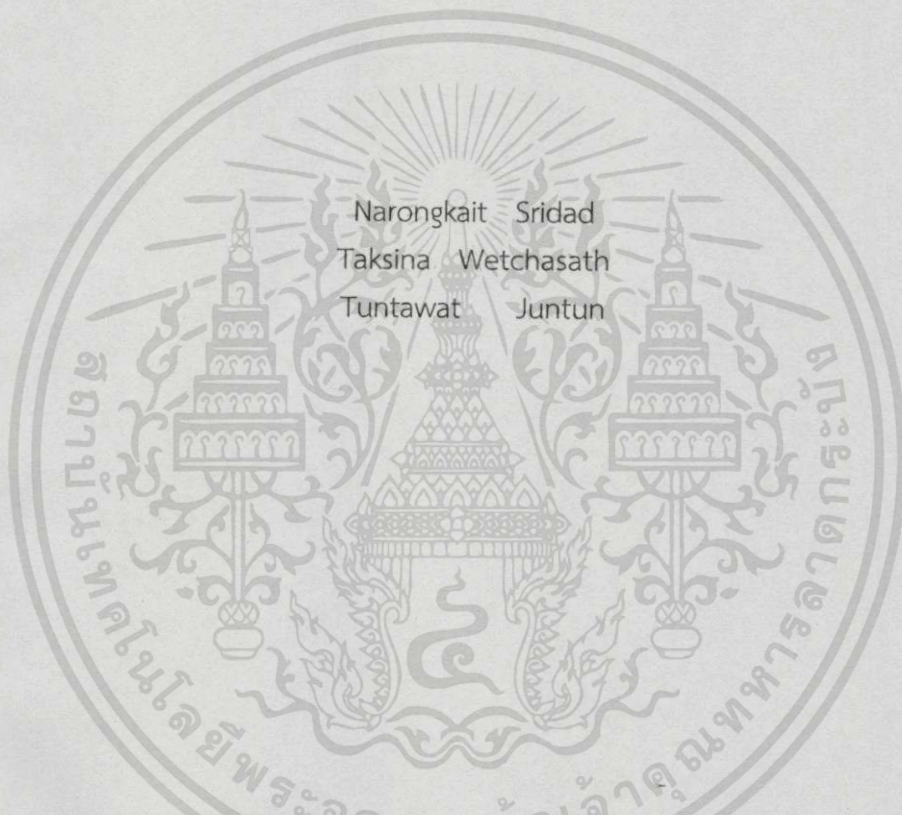
การศึกษาวิธีการอบแห้งเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวล
A Study of Drying Method of Food Waste for Producing Bio-Mass



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Drying Method of Food Waste for Producing Bio-Mass



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 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาวิธีการอบแห้งเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวล
A Study of Drying Method of Food Waste for Producing Bio-Mass


นักศึกษาผู้จัดทำ นายณรงค์เกียรติ สีแดด รหัสนักศึกษา 53010424
นางสาวทักษิณา เวชศาสตร์ รหัสนักศึกษา 53010586
นายทัศนวัต จันทัน รหัสนักศึกษา 53010587

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ	

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาวิธีการอบแห้งเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวล

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณรงค์เกียรติ สีแดด 53010424

นางสาวทักษิณา เวชศาสตร์ 53010586

นายทัศนวัต จันทัน 53010587

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการอบแห้งแบบต่างๆของเศษอาหารเพื่อใช้ผลิตวัสดุชีวมวลและวิธีการอบแห้งที่มีต่อความคุ้มทุนด้านพลังงานของวัสดุชีวมวลที่ได้จากเศษอาหาร โดยเฉพาะข้าวหุงสุก ซึ่งข้าวที่ใช้ในการศึกษาได้มากจากร้านอาหาร 6 ร้านของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งของผลผลิตทางการเกษตรจำนวน 4 สมการ ได้แก่ *Newton*, *Page*, *Henderson and Pabis* และ *Logarithmic*. ในการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบวิธีการลดความชื้น 3 วิธี คือการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน รังสีอินฟราเรด และวิธีธรรมชาติ หลังจากนั้นนำอัตราส่วนความชื้นที่ได้ไปคำนวณหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และนำข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นไปทดสอบหาค่าพลังงานโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter นอกจากนี้นำข้าวหุงสุกดังกล่าวไปหาปริมาณเถ้าด้วยการเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูงเพื่อหาค่ามลพิษต่อแวลูมของข้าวจากเศษอาหาร

ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยตู้อบลมร้อน รังสีอินฟราเรด และวิธีธรรมชาติ คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ *Logarithmic*, *Logarithmic* และ *Page* ตามลำดับ สำหรับค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้น 3 วิธีนั้นได้ค่าพลังงานเท่ากับ 18703.50, 18266.50 และ 17995.13 KJ/Kg_{dry} ตามลำดับ และมีค่าปริมาณเถ้าเท่ากับ 1.2, 0.17 และ 0.67 %_{dry} ตามลำดับ

Thesis Title	A Study of Drying Method of Food Waste for Producing Bio-Mass		
Authors	Mr. Narongkai	Sridad	53010424
	Miss Taksina	Wetchasath	53010586
	Mr. Tuntawat	Juntun	53010587
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. PrasanChoomjaihan		
Year	2556		

Abstact

The Objective of this thesis is to study the drying method of food waste for producing bio-mass and to evaluate the energy recovery from food waste. The food waste focused in this thesis was cooked rice. In this study the waste rice sample were collected from 6 cantines that serviced in the faculty of engineering, KMITL. three drying methods were performed which were hot air drying, Infraed drying and solar drying. Four drying model Newton, Page, Henderson and Pabis, and Logarithmic were selected to describe the rate of moisture ratio versus time. The dried rice sample were tested on the relieving energy in term of heat and on the ash content by applying Bomb Calorimeter and Muffle Furnace

The results of this study showed that the suitable model for describing drying the method of hot air drying, Infraed drying and solar drying were *Logarithmic, Logarithmic and Page* respectively. The relieving energy from cooked rice performed by these three drying method were 18703.50, 18266.50 and 17995.13 KJ/Kg_{dry} respectively and the residual ash from combusting of cook rice employed by these three drying method were 1.2, 0.17 and 0.67 %_{dry} respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ประสันท์ ชุ่มใจหาญ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้จัดทำ

ขอบคุณคุณหลักสูตรวิศวกรรมวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องรังสีอินฟราเรด สำหรับใช้ในการทดลอง

ขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอบคุณสำหรับทุนทำปริญญานิพนธ์ ประจำปีงบประมาณ 2556 ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

นายณรงค์เกียรติ สีแดด

นางสาวทักษิณา เวชศาสตร์

นายทัศนวัต จันทัน



สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของข้าว	3
2.2 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง	4
2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง และจลศาสตร์และแบบจำลองการอบแห้ง	4
2.2.2 หลักการอบแห้ง	4
2.2.3 วิธีการอบแห้ง	6
2.2.4 การหาความชื้น	8
2.2.5 จลศาสตร์และแบบจำลองการอบแห้ง	9
2.3 การศึกษาค่าพลังงานจากเศษอาหารที่ผ่านการอบแห้ง	10
2.3.1 การหาค่าพลังงานในอาหาร	10
2.3.2 หลักการทำงานของBomb Calorimeter	11
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	12
3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง	12
3.1.1 ข้าวหุงสุก	12
3.1.2 ข้าวจากเศษอาหาร	13
3.1.3 ตัวอย่างชีวมวลทั่วไป	13
3.2 ขั้นตอนการลดความชื้น	14
3.2.1 การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

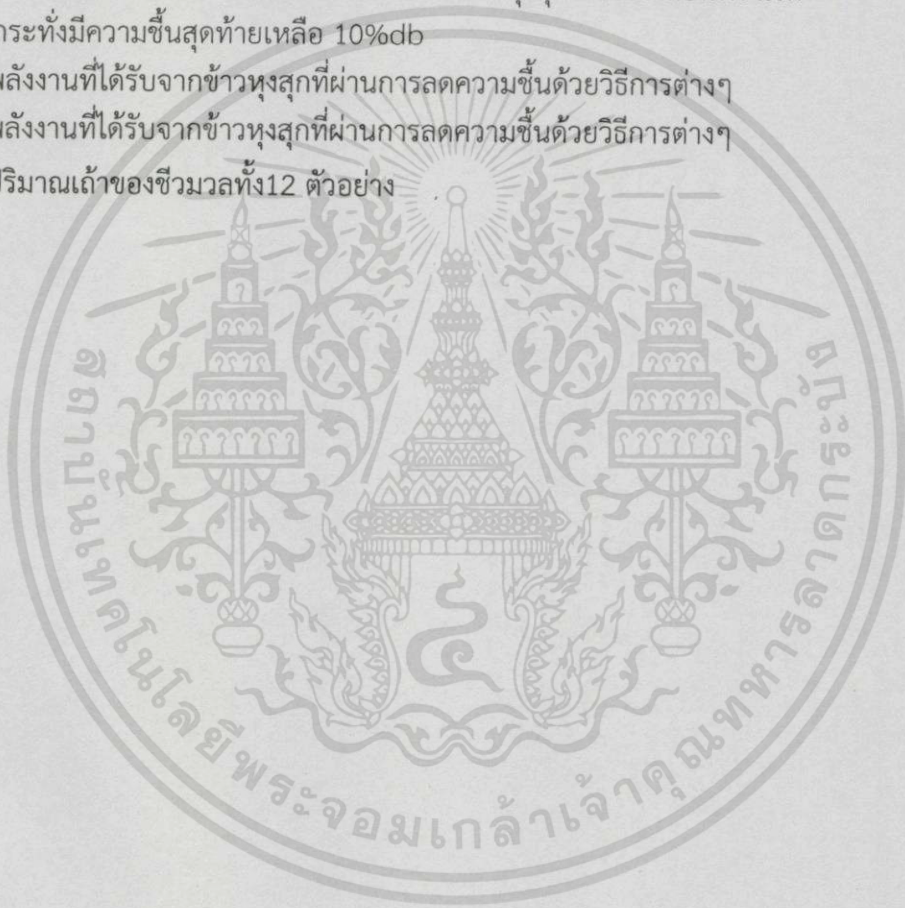
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
3.2.2 การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด	15
3.2.3 การลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ	16
3.3 ขั้นตอนการหาจลศาสตร์การอบแห้ง	16
3.4 ขั้นตอนการหาค่าพลังงานสัมพัทธ์	17
3.4.1 การหาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ	17
3.4.2 ค่าพลังงานที่ได้โดยการวัดจากเครื่องBomb Calorimeter	17
3.4.3 ค่าพลังงานสัมพัทธ์	19
3.4.4 ขั้นตอนการวัดปริมาณเถ้าด้วยเตาเผาความร้อนสูง	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
4.1 ผลจากการการศึกษากลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ	21
4.1.1 การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ	21
4.1.2 การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิต่างๆ	23
4.1.3 การลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติที่อุณหภูมิต่างๆ	24
4.2 ผลจากการการศึกษาค่าพลังงานสัมพัทธ์ในแต่ละวิธีการลดความชื้น	26
4.2.1 การศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ	26
4.2.2 การศึกษาค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุก	27
4.2.3 การศึกษาค่าพลังงานสัมพัทธ์ของการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ	28
4.2.4 การศึกษาค่าปริมาณเถ้าของซีเมนต์ทั้ง 12 ตัวอย่าง	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	31
5.1 ผลจากการการศึกษากลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ	31
5.2 ผลจากการการศึกษาค่าพลังงานสัมพัทธ์ในแต่ละวิธีการลดความชื้น	32
5.3 ข้อเสนอแนะ	33
ภาคผนวก	34
ภาคผนวก ก คุณสมบัติการลดความชื้นของข้าวหุงสุก	35
ภาคผนวก ข ผลการวัดค่าพลังงานและค่าปริมาณเถ้าของข้าวหุงสุก	44
ภาคผนวก ค วิธีการใช้เครื่อง Bomb Calorimeter	47
เอกสารอ้างอิง	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 สมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง แบบต่าง	9
4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน	22
4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด	24
4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นแบบธรรมชาติ	26
4.4 เวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกโดยใช้ตู้อบลมร้อน จนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเหลือ 10%db	26
4.5 เวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกโดยใช้รังสีอินฟราเรด จนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเหลือ 10%db	27
4.6 ค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ	28
4.7 ค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ	29
4.8 ค่าปริมาณเถ้าของชีวมวลทั้ง12 ตัวอย่าง	29



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
2.1 แสดงกราฟอัตราแห้งซึ่งเป็นกราฟระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้น	6
2.2 ตู้อบลมร้อน	7
2.3 หลอดฮีทเตอร์อินฟราเรดแห้ง	7
2.3 การถนอมอาหารด้วยวิธีการตากแห้ง	8
2.4 เครื่องBomb Calorimeter	11
3.1 ข้าวหุงสุก	12
3.2 ข้าวที่มาจากเศษอาหาร	13
3.3 ถ่านไม้	13
3.4 ถ่านอัดแท่ง	14
3.5 ตู้อบลมร้อนMemmert Model UNE 600	15
3.6 ชุดอุปกรณ์รังสีอินฟราเรด	15
3.7 เครื่องDigital Temperature Humidity Meter Thermometer (Model : DHT-1)	16
3.8 ข้าวที่ใช้ในการอัดเม็ดสำหรับนำไปวัดค่าพลังงาน	18
3.9 ข้าวหุงสุกที่ผ่านการอัดเม็ด	18
3.10 เศษอาหารที่ผ่านการอัดเม็ด	18
3.11 ตัวอย่างที่เตรียมเข้าเตาเผาความร้อนสูง	19
3.12 ปริมาณเถ้าที่ได้หลังจากการเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูง	19
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน	21
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด	23
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนความชื้น (ข) อุณหภูมิอากาศ และ (ค) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศกับช่วงเวลาในการลดความชื้น	25

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประชากรในประเทศไทยมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่งผลโดยตรงให้มีปริมาณเศษอาหารจากการบริโภคเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งเศษอาหารเหล่านี้ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศสู่สิ่งแวดล้อมรอบข้าง การจัดการกับปริมาณเศษอาหารมีหลายวิธี ได้แก่ การนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ การนำมาผลิตเป็นปุ๋ย (ASTV ผู้จัดการออนไลน์,2553)[1]และนำมาหมักเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ(ธีรยุทธ,2556)[2] ในขณะเดียวกันเศษอาหารน่าจะนำมาใช้ประโยชน์เป็นพลังงานได้เช่นกัน

จากการสังเกตพบว่าเศษอาหารส่วนใหญ่ประกอบด้วย ข้าว ผัก และเนื้อสัตว์ปรุงสุก ซึ่งส่วนประกอบหลักนั้นมีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่ให้พลังงานสูง ดังนั้นจึงน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะนำเอาพลังงานดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุชีวมวล แต่อย่างไรก็ตามเศษอาหารดังกล่าวยังคงมีความชื้นอยู่สูง การลดความชื้นจึงมีความจำเป็น การลดความชื้นมีวิธีการที่หลากหลาย เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ และการลดความชื้นด้วยอุปกรณ์ลดความชื้น เป็นต้น แต่ละวิธีลดความชื้นมีต้นทุนพลังงานที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งกับค่าพลังงานที่ได้รับจากวัสดุชีวมวลจากเศษอาหารที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ จึงเป็นแนวความคิดที่จะนำมาศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตพลังงานทดแทนจากเศษอาหารต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาจุลศาสตร์การอบแห้งแบบต่างๆของเศษอาหารเพื่อใช้ผลิตวัสดุชีวมวล
- 1.2.2 เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้รับจากเศษอาหารที่ผ่านการลดความชื้นแบบต่างๆ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากการทดลองผู้ทำงานวิจัยคาดว่าจะได้ประโยชน์ โดยผู้ประกอบการสามารถเอาสถานะและวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวหุงสุกเป็นแนวทางในการผลิตพลังงานทดแทนเพื่อลดปัญหาเศษอาหารที่เป็นสาเหตุของมลพิษ และเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากวัสดุทางการเกษตรในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด

1.4 ขอบเขตของงานทำวิจัย

- 1.4.1. ทดลองหาความชื้นเริ่มต้น และหาความชื้นสมดุลของข้าวหุงสุก เพื่อนำมาวิเคราะห์ในการคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการทดลองอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2. หาวิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมต่อการนำข้าวหุงสุกไปผลิตเป็นวัสดุชีวมวล ตลอดจน การศึกษาหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของทั้งการลดความชื้นด้วยลมร้อนและการลดความชื้นด้วยรังสี อินฟราเรด

1.4.3. ทดลองหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นที่ เปลี่ยนแปลงในระหว่างการลดความชื้นของข้าวหุงสุกในระหว่างการลดความชื้นด้วยลมร้อน รังสี อินฟราเรด และ ความร้อนจากแสงอาทิตย์

1.5 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนดำเนินงาน		ปี / เดือน									
		พ.ศ.2556						พ.ศ.2557			
		มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.	เตรียมวัสดุ	↔									
2.	ลดความชื้น	←									
3.	วัดค่าพลังงานด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter										
4.	วัดปริมาณเถ้าด้วยเครื่อง Muffle Furnance										
5.	วิเคราะห์ผล - จลศาสตร์การอบแห้ง - วิเคราะห์ค่าพลังงานสัมพัทธ์										
6.	สรุปผลและทำรายงาน	←									→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการลดความชื้นข้าวหุงสุกโดยใช้ตัวอย่างข้าวหุงสุกพันธุ์เสาให้เป็นวัตถุดิบ ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการทำวิจัย ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของข้าว ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง และการศึกษาค่าพลังงานจากเศษอาหารที่ผ่านการอบแห้ง โดยรายละเอียดเพิ่มเติมของการรวบรวมความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

2.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของข้าว[3]

อาหารเป็นส่วนประกอบหลักในการดำรงชีวิตของมนุษย์ และในประเทศไทยนิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารหลักซึ่งลักษณะของข้าวนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมี ดังมีเนื้อหาดังนี้

2.1.1 คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ หมายถึงคุณสมบัติต่างๆของเมล็ดที่สามารถมองเห็นหรือชั่งตวงวัดได้เช่น น้ำหนักเมล็ด สีข้าวเปลือกขนาดรูปร่างเมล็ด ลักษณะท้องไข ความชุ่มชื้นของข้าวสาร ความแกร่งของเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และคุณภาพการสี เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะทางเคมีของข้าว เป็นลักษณะองค์ประกอบของแป้งในเมล็ดข้าว ซึ่งข้าวเหนียวและข้าวเจ้าจะแตกต่างกันในชนิดของแป้งที่รวมตัวเป็นเอ็นโดสเปิร์ม เมล็ดข้าวเหนียวประกอบไปด้วยแป้งอะมิโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่ และมีแป้งอะมิโลสเล็กน้อย คือประมาณ 5 - 7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วนเมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วย แป้งอะมิโลสประมาณ 15 - 30 เปอร์เซ็นต์

ข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์อะมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจึงมีส่วนกระทบกระเทือนคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวที่มีอะมิโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะได้ข้าวสุกแฉะ แต่สำหรับข้าวที่มีอะมิโลสสูงหากใส่น้ำขนาดเดียวกับข้าวอะมิโลสต่ำ จะได้ข้าวที่แข็งกระด้างมากเนื่องจากการหุงต้มข้าวอะมิโลสสูงต้องการน้ำมาก และเมื่อข้าวสุกแล้วจะได้ข้าวร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือข้าวขึ้นหม้อดี ในขณะที่ข้าวอะมิโลสต่ำ เป็นข้าวที่เหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ และข้าวที่มีโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยาก จึงอาจมีระดับการสีต่ำกว่า (มีรำเหลืออยู่มาก) และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ อย่างไรก็ตามหากทำการสีข้าวให้มีระดับการสีมากขึ้นแล้ว ข้าวโปรตีนสูงอาจมีสีไม่คล้ำกว่าข้าวโปรตีนสูง

จะเห็นได้ว่าลักษณะของข้าวนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ลักษณะทางกายภาพ ที่ประกอบไปด้วย คุณสมบัติที่สามารถ ชั่ง ตวง วัดได้ และ ลักษณะทางเคมีที่ประกอบไปด้วยปริมาณของแป้งอะมิโลเพกทินและแป้งอะมิโลสในเมล็ดข้าว ซึ่งปริมาณเหล่านี้มีผลกระทบกันปริมาณน้ำที่ใช้หุงข้าวด้วยเช่นกัน

2.2 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาความรู้พื้นฐานของการอบแห้งนั้น เราได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 5 หัวข้อด้วยกัน ได้แก่ ทฤษฎีการอบแห้ง หลักการอบแห้ง วิธีการอบแห้ง การหาความชื้น และจลศาสตร์และแบบจำลองการอบแห้ง ซึ่งมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง (สมชาติ, 2540) [4]

การทำแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปเพื่อเก็บรักษาอาหารโดยการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในอาหารโดยการระเหยการระเหิดการสกัดน้ำออกด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมหรือใช้กระบวนการออสโมติกด้วยน้ำตาลหรือเกลือมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารโดยการลดค่า Water activity ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะอยู่ในรูปของน้ำอิสระ ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ และเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การลดน้ำหนักและปริมาตรของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความสะดวกในการเก็บรักษาขนส่ง การแสดงปริมาณความชื้น (Moisture content) หรือน้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์สามารถบอกในรูปของอัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานเปียก (Wet basis) และมาตรฐานแห้ง (Dry basis) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งมี 4 ประการดังต่อไปนี้

(1) คุณสมบัติของอาหารอาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบ ซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่นดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่นอาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ จึงทำให้แห้งได้ช้ากว่าอาหารที่มีการลวกนวดคลึงทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

(2) ขนาดและรูปร่างขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นผิวต่อน้ำหนักเช่นรูปร่างเหมือนกันขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงทำให้แห้งเร็วกว่าแต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปถ้าชิ้นเล็กมากที่อุณหภูมิการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงทำให้การทำแห้งเกิดได้ช้าทั้งที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

(3) อุณหภูมิของอากาศร้อนถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบในช่วงการทำแห้งลดลงด้วย

(4) ความเร็วของลมร้อนลมนร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วยเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้นการเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็ว 244 เมตรต่อนาทีนอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสนปั่นป่วนของอากาศในเตาอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

จะเห็นได้ว่า การทำแห้งเป็นการนั้นเป็นการควบคุมน้ำที่มีอยู่ในอาหารเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ และเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งอยู่ 4 ประการ คือ คุณสมบัติของอาหาร ขนาดและรูปร่างของอาหาร อุณหภูมิของอากาศร้อน และความเร็วของลมร้อน เป็นต้น

2.2.2 หลักการอบแห้ง[5]

หลักการอบแห้ง คือ หลักการลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ไม่ปลอดภัยเท่ากัน ซึ่งการบวนการทำแห้งนั้นแบ่งเป็น 2 หัวข้อดังนี้ คือ กระบวนการทำแห้ง และ กลไกการอบแห้ง ดังต่อไปนี้

(1) กระบวนการทำแห้ง

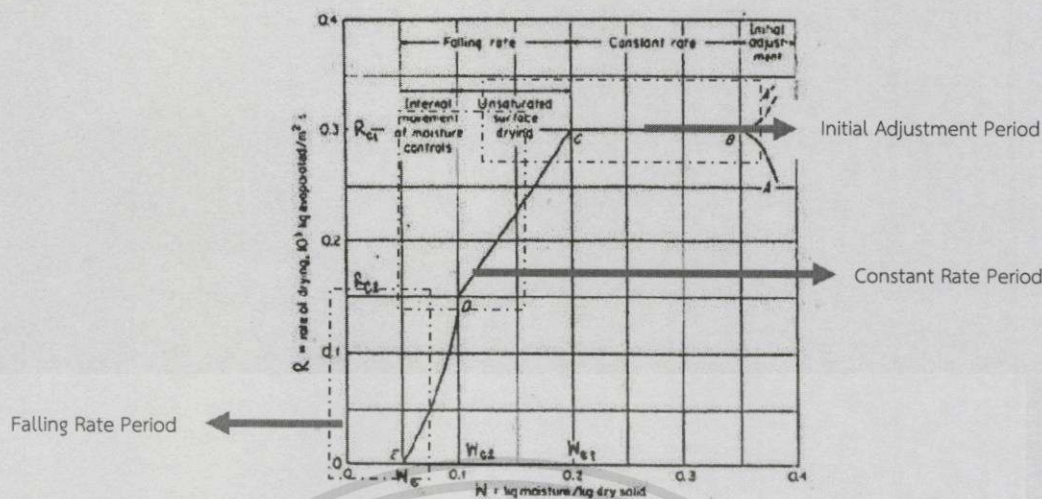
กระบวนการในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร แสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนจากธรรมชาติและกระแสลมที่พัดผ่านอาหารทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำ เนื่องจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิไม่ได้สูงนักและกระแสลมธรรมชาติไม่สูงพอ ทำให้การตากแห้งต้องใช้เวลาานาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องอบที่มีการให้พลังงานความร้อนในปริมาณที่ควบคุมได้และมีอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากผิวอาหาร การถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดได้เร็วอาหารจึงแห้งได้เร็วขึ้น

การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างการอบแห้งทำได้หลายวิธีคือ

1. การให้กระแสลมเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสลมร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นแบบพาความร้อน (convection)
2. การแผ่อาหารเป็นชั้นบางๆบนพื้นผิวที่ให้ความร้อน อาหารได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน (conduction) ทำให้อาหารกระจายตัวออกไปสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อนจัดทำให้ไอน้ำกระจายตัวได้ดี อาหารจึงแห้งในเวลาสั้นๆ อาจมีระบบดูดอากาศออกจากผิวอาหาร ซึ่งทำให้สามารถลดความชื้นได้ต่ำลงอีกหรือไม่ต้องใช้อุณหภูมิอาหารที่สูงนัก
3. การให้ความร้อนแก่อาหารในเครื่องอบด้วยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นข้างนอก
4. การปรับสภาพความดันและอุณหภูมิให้น้ำในอาหารเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วมสามสถานะ (triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลงอีกทำให้เกิดการระเหิด น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง วิธีการนี้เรียกว่าการทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze drying หรือ lyophilization) การทำแห้งอีกแบบหนึ่งไม่เกี่ยวกับพลังงานความร้อนแต่เป็นการให้ความดันออสโมติกลดปริมาณน้ำจากชิ้นอาหารได้แก่ การทำผลไม้แช่แข็ง เมื่อแช่ชิ้นผลไม้ในน้ำเชื่อม น้ำในอาหารจะเคลื่อนย้ายออกมาที่น้ำเชื่อมข้างนอกและน้ำตาลเคลื่อนที่เข้าไปในชิ้นผลไม้ จนความเข้มข้นของน้ำตาลภายในและภายนอกผลไม้เท่ากัน แต่วิธีนี้ยังคงเหลือน้ำในชิ้นผลไม้อีกมากจึงนิยมนำไปทำแห้งต่อ

(2) กลไกการอบแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านหน้าอาหารที่เปียกความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำอาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าไปใกล้อากาศแห้งความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร



รูปที่ 2.1 แสดงกราฟอัตราแห้งซึ่งเป็นกราฟระหว่างอัตราการอบแห้ง (Drying Rate) และความชื้น
ที่มา : www.agro.cmu.ac.th/e_books

จากภาพที่ 2.1 สามารถแบ่งช่วงกราฟอัตราการอบแห้งเป็น 3 ช่วง ได้แก่

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period) เป็นช่วงที่ความชื้นที่มีอยู่ในอาหารปรับตัวเพื่อมีอุณหภูมิเท่ากับลมร้อนอัตราการอบแห้งจะต่ำและจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่จากรูปที่ 2.3คือช่วง AB ซึ่งถือว่าเป็นช่วงสั้นๆสามารถตัดทิ้งได้เมื่อคำนวณเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (Drying Time) ส่วนช่วง A'B เป็นกรณีที่มีบริเวณผิวหน้าของแข็งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่จะเริ่มเกิดการระเหยในตอนแรกจะสูงและค่อยๆลดลงจนคงที่
2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่น้ำในอาหารระเหยเป็นไออย่างต่อเนื่องคล้ายกับการระเหยของน้ำโดยทั่วไป
3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่องทำให้ชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่ไม่สม่ำเสมออัตราการอบแห้งจึงลดลงและเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นความชื้นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงความชื้นสมดุลซึ่งน้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

2.2.3 ประเภทของการอบแห้ง

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้นโดยใช้ความร้อนถ่ายเทไปยังวัสดุขึ้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยน้ำออกจากวัสดุซึ่งจะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆกันเมื่อใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้งโดยผ่านอากาศร้อนไปยังวัสดุ ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้แก่วัสดุทำให้น้ำในวัสดุระเหยกลายเป็นไอ และไอน้ำที่ได้จะถูกนำออกมาโดยกระแสอากาศหรือการดูดอากาศโดยประเภทของการอบแห้งที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี 3 ประเภทด้วยกันคือ การอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และการอบแห้งแบบธรรมชาติ(ตากแดด) โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การอบแห้งด้วยลมร้อน ในการทดลองนี้ใช้ตู้อบลมร้อน (Hot Air Dryer) โดยมี Blower ในการเป่าลมร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อน คือ Heater ที่ถูกควบคุมอย่างเหมาะสมด้วยตัวไวนความร้อนและตัวควบคุมอุณหภูมิไปยังวัตถุทำให้เกิดความร้อนที่ผิวของวัตถุ น้ำที่อยู่ตามรูพรุนหรือตามช่องแคบๆ ก็จะมีการระเหยเคลื่อนที่มายังผิวหน้าของวัตถุ แล้วลมจะเป็นตัวพาความชื้นออกจากวัสดุ ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมืออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

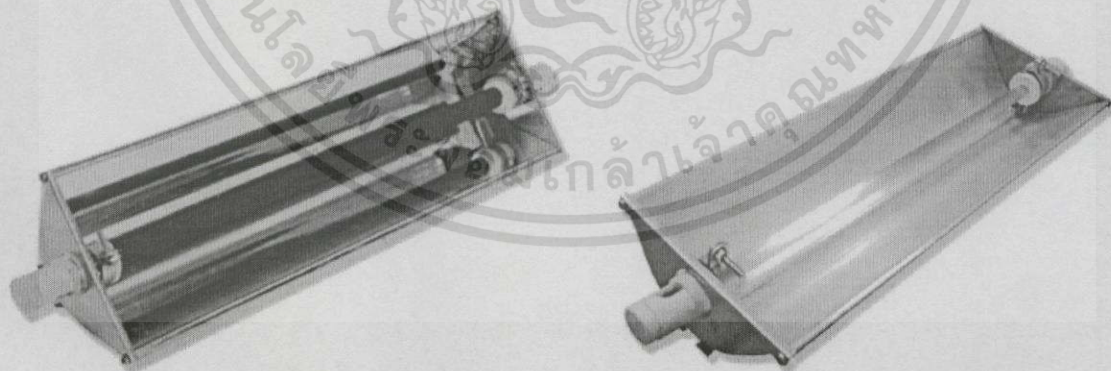
เป็นหลักการเดียวกับกระบวนการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ แต่ต่างกันที่การตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์จะใช้ลมตามธรรมชาติเป็นตัวพาความชื้นและใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.2 ตู้อบลมร้อน

ที่มา: www.tanamitrscale.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539652064

(2) การอบแห้งตัวรังสีอินฟราเรด เป็นการให้ความร้อนในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอยู่ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ($0.76 \mu\text{m} - 1 \text{mm}$) ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ แบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ คลื่นสั้น ปานกลาง และยาว การดูดซับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นรังสีอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุ มุมตกกระทบ และรังสีของวัตถุ ในการศึกษานี้ได้ใช้กับเศษเมล็ดข้าวตัวอย่าง เป็นการยิงตรงเข้าไปทำให้น้ำเกิดการระเหยแห้งหรือสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงและร้อนขึ้นมาสามารถทำให้วัตถุ ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ร้อนได้จากภายใน



รูปที่ 2.3 หลอดฮีเตอร์อินฟราเรดแห้ง

ที่มา : www.slheater.com/product_detail.php?cate=13&item=30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การอบแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแดด) จะมีหลักการเช่นเดียวกับการอบแห้งด้วยลมร้อน แต่มีความแตกต่างตรงที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของแหล่งความร้อน และไม่สามารถควบคุมความเร็วของลมในการเคลื่อนที่เพื่อพาไอน้ำที่ผิวหน้าของวัสดุได้



รูปที่ 2.3 การถนอมอาหารด้วยวิธีการตากแห้ง

ที่มา: www.l3nr.org/posts/392825

2.2.4 วิธีการหาความชื้น[6]

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลผลิตเมื่อเทียบกับมวลของผลผลิตซึ่งโดยทั่วไปจะบอกได้ 2 แบบด้วยกันคือ เมื่อเทียบกับมวลของผลผลิตขึ้นก็จะเรียกว่าความชื้นในฐานเปียกเป็นความชื้นที่นิยมบอกในทางการค้าหรือการซื้อขายผลผลิตทางการเกษตร และเมื่อเทียบกับมวลของผลผลิตแห้งจะเรียกว่าความชื้นในฐานแห้ง ซึ่งนิยมในเอกสารวิชาการเนื่องจากว่าน้ำหนักแห้งจะมีค่าคงที่สม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการอบแห้ง โดยในการทดลองครั้งนี้มีการคำนวณค่าความชื้นโดยใช้ความชื้นในฐานแห้งเป็นหลัก เพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัดส่วนความชื้น โดยมีสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{ความชื้นฐานแห้ง} \quad MC_{db} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

$$\text{สัดส่วนความชื้น} \quad MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

โดยที่

MC_{db}	คือ	ความชื้น(เปอร์เซนต์ฐานแห้ง)
W_1	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบแห้ง(กิโลกรัม)
W_2	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง(กิโลกรัม)
M	คือ	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใดๆ
M_e	คือ	ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์
M_i	คือ	ค่าความชื้นเริ่มต้น
MR	คือ	อัตราส่วนความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งนั้น เราได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ประเภท คือ การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง และนำแบบจำลองดังกล่าวมาคำนวณหาค่าความแม่นยำ เพื่อเปรียบเทียบ และเลือกใช้แบบจำลองที่แม่นยำที่สุดในการอบแห้ง ดังกล่าวต่อไปนี้

(1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

สุเนตรและฤทธิชัย (2554)[7] ได้อธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งแบบวิธีการอบแห้งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง ทั้งในด้านวิธีการอบแห้ง แหล่งพลังงานที่ใช้ ผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะการอบแห้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบระบบการอบแห้งแบบต่างๆ เนื่องจากสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลสารและความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งตลอดจนการหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ ได้ดี ปัจจุบันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งจะถูกนำไปใช้ในการจำลองสภาวะการอบแห้งและการศึกษาผลกระทบของปัจจัยด้านต่าง ๆ ในกระบวนการอบแห้งตลอดจนการทดสอบและเปรียบเทียบเงื่อนไขการอบแห้งแบบต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งแทนการทดลองจริง ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง ซึ่งมีความสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบเงื่อนไขในการอบแห้ง

จากการสำรวจเอกสารของรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งด้วยระบบการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่นิยมใช้ในการศึกษา สำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร มักจะเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมไพริคัล (Empirical Model) อาทิเช่นแบบจำลองของ Newton, Page, Henderson and Pabis, และ Logarithmic

ตารางที่ 2.1 รูปแบบสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง แบบต่าง ๆ

ชื่อแบบจำลอง	รูปแบบสมการ	เอกสารอ้างอิง
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Kaleemullah and Kailappan (2005), Waewsak, Chindaruksa and Punlek (2006), Dadal, Apar and Özbek (2007)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	McMinn, (2006), Kingly and Singh (2007), Vega, Fito, Andrés and Lemus (2007), Assawarachanet al., (2013)
Henderson and Pabis	$MR = a * \exp(-kt)$	Kingly and Singh (2007), Vega, Fito, Andrés and Lemus (2007), Assawarachan and Noomhorm (2011)
Logarithmic	$MR = a * \exp(-kt) + c$	McMinn, (2006), Wu and Hu (2007), Evin (2012), Assawarachanet al., (2013)

เมื่อ k, n, a, c คือค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีทางสถิติ

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

1. Chi-square (χ^2)

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

2. R^2 (Coefficient of Determination)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{pred} - MR_{pred,i})^2} \quad (\text{สมการที่ 2.4})$$

3. RMSE (Root Mean Square Error)

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

โดยที่

$MR_{exp,i}$	คือ	อัตราส่วนความชื้นไม่มีหน่วยจากการทดลอง
N	คือ	จำนวนค่าสังเกต
$MR_{pre,i}$	คือ	อัตราส่วนความชื้นไม่มีหน่วยจากการทำนาย
z	คือ	ค่าคงที่จากแบบจำลอง

2.3 การศึกษาค่าพลังงานจากเศษอาหารที่ผ่านการอบแห้ง[8]

ในการศึกษาค่าพลังงานจากเศษอาหารที่ผ่านการอบแห้งนั้น เราได้แบ่งการศึกษออกเป็น 2 หัวข้อ คือ การหาค่าพลังงานในอาหาร และหลักการทํางานของเครื่อง Bomb Calorimeter ซึ่งมีหลักการดังนี้

2.3.1 การหาค่าพลังงานในอาหาร

อาหารมีพลังงานสะสมอยู่ในรูปของพลังงานเคมีซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สามารถหาค่าพลังงานในอาหารในรูปของพลังงานความร้อนได้โดยนำอาหารมาเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำ พลังงานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน แล้วถ่ายเทพลังงานความร้อนให้น้ำ น้ำจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นแทน การวัดค่าพลังงานความร้อนนี้ทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Bomb calorimeter ซึ่งเป็นการวัดค่าพลังงานที่สะสมอยู่ในอาหารภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน



รูปที่ 2.4 เครื่อง Bomb Calorimeter

ที่มา: www.masontechnology.ie/category/BombCalorimeters

2.3.2 หลักการทำงานของ Bomb Calorimeter

การทำงานของ Bomb Calorimeter จะใช้หลักการของ Direct Calorimetry ซึ่งเป็นการวัดพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาผลาญอาหารเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ อาหารจะถูกบรรจุใน Chamber และ Charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง (High pressure) จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนผ่าน Fuse และให้การจุดระเบิด (Ignites) เชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ส่วนผสมของอาหารและออกซิเจน (Food - oxygen mixture) เนื่องจาก Calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากสารอาหารแต่ละชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนจะปล่อยพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ (Heat of combustion) ออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน

จะเห็นได้ว่า ในการศึกษาการลดความชื้นข้าวหุงสุกโดยใช้ตัวอย่างข้าวหุงสุกพันธุ์เสาไห้เป็นวัตถุดิบนั้น ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อด้วยกัน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของข้าว ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีการอบแห้ง หลักการการอบแห้ง ประเภทการอบแห้ง และการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง เป็นต้น และสุดท้าย คือ การศึกษาค่าพลังงานจากเศษอาหารที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

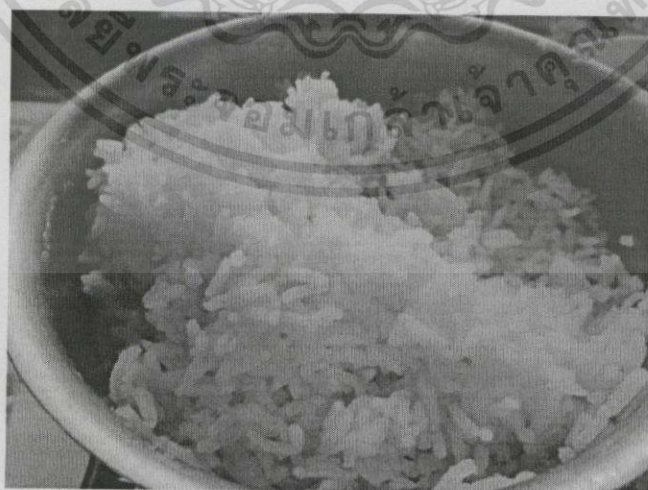
การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองการลดความชื้นข้าวหุงสุกและตัวอย่างข้าวจากเศษอาหารด้วยวิธีการลดความชื้นต่าง ๆ กัน ได้แก่ การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด และการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ โดยจะมีการเปรียบเทียบค่าพลังงานสัมพัทธ์ของการลดความชื้นแต่ละวิธีแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาวิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการลดความชื้นเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวล โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดลอง 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้ คือ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ขั้นตอนการลดความชื้น ขั้นตอนการหาจลนศาสตร์การอบแห้ง และขั้นตอนการหาค่าพลังงานสัมพัทธ์โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบนั้น ได้มีการใช้ตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบ 3 ประเภทคือข้าวหุงสุก ข้าวที่ได้จากเศษอาหาร และ ตัวอย่างวัสดุชีวมวลทั่วไป โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการเตรียมดังต่อไปนี้

3.1.1 ข้าวหุงสุก

ข้าวที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้คือ ข้าวพันธุ์เส้าไห้ มาทำการล้างเพื่อนำสิ่งเจือปนออกจากเมล็ดข้าวสาร หลังจากนั้นนำข้าวสารที่ได้มาหุงให้สุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (Toshiba, RC-10MM) โดยมีสัดส่วนน้ำต่อข้าวคือ 1:1 (โดยปริมาตร) ใช้เวลาในการหุงข้าวให้ข้าวสุกเป็นเวลาประมาณ 45 นาที แล้วนำข้าวหุงสุกไปเข้าห้องเย็นที่อุณหภูมิ -13.5°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงทันที เพื่อรักษาความชื้นภายในเมล็ดข้าวหุงสุกให้สม่ำเสมอตลอดการทดลองในขั้นตอนถัดไป

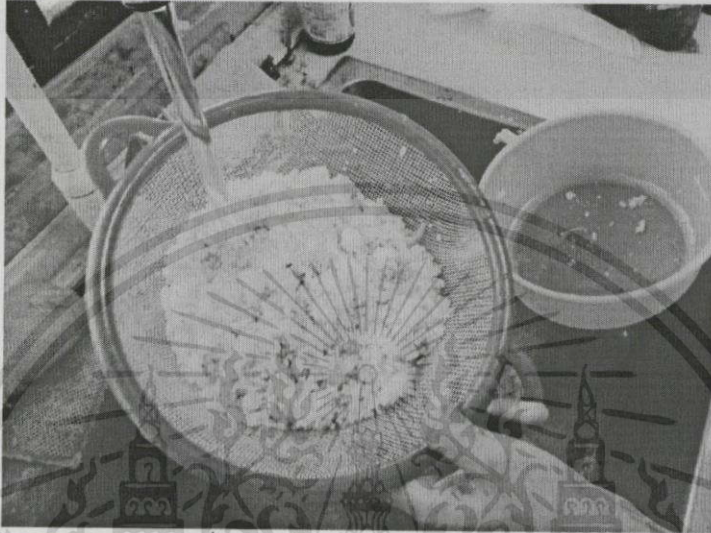


รูปที่ 3.1 ข้าวหุงสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ข้าวที่มาจากเศษอาหาร

นำตัวอย่างเศษอาหารจากร้านอาหาร 6 แห่งปริมาณเท่าๆกัน มาล้างทำความสะอาดโดยมีการแยกผักและสิ่งเจือปนอื่นๆออกจากข้าวตัวอย่าง จากนั้นนำข้าวตัวอย่างดังกล่าวไปเก็บรักษาที่ห้องเย็นที่อุณหภูมิ -13.5°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงทันที เพื่อรักษาความชื้นภายในเศษอาหารให้สม่ำเสมอตลอดการทดลองในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 3.2 ข้าวที่มาจากเศษอาหาร

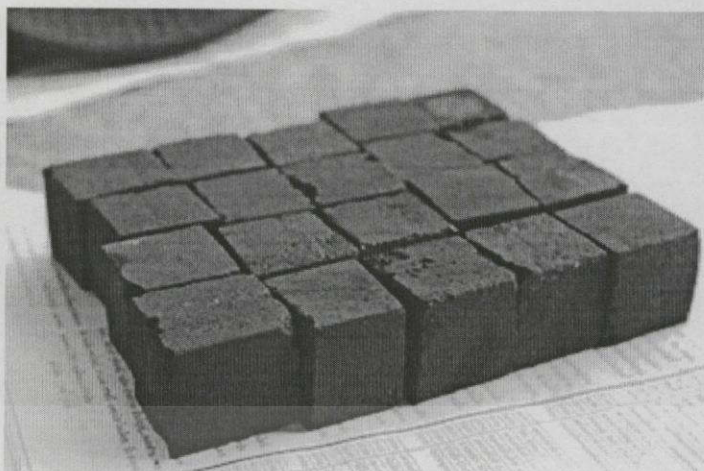
3.1.3 ตัวอย่างชีวมวล

ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง มี 2 ชนิด คือ ถ่านไม้ และ ถ่านอัดแท่งเพื่อใช้เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้กับพลังงานที่ได้รับจากเศษอาหาร



รูปที่ 3.3 ถ่านไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



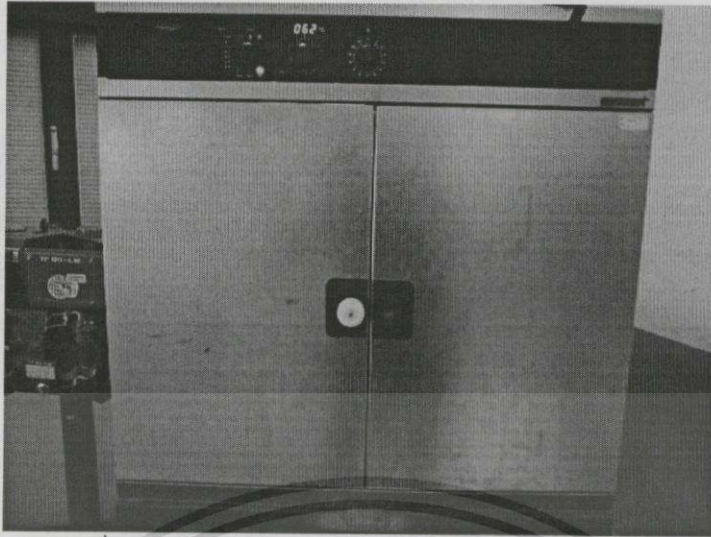
รูปที่ 3.4 ถ่านอัดแท่ง

จะเห็นได้ว่า จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนั้นได้มีการเตรียมตัวอย่างข้าวหุงสุกและข้าวที่มาจากเศษอาหารให้อยู่ในสภาวะใกล้เคียงกันเพื่อจะนำตัวอย่างดังกล่าวไปลดความชื้นในขั้นตอนต่อไป

3.2 ขั้นตอนการลดความชื้น

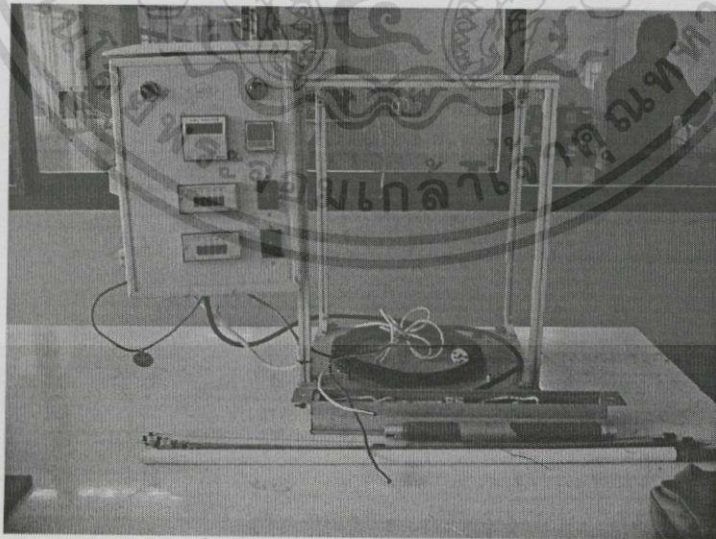
ในขั้นตอนของการลดความชื้น ได้นำข้าวหุงสุกและตัวอย่างเศษอาหารมาผ่านการลดความชื้น 3 วิธีการด้วยกัน ได้แก่ การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด และการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ โดยแต่ละวิธีการลดความชื้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน นำตัวอย่างวัสดุที่ผ่านการแช่เย็นในหัวข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนละประมาณ 21.8 กรัมสำหรับข้าวหุงสุก และปริมาณ 21.8 กรัมสำหรับเศษอาหาร ผึ่งไว้จนข้าวหุงสุกมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิคือที่ 26°C จากนั้นนำข้าวดังกล่าวไปลดความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน(Memmert Model UNE 600)รูปที่ 3.5 ที่มีการตั้งอุณหภูมิภายใน 4 ระดับ คือ 70 80 90 และ 100°C ตามลำดับสำหรับข้าวหุงสุก และที่ 90°C สำหรับเศษอาหาร โดยมีเวลาการอบแห้งของข้าวหุงสุกเท่ากับ 6 ชั่วโมง ระหว่างการอบแห้งนำข้าวหุงสุกออกมาชั่งน้ำหนักที่ลดลงทุกๆ 30 นาทีเพื่อหาปริมาณน้ำที่หายไป จนครบ 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นอบแห้งข้าวหุงสุกต่อไปโดยทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงเพื่อหาน้ำหนักสมดุลของแต่ละอุณหภูมิ สำหรับเศษอาหารใช้เวลาการอบแห้งประมาณ 1 ชั่วโมง 47 นาทีเพื่อลดความชื้นให้เหลือ $10\%db$ หลังจากนั้นนำเศษอาหารไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าไปในเศษอาหารพร้อมวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งตลอดการทดลอง แล้วนำไปคำนวณหาความชื้นของตัวอย่างข้าวที่ผ่านการอบที่เวลาต่างๆกัน จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 พร้อมวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งตลอดการทดลอง



รูปที่ 3.5 ตู้อบลมร้อน Memmert Model UNE 600

3.2.2 การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด นำข้าวที่ผ่านการแช่แข็งในหัวข้อ 3.1.1 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนละประมาณ 21.8 กรัม ผึ่งไว้จนข้าวหุงสุกมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องคือที่ 26°C จากนั้นนำข้าวดังกล่าวไปลดความชื้นโดยใช้รังสีอินฟราเรด(หลอดอินฟราเรดขนาด 1000 วัตต์)รูปที่ 3.6 ที่มีการตั้งอุณหภูมิภายใน 3 ระดับ คือ 45 55 และ 65°C ตามลำดับโดยมีเวลาการอบแห้งที่ทุกอุณหภูมิเท่ากับ 3 ชั่วโมง ระหว่างการอบแห้งนำข้าวหุงสุกออกมาชั่งน้ำหนักที่ลดลงทุกๆ 15 นาทีเพื่อหาปริมาณน้ำที่หายไป จนครบ 3 ชั่วโมง และอบแห้งข้าวหุงสุกต่อไปโดยทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงเพื่อหาน้ำหนักสมดุลของแต่ละอุณหภูมิ หลังจากนั้นนำข้าวหุงสุกไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าไปในข้าวแล้วนำไปคำนวณหาความชื้นของข้าวหุงสุกที่ผ่านการอบที่เวลาต่างๆกัน จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 พร้อมวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งตลอดการทดลอง



รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์รังสีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์นำตัวอย่างวัสดุที่ผ่านการแช่เย็นในหัวข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนละประมาณ 21.8 กรัมสำหรับข้าวหุงสุก และปริมาณ 21.8 กรัมสำหรับเศษอาหาร ผึ่งไว้จนข้าวหุงสุกมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิคือที่ 26°C จากนั้นนำตัวอย่างข้าวและข้าวจากเศษอาหารดังกล่าวไปลดความชื้นโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นเวลา 2 วัน โดยสำหรับข้าวหุงสุกนั้นจะมีการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการอบแห้ง ด้วยเครื่อง Digital Temperature Humidity Meter Thermometer (Model : DHT-1) รูปที่ 3.7 และชั่งน้ำหนักของข้าวเพื่อหาปริมาณน้ำที่ลดลงไปที่เวลาทุกๆ 1 ชั่วโมงไป จนกว่าน้ำหนักของข้าวหุงสุกเริ่มคงที่ หลังจากนั้นนำข้าวหุงสุกไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าไปในข้าวแล้วนำไปคำนวณหาความชื้นของข้าวหุงสุกที่ผ่านการอบที่เวลาต่างๆกัน จากสมการที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 3.7 เครื่อง Digital Temperature Humidity Meter
ที่มา : www.tradekorea.com/products/4001/Clocks.html

จากขั้นตอนการลดความชื้นซึ่งผ่านวิธีการลดความชื้น 3 วิธีการ คือ การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด และการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ นั้น จะมีการนำค่าความชื้นที่เหลือจากการลดความชื้นไปใช้ในการหาจลนศาสตร์ของการอบแห้งในขั้นตอนต่อไป

3.3 การหาจลนศาสตร์การอบแห้ง

นำค่าสัดส่วนความชื้นที่คำนวณได้มาแทนในแต่ละสมการในตารางที่ 2.1 เพื่อหาค่าของตัวแปรต่างเพื่อจะได้สมการการอบแห้งแบบต่างๆ แล้วเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการการอบแห้งโดยใช้ Chi-square (χ^2) ค่า R^2 และค่า RMSE จากสมการที่ 2.3, 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

3.4 ขั้นตอนการหาค่าพลังงานสัมพัทธ์

ในขั้นตอนการหาค่าพลังงานนั้น จะมีค่าพลังงานที่ใช้ในการคำนวณ 4 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ ค่าพลังงานที่ได้โดยการวัดจากเครื่อง Bomb Calorimeter ค่าพลังงานสัมพัทธ์ และปริมาณเถ้า โดยใช้ตัวอย่างที่เตรียมไว้ทั้ง 12 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ ได้แก่ (1) ข้าวหุงสุกที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C (2) ข้าวหุงสุกที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C (3) ข้าวหุงสุกที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C (4) ข้าวหุงสุกที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C (5) ข้าวหุงสุกที่อบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 45 °C (6) ข้าวหุงสุกที่อบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 55 °C (7) ข้าวหุงสุกที่อบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 65 °C (8) ข้าวหุงสุกที่ตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (9) เศษอาหารที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C (10) เศษอาหารที่ตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (11) ถ่านไม้ และ (12) ถ่านอัดแท่ง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การหาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ

นำความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ หาจุดตัดที่ความชื้นฐานแห้ง 10% ที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นของแต่ละอุณหภูมิ แล้วนำเวลาที่ได้ออกมาคำนวณหาการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อหาอุณหภูมิที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดในการลดความชื้นโดยใช้สมการที่ 3

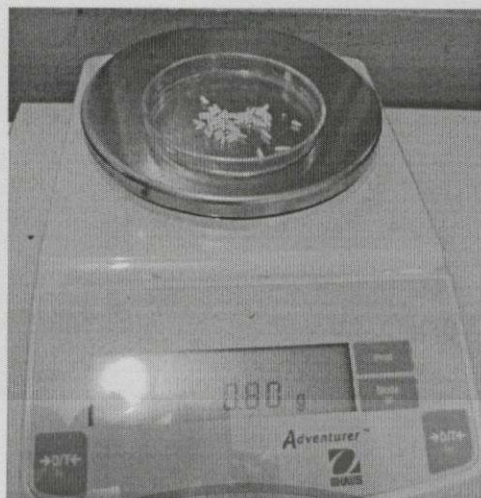
$$P = \frac{[(I_c + I_{nc}) \times V] \times \Phi \times t_{nc} \times [t/t_c + t_{nc}]}{W_f \times 1000} \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดยที่

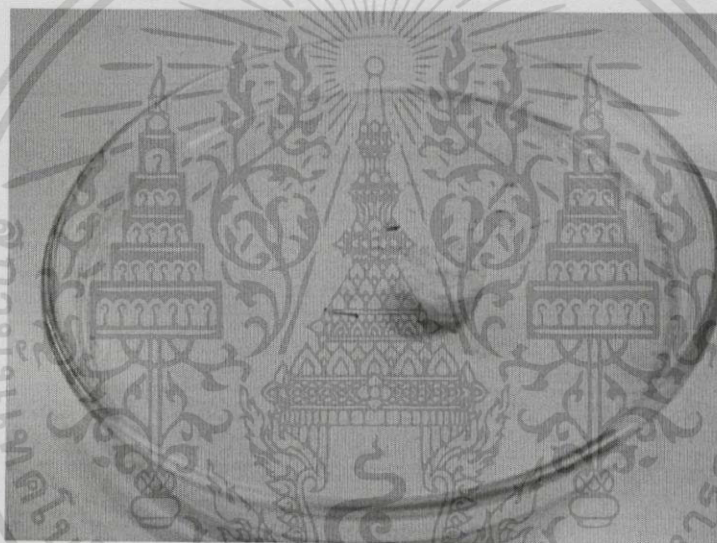
P	คือ	พลังงานไฟฟ้า (kJ/g _{db})
I _c	คือ	กระแสไฟฟ้าช่วงที่ไฟตัดของตู้อบลมร้อน (A)
I _{nc}	คือ	กระแสไฟฟ้าช่วงที่ไฟไม่ตัดของตู้อบลมร้อน (A)
V	คือ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)
Φ	คือ	ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของไฟฟ้ากระแสสลับ
t	คือ	เวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (s)
t _c	คือ	เวลาช่วงที่ตัดไฟของตู้อบลมร้อน (s)
t _{nc}	คือ	เวลาช่วงที่ไม่ตัดไฟของตู้อบลมร้อน (s)

3.4.2 ค่าพลังงานที่ได้โดยการวัดจากเครื่อง Bomb Calorimeter

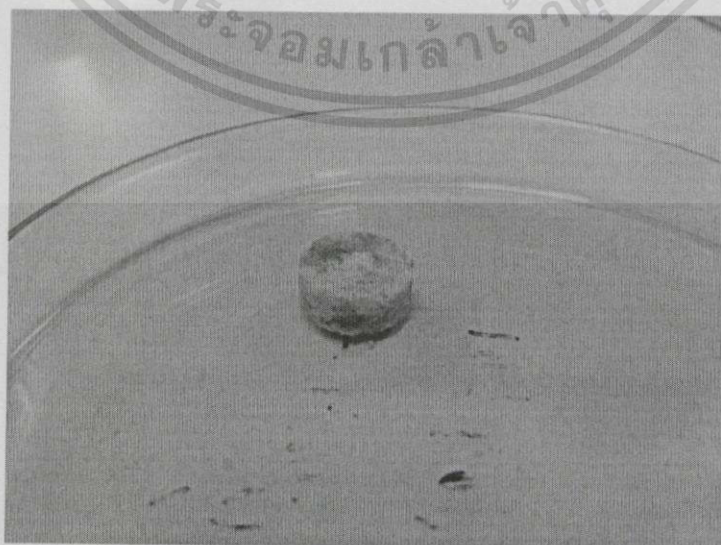
นำตัวอย่างชีวมวลทั้ง 12 ตัวอย่างไปหาค่าพลังงานความร้อนโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter โดยแต่ละชนิดมีน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบประมาณ 0.80 กรัม



รูปที่ 3.8 ข้าวที่ใช้ในการอัดเม็ดสำหรับนำไปวัดค่าพลังงาน



รูปที่ 3.9 ข้าวหุงสุกที่ผ่านการอัดเม็ด



รูปที่ 3.10 เศษอาหารที่ผ่านการอัดเม็ด

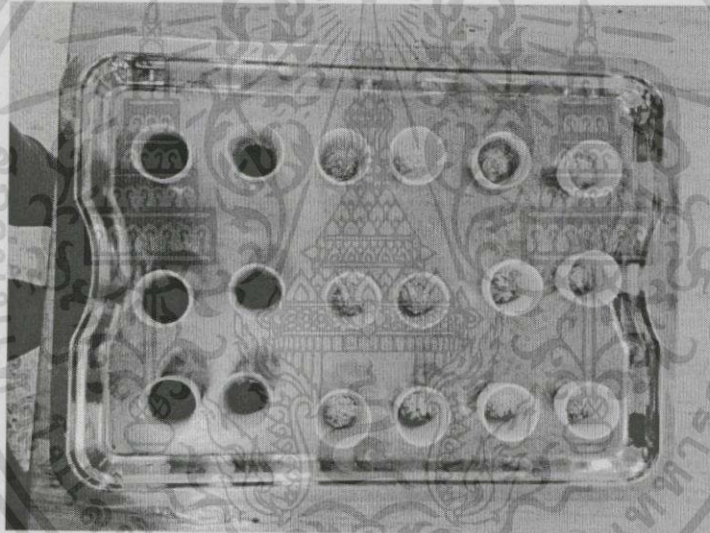
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ค่าพลังงานสัมพัทธ์

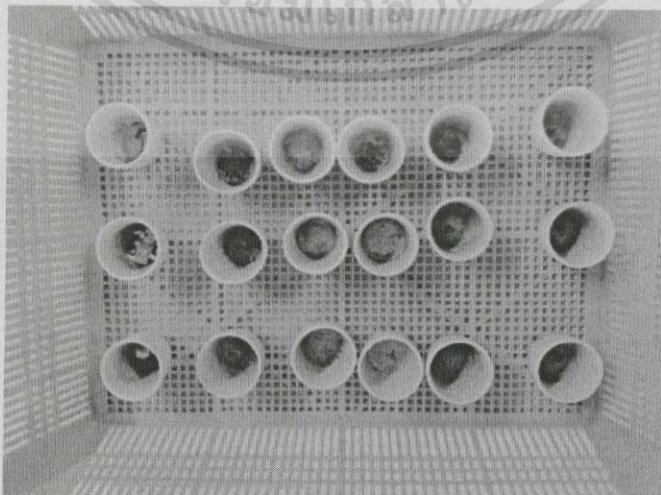
ในการหาค่าพลังงานสัมพัทธ์นั้น สามารถหาได้จากการหาอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ได้จากวัสดุชีวมวลที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยวิธีการนั้นๆ เพื่อนำค่าพลังงานสัมพัทธ์ดังกล่าวมาเปรียบเทียบเพื่อหาวิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธีการผลิตวัสดุชีวมวลจากเศษอาหาร

3.4.4 ขั้นตอนการวัดปริมาณเถ้าด้วยเตาเผาความร้อนสูง

เตรียมตัวอย่างทั้ง 12 ตัวอย่างตามข้อ 3.5 แล้วชั่งปริมาณของทั้ง 12 ตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กรัมก่อนนำไปเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 550 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นลดอุณหภูมิเตาเผาลงให้เหลือ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนจะนำตัวอย่างทั้ง 12 ตัวอย่างไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณเถ้าที่ได้



รูป 3.11 ตัวอย่างที่เตรียมเข้าเตาเผาความร้อนสูง



รูปที่ 3.12 ปริมาณเถ้าที่ได้หลังจากการเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองการลดความชื้นข้าวหุงสุกและตัวอย่างข้าวจากเศษอาหารด้วยวิธีการลดความชื้นต่างๆกัน แล้วนำมาคำนวณหาค่าพลังงานต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบหาวิธีการการลดความชื้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการลดความชื้นเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวล โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดลอง 4 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ขั้นตอนการลดความชื้น ขั้นตอนการหาจลน์ศาสตร์การอบแห้ง และขั้นตอนการหาค่าพลังงานสัมพัทธ์ซึ่งผลการทดลองนั้นจะมีการนำเสนอในบทต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการลดความชื้นของข้าวหุงสุก ซึ่งเป็นอาหารหลักของคนในประเทศ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดเพื่อการผลิตชีวมวลจากเศษอาหารที่มีส่วนประกอบหลักคือข้าวได้ ดังนั้นการศึกษากลศาสตร์ของการลดความชื้นเพื่อหาวิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมและการหาค่าพลังงานสัมพัทธ์ของแต่ละวิธีการลดความชื้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ การศึกษากลศาสตร์ของการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ และการหาค่าพลังงานสัมพัทธ์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ต้นทุนการลดความชื้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลจากการการศึกษากลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ

จากการศึกษาวิธีการลดความชื้นเพื่อการหาจลนศาสตร์ของการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด และการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1.1 การลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดลองอบแห้งข้าวหุงสุกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 °C ได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการลดความชื้นของข้าวหุงสุกซึ่งมีลักษณะของความสัมพันธ์เป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล โดยมีกลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นในระหว่างการลดความชื้นดังนี้ ช่วงแรกข้าวหุงสุกจะสัมผัสกับความร้อนจะเกิดปรากฏการณ์การถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนจนอุณหภูมิของข้าวหุงสุกมีค่าสูงขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อนทำให้น้ำที่ผิวของข้าวหุงสุกเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นไอน้ำและถูกพาออกไปกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านมวลความชื้นที่ผิวของข้าวหุงสุก โดยข้าวหุงสุกจะสูญเสียสมดุลความชื้นและแห้ง ส่งผลให้มวลความชื้นภายในเมล็ดข้าวหุงสุกเคลื่อนที่มายังผิวหน้าเพื่อชดเชยมวลความชื้นที่สูญเสียไปในระหว่างการลดความชื้น(จุลพงศ์,2556)[9] จากปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้ความชื้นในข้าวหุงสุกมีการลดลงเรื่อยๆที่เวลาที่เปลี่ยนแปลงไป จนกระทั่งไม่มีความชื้นเหลืออยู่ และที่อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นการลดลงของความชื้นก็ยิ่งเกิดขึ้นได้เร็วมากขึ้นตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

ชื่อแบบจำลอง	อุณหภูมิ (°C)	ค่าคงที่ต่างๆ	R^2	$X^2 \times 10^{-4}$	RMSE
Newton	70	$K = 0.0130$	0.9980	1.6846	0.0130
	80	$K = 0.0160$	0.9934	5.5445	0.0235
	90	$K = 0.0176$	0.9756	20.2683	0.0450
	100	$K = 0.0220$	0.9522	38.1153	0.0617
Page	70	$K = 0.0126, n = 0.9989$	0.9974	2.4254	0.0144
	80	$K = 0.0258, n = 0.8810$	0.9875	10.7030	0.0316
	90	$K = 0.0329, n = 0.8790$	0.9908	0.01344	0.0268
	100	$K = 0.0733, n = 0.7724$	0.9964	7.6711	0.0162
Henderson and Pabis	70	$K = 0.0125, a = 0.9902$	0.9974	2.3549	0.0147
	80	$K = 0.0124, a = 0.8684$	0.9480	36.2466	0.0581
	90	$K = 0.0156, a = 0.8244$	0.9346	40.0777	0.0612
	100	$K = 0.0179, a = 0.6289$	0.6457	121.8444	0.1076
Logarithmic	70	$K = 0.0126, a = 0.9997, c = 0.0003$	0.9976	2.2622	0.0144
	80	$K = 0.0173, a = 1.0007, c = 0.0080$	0.9974	2.3558	0.0147
	90	$K = 0.0219, a = 1.0078, c = 0.0026$	0.9970	2.6241	0.0155
	100	$K = 0.0338, a = 1.0098, c = 0.0010$	0.9985	1.2194	0.0106

จากการศึกษาจลนศาสตร์ของการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยตู้อบลมร้อนพบว่า แบบจำลองของ Logarithmic นั้น มีความเหมาะสมมากที่สุดในทุกๆอุณหภูมิ เนื่องจากมีค่า R^2 มากที่สุด ค่า Chi-square น้อยที่สุดและค่า RMSE น้อยที่สุดในทุกๆอุณหภูมิของการลดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลจากการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดลองลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 45 55 และ 65°C ได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการลดความชื้นของข้าวหุงสุกซึ่งมีลักษณะของความสัมพันธ์เป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล เช่นเดียวกับการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน เพียงแต่ว่าเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรดนั้นจะเร็วกว่า เนื่องจากการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนพบว่าอุณหภูมิของข้าวหุงสุกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและเข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกับอุณหภูมิของตู้อบลมร้อนที่ใช้ในการลดความชื้น แตกต่างจากการใช้รังสีอินฟราเรดที่เมล็ดมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้น้ำในเนื้อระเหยได้เร็วกว่าการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน(การเปรียบเทียบความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบแห้งด้วยอินฟราเรดและลมร้อน,2553)[10]

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรดทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด

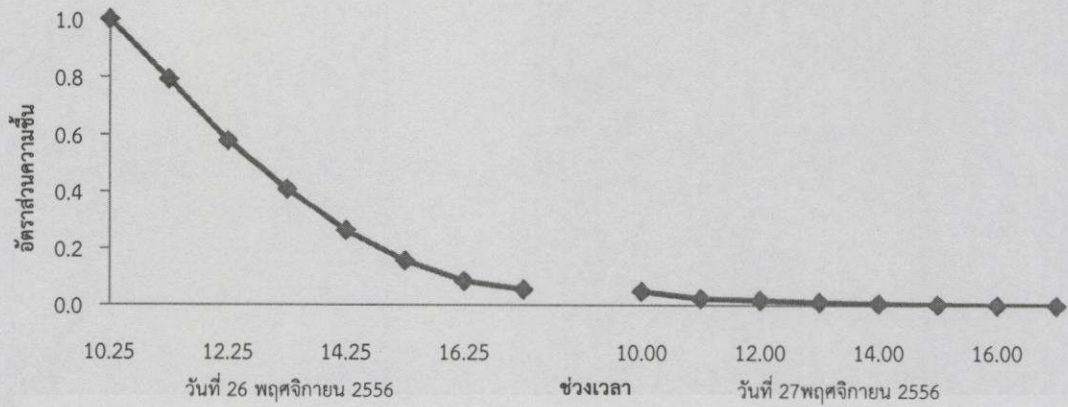
ชื่อ แบบจำลอง	อุณหภูมิ (°C)	ค่าคงที่ต่างๆ	R ²	X ² x 10 ⁻⁴	RMSE
Newton	45	K = 0.0154	0.9959	3.3373	0.0183
	55	K = 0.0269	0.9873	10.9069	0.0330
	65	K = 0.0304	0.9376	52.9668	0.0727
Page	45	K = 0.0118, n = 1.0258	0.9844	14.1544	0.0361
	55	K = 0.0447, n = 0.7990	0.9267	71.3561	0.0817
	65	K = 0.1195, n = 0.6178	0.9221	71.1852	0.0819
Henderson and Pabis	45	K = 0.0136, a = 1.0177	0.9864	12.3309	0.0337
	55	K = 0.0148, a = 0.8469	0.8598	138.1134	0.1136
	65	K = 0.0141, a = 0.6580	0.7365	239.5130	0.1507
Logarithmic	45	K = 0.0124, a = 1.0222, c = -0.0214	0.9784	14.2249	0.0426
	55	K = 0.0277, a = 0.9477, c = 0.0523	0.9849	14.2422	0.0362
	65	K = 0.0458, a = 0.9486, c = 0.0513	0.9950	4.5982	0.0206

จากการศึกษาจลนศาสตร์ของการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยรังสีอินฟราเรดพบว่า แบบจำลองของ Logarithmic นั้น มีความเหมาะสมมากที่สุดในทุกๆอุณหภูมิ เนื่องจากมีค่า R² มากที่สุด ค่า Chi-square น้อยที่สุดและค่า RMSE น้อยที่สุดในทุกๆอุณหภูมิของการลดความชื้น

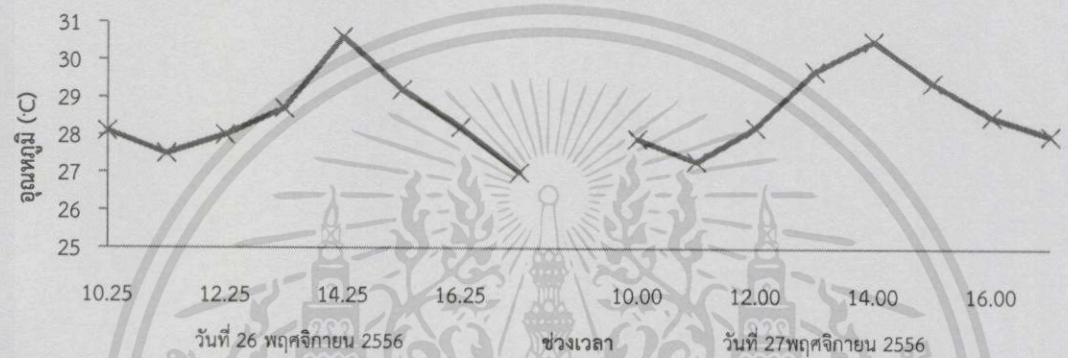
4.1.3 ผลจากการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดลองตากแห้งข้าวหุงสุกด้วยแสงอาทิตย์ในวันที่ 26-27 พฤศจิกายน 2556 ได้ความสัมพัทธ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 สามารถอธิบายได้ดังนี้ รูป(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการลดความชื้นของข้าวหุงสุกด้วยวิธีธรรมชาติซึ่งมีลักษณะของความสัมพัทธ์เป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล โดยมีกลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นในระหว่างการลดความชื้นเหมือนกับการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน แต่เนื่องจากการลดความชื้นในวันที่ 26 พฤศจิกายน 2556 ไม่สามารถลดความชื้นได้ถึงความชื้นที่ 10%db ได้ จึงมีการนำข้าวหุงสุกดังกล่าวไปเก็บไว้ที่โถดูดความชื้น และนำมาลดความชื้นด้วยวิธีการธรรมชาติต่อในวันที่ 27 พฤศจิกายน 2556 โดยจะสังเกตเห็นว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของวันที่ 26 และ วันที่ 27 พฤศจิกายน 2556 นั้น ไม่มีความแตกต่างกัน ดังรูป (ข) และ (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนความชื้น (ข) อุณหภูมิอากาศ และ (ค) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศกับช่วงเวลาในการลดความชื้นตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการลดความชื้นแบบธรรมชาติทำได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการลดความชื้นแบบธรรมชาติ

ชื่อแบบจำลอง	ค่าคงที่ต่างๆ	R^2	$X^2 \times 10^{-4}$	RMSE
Newton	$K = 0.0069$	0.9551	37.9574	0.0616
Page	$K = 0.0012, n = 1.2880$	0.9991	1.0040	0.0096
Henderson and Pabis	$K = 0.0086, a = 1.3720$	0.9211	126.3937	0.1071
Logarithmic	$K = 0.0037, a = 1.0460,$ $c = -0.0457$	0.9296	74.2598	0.0832

จากการศึกษาจลนศาสตร์ของการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยวิธีธรรมชาติพบว่า แบบจำลองของ Page นั้น มีความเหมาะสมมากที่สุดในทุกๆ อุณหภูมิ เนื่องจากมีค่า R^2 มากที่สุด ค่า Chi-square น้อยที่สุดและค่า RMSE น้อยที่สุดในทุกๆ อุณหภูมิของการลดความชื้น

จากการศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งในแต่ละวิธีการลดความชื้นพบว่าในแต่ละวิธีการลดความชื้นนั้นมีแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นดังนี้ สำหรับการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนและรังสีอินฟราเรดมีแบบจำลองที่เหมาะสมคือ แบบจำลองการอบแห้งของ Logarithmic ส่วนการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาตินั้น แบบจำลองที่เหมาะสมคือ แบบจำลองการอบแห้งของ Page ซึ่งจากความสัมพันธ์ของการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ นั้น สามารถนำเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นไปคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้น และค่าพลังงานสัมพัทธ์ได้ ในหัวข้อต่อไป

4.2 ผลจากการการศึกษาพลังงานสัมพัทธ์ในแต่ละวิธีการลดความชื้น

จากการศึกษาค่าพลังงานสัมพัทธ์ในการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ โดยการศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้น ค่าพลังงานที่ได้จากข้าวหุงสุก และค่าพลังงานสัมพัทธ์ที่ได้จากข้าวหุงสุกนั้นมีรายละเอียดของการศึกษาดังต่อไปนี้

4.2.1 การศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ

(1) ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยตู้อบลมร้อน และนำเวลาดังกล่าวมาคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเหลือ 10%db ได้ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกโดยใช้ตู้อบลมร้อนจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเหลือ 10%db

อุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้น ($^{\circ}\text{C}$)	เวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (นาที)	พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้น (kJ/g)
70	244.26	177.97
80	141.84	142.91
90	106.38	137.94
100	78.06	136.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าที่อุณหภูมิ 100 °C มีค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากมีเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นน้อยที่สุด และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นมากที่สุด เนื่องจากใช้เวลาในการลดความชื้นมากที่สุดเช่นกัน

(2) ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยรังสีอินฟราเรด และนำเวลาดังกล่าวมาคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเหลือ 10%db ได้ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกโดยใช้รังสีอินฟราเรดจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเหลือ 10%db

อุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้น (°C)	เวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (นาที)	พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้น (KJ/g)
45	150.00	116.82
55	74.81	130.62
65	55.00	182.53

จากการศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าที่อุณหภูมิ 45 °C มีค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นน้อยที่สุด แม้ว่าเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นมากที่สุด แต่เวลาที่ใช้ไฟฟ้าจริงๆของรังสีอินฟราเรดนั้นน้อยที่สุด และที่อุณหภูมิ 65 °C มีค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นมากที่สุด เนื่องจากใช้เวลาใช้ไฟฟ้าจริงๆนั้นมากที่สุดแม้ว่าเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นจะน้อยที่สุดเช่นกัน

จากการศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุก พบว่าสำหรับการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนพบว่า ที่อุณหภูมิ 100 °C ใช้พลังงานในการลดความชื้นน้อยที่สุด ที่การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรดพบว่า ที่อุณหภูมิ 45°C ใช้พลังงานในการลดความชื้นน้อยที่สุด การลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติไม่มีพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุก เนื่องจากเราไม่เสียต้นทุนในการลดความชื้นจากวิธีการนี้ จากนั้นนำค่าพลังงานที่ได้ดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณหาพลังงานสัมพัทธ์ของแต่ละวิธีการลดความชื้นต่อไป

4.2.2 การศึกษาค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ

จากการวัดค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน รังสีอินฟราเรด และวิธีธรรมชาติ ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ทำให้ได้ค่าพลังงานที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ

ชนิดวัสดุ	วิธีการลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	ค่าพลังงานเฉลี่ย(J/g _{dry})
ข้าวหุงสุก	ตู้อบลมร้อน	70	18796.67
		80	18803.74
		90	18686.89
		100	18526.89
	รังสีอินฟราเรด	45	18126.51
		55	18194.81
		65	18478.28
	ธรรมชาติ	-	17995.13
เศษอาหาร	ตู้อบลมร้อน	90	18687.27
	ธรรมชาติ	-	17751.37
ชีวมวลทั่วไป	ถ่านไม้	-	30439.50
	ถ่านอัดแท่ง	-	28028.26

จากการศึกษาค่าพลังงานที่ได้รับพบว่าที่การลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าวิธีการที่ได้รับค่าพลังงานมากที่สุดคือ การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C และเมื่อสุ่มตัวอย่างเศษอาหาร นำมาลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C และวิธีธรรมชาติพบว่าได้ค่าพลังงานที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่ 90°C และวิธีธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า พลังงานจากข้าวหุงสุกและจากเศษอาหารนั้นมีความใกล้เคียงกัน

และเมื่อนำชีวมวลทั่วไปมาทดสอบเพื่อวัดค่าพลังงานที่ได้รับพบว่า ชีวมวลที่มาจากถ่านไม้นั้นให้ค่าพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ได้จากถ่านไม้ และข้าวหุงสุก จากนั้นนำค่าพลังงานที่ได้รับดังกล่าวมาคำนวณหาพลังงานสัมพัทธ์ต่อไป

4.2.3 การศึกษาพลังงานสัมพัทธ์ของการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ

ค่าพลังงานสัมพัทธ์นั้นสามารถคำนวณได้จากการนำค่าพลังงานเฉลี่ยที่ได้รับจากการวัดด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter และค่าพลังงานที่ใช้ในการอบ มาหาสัดส่วนปริมาณพลังงานที่ได้รับต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ โดยที่พลังงานสัมพัทธ์ของการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติจะมีค่ามากกว่า 1 เพราะไม่มีต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ

ชนิดวัสดุ	วิธีการลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	พลังงานสัมพัทธ์
ข้าวหุงสุก	ตู้อบลมร้อน	70	0.11
		80	0.13
		90	0.14
		100	0.14
	รังสีอินฟราเรด	45	0.16
		55	0.14
		65	0.10
	ธรรมชาติ	-	มากกว่า 1
เศษอาหาร	ตู้อบลมร้อน	90	0.14
	ธรรมชาติ	-	มากกว่า 1

จากการศึกษาค่าพลังงานสัมพัทธ์พบว่าที่การลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าวิธีการที่ได้รับค่าพลังงานสัมพัทธ์มากที่สุดคือ การลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ เนื่องจากเราไม่เสียดันทุนพลังงาน รองลงมาคือการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรดที่ 45°C สำหรับวิธีการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนนั้น อุณหภูมิที่ได้รับค่าพลังงานสัมพัทธ์มากที่สุดคือ ที่ 90 และ 100 °C ซึ่งมีค่าพลังงานสัมพัทธ์เท่ากัน

4.2.4 การศึกษาปริมาณเถ้าของชีวมวลทั้ง 12 ตัวอย่าง

นอกจากการศึกษาค่าพลังงานต่างๆของวัสดุชีวมวลแล้ว การศึกษาปริมาณเถ้าเพื่อเปรียบเทียบปริมาณมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุชีวมวลแบบต่างๆก็เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการศึกษาการผลิตวัสดุชีวมวล ซึ่งผลจากการศึกษาปริมาณเถ้าของวัสดุชีวมวลจะแสดงดังตารางที่ 4.8

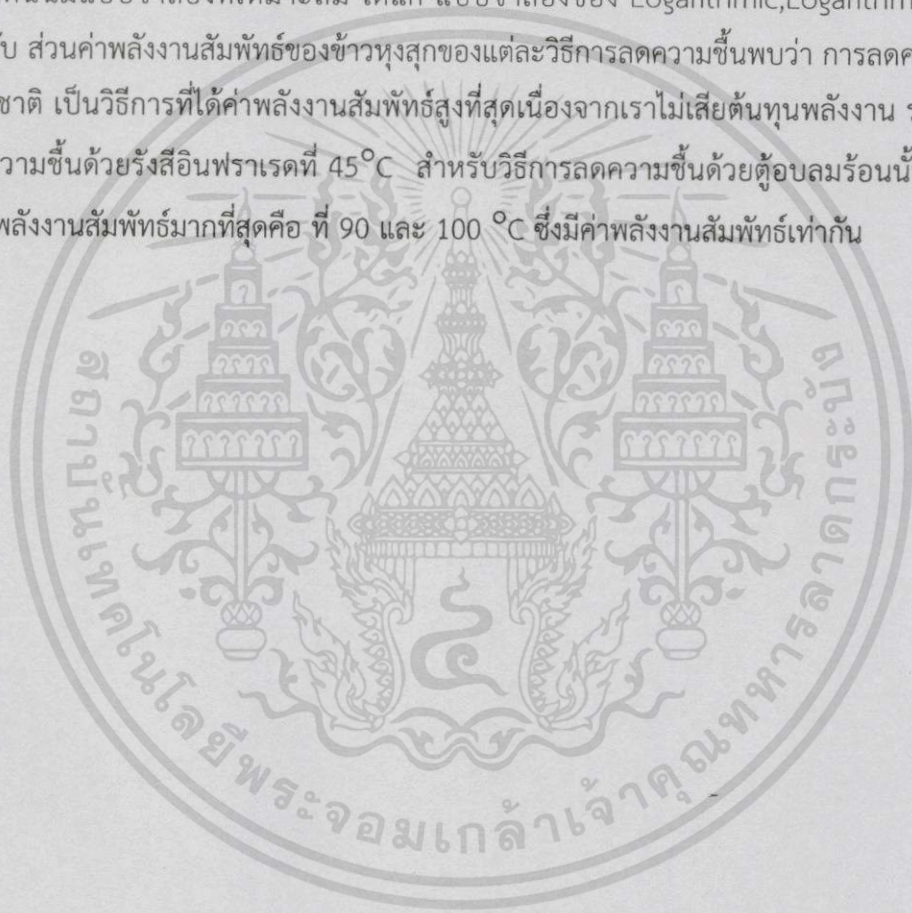
ตารางที่ 4.8 ค่าปริมาณเถ้าของชีวมวลทั้ง 12 ตัวอย่าง

ชนิดวัสดุ	วิธีการลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณเถ้า (%)
ข้าวหุงสุก	ตู้อบลมร้อน	70	1.37
		80	1.27
		90	1.12
		100	1.21
	รังสีอินฟราเรด	45	0.19
		55	0.15
		65	0.19
	ธรรมชาติ	-	0.67
เศษอาหาร	ตู้อบลมร้อน	90	0.68
	ธรรมชาติ	-	0.62
ชีวมวลทั่วไป	ถ่านไม้	-	2.03
	ถ่านอัดแท่ง	-	8.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาปริมาณเถ้าของซีมวลทั้ง 12 ตัวอย่างพบว่า ซีมวลทั่วไปทั้งถ่านไม้และถ่านอัดแท่ง มีปริมาณเถ้ามากที่สุดเมื่อเทียบกับซีมวลจากเศษอาหารที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ ปริมาณเถ้าของข้าวหุงสุกที่ลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนและปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุดคือปริมาณเถ้าของข้าวหุงสุกที่ลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด จะเห็นได้ว่าซีมวลจากเศษอาหารนั้นมีปริมาณมลพิษที่ปล่อยต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าซีมวลทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาด

จากการศึกษาวิธีการลดความชื้นเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุซีมวล ได้แบ่งผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาจลนศาสตร์ของการอบแห้ง และการศึกษาค่าพลังงานสัมพัทธ์พบว่า จลนศาสตร์ของการอบแห้งข้าวหุงสุกด้วยวิธีการลดความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน รังสีอินฟราเรด และวิธีธรรมชาติ นั้นมีแบบจำลองที่เหมาะสม ได้แก่ แบบจำลองของ Logarithmic, Logarithmic และ Page ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานสัมพัทธ์ของข้าวหุงสุกของแต่ละวิธีการลดความชื้นพบว่า การลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ เป็นวิธีการที่ได้ค่าพลังงานสัมพัทธ์สูงที่สุดเนื่องจากเราไม่เสียต้นทุนพลังงาน รองลงมาคือ การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรดที่ 45°C สำหรับวิธีการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนนั้นอุณหภูมิที่ได้รับค่าพลังงานสัมพัทธ์มากที่สุดคือ ที่ 90 และ 100°C ซึ่งมีค่าพลังงานสัมพัทธ์เท่ากัน



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาวิธีการลดความชื้นเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวล สามารถแบ่งผลการศึกษาได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้ คือ การศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งของข้างหุงสุกด้วยวิธีการต่างๆ การหาค่าพลังงานสัมพัทธ์ของข้างหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อนำไปสู่การเลือกใช้วิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตวัสดุชีวมวล และข้อเสนอแนะสำหรับการนำการศึกษาลดความชื้นเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวลเพื่อนำไปพัฒนาเพื่อให้การศึกษานี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5.1 ศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งแบบต่างๆของเศษอาหารเพื่อใช้ผลิตวัสดุชีวมวล

จากการศึกษาจลนศาสตร์ของการอบแห้งของวิธีการลดความชื้นแบบต่างๆ ด้วยการนำข้าวสารพันธุ์เสาไห้มาหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1 โดยปริมาตร จากนั้นได้นำข้างหุงสุกดังกล่าวมาเก็บรักษาความชื้นด้วยการเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ -13.5°C ทันททีเป็นเวลา 2 วัน ก่อนจะนำข้างหุงสุกดังกล่าวมาลดความชื้น 3 วิธี ได้แก่ การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด และการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 จลนศาสตร์การอบแห้งของการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

ในการลดความชื้นข้างหุงสุกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90, และ 100°C โดยมีการวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งของ Logarithmic มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9970-0.9985 ค่า χ^2 มีค่าระหว่าง 1.2194×10^{-4} - 2.6241×10^{-4} , ค่า RMSE มีค่าระหว่าง 0.0106-0.0155 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งแบบอื่นในทุกอุณหภูมิ

5.1.2 จลนศาสตร์การอบแห้งของการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด

การลดความชื้นข้างหุงสุกด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 45, 55, และ 65°C โดยมีการวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งของ Logarithmic มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9784-0.9950 ค่า χ^2 มีค่าระหว่าง 4.5982×10^{-4} - 14.2249×10^{-4} , ค่า RMSE มีค่าระหว่าง 0.0026-0.0426 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งแบบอื่นในทุกอุณหภูมิ

5.1.3 จลนศาสตร์การอบแห้งของการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ

การลดความชื้นข้างหุงสุกแบบธรรมชาติ ได้มีการวัดค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเป็นเวลา 2 วัน พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งของ Page มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9991 ค่า χ^2 มีค่าเท่ากับ 1.0040×10^{-4} , ค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.0096 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งแบบอื่น

5.2 ค่าพลังงานสัมพัทธ์ของข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ

จากการเปรียบเทียบค่าพลังงานสัมพัทธ์ระหว่างพลังงานที่ได้รับจากวัสดุชีวมวลกับพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้น โดยการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดความชื้น จากกระแสไฟฟ้า และ เวลาที่ใช้ไฟฟ้าของการลดความชื้นแต่ละวิธีการ ได้แก่ การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน และการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด และการหาค่าพลังงานที่ได้รับจากการใช้เครื่อง Bomb Calorimeter ในการหาค่าพลังงาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

จากการทดลองลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยตู้อบลมร้อนพบว่า เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกจนกระทั่งความชื้นเหลืออยู่ 10%db ของแต่ละอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ ได้แก่ 70, 80, 90 และ 100°C คือ 244.26, 141.84, 106.38 และ 78.06 นาทีตามลำดับ ซึ่งจากเวลาที่ได้นั้น สามารถนำไปคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการลดความชื้นของแต่ละอุณหภูมิได้ดังนี้ 177.97, 142.91, 137.94 และ 136.67 KJ/g_{dry basis} ตามลำดับและเมื่อนำข้าวหุงสุกมาทดสอบค่าพลังงานด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter พบว่าค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นของแต่ละอุณหภูมิได้ดังนี้ 18796.67, 18803.74, 18686.89 และ 18526.89 J/g_{dry basis} ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำค่าพลังงานดังกล่าวมาคำนวณหาค่าพลังงานสัมพัทธ์ของการลดความชื้นแต่ละอุณหภูมิได้ดังนี้ 0.11, 0.13, 0.14 และ 0.14 ตามลำดับ

5.2.2 การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด

จากการทดลองลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยรังสีอินฟราเรดพบว่า เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกจนกระทั่งความชื้นเหลืออยู่ 10%db ของแต่ละอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ ได้แก่ 45, 55 และ 65°C คือ 150.00, 74.81 และ 55.00 นาทีตามลำดับ ซึ่งจากเวลาที่ได้นั้น สามารถนำไปคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการลดความชื้นของแต่ละอุณหภูมิได้ดังนี้ 116.82, 130.62 และ 182.53 KJ/g_{dry basis} ตามลำดับและเมื่อนำข้าวหุงสุกมาทดสอบค่าพลังงานด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter พบว่าค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นของแต่ละอุณหภูมิได้ดังนี้ 18126.51, 18194.81 และ 18478.28 J/g_{dry basis} ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำค่าพลังงานดังกล่าวมาคำนวณหาค่าพลังงานสัมพัทธ์ของการลดความชื้นแต่ละอุณหภูมิได้ดังนี้ 0.16, 0.14 และ 0.10 ตามลำดับ

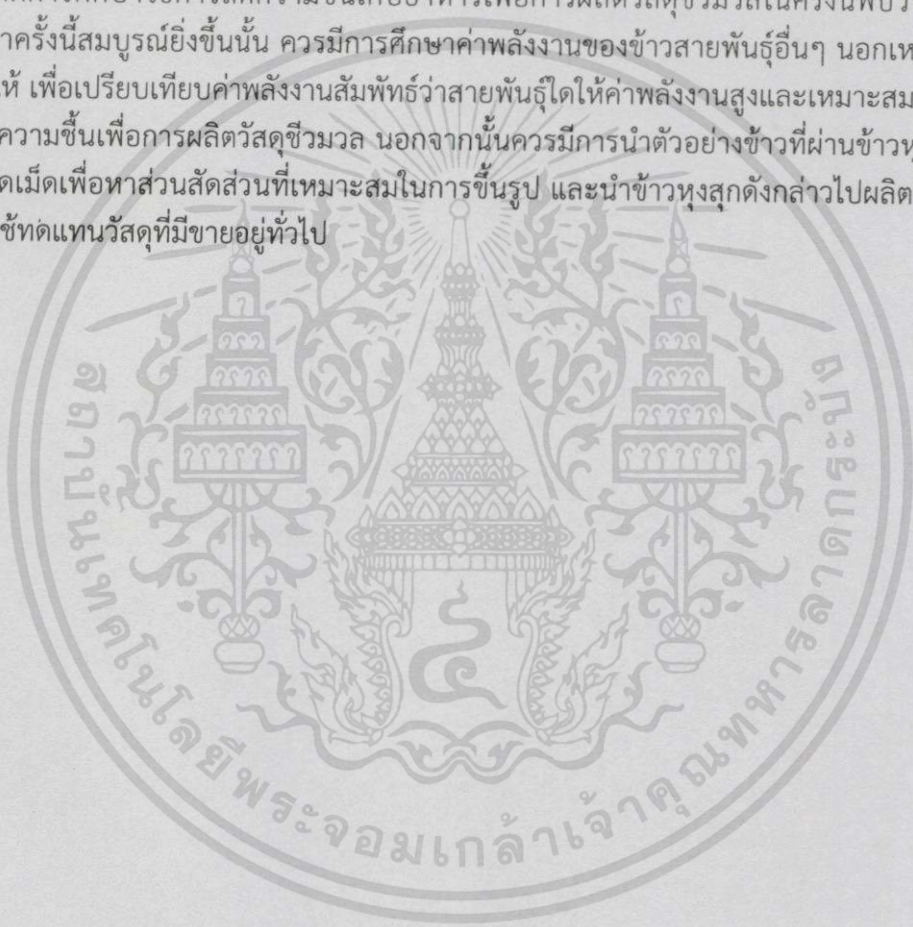
5.2.3 การลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ

จากการทดลองลดความชื้นข้าวหุงสุกด้วยวิธีธรรมชาติพบว่า เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวหุงสุกจนกระทั่งความชื้นเหลืออยู่ 10%db ของที่สภาวะอากาศนั้นๆ ใช้เวลาประมาณ 2 วัน และเมื่อนำข้าวหุงสุกมาทดสอบค่าพลังงานด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter พบว่าค่าพลังงานที่ได้รับจากข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นได้ดังนี้ 17995.13 J/g_{dry basis} ซึ่งได้ค่าพลังงานสัมพัทธ์มากกว่า 1 เนื่องจากไม่มีต้นทุนด้านพลังงานความร้อนในการลดความชื้น

ซึ่งจากการวัดค่าพลังงานของแต่ละวิธีการลดความชื้น ได้แก่ ตู้อบลมร้อน รังสีอินฟราเรด และวิธีธรรมชาติ พบว่าการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ เป็นวิธีการที่ได้ค่าพลังงานสัมพัทธ์สูงที่สุดเนื่องจากเราไม่เสียต้นทุนพลังงาน แต่วิธีการนี้ต้องใช้เวลาในการลดความชื้นถึง 2 วันด้วยกัน ส่วนวิธีการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรดที่ $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ นั้นให้ค่าพลังงานสัมพัทธ์สูงที่สุดรองลงมาจากวิธีธรรมชาติแต่การใช้เวลาในการลดความชื้นนั้นใช้เพียง 150 นาที ซึ่งเหมาะสมที่สุดสำหรับการลดความชื้นด้วยอุปกรณ์

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิธีการลดความชื้นเศษอาหารเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวลในครั้งนี้พบว่า การทำให้การศึกษาครั้งนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นนั้น ควรมีการศึกษาค่าพลังงานของข้าวสาลีพันธุ์อื่นๆ นอกเหนือจากข้าวพันธุ์เส้าไห้ เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานสัมพัทธ์ว่าสายพันธุ์ใดให้ค่าพลังงานสูงและเหมาะสมสำหรับการนำมาลดความชื้นเพื่อการผลิตวัสดุชีวมวล นอกจากนั้นควรมีการนำตัวอย่างข้าวที่ผ่านข้าวหุงสุกที่ได้ไปทดลองอัดเม็ดเพื่อหาส่วนสัดส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูป และนำข้าวหุงสุกดังกล่าวไปผลิตเป็นวัสดุชีวมวลเพื่อใช้ทดแทนวัสดุที่มีขายอยู่ทั่วไป





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 แสดงน้ำหนักที่ของข้าวหุงสุกคงเหลือหลังจากการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

เวลา(ชั่วโมง)	อุณหภูมิ(°C)			
	70	80	90	100
	น้ำหนักคงเหลือ (กรัม)			
0.0	21.79	21.82	21.80	21.82
0.5	18.60	17.64	16.80	15.16
1.0	16.39	14.80	14.12	12.74
1.5	14.68	13.45	12.45	11.98
2.0	13.59	12.68	12.11	11.76
2.5	12.93	12.37	11.95	11.65
3.0	12.62	12.03	11.83	11.56
3.5	12.44	11.87	11.71	11.49
4.0	12.28	11.82	11.60	11.44
4.5	12.14	11.69	11.53	11.40
5.0	12.01	11.60	11.47	11.39
5.5	11.89	11.57	11.44	11.38
6.0	11.75	11.55	11.42	11.37
น้ำหนักแห้ง	11.14	11.16	11.15	11.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 แสดงค่าความชื้นของข้างหุงสุกที่คงเหลือหลังจากผ่านการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

เวลา(ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)			
	70	80	90	100
	ความชื้นฐานแห้ง (% _{db})			
0.0	95.52	95.52	95.52	95.52
0.5	66.90	58.06	50.67	35.84
1.0	47.07	32.61	26.64	14.16
1.5	31.72	20.52	11.66	7.35
2.0	21.94	13.62	8.61	5.37
2.5	16.02	10.84	7.17	4.39
3.0	13.24	7.79	6.10	3.58
3.5	11.62	6.36	5.02	2.95
4.0	10.19	5.91	4.04	2.51
4.5	8.93	4.75	3.41	2.15
5.0	7.77	3.94	2.87	2.06
5.5	6.69	3.67	2.60	1.97
6.0	5.43	3.49	2.42	1.88
ความชื้นสมดุล	4.40	2.58	2.15	1.79

ตัวอย่างการคำนวณความชื้นฐานแห้ง

$$\begin{aligned}
 \text{ความชื้นฐานแห้ง} &= \frac{\text{น้ำหนักเปียก}(g) - \text{น้ำหนักแห้ง}(g)}{\text{น้ำหนักแห้ง}(g)} \times 100 \\
 &= \frac{21.79 - 11.15}{11.15} \times 100 \\
 &= 95.52 \%_{db}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าอัตราส่วนความชื้นของข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

เวลา(ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)			
	70	80	90	100
	อัตราส่วนความชื้น			
0.00	1.000	1.000	1.000	1.000
0.30	0.686	0.597	0.520	0.363
1.00	0.468	0.323	0.262	0.132
1.30	0.300	0.193	0.102	0.059
2.00	0.193	0.119	0.069	0.038
2.30	0.128	0.089	0.054	0.028
3.00	0.097	0.056	0.042	0.019
3.30	0.079	0.041	0.031	0.012
4.00	0.064	0.036	0.020	0.008
4.30	0.050	0.023	0.013	0.004
5.00	0.037	0.015	0.008	0.003
5.30	0.025	0.012	0.005	0.002
6.00	0.011	0.010	0.003	0.001

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนความชื้น

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราส่วนความชื้น} &= \frac{\text{ความชื้นที่เวลาใดๆ} - \text{ความชื้นสมดุล}}{\text{ความชื้นเริ่มต้น} - \text{ความชื้นสมดุล}} \\
 &= \frac{66.90 - 4.40}{95.50 - 4.40} \times 100 \\
 &= 0.686
 \end{aligned}$$

ตาราง ก.4 แสดงน้ำหนักที่ของข้าวหุงสุกคงเหลือหลังจากการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด

เวลา(นาที)	อุณหภูมิ (°C)		
	45	55	65
	น้ำหนักคงเหลือ (กรัม)		
0	21.80	21.90	21.82
15	19.96	18.46	16.80
30	18.28	15.75	13.75
45	16.65	13.90	12.47
60	15.58	13.00	12.09
75	14.56	12.40	11.93
90	13.81	12.15	11.85
105	13.22	12.06	11.80
120	12.79	11.97	11.77
135	12.43	11.91	11.74
150	12.25	11.88	11.73
165	12.14	11.85	11.72
180	12.09	11.83	11.71
น้ำหนักแห้ง	11.15	11.20	11.16

ตาราง ก.5 แสดงค่าความชื้นของข้างหุงสุกที่คงเหลือหลังจากผ่านการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด

เวลา(นาที)	อุณหภูมิ (°C)		
	45	55	65
	ความชื้นฐานแห้ง (% _{db})		
0	95.52	95.52	95.52
15	79.01	64.80	50.53
30	63.95	40.61	23.21
45	49.33	24.09	11.74
60	39.73	16.06	8.33
75	30.58	10.70	6.90
90	23.86	8.47	6.18
105	18.57	7.67	5.73
120	14.71	6.86	5.46
135	11.48	6.33	5.19
150	9.87	6.06	5.11
165	8.88	5.79	5.02
180	8.43	5.61	4.93
ความชื้นสมดุล	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 แสดงค่าอัตราส่วนความชื้นของข้าวหุงสุกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด

เวลา(นาที)	อุณหภูมิ (°C)		
	45	55	65
	อัตราส่วนความชื้น		
0	1.000	1.000	1.000
15	0.827	0.678	0.529
30	0.669	0.425	0.243
45	0.516	0.252	0.123
60	0.416	0.168	0.087
75	0.320	0.112	0.072
90	0.250	0.089	0.065
105	0.194	0.080	0.060
120	0.154	0.072	0.057
135	0.120	0.066	0.054
150	0.103	0.063	0.053
165	0.093	0.061	0.053
180	0.088	0.059	0.052

ตาราง ก.7 แสดง อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ ณ ช่วงเวลาที่ลดความชื้น และน้ำหนักของข้าวหุงสุกที่คงเหลือหลังจากการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ

ช่วงเวลา	อุณหภูมิ (°C)	Humidity (%)	น้ำหนักคงเหลือ (g)
วันที่ 26 พฤศจิกายน 2556			
10:25	28.10	88	21.80
11:25	27.50	83	19.84
12:25	28.00	77	17.83
13:25	28.70	87	16.23
14:25	30.60	69	14.87
15:25	29.20	66	13.86
16:25	28.20	72	13.18
17:25	27.00	74	12.90
วันที่ 27 พฤศจิกายน 2556			
10:00	27.90	86	12.84
11:00	27.30	84	12.61
12:00	28.20	75	12.55
13:00	29.70	87	12.49
14:00	30.50	72	12.45
ช่วงเวลา	อุณหภูมิ (°C)	Humidity (%)	น้ำหนักคงเหลือ (g)
15:00	29.40	67	12.42
16:00	28.50	73	12.40
17:00	28.00	78	12.39
		น้ำหนักแห้ง	11.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8 แสดงค่าความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของข้างหุงสุกที่คงเหลือหลังจากผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ

ช่วงเวลา	ความชื้นฐานแห้ง (% _{db})	อัตราส่วนความชื้น
วันที่ 26 พฤศจิกายน 2556		
10.25	95.52	1.000
11.25	77.94	0.792
12.25	59.91	0.578
13.25	45.56	0.408
14.25	33.36	0.264
15.25	24.30	0.156
16.25	18.21	0.084
17.25	15.70	0.054
วันที่ 27 พฤศจิกายน 2556		
10.00	15.16	-
11.00	13.09	0.023
12.00	12.56	0.017
13.00	12.02	0.011
14.00	11.66	0.006
15.00	11.39	0.003
16.00	11.21	0.001
17.00	11.12	0.000
ความชื้นสมดุล	11.12	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 แสดงค่าพลังงานที่ได้จากวัสดุชีวมวลด้วยเครื่อง Bomb Carorimeter

วิธีการลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	ค่าพลังงานที่ได้รับ (J/gdry)		
		จำนวนซ้ำ		
		1	2	3
ข้าวหุงสุก				
ตู้อบลมร้อน	70	18922.22	18848.89	18618.89
	80	18925.84	18784.27	18701.12
	90	18879.78	18619.1	18561.80
	100	18547.73	18382.95	18650.00
รังสีอินฟราเรด	45	17968.18	18125.00	18286.36
	55	18010.00	18201.11	18373.33
	65	18400.00	18515.73	18519.10
วิธีธรรมชาติ	-	18047.19	17947.19	17991.01
เศษอาหาร				
ตู้อบลมร้อน	90	18687.64	18787.64	18586.52
วิธีธรรมชาติ	-	17725.88	17767.06	17761.18
ชีวมวลทั่วไป				
ถ่านไม้	-	32072.83	31397.83	28847.83
ถ่านอัดแท่ง	-	27869.57	28257.61	27957.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าปริมาณเถ้าจากการเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูง

วิธีการลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณเถ้า (g/gdry)		
		จำนวนซ้ำ		
		1	2	3
ข้าวหุงสุก				
ตู้อบลมร้อน	70	0.012	0.012	0.017
	80	0.010	0.016	0.012
	90	0.008	0.013	0.012
	100	0.100	0.018	0.008
รังสีอินฟราเรด	45	0.002	0.001	0.002
	55	0.002	0.001	0.001
	65	0.001	0.001	0.003
วิธีธรรมชาติ	-	0.008	0.006	0.007
เศษอาหาร				
ตู้อบลมร้อน	90	0.004	0.006	0.010
วิธีธรรมชาติ	-	0.008	0.005	0.006
ชีวมวลทั่วไป				
ถ่านไม้	-	0.015	0.023	0.023
ถ่านอัดแท่ง	-	0.111	0.063	0.096



ภาคผนวก ค.
วิธีการใช้เครื่อง Bomb Calorimeter

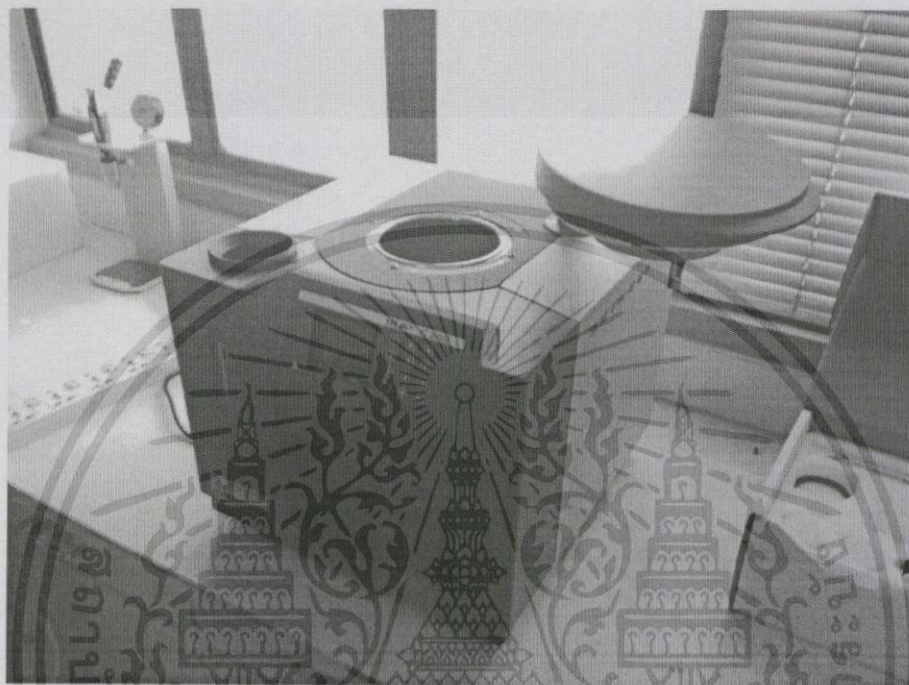
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

การวัดค่าความร้อนของวัสดุด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter system c200

1. ทำการคาลิเบรทด้วย

- เปิดเครื่อง เปิดฝา Bomb Calorimeter system c200

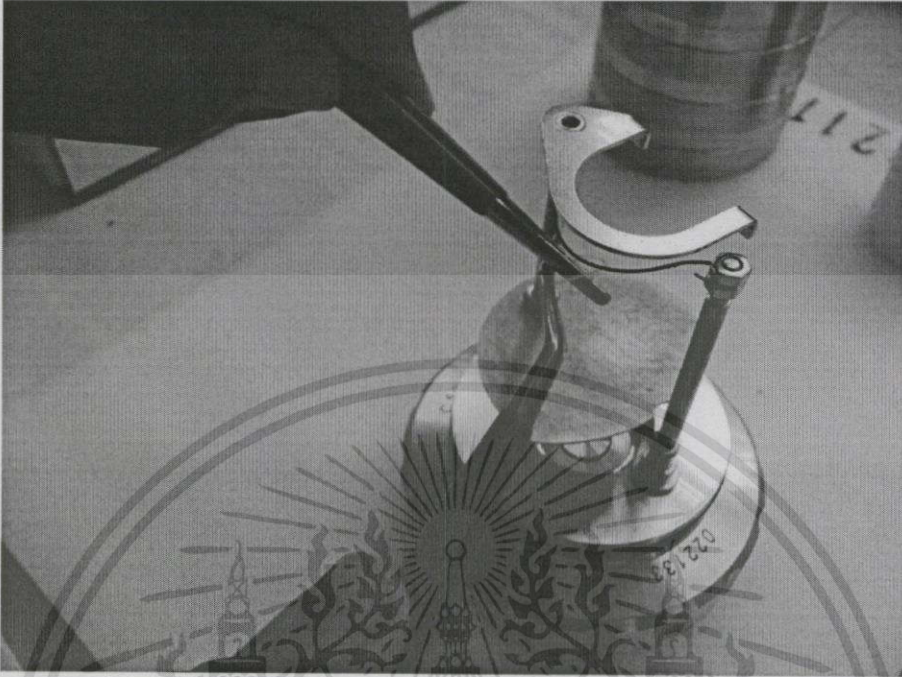


- เตรียมชุดแชมเบอร์ ของ Bomb Calorimeter system c200

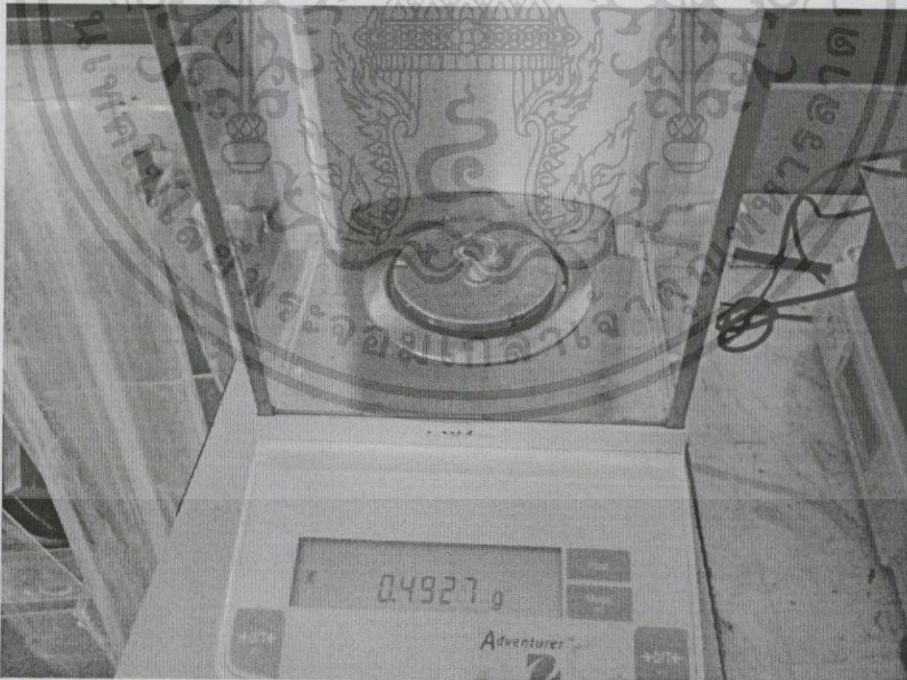


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำชนวนผูกกับลวดจุดชนวน(เพื่อเป็นตัวจุดชนวนในการเผาไหม้ชีวมวล)

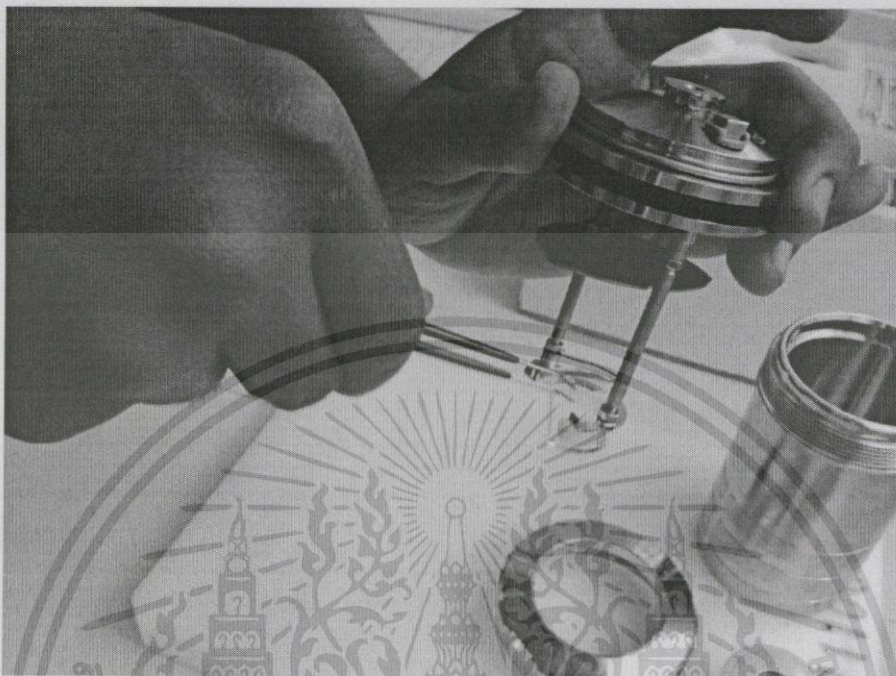


- ทำการชั่งน้ำหนักเม็ดคาลิเบรท ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า

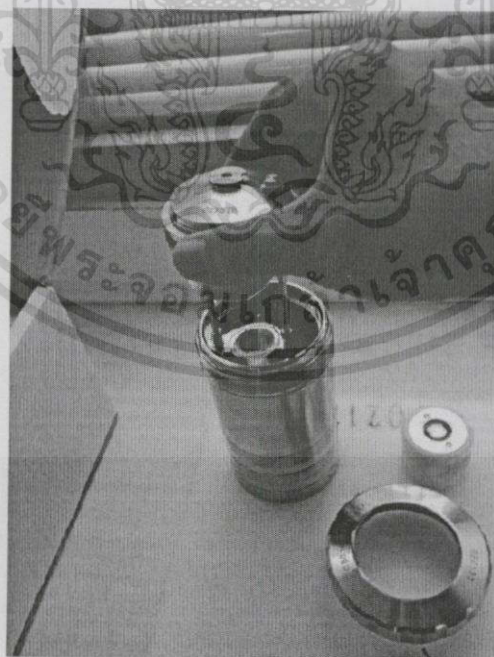


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำเม็ดคาลิเบรท ใส่ลงในถ้วยของชุดแชมเบอร์ ของ Bomb Calorimeter system c200 โดยวางให้ทับเชือกจุดชนวน

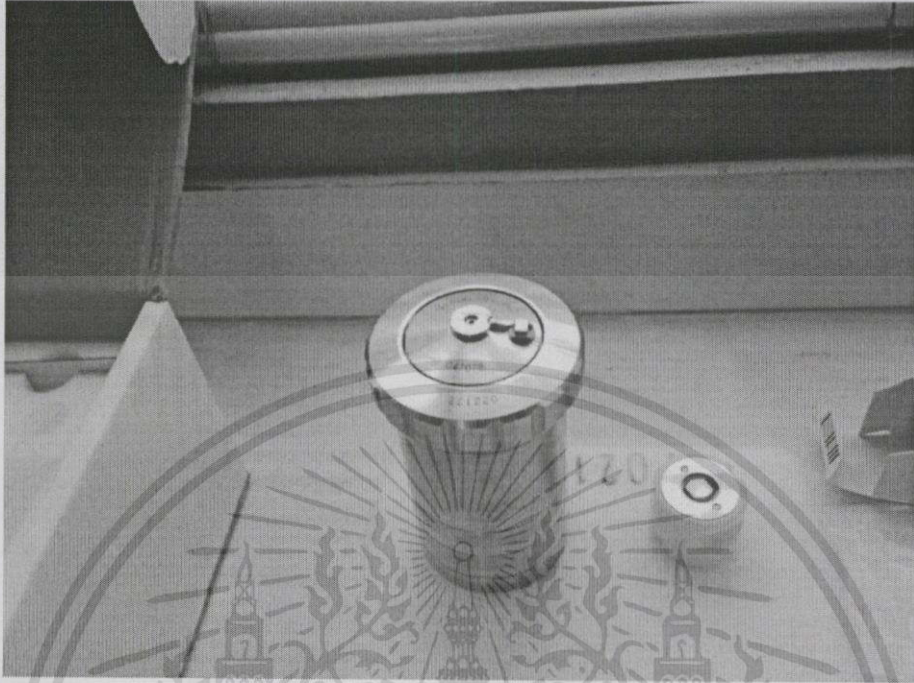


- นำเม็ดคาลิเบรท ใส่แชมเบอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปิดฝาแชมเบอร์ให้เรียบร้อย

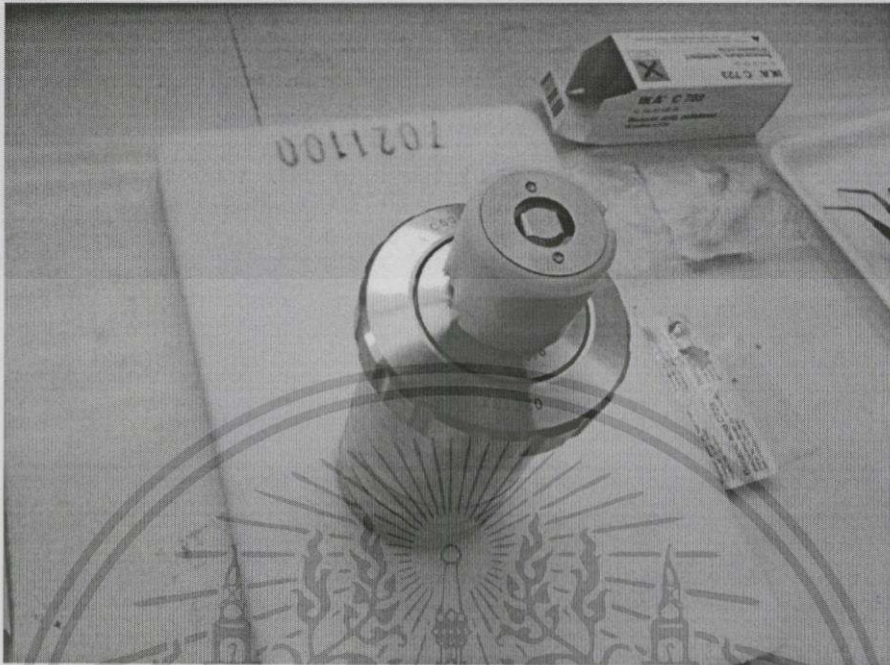


- นำแชมเบอร์ไปอัดแก๊ส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปิดฝาจุดชนวน



- นำแชมเบอร์เข้าเครื่อง Bomb Calorimeter system c200

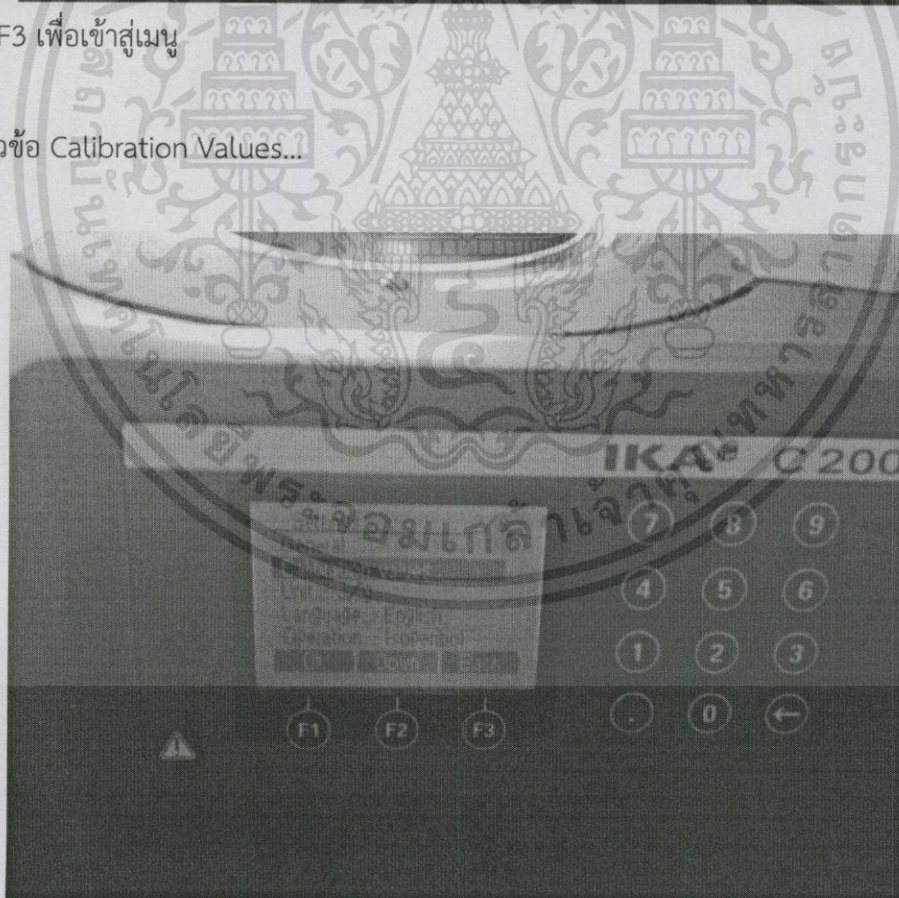


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำหนดค่าการคาลิเบรท ก่อนปิดฝาเครื่อง Bomb Calorimeter system c200



- กดปุ่ม F3 เพื่อเข้าสู่เมนู
- เลือกหัวข้อ Calibration Values...

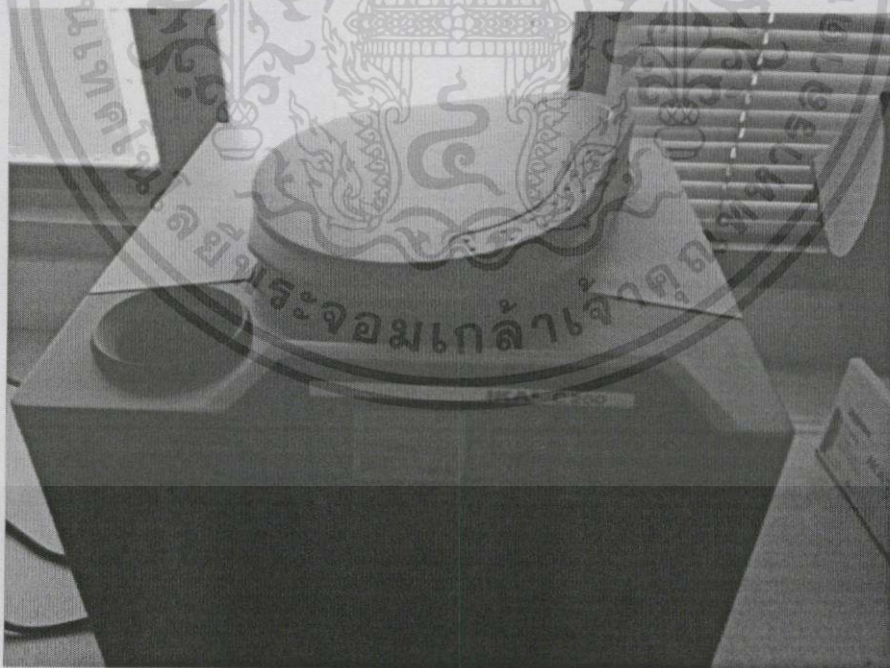


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำหนดค่า Vessel เป็นเลข 1 (ในกรณีด้วยหมายเลขอื่นๆให้ใส่หมายเลขนั้นเช่น 2,3,4)



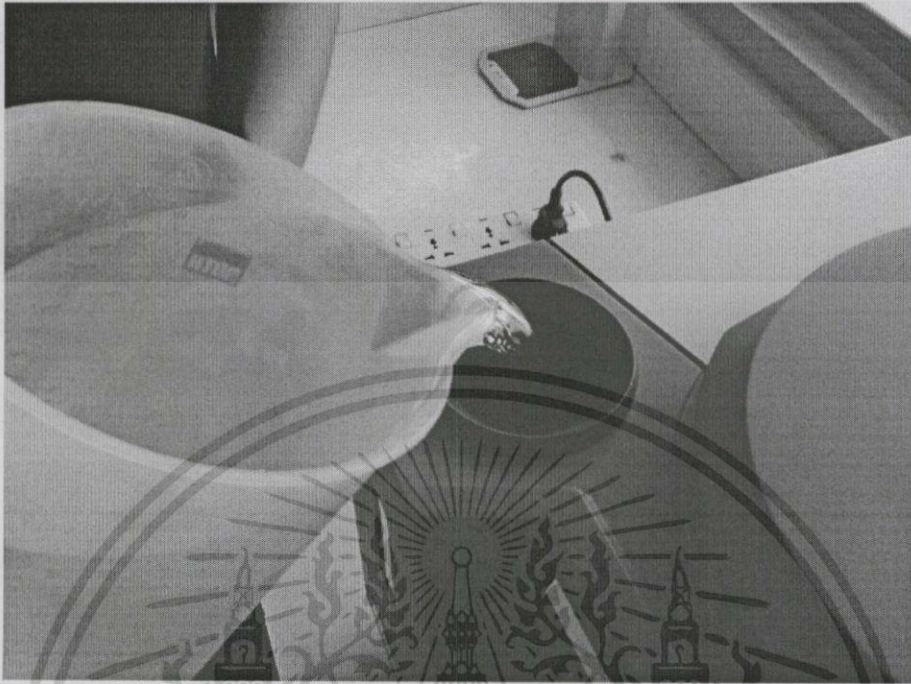
- ปิดฝาเครื่อง Bomb Calorimeter system c200



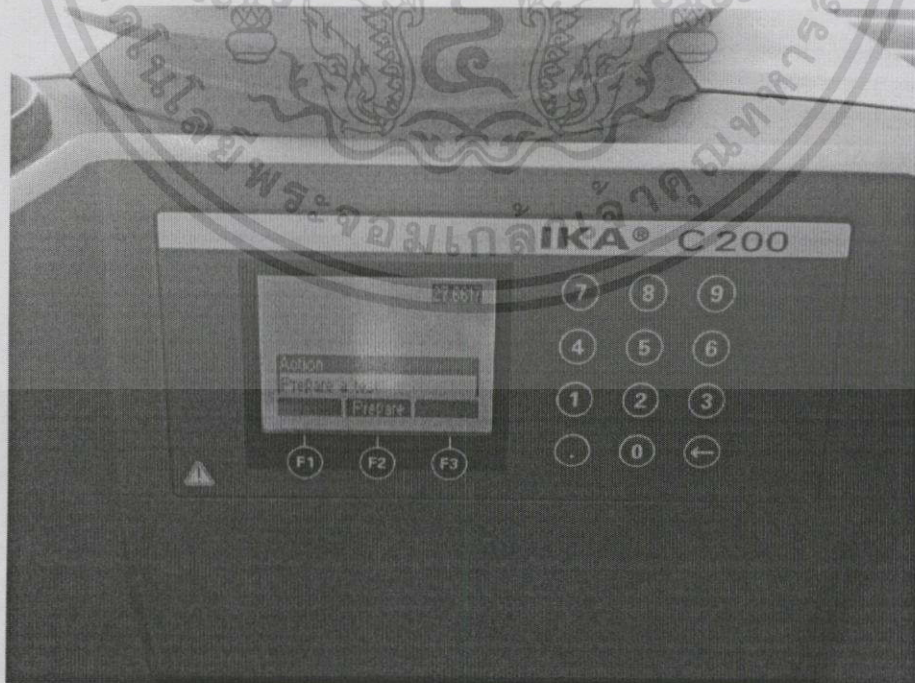
-หลังจากนั้นเครื่องจะเริ่มรันและบอกให้เติมน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำน้ำที่ได้มีการเติมน้ำคาลิเบรท ลงไปและได้รับการรักษาอุณหภูมิไว้ที่ $22^{\circ}\text{C} (+- 3)$



- กำหนดค่าการคาลิเบรท หลังปิดฝาเครื่อง Bomb Calorimeter system c200
- กด F2 เพื่อเริ่มการตั้งค่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใส่ค่าน้ำหนักของวัสดุที่จะเผาไหม้ก็คือ เม็ดคาลิเบรท ซึ่งเราได้ชั่งไว้ก่อนหน้านี้แล้ว เม็ดละประมาณ 0.4927 g ลงในช่อง Weight



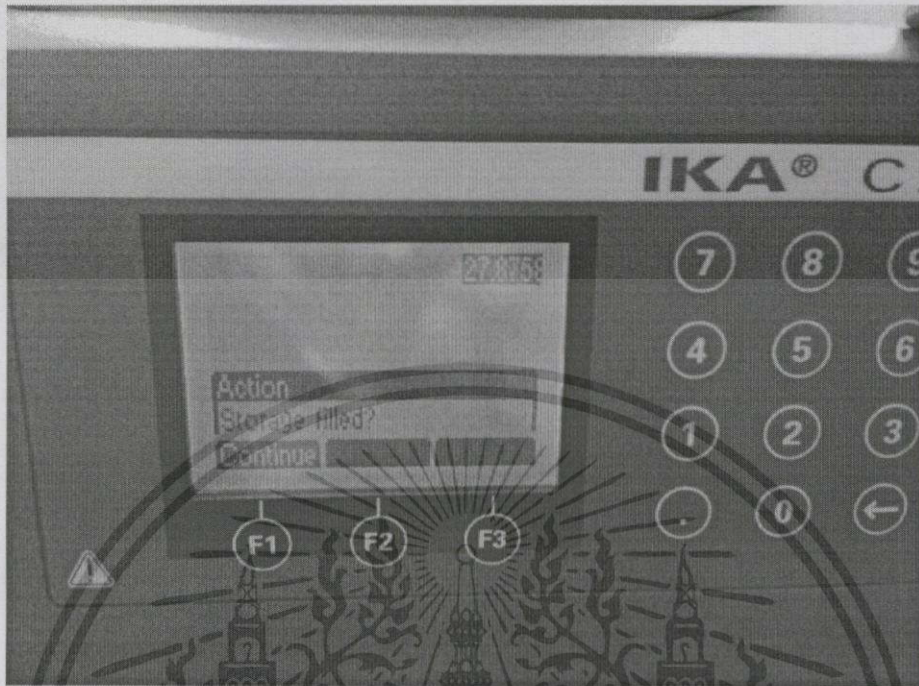
- * - ใส่ค่า 1 ในช่อง Calibration เพื่อเป็นการบอกกับเครื่องว่าเราจะทำการคาลิเบรชั่น ไม่ใช่การเผาวัสดุจริง และ หากเผาวัสดุจริงให้ใส่ค่า 0 ในช่อง Calibration แทน เพื่อบอกกับเครื่องว่าเราจะทำการเผาวัสดุจริงแล้ว

- ใส่ค่า 1 ในช่อง Vessel เพื่อเป็นการบอกกับเครื่องว่าเราจะเผาวัสดุด้วยภาชนะหมายเลข 1 (ในทำนองเดียวกันหากใช้ Vessel หมายเลขอื่นก็ให้ใส่ค่าเป็นเลขนั้น เช่น 2,3,4...)

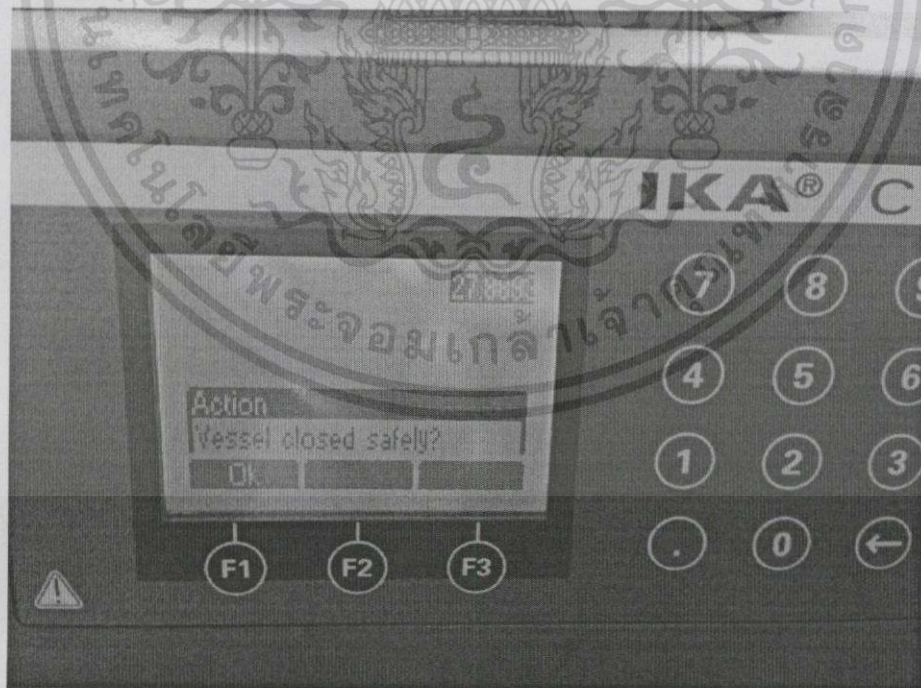


- หลังจากกำหนดค่าต่างๆเสร็จแล้ว กด F3 เพื่อทำการกลับสู่หน้าหลัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-หลังจากนั้นเครื่องจะถามว่า Storage filled ? ให้กด F1 เพื่อดำเนินการต่อไป

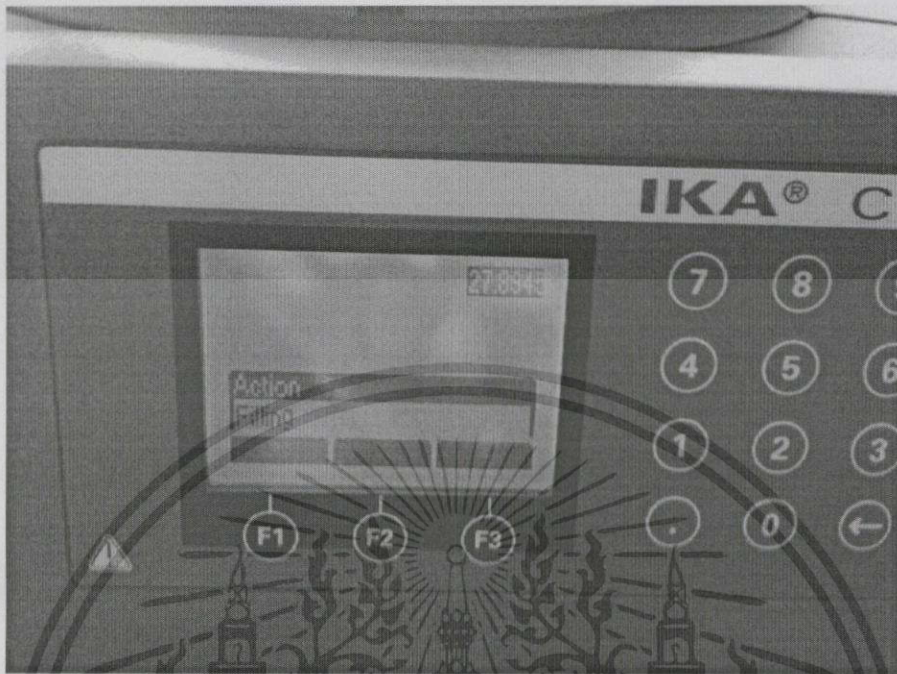


-หลังจากนั้นเครื่องจะถามว่า Vessel closed safety ? ให้กด F1 เพื่อดำเนินการต่อไป

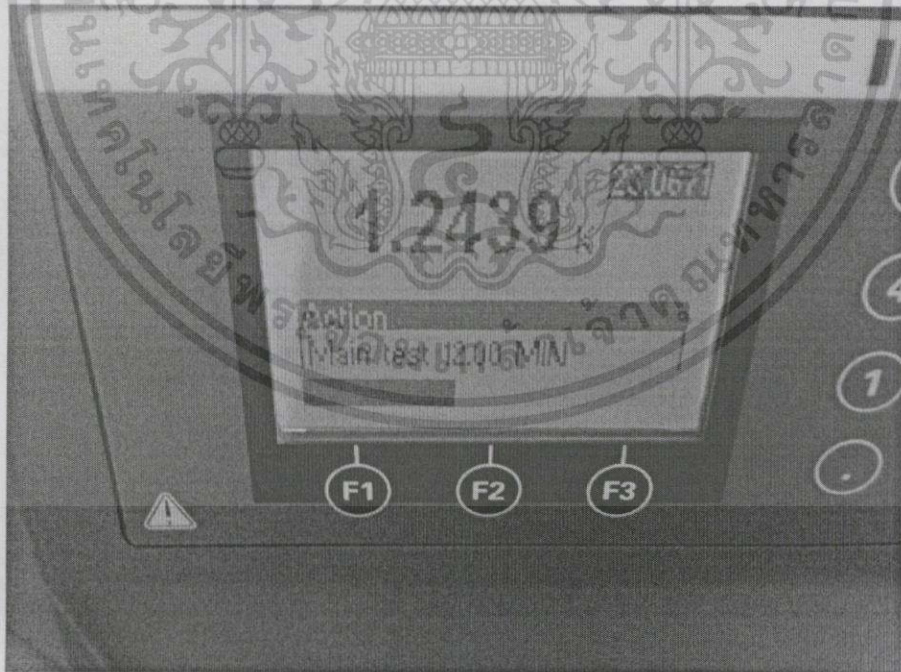


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-จากนั้นเครื่องจะทำการรันอัตโนมัติ



-หลังจากนั้นรอจนจบขั้นตอนการเผาประมาณ 16 นาที



-จะได้ค่าการคาลิเบรท เป็นอันเสร็จสิ้นการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเผาเม็ดคาลิเบรท เพื่อเทียบค่าความร้อนที่กำหนดประมาณ 26460 kJ/kg (เมื่อเผาเสร็จต้องได้ค่าใกล้เคียงกับค่านี้)
- โดยวิธีและขั้นตอนนั้นเหมือนกับการคาลิเบรททุกประการเพียงเปลี่ยนค่า ตรงขั้นตอนที่ * จาก 1 เป็น 0 แทนเพื่อบอกกับเครื่องว่าเราจะทำการเผาวัสดุจริงแล้ว
 - เมื่อเผาเม็ดคาลิเบรท แล้วได้ค่าใกล้เคียง 26460 kJ/kg แล้ว ถือว่าสามารถเผาวัสดุจริงได้ (ในที่นี้คือชีวมวล)
3. การเผาวัสดุชีวมวลเพื่อหาค่าความร้อน (การกระทำในครั้งนี่คือการเผาจริงและนำค่าความร้อนที่ได้ไปใช้จริงในการสรุปผลผู้ทดลองควรกระทำด้วยความระมัดระวังและใส่ใจที่มากขึ้น)
- ซึ่งขั้นตอนก็เหมือนกับ การเผาเม็ดคาลิเบรท เทียบค่าความร้อนทุกประการเพียงเปลี่ยนจากเม็ดคาลิเบรท มาเป็นวัสดุที่ต้องการเผาจริง ซึ่งในที่นี้คือชีวมวล



เอกสารอ้างอิง

- 1 ASTV ผู้จัดการออนไลน์. 2553. เคล็ดลับวิธีกำจัด "ขยะเปียก" ในบ้านให้สิ้นซาก. [Online]
URL: www.manager.co.th/Family/ViewNews.aspx?NewsID=9530000168816.
Accessed date 10 January 2014.
- 2 คุณ ธีรยุทธ. 2556. การทำแก๊สชีวภาพจากเศษอาหาร. [Online]
URL: kaonamsub.blogspot.com/2013/09/blog-post_6.html
Accessed date 08 February 2014.
- 3 หนังสือพันธุ์ข้าวเฉลิมพระเกียรติ ๘๐. 2551. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าว. [Online]
URL: www.riceproduct.org/data2.php?monvar=2012-04&ctype=1
Accessed date 11 March 2014.
- 4 สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, กรุงเทพฯ: โครงการส่งเสริมการทางตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- 5 ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. (2543). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, พิมพ์ครั้งที่3, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 505 หน้า.
- 6 วิไล รังสาดทอง. "เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร". ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 273, 276, 290.
- 7 จินตนาพร ปันพรม, จุฑามาต บุญเลา, โชติพงศ์ กาญจนประโชติ และฤทธิชัย อัครราชันย์. 2555. แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์สำหรับ การทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกากมะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(3): 224-227.
- 8 อ.ดร. เก่งกมล วิรัตน์เกษม. การทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (ปรับปรุงเพิ่มเติมจากฉบับของ อ.สาทิส ถาวรนนท์ และ อ.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ). ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- 9 จุลพงษ์ พฤกษ์ศรี. 2556. การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเหง้าขมิ้นชันแผ่นอบแห้ง จากการอบแห้งด้วยลมร้อนเปรียบเทียบกับอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด. หลักสูตร วิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 10 จักรมาส เลหาวิช, สุพรรณ ยั่งยืน. 2553. การเปรียบเทียบความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบแห้งด้วยอินฟราเรดและลมร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(3/1): 185-188.