การอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น

PADDY DRYING IN A VACUUM INFRARED DRYER WITH A VIBRATION BED

ชวลิต ด่ำริพัฒนสกุล

นิศากร เกตุแก้ว

ปณต จันทร์ดี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น

PADDY DRYING IN A VACUUM INFRARED DRYER WITH A VIBRATION BED

ชวลิต ดำริพัฒนสกุล

นิศากร เกตุแก้ว

ปณต จันทร์ดี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PADDY DRYING IN A VACUUM INFRARED DRYER WITH A VIBRATION BED

Chawalit Dramipatthanasakul

Nisagorn Ketkeaw

Panot Jandee

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

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น

PADDY DRYING IN A VACUUM INFRARED DRYER WITH A VIBRATION BED

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชวลิต ดำริพัฒนสกุล รหัสนักศึกษา 53010330

นางสาวนิศากร เกตุแก้ว รหัสนักศึกษา 53010865

นายปณต จันทร์ดี รหัสนักศึกษา 53010908

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่น

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชวลิต ดำริพัฒนสกุล รหัสนักศึกษา 53010330

นางสาวนิศากร เกตุแก้ว รหัสนักศึกษา 53010865

นายปณต จันทร์ดี รหัสนักศึกษา 53010908

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นต่อคุณลักษณะการอบแห้งและคุณภาพของข้าว โดยใช้ชั้นข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างหลอดรังสีกับเบดที่มีข้าวเปลือกมีระยะเท่ากับ 15, 20 และ 25 เซนติเมตร ซึ่งทำการศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดที่ไม่มีเบดสั่นและวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน (อุณหภูมิ 45-120 องศาเซลเซียส) ผลการศึกษาพบว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่างระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดและความหนาชั้นข้าวเปลือก 25 เซนติเมตร ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องและเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดกับต้นข้าวสูง 60.87% และ 38.31% ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ข้าวที่ได้ใกล้เคียงกับการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงสุด คือ 44.07% แต่สภาวะการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นนี้ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากกว่า และใช้เวลาในอบแห้งน้อยกว่า (0.0108±0.0003 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที, 25 นาที) การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (0.0018 ±0.0004 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที, 360 นาที)

คำหลัก: การอบแห้ง, รังสีอินฟราเรด, ข้าวเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Paddy Drying in a Vacuum Infrared Dryer with a Vibration Bed

Authors MR. Chawalit Dramripattanasakul 53010330

Miss Nisakon Ketkeaw 53010865

MR. Panot Jundee 53010908

Thesis Advisor Jiraporn Sripinyowanich Jongyingcharoen, Ph.D.

Year 2013

Abstract

This thesis aimed to investigate the effect of vacuum infrared drying with a vibration bed on drying characteristics and quality of dried paddy. The paddy of RD 47 variety with the grain bed depth of 1 cm was used in this study. The distances between the infrared lamp and bed were 15, 20 and 25 cm. The comparison with vacuum infrared drying without a vibration bed and hot air drying (the drying temperatures of 45-120°C) was also conducted. The results showed that infrared drying with a vibration bed at the distances between the infrared lamp and bed of 25 cm provided high percentage of brown rice of 60.87% and high percentage of whole grain and head rice of 38.31%, which was close to the percentage of whole grain and head rice of 44.07% obtained by hot air drying at 45°C. However, this condition of the vacuum infrared drying provided higher maximum drying rate and took shorter drying time (0.0108 ± 0.0003 g/g dry matter·min, 25 minutes) than that of the hot air drying (0.0018 ± 0.0004 g/g dry matter·min, 360 minutes).

Keywords: drying, infrared radiation, paddy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้มอบคำแนะนำและกำลังใจในการทำวิจัยตลอดมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำรวมถึงอุปกรณ์ต่างๆแก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมไปถึงเพื่อนๆ พี่ๆ ที่คอยช่วยให้กำลังใจในการทำวิจัยและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ แก่คณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบสิ่งดีๆตลอดที่คณะผู้จัดทำได้เล่าเรียนมาโดยตลอดคุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายชวลิต ดำริพัฒนสกุล

นางสาวนิศากร เกตุแก้ว

นายปณต จันทร์ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.5 วิธีการดำเนินงาน 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 4
2.1 ข้าวพันธุ์ กข 47 4
2.2 การแบ่งคุณภาพข้าวเปลือก 5
2.2.1 คุณภาพการสี 5
2.2.2 การคัดขนาดข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก 7
2.3 การลดความชื้น 8
2.3.1 การอบแห้งแบบธรรมชาติ 8
2.3.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การอบแห้ง 10
2.4.1 หลักการและทฤษฎี 10
2.4.2 การคำนวณและคำจำกัดความของค่าที่เกี่ยวข้องในการอบแห้ง 11
2.4.3 อัตราการทำแห้ง 12
2.4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง 13
2.5 รังสีอินฟราเรด 13
2.6 การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรด้วยรังสีอินฟราเรด 15
2.7 การอบแห้งแบบสุญญากาศ 15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 17
3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 17
3.2 แผนการทดลอง 17
3.3 การทดลองอบแห้ง 19
3.3.1 การอบแห้งแบบลมร้อน 19
3.3.2 การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ 21
3.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น 21
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูงคุณลักษณะการอบแห้ง 22
3.5.1 อัตราส่วนความชื้น 22
3.5.2 อัตราการอบแห้ง 23
3.6 การกระเทาะเปลือกและสีข้าว 24
3.7 การวิเคราะห์คุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7.1 เปอร์เซนต์ข้าวกล้องเต็มเมล็ด....25
3.7.2 เปอร์เซนต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวขาวหลังการสี....25
3.7.3 ความขาว....25
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ....26
บทที่ 4 ผลการทดลอง....27
4.1 คุณลักษณะการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น....27
4.2 คุณลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่น....28
4.3 คุณลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน....30
4.3.1 ความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกจากการอบแห้งแบบลมร้อน....30
4.4 การเปรียบเทียบคุณลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นและไม่ร่วมกับเบดสั่น และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน....32
4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง....34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง....36
เอกสารอ้างอิง....37
ภาคผนวก....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ใช้อบและเวลาที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือก
เพื่อวัดปริมาณความชื้น 20

ตารางที่ 4.1 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ
ร่วมกับเบดสั่นจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐารเปียก. 28

ตารางที่ 4.2 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ
ไม่ร่วมเบดสั่นจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก. 30

ตารางที่ 4.3 ความชื้นสมดุลจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ 30

ตารางที่ 4.4 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนได้ความชื้นของข้าวเปลือก
เป็น 12% ฐานเปียก จากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ 32

ตารางที่ 4.5 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนได้ความชื้นของข้าวเปลือก
เป็น 12% ฐานเปียก จากการอบแห้งทั้ง 3 แบบ 34

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบทางกายภาพของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งทั้ง 3วิธี.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 การผสมของข้าวพันธุ์ กข47 4

รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการแยกขนาดข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหัก 7

รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการอบแห้งแบบธรรมชาต 8

รูปที่ 2.4 ภาพแสดงเครื่องอบแห้งในระดับอุตสาหกรรม 9

รูปที่ 2.5 กราฟระหว่างความชื้นต่อเวลา และกราฟระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้น 12

รูปที่ 2.6 ภาพแสดงความยาวช่วงคลื่นของแสง 14

รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด 16

รูปที่ 3.1 การคืนความชื้นข้าวเปลือก 17

รูปที่ 3.2 แผนการทดลองการอบแห้งและการวิเคราะห์คุณภาพข้าวเปลือก 18

รูปที่ 3.3 การอบแห้งแบบลมร้อน 19

รูปที่ 3.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น 22

รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการทดลองการวิเคราะห์คุณภาพของข้าว 22

รูปที่ 3.6 เครื่องกระเทาะเปลือก 22

รูปที่ 3.7 เครื่องคัดแยก 22

รูปที่ 3.8 เครื่องขัดขาว 22

รูปที่ 4.1 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ ร่วมกับเบดสั่นที่ความสูงต่างๆ 28

รูปที่ 4.2 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ ไม่ร่วมกับเบดสั่นที่ความสูงต่างๆ 29

รูปที่ 4.3 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนที่ความสูงต่างๆ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.4 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน (HA) ที่อุณหภูมิ 45 กับ 60 องศาเซลเซียสและการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น (VIR) และไม่ร่วมกับเบดสั่น (IR) ที่ความสูง 25 เซนติเมตร 33

รูปที่ 6.1 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ 41

รูปที่ 6.2 ห้องอบของเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรไทยและเป็นพืชไร่ที่มีการส่งออกมากที่สุดเป็นอันดับต้นๆของประเทศ [1] ในการซื้อขายข้าวเปลือกนอกจากจะมีความสำคัญต่อการส่งออกและราคาข้าวยังมีผลต่อการเก็บรักษาด้วย ดังนั้นจึงต้องนำมาลดความชื้นด้วยวิธีที่เหมาะสมเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นที่ 13-15% ซึ่งจะทำให้สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน [2]

วิธีการลดความชื้นของข้าวเปลือกมีหลายวิธี ที่นิยมคือการลดความชื้นแบบธรรมชาติ เช่น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งต้องใช้เวลาในการลดความชื้นนาน ต้องคอยกลับข้าวเปลือกเพื่อให้โดนแดดได้ทั่วถึงและอาจจะถูกนกหรือหนูมาทำลายข้าวได้ นอกจากนี้เนื่องจากไม่สามารถควบคุมสภาพอากาศได้จึงทำให้อุณหภูมิของข้าวเปลือกเกิดความแปรปรวน เมล็ดข้าวเปลือกจะร้าวเมื่อนำไปสีจะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหัก [2] ส่วนวิธีที่นิยมอีกวิธีหนึ่งการลดความชื้นโดยเครื่องอบแห้งระดับอุตสาหกรรม เช่น การใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้ลมเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและมวล วิธีการลดความชื้นแบบนี้มีข้อดีคือสามารถลดความชื้นได้รวดเร็ว ทำได้ในทุกสภาพอากาศ สามารถควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ง่าย อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง

รังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถให้ความร้อนวัสดุได้อย่างรวดเร็ว เพราะคลื่นความร้อนที่แผ่ออกมาจะถ่ายโอนไปยังผิววัสดุโดยตรงและส่งผลให้โมเลกุลของวัสดุสั่นแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในวัสดุทำให้โมเลกุลน้ำในวัสดุระเหย ข้อดีของรังสีอินฟราเรดคือสามารถทำความร้อนวัสดุได้รวดเร็ว โครงสร้างและการติดตั้งไม่ยุ่งยากซับซ้อน ประหยัดพลังงาน และสามารถประยุกต์ใช้กับการอบแห้งแบบอื่นๆได้ เช่น การอบแห้งร่วมกับการใช้ลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดของรังสีอินฟาเรดในการอบแห้งวัสดุที่มีความหนา [3] การประยุกต์ใช้กับการสั่นสะเทือนซึ่งเป็นเทคนิคเชิงกลร่วมกับการอบแห้งด้วยรังสีอินฟาเรดจะทำให้วัสดุ

ได้รับรังสีอย่างทั่วถึง ซึ่งอาจช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและลดระยะเวลาในการอบแห้งเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบไม่มีการสั่น [4] ทั้งยังช่วย ในการกลับด้านวัสดุให้โดนรังสีได้อย่างทั่วถึง

ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่น ทั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของความเข้มของรังสีและความหนาของชั้นวัสดุข้าวเปลือกต่ออัตราการอบแห้งและคุณภาพข้าวและมีการเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดที่ไม่มีเบดสั่นและวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มของรังสีและความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อคุณลักษณะการอบแห้งและคุณภาพของข้าว

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นกับวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดไม่ร่วมกับเบดสั่น และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ใช้ข้าวเจ้าพันธุ์ กข47 ในการอบแห้งที่ความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 12%

1.3.2 ศึกษาการอบแห้งแบบอินฟราเรดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นขนาดห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถอบแห้งข้าวได้ครั้งละประมาณ 300 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรด อินฟราเรดร่วมกับเบดสั่นและไม่ร่วมกับเบดสั่น และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

1.4.2 ให้เกษตรกรหรือโรงสีได้นำข้อมูลไปใช้เพื่อพัฒนาเทคนิคการอบแห้งข้าวเปลือก

1.5 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนดำเนินงาน	ปี / เดือน									
	พ.ศ.2556							พ.ศ.2557		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกและวางแผนการทดลอง	■	■								
2.การทดลองหาคุณลักษณะการอบแห้งข้าวเปลือกแบบอินฟราเรด แบบอินฟราเรดร่วมกับเบดสั่น และแบบลมร้อน			■	■	■					
3.การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกทั้ง 3 แบบ					■	■				
4.การวิเคราะห์ข้อมูล							■	■		
5.สรุปผลและจัดทำปริญญานิพนธ์เพื่อนำเสนอ									■	■

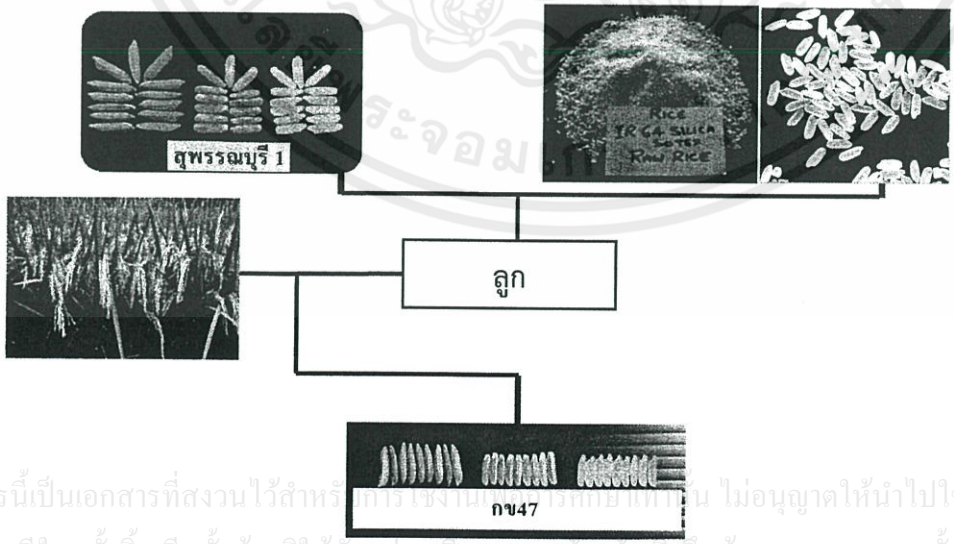
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ข้าวพันธุ์ กข47

ข้าวเจ้าพันธุ์ กข 47 เป็นการผสม 3 ทางระหว่าง ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กับ ข้าวพันธุ์ IR64 เมื่อได้ลูกจึงนำไปผสมกับ ข้าวพันธุ์ CNT86074-25-9-1 (รูปที่ 2.1) มีกอตั้ง เป็นข้าวเจ้าที่มีอายุ 104 - 107 วัน ความสูง 90 - 100 เซนติเมตร ลำต้นแข็งมาก รวงยาว 30.0 เซนติเมตร ข้าวเปลือกสีฟาง ยาว 10.4 มิลลิเมตร กว้าง 2.52 มิลลิเมตร หนา 2.08 มิลลิเมตร อยู่ในกลุ่มข้าวเจ้าแข็งเนื่องจากมีปริมาณอมิโลสสูง (26.81%) เมื่อหุงสุกเป็นข้าวสวยจะมีสีขาวนวลไม่เลื่อมมัน มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างร่วนและแข็ง ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 793 กิโลกรัม / ไร่ มีลักษณะเด่น คือ ให้ผลผลิตสูง มีการต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดีกว่า ข้าวพันธุ์ กข41 และต้านโรคไหม้ ดีกว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก คุณภาพเมล็ดทางกายภาพดี เป็นข้าวเจ้าเมล็ดยาวเรียว ท้องไข่น้อย คุณภาพการสีดีถึงดีมาก สามารถสีเป็นข้าว 100% ได้ [5]



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงการผสมของข้าวพันธุ์ กข47 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแบ่งคุณภาพของข้าวเปลือก

2.2.1 คุณภาพการสี (milling quality)

ข้าวพันธุ์ กข 47 อยู่ในกลุ่มข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (long grain class) คือ ข้าวเต็มเมล็ดที่มีขนาดความยาวเกิน 7.0 มิลลิเมตร ซึ่งคุณภาพการสีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวขาวต้องไม่น้อยกว่า 36% [6]

คุณภาพการสีของข้าวประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี เป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีแล้วได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวน้อย ดังนั้น การประเมินคุณภาพการสีของข้าวจึงเกี่ยวข้องกับการแปรสภาพข้าวหรือการสีข้าว ซึ่งหมายถึง การทำให้เปลือก รำ และคัพภะออกจากเมล็ดข้าว การสีประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน ได้แก่

(1) การทำความสะอาด (cleaning) เพื่อกำจัดแมลง ใบข้าว เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากข้าวเปลือก

(2) การกะเทาะ (shelling หรือ hulling) เป็นการทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ แกลบ และข้าวกล้อง

(3) การขัดขาว (whitening) เพื่อทำให้รำหลุดจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ รำ และข้าวสาร

(4) การคัดแยก (grading) เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ขนาดต่างๆ ออกจากกัน

สิ่งที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่

(1) แกลบ (hull หรือ husk) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด กลีบเลี้ยง ฟาง และขั้วเมล็ด ประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก

(2) รำ (bran) เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen) เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) คัพภะ (embryo) และผิวนอกๆ ของข้าวสาร ประมาณ 8-10% ของข้าวเปลือก รำมีคุณค่าทางอาหารสูง เพราะมีสารที่เป็นประโยชน์มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ข้าวสาร (milled rice) ประมาณ 68-70% ของข้าวเปลือกประกอบด้วยแป้งประมาณ 90% มีโปรตีนบ้างเล็กน้อย ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวจะถูกนำไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ในปริมาณมาก-น้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าวเปลือกก่อนสี

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการสี

คุณภาพการสีของข้าวจะแปรปรวนมากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะของพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษาทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้

(1) พันธุ์ คุณภาพการสีของข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะต่างๆ ของพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาวมาก จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าวต่ำ หรือพันธุ์ข้าวที่มี เปลือกสีอ่อน เปลือกบาง เมื่อนำไปสีจะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าวสูง

(2) การปฏิบัติดูแลก่อนเก็บเกี่ยว ควรนำน้ำออกจากแปลงนาก่อนเก็บเกี่ยว 7-10 วัน เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกอย่างสม่ำเสมอ พื้นนาไม่แฉะขณะเก็บเกี่ยวทำให้การเก็บเกี่ยว และการตาก สะดวก ได้ข้าวแห้ง สม่ำเสมอ เมื่อนำไปสีจะได้ปริมาณ ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง

(3) ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวข้าวเร็วหรือช้าเกินไปจะทำให้ข้าวมีปริมาณและคุณภาพการสีต่ำ คือ ข้าวที่เก็บเกี่ยวในขณะที่เมล็ดยังเขียวการสร้างแป้งยังไม่แน่นเต็มเมล็ด เมื่อตากแห้งแล้วนำไปสี จะทำให้ข้าวหักเพิ่มขึ้น

(4) การตากข้าว เป็นการลดความชื้นในเมล็ดอยู่ในระดับที่เหมาะสม เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวมีคุณภาพการสีสูงและเก็บรักษาไว้ได้นาน การตากข้าวทำได้ทั้งก่อนและหลังการนวด แต่ควรคำนึงถึงคุณภาพของข้าวที่ตาก คือ ต้องทำให้ข้าวแห้งอย่างสม่ำเสมอความชื้นในเมล็ด 12-14% สะอาด ไม่มีสิ่งเจือปน แต่ไม่ควรตากนานเกินไป

(5) การนวดข้าว เป็นการทำให้เมล็ดข้าวหลุดจากรวง ในแต่ละท้องถิ่นมีวิธีการปฏิบัติแตกต่างกัน เช่น นวดโดยการฟาด ใช้สัตว์ การนวดนี้อาจทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวได้ซึ่งมีผลต่อคุณภาพการสี ข้าวหักเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) การเก็บรักษาเป็นขั้นตอนการปฏิบัติหลังจากเก็บเกี่ยวนวดและตากเกษตรกรจะเก็บรักษาข้าวไว้เพื่อรอให้ราคาดีจึงจะขายหรือเก็บไว้บริโภคการเก็บข้าวเป็นระยะเวลานานอาจทำให้เกิดข้าวเมล็ดเหลืองหรือเมล็ดเสียซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการสีทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อยลง

(7) กระบวนการขัดสีขั้นตอนสำคัญในการสีข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการสีคือการกะเทาะเปลือก และการขัดขาวทั้ง 2 ขั้นตอนนี้ข้าวจะหักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

- การตั้งระยะห่างระหว่างลูกยางหรือหินกากเพชรในเครื่องกะเทาะและระหว่างหินกากเพชรกับแท่นยางหรือแท่งเหล็กในเครื่องขัดขาว

- อัตราการหมุนของลูกยางหรือหินกากเพชร

- อัตราการไหลของข้าวสู่เครื่องกะเทาะหรือเครื่องขัดถ้าสูงข้าวจะหักมก

- ระยะเวลาในการขัดสีถ้าขัดนานข้าวจะหักมาก [7]

2.2.2 การคัดขนาดข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหัก

หลังจากการสีข้าวนั้นจะมีข้าวที่แตกหักเป็นขนาดต่างๆ โดยหลักการแบ่งขนาดข้าวที่หักตามการแบ่งชนิดของข้าว จากกรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีดังนี้

รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการแยกขนาดข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก

โดยข้าวเต็มเมล็ด คือ ข้าว 10 ส่วน

ต้นข้าว คือ ข้าว 8 – 9.9 ส่วน

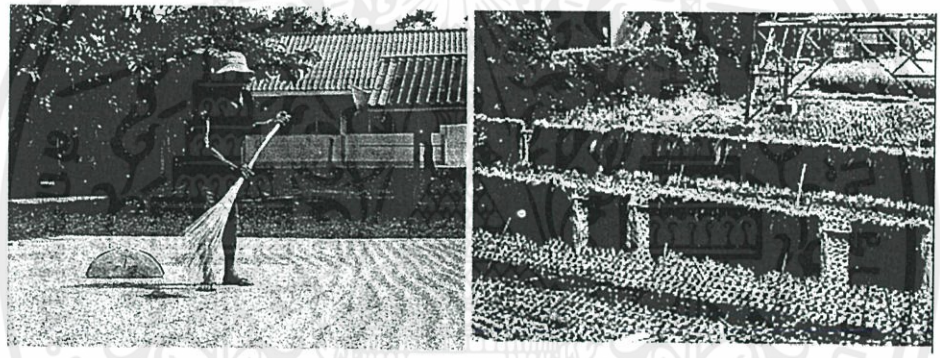
ข้าวหัก คือ ข้าว 2.5 – 4.9 ส่วน[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การลดความชื้น

2.3.1 การอบแห้งแบบธรรมชาติ (Natural drying or sun drying)

การอบแห้งวิธีนี้คือการใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนโดยมีการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นตัวช่วยพาความชื้นออกจากเมล็ด ทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลง โดยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย แต่มีข้อเสียคือใช้พื้นที่มาก และไม่สามารถควบคุมสภาพอากาศได้ อุณหภูมิที่แปรปรวนจะทำให้เกิดการร้าวในเมล็ด ซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)ได้ออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการอากาศร้อนซึ่ง (กฟผ.) ได้นำตู้อบนี้ไปไหลเวียนทดลองกับผลผลิตทางการเกษตร แต่ไม่เคยใช้ทดลองกับข้าวเปลือก [8]



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการอบแห้งแบบธรรมชาติ [9][10]

2.3.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง (Artificial drying)

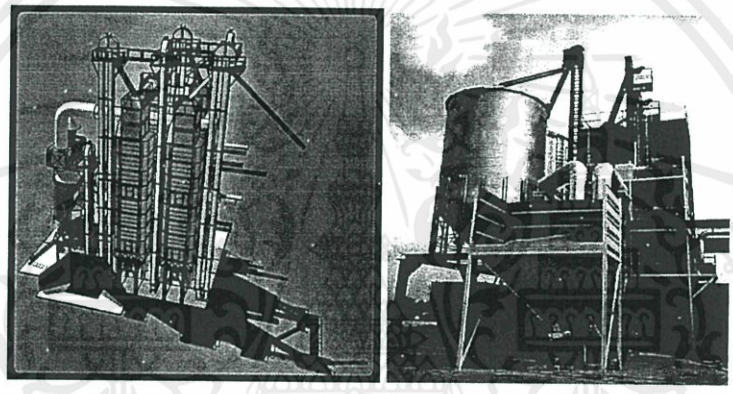
การใช้เครื่องอบ ตู้อบ ฯลฯ วิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถปฏิบัติได้ทุกสภาวะอากาศไม่ว่าฝนจะตกหรือมีแสงแดดน้อย สามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง ใช้ระยะเวลาลดความชื้นไม่มาก และยังสามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าว แต่มีข้อเสียคือ เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และมีข้อปฏิบัติยุ่งยาก ซึ่งมีการนำมาออกแบบจำลองและใช้ทดลองกับผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิดเช่น การอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของมหาลัยสงขลานครินทร์ได้ผลสรุปของการทดลองการอบยางแผ่นที่ความชื้นเริ่มต้น 25-40% ฐานแห้ง ความชื้นสุดท้าย 0.5% ฐานแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 40-70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.7 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) การทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยแหล่งพลังงานตามธรรมชาติ จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุด

(2) การทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ อุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50 – 60 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้คุณภาพทางกายภาพยางแผ่นผึ่งแห้งดีที่สุด

(3) ผลการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของยางพาราแผ่นหลังการอบแห้ง พบว่าอบแห้งด้วยตู้อบแห้งด้วยลมร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้ จะให้คุณภาพของยางพาราแผ่นดีกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบอื่นๆ [11]



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงเครื่องอบแห้งในระดับอุตสาหกรรม [12][13]

ข้อควรระวังในการลดความชื้นข้าวเปลือก

1) อุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นข้าวเปลือกนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมไม่น้อยและไม่สูงจนเกินไป เพราะเมื่อนำข้าวเปลือกไปสีอาจจะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกร้าวได้ ในการซื้อขายข้าวปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดราคาที่สำคัญ คือ คุณภาพการสี ดังนั้นในการลดความชื้น อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรจะสูงเกิน 50 องศาเซลเซียสและถ้าเป็นเมล็ดพันธุ์ไม่ควรสูงเกิน 43 องศาเซลเซียส มิฉะนั้นจะมีผลต่อเมล็ดทำให้เกิดรอยร้าวหรือแตกร้าวภายในเมล็ด ทำให้คุณภาพการสีต่ำได้ และในขณะลดความชื้นไม่ควรจะลดความชื้นให้ลดต่ำลงในอัตราที่เร็วเกินไป โดยเฉพาะในขณะที่เมล็ดมีความชื้นสูงๆเพราะจะทำให้เกิดความเสียหายกับเมล็ดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความชื้นสัมพัทธ์รอบๆเมล็ดข้าวที่กำลังลดความชื้นจะต้องต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่จุดสมดุลของเมล็ดนั้นๆ การลดความชื้นจึงจะได้ผล โดยปกติความชื้นสัมพัทธ์ไม่ควรมีค่าเกิน 60% [7]

2.4 การอบแห้ง

2.4.1 หลักการและทฤษฎี

การอบแห้ง คือการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุที่มีความชื้นเพื่อให้น้ำระเหยออกจากวัตถุ การอบแห้งส่วนมากจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนไปสู่วัตถุและเป็นตัวช่วยพาความชื้นออกไปจากวัตถุ เมื่อนำวัตถุเข้าไปอบแห้งจะเกิดกระบวนการพื้นฐานขึ้นพร้อมกัน 2 กระบวนการ ได้แก่

(1) การถ่ายเทความร้อน จะเกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิแตกต่างกันคือจากแหล่งกำเนิดความร้อนและตัววัตถุ การถ่ายเทความร้อนมี 3 ชนิด คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ในการอบแห้งอาจใช้หลายวิธีร่วมกันได้

- การนำความร้อน เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนจากโมเลกุลกับโมเลกุลข้างเคียง สภาพการนำความร้อนจะขึ้นกับอุณหภูมิและความร้อน โดยสภาพนำความร้อนของน้ำจะสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าวัตถุแห้ง

- การพาความร้อน สภาพการนำความร้อนจะเกิดขึ้นในของเหลวและก๊าซ

- การแผ่รังสีความร้อน จะเกิดขึ้นเมื่อมีการอบแห้งแบบใช้รังสีและการอบแห้งแบบสุญญากาศ การแผ่รังสีความร้อนจะทำให้การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีความแตกต่างกันสูง

(2) การเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหาร ในระหว่างการอบแห้งเมื่อวัสดุได้รับความร้อนน้ำที่อยู่ในวัสดุก็จะเคลื่อนตัวมาที่ผิวหน้าของวัตถุจากนั้นก็จะระเหยกลายเป็นไอไปสู่บรรยากาศ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การคำนวณและคำจำกัดความของค่าที่เกี่ยวข้องในการอบแห้ง

Moisture ratio (อัตราส่วนความชื้น)

อัตราส่วนความชื้น คือ ปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่ภายในวัสดุที่กำลังอบแห้งเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ภายในวัสดุซึ่ง สามารถระเหยได้ภายใต้สภาวะการอบแห้งหนึ่ง ๆ สามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการได้ว่า

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

เมื่อ M = ความชื้นของวัสดุ ณ เวลาใด (%ฐานแห้ง)

M_e = ความชื้นสมดุลของวัสดุ (%ฐานแห้ง)

M_0 = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%ฐานแห้ง)

ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

ความชื้นสมดุลเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการศึกษากระบวนการอบแห้งโดยเฉพาะการศึกษาระยะเวลาการอบแห้ง (Drying period) เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความชื้นของวัสดุ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งของการอบแห้งกับความชื้นสมดุลของวัสดุคือการวัดความเป็นไปได้หรือแรงขับดันไอน้ำระหว่างวัสดุกับอากาศแวดล้อม ความชื้นสมดุลหาได้จากสมการกึ่งทฤษฎี พัฒนาโดย Henderson [14] ในสมการที่ (2)

$$M_e = \frac{1}{100}\left[\frac{\ln(1 - RH)}{C_1 T_{abs}}\right]^{\frac{1}{C_2}} \quad (2)$$

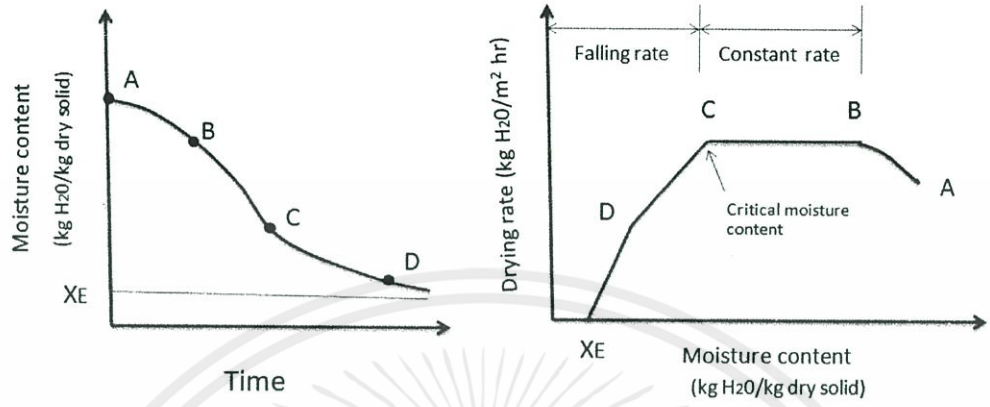
โดยที่ RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศอบแห้ง

T_{abs} คือ ค่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งสัมบูรณ์

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

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Drying rate (อัตราการทำแห้ง) คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง



รูปที่ 2.5 กราฟระหว่างความชื้น (moisture content)ต่อเวลา และกราฟระหว่างอัตราการอบแห้ง (drying rate) และความชื้น (moisture content) [15]

กราฟระหว่างอัตราแห้ง(Drying rate) และความชื้น(Moisture content)แบ่งออกเป็น 3 ช่วง

(1) ช่วงการปรับสภาวะเริ่มต้น (Initial Adjustment Period - AB) เป็นช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง ความชื้นเริ่มต้นของอาหารยังสูง ชั้นผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางความร้อนกับอาหาร อัตราการทำแห้งจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงช่วงที่อัตราทำแห้งคงที่ (Constant rate)

(2) ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant Rate Period - BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า ความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายในช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่อัตราเร็วในการอบแห้งจะลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (Critical Moisture Content)

(3) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าของอาหารได้อย่างไม่ต่อเนื่อง อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงค่าความชื้นสมดุล [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

(1) ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งที่เร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนที่ออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

(2) ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น ดังนั้นหากอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งที่เกิดขึ้นจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

(3) ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าลงเนื่องจากพื้นที่ผิวของอาหารบ้างส่วนไม่สามารถสัมผัสกับอากาศร้อนได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

(4) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญต่ออัตราการอบแห้ง การที่น้ำจะระเหยได้ดีหรือไม่ดีจะขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

(5) ความดัน มีความเกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำลงมา น้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำการอบแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น [17]

2.5 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรดถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1800 โดย Sir William Herschel จากการทดลองแยกแสงสีต่างๆออกมาจากแสงสีขาวโดยใช้ปริซึม ซึ่งต้องการวัดความร้อนของแสงสีต่างๆ จึงได้นำเทอร์โมมิเตอร์ไปวางไว้ที่แถบสีต่างๆเพื่อวัดอุณหภูมิ และจากการทดลองพบว่าซึ่งได้ทำการแยกแสงสีต่างๆออกจาก

เอกสารนี้เป็น... ไม่ว่า...

แสงสีขาวโดยใช้ปริซึมเพื่อต้องการวัดความร้อนของแสงสีต่างๆ โดยนำเอาเทอร์โมมิเตอร์ทาสีดำไปวางไว้ที่แถบสีแสงต่างๆเพื่อวัด จากการวัดค่า เค้าพบว่าอุณหภูมิของแสงได้เพิ่มขึ้นจากสีม่วงไปหาสีแดง แต่ก็ต้องประหลาดใจว่าแถบแสงที่มองไม่เห็นเหนือสีแดงกลับมีอุณหภูมิสูงที่สุด ซึ่งต่อมาแสงนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ รังสีอินฟราเรด หรือ ใต้แดง

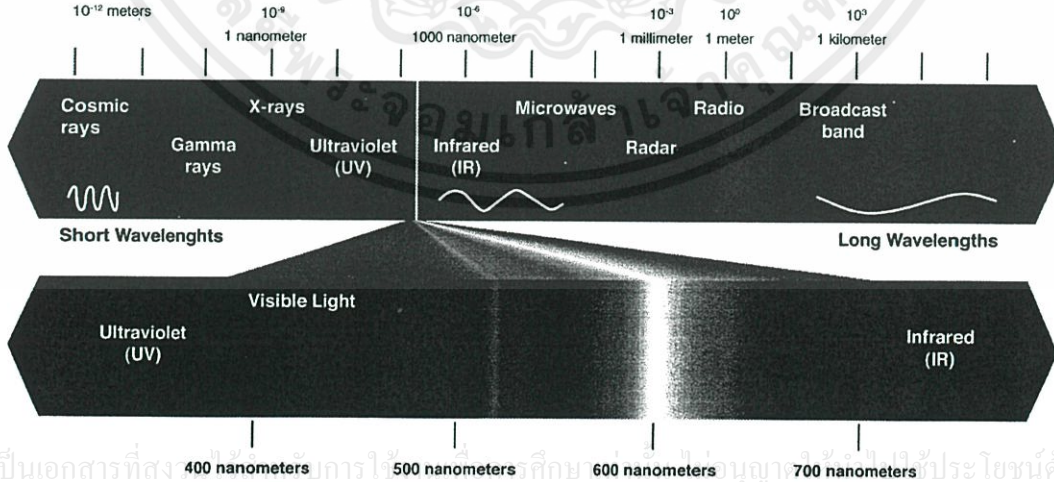
รังสีอินฟราเรด คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่ระหว่าง 1011-1014 Hz และมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.75 -1000 ไมโครเมตร เมื่อวัตถุได้รับรังสีอินฟราเรดจะส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุมีการสั่นจึงทำให้เกิดความร้อน ทำให้น้ำในวัสดุระเหยออกมา รังสีอินฟราเรด สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

(1) รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (NIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 0.7 - 1.5 ไมโครเมตร ใช้ในงานถ่ายภาพความร้อน

(2) รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (MIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 1.5 - 5.6 ไมโครเมตร ใช้ในระบบนำวิถีของจรวดมิสไสล์

(3) รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (FIR) จะมีความยาวคลื่นประมาณ 5.6 ไมโครเมตรขึ้นไป เป็นช่วงรังสีที่เหมาะสมในการใช้ทำความร้อน ที่คลื่นความยาวช่วงอื่นๆจะเป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากรังสีจะถูกสะท้อนกลับหมด

วัตถุจะดูดซับรังสีได้ดีในช่วงความยาวคลื่น 3 – 10 ไมโครเมตร หากนำไปให้ความร้อน จะพบว่าวัตถุมีความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และใช้พลังงานน้อย [18]



รูปที่ 2.6 ภาพแสดงความยาวช่วงคลื่นของแสง [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรด้วยรังสีอินฟราเรด

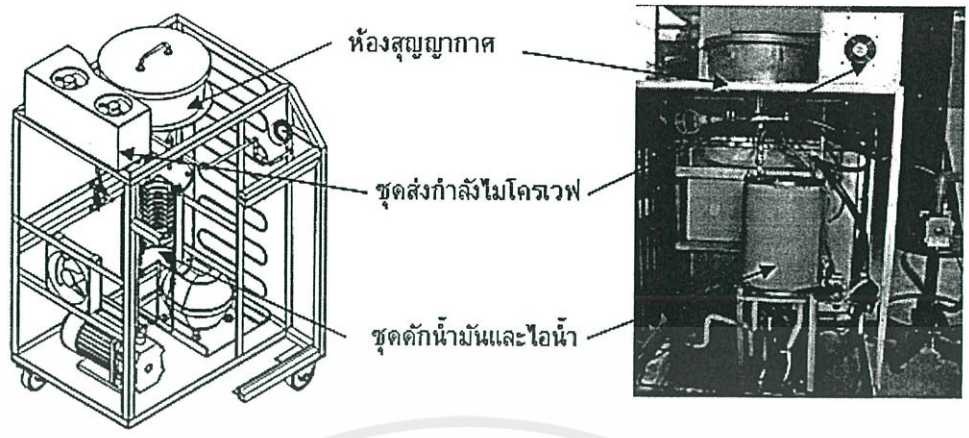
ในการทดลองใช้รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาวอบแห้งเมล็ดธัญพืชนั้นพบว่าเมล็ดข้าวมีการดูดซึมรังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาวได้ดี [20] นอกจากนี้ในการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นสูง โดยใช้รังสีอินฟราเรดพบว่าความเข้มของรังสีและความลึกของเบดมีผลต่ออัตราการแห้งของข้าวเปลือก [21] เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มของรังสีอินฟราเรด [22] เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนพบว่าอัตราการอบแห้งของรังสีอินฟราเรดสูงกว่าการใช้ลมร้อนประมาณ 15 เท่า [23]

2.7 การอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum drying)

การอบแห้งที่สภาวะสุญญากาศการระเหยของน้ำจะมีจุดเดือดต่ำกว่าจุดเดือดภายใต้บรรยากาศปกติ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี แต่กระบวนการอบแห้งแบบสุญญากาศนี้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินกระบวนการสูง จึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีความชื้นต่ำโดยไม่เกิดการทำลายของตัวผลิตภัณฑ์

เครื่องอบแห้งอาหารที่ทำงานภายใต้ภาวะที่มีความดันอากาศต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้น้ำระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลงการทำให้เกิดสภาวะสุญญากาศในห้องอบจะต้องใช้ปั๊มสุญญากาศเพื่อสูบอากาศออกจากห้องอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบสุญญากาศ จะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าการทำแห้งที่ความดันบรรยากาศปกติ เครื่องอบสุญญากาศยังใช้เพื่อการหาความชื้นของอาหารที่ไวต่ออุณหภูมิสูง เช่น อาหารที่มีน้ำตาลสูง หรืออาหารที่มีน้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนประกอบ เพื่อหลีกเลี่ยงการอบที่อุณหภูมิสูง ที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาด [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด [25]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ipsita Das, S.K. Das และ Satish Bal ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงโดยจะทำการศึกษาภายใต้สภาวะการสั่น ที่ความเข้มรังสีอินฟราเรด 5 ระดับ (1509, 2520, 3510, 4520 และ 5514 วัตต์/ตารางเมตร) และที่ชั้นความหนาของข้าว 4 ระดับ (3, 6, 12, และ 25 มิลลิเมตร) โดยพบว่าความถี่และแอมพลิจูดที่ทำให้ข้าวที่ชั้นความหนา 25, 12 และ 6 มิลลิเมตร สามารถพลิกตัวได้อย่างสม่ำเสมอ คือ 20 – 22 เฮิร์ต และ 8 – 9 มิลลิเมตร ตามลำดับ การอบแห้งจะเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งทั้งความเข้มรังสีและชั้นความหนาของข้าวมีผลต่อการแพร่ของน้ำอย่างมีนัยยะสำคัญ [21]

Ipsita Das, S.K. Das และ Satish Bal ได้พัฒนาและทำการศึกษาการสั่นสะเทือนในการอบแห้งแบบอินฟราเรด โดยการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรด โดยใช้ความเข้มรังสี 3100 และ 4290 วัตต์/ตารางเมตร และความหนาของชั้นข้าวเปลือก 12 และ 16 มิลลิเมตร พบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับระดับความเข้มของรังสี อัตราการอบแห้งที่ถูกพบจะขึ้นอยู่กับระดับของความเข้มของรังสี การอบแห้งจะเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งลด ในส่วนของชั้นความหนาของข้าวเปลือกไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้งอย่างมีนัยยะสำคัญ [22]

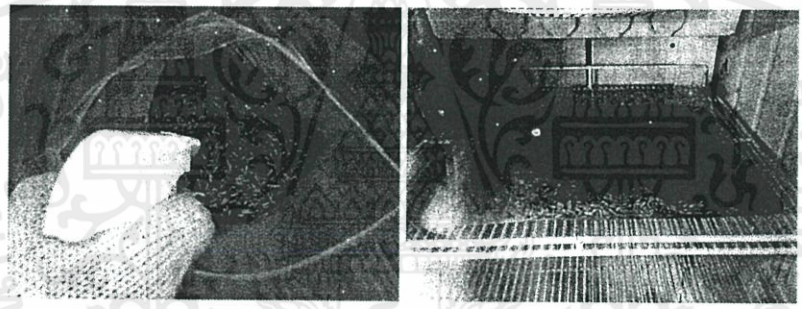
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นเป็น 13% ฐานเปียก ก่อนการทดลองอบแห้งนำมาเตรียมให้มีความชื้นปริมาณ 25% ฐานเปียก เก็บไว้ที่ตู้เย็นอุณหภูมิ 4 - 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำตัวอย่างข้าวเปลือกออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนการทดลอง



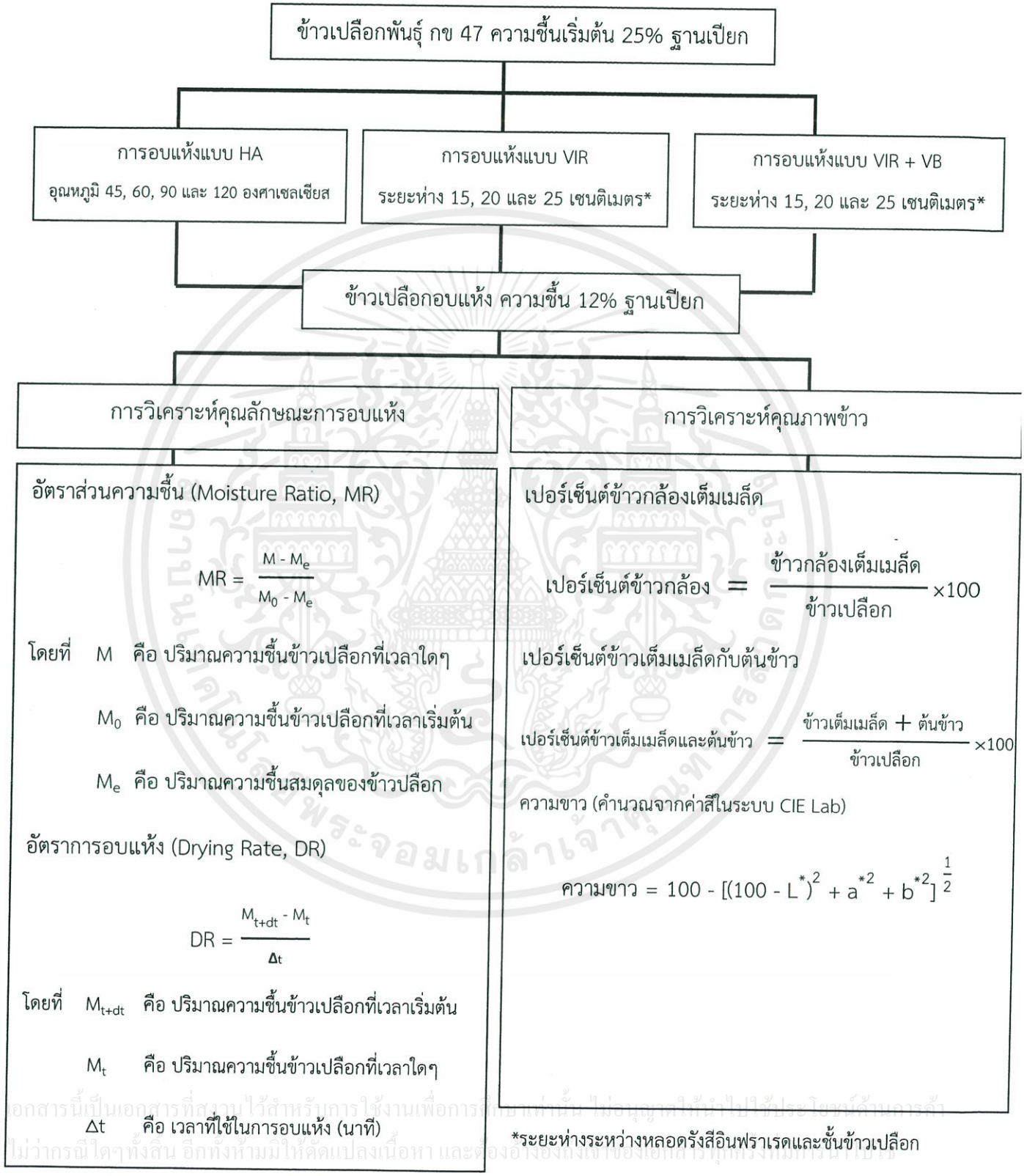
รูปที่ 3.1 การคืนความชื้นข้าวเปลือก

3.2 แผนการทดลอง

นำข้าวเปลือกพันธุ์ กข 47 ที่มีความชื้นประมาณ 25% ฐานเปียก มาทำการอบแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายเป็น 12% ฐานเปียก โดยวิธีการอบแห้งที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน และวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น และไม่ร่วมกับเบดสั่น ซึ่งวิธีการทดลองโดยละเอียดสำหรับการอบแห้งแต่ละวิธีแสดงอยู่ในข้อที่ 3.3 ในระหว่างการอบแห้งมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือก และข้าวเปลือกที่อบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายที่ต้องการถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพได้แก่ เปอร์เซ็นข้าวกล้องเต็มเมล็ด เปอร์เซ็นข้าวเต็มเมล็ดกับต้นข้าว และความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาว ในทุกการทดลองมีการทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ทั้งนี้มีการแสดงแผนภาพการทดลองของการศึกษานี้อยู่ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนการทดลองการอบแห้งและการวิเคราะห์คุณภาพข้าวเปลือก

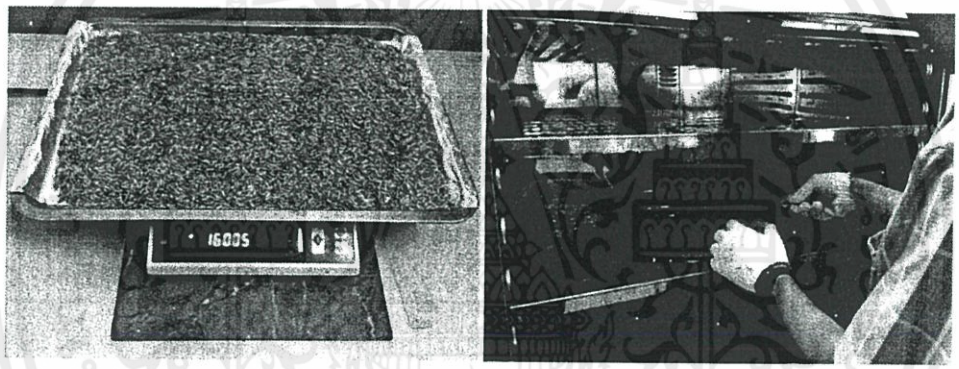
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลองการอบแห้ง

3.3.1 การอบแห้งแบบลมร้อน

(1) ทำการอบแห้งแบบชั้นบาง (thin-layer drying)โดยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนโดยมีความหนาของข้าวเปลือกเป็น 1 เซนติเมตร เกลี่ยให้เรียบเสมอกัน แล้วนำเข้าตู้อบ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 45, 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส

(2) ในการศึกษาคุณลักษณะในการอบแห้งทำการหาความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการอบแห้งโดยสุ่มตัวอย่างของข้าวเปลือกอบแห้งที่เวลาต่างๆ สำหรับแต่ละอุณหภูมิอบแห้งดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 การอบแห้งแบบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ใช้อบและเวลาที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อวัดปริมาณความชื้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	45	60	90	120
ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างข้าวเปลือก (นาที)	0	0	0	0
	10	3	2	1
	20	6	4	2
	30	9	6	3
	40	12	8	4
	50	15	10	5
	70	20	14	8
	90	25	18	11
	110	30	22	14
	130	35	26	17
	150	40	30	20
	180	50	38	25
	210	60	46	30
	240	70	54	35
	270	80	62	40
	300	90	70	45
	360	120	85	55
	420	150	100	65
	480	180	115	75
	540	210	130	85
	600	240	145	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ

(1) ทำการอบแห้งแบบชั้นบางโดยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นและไม่ร่วมกับเบดสั่นโดยมีความหนาของข้าวเปลือก 1 เซนติเมตร เกลี่ยให้เรียบเสมอกัน แล้วเริ่มอบโดยระยะห่างระหว่างข้าวเปลือกและหลอดรังสีอินฟราเรดคือ 15, 20 และ 25 เซนติเมตร

(2) ในการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งหาความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการอบแห้งโดยสุ่มตัวอย่างของข้าวเปลือกอบแห้งทุกๆ 5 นาทีรวมทั้งหมดเป็นเวลา 45 นาที

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

(1) ชั่งตัวอย่างข้าวเปลือก 3-5 กรัมใส่กระป๋องอลูมิเนียมวัดความชื้นโดยทำซ้ำสองครั้งต่อตัวอย่าง

(2) นำตัวอย่างพร้อมกระป๋องอลูมิเนียมวัดความชื้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(3) นำตัวอย่างพร้อมกระป๋องอลูมิเนียมวัดความชื้นออกจากตู้อบ ใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักตัวอย่างแห้งบวกน้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียมแห้ง จดค่าที่ได้

(4) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้นของแต่ละช่วงเวลาโดยจะนำมาคำนวณในสมการที่ (3) และ (4)

ปริมาณความชื้นฐานเปียก

$$\%MC_{wb} = \frac{M_w}{M_w + M_s} \times 100 \qquad (3)$$

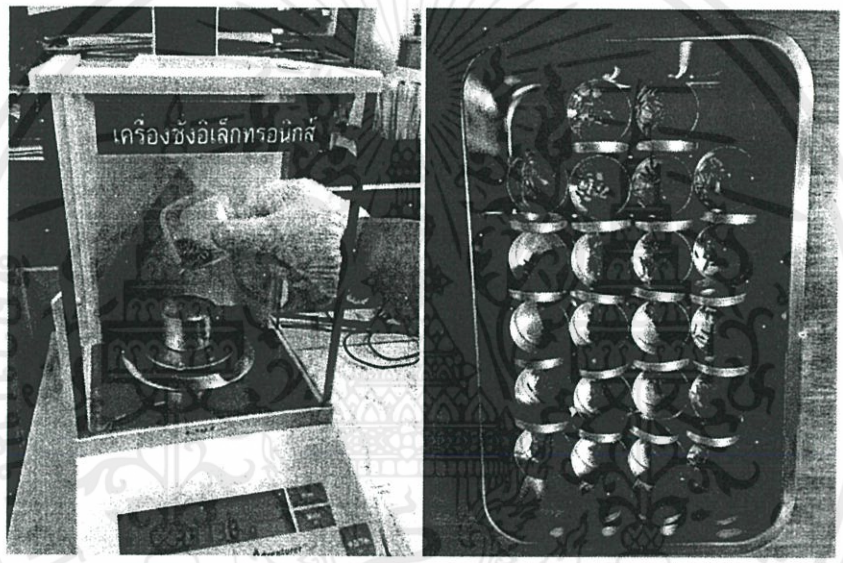
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความชื้นฐานแห้ง

$$\%MC_{db} = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ Mw คือ ปริมาณน้ำ (กรัม)

Ms คือ น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)



รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณลักษณะการอบแห้ง

3.5.1 อัตราส่วนความชื้น (moisture ratio, MR)

หลังจากได้ความชื้นตามอุณหภูมิและที่ระยะต่างๆแล้วจึงนำมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นใน สมการที่ (5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5)$$

โดยที่ M คือ ปริมาณความชื้นข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (กรัม /กรัมวัสดุแห้ง)

M0 คือ ปริมาณความชื้นข้าวเปลือกที่เวลาเริ่มต้น (กรัม /กรัมวัสดุแห้ง)

Me คือ ปริมาณความชื้นสมดุลของข้าวเปลือก (กรัม /กรัมวัสดุแห้ง)

ความชื้นสมดุลหาได้จากสมการกึ่งทฤษฎี พัฒนาโดย Henderson [18] ในสมการที่ (6)

$$M_e = \frac{1}{100}\left[\frac{\ln(1 - RH)}{C_1 T_{abs}}\right]^{\frac{1}{C_2}} \quad (6)$$

โดยที่ RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศอบแห้ง

T_{abs} คือ ค่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งสัมบูรณ์ (องศาเคลวิน)

C_1, C_2 คือ ค่าคงที่การคายความชื้นสำหรับข้าวเปลือกที่ค่าเท่ากับ -3.146×10^{-6} และ 2.464 ตามลำดับ

สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง คือ 90 และ 120 หรือ การอบแห้งแบบอินฟราเรด สามารถกำหนดให้ความชื้นสมดุลเป็น 0% ได้ [14]

3.5.2 อัตราการอบแห้ง (drying rate, DR)

เมื่อคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นได้แล้วจึงนำมาคำนวณอัตราการอบแห้งในสมการที่ (7)

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{\Delta t} \quad (7)$$

โดยที่ M_{t+dt} คือปริมาณความชื้นข้าวเปลือกที่เวลาเริ่มต้น (กรัม/ กรัมวัสดุแห้ง)

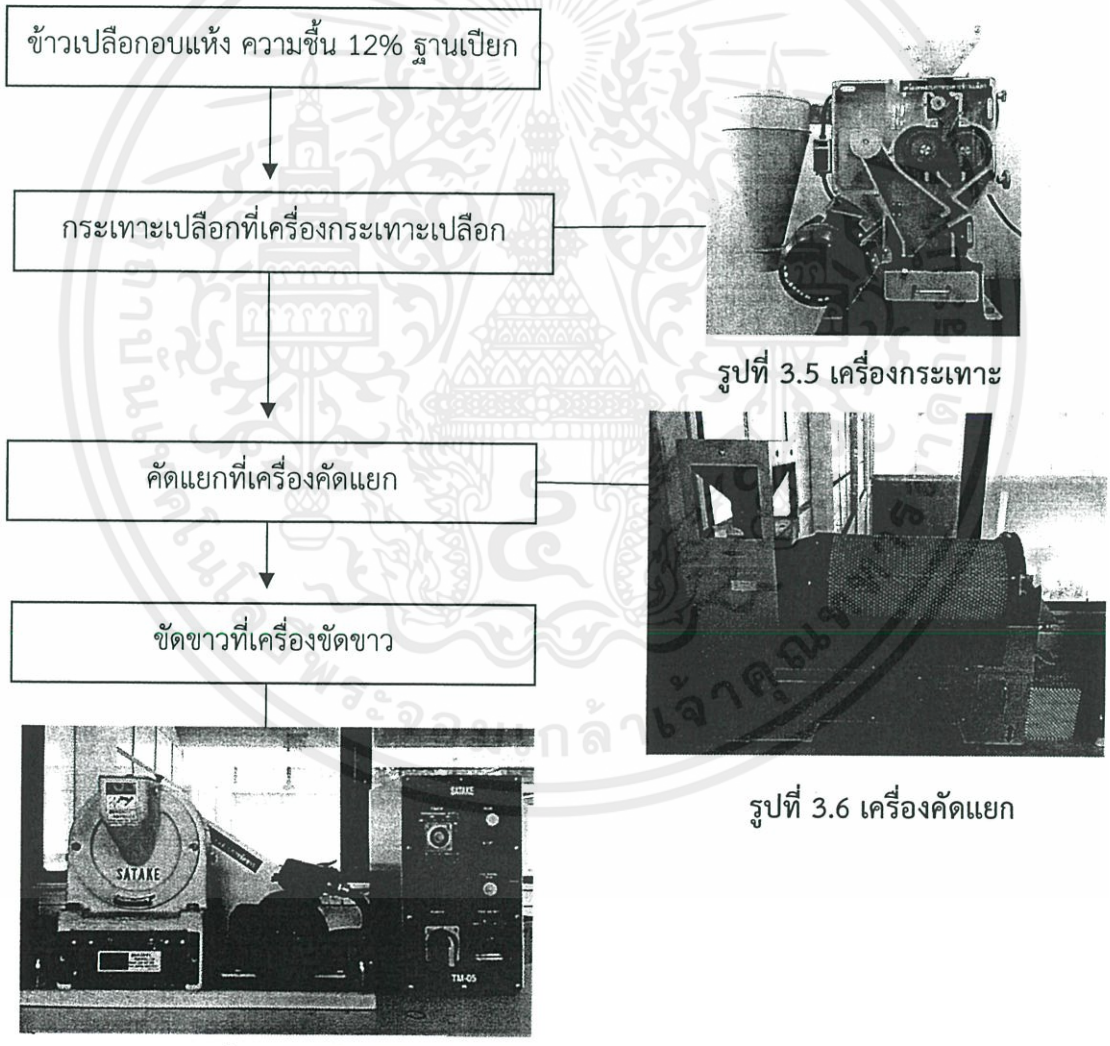
M_t คือ ปริมาณความชื้นข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (กรัม/ กรัมวัสดุแห้ง)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การกระเทาะเปลือกและสีข้าว

จากการอบแห้งจนตัวอย่างข้าวเปลือกเหลือความชื้น 12 % ฐานเปียก จากการอบแห้งแบบต่างๆ จึงนำข้าวมากระเทาะเปลือกด้วยเครื่องกระเทาะเปลือกในรูปที่ 3.2 โดยเราจะทำการกระเทาะสามครั้งในทุกๆตัวอย่าง หลังจากกระเทาะเปลือกเราจะนำไปคัดแยกที่เครื่องคัดแยกในรูปที่ 3.3 ซึ่งจะได้ข้าวกล้องเต็มเมล็ดและข้าวหัก หลังจากนั้นเราจะนำไปขัดขาวที่เครื่องขัดขาวในรูปที่ 3.4 โดยจะชั่งข้าวกล้องเต็มเมล็ด 200 กรัมใช้เวลา 90 วินาที ซึ่งสิ่งที่ได้จากการขัดขาวข้าวจะได้ข้าวขาวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก วิธีการทดลองได้แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 เครื่องกระเทาะ

รูปที่ 3.6 เครื่องคัดแยก

รูปที่ 3.7 เครื่องขัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการทดลองการวิเคราะห์คุณภาพของข้าว

3.7 การวิเคราะห์คุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง

3.7.1 เปอร์เซ็นต์ของข้าวกล้องเต็มเมล็ด

หลังจากคัดแยกแล้วจะได้ข้าวกล้องเต็มเมล็ดและข้าวหักจากนั้นจึงนำมาคำนวณในสมการที่ (8)

เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง = ข้าวกล้องเต็มเมล็ด / ข้าวเปลือก×100 (8)

3.7.2 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวขาวหลังการสี

สำหรับการคำนวณหาเปอร์เซ็นของข้าวกล้องหลังการสี จะทำการสุ่มข้าวจากการสี 5 กรัม โดยแยก เป็น ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ดังสมการที่ (7)

โดย ข้าวเต็มเมล็ด คือ ข้าว 10 ส่วน

ต้นข้าว คือ ข้าว 8 – 9.9 ส่วน

ข้าวหัก คือ ข้าว 2.5 – 4.9 ส่วน

เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว = (ข้าวเต็มเมล็ด+ต้นข้าว) / ข้าวเปลือก×100 (9)

3.7.3 ความขาว (Whiteness)

การทดสอบคุณภาพทางด้านสีของข้าวเปลือกจะใช้เครื่องวัดสีอาหาร Hunter Labโดยวัดค่าสีของข้าวเปลือกในเทอมของตัวแปร L* a* และb* ทำการวัดสีตัวอย่าง3ซ้ำโดยที่ค่าL* (Lightness) แสดงค่าความสว่างและมืดเมื่อมีค่าเป็นบวกและลบตามลำดับและค่า a* (Redness) แสดงค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นบวกและลบตามลำดับและค่า b*(Yellowness) แสดงค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นบวกและลบตามลำดับ สำหรับการคำนวณความขาวของข้าวมีสมการดังนี้

$$\text{ความขาว} = 100 - [(100 - L^{*})^{2} + a^{*2} + b^{*2}]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

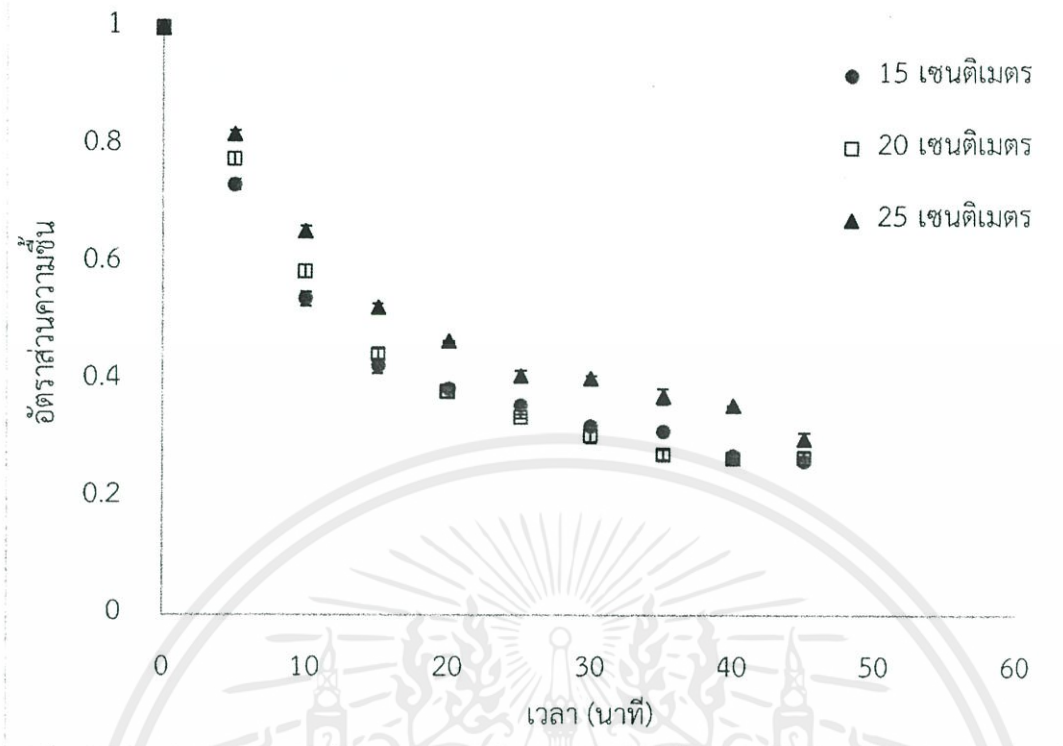
ผลการทดลอง

4.1 คุณลักษณะการอบแห้งของข้าวปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น

จากรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงเส้นโค้งการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ความสูงต่างๆกัน ความชื้นลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยในช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากข้าวเปลือกมีความชื้นอยู่มาก และความชื้นนั้นลดช้าลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป เมื่อเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดและเบดข้าวเปลือกที่ 15, 20 และ 25 เซนติเมตร พบว่าความชื้นลดลงมาอย่างใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงแรกของการอบแห้ง ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร ความชื้นลดลงเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับระยะอื่นๆ

จากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงอัตราการอบแห้งสูงสุด และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นจนข้าวเปลือกมีความชื้นเป็น 12% ฐานเปียก พบว่าระยะห่างระหว่างหลอดรังสีและเบดข้าวเปลือกมีผลต่ออัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยที่ระยะห่าง 25 เซนติเมตร ใช้เวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกจนมีความชื้น 12% ฐานเปียก 25 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่าง 15 เซนติเมตร ซึ่งใช้เวลาเพียง 15 นาที และให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ความสูงต่างๆ

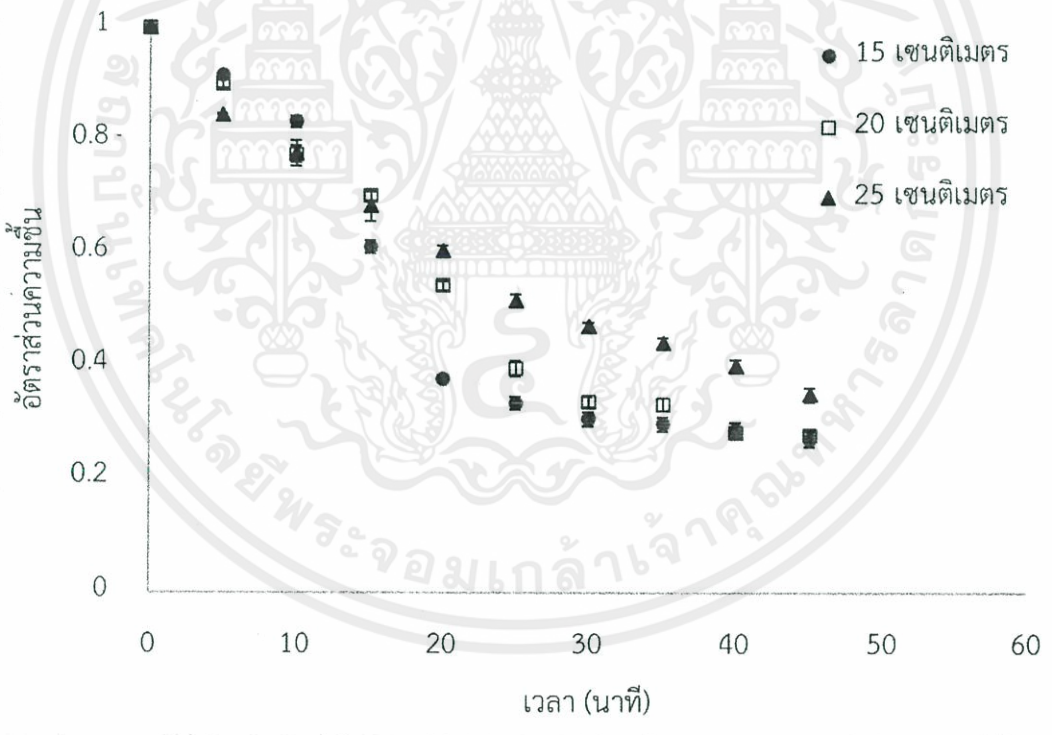
ตารางที่ 4.1 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก

ระยะห่างระหว่างข้าวเปลือกและหลอดรังสี (เซนติเมตร)	อัตราการอบแห้งสูงสุด (กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที)	เวลา (นาที)
15	0.0160 ± 0.0004^{a}	15
20	0.0134 ± 0.0008^{b}	20
25	0.0108 ± 0.0003^{c}	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 คุณลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่น

จากรูปที่ 4.2 แสดงเส้นโค้งการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่นที่ความสูงต่างๆ เปรียบเทียบกัน ในการอบแห้งพบว่าความชื้นมีการลดลงอย่างแตกต่างกัน โดยระยะห่างระหว่างหลอดรังสีและเบดข้าวเปลือกที่ 15 และ 20 เซนติเมตร ความชื้นจะลดลงเร็วกว่าที่ระยะห่าง 25 เซนติเมตร ซึ่งจะสัมพันธ์กับตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงอัตราการอบแห้งสูงสูงและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่นจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก ที่ระยะห่าง 25 เซนติเมตร ซึ่งให้อัตราการอบแห้งต่ำ คือ 0.0098 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที และใช้เวลามาก คือ 40 นาที เมื่อเทียบกับที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร จะให้อัตราการอบแห้งสูงถึง 0.0151 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที และใช้เวลาเพียง 20 นาที



รูปที่ 4.2 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่นที่ความสูงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมเบดสั่นจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก

ระยะห่างระหว่างข้าวเปลือกและหลอดรังสี (เซนติเมตร)	อัตราการอบแห้งสูงสุด (กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที)	เวลา (นาที)
15	0.0151 ± 0.0016^{a}	20
20	0.0102 ± 0.0011^{b}	25
25	0.0098 ± 0.0010^{ab}	40

4.3 คุณลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

4.3.1 ความชื้นสมดุล

ความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกจากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.3 จากการคำนวณสมการที่ (4) ที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส จะได้ความชื้นสมดุลที่ 0.17% และ 0.15% ตามลำดับ โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะให้ความชื้นสมดุลเป็น 0%

ตารางที่ 4.3 ความชื้นสมดุลจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

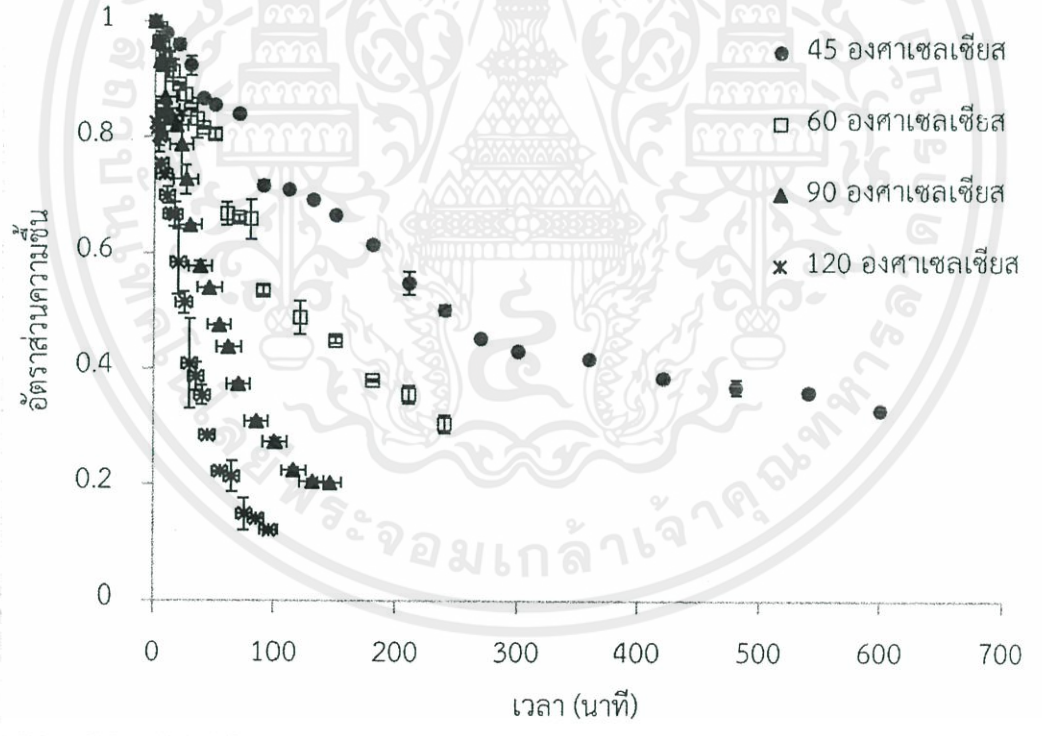
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสมดุล (% ฐานเปียก)
45	0.17%
60	0.15%
90	0
120	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 คุณลักษณะการอบแห้ง

จากรูปที่ 4.3 แสดงเส้นโค้งการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิ 45, 60, 90 และ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งแต่ละอุณหภูมิมีอัตราการอบแห้งที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยแต่ละอุณหภูมิความชื้นจะลงลดอย่างช้าๆ และใช้เวลานาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง จะทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและใช้เวลาในการอบแห้งลดลง

จากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงอัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแบบลมร้อนจนข้าวเปลือกมีความชื้นเป็น 12% ฐานเปียก พบว่าที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เลียนแบบการอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ให้อัตราอบแห้งสูงสุดต่ำที่สุด คือ 0.0018 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที และใช้เวลาในการอบนานถึง 360 นาที



รูปที่ 4.3 เส้นโค้งการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนได้ความชื้นของข้าวเปลือก เป็น 12%ฐานเปียก จากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการอบแห้งสูงสุด (กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที)	เวลา (นาที)
45	0.0018± 0.0004[a]	360
60	0.0036± 0.0017[a]	150
90	0.0064± 0.0010[a]	70
120	0.0104 ± 0.0097[a]	40

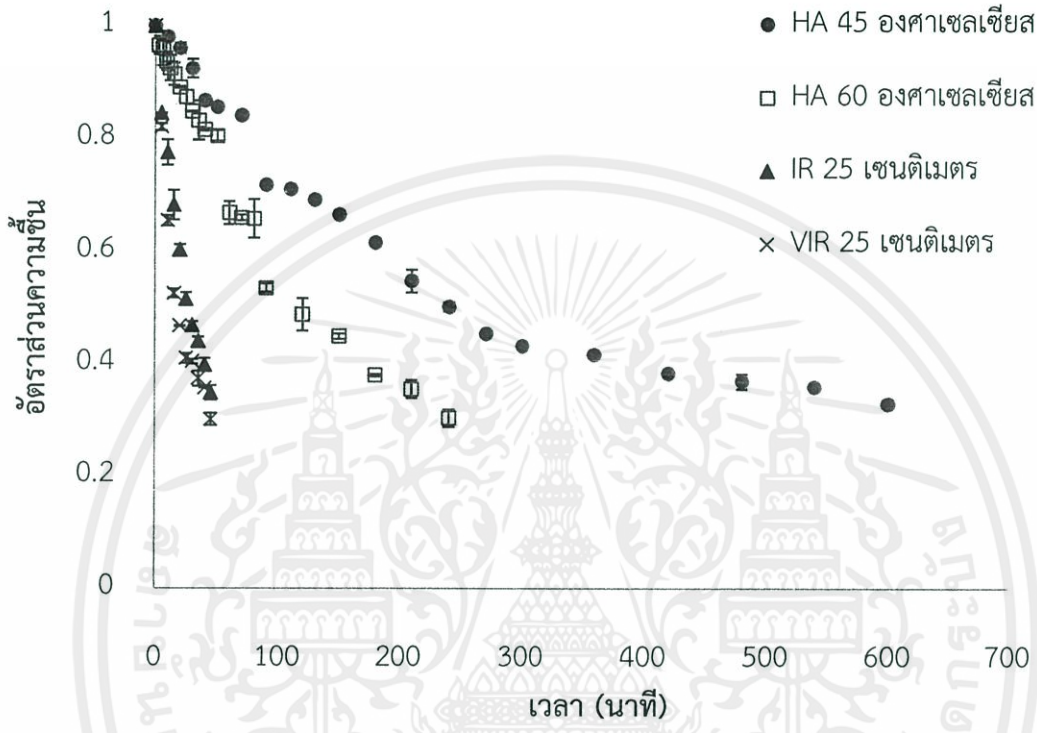
4.4 การเปรียบเทียบคุณลักษณะการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นและไม่ร่วมกับเบดสั่น และวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

จากรูปที่ 4.4 คือ เส้นโค้งแสดงการเปรียบเทียบการอบแห้งทั้ง 3 แบบ คือการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นและไม่ร่วมกับเบดสั่นที่ความสูง 25 เซนติเมตร เนื่องจากให้อัตราการอบแห้งสูงสุดในการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ และการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเลียนแบบการอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังนิยมใช้อยู่ พบว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศทั้งสองแบบ ให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าและลดเวลาในการอบแห้งได้มาก

เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนทั้งสองอุณหภูมิ และจากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอัตราการอบแห้งสูงสุดและเวลาที่ใช้ในการอบจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12% ฐานเปียก ของการอบแห้งแต่ละวิธีพบว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากที่สุด คือ 0.0160 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 15 นาที ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั่น เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนที่ 45 องศาเซลเซียส ที่ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดเพียง 0.0018 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที และใช้เวลาในการอบมากถึง 6 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 เส้นโค้งการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน (HA) ที่อุณหภูมิ 45 กับ 60 องศาเซลเซียส และการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น (VIR) และไม่ร่วมกับเบดสั่น (IR) ที่ความสูง 25 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 อัตราการอบแห้งสูงสุดและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนได้ความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 12%ฐานเปียก จากการอบแห้งทั้ง 3 แบบ

	อัตราการอบแห้งสูงสุด (กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที)	เวลา (นาที)
1. การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่างต่างๆ (เซนติเมตร)		
15	0.0160± 0.0004^{a}	15
20	0.0134± 0.0008^{ab}	20
25	0.0108 ± 0.0003^{abc}	25
2. การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่างต่างๆ (เซนติเมตร)		
15	0.0151± 0.0016^{a}	20
20	0.0102± 0.0011^{abc}	25
25	0.0098± 0.0010^{abc}	40
3. การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ (องศาเซลเซียส)		
45	0.0018± 0.0004^{d}	360
60	0.0036± 0.0017^{cd}	150
90	0.0064± 0.0010^{bcd}	70
120	0.0104 ± 0.0097^{abc}	40

4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบทางกายภาพของข้าวเปลือกหลังอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของข้าวกล้องเต็มเมล็ด ข้าวขาวเมล็ด และต้นข้าว มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยในสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะเปอร์เซ็นต์ของทั้งข้าวกล้อง ข้าวขาวเต็มเมล็ดและต้นข้าว มีค่าสูงกว่าสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ขณะเดียวกัน เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ค่าความขาวของข้าวหลังการสีมีค่ามากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ คาดว่าเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความขาวไม่มากเท่าระยะเวลาในการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระยะห่างของหลอดรังสีและเบดสั่นทั้งสองตัวอย่างมีมากขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของข้าวกล้องเต็มเมล็ด ข้าวขาวและต้นข้าวมากขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นและไม่ร่วมกับเบดสั่นพบว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นจะให้เปอร์เซ็นต์ของข้าวกล้องเต็มเมล็ดและเปอร์เซ็นต์ของข้าวขาวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูงกว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่น

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบทางกายภาพของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งทั้ง 3 วิธี

	เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องเต็มเมล็ด	เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว	ความขาว
1. การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่างต่างๆ (เซนติเมตร)			
15	53.28± 3.07^{b}	28.34 ± 0.89^{c}	64.99 ± 0.79^{b}
20	56.79± 1.65^{ab}	31.00 ± 1.48^{c}	62.52 ± 0.54^{cd}
25	60.87± 1.44^{a}	38. 31 ± 1.63^{b}	61.83 ± 0.69^{de}
2. การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่างต่างๆ (เซนติเมตร)			
15	39.88± 1.05^{c}	21.08 ± 0.13^{d}	64.68 ± 0.37^{b}
20	44.04± 1.34^{c}	28.31 ± 3.44^{c}	63.42 ± 0.29^{c}
25	59.62± 1.78^{a}	35.41 ± 2.70^{b}	63.21 ± 0.62^{c}
3. การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ (องศาเซลเซียส)			
45	51.98 ± 1.04^{b}	44.07 ± 0.97^{a}	60.08 ± 0.48^{f}
60	42.39 ± 3.21^{c}	30.60 ± 3.09^{c}	60.82 ± 0.01^{ef}
90	26.65 ± 4.26^{d}	17.79 ± 0.49^{e}	67.08 ± 0.18^{a}
120	24.14 ± 3.29^{d}	13.57 ± 0.78^{f}	65.23 ± 0.56^{b}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การประเมินคุณลักษณะการอบแห้งและคุณภาพในการอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้น 25% ฐานเปียก จนมีความชื้นสุดท้ายเป็น 12% ฐานเปียก โดยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน วิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น และวิธีการอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศไม่ร่วมกับเบดสั่น สรุปผลได้ดังนี้

(1) การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่างระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดและความหนาชั้นข้าวเปลือก 15 เซนติเมตร ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุดมากที่สุดและการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุดน้อยที่สุด ซึ่งการอบแห้งสองสภาวะนี้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 15 นาที และมากที่สุด คือ 360 นาที ตามลำดับ

(2) การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่างระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดและความหนาชั้นข้าวเปลือก 25 เซนติเมตร ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องสูงสุด คือ 60.87% และมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดกับต้นข้าว คือ 38.31% ซึ่งใกล้เคียงกับการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ที่มีค่าสูงสุด คือ 44.07% แต่การอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่นที่ระยะห่างระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดและความหนาชั้นข้าวเปลือก 25 เซนติเมตร ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดมากกว่า และใช้เวลาในอบแห้งน้อยกว่า (0.0108±0.0003 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที, 25 นาที) การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (0.0018 ±0.0004 กรัม/กรัมวัสดุแห้ง·นาที, 360 นาที)

ข้อเสนอแนะ

(1) ควรมีการคำนวณหาค่าพลังงานที่ให้ในการอบแห้งแต่ละแบบ

(2) ควรมีการเพิ่มจำนวนหลอดรังสีอินฟราเรดจาก 1 หลอดเป็น 2 หลอดตามขนาดของห้องอบ

เอกสารนี้เป็น[illegible]ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ควรมีการวัดความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ระยะห่างระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดและความหนาชั้นข้าวเปลือกที่ทำการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถิติการส่งออก (Export). [Online]. Available : http://www.oae.go.th
2. สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. 2556. วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว. [Online]. Available : http://www.brrd.in.th
3. ดร.จักรมาส เลาหวณิช. 2556. การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร. [Online]. Available : http://www.slideshare.net/phtnet/applications-of-infrared-ray-for-drying-agricultural-products
4. Dept.of Mech.Eng. 2007. Effect of Vibration on the Drying Rate during the Falling Rate Period. Tianjin Institute of Light Industry, Tianjin, China.
5. ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. 2556. พันธุ์ข้าว กข47. [Online]. Available : http://kkn-rsc.ricethailand.go.th
6. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. "การแบ่งประเภท กลุ่ม และชั้นของเมล็ดข้าว." มาตรฐานสินค้าเกษตร. 129(173) : 3 – 5
7. กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. "คุณภาพข้าวทางกายภาพ." คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. 1(1) : 33 – 38
8. การไฟฟ้าผ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2556. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. [Online]. Available : http://www3.egat.co.th/re/egat_business/egat_dryer/egat_dryer.htm
9. Inn News. 2556. พิษณุโลกตากข้าวลดความชื้นก่อนเข้าจำนำ. [Online.] Available : http://www.innnews.co.th/mobile/show?newscode=419011
10. เกษตรไทย. 2554. วิทยาการก่อนแหละหลังการเก็บเกี่ยว. [Online.] Available : http://kasetintree.com/1588.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เถลิงราช นิลเชื้อวงศ์. 2555. "การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจและกลุ่มสหกรณ์สวนยางพาราขนาดย่อม." สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขานครินทร์

12. The phoenix 99 Dryer Technologies. 2556. ตู้อบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์. [Online.] Available : http://www.thephoenix99.com/ตู้อบลดความชื้นเมล็ดพันธ.htm

13. High Beam Engineer Company Limited. 2556. Continuous Flow Drier. [Online.] Available : http://thaitechno.net/t1/home.php?uid=1353

13. ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์

14. Henderson, S.M., 1952. A basic concept of equilibrium moisture content, Agric. Eng., 33 (1):29-31

15. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2556. Drying rate. [Online.] Available : http://www.foodnetworksolution.com

17. ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. อัตราการทำแห้ง. [Online.] http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate-อัตราการทำแห้ง

18. คลังความรู้ช่างเทคนิค. 2556. รังสีอินฟราเรดกับการให้ความร้อน. [Online.] Available : http://iq-technician.blogspot.com

19. Kurt. 2555. Is Infrared Light a Problem? [Online.] Available : http://deserthighlandspr.com/is-infrared-light-a-problem/

20. K.Toriyama, K.L.Heong and B.Hardy. 2005. "Development of a far-infrared radiation dryer for grain." Rice is life: scientific perspectives fie the 21st century. 1[1] : 296 - 298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. Ipsita Das, S.K. Das and Satish Bal. 2009. Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying. Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology, Bombay, Mumbai, MH 400 076, India.

22. Ipsita Das, S.K. Das and Satish Bal. 2003. Drying performance of a batch type vibration aided infrared dryer. Post Harvest Technology Centre, Department of Agricultural and Food Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur 721 302, India

23 จักรมาส เลาหวณิช และ สุพรรณ ยั่งยืน. 2553. การเปรียบเทียบความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบแห้งด้วยอินฟราเรดและลมร้อน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

24. ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ. [Online.] Available : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2973/vacuum-drier-เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ

25. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ. 2555. การพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งรังนกแอ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความดันต่ำ. [Online.] Available : http://www.thep-center.org/src/article_edu_t.php?article_edu_id=51

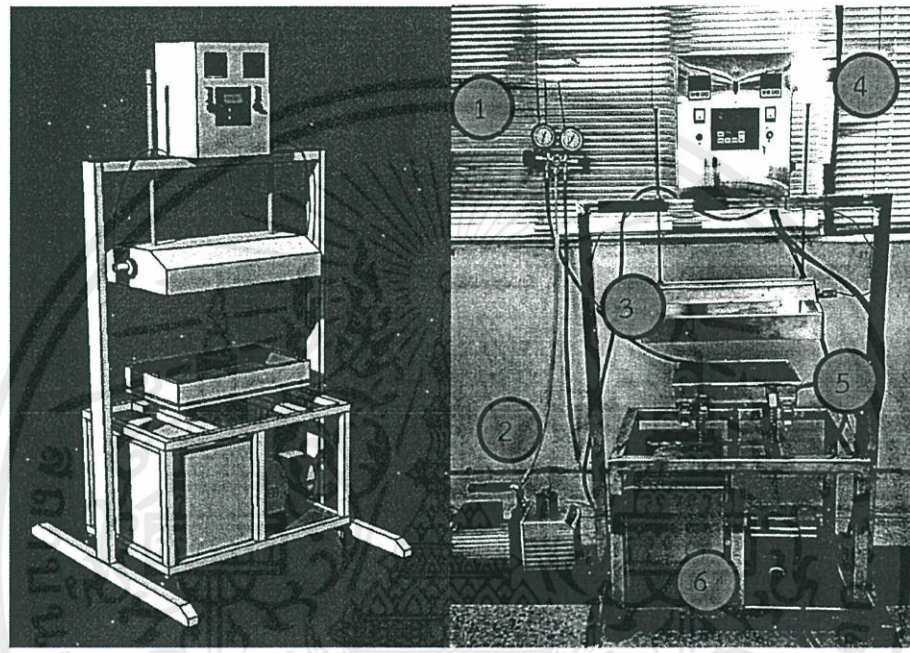
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น (VIR)



รูปที่ 6.1 เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศร่วมกับเบดสั่น

(1) บารอมิเตอร์ ตัววัดและปรับความดันบรรยากาศ

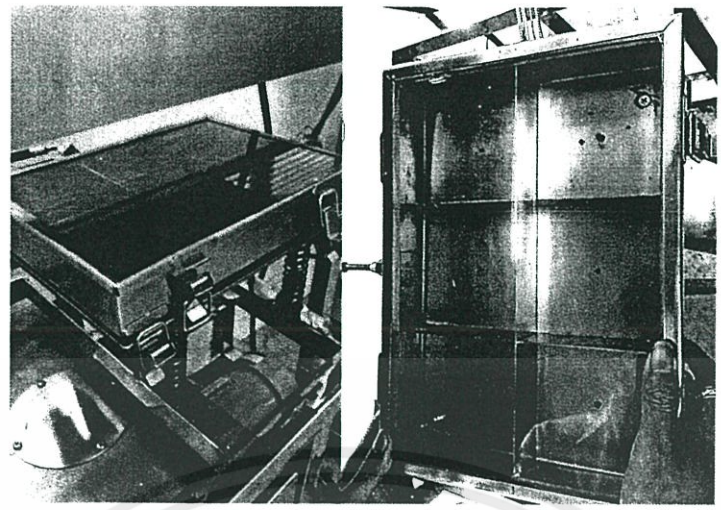
(2) ปั๊มสุญญากาศ ทำให้เกิดสภาวะสูญญากาศ และเป็นตัวช่วยพาความชื้นออกไปจากห้องอบ

(3) หลอดรังสีอินฟราเรด (700 วัตต์) เป็นแหล่งความร้อน

(4) ชุดควบคุม จะมีตัวปรับความถี่ในการสั่นและตัวแสดงค่าอุณหภูมิในห้องอบ

(5) ห้องอบ จะมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม เมื่อจะทำการอบให้ใส่วัตถุเล็กๆเข้าไปในห้องอบ โดยในห้องอบจะแบ่งเป็น 6 ช่อง แต่ละช่องจะมีเทอร์โมคัปเปิลคอยวัดอุณหภูมิที่ก้นถาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ห้องอบของเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดสุญญากาศ

(6) ชุดมอเตอร์ ทำให้ห้องอบสั่นสะเทือนโดยใช้ลูกเบี้ยว มีแอมพลิจูด 2 เซนติเมตร

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งอินฟราเรด

ในการทำงานของเครื่อง ห้องอบจะถูกแบ่งเป็น 6 ช่องจะได้รับความร้อนจากหลอดอินฟราเรดที่มีกำลัง 700 วัตต์ และภายในห้องอบจะมีสภาวะเป็นสุญญากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศในการดูดความชื้นออกจากห้องอบ ในการกำหนดความดันเราจะใช้บารอมิเตอร์เป็นตัววัด จากนั้นเราจะทำการเปิดเบดสั่น ซึ่งควบคุมโดยระบบลูกเบี้ยว ซึ่งการเคลื่อนที่ของการสั่นจะเคลื่อนที่ในแนวดิ่งขึ้นลง การใช้เบดสั่นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง ซึ่งความเร็วรอบในการสั่นจะถูกกำหนดโดยสปีด คอลโทรล ความถี่ที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 16 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้