การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแก่นตะวัน

สุทัศนา อร่ามเรือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแก่นตะวัน

สุทัศนา อร่ามเรือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF FACTORS AFFECTING DRYING OF SUNCHOKE

SUTADSANA ARAMRUANG

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE

OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งแก่นตะวัน
โดย	นางสาวสุทัศนา อร่ามเรือง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์)

.....กรรมการ
(ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาปัจจัยที่ผลต่อการอบแห้งแก่นตะวัน
โดย	นางสาวสุทัศนา อร่ามเรือง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิของอากาศและความเร็วของอากาศต่อการอบแห้งแก่นตะวันแผ่น ในการทดลองจะใช้อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 35, 40, 45 และ 50 °C และ ความเร็วของอากาศ เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิสูงอัตราการอบแห้งมีค่าสูง และที่ความเร็วของอากาศสูง อัตราการอบแห้งมีค่าสูง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และการอบแห้งจะมีเฉพาะช่วงการอบแห้งลดลง ไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	The Study of Factors Affecting Drying of Sunchoke
By	Miss. Sutadsana Aramruang
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2013
Advisor	Boonchai Chotiviriyavanich

ABSTRACT

This project studied the effects of temperature and velocity of air on the drying of thin slide of sunchokes. Drying experiments were carried out using air at 35, 40, 45 and 50 °C and velocity of 1.0, 1.5 and 2.0 m/s. The experimental results revealed that drying rate increases with temperature and velocity. Whereas the equilibrium moisture content decreases with temperature. Drying curve shows only the falling rate period. The constant rate period was not present.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยพระคุณของอาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่างๆ ด้วยความเมตตากรุณา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์ และ ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์ คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ให้คำชี้แนะด้วยความกรุณาปราณี ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณพิสันติ์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง

ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ ที่เห็นความสำคัญของการศึกษา ให้กำลังทรัพย์ กำลังใจ และโอกาสได้ศึกษาเล่าเรียนตลอดจนสำเร็จการศึกษา

หากมีข้อผิดพลาดประการใดในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

สุทัศนา อร่ามเรือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตโครงงาน 1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้ง 3
2.1.1 เครื่องอบแห้งแบบถาด 4
2.1.2 คุณสมบัติอากาศร้อน 4
2.1.3 คุณสมบัติของความชื้น 6
2.1.4 กราฟการอบแห้งและกราฟอัตราการอบแห้ง 8
2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง 9
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเส้นกราฟของการอบแห้ง 10
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง 12
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 12
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง 13
3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 14
4.1 ผลของอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง 14
4.2 ผลของความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง 19
4.3 ค่าความชื้นสมดุลผล 25
4.4 ค่าความชื้นเริ่มต้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนเข้าสู่สมดุล 25

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 26

เอกสารอ้างอิง 27
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง. 30
ภาคผนวก ข. ผลที่ได้จากการคำนวณ 42
ภาคผนวก ค. วิธีการคำนวณ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเส้นกราฟอบแห้ง 10
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของงานวิจัยที่ผ่านมาบางส่วน 11
ตารางที่ 4.1 ความชื้นสมดุลที่สภาวะต่างๆ 25
ตารางที่ 4.2 ความชื้นเริ่มต้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนเข้าสู่สมดุลที่สภาวะต่างๆ 25
ตารางที่ ก.1 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที 30
ตารางที่ ก.2 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที 31
ตารางที่ ก.3 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที 32
ตารางที่ ก.4 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที 33
ตารางที่ ก.5 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที 34
ตารางที่ ก.6 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที 35
ตารางที่ ก.7 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที 36
ตารางที่ ก.8 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที 37
ตารางที่ ก.9 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 2.0 เมตรต่อวินาที 38
ตารางที่ ก.10 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 2.0 เมตรต่อวินาที 39
ตารางที่ ก.11 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 2.0 เมตรต่อวินาที 40
ตารางที่ ก.12 ผลการทดลอง
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 2.0 เมตรต่อวินาที 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข.1 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที....42
ตารางที่ ข.2 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที....43
ตารางที่ ข.3 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที....44
ตารางที่ ข.4 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที....45
ตารางที่ ข.5 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที....46
ตารางที่ ข.6 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที....47
ตารางที่ ข.7 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที....48
ตารางที่ ข.8 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที....49
ตารางที่ ข.9 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 2.0 เมตรต่อวินาที....50
ตารางที่ ข.10 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 2.0 เมตรต่อวินาที....51
ตารางที่ ข.11 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 2.0 เมตรต่อวินาที....52
ตารางที่ ข.12 ผลที่ได้จากการคำนวณ
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 2.0 เมตรต่อวินาที....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด 4
รูปที่ 2.2 Humidity chart 6
รูปที่ 2.3 (ก) กราฟการอบแห้ง (ข) กราฟอัตราการอบแห้ง 9
รูปที่ 4.1 (ก) กราฟการอบแห้ง (ข) กราฟอัตราการอบแห้ง
ที่ความเร็วอากาศ 1.0 เมตรต่อวินาที 14-15
รูปที่ 4.2 (ก) กราฟการอบแห้ง (ข) กราฟอัตราการอบแห้ง
ที่ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที 16
รูปที่ 4.3 (ก) กราฟการอบแห้ง (ข) กราฟอัตราการอบแห้ง
ที่ความเร็วอากาศที่ 2.0 เมตรต่อวินาที 17
รูปที่ 4.4 (ก) กราฟการอบแห้ง (ข) กราฟอัตราการอบแห้ง
ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 19-20
รูปที่ 4.5 (ก) กราฟการอบแห้ง (ข) กราฟอัตราการอบแห้ง
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 21
รูปที่ 4.6 (ก) กราฟการอบแห้ง (ข) กราฟอัตราการอบแห้ง
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 22
รูปที่ 4.7 (ก) กราฟการอบแห้ง (ข) กราฟอัตราการอบแห้ง
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แก่นตะวัน มีหลายชื่อ เช่น ทานตะวันหัวหรือแห้วบัวตอง มีชื่อภาษาอังกฤษว่า เยรูซาเล็ม อาร์ติโช้ก (Jerusalem artichoke) หรือ ซันโช้ก (sunchoke) ชื่อวิทยาศาสตร์คือ Helianthus tuberosus L.[1-2] เป็นพืชดอกในตระกูลทานตะวัน ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยได้ใช้ประโยชน์เป็นพืชเศรษฐกิจทางการเกษตรทั้งด้านการอุปโภคและบริโภค สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ เช่น ชาแก่นตะวัน แคปซูลแก่นตะวัน สบู่แก่นตะวัน เป็นต้น ในเชิงอุตสาหกรรมใช้หัวแก่นตะวันเป็นวัตถุดิบสำหรับสกัดน้ำตาลอินนูลินได้ ซึ่งหัวของแก่นตะวันมีสารอินนูลิน (Inulin) ที่เต็มไปด้วยน้ำตาลฟรักโตสโมเลกุลยาว จึงเป็นพืชพรีไบโอติกที่มีเส้นใยสูงมาก ช่วยดักจับยึดไขมันในเส้นเลือด คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ หรือ LDL จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้เป็นอย่างดี ทำให้เป็นพืชเศรษฐกิจที่กำลังได้รับความนิยมในประเทศไทยเป็นอย่างมาก แก่นตะวันนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งในลักษณะของแก่นตะวันสดและแก่นตะวันแห้ง ซึ่งแก่นตะวันแห้งจะสามารถเก็บไว้ใช้ประโยชน์ได้ระยะเวลานาน

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ เป็นเทคนิคที่ใช้ในการถนอมอาหารและมีความสำคัญต่อกระบวนการรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูป โครงงานนี้จะใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อกระบวนการอบแห้งแก่นตะวันอาทิ เช่น อุณหภูมิและความเร็วลม เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการอบแห้งแก่นตะวัน
2. เพื่อให้เข้าใจวิธีการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปสร้างกราฟการอบแห้งและกราฟอัตราการอบแห้ง

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1. ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้ง
2. ทำการทดลองการอบแห้งแก่นตะวัน โดยปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิและความเร็วของอากาศ
3. แสดงผลการทดลองในรูปกราฟการอบแห้งและกราฟอัตราการอบแห้ง
4. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบผลกระทบจากตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการอบแห้งแก่นตะวัน
2. สามารถนำผลที่ได้จากโครงงานไปใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้ง
3. เข้าใจขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้ง [3-5]

การอบแห้ง คือ การลดหรือกำจัดความชื้นที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ การอบแห้งมักเป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนการบรรจุ ผลิตภัณฑ์จะถูกลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับเก็บรักษา ในวัสดุอาหารการมีความชื้นอาจทำให้เกิดเชื้อรา หรือการเกาะติดเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นเม็ด หรืออาจมีผลเสียต่อการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตขั้นต่อไป การอบแห้งเป็นการกำจัดความชื้นออกด้วยวิธีทางความร้อน โดยการให้ความร้อนเพื่อการระเหยความชื้นออกสู่ตัวกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นอากาศร้อนและแห้ง โดยอากาศดังกล่าวอาจเป็นทั้งแหล่งความร้อนเพื่อการระเหยและยังทำหน้าที่พาความชื้นจากการระเหยออกจากห้องอบด้วย

ความชื้นสุดท้ายในผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้นจะมากน้อยแตกต่างกันออกไป ของแข็งบางชนิดสามารถอบจนแห้งปราศจากน้ำ เรียก bone dry solid แต่ส่วนใหญ่แล้วจะยังมีความชื้นเหลืออยู่บ้าง การอบแห้งโดยแท้จริงแล้วหมายถึงการทำความชื้นให้ลดลงด้วยวิธีทางความร้อนให้ได้ความชื้นในระดับที่รับได้ มิได้หมายความว่าอบจนมีค่าความชื้นเป็นศูนย์ เนื่องจากของแข็งมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น เป็นเกล็ด เป็นเม็ด เป็นผลึก เป็นผง เป็นแผ่น การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลานานขึ้น ผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญๆ และต้องทำการอบแห้งได้แก่ ธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น

หลักการของการอบแห้งทั่วๆ ไปจะมีจุดประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

1. เพื่อลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการเน่าเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์หรือการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ จากผลการศึกษาพบว่าสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหารปริมาณความชื้นที่จะป้องกันการเสื่อมเสีย เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์โดยทั่วไปควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10-12 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเป็นสำคัญ

2. เพื่อต้องการลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพื่อสะดวกต่อการขนส่ง เนื่องจากการขนส่งผลิตภัณฑ์บางชนิดในสภาพของสดจะกินเนื้อที่และการดูแลรักษาลำบากโดยเฉพาะพวกนมสด ถ้าทำเป็นผงจะทำให้น้ำหนักเบาขึ้น การบรรจุขนส่งก็จะสะดวกและประหยัด

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะของเหลว เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อน ความร้อนจะทำให้ความชื้นกลายเป็นไอและระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์อาจทำได้โดย

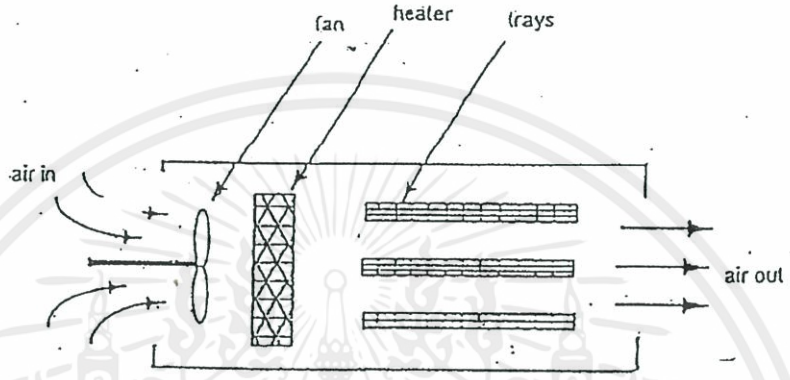
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การพาความร้อน โดยให้อากาศร้อนสัมผัสกับผลิตภัณฑ์
- การนำความร้อน โดยให้ความร้อนผ่านวัตถุที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง

- การแผ่รังสีความร้อน โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ คลื่นอินฟาเรด หรือพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น

2.1.1 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นเครื่องอบแห้งประเภทหนึ่งที่ใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง เครื่องอบแห้ง แบบถาดแบบง่ายประกอบด้วย พัดลม (fan) ฮีตเตอร์ (heater) และถาด (tray) เป็นส่วนประกอบ หลัก ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด

พัดลมทำหน้าที่ดูดอากาศเข้ามาในเครื่องอบแห้ง ฮีตเตอร์ทำหน้าที่ทำให้อากาศร้อนขึ้น ถาดทำหน้าที่รองรับวัสดุที่จะนำมาอบแห้ง ถาดอาจใช้เป็นถาดทึบหรือถาดที่มีรูหรือถาดตะแกรงให้เหมาะสมกับลักษณะของวัสดุที่จะนำมาอบ

การอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนนั้น อากาศร้อนจะเคลื่อนที่สัมผัสกับวัสดุชื้น การอบแห้งจึงเป็นกระบวนการที่มีทั้งการถ่ายเทมวลและความร้อน กลไกหรือขั้นตอนการเกิดการอบแห้งอย่างง่ายมีดังนี้

- ความร้อนถ่ายเทจากอากาศร้อนไปยังวัสดุชื้น โดยการพาความร้อน
- ความร้อนที่วัสดุชื้นได้รับ จะทำให้ความชื้นบางส่วนกลายเป็นไอ
- ไอที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปยังอากาศร้อน โดยการพามวล

2.1.2 คุณสมบัติอากาศร้อน [6-8]

ในการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน อากาศที่ใช้ในการอบแห้งโดยทั่วไปจะเป็นอากาศในบรรยากาศ ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ ที่จะกล่าวถึงคือ

-<u>ความชื้นในอากาศ</u> (Humidity, H)

ความชื้นในอากาศ คือปริมาณไอน้ำในอากาศต่อปริมาณของอากาศแห้ง ถ้ากำหนดให้อากาศและไอน้ำเป็น ideal gas

$$\text{ความชื้นในอากาศ} = H = \frac{\text{kg.ไอน้ำ}}{\text{kg.อากาศแห้ง}} = \frac{18.02}{28.97} \cdot \frac{P_A}{P - P_A} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ P_A = ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ
P = ความดันรวม
18.02 = น้ำหนักมวลโมเลกุลของน้ำ
28.97 = น้ำหนักมวลโมเลกุลของอากาศ

กรณีที่เป็นอากาศอิ่มตัว (Saturated air) ปริมาณความชื้นในอากาศจะเป็นความชื้นอิ่มตัว (H_S)

$$H_S = \frac{18.02}{28.97} \cdot \frac{P_{AS}}{P - P_{AS}} \qquad (2.2)$$

P_{AS} = ความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิที่กำหนด หาค่าได้จากตารางไอน้ำ

-<u>เปอร์เซ็นต์ความชื้น</u> (Percentage humidity, H_P)

เป็นปริมาณความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงเทียบกับความชื้นอิ่มตัวของอากาศ

$$H_P = 100 \times \frac{H}{H_S} \qquad (2.3)$$

-<u>เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพันธ์</u> (Percentage relative humidity, H_R ,RH)

$$H_R = 100 \times \frac{P_A}{P_{AS}} \qquad (2.4)$$

-<u>Humid heat</u> (C_S)

เป็นค่าความจุความร้อนของอากาศชื้น มีค่าเท่ากับปริมาณความร้อน (J) ที่ทำให้อากาศแห้ง (1 kg) และไอน้ำที่อยู่ในอากาศแห้ง 1 kg นั้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C

$$C_S = 1.005+1.88H \qquad \text{(KJ/K.kg dry air)} \qquad (2.5)$$

-<u>Humid volume</u> (V_H)

เป็นค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น มีค่าเท่ากับ ปริมาตรรวมของอากาศแห้ง (1 kg) กับไอน้ำที่อยู่ในอากาศแห้ง 1 kg นั้น ต่อน้ำหนักอากาศแห้ง

$$V_H = (2.83\times10^{-3}+4.56\times10^{-3}.H)\,(T) \qquad (m^3/\text{kg dry air}) \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ T = อุณหภูมิของอากาศ (K)

-<u>Total enthalpy</u> (H_y)

เป็นค่าเอนทัลปีรวมของอากาศแห้ง กับไอน้ำที่อยู่ในอากาศแห้ง นั้น

$$H_y = C_S(T - T_o) + \lambda_o.H \qquad (2.7)$$

เมื่อ T_o = อุณหภูมิอ้างอิง

λ_o = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่ T_o สามารถหาได้จากตารางไอน้ำ

-<u>อุณหภูมิ</u> (temperature)

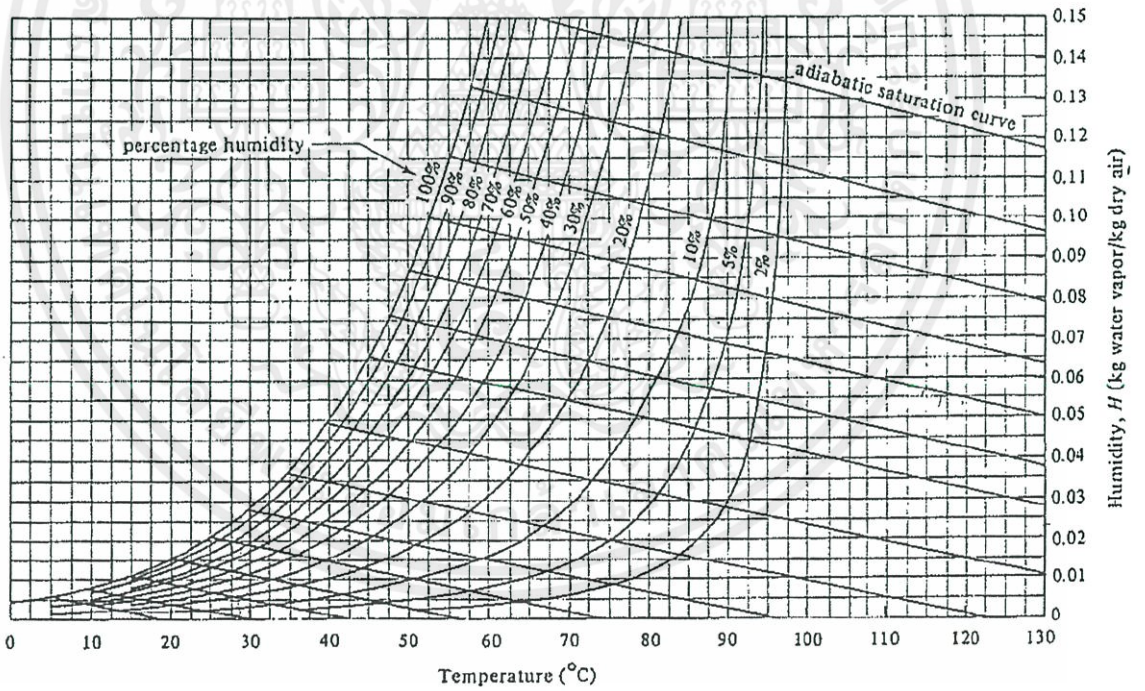
อุณหภูมิอาจจำแนกได้เป็น

-อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature)

-อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature)

-<u>Humidity chart</u> [9]

เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศ ใช้ในการหาค่าคุณสมบัติของอากาศที่ต้องการทราบค่า ลักษณะของ Humidity chart อาจแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Humidity chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 คุณสมบัติของวัสดุชื้น [6]

เทอมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุชื้น มีดังนี้

- <u>ความชื้นในวัสดุ</u> (Moisture content, M)

เป็นเทอมที่บ่งบอกถึงปริมาณความชื้นในวัสดุ อาจจำแนกได้ 2 ลักษณะ

1.<u>ฐานแห้ง</u> (Dry basis, db)

ความชื้นในวัสดุแบบฐานแห้ง คือ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุต่อปริมาณวัสดุแห้ง

$$M(db) = M = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (2.8)$$

เมื่อ W = น้ำหนักของวัสดุชื้น

W_S = น้ำหนักของวัสดุแห้ง

2.<u>ฐานเปียก</u> (Wet basis, wb)

ความชื้นในวัสดุแบบฐานเปียก คือ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุต่อปริมาณของวัสดุชื้น

$$M(wb) = \frac{W - W_s}{W} \quad (2.9)$$

-ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, EMC, M_e)

ในการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน เมื่ออากาศร้อนสัมผัสกับวัสดุชื้นเป็นระยะเวลานานมากพอจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ที่สภาวะสมดุลปริมาณไอน้ำที่ถ่ายเทออกจากวัสดุมีค่าเท่ากับปริมาณไอน้ำที่ถ่ายเทจากอากาศร้อนมาที่วัสดุเนื่องจากการดูดซับ ดังนั้น ที่สภาวะสมดุล ปริมาณความชื้นในวัสดุจะมีค่าคงที่ ซึ่งสภาวะนี้สามารถสังเกตได้จากการทดลอง ที่สภาวะสมดุล ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ เรียกว่า ความชื้นสมดุล ซึ่งความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นในอากาศร้อนที่สัมผัสกับวัสดุ

- อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR)

เป็นค่าปริมาณความชื้นในวัสดุเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งแสดงได้หลายรูปแบบขึ้นกับว่าต้องการเปรียบเทียบกับค่าอะไร เช่น

$$MR = \frac{M}{M_e} \quad (2.10)$$

$$MR = \frac{M}{M_o} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (2.12)$$

เมื่อ M = Moisture content ณ เวลาใดๆ

M_o = Moisture content เริ่มต้น

M_e = Moisture content ที่สภาวะสมดุล = EMC

- อัตราการอบแห้ง (Drying rate, R)

เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการระเหยของไอน้ำที่ออกจากวัสดุ แสดงได้หลายรูปแบบ เช่น

- อัตราการอบแห้งต่อพื้นที่

เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นต่อพื้นที่

$$R = -\frac{L_S}{A}\frac{dM}{dt} = \frac{L_S}{A}\frac{\Delta M}{\Delta t} \qquad (2.13)$$

- อัตราการอบแห้งต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง

เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นต่อน้ำหนักของวัสดุแห้ง

$$R = -\frac{dM}{dt} = -\frac{\Delta M}{\Delta t} \qquad (2.14)$$

เมื่อ t = เวลา

L_S = น้ำหนักวัสดุแห้ง

A = พื้นที่สัมผัสระหว่างวัสดุกับอากาศร้อน

(สมการ(2.13) และ (2.14) R จะมีหน่วยไม่เหมือนกัน)

2.1.4 กราฟการอบแห้งและกราฟอัตราการอบแห้ง [10]

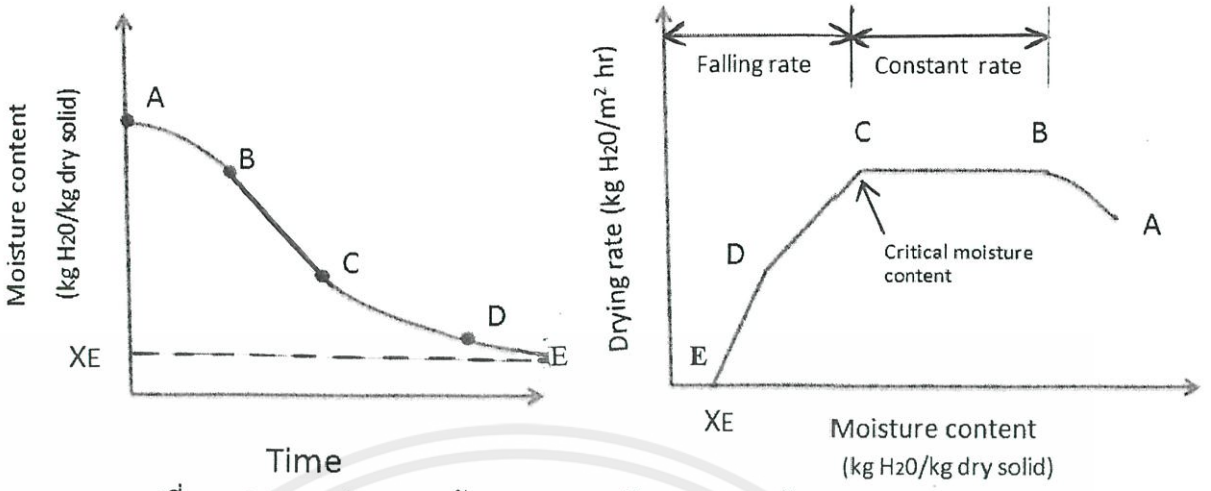
- กราฟการอบแห้ง (Drying curve)

เป็นกราฟแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการอบแห้งระหว่างความชื้นในวัสดุกับเวลาหรือระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา กราฟการอบแห้งสามารถนำไปหาเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้ง ลักษณะของกราฟการอบแห้งแสดงในรูปที่ 2.3 (ก)

- กราฟอัตราการอบแห้ง (Drying rate curve)

เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในวัสดุหรือระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา แสดงในรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งถ้าพิจารณาจากรูปแล้ว สามารถแบ่งเป็น 3 ช่วง ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 (ก) กราฟการอบแห้ง **(ข)** กราฟอัตราการอบแห้ง

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period -AB) เป็นช่วงเริ่มต้นที่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นสูงและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำ เมื่อเริ่มเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิพื้นผิวของผลิตภัณฑ์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสอากาศร้อน ดังนั้นอัตราการทำแห้งจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate) ช่วง AB ในรูปที่ 2.3 (ก), (ข)

2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period-BC) เป็นช่วงที่มีชั้นหรือฟิล์มของน้ำอิสระที่ผิวหน้าของวัสดุหรือน้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าได้เพียงพอที่จะทำให้เกิดเป็นฟิล์มหรือชั้นของน้ำอิสระ ซึ่งมีพฤติกรรมเหมือนน้ำทั่วไปที่มีอัตราการระเหยคงที่ ที่สภาวะคงที่หนึ่งๆ ดังนั้นอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่ ช่วง BC รูปที่ 2.3 (ก), (ข)

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในผลิตภัณฑ์เหลือน้อย การแพร่ไปยังผิวหน้าไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดเป็นฟิล์มหรือชั้นของน้ำอิสระอย่างต่อเนื่องทั้งพื้นผิว พื้นผิวบางส่วนเริ่มแห้งไป ดังนั้นปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปจะลดลง ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง และเมื่อเวลาผ่านไป ผิวหน้าผลิตภัณฑ์แห้งหมด ด้านในผลิตภัณฑ์ก็จะเริ่มแห้งตามมา อุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะการอบแห้งในขณะนั้น ที่สภาวะสมดุลนี้อัตราการอบแห้งเป็นศูนย์

ตำแหน่งสุดท้ายของช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และเป็นตำแหน่งเริ่มของช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า จุดวิกฤต (Critical point) ความชื้นที่ตำแหน่งนี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (Critical moisture content)

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง [10]

การอบแห้งโดยใช้ความร้อน ปริมาณความชื้นที่กลายเป็นไอขึ้นกับอัตราความร้อนที่ได้รับ ความสามารถที่ไอน้ำถ่ายเทออกจากวัสดุขึ้นกับอัตราการถ่ายเทมวล ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการถ่ายเทมวลจะขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พื้นที่การถ่ายเทความร้อนและพื้นที่ถ่ายเทมวล ซึ่งจะขึ้นกับลักษณะและโครงสร้างของวัสดุ
- อุณหภูมิของอากาศร้อน
- ความชื้นในอากาศ
- ความเร็วของอากาศร้อน

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเส้นกราฟของการอบแห้ง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สามารถกำหนดรูปแบบสมการที่เป็นตัวแทนของข้อมูลการทดลองได้ จากงานวิจัยต่างๆ มีผู้เสนอรูปแบบสมการสำหรับกราฟการอบแห้งมากมาย รูปแบบสมการบางส่วนแสดงในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเส้นกราฟการอบแห้ง

Model no.	Model name	Model
1	Newton	MR = exp(-kt)
2	Page	MR = $\exp(-kt^n)$
3	Modified Page	MR = $\exp[-(kt)^n]$
4	Henderson and Pabis	MR = a exp(-kt)
5	Logarithmic	MR = a exp(-kt) + c
6	Two term	MR = a exp($-k_0t$) + b exp($-k_1t$)
7	Two term exponential	MR = a exp(-kt) + (1-a) exp(-kat)
8	Wang and Singh	MR = 1 + at + bt^2
9	Approximation of diffusion	MR = a exp(-kt) + (1-a) exp(-kbt)
10	Verma et al.	MR = a exp(-kt) + (1-a) exp(-gt)
11	Modified Henderson and Pabis	MR = a exp(-kt) + b exp(-kat) + c exp(-ht)
12	Midilli et al.	MR = a $\exp(-kt^m)$ + bt

ในการพิจารณาว่า รูปแบบสมการไหนที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลในการทดลองที่ได้ สามารถพิจารณาจากเทอมทางสถิติ เช่น R^2 (coefficient of determination), RMSE (root mean square error), X^2 (reduce Chi-square) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$X^2 = \frac{\sum_{i=0}^{N}(MR_{pre,i}-MR_{exp,i})^2}{N-n} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N}(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2\right]^{1/2} \quad (2.16)$$

เมื่อ $MR_{pre,i}$ คือ Moisture ratio ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$MR_{exp,i}$ คือ Moisture ratio ที่ได้จากการทดลอง

N คือ จำนวนข้อมูล

n คือ จำนวนค่าคงที่

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะการอบแห้งที่ทำการทดลองเป็นลักษณะการอบแห้งที่เรียกว่า Thin layer drying ซึ่งเป็นการอบแห้งวัสดุที่มีขนาดเล็กหรือมีลักษณะเป็นแผ่นบางหรือเป็นลักษณะการวางในถาดให้กระจายเป็นชั้นเดียวหรือชั้นบางๆ รายละเอียดบางส่วนของงานวิจัยที่มีผู้ทำการทดลองแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของงานวิจัยที่ผ่านมาบางส่วน

วัสดุที่ใช้อบ	อุณหภูมิของอากาศ (°C)	ความเร็วอากาศ (m/s)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	รูปแบบจำลองที่เหมาะสม	เอกสารอ้างอิง
figs.	55, 65, 75, 85	0.5, 1.0, 2.0, 3.0	-	Two terms	[11]
litchi	50, 60,70	0.5	10, 20, 25	Page	[12]
plums	60, 70, 80	1.0, 2.0, 3.0	-	Midilli. et. al.	[13]
nuts	25, 40, 55, 70	0.5, 1.0, 1.5	5, 20	Page	[14]
eggplant	30, 40, 50, 60, 70	0.5, 1.0, 2.0	-	Midilli. et. al.	[15]
potato	60, 70, 80	1.0, 1.5	-	Midilli. et. al.	[16]
apple	60, 70, 80	1.0, 1.5	-	Midilli. et. al.	[16]
pumpkin	60, 70, 80	1.0, 1.5	-	logarithmic	[16]
organic apple	40, 50, 60	0.8	-	Midilli. et. al.	[17]
red pepper	55, 60, 70	1.5	-	Approximation of diffusion	[18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในทดลอง

1. เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer)
2. เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ (Digital Anemometer)
3. เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น (Digital Temperature/Humidity Meter)
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven)
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก
8. แก่นตะวัน

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

1.การเตรียมสภาวะอากาศที่ใช้อบแห้ง

1.1 ปรับปุ่มปรับความเร็วของพัดลมให้ได้ความเร็วอากาศตามที่ต้องการ โดยวัดตรงทางออกของเครื่องอบแห้ง วัดและบันทึกค่าความเร็วของอากาศ

1.2 ปรับปุ่มปรับขดลวดให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิของอากาศมีค่าคงที่ตามที่ต้องการ บันทึกอุณหภูมิ

2. การเตรียมแก่นตะวันแผ่น

2.1 ฝานแก่นตะวันเป็นแผ่นบางๆ

2.2 ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความหนาของแก่นตะวันแต่ละชิ้น และบันทึกค่า

2.3 จัดวางบนถาดตะแกรงให้เต็มถาด

3. การอบแห้ง

3.1 นำถาดที่บรรจุแผ่นแก่นตะวันไปชั่ง บันทึกน้ำหนัก

3.2 นำถาดที่บรรจุแผ่นแก่นตะวันใส่เครื่องอบแห้ง โดยวางบนโครงรองรับ เริ่มจับเวลา

3.3 ทุก 10 นาที อ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออก ชั่งน้ำหนักถาดและทำการทดลองจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

3.4 วัดและบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของอากาศทุก 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เมื่อน้ำหนักคงที่ แยกแผ่นแก่นตะวันออกจากถาดและ

- ชั่งน้ำหนักถาด บันทึกค่า

- นำแผ่นแก่นตะวัน ไปอบที่ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65-70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นแก่นตะวันออกมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า

3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองจะควบคุมค่าอุณหภูมิของอากาศขาเข้าและความเร็วให้คงที่ ซึ่งค่าอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่ใช้ คือ

- อุณหภูมิอากาศขาเข้า เท่ากับ 35, 40, 45, 50 °C
- ความเร็วของอากาศ เท่ากับ 1.0, 1.5, 2.0 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

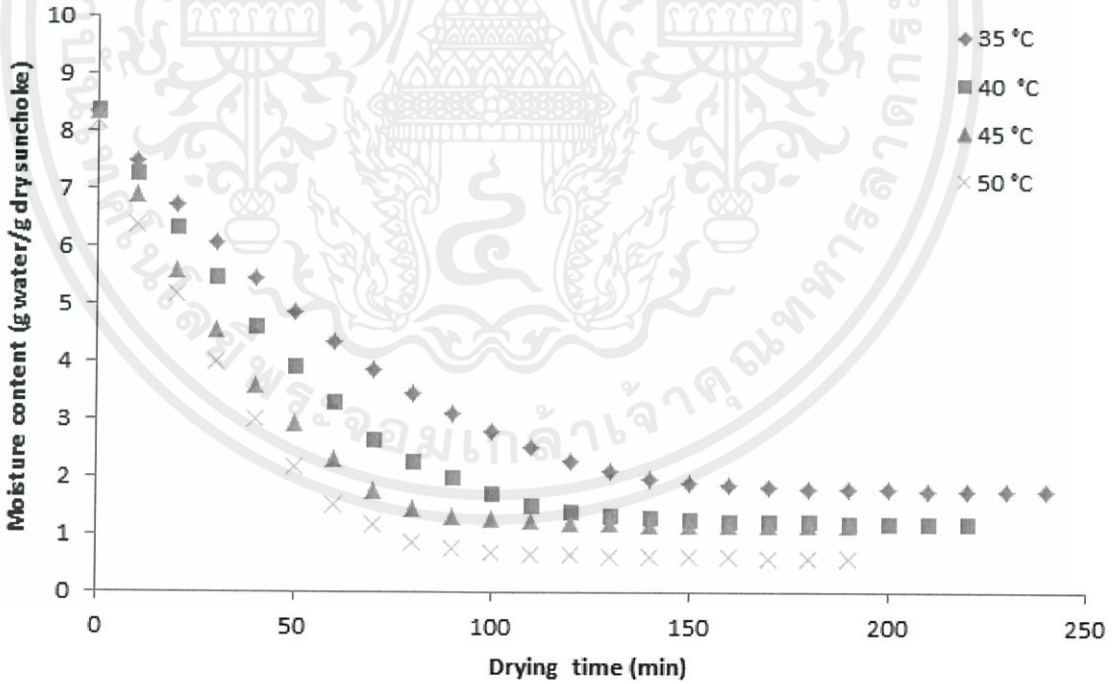
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการอบแห้งแก่นตะวัน แก่นตะวันแผ่นมีความหนาประมาณ 1 mm. อากาศในห้องทดลองมีค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งในช่วง 30.0°C ถึง 31.5 °C อุณหภูมิกระเปาะเปียกอยู่ในช่วง 28.0°C ถึง 29.5 °C

จากผลการทดลอง สามารถคำนวณค่า moisture content และ drying rate ที่เวลาต่างๆ ได้ ซึ่งสามารถนำไปสร้างกราฟการอบแห้งและกราฟอัตราการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ได้

4.1 ผลของอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

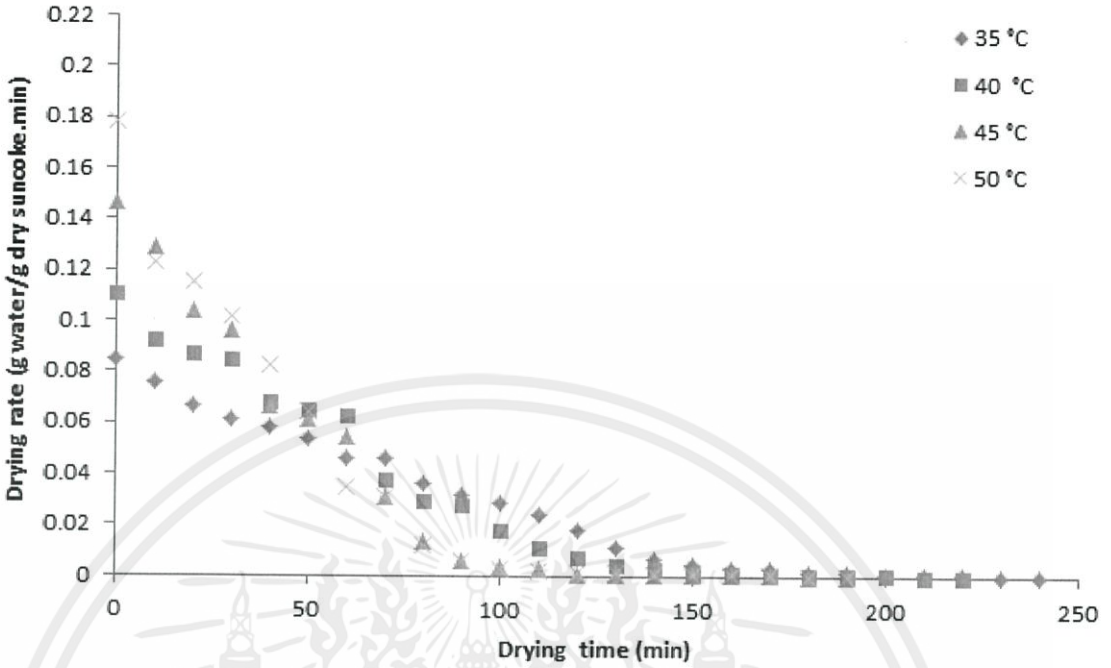
กราฟการอบแห้งและกราฟอัตราการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.0, 1.5, 2.0 m/s แสดงในกราฟรูปที่ 4.1 ถึง 4.3



(ก)

รูปที่ 4.1 (ก) กราฟการอบแห้ง **(ข)** กราฟอัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศที่ 1.0m/s

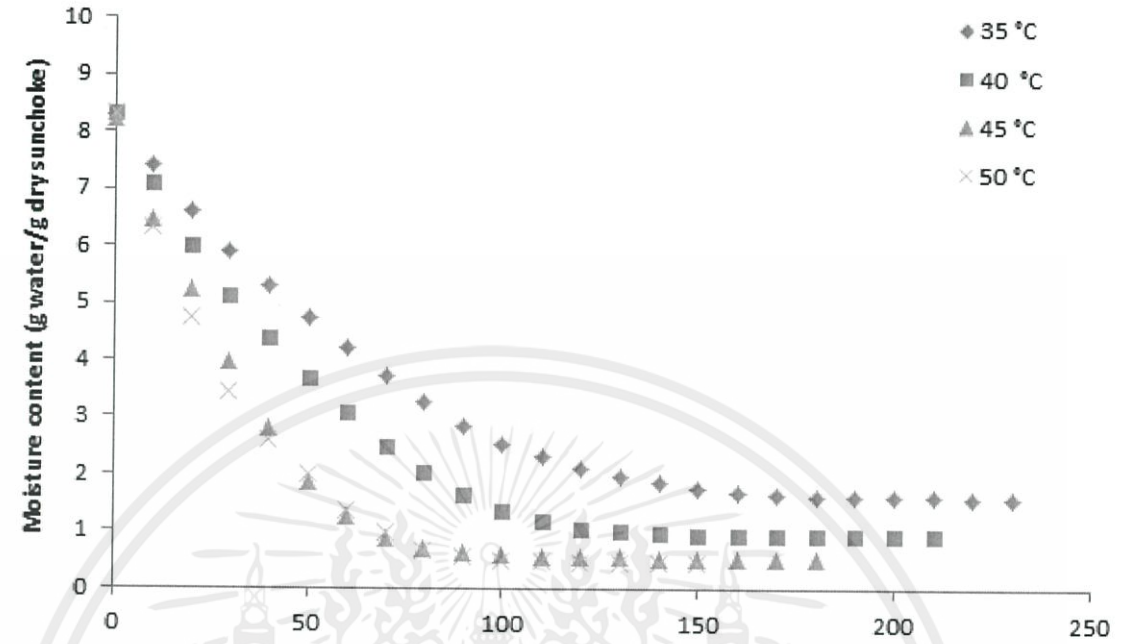
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



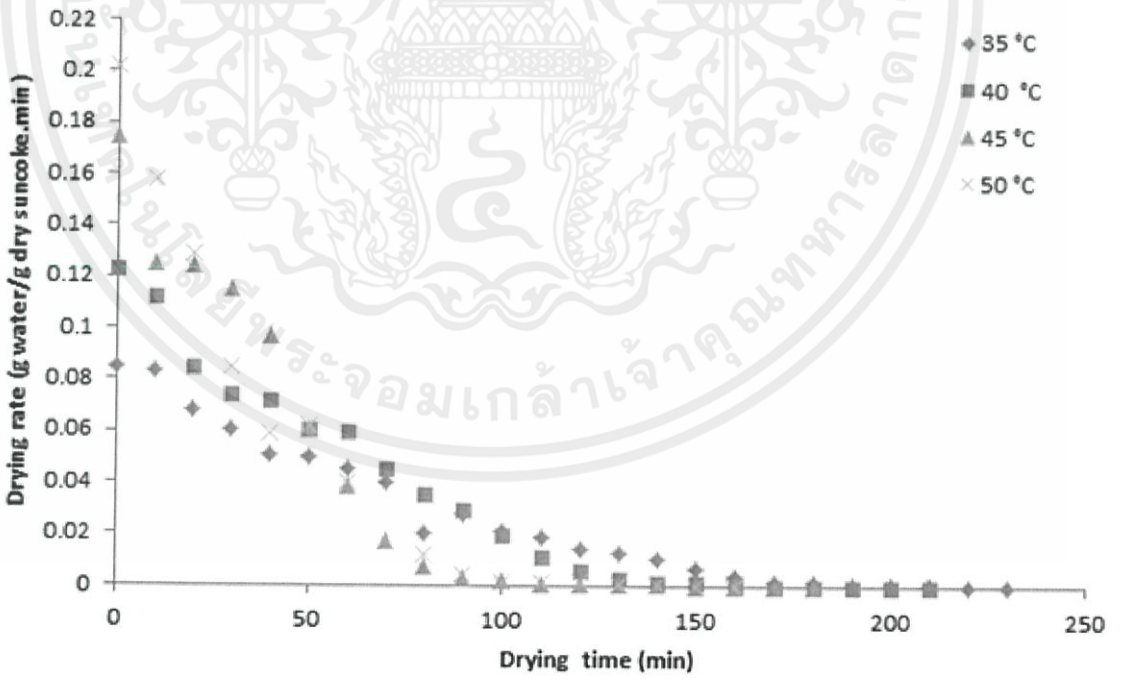
(ข)

รูปที่ 4.1(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



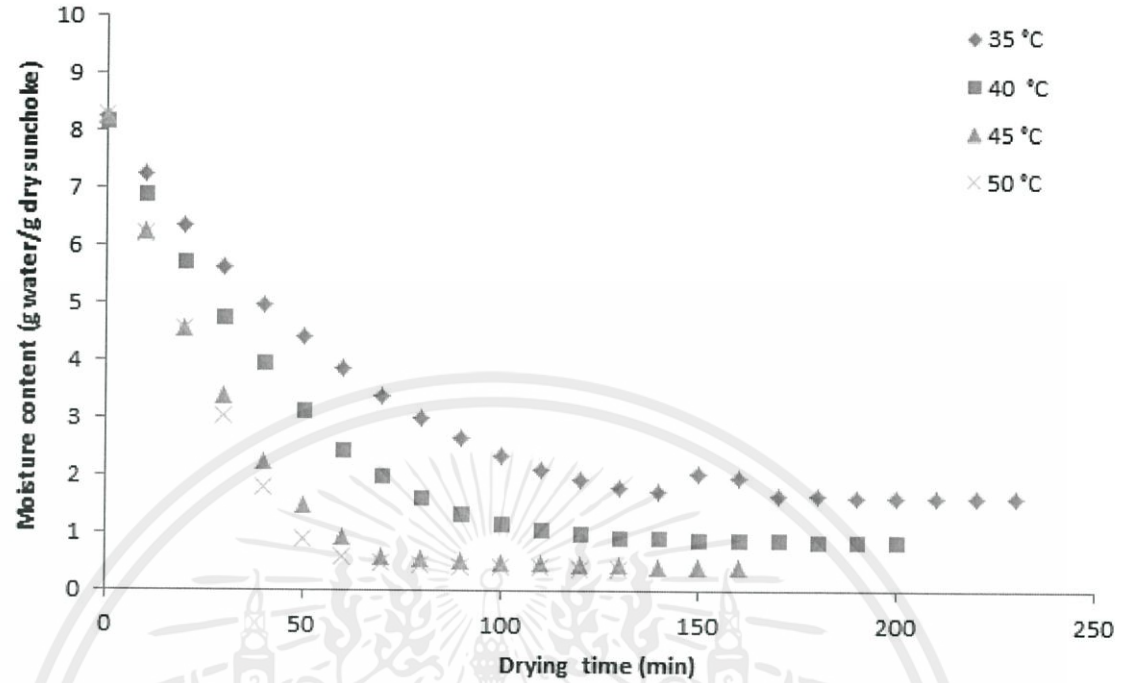
(ก)



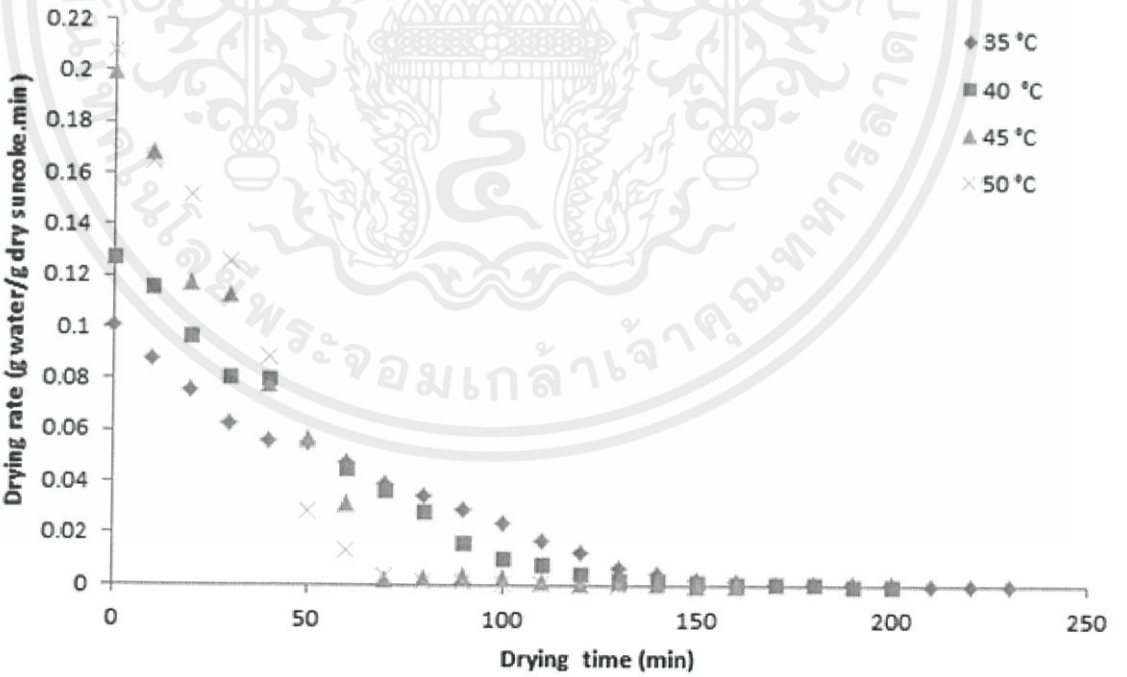
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 (ก) กราฟการอบแห้ง **(ข)** กราฟอัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศที่1.5 m/s



(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 (ก) กราฟการอบแห้ง **(ข)** กราฟอัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศที่ 2.0m/s

พิจารณากราฟการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.0, 1.5, 2.0 m/s รูปที่ 4.1(ก), 4.2(ก), 4.3(ก) พบว่า

- เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแก่นตะวันให้ได้ความชื้นตามต้องการจะน้อยลง

- เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนเข้าสู่สมดุลจะมีค่าน้อยลง

- ที่อุณหภูมิของอากาศสูง ความชันของกราฟการอบแห้ง(ช่วงต้น) จะมีค่าสูง แสดงถึงอัตราการลดลงของความชื้นในแก่นตะวันมีค่าสูง นั่นคือ อัตราการอบแห้งสูง

ที่อุณหภูมิสูง อัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศร้อนไปยังแก่นตะวันมีค่ามาก ทำให้ปริมาณความชื้นที่ระเหยเป็นไอมีค่าสูง ดังนั้นแนวโน้มที่ไอจะเคลื่อนที่ออกจากแก่นตะวันจะมีค่าสูง ทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าสูงด้วย

พิจารณากราฟอัตราการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.0, 1.5, 2.0 m/s รูปที่ 4.1(ข), 4.2(ข), 4.3(ข) พบว่า

- ในช่วงต้นของการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอากาศสูง อัตราการอบแห้งมีค่าสูง

- ช่วงท้าย(ก่อนสมดุล) แนวโน้มจะกลับกับช่วงต้น เป็นเช่นนี้เนื่องจากถ้าช่วงต้นอัตราการอบแห้งสูงมีค่าสูงกว่า ความชื้นจะลดลงเร็วกว่า ทำให้ช่วงท้ายๆ ความชื้นมีค่าต่ำกว่า ทำให้ค่าอัตราการอบแห้งต่ำกว่าที่เวลาเดียว ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าโดยทั่วไป ที่ความชื้นต่ำ ค่าอัตราการอบแห้งจะมีค่าน้อย

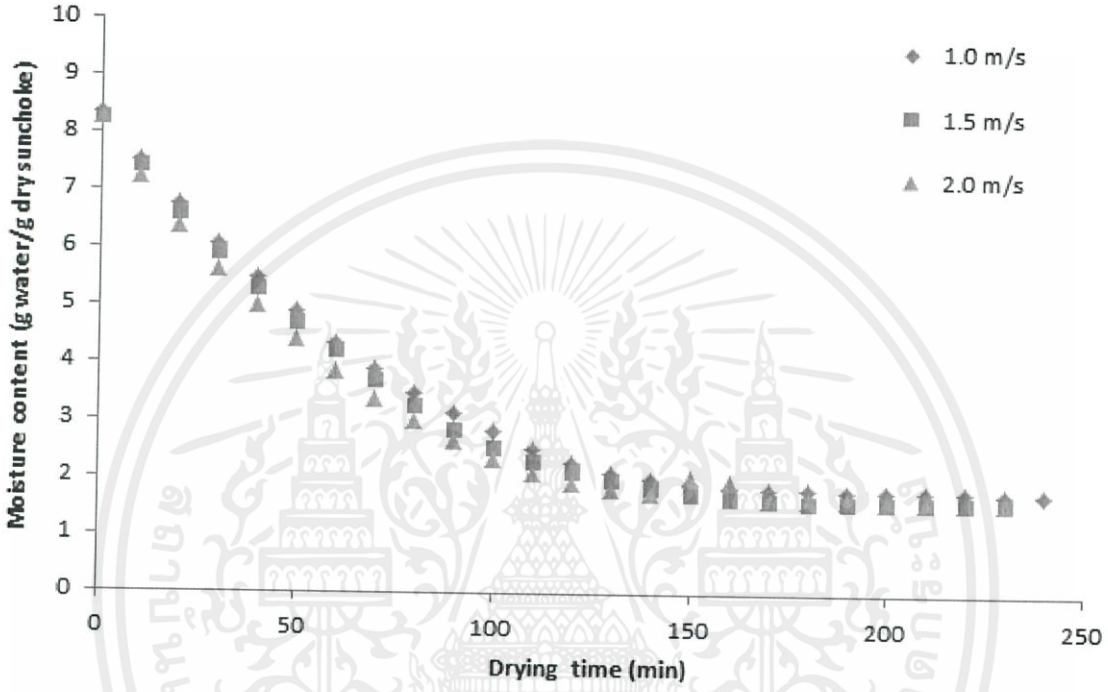
- การอบแห้งมีเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

- ที่ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.5, 2.0 m/s อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 และ 50 °C มีค่าใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากที่สภาวะนี้อัตราการถ่ายเทมวลเป็นตัวกำหนดอัตราการอบแห้ง ดังนั้นถึงแม้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการถ่ายความร้อนมากขึ้น แต่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

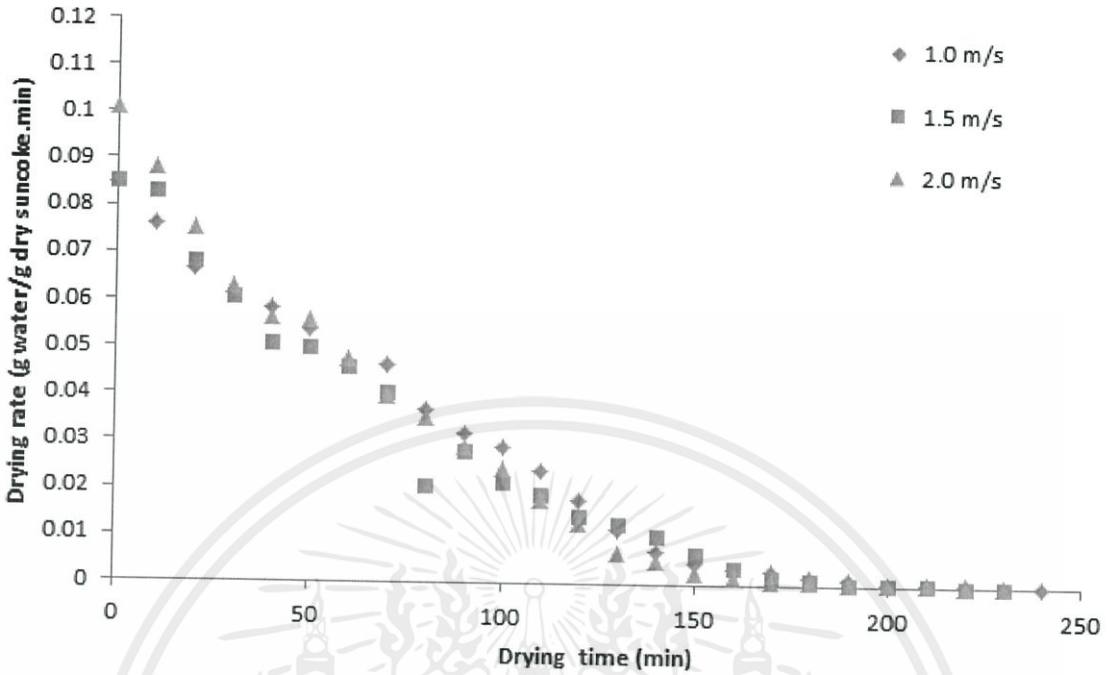
กราฟการอบแห้งและกราฟอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 35, 40, 45,50°C แสดงในรูปที่ 4.4-4.7



(ก)

รูปที่ 4.4 (ก) กราฟการอบแห้ง **(ข)** กราฟอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 35 °C

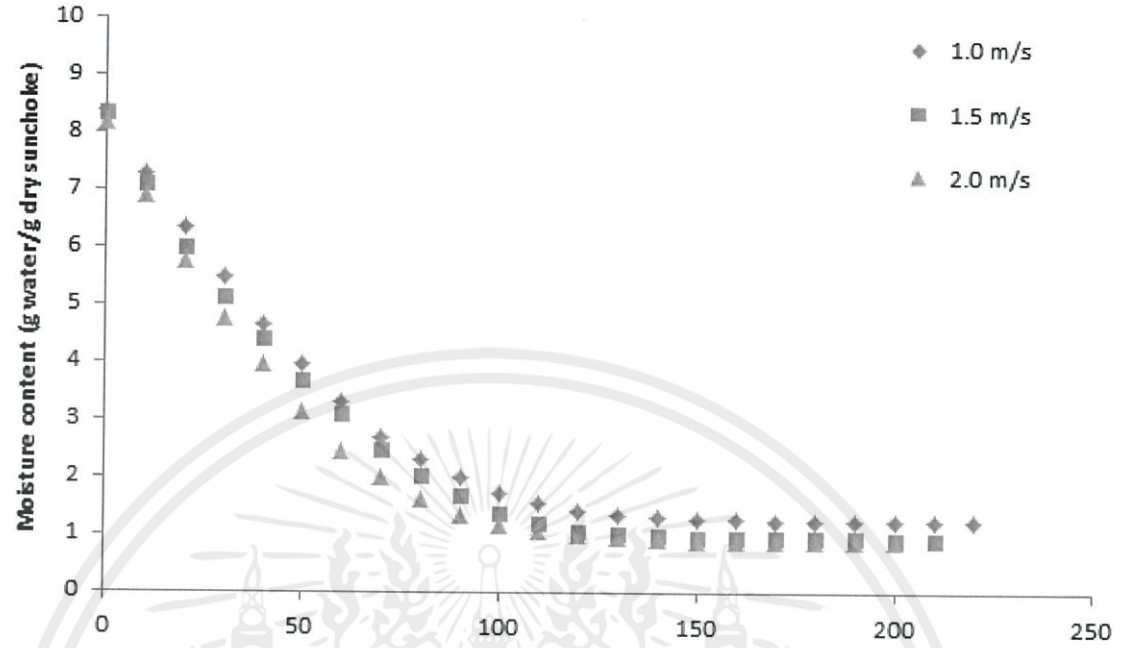
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



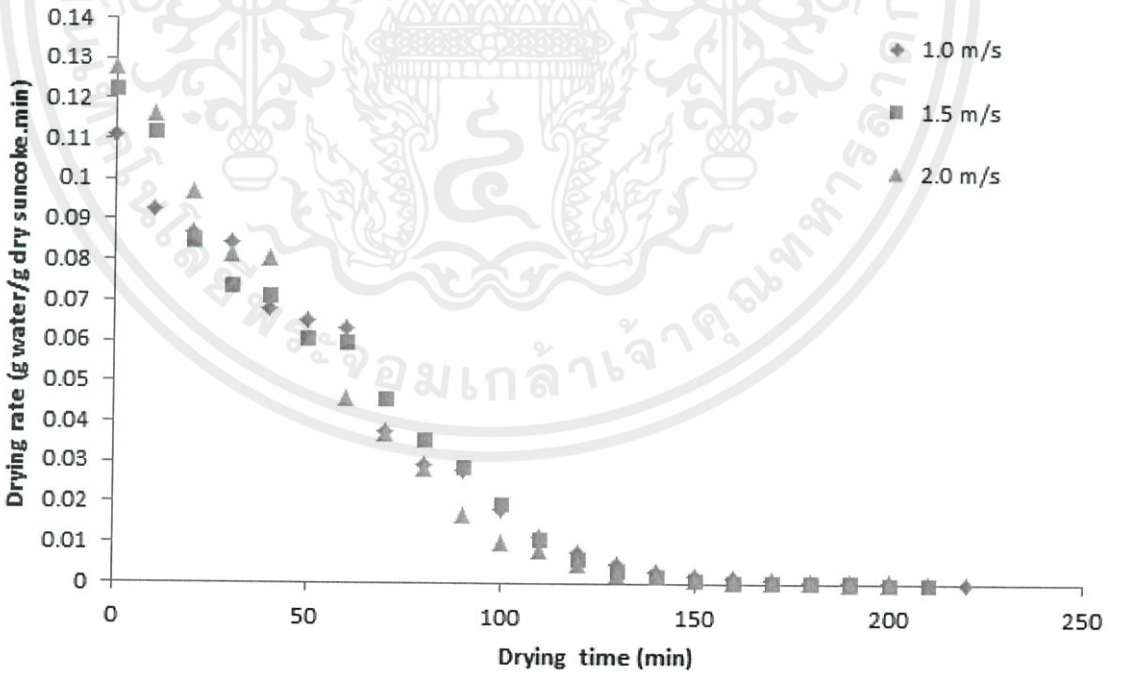
(ข)

รูปที่ 4.4(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



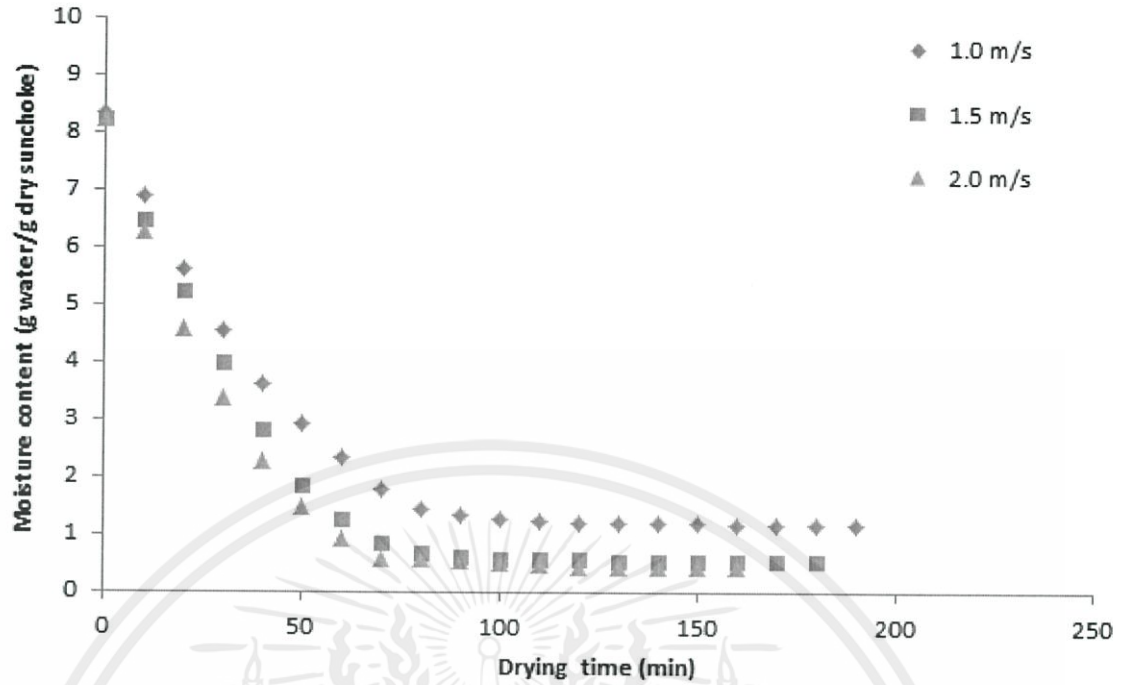
(ก)



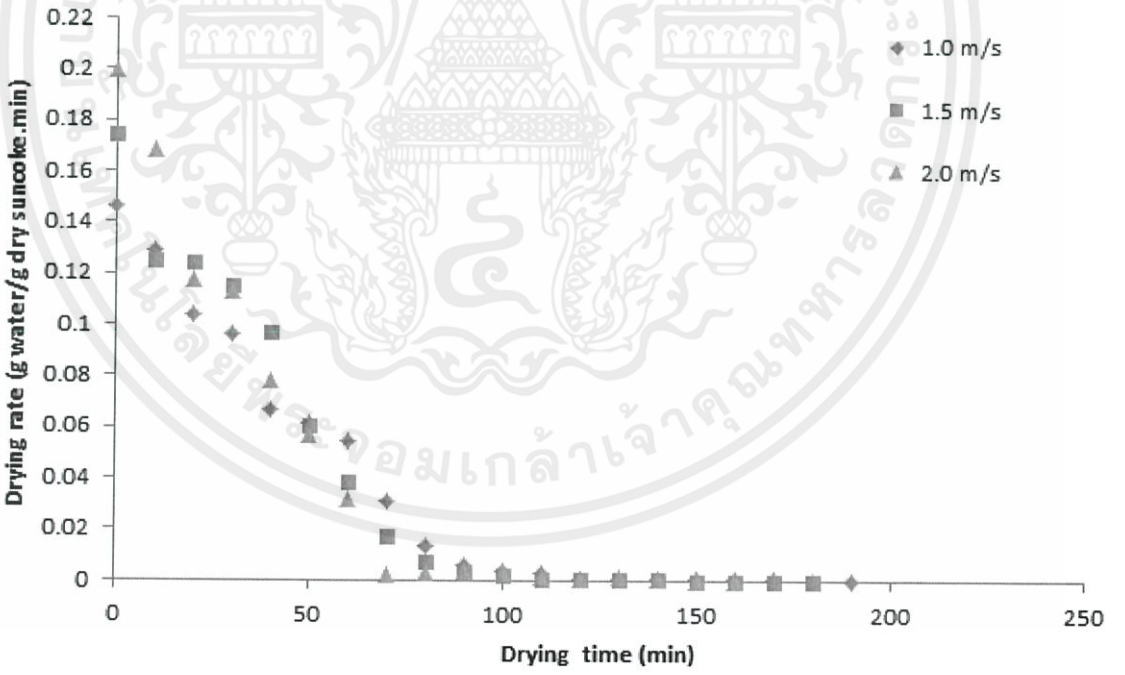
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 (ก) กราฟการอบแห้ง **(ข)** กราฟอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 40 °C



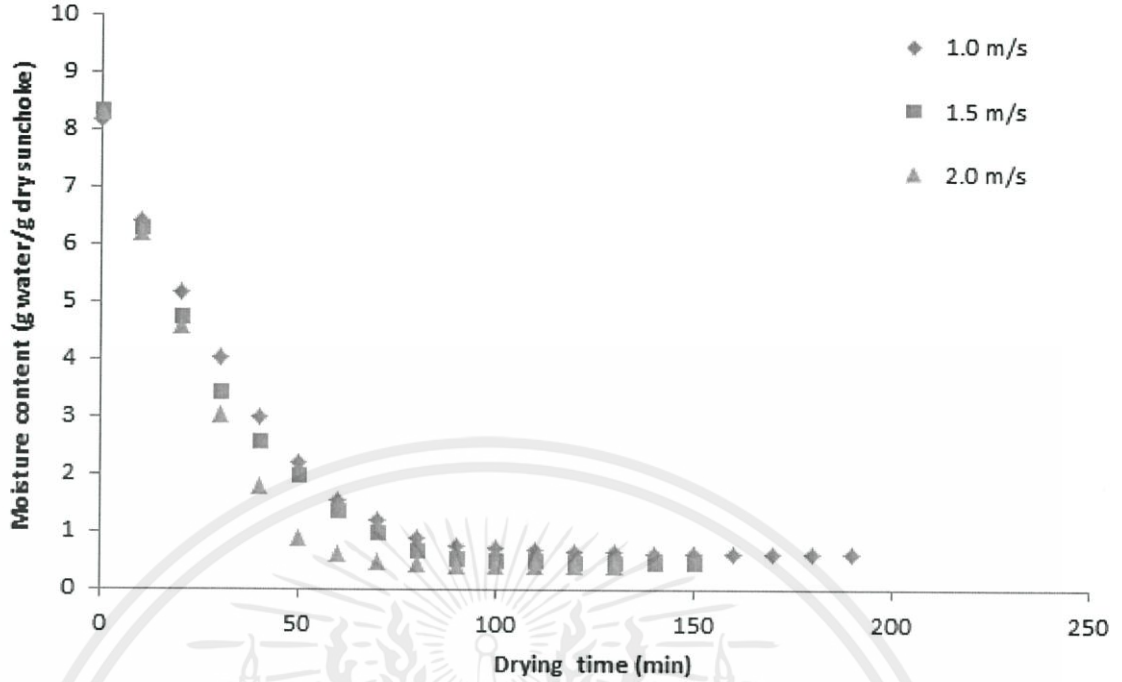
(ก)



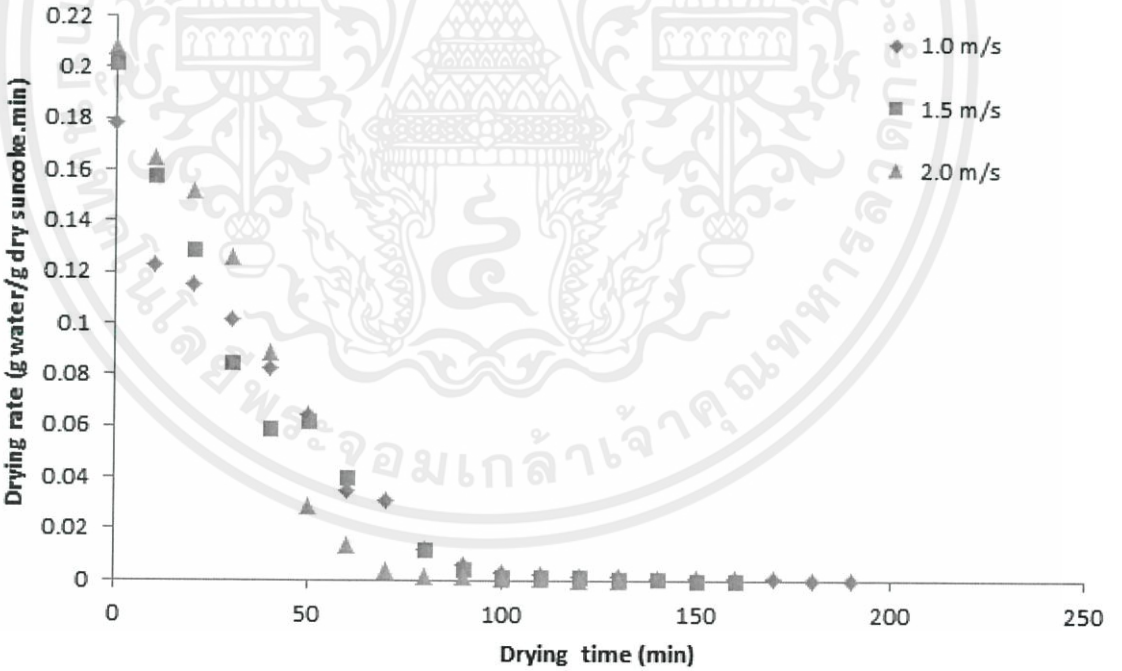
(ข)

รูปที่ 4.6 (ก) กราฟการอบแห้ง **(ข)** กราฟอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 45 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 (ก) กราฟการอบแห้ง **(ข)** กราฟอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณากราฟการอบแห้งที่อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 35, 40, 45, 50°C รูปที่ 4.4(ก), 4.5(ก), 4.6(ก),4.7(ก) พบว่า

- เมื่อความเร็วของอากาศสูงขึ้นเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแก่นตะวันให้ได้ความชื้นตามต้องการจะมีแนวโน้มน้อยลง

- ที่ความเร็วของอากาศสูง ความชันของกราฟการอบแห้ง(ช่วงต้น) จะมีแนวโน้มสูง แสดงถึงอัตราการลดลงของความชื้นในแก่นตะวันมีค่าสูง นั่นคือ อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มสูง

- ในช่วงอุณหภูมิและความเร็วอากาศที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิจะมีผลต่อการอบแห้งมากกว่าความเร็วอากาศ

- ความเร็วอากาศมีผลต่อค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทมวลและความร้อน ถ้าความเร็วอากาศสูงจะส่งผลให้สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูงดังนั้นอัตราการอ่บแห้งจึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น

พิจารณากราฟอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 35, 40, 45, 50°C รูปที่ 4.4(ข), 4.5(ข), 4.6(ข), 4.7(ข) พบว่า

- ในช่วงต้นของการอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศสูง อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มสูงขึ้น

- ช่วงท้าย(ก่อนสมดุล) แนวโน้มจะกลับกับช่วงต้น เป็นเช่นนี้เนื่องจากถ้าช่วงต้นอัตราการอบแห้งสูงมีค่าสูงกว่า ความชื้นจะลดลงเร็วกว่า ทำให้ช่วงท้ายๆ ความชื้นมีค่าต่ำกว่า ทำให้ค่าอัตราการอบแห้งต่ำกว่าที่เวลาเดียว ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าโดยทั่วไป ที่ความชื้นต่ำ ค่าอัตราการอบแห้งจะมีค่าน้อย

- การอบแห้งมีเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

จากการทดลองที่สภาวะต่างๆ ได้ค่าความชื้นสมดุลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความชื้นสมดุลที่สภาวะต่างๆ

g.H_2O/g.dry solid

ความเร็วของอากาศ	อุณหภูมิของอากาศ (°C)			
m/s	35	40	45	50
1.0	1.7585	1.2097	1.1628	0.5900
1.5	1.8735	1.2124	0.5279	0.4054
2.0	1.6106	0.8642	0.4189	0.3876

จากตาราง 4.1 พบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าน้อยลง

4.4 ค่าความชื้นเริ่มต้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนเข้าสู่สมดุล

ค่าความชื้นเริ่มต้นในแก่นตะวันและเวลาในการอบแห้งจนเข้าสู่สมดุลแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความชื้นเริ่มต้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนเข้าสู่สมดุลที่สภาวะต่างๆ

g.H_2O/g.dry solid

ความเร็วของอากาศ	อุณหภูมิของอากาศ (°C)			
m/s	35	40	45	50
1.0	(8.3409) (230)	(8.3707) (210)	(8.3429) (180)	(8.1717) (180)
1.5	(8.2725) (220)	(8.3314) (200)	(8.2095) (170)	(8.3201) (150)
2.0	(8.2437) (220)	(8.1690) (190)	(8.2402) (150)	(8.2809) (120)

จากตารางที่ 4.2 พบว่า

- เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น เวลาในการอบแห้งจนสมดุลมีแนวโน้มลดลง
- เมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น เวลาในการอบแห้งจนสมดุลมีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิของอากาศและความเร็วของอากาศต่อการอบแห้งแก่นตะวัน ในการทดลองจะใช้เครื่องอบแห้งแอบถาดซึ่งเป็นการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน แก่นตะวันที่นำมาทดลองมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 1.1 mm. สภาวะของอากาศในห้องทดลองมีค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งอยู่ในช่วง 30.0 °C ถึง 31.5 °C และมีค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกอยู่ในช่วง 28.0 °C ถึง 29.5 °C

สภาวะของอากาศที่ใช้ในการทดลองคือ อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 35, 40, 45, 50 °C ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.0, 1.5, 2.0 m/s

จากผลการทดลองในช่วงสภาวะต่างๆ ข้างต้น สรุปได้ว่า

1. อุณหภูมิและความเร็วของอากาศ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง
   - เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น การอบแห้งจะใช้เวลาน้อยลง อัตราการอบแห้งสูงขึ้น
   - เมื่อความเร็วของอากาศสูงขึ้น การอบแห้งจะใช้เวลาน้อยลง อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มสูงขึ้น
2. อุณหภูมิมีผลต่อการอบแห้งมากกว่าความเร็วของอากาศ
3. ค่าความชื้นเริ่มต้นของแก่นตะวันที่นำมาใช้ในการทดลองอยู่ระหว่าง 8.1690 ถึง 8.3429 g.H_2O/g.dry solid
4. ค่าความชื้นสมดุลของแก่นตะวันอยู่ระหว่าง 0.3876 ถึง 1.7585 g.H_2O/g.dry solid ซึ่งจะเห็นว่า อุณหภูมิจะมีผลต่อค่าความชื้นสมดุลค่อนข้างมาก
5. ค่าความชื้นสมดุลจะขึ้นกับอุณหภูมิ
6. มีเฉพาะช่วงการอบแห้งลดลง ไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สนั่น จอกลอย, วีรยา ลาดบัวขาว และรัชนก มีแก้ว. แก่นตะวัน: **พืชชนิดใหม่ใช้เป็นพลังงานทดแทน**. แก่นเกษตร. 34 (2) : 104 – 111

[2] นิมิต วรสูต และสนั่น จอกลอย. **อินนูลิน: สาระสำคัญสำหรับสุขภาพในแก่นตะวัน.** แก่นเกษตร. 34 (2) : 85 – 91, 2549.

[3] วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. **อุปกรณ์อบแห้งในอุตสากรรม.** กรุงเทพมหานคร : โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2525.

[4] สมบัติ ขอทวีวัฒนา. **การพัฒนากรรมวิธีการผลิต ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร.** กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2527.

[5] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท.** กรุงเทพมหานคร : โครงการส่งเสริมการสร้างตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2540.

[6] McCabe, W.L., Smith, J. C., and Harriott, P., Unit Operations of Chemical Engineering, 5th ed., McGraw-Hill, Singapore, 1993.

[7] Christie John Geankoplis, Transport Processes and Separation Process Principles, 4th ed., Pearson Prentice Hall, 2003.

[8] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. **การปรับความชื้นและการระบายความร้อน.** [Online]. Available : http://www.ic.kmutnb.ac.th/webpage/subject/handout/Unit.

[9] R.E. Treybal, Mass-Transfer Operations, 3rd ed. New York : MaGraw-Hill Book Company, 1980.

[10] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และเกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. **อัตราการทำแห้ง.** [Online]. Available : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate.

[11] Babalis, S. J., Papanicolaou., E., Kyriakis, N. and Belessiotis, V.G., **Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (Ficus carica).** Journal of food Engineering, 75, 250-214, 2006.

[12] Janjai, S., Precoppe, M. Lamlert, N., Mahayothee, B., Bala, B.K., Nagle, M. and Muller, J., **Thin-layer drying of litchi (Litchi chinensis Sonn.).** Food and Bioproducts Processing, 89, 194-201, 2011.

[13] Menges, H.O. and Ertekin, C., **Thin layer drying model for treated and untreated Standley plums.** Energy Conversion and Management, 47, 2337-2348, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] Kashaninejad, M., Mortagavi, A., Safekordi, A. and Tabil, L. G., **Thin-layer drying charateristics and modeling of pistachio nuts.** Journal of Food Engineering, 78, 98-108, 2007.

[15] Ertekin, C. and Yaldig, O., **Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model.** Journal of Food Engineering, 63, 349-359, 2004.

[16] Akpinar, E.K., **Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetable and friuits.** Journal of Food Engineering, 73, 75-84 2006.

[17] Sacilik, K. and Elicin, A.K., **The thin layer drying characteristic of organic apple slices.** Journal of Food Engineering, 73, 281-289, 2006.

[18] Akpinar, E.K., Bicer, Yildig, C., **Thin layer drying of red pepper.** Journal of Food Engineering, 59, 99-104, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองการอบแห้งแก่นตะวัน ที่สภาวะต่าง ๆ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 35 °C ความเร็วอากาศ 1 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.33	35.0	34.5	30.5	28.5
10	157.35	35.0	34.5		
20	154.67	35.0	34.5		
30	152.33	35.5	35.0	31.0	29.0
40	150.17	35.5	35.0		
50	148.22	35.5	35.0		
60	146.23	35.0	34.5	31.0	29.0
70	144.58	35.0	34.5		
80	143.15	35.0	34.5		
90	141.93	35.5	35.0	31.5	29.5
100	140.81	35.5	35.0		
110	139.79	35.0	34.5		
120	138.95	35.0	34.5	31.5	29.5
130	138.32	35.0	34.5		
140	137.91	35.5	35.0		
150	137.65	35.5	35.0	31.5	29.5
160	137.51	35.0	34.5		
170	137.40	35.0	34.5		
180	137.32	35.0	34.5	31.5	29.5
190	137.26	35.0	34.5		
200	137.22	35.5	35.0		
210	137.20	35.5	35.0	31.0	29.0
220	137.18	35.0	34.5		
230	137.16	35.0	34.5		
240	137.16	35.5	35.0	31.5	29.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.52 g

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 °C ความเร็วอากาศ 1 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.06	40.0	39.5	30.0	29.0
10	150.20	40.0	39.5		
20	152.98	40.0	39.5		
30	149.96	40.5	40.0	31.5	29.5
40	147.02	40.5	40.0		
50	144.65	40.0	39.5		
60	142.38	40.0	39.5	31.5	29.5
70	140.18	40.0	39.5		
80	138.87	40.0	39.5		
90	137.85	39.5	39.0	31.5	29.5
100	136.88	39.5	39.0		
110	136.25	40.0	39.5		
120	135.85	40.0	39.5	30.0	29.0
130	135.58	40.0	39.5		
140	135.42	40.5	40.0		
150	135.32	40.5	40.0	30.0	29.0
160	135.26	40.5	40.0		
170	135.21	40.5	40.0		
180	135.18	40.5	40.0	31.5	29.5
190	135.16	40.5	40.0		
200	135.15	40.0	39.5		
210	135.14	40.0	39.5	31.5	29.5
220	135.14	40.5	40.0		

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.48 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 45 °C ความเร็วอากาศ 1 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.15	45.0	44.5	31.5	29.5
10	155.02	45.0	44.5		
20	150.95	45.5	45.0		
30	146.88	45.5	45.0	31.0	29.0
40	143.88	45.5	45.0		
50	141.19	45.0	44.5		
60	139.05	45.0	44.5	31.5	29.5
70	137.11	45.0	44.5		
80	136.02	45.0	44.5		
90	135.55	45.5	45.0	31.5	29.5
100	135.34	45.5	45.0		
110	135.22	45.0	44.5		
120	135.12	45.0	44.5	31.5	29.5
130	135.12	45.0	44.5		
140	135.09	45.0	44.5		
150	135.07	45.0	44.5	31.0	29.0
160	135.05	44.5	44.0		
170	135.03	44.5	44.0		
180	135.02	44.5	44.0	31.0	29.0
190	135.02	44.5	44.0		

- ความหนาแน่นเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.50 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองที่อุณหภูมิอากาศ 50°C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.56	50.0	49.5	30.5	28.5
10	154.12	50.0	49.5		
20	149.69	50.0	49.5		
30	145.54	50.0	49.5	30.5	28.5
40	141.88	50.5	50.0		
50	138.91	50.5	50.0		
60	136.58	50.0	49.5	31.0	29.0
70	135.32	49.5	49.0		
80	134.21	49.5	49.0		
90	133.78	49.5	49.0	31.5	29.5
100	133.57	50.0	50.0		
110	133.46	50.0	50.0		
120	133.37	50.5	50.0	31.5	29.5
130	133.32	50.5	50.0		
140	133.28	50.5	50.0		
150	133.25	50.5	50.0	31.5	29.5
160	133.23	50.0	49.5		
170	133.21	49.5	49.0		
180	133.19	49.5	49.0	31.0	29.0
190	133.19	49.5	49.0		

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแผ่นแห้ง 3.61 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 35 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.46	35.0	34.5	31.5	29.5
10	157.43	35.0	34.5		
20	154.47	35.0	34.5		
30	152.02	35.0	34.5	31.5	29.5
40	149.85	35.0	34.5		
50	147.82	35.5	35.0		
60	146.01	35.5	35.0	31.5	29.5
70	144.22	35.5	35.0		
80	142.59	35.0	34.5		
90	141.15	35.0	34.5	31.0	29.0
100	140.05	35.0	34.5		
110	139.22	35.0	34.5		
120	138.55	35.0	34.5	31.0	29.0
130	138.03	35.0	34.5		
140	137.58	35.0	34.5		
150	137.21	35.5	35.0	30.5	28.5
160	136.97	35.5	35.0		
170	136.84	35.5	35.0		
180	136.78	35.5	35.0	31.0	28.5
190	136.74	35.0	34.5		
200	136.72	35.0	34.5		
210	136.70	35.0	34.5	31.5	29.5
220	136.68	35.5	35.0		
230	136.68	35.5	35.0		

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.56 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองที่อุณหภูมิอากาศ 40 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.39	40.0	39.5	30.5	28.5
10	156.06	40.0	39.5		
20	152.11	40.5	40.0		
30	149.12	40.5	40.0	30.0	28.0
40	146.51	40.0	39.5		
50	143.98	40.0	39.5		
60	141.83	40.0	39.5	30.5	28.5
70	139.72	40.0	39.5		
80	138.11	40.0	39.5		
90	136.85	40.0	39.5	31.0	29.0
100	135.82	39.5	39.0		
110	135.13	39.5	39.0		
120	134.74	40.0	39.5	31.0	29.0
130	134.52	40.0	39.5		
140	134.41	40.0	39.5		
150	134.35	40.0	39.5	31.0	29.0
160	134.31	40.0	39.5		
170	134.29	40.5	40.0		
180	134.28	40.5	40.0	31.5	29.5
190	134.27	40.5	40.0		
200	134.26	40.5	40.0		
210	134.26	40.5	40.0	31.5	29.5

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.53 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 45 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.42	40.0	39.5	31.5	29.5
10	154.18	40.0	39.5		
20	149.71	40.0	39.5		
30	145.25	39.5	40.0	31.5	29.5
40	141.12	40.0	39.5		
50	137.54	40.0	39.5		
60	135.48	40.0	39.5	31.5	29.5
70	134.11	40.5	40.0		
80	133.48	40.5	40.0		
90	133.22	40.5	40.0	31.0	29.0
100	133.11	40.0	39.5		
110	133.04	40.0	39.5		
120	133.01	39.5	39.0	31.5	29.5
130	132.98	40.0	39.5		
140	132.96	40.0	39.5		
150	132.94	40.0	39.5	31.5	29.5
160	132.93	40.0	39.5		
170	132.92	39.5	39.0		
180	132.92	39.5	39.0	31.0	29.0

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.55 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.35	50.0	49.5	31.5	29.5
10	153.24	50.0	49.5		
20	147.68	50.0	49.5		
30	143.12	49.5	49.0	31.5	29.5
40	140.11	49.5	49.0		
50	138.03	50.0	49.5		
60	135.84	50.0	49.5	31.5	29.5
70	134.42	50.5	50.0		
80	133.35	50.5	50.0		
90	132.92	50.0	49.5	31.0	29.0
100	132.75	50.0	49.5		
110	132.69	50.0	49.5		
120	132.65	49.5	49.0	31.0	29.0
130	132.61	49.5	49.0		
140	132.59	49.5	49.0		
150	132.57	50.0	49.5	30.0	29.0
160	132.57	50.0	49.5		

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแผ่นแห้ง 3.57 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 35 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.45	35.0	34.5	31.0	29.0
10	156.85	35.0	34.5		
20	153.71	35.0	34.5		
30	151.02	35.5	35.0	31.0	29.0
40	148.78	35.5	35.0		
50	146.77	35.5	35.0		
60	144.79	35.5	35.0	30.5	28.5
70	143.08	35.0	34.5		
80	141.67	35.0	34.5		
90	140.42	35.0	34.5	30.5	28.5
100	139.38	35.0	34.5		
110	138.51	35.0	34.5		
120	137.88	35.0	34.5	31.0	29.0
130	137.43	35.5	35.0		
140	137.19	35.5	35.0		
150	137.02	35.5	35.0	31.0	29.0
160	136.93	35.5	35.0		
170	136.88	35.0	34.5		
180	136.85	35.0	34.5	31.5	29.5
190	136.85	35.0	34.5		
200	136.80	35.5	35.0		
210	136.80	35.5	35.0	31.5	29.5
220	136.78	35.0	34.5		
230	136.77	35.0	34.5		
240	136.77	35.0	34.5	31.5	29.5

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแผ่นแห้ง 3.57 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.55	40.0	39.5	31.5	29.5
10	155.94	40.0	39.5		
20	151.75	40.0	39.5		
30	148.24	40.0	39.5	31.5	29.5
40	145.30	40.0	39.5		
50	142.39	40.0	39.5		
60	139.90	40.5	40.0	31.5	29.5
70	138.25	40.5	40.0		
80	136.91	40.0	39.5		
90	135.88	40.0	39.5	31.0	29.0
100	135.27	40.5	40.0		
110	134.90	40.5	40.0		
120	134.61	40.5	40.0	30.5	28.5
130	134.44	40.5	40.0		
140	134.35	40.5	40.0		
150	134.28	40.0	39.5	31.5	29.5
160	134.24	40.0	39.5		
170	134.24	40.0	39.5		
180	134.20	40.5	40.0	31.5	29.5
190	134.18	40.5	40.0		
200	134.18	40.5	40.0		

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.61 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 45 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.53	45.0	44.5	31.5	29.5
10	160.39	45.0	44.5		
20	147.13	45.0	44.5		
30	143.13	45.5	45.0	31.5	29.5
40	139.08	45.5	45.0		
50	136.29	45.0	44.5		
60	136.25	45.0	44.5	31.5	29.5
70	133.11	45.0	44.5		
80	133.02	45.0	44.5		
90	132.91	45.5	45.0	31.0	29.0
100	132.79	45.5	45.0		
110	132.68	45.0	44.5		
120	132.62	45.0	44.5	31.5	29.5
130	132.59	45.5	45.0		
140	132.55	45.5	45.0		
150	132.53	45.0	44.5	31.0	29.0
160	132.53	45.0	44.5		

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.58 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
0	160.19	50.0	49.5	30.5	28.5
10	153.08	50.0	49.5		
20	147.22	50.0	49.5		
30	141.81	50.5	50.0	31.0	29.0
40	137.32	50.5	50.0		
50	134.15	50.0	49.5		
60	133.12	50.0	49.5	30.5	28.5
70	132.65	50.0	49.5		
80	132.53	50.0	49.5		
90	132.48	50.0	49.5	30.5	28.5
100	132.44	50.0	49.5		
110	132.41	50.5	50.0		
120	132.39	50.5	50.0	31.0	28.0
130	132.39	50.5	50.0		

- ความหนาเฉลี่ยของแก่นตะวันแผ่น 1.1 mm.
- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.56 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลที่ได้จากการคำนวณ

จากข้อมูลการทดลองจะนำมาคำนวณ Moisture content, Moisture ratio และ Drying rate ซึ่งจะนำไปสร้างกราฟการอบแห้งและกราฟอัตราการอบแห้ง

ตารางที่ ข.1 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 35 °C ความเร็วอากาศ 1 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.33	8.3409	1.0000	0.0847
10	157.35	7.4943	0.8714	0.0761
20	154.67	6.7330	0.7557	0.0665
30	152.33	6.0682	0.6547	0.0614
40	150.17	5.4545	0.5615	0.0582
50	148.22	4.8722	0.4730	0.0537
60	146.23	4.3352	0.3915	0.0469
70	144.58	3.8665	0.3202	0.0406
80	143.15	3.4602	0.2585	0.0347
90	141.93	3.1136	0.2059	0.0318
100	140.81	2.7955	0.1575	0.0290
110	139.79	2.5057	0.1135	0.0239
120	138.95	2.2670	0.0773	0.0179
130	138.32	2.0881	0.0501	0.0116
140	137.91	1.9716	0.0324	0.0074
150	137.65	1.9034	0.0212	0.0040
160	137.51	1.8580	0.0151	0.0031
170	137.40	1.8267	0.0104	0.0023
180	137.32	1.8040	0.0069	0.0017
190	137.26	1.7869	0.0043	0.0011
200	137.22	1.7756	0.0026	0.0006
210	137.20	1.7699	0.0017	0.0006
220	137.18	1.7642	0.0009	0.0006
230	137.16	1.7585	0.0000	0.0000
240	137.16	1.7685	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.52 g

ตารางที่ ข.2 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 40 °C ความเร็วอากาศ 1 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.06	8.3707	1.0000	0.1109
10	156.20	7.2615	0.8451	0.0925
20	152.98	6.3362	0.7159	0.0868
30	149.96	5.4684	0.5947	0.0845
40	147.02	4.6236	0.4767	0.0681
50	144.65	3.9425	0.3816	0.0652
60	142.38	3.2902	0.2905	0.0632
70	140.18	2.6580	0.2022	0.0376
80	138.87	2.2816	0.1497	0.0293
90	137.85	1.9885	0.1087	0.0279
100	136.88	1.7098	0.0698	0.0181
110	136.25	1.5587	0.0445	0.0115
120	135.85	1.4138	0.0285	0.0078
130	135.58	1.3362	0.0177	0.0046
140	135.42	1.2902	0.0112	0.0029
150	135.32	1.2615	0.0072	0.0017
160	135.26	1.2443	0.0048	0.0014
170	135.21	1.2299	0.0028	0.0009
180	135.18	1.2213	0.0016	0.0006
190	135.16	1.2155	0.0008	0.0003
200	135.15	1.2126	0.0004	0.0003
210	135.14	1.2098	0.0000	0.0000
220	135.14	1.2098	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.48 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 45 °C ความเร็วอากาศ 1 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.15	8.3429	1.0000	0.1456
10	155.02	6.8771	0.7959	0..1289
20	150.51	5.5886	0.6164	0.1037
30	146.88	4.5514	0.4719	0.0960
40	143.52	3.5914	0.3382	0.0666
50	141.19	2.9257	0.2455	0.0611
60	139.05	2.3143	0.1604	0.0554
70	137.11	1.7600	0.0832	0.0311
80	136.02	1.4486	0.0398	0.0134
90	135.55	1.3143	0.0211	0.0060
100	135.34	1.2543	0.0127	0.0034
110	135.22	1.2200	0.0080	0.0029
120	135.15	1.2000	0.0052	0.0009
130	135.12	1.1914	0.0040	0.0009
140	135.09	1.1829	0.0028	0.0006
150	135.07	1.1771	0.0020	0.0006
160	135.05	1.1714	0.0012	0.0006
170	135.03	1.1657	0.0004	0.0003
180	135.02	1.1629	0.0000	0.0000
190	135.02	1.1629	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.50 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วอากาศ 1 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.56	8.1717	1.0000	0.1784
10	154.12	6.3878	0.7647	0.1227
20	149.69	5.1607	0.6029	0.1150
30	145.54	4.0111	0.4512	0.1014
40	141.88	2.9972	0.3175	0.0823
50	138.91	2.1745	0.2090	0.0645
60	136.58	1.5291	0.1239	0.0349
70	135.32	1.1801	0.0778	0.0907
80	134.21	0.8726	0.0373	0.0119
90	133.78	0.7535	0.0216	0.0058
100	133.57	0.6953	0.0139	0.0030
110	133.46	0.6648	0.0099	0.0025
120	133.37	0.6399	0.0066	0.0014
130	133.32	0.6260	0.0048	0.0011
140	133.28	0.6150	0.0033	0.0008
150	133.25	0.6066	0.0022	0.0006
160	133.23	0.6011	0.0015	0.0006
170	133.21	0.5956	0.0007	0.0006
180	133.19	05900	0.0000	0.0000
190	133.19	0.5900	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.61 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 35 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.46	8.2725	1.0000	0.0851
10	157.43	7.4213	0.8726	0.0831
20	154.47	6.5899	0.7481	0.0688
30	152.02	5.9017	0.6451	0.0610
40	149.85	5.2921	0.05538	0.0570
50	147.82	4.7219	0.4685	0.0508
60	146.01	4.2135	0.3923	0.0503
70	144.22	3.7107	0.3171	0.0458
80	142.59	3.2528	0.2485	0.0404
90	141.15	2.8483	0.1880	0.0309
100	140.05	2.5393	0.1417	0.0233
110	139.22	2.3062	0.1068	0.0188
120	138.55	2.1180	0.0786	0.0146
130	138.03	1.9719	0.0568	0.0126
140	137.58	1.8455	0.0378	0.0104
150	137.21	1.7416	0.0223	0.0067
160	136.97	1.6742	0.0122	0.0037
170	136.84	1.6376	0.0067	0.0017
180	136.78	1.6208	0.0042	0.0011
190	136.74	1.6096	0.0025	0.0006
200	136.72	1.6039	0.0017	0.0006
210	136.70	1.5983	0.0008	0.0006
220	136.68	1.5927	0.0000	0.0000
230	136.68	1.5927	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.56 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 40 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.39	8.3314	1.0000	0.1227
10	156.06	7.1048	0.8343	0.1119
20	152.11	5.9858	0.6831	0.0847
30	149.12	5.1388	0.5687	0.0739
40	146.51	4.3994	0.4688	0.0717
50	143.98	3.6827	0.3720	0.0609
60	141.83	3.0737	0.2897	0.0598
70	139.72	2.4759	0.2090	0.0456
80	138.11	2.0198	0.1473	0.0357
90	136.85	1.6629	0.0991	0.0292
100	135.82	1.3711	0.0597	0.0195
110	135.13	1.1756	0.0333	0.0110
120	134.74	1.0652	0.0184	0.0062
130	134.52	1.0028	0.0099	0.0031
140	134.41	0.9717	0.0057	0.0017
150	134.35	0.9547	0.0034	0.0011
160	134.31	0.9433	0.0019	0.0006
170	134.29	0.9377	0.0011	0.0003
180	134.28	0.9348	0.0008	0.0003
190	134.27	0.9320	0.0004	0.0003
200	134.26	0.9292	0.0000	0.0000
210	134.26	0.9292	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.53 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 45 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content (g.H_2O/g.dry solid)	Moisture ratio	Drying rate (g.H_2O/(g.dry solid)(min))
0	160.42	8.2095	1.0000	0.1743
10	154.18	6.4665	0.7731	0.1249
20	149.71	5.2179	0.6105	0.1246
30	145.25	3.9721	0.4484	0.1154
40	141.12	2.8184	0.2982	0.1000
50	137.54	1.8184	0.1680	0.0575
60	135.48	1.2430	0.0931	0.0383
70	134.11	0.8603	0.0433	0.0176
80	133.48	0.6844	0.0204	0.0073
90	133.22	0.6117	0.0109	0.0031
100	133.11	0.5810	0.0069	0.0020
110	133.04	0.5615	0.0044	0.0008
120	133.01	0.5531	0.0033	0.0008
130	132.98	0.5447	0.0022	0.0006
140	132.96	0.5391	0.0015	0.0006
150	132.94	0.5335	0.0007	0.0003
160	132.93	0.5307	0.0004	0.0003
170	132.92	0.5279	0.0000	0.0000
180	132.92	0.5279	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.58 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.35	8.3201	1.0000	0.2014
10	153.24	6.3059	0.7441	0.1575
20	147.68	4.7309	0.5439	0.1292
30	143.12	3.4391	0.3798	1.1292
40	140.11	2.5864	0.2714	0.0853
50	138.03	1.9972	0.1965	0.0589
60	135.84	1.3768	0.1177	0.0620
70	134.42	0.9745	0.0666	0.0402
80	133.35	0.6714	0.0281	0.0303
90	132.92	0.5496	0.0126	0.0122
100	132.75	0.5014	0.0065	0.0048
110	132.69	0.4844	0.0043	0.0017
120	132.65	0.4731	0.0029	0.0011
130	132.61	0.4618	0.0014	0.0006
140	132.59	0.4561	0.0007	0.0006
150	132.57	0.4504	0.0000	0.0000
160	132.57	0.4504	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.53 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 35 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.45	8.2437	1.0000	0.1008
10	146.85	7.2353	0.8480	0.0880
20	153.71	6.3557	0.7154	0.0754
30	151.02	5.6022	0.6018	0.0627
40	148.78	4.9748	0.5072	0.0563
50	146.77	4.4118	0.4223	0.0555
60	144.79	3.8571	0.3387	0.0479
70	143.08	3.3782	0.2665	0.0395
80	141.67	2.9832	0.2069	0.0350
90	140.42	2.6331	0.1541	0.0291
100	139.38	2.3417	0.1102	0.0244
110	138.51	2.0980	0.0735	0.0176
120	137.88	1.9216	0.0469	0.0126
130	137.43	1.7955	0.0279	0.0067
140	137.19	1.7283	0.0177	0.0048
150	137.02	1.6807	0.0106	0.0025
160	136.93	1.6555	0.0068	0.0014
170	136.88	1.6415	0.0047	0.0008
180	136.85	1.6331	0.0034	0.0008
190	136.82	1.6246	0.0021	0.0006
200	136.80	1.6190	0.0013	0.0006
210	136.78	1.6134	0.0004	0.0003
220	136.77	1.6106	0.0000	0.0000
230	136.77	1.6106	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.57 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 40 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.55	8.1690	1.0000	0.1277
10	155.94	6.8920	0.8252	0.1161
20	151.75	5.7313	0.6663	0.0972
30	148.24	4.7590	0.5332	0.0814
40	145.30	3.9446	0.4217	0.0806
50	142.39	3.1385	0.3313	0.0690
60	139.90	2.4488	0.2169	0.0457
70	138.25	1.9917	0.1543	0.0371
80	136.91	1.6205	0.1035	0.0285
90	135.88	1.3352	0.0645	0.0169
100	135.27	1.1662	0.0413	0.0102
110	134.90	1.0637	0.0273	0.0080
120	134.61	0.9834	0.0163	0.0047
130	134.44	0.9363	0.0099	0.0025
140	134.35	0.9114	0.0064	0.0019
150	134.28	0.8920	0.0038	0.0011
160	134.24	0.8809	0.0023	0.0006
170	134.22	0.8753	0.0015	0.0006
180	134.20	0.8698	0.0008	0.0006
190	134.18	0.8643	0.0000	0.0000
200	134.18	0.8643	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.45 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 45 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.53	8.2402	1.0000	0.1994
10	153.39	6.2458	0.7450	0.1687
20	147.35	4.5587	0.5293	0.1179
30	143.13	3.3799	0.3786	0.1131
40	139.08	2.2486	0.2339	0.0779
50	136.29	1.4693	0.1343	0.0570
60	134.25	0.8994	0.0614	0.0318
70	133.11	0.5810	0.0207	0.0025
80	132.02	0.5559	0.0175	0.0031
90	132.91	0.5251	0.0136	0.0034
100	132.79	0.4916	0.0093	0.0031
110	132.68	0.4609	0.0054	0.00017
120	132.62	0.4441	0.0032	0.0008
130	132.59	0.4358	0.0021	0.0011
140	132.55	0.4246	0.0007	0.0006
150	132.53	0.4190	0.0000	0.0000
160	132.53	0.4190	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.58 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ผลที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s

เวลา (min)	น้ำหนักทั้งหมด (g)	Moisture content ($g.H_2O/g.dry\ solid$)	Moisture ratio	Drying rate ($g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$)
0	160.49	8.2809	1.0000	0.2081
10	153.08	6.1994	0.7363	0.1646
20	147.22	4.5534	0.5278	0.1520
30	141.81	3.0337	0.3352	0.1261
40	137.32	1.7725	0.1754	0.0890
50	134.15	0.8820	0.0626	0.0289
60	133.12	0.5927	0.0260	0.0132
70	135.65	0.4607	0.0093	00034
80	132.53	0.4270	0.0050	0.0014
90	132.48	0.4129	0.0032	0.0011
100	132.44	0.4017	0.0018	0.0008
110	132.41	0.3933	0.0007	0.0006
120	132.39	0.3876	0.0000	0.0000
130	132.39	0.3876	0.0000	0.0000

- น้ำหนักถาดเปล่า 127.56 g
- น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.56 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณ

กรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35°C ความเร็วของอากาศ 1m/s

1. ค่า Moisture content คำนวณได้จากสูตร

$$M = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมด} - \text{น้ำหนักถาดเปล่า} - \text{น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง}}{\text{น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง}} \quad (1)$$

ตัวอย่างการคำนวณ ที่เวลา 10 นาที น้ำหนักทั้งหมด 160.33 g

น้ำหนักถาดเปล่า 127.45 g

น้ำหนักแก่นตะวันแห้ง 3.52 g

$$M = \frac{160.33\ g - 127.45\ g - 3.52\ g}{3.52\ g} = 7.4943 \quad g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$$

2. ค่า Moisture ratio ของแก่นตะวันแผ่นทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง คำนวณได้จากสูตร

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (2)$$

ตัวอย่างการคำนวณ ที่เวลา 10 นาที $M = 7.4943$ $M_e = 1.7585$ $M_o = 8.3409$

$$MR = \frac{7.4943 - 1.7585}{8.3409 - 1.7585} = 0.8713$$

3. ค่าอัตราการอบแห้ง (Drying rate) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{Drying rate} = \frac{M_t - M_{t+dt}}{dt} \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณที่เวลา 10 นาที $M_{10} = 7.4943$ $M_{10+dt} = M_{20} = 6.7329$ $dt = 10$ min

$$\text{Drying rate} = \frac{7.4943 - 6.7329}{10\ min} = 0.0761 \quad g.H_2O/(g.dry\ solid)(min)$$