สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำแห้งพืชสมุนไพรไทย (ขิงและบัวบก) ด้วยตู้อบลมร้อน

DRYING CHARACTERISTICS OF THAI HERBS (GINGER AND TIGER HERBAL) BY HEATED AIR DRYER

ฉลองรัตน์ สีหไกร
ประภาพร คุณปัญญา
ลลิดา ศิริจารุทัศน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62154
วัน,เดือน,ปี 31 ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำแห้งพืชสมุนไพรไทย (ขิงและบัวบก) ด้วยตู้อบลมร้อน

DRYING CHARACTERISTICS OF THAI HERBS (GINGER AND TIGER HERBAL) BY HEATED AIR DRYER

ฉลองรัตน์ สีหไกร

ประภาพร คุณปัญญา

ลลิดา ศิริจารุทัศน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทำแห้งพืชสมุนไพรไทย (ขิงและบัวบก) ด้วยตู้อบลมร้อน

Drying Characteristics of Thai Herbs (ginger and tiger herbal) by Heated Air Dryer

ผู้จัดทำ

1. นางสาวฉลองรัตน์	สีหไกร	รหัสประจำตัว	44010668
2. นางสาวประภาพร	คุณปัญญา	รหัสประจำตัว	44010752
3. นางสาวลลิดา	ศิริจารุทัศน์	รหัสประจำตัว	44010813

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำแห้งพืชสมุนไพรไทย (ขิงและบัวบก) ด้วยตู้อบลมร้อน

นางสาวฉลองรัตน์ สีหไกร
นางสาวประภาพร คุณปัญญา
นางสาวลลิดา ศิริจารุทัศน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
(อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การทำแห้งของพืชสมุนไพรด้วยตู้อบลมร้อน พืชสมุนไพรที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยขิงและบัวบก เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิและความเร็วลมที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของพืชสมุนไพรตัวอย่าง โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 4 ระดับคือ 40, 50, 60 และ 70°c และความเร็วลม 2 ระดับคือ 0.18 และ 0.24 m/s ผลที่ได้นำมาวิเคราะห์และสร้างรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายผลของตัวแปรต่อการทำแห้งพืชสมุนไพร จากการศึกษาพบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์ในรูป Simple Exponential สามารถอธิบายผลการทดลองขิงและบัวบกได้ดีกว่าแบบ Page's Model นอกจากนี้ ในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขิงแห้งและบัวบกแห้งพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี, อัตราส่วนการคืนตัวและค่า A_w อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความเร็วลมไม่ส่งผลต่อค่าดังกล่าวมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRYING CHARACTERISTICS OF THAI HERBS (GINGER AND TIGER HERBAL) BY HEATED AIR DRYER

Miss Chalongrat Seehakai
Miss Prapaporn Kunpanya
Miss Lalida Sirijaruthus
Assistant Professor Dr. Maradee Phongpipatpong
(Advisor)
2004

ABSTRACT

This paper presents a study of drying Thai herbs (ginger and tiger herbal) by heated air dryer. Mathematical models are also developed to describe the drying behaviors. The effects of drying temperatures and air velocities on product characteristics have been investigated. The drying conditions are at 40, 50, 60 and 70°C of air temperature, 0.18 and 0.24 m/s of air velocity. The results indicated that simple exponential model yielded a better fit to experimental data than Page's model for both ginger and tiger herbal. The results also indicated that temperature has greater significantly affected to products colors, rehydration ratio and A_w than air velocity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากความร่วมมือของหลายฝ่ายด้วยกัน ขอขอบพระคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือและให้คำปรึกษาต่าง ๆ ในโครงงาน ดังต่อไปนี้

- คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี
- เจ้าหน้าที่โรงปฏิบัติงานภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (พี่แมน) และเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (พี่น้ำและพี่บุญนำ) ที่ช่วยโครงงาน
- ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาทุกคนที่เป็นกำลังใจให้โดยตลอด
- สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งเป็นผู้ที่มีความสำคัญที่สุดในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนติดตามผลงานด้วยความเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดโดยตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
สารบัญสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
2.1 ข้อมูลพื้นฐานของสมุนไพร	3
2.2 หลักการพื้นฐานของการอบแห้ง	10
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	34
3.1 การเตรียมการทดลอง	34
3.2 การวางแผนการทดลอง	35
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	35
3.4 การคำนวณ	37
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์	38
3.5.1 ค่าปริมาณความชื้น	38
3.5.2 ค่าสี	39
3.5.3 ค่าอัตราการคืนตัว	39
3.5.4 ค่า A_w	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	40
4.1 สมรรถนะของตู้อบลมร้อน	40
4.1.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิ	40
4.1.2 การวิเคราะห์ความเร็วลม	41
4.1.3 สรุปสมรรถนะตู้อบลมร้อน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลทดลองการทำแห้ง	42
4.2.1 อัตราการทำแห้ง	42
4.2.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำแห้ง	45
4.2.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้	51
4.2.3.1 ค่าสี	53
4.2.3.2 ค่าอัตราการคืนตัว	56
4.2.3.3 ค่า A_w	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก ก (ข้อมูลตู้อบ)	67
ภาคผนวก ข (ข้อมูลการวิเคราะห์แบบจำลองคณิตศาสตร์)	78
ภาคผนวก ค (ข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลอง)	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง	12
2.2 ปริมาณความชื้นของอาหารก่อนและหลังการทำแห้ง	24
2.3 สัดส่วนโดยประมาณสำหรับการอบแห้ง การหดตัวและการคืนตัวของผักบางชนิด	24
4.1 คุณสมบัติของขิงที่ได้หลังการทำแห้ง	51
4.2 คุณสมบัติของบัวบกหลังการทำแห้ง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ขิง	3
2.2	แสดงลักษณะเหง้าหรือแง่ง (Rhizome)	4
2.3	บัวบก	8
2.4	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่ออบแห้งวัสดุภายใต้กระแสลมร้อน ที่มีอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลมคงที่	13
2.5	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	15
2.6	แสดงปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก	17
2.7	แสดงปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง	17
2.8	แสดงปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งขั้นสุดท้าย	18
2.9	ลักษณะของผงอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ทันที	23
3.1	แสดงตำแหน่งต่าง ๆ ที่วัดค่าภายในตู้อบลมร้อน	35
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชั้น ภายในตู้อบที่อุณหภูมิต่างๆ	40
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชั้น ภายในตู้อบที่ความเร็วลมต่างๆ	41
4.3	a) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของขิง b) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของขิง	43
4.4	a) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลา ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของบัวบก b) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลา ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความเร็วลม 0.24 m/sของบัวบก	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	a) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง กับแบบจำลอง Simple Exponential ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของขิง b) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง กับแบบจำลอง Simple Exponential ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของขิง	47
4.6	a) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง กับแบบจำลอง Simple Exponential ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของบัวบก b) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง กับแบบจำลอง Simple Exponential ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของบัวบก	48
4.7	a) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง แบบจำลอง Page's Model ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของขิง b) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง กับแบบจำลอง Page's Model ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของขิง	49
4.8	a) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง กับแบบจำลอง Page's Model ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของบัวบก b) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง กับแบบจำลอง Page's Model ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของบัวบก	50
4.9	ผลของอุณหภูมิต่อค่าสี (ค่า L) ของขิง	53
4.10	ผลของอุณหภูมิต่อค่าสี (ค่าb) ของบัวบก	54
4.11	ผลของอุณหภูมิต่อค่าสี (ค่า L) ของบัวบก	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	ผลของอุณหภูมิต่อค่าสี (ค่า a) ของบัวบก	55
4.13	a) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวของขิงแห้ง ที่ความเร็วลม 0.18 m/s	57
	b) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวของขิงแห้ง ที่ความเร็วลม 0.24 m/s	
4.14	a) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวของบัวบกแห้ง ที่ความเร็วลม 0.18 m/s	58
	b) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวของบัวบกแห้ง ที่ความเร็วลม 0.24 m/s	
4.15	a) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวของขิงแห้ง	59
	b) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวของบัวบกแห้ง	
4.16	ผลของอุณหภูมิต่อค่า A_w ของบัวบกแห้ง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญสัญลักษณ์

A	พื้นที่ของการอบแห้ง
A_w	Water Activity
DM	ค่าน้ำหนักแห้งของอาหาร
F	อัตราส่วนความชื้นอิสระ (free moisture content)
L	ค่าความสว่าง
MR	อัตราส่วนความชื้น
M_e	ความชื้นสมดุล
M_O	ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (dry basis)
M_t	ความชื้น ณ เวลาใด ๆ
R	ความร้อนของการอบแห้ง (Kg water/hr.m^2 drying area)
R^2	ค่าสหสัมพันธ์
R_w	ความร้อนของการอบแห้ง (Kg water/hr.kg dry solid)
SE	ค่าความคลาดเคลื่อน
W	มวลของวัสดุแห้ง
W_A	น้ำหนักของ Aluminum Can
W_d	อัตราส่วนความชื้น (moisture content)
W_e	อัตราส่วนความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)
W_f	น้ำหนักของ Aluminum Can พร้อมตัวอย่างหลังอบแห้ง
W_i	น้ำหนักของ Aluminum Can พร้อมตัวอย่างก่อนอบแห้ง
W_O	น้ำหนักสมุนไพรเริ่มต้น
W_w	ปริมาณความชื้น (moisture)
a	ค่าสีแดงหรือสีเขียว
b	ค่าสีเหลืองหรือน้ำเงิน
k	ค่าคงที่การอบแห้ง
mcwb	ความชื้นมาตราฐานเปียก (moisture content wet basis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

n	ค่าคงที่การอบแห้ง
t	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง
t_w	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet – bulb temperature)
w_D	น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง
w_f	น้ำหนักสุดท้ายของสมุนไพรเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล
w_T	น้ำหนักของสมุนไพรที่เวลาใดๆ
w_t	น้ำหนักของตัวอย่างหลังการแช่น้ำ ณ เวลาใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันนี้ กระแสนิยมในเรื่องอาหารเพื่อสุขภาพเป็นเรื่องที่คนทั้งโลกสนใจและให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก พืชสมุนไพรจึงเป็นหนึ่งในทางเลือกที่ผู้คนต่างให้ความสนใจเป็นพิเศษ เพราะเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่เปี่ยมไปด้วยคุณประโยชน์มากมายก่อให้เกิดอาการพิษและอาการข้างเคียงน้อยกว่าสารสังเคราะห์อีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ได้หลากหลาย เช่น ยารักษาโรค, อาหาร, เครื่องดื่ม, เครื่องสำอางและสารที่ใช้ประโยชน์อื่น ๆ โดยเฉพาะสมุนไพรไทยที่ถือว่าเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่มีมาแต่สมัยโบราณ ถึงแม้ว่าประเทศไทยยังเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยพืชสมุนไพรในทุกฤดูกาลและทางภาครัฐบาลก็ได้มีการส่งเสริมการใช้สมุนไพรในโครงการสาธารณสุขมูลฐาน แต่ในสภาวการณ์ปัจจุบันที่มีแต่การแข่งขันและความเร่งรีบสูงการนำสมุนไพรจากธรรมชาติมาใช้โดยตรงในสภาพสดไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากแหล่งสมุนไพรอยู่ห่างไกลและความต้องการรูปแบบของวัตถุดิบนั้นต่างออกไปและมูลค่าของสมุนไพรสดนั้นมีค่าต่ำ จึงมีการศึกษาเพื่อนำสมุนไพรมาแปรรูปให้สะดวกต่อการนำไปใช้และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน กรรมวิธีการแปรรูปโดยมากเป็นการทำแห้งผลิตภัณฑ์สมุนไพรแห้งที่ได้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้มากมายทั้งในทางอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการทำเครื่องสำอางและในทางเภสัชกรรม กระบวนการทำแห้งโดยอาศัยตู้อบลมร้อนเป็นกระบวนการแปรรูปที่สำคัญและนิยมใช้กันทั่วไปเนื่องจากไม่ยุ่งยากและมีต้นทุนต่ำ จากการสำรวจพบว่าสมุนไพรไทยหลายชนิด เช่น ขิงและบัวบกมีปริมาณสารสำคัญอยู่ในระดับสูง ขิงมี gingerols 1-2%, essential oil 1-3%, oleoresin 3.5-10% และ volatile compounds 15-30% ส่วนสารที่สกัดได้ในบัวบกมี Sesquiterpenoids 80%, β - caryophyllene 27%, α - humulene 34%, germacrene - D 10% และต้นสดมีไกลโคไซด์ชื่อ asiaticoside 0.07-0.12% [1, 2] จึงได้มีการนำมาทำแห้งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ เช่น สารปรุงแต่งกลิ่นรส เครื่องดื่มผง ชาสมุนไพร เป็นต้น ซึ่งในส่วนของชาสมุนไพรนั้น ทางกระทรวงสาธารณสุขได้ประกาศอย่างเป็นทางการถึงพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับชาสมุนไพร [3] ขิง และบัวบก ก็เป็น 2 ใน 15 รายชื่อของวัตถุดิบนั้นด้วย อีกทั้งเป็นสมุนไพรไทยที่สามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก มีทุกฤดูกาล เป็นที่นิยมและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย มีสรรพคุณและประโยชน์สูง จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำมาศึกษาการแปรรูปด้วยการทำแห้งแบบลมร้อน

ในการทำแห้งด้วยตู้อบแบบลมร้อนนั้นมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่หลายประการอาทิเช่น อุณหภูมิลมร้อน ความเร็วลม ความชื้นเริ่มต้นและขนาดของตัวอย่างที่ทำการอบแห้ง เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่ออัตราการทำแห้งและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถึงแม้จะมีการผลิตสมุนไพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้งด้วยการใช้ลมร้อนอย่างแพร่หลายแต่การศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อการทำแห้งสมุนไพรไทยยังมีไม่มากนัก ในโครงงานนี้จึงประสงค์ที่จะศึกษาผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการทำแห้งพืชสมุนไพรไทยและลักษณะของการทำแห้งพืชสมุนไพร (Drying Characteristic) ซึ่งนับเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการออกแบบและควบคุมการทำแห้งส่วนความเข้าใจถึงผลของตัวแปรดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การทำแห้งสมุนไพรเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการทำแห้งสมุนไพรไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วของลมต่อลักษณะการทำแห้งของพืชสมุนไพรไทย
2. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายผลของตัวแปรอุณหภูมิและความเร็วลมต่อลักษณะการทำแห้ง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลพื้นฐานในการทำแห้งพืชสมุนไพรไทยด้วยตู้อบลมร้อนและผลของตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ และ ความเร็วของลมต่อการทำแห้ง
2. เป็นการพัฒนาการแปรรูปการผลิตพืชสมุนไพรไทยเพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้ ยืดอายุการเก็บรักษาและช่วยเพิ่มมูลค่าของสมุนไพร

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. สมุนไพรที่ใช้ศึกษา ประกอบด้วย ขิง และบัวบก
2. ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70°c และที่ระดับความเร็วลม 0.18 และ 0.24 m/s
3. สร้างสมการทำนายอัตราการทำแห้งแบบชั้นบางภายในตู้อบลมร้อน

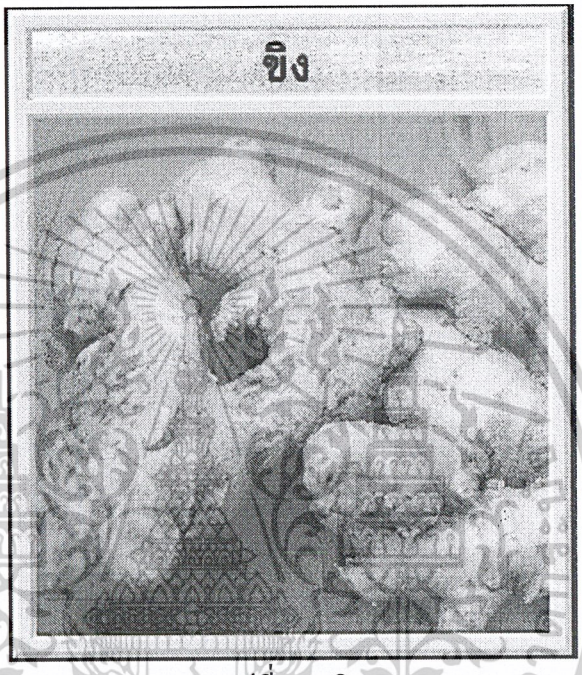
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลพื้นฐานของสมุนไพร

2.1.1 ขิง [4, 5]



รูปที่ 2.1 ขิง

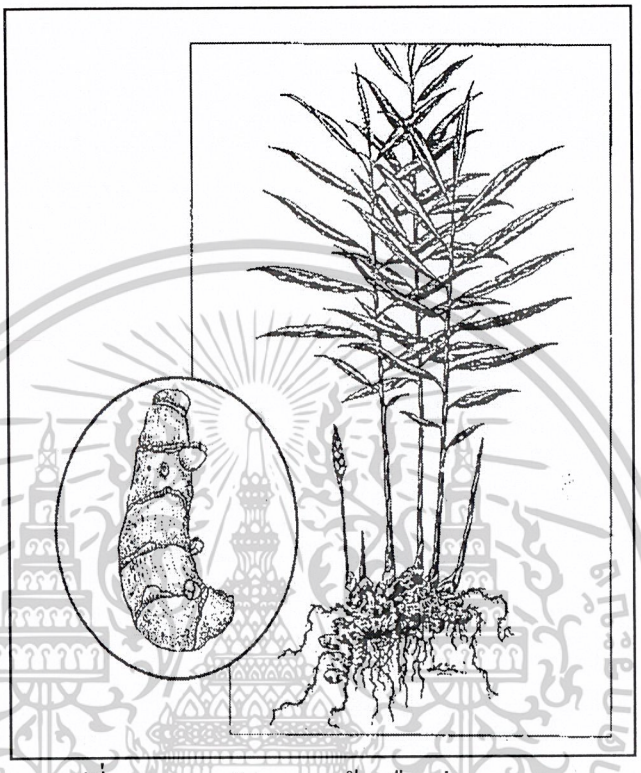
ที่มา: [5]

ชื่อสามัญ/ชื่ออังกฤษ	:	Ginger, Zingiber
ชื่อวิทยาศาสตร์	:	Zingiber officinale Roscoe
วงศ์	:	Zingiberaceae
ชื่ออื่น/ชื่อท้องถิ่น	:	ขิงบ้าน, ขิงป่า, ขิงแครง, ขิงเขา, ขิงดอกเดียว (ภาคกลาง), ขิงแดง, ขิงแกลง (จันทบุรี), ขิงเผือก (เชียงใหม่), สะเอ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน)
ส่วนที่ใช้	:	เหง้า (Rhizome) แก่และอ่อนทั้งสดและแห้ง ราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ขิงเป็นพืชไร่และยังจัดเป็นพืชผักประเภทหนึ่งชนิดล้มลุก จัดเป็นพืชตระกูลเดียวกับข่า ขมิ้น กระวาน เร่ว



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะเหง้าหรือแง่ง (Rhizome)
ที่มา: [4]

ลำต้น มีลำต้นใต้ดินซึ่งมีลักษณะคล้ายมือหรือที่เรียกว่า “เหง้า” หรือ “แง่ง” เจริญขึ้นเป็นกอ เปลือกเหง้ามีสีเหลืองอ่อน แต่เนื้อภายในมีสีเหลืองอมเขียว ลำต้นแท้มีลักษณะเป็นข้อๆ แข็งมีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนมีเยื่อและเกล็ดเล็กๆ ห่อหุ้มจะแตกขนานไปกับพื้นดิน ลักษณะการแตกแขนงเป็นแบบนิ้วมือคือ แง่งอันแรกจะเจริญและแตกแง่งย่อยๆ ต่อกันไป เหง้าหรือลำต้นใต้ดินนี้สามารถดำรงชีวิตข้ามฤดูหรือหลายฤดูซึ่งต่างจากลำต้นเหนือดินที่มีอายุได้เพียงฤดูเดียวหรือประมาณ 8-12 เดือน ลำต้นส่วนเหนือดินเป็นลำต้นเทียม (Clump) ส่วนนี้ประกอบด้วยกาบใบเป็นกาบหุ้มซ้อนทับกันหลาย ๆ ชั้นเจริญจากตาที่ปรากฏอยู่บนแง่งของขิง ลำต้นมีความสูงประมาณ 50-100 เซนติเมตร

ใบ เป็นใบเดี่ยวออกสลับเรียงกันเป็นสองแถว มีรูปร่างคล้ายใบไผ่ ปลายใบสอบเรียวแหลม โคนใบสอบแคบและจะเป็นกาบหุ้มลำต้นเทียม ยาวประมาณ 15-17 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 1.8-3 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดอก มีสีขาว ออกเป็นช่อ (Inflorescence) รูปเห็ดหรือรูปกระบองโบราณยาวประมาณ 5-7 เซนติเมตร ก้านช่อดอกยาวประมาณ 15-25 เซนติเมตร ดอกเกิดจากยอดที่ไม่มีใบหรือเกิดแยกกับลำต้น ลักษณะดอกเป็นตุ่มมีเกล็ดเล็กๆ ดอกจะแซมออกมาตามเกล็ดนั้น ปกติขิงเป็นพืชที่ไม่ค่อยออกดอกหรือติดเมล็ด

ผล มีลักษณะกลม แข็ง โต มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร

2.1.1.2 สารสำคัญที่พบ [2, 6, 7]

เหง้า ในเหง้าสด มี gingerols 1-2% และพบ zingiberone zingiberenol, shogaol, fenchone และ camphene cineol citronellol ในส่วนของรสเผ็ดร้อนและกลิ่นฉุนเกิดจากน้ำมันชัน (oleoresin) ในเหง้าเช่นเดียวกัน โดยสารที่สกัดได้จากเครื่องเทศขิงแห้งด้วยสารละลายธรรมชาติ (organic solvents) จะมี oleoresin สูงถึง 3.5-10%

น้ำมันหอมระเหย ที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมเฉพาะตัวของขิงนั้นเกิดจากน้ำมันหอมระเหยในเหง้า ซึ่งจะมีน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) 1.5-3.0% โดยทั่วไปแล้วจะมี 2.0% โดยน้ำมันหอมระเหยนี้มีสารประกอบหลักคือ sesquiterpene hydrocarbon และกลุ่มของสารประกอบหลักนี้เองจะช่วยให้เกิดน้ำมันหอมระเหยประมาณ 50-66% โดยใน sesquiterpene hydrocarbon จะประกอบด้วย (-)-α-zingiberene 20-30%, (-)-β-bisabolene 12%, (+)-ar-curcumene 19% และ farnesene 10% ส่วนสารอื่นๆ ที่พบน้ำมันหอมระเหยนอกจากเหนือจากนี้ คือ zingiberone zingiberol, zingiberene, phellandrene, limonene, linalool, citral, citronellol gingerol, methylheptenone, nonyl aldehyde, camphene, d-borneol, cineol, sesquiterpene alcohols, monoterpenoids, Ester, Phenol, และ Terpene และจาก sensory study ในปี 1975 (Donna and Anthony, 2001) แสดงให้เห็นว่า β-sesquiphellandrene และ ar-curcumene เป็นสารหลักที่ทำให้เกิดรสในขิง ในขณะที่ α-terpineol และ citral เป็นสารหลักที่ทำให้เกิด รส lemony (lemony flavor)

ลำต้น พบ S-(1)-6- Gingerol

ใบ พบ Shikimic acid

ส่วนประกอบอื่นๆ คือ แป้งและยางเมือก (Gum) นอกจากนี้แล้วยังมีสารเคมีต่างมากมายนับ 100 ชนิดรวมทั้งกรดอะมิโน, น้ำมัน, จินเจอรอล, กรดไขมัน, โชกาฮอล, แทนนิน เป็นต้น สำหรับสัดส่วนที่ประกอบในเหง้าขิงแห้งที่สามารถรับประทานได้ต่อ 100 กรัม ประกอบไปด้วย น้ำ 10 กรัม, โปรตีน 10-20 กรัม, ไขมัน 10 กรัม, คาร์โบไฮเดรต 40-60 กรัม, ไฟเบอร์ 2-10 กรัม และ เถ้า 6 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 สรรพคุณ

1. ช่วยขับลม ขยายหลอดเลือดใต้ผิวหนัง
2. ช่วยย่อยอาหารให้เร็วขึ้น เจริญอาหาร
3. แก้จุกเสียดแน่นท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อ คลื่นไส้อาเจียน
4. ขับเสมหะ
5. มีฤทธิ์อุ่นทำให้เหงื่อออกมาไล่ความเย็นทำให้ร่างกายอบอุ่นปรับอุณหภูมิในร่างกายให้รู้สึกกระชุ่มกระชวย

2.1.1.4 การออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาเท่าที่วิจัยพบแล้ว [8]

1. ลดระดับไขมันโคเลสเตอรอล โดยการลดการดูดซึมโคเลสเตอรอลจากอาหารในลำไส้แล้วปล่อยให้ร่างกายกำจัดออกทางอุจจาระ
2. ช่วยลดความอยากของคนติดยาเสพติดได้
3. มีฤทธิ์ต่อประสาทส่วนกลาง เช่น ช่วยระงับการชักในสัตว์ทดลอง, เสริมฤทธิ์ของยานอนหลับ กลุ่ม BARBITURATE, บรรเทาปวดลดไข้, ลดอาการเวียนศีรษะ
4. ออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย
5. ป้องกันฟันผุ
6. ออกฤทธิ์ยับยั้งการเกาะกลุ่มของเกร็ดเลือด
7. บรรเทาอาการไอ
8. ป้องกันและบำบัดอาการปวดศีรษะจากไมเกรนได้
9. ลดการหลั่งของกรดของกระเพาะอาหาร

2.1.1.5 วิธีใช้เป็นยารักษาโรค

1. นำเหง้าสดย่างไฟให้สุก ตำผสมกับน้ำปูนใสคั้นเอาแต่น้ำดื่มหรือนำเหง้าสดหมกไฟรับประทานเมื่อมีอาการเบื่ออาหาร
2. รักษาอาการคลื่นไส้อาเจียน โดยนำขิงแก่สดประมาณ 2-3 เหง้า มาทุบพอแตกต้มกับน้ำ
3. รักษาไข้หวัด โดยนำขิงแก่สด 7 กรัม และขิงแห้ง 2 กรัม ต้มกับน้ำตาลทรายแดง ดื่มเพื่อรักษาอาการหรือใช้ขิงแก่ 2-3 เหง้า นำมาทุบให้ละเอียดต้มกับน้ำอาบเพื่อขับเหงื่อลดอาการไข้เนื่องจากหวัด
4. รักษาอาหารไอ ขับเสมหะ โดยนำขิงสดมาคั้นน้ำให้ได้ประมาณครึ่งถ้วยผสมน้ำผึ้งประมาณ 1 ช้อนชา ต้มกับน้ำ 2 ถ้วย ดื่มวันละ 3 ครั้ง หรือใช้ขิงสดฝนกับมะนาวเติมเกลือเล็กน้อย ใช้กวาดคอหรือจิบบ่อยๆ
5. รักษาอาการปวดประจำเดือน ในช่วงก่อนหรือระหว่างมีประจำเดือนโดยนำขิงแก่แห้งประมาณ 30 กรัม ต้มกับน้ำดื่มบ่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แก้อาการท้องเสีย ท้องร่วง โดยใช้ขิงแห้งบดชงกับน้ำอุ่น ดื่มวันละ 1 ครั้ง

7. รักษาแผลที่เกิดจากไฟไหม้หรือถูกน้ำร้อนลวก โดยตำขิงสดให้ละเอียด นำกากมาพอกที่แผลเพื่อบรรเทาอาการอักเสบ เป็นหนอง

8. รักษาอาการปวดฟัน โดยนำขิงแก่ทุบให้ละเอียด คั่วกับน้ำสารส้มจนเกรียม แล้วบดจนเป็นผง พอกบริเวณฟันที่ปวด

2.1.1.6 ข้อสังเกต/ข้อควรระวัง

1. ขิงแก่มีสรรพคุณในทางยาและมีรสเผ็ดร้อนมากกว่าขิงอ่อน
2. ขิงแก่มีเส้นใยมากกว่าขิงอ่อน
3. ในเหง้ามีเอนไซม์บางชนิดที่สามารถย่อยเนื้อสัตว์ให้เปื่อยได้
4. สารจำพวก Phenolic compound ในขิงสามารถใช้กันบูดกันหืนในน้ำมันได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 บัวบก [9 - 12]

รูปที่ 2.3 บัวบก

ที่มา: [12]

ชื่อสามัญ/ชื่ออังกฤษ : Tiger Herbal, Indian Hydrocotyle, Asiatic Pennywort, Hydrocotyle

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Centella asiatica Urb.

วงศ์ : Umbelliferae

ชื่ออื่น/ชื่อท้องถิ่น : ผักหนอก (ภาคเหนือ ภาคอีสาน), ผักแว่น (ภาคใต้), จำปาเครือ กะบังนอก (ลำปาง), มัณฑูกะบรรณี (สันสกฤต), เตียกำเช้า ฮัมคัก (จีน)

ส่วนที่ใช้ : ทั้งต้นสด

2.1.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นไม้ล้มลุก อายุหลายปี ชอบเลื้อยแผ่ตามพื้นดินที่ชุ่มชื้นแฉะๆ

ราก ฝังลงในดินและงอกปลายใหม่ชูขึ้น รากจะออกตรงใบที่ชูสูงขึ้นทุกๆ ข้อ

ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับออกเป็นกระจุกตรงข้อ 2-6 ใบ ก้านใบยาวมากชูสูงตั้งฉากกับดินตรงทุกๆ ข้อ แผ่นใบรูปไต ขอบใบหยัก ใบกว้าง 1-5 เซนติเมตร ยาว 2-4 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดอก มีดอกช่อเป็นกระจุกออกระหว่างซอกก้านใบกับลำต้นที่แผ่ติดดิน ขนาดเล็ก 2-3 ดอก กลีบดอกสีม่วงหรือแดงอมเขียว

ผล มีขนาดเล็กเป็นรูปเกือบกลมแบน ๆ แตกได้

2.1.2.2 สารสำคัญที่พบ [11, 13, 14]

ต้น ต้นสดมีไกลโคไซด์ชื่อ asiaticoside 0.07-0.12%, α -amyrin และพวก triterpenes ได้แก่ asiaticoside, thankuniside, isothankuniside, madecassoside, Asiatic acid,betulic acid, brahmic acid, isobrahmic acid, madasiatic acid และพวก saponins 2 ตัว คือ brahmoside, brahminoside นอกจากนั้นยังมี meso-inositol, oligosaccharide ชื่อ centellose และ carotenoids

น้ำมันหอมระเหย ประกอบด้วย β - caryophyllene

ต้นแห้ง สกัดได้ อัลคาลอยด์ hydrocotyline

ใบ มี chlorophylls, kaempferol, quercetin, glucose, และ flavonoid glycoside

นอกจากนี้สารสกัดจากบัวบกยังประกอบด้วย centelloside, centellic acid brahminoside, สารแทนนินและพวก resinous ส่วนสารที่มีรสขมชื่อ vellarine และวิตามินซี และจาก Plant Resources of South-East Asia No 12 พบว่าสารที่กลั่นโดยไอน้ำจาก essential oil ของใบบัวบกมาเลเซีย มี Sesquiterpenoids 80%, β - caryophyllene 27%, α - humulene 34%, germacrene - D 10%

2.1.2.3 สรรพคุณ

ใบสด ใช้สมานแผลและเร่งการสร้างเนื้อเยื่อ ระงับการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดหนอง ลดการอักเสบและยังมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อราอันเป็นสาเหตุของโรคกลาก

ทั้งต้น รสหอมเย็น บำรุงหัวใจ บำรุงกำลัง แก้ช้ำใน แก้อ่อนเพลีย ขับปัสสาวะ รักษาบาดแผล แก้ร้อนในกระหายน้ำ โรคปวดศีรษะข้างเดียว (migrain) โรคเรื้อน วัณโรค โรคผิวหนังบางชนิด กามโรค ขับปัสสาวะในโรคหนองใน ตับอักเสบ นำมาต้มดื่มแก้ฟกช้ำ ลดอาการอักเสบได้ดี ทำครีมทาผิวหนังแก้อักเสบและเป็นเครื่องดื่มแก้ร้อนใน

เมล็ด รสขมเย็น แก้บิด ไข้ ปวดศีรษะ

2.1.2.4 วิธีใช้เป็นยารักษาโรค

1. ใช้ใบสด 1 กำมือ ล้างให้สะอาดตำคั้นเอาน้ำทาบริเวณแผล เช่น แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก หรืออาจจะใช้กากที่เหลือพอกด้วยก็ได้จะทำให้แผลหายสนิทเร็ว และเกิดแผลเป็นชนิดนูน (keloid) น้อยลง สารที่ออกฤทธิ์ คือ กรด madecassic, กรด asiatic และ กรด Asiaticoside ซึ่งจะช่วยสมานแผลและเร่งการสร้างเนื้อเยื่อ ระงับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ที่ทำให้เกิดหนองและลดการอักเสบ

2. นำใบสดมาต้มดื่มลดไข้ รักษาโรคปากเปื่อย ปากเหม็น เจ็บคอ ร้อนในกระหายน้ำ ขับปัสสาวะ แก้ท้องเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้เป็นยาแก้ปวดศีรษะข้างเดียว ใช้ต้นสดไม่จำกัด รับประทานหรือคั้นน้ำจากต้นสดรับประทาน ควรรับประทานติดต่อกัน 2-3 วัน

4. ใช้เป็นยาลดความดันโลหิตสูง ใช้ทั้งต้นสด 30-40 กรัม คั้นน้ำจากต้นสดเติมน้ำตาลเล็กน้อยรับประทาน 5-7 วัน

5. ใช้เป็นยาแก้ช้ำใน (พลัดตกหกล้ม) ใช้ต้นสด 1 กำมือ ล้างให้สะอาดตำคั้นน้ำ เติมน้ำตาลเล็กน้อยดื่ม 1 ครั้ง รับประทานติดต่อกัน 5-6 ครั้ง

6. ใช้เป็นยาห้ามเลือด ใส่แผลสด ใช้ใบสด 20-30 ใบ ล้างให้สะอาด ตำพอกแผลสด ช่วยห้ามเลือดและรักษาแผลให้หายเร็ว

2.2 หลักการพื้นฐานของการอบแห้ง [15-17]

2.2.1 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาไม่ได้นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลานานขึ้น ผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญๆ และต้องทำการอบแห้งได้แก่ ธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น

การอบแห้งอาหารทั่วๆ ไปอาศัยหลักการที่ว่าปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีในอาหารสูงจะทำให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์และจากปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นการดึงน้ำออกจากอาหารให้มีความชื้นลดลงจนพอเหมาะแก่อาหารแต่ละชนิดแล้วจะทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ทั้งนี้หลักการของการอบแห้งอาหารจะเกี่ยวเนื่องกับจุดประสงค์ของการอบแห้งซึ่งในการอบแห้งอาหารทั่วๆ ไปจะมีจุดประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

1. เพื่อการลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อป้องกันการเน่าเสียของอาหาร เนื่องจากจุลินทรีย์จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณความชื้นในอาหารที่จะป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ โดยทั่วไปควรจะดึงน้ำออกมาจนเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 -12 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเป็นสำคัญ

2. เพื่อต้องการลดน้ำหนักของอาหารเพื่อสะดวกต่อการขนส่ง เนื่องจากการขนส่งผลิตภัณฑ์บางชนิดในสภาพของสดจะกินเนื้อที่และการดูแลรักษาลำบากโดยเฉพาะพวกนมสด ถ้าทำเป็นผงจะทำให้น้ำหนักเบาขึ้น การบรรจุจะขนส่งก็จะสะดวกและประหยัดในการอบแห้งอาหารทั่วๆ ไป พบว่าอาหารแห้งที่ได้มีน้ำหนักลดไปมาก

การทำแห้ง จะเกี่ยวข้องอยู่กับการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะมีการส่งผ่านความร้อนในระหว่างการทำแห้งเกิดขึ้น 3 แบบ กล่าวคือ ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน เช่น แสงแดดจะถูกส่งผ่านโดยวิธีการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนไปยังผิวหน้าของอาหาร จากนั้นความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนที่ผิวของอาหารจะถูกส่งผ่านโดยการนำความร้อนเข้าไปยังน้ำภายในอาหาร แล้วระเหยไปโดยมีลมเป่ามีลมเป็นตัวพาไอร้อนชื้น ในการสร้างเครื่องอบแห้งมักอาศัยหลักของการส่งผ่านความร้อนแบบการนำและการพาความร้อนเป็นสำคัญ ปัจจุบันมีการสร้างเครื่องอบแห้งแบบการแผ่รังสีความร้อนขึ้นมา เนื่องจากอัตราการอบแห้งสูงมาก เครื่องอบแห้งอาจแบ่งออกตามหลักของการส่งผ่านความร้อนได้ 5 พวกใหญ่ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณของที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้งมักจะถูกให้คำนิยามในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมดนั่นคือ โดยใช้มวลของวัสดุชื้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณความชื้น W_w แต่ในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุชื้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น จึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณความชื้น W_d ความชื้น W_d และ W_w มีความสัมพันธ์กันดังต่อไปนี้

$$W_d = \frac{W_w}{1 - W_w} \qquad W_w = \frac{W_d}{1 - W_d}$$

เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนจะเรียกว่า W_d ว่าอัตราส่วนความชื้น (moisture content) และเรียก W_w ว่าปริมาณความชื้น (moisture) ยกเว้นในกรณีที่บ่งเป็นอย่างอื่นจะใช้ W แทน W_d จากนี้ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง

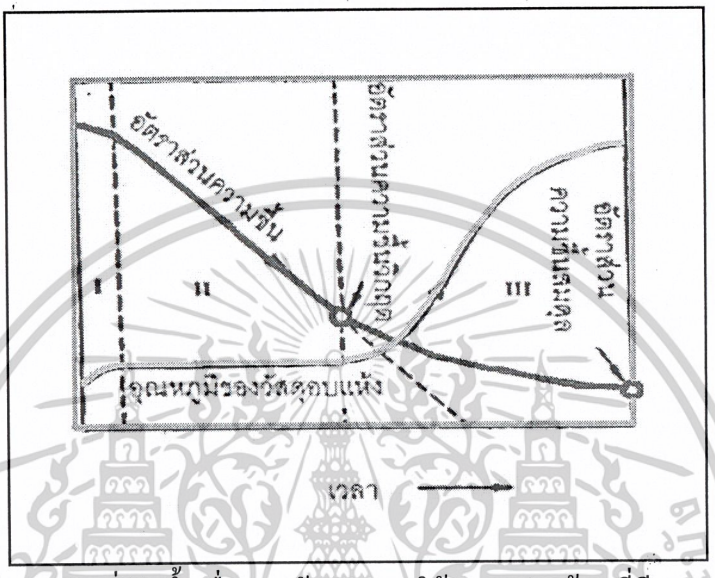
Mode of Heat Transfer	Batch Operation	Continuous Operation
Convection	Kiln drier	Tunnel drier
	Cabinet drier	Conveyor drier
		Spray drier
		Fluidised-bad drier
Conduction	Heat-shelf drier	Drum drier
	Agitated pan driers	
Radiation	Infrared heated	Infrared heated
	Shelf drier	belt drier
Internal Generation	Microwave oven	Dielectric
Of heat		continuous oven
Mixed	Shelf	Microwave tunnel
		Rotary drier

ที่มา: [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการอบแห้งวัสดุที่เปียกชื้นอย่างมากภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งที่คงที่ ยกตัวอย่าง เช่น ในกรณีที่ว่างวัสดุเปียกชื้นภายในกระแสลมปริมาณมากที่มีอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่ ถ้าเราลองวัดการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุแห้งนี้กับเวลา จะได้เส้นกราฟคล้ายคลึงกับของในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่ออบแห้งวัสดุภายใต้กระแสลมร้อนที่มีอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่

ที่มา: [17]

การอบแห้งแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

I : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

II : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่

III : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้าเอาวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet – bulb temperature) t_w ของกระแสลมร้อนช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่านี้ คือ ช่วง I ในรูปที่ 2.4 ในช่วงเวลา II ที่ถัดไป อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณ t_w ตราบใดที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับเป็นช่วงนี้จะถูกใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูป อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย W ของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วง II นี้ ดังนั้น ความเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ (constant drying rate) ในช่วงเวลา III

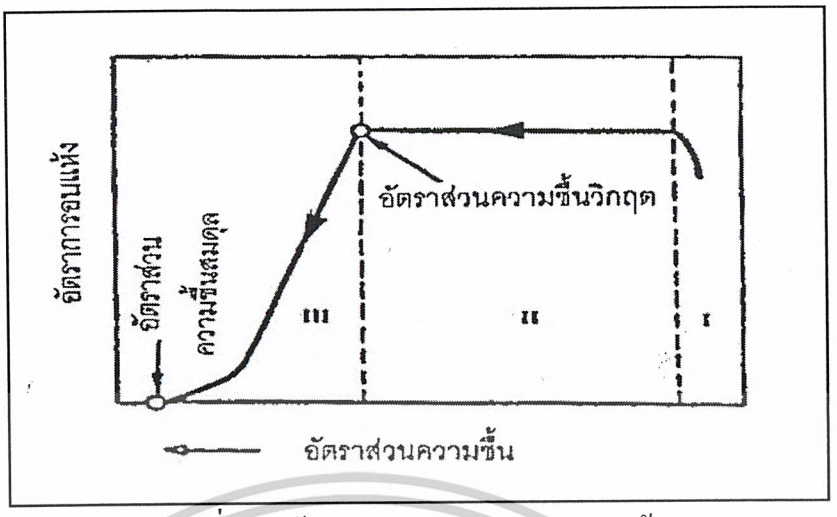
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นในรูปของน้ำจาก ส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้น ผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น สรุปแล้วความเร็วของการอบแห้งจะค่อยๆ ลดลงเพราะปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับนอกจากจะลดลงแล้วความร้อนนี้ยังต้องใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณ ภูมิของวัสดุด้วย การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราส่วนความชื้นลดลงถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล W_e (equilibrium moisture content) ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วง II และ III มีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นอิสระ F (free moisture content) F คือ ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไปได้โดยการอบแห้ง ในกรณีของวัสดุที่มีลักษณะเฉพาะบางชนิด อาจไม่มีช่วง II เลยก็ได้ เงื่อนไขของการอบแห้งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ก่อให้เกิดการอบแห้งและเงื่อนไขภายในตัววัสดุเอง เงื่อนไขภายนอกจะเกี่ยวข้องกับวิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและวิธีกำจัดไอน้ำที่ระเหยออกมา ส่วนเงื่อนไขภายใน ได้แก่ องค์ประกอบและรูปร่าง, อัตราส่วนความชื้นสมดุลของวัสดุอบแห้ง เป็นต้น สัญลักษณ์ที่ใช้แทนความร้อนของการอบแห้งมีอาทิเช่น R (Kg water/hr.m^2 drying area), R_w (Kg water/hr.kg dry solid) เป็นต้น ถ้าให้ W เป็นมวล (Kg) ของวัสดุแห้ง และ A (m^2) เป็นพื้นที่ของการอบแห้ง เราจะได้

$$R = R_W\left(\frac{W}{A}\right)$$

เส้นกราฟที่ได้จากการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการอบแห้ง และ W มีชื่อเรียกว่า เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง อัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยกับเวลาในรูปที่ 2.5 คือ R_w นั่นเอง ถ้าเขียนกราฟของ R_w กับ W จะได้รูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

ที่มา: [17]

สำหรับการอบแห้งเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนการอบแห้งจะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการอบแห้งคงที่และช่วงการอบแห้งลดลง

1. อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate) [18]

เมื่อวัสดุมีความชื้นสูงมากๆ อัตราการอบแห้งโดยปกติจะถูกควบคุมโดยจากอิทธิพลของสภาวะภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของก๊าซ ความดันรวม และความดันย่อยของไอ ที่มีต่อวัสดุที่นำมาอบแห้ง หากสภาวะรอบนอกถูกควบคุมให้คงที่ ในคาบเวลานี้อัตราการระเหยของไอน้ำที่ออกจากผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในวัสดุพรุนที่มาเติมเต็มที่ผิวหน้า ดังนั้นทำให้มีฟิล์มของของเหลวบางๆ ปกคลุมที่ผิวหน้าวัสดุตลอดเวลา พารามิเตอร์ที่ควบคุมกระบวนการอบแห้งในคาบเวลานี้ คือ พลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับตัววัสดุหรือการถ่ายเทมวลสารที่ออกจากผิววัสดุ การถ่ายเทมวลสารในขณะช่วงอัตราการทำแห้งคงที่นี้ใช้ในการระเหยน้ำซึ่งถ่ายเทมาจากลมร้อน อุณหภูมิของผิวหน้าวัสดุก็สามารถประมาณได้ด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียกในคาบเวลานี้ การคำนวณอัตราการอบแห้งสามารถทำได้ง่าย โดยปกติการถ่ายเทความร้อนโดยการพา จะใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการในคาบเวลาดังกล่าวช่วงนี้ปริมาณความชื้นของวัสดุมีค่าสูงกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต ที่ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านอากาศร้อนไปยังผิววัสดุเมล็ดพืช เนื่องจากความชื้นของเมล็ดพืชหลังการเก็บเกี่ยวมีค่าไม่สูงนัก ดังนั้นการอบแห้งที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงการอบแห้งลดลง

2. การอบแห้งลดลง (Falling rate) [18, 19]

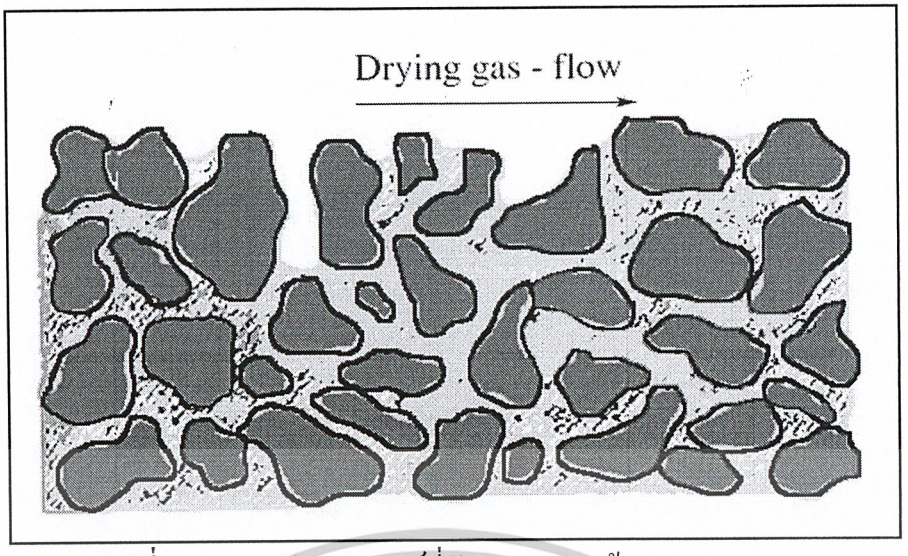
เมื่อกระบวนการการอบแห้งดำเนินต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เมื่อความชื้นมีค่าเข้าสู่ความชื้นวิกฤต ซึ่งค่าของความชื้นวิกฤตนี้จะขึ้นอยู่ความยากง่ายของการเคลื่อนตัวของความชื้นภายในโครงสร้างที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันของวัสดุเป็นสำคัญ น้ำที่เคลื่อนตัวไปยังผิวหน้าภายใต้อิทธิพลของความดันแคปปิลารี่มีไม่เพียงพอที่จะไปเติมแทนที่น้ำที่เพิ่งระเหยออกไป ทำให้ฟิล์มของของเหลวบางๆ ที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าเกิดการแยกตัวในบางจุด ดังแสดงใน รูปที่ 2.6 ในคาบเวลานี้อัตราการอบแห้งโดยรวมจะเริ่มลดลง บางครั้งอาจมีการเรียกช่วงคาบเวลานี้ว่าคาบเวลาอัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก หลังจากกระบวนการอบแห้งดำเนินต่อไป ชั้นของความแห้งจะเริ่มก่อตัวขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่ผิวของวัสดุที่นำมาอบแห้ง แล้วค่อยๆ เคลื่อนตัวเข้าไปในเนื้อวัสดุดังแสดงใน รูปที่ 2.7 เรามักเรียกช่วงเวลานี้ว่าคาบเวลาอัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง ซึ่งการระเหยตัวจะเกิดขึ้นที่ผิวรอยต่อระหว่างขั้นที่แห้งกับขั้นที่เปียกซึ่งมีความชื้นอยู่ ผิวรอยต่อนี้นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า ผิวของการระเหยหรือผิวของการอบแห้ง หรือขอบเขตของการเคลื่อนที่ ซึ่งมันจะเริ่มเคลื่อนตัวไปกับคาบเวลาของการอบแห้ง การระเหยตัวจะเกิดขึ้นที่ผิวของการระเหย สามารถคำนวณได้ จากกฎของ Kelvin ที่อุณหภูมิเฉพาะตำแหน่งนั้นและที่ความดันไออิ่มตัว ซึ่งในคาบเวลานี้ อัตราการเคลื่อนตัวของมวลสารหรือความชื้นภายในจะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการ คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงนี้อาจจะสังเกตได้จากการที่อัตราถ่ายเทมวลสารที่ผิวและความดันดังกล่าวนี้จะมีความยุ่งยากที่จะสังเกตได้จากการทดลองและเช่นกันกับวิเคราะห์เชิงทฤษฎีอันเนื่องมาจากความซับซ้อนปรากฏการณ์ของโครงสร้างวัสดุ ช่วงนี้ปริมาณความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุมายังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ทำให้เกิดเกรเดียนท์ ความชื้นและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ช่วงปลายของคาบเวลาอัตราการแบบแห้งลดลงระยะที่สองจะสังเกตว่าความชื้นภายในวัสดุจะเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยภายในช่องว่างหรือรูพรุนที่มีขนาดเล็กที่กระจายอยู่ตลอดช่วงของวัสดุ ตัวอย่างรูปที่ 2.8 ในช่วงสุดท้ายของกระบวนการนี้อัตราการอบแห้งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งในกรณีนี้ความชื้นที่มีอยู่เราเรียกว่าค่าความชื้นสมดุล

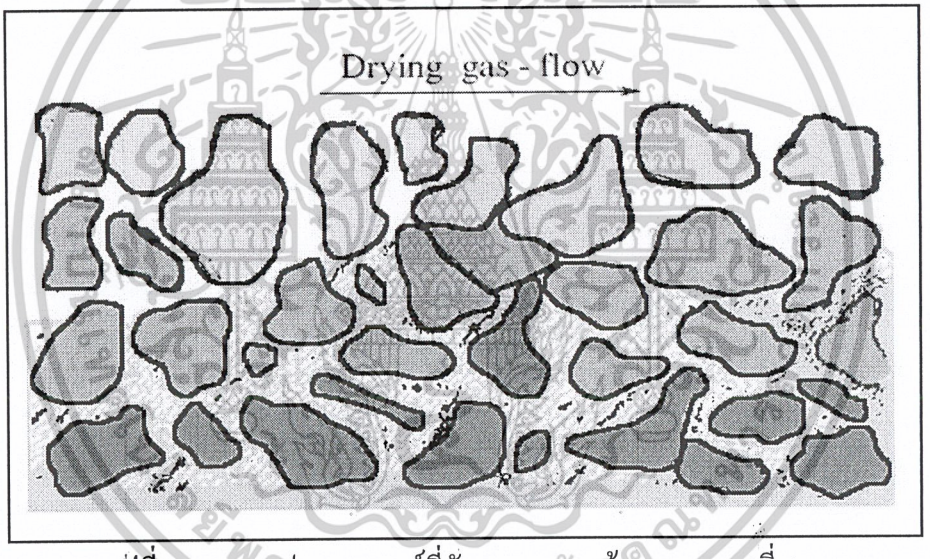
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.6 แสดงปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก

ที่มา: [18]

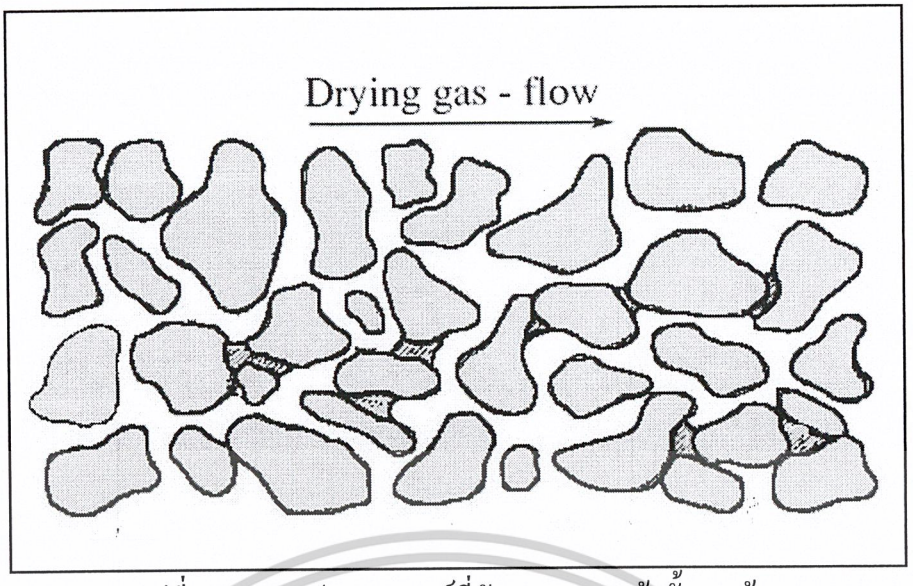


รูปที่ 2.7 แสดงปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง

ที่มา: [18]

62154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งขั้นสุดท้าย
ที่มา: [18]

2.2.3 การเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง [20]

วัตถุดิบไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ และผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะนำมาถนอมและแปรรูปด้วยการทำแห้งนั้น จำเป็นต้องมีการเตรียมให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม ซึ่งวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอาจมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดและสภาพของวัตถุดิบวิธีการและเครื่องทำแห้งที่ใช้สภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ต้องการและค่าจ่ายเป็นต้น การเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูปด้วยการทำแห้งโดยทั่วไปนั้นจะเตรียมวัตถุดิบเพื่อให้อยู่ในสภาพที่มีการปนเปื้อนของสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในปริมาณต่ำ หรือไม่มีเลย ซึ่งการปนเปื้อนของสิ่งต่างๆ ดังกล่าว เช่น โลหะแร่ธาตุ หิน แมลง สารเคมี จุลินทรีย์ สารพิษ และอื่นๆ มักมีผลต่อการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องทำแห้ง และอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค การเตรียมวัตถุดิบควรเตรียมให้อยู่ในสภาพที่เหมาะกับการนำทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ต้องการ เช่น ทำให้วัตถุดิบอยู่ในสภาพของเหลวข้น เมื่อต้องการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง การเตรียมวัตถุดิบมักมีการกำจัดส่วนที่บริโภคไม่ได้ออกไปก่อนนำไปทำแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้สะดวกแก่การนำไปบริโภคได้โดยตรง นอกจากนี้ยังควรเตรียมให้วัตถุดิบอยู่ในสภาพที่มีความสม่ำเสมอในแง่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านคุณภาพขนาดรูปร่าง ซึ่งทำให้อัตราการทำแห้งและผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้มีความสม่ำเสมอ และควรเตรียมวัตถุดิบเพื่อให้อยู่ในสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแห้ง เช่น การลดขนาดของวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง เป็นต้น

วัตถุดิบก่อนนำมาแปรรูปโดยการทำแห้งนั้นอาจต้องผ่านการเตรียมเพียงไม่กี่ขั้นตอนหรือหลายขั้นตอน ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ ลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ต้องการ วิธีการและเครื่องทำแห้งที่ใช้และอื่นๆ โดยทั่วไปปฏิบัติการที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้งได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคัดแยก การทำความสะอาด การปอกเปลือกและตัดแต่ง การลวก การใช้สารเคมีและปฏิบัติการอื่นๆ

2.2.3.1 การคัดแยก

ในขั้นของการเตรียมวัตถุดิบมักจะมีการคัดแยกวัตถุดิบ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีความสม่ำเสมอและเหมาะสม ที่จะนำไปแปรรูปด้วยการทำแห้ง เช่น ความเหมาะสมและสม่ำเสมอในแง่คุณภาพความแก่อ่อน ขนาด รูปร่าง ลักษณะปรากฏ เป็นต้น โดยการคัดแยกนั้น อาจอาศัยคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งของวัตถุดิบหรือร่วมกันในการคัดแยก ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและสภาพของวัตถุดิบซึ่งผลจากการคัดแยกที่ดีจะทำให้ได้วัตถุดิบที่มีความสม่ำเสมอเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้วัตถุดิบทุกชิ้นมีอัตราการทำแห้งใกล้เคียงกัน และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีคุณภาพสม่ำเสมอในที่สุด

2.2.3.2 การทำความสะอาด

วัตถุดิบที่นำมาทำแห้งมักจะมีการปนเปื้อนด้วยสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น โลหะแร่ธาตุ สารเคมีเชื้อจุลินทรีย์และอื่นๆ การทำความสะอาดจึงเป็นการช่วยกำจัดหรือลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนดังกล่าว ซึ่งการทำความสะอาดนั้นอาจเป็นการทำความสะอาดแบบเปียกด้วยการแช่ การพ่นละอองน้ำ การใช้แปรงขัด ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและสภาพของวัตถุดิบ นอกจากนี้อาจทำความสะอาดแบบแห้ง เช่น การใช้ลมเป่า การใช้แม่เหล็กในการแยกเศษโลหะที่ปะปนออกมาจากวัตถุดิบ เป็นต้น

2.2.3.3 การปอกเปลือกและตัดแต่ง

วัตถุดิบที่มีส่วนของเปลือกที่บริโภคไม่ได้หรือบริโภคได้แต่ต้องการแยกออกไป เช่น เปลือกของผัก ผลไม้ และอื่นๆ ก่อนนำมาทำแห้ง ซึ่งการปอกเปลือกนั้นอาจกระทำได้โดยลักษณะเชิงเคมีฟิสิกส์ เช่น การปอกเปลือกด้วยด่างด้วยไอน้ำร้อนด้วยเปลวไฟ เป็นต้น ทั้งนี้ชนิดและสภาพของวัตถุดิบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเลือกวิธีการปอกเปลือก ตัวอย่าง กรณีวัตถุดิบที่เป็นพืชหัว เช่น มันฝรั่ง มันเทศ แครอท

2.2.3.4 การลวก

การลวกเป็นปฏิบัติการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบเป็นเวลาสั้นๆ ที่เหมาะสม ณ อุณหภูมิที่กำหนดประมาณ 70 ถึง 105 องศาเซลเซียส ซึ่งมักใช้ในการเตรียมวัตถุดิบจาการลวกนี้เพื่อทำลายเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยทำความสะอาด ช่วยลดปริมาณสารที่ไม่ต้องการและลดออกซิเจนในวัตถุดิบด้วย วิธีการลวกที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ การลวกด้วยไอน้ำร้อนและน้ำร้อน นอกจากการลวกแล้ว บางครั้งจะมีการให้ความร้อนในระดับที่สูงขึ้น นานขึ้นเพื่อทำให้วัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสุกก่อนที่จะนำมาทำแห้ง

2.2.3.5 การใช้สารเคมี

ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้งโดยเฉพาะวัตถุดิบจากพืช เช่น ผัก ผลไม้บางชนิด อาจมีการใช้สารเคมีในการเตรียมวัตถุดิบดังกล่าว เช่น การใช้สารพวกซัลเฟอร์ได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไซด์ ในการรักษาสี แลกการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้แห้งจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถกระทำได้โดยการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือการแช่ในสารละลายเกลือเมทาไบซัลไฟต์ เช่น โพแทสเซียมเมทาไบซัลไฟต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่ามีข้อเสียในแง่ต่างๆ คือ ทำให้ภาชนะโลหะเกิดการกัดกร่อน ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการผลิตภัณฑ์อาหารทำลายที่มีคุณค่าทางอาหารบางชนิด เช่น วิตามินบีหนึ่ง นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญคือเรื่องความปลอดภัยต่อผู้บริโภคซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งพบว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้เกิดอาการแพ้อย่างรุนแรงในคนบางกลุ่ม จึงได้มีการค้นคว้าการใช้กรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดซิตริก การใช้วัตถุดิบกันหืน เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคเฟอรอล เป็นต้น

2.2.3.6 ปฏิบัติการอื่นๆ

ปฏิบัติการอื่นๆ ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำมาทำแห้ง ตัวอย่างเช่น ปฏิบัติการถอนขนของสัตว์มีขนการแยกกระดูกออกจากเนื้อ การแช่น้ำเกลือ และการปรุงรสที่ใช้เตรียมวัตถุดิบจากสัตว์บางชนิด เป็นต้น วัตถุดิบที่นำมาทำแห้งนั้น นอกจากจะอยู่ในสภาพแข็งคงรูปเป็นชิ้น เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ปลา วัตถุดิบบางประเภทอาจอยู่ในสภาพของเหลว เช่น น้ำนมดิบ หรือวัตถุดิบบางประเภทต้องมีการเตรียมให้อยู่ในสภาพของเหลว เช่น การเตรียมน้ำผลไม้ น้ำผัก จากผลไม้และผัก ก่อนนำมาทำแห้งเป็นน้ำผลไม้ผง หรือน้ำผักผง หรืออาจเตรียมวัตถุดิบให้มีสภาพข้นหนืดก่อนที่จะนำมาทำแห้ง เช่น การเตรียมกล้วยหอมให้มีลักษณะข้นหนืด ก่อนที่จะนำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เป็นต้น ดังนั้นในการเตรียมวัตถุดิบต่างๆ ดังกล่าว จึงมีปฏิบัติการอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ปฏิบัติการสกัดสำหรับสกัดน้ำผลไม้ปฏิบัติการลดขนาด ได้แก่ การตีป่นกล้วยหอม ปฏิบัติการแลกเปลี่ยนความร้อน ได้แก่ การระเหยเพื่อแยกน้ำออกจากวัตถุดิบต่างๆ ทำให้วัตถุดิบมีความเข้มข้นและมีความข้นหนืดที่เหมาะสมต่อการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งชนิดนั้นๆ เหล่านี้ เป็นต้น

2.2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง [21, 22]

2.2.4.1 ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบ ซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2.2.4.2 ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อการพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมาทับถมกัน การระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งที่พื้นที่หน่วยน้ำหนักมาก

2.2.4.3 ตำแหน่งอาหารในเตา

น้ำในอาหารส่วนที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำกว่าย่อมระเหยได้ดีกว่า

2.2.4.4 ปริมาณอาหารต่อถาด

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

2.2.4.5 ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยและจะมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

2.2.4.6 อุณหภูมิของอากาศร้อน

ในการกำหนดอุณหภูมิของอากาศร้อนที่จะใช้ในการอบแห้งว่าอยู่ในช่วงไหนนั้น จะต้องคำนึงถึงว่าเมล็ดพืชนั้นเป็นสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการอบที่อุณหภูมิสูงอาจทำลายหรือทำให้สุกหรือทำให้เมล็ดร้าวซึ่งเกิดจากความเค้น (Stress) ภายในเมล็ด ซึ่งทำให้ผิดวัตถุประสงค์ของการอบแห้ง ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความสามารถในการรับไอน้ำเพิ่มขึ้นมีผลต่ออัตราการทำแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นมีผลต่ออัตราการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง

2.2.4.7 ความเร็วของอากาศร้อน [19]

การอบแห้งที่ต้องการความรวดเร็ว เราจะต้องผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิสูงพอสมควรเข้าไปในขั้นของวัสดุ อากาศร้อนจำนวนนี้จะทำหน้าที่อย่างน้อย 2 ประการในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ ประการแรก ความร้อนที่มีอยู่ในอากาศจะถูกถ่ายเทให้กับวัสดุเพื่อทำให้วัสดุคายความชื้นแล้วในวัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น หรือไปเพิ่มพลังงานให้กับน้ำที่อยู่ภายในวัสดุ ประการที่สองอากาศร้อนจะช่วยพาเทาความชื้นหรือไอที่ซึมผ่านมาที่ผิวของวัสดุหลุดไปพร้อมๆ กับอากาศ ลมร้อนทำหน้าที่ ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วของลมร้อนร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการเคลื่อนย้ายน้ำออกจากวัสดุเร็วขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วของลมร้อนทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตาอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.2.4.8 ความชื้นสมดุล

ความชื้นสมดุล คือ ค่าความชื้นของอาหารที่มีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่บริเวณรอบๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นสมดุล คือ ค่าความชื้นของอาหารที่มีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่บริเวณรอบๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ

2.2.4.9 ความจุความร้อนจำเพาะ

ความจุความร้อนจำเพาะ คือ อัตราส่วนความร้อนที่ใส่เข้าไประบบต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

2.2.4.10 ความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างความจุความร้อนต่อหน่วยมวล

2.2.4.11 ความหนาแน่นของอาหาร

ความหนาแน่นของอาหาร คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของอาหารต่อปริมาตรของอาหารนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นของอาหาร

2.2.4.12 สัมประสิทธิ์การแพร่

เป็นคุณสมบัติเฉพาะของอาหารขึ้นกับความชื้นของอาหารที่มีผลต่อการอบแห้งสามารถหาค่าได้จากการทดลอง

2.2.5 ผลกระทบต่ออาหาร [23]

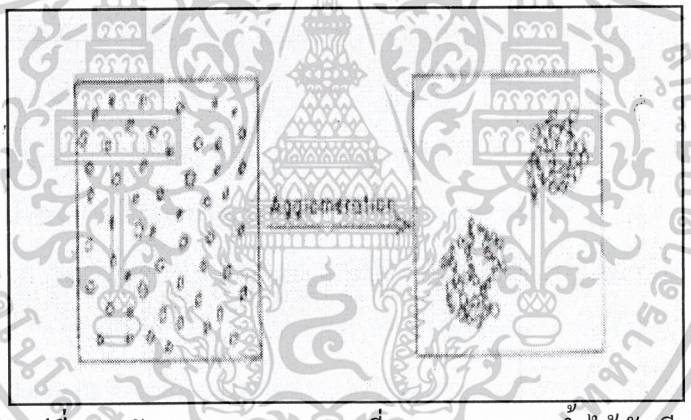
2.2.5.1 ลักษณะเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารในการทำแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพ การจัดการเบื้องต้น เช่น การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำลวก ชนิดและลักษณะของการลดขนาดและการปอกเปลือก ล้วนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้แห้งที่นำมาตกผลึกเซลลูโลส การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งส่วนต่างๆ ของอาหารที่ให้เกิดความเครียดภายใน ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณความชื้นของอาหารต่างๆ ก่อนและหลังการทำแห้ง ปัจจัยเหล่านี้จะอัดและเปลี่ยนรูปร่างเซลล์ที่ค่อนข้างแข็งไปเป็นอาหารที่มีลักษณะเหี่ยวย่น อาหารจะดูดคืนความชื้นอีกครั้งในระหว่างการดูดคืนน้ำอย่างช้าๆ แต่จะไม่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นเหมือนวัตถุดิบเดิม อาหารชนิดเดียวกันมีระดับการหดตัวที่ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.3

ในหลายประเทศจะไม่ใช้วิธีทำแห้งกับอาหารประเภทเนื้อสัตว์ เนื่องจากอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีรักษาอาหารอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนเกิดเสียสภาพและจับตัวกันและสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นผลทำให้กล้ามเนื้อเหนียวและแข็ง อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารมาก โดยทั่วไปการทำแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่าตัวละลายจะเคลื่อนที่จากด้านในไปยังผิวอาหารในระหว่างที่น้ำถูกกำจัดออกในขั้นตอนการทำแห้งกลไกและอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะสำหรับตัวละลายแต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะการทำแห้ง การระเหยของน้ำทำให้ตัวละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของอากาศทำให้อาหาร โดยเฉพาะผลไม้ ปลา และเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าอาหารและทำให้ผิวแห้งแข็ง หรือที่เรียกว่า การเกิดผิวแข็ง (Case hardening) ซึ่งจะลดอัตราการทำแห้งและทำให้อาหารมีผิวหน้าแห้งแต่ภายในชื้น การควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นด้านในและที่ผิวอาหารจะช่วยลดเหตุการณ์ดังกล่าวได้ ลักษณะของเนื้อสัมผัสจะเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นก่อนการอัดและความยากง่ายในการดูดคืนน้ำองค์ประกอบของอาหาร วิธีทำแห้งและขนาดของผลิตภัณฑ์จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส สำหรับอาหารแห้งผง การแปรรูปอาหารที่มีไขมันต่ำ เช่น น้ำผลไม้ มันฝรั่งและกาแฟ ให้ละลายได้ทันที ทำได้โดยการทำให้เกิดกลุ่มก้อนที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ (Agglomeration) โดยกลุ่มก้อนนี้จะมีจุดสัมผัสกันน้อย ผิวของแต่ละอนุภาคจึงเปียกง่ายเมื่อมีการเติมน้ำใหม่ และผงเหล่านี้จะจมลงใต้ผิวน้ำทำให้กระจายตัวได้ง่ายในของเหลว เรียกลักษณะดังกล่าวว่าความสามารถในการเปียก ความสามารถในการจม ความสามารถในการกระจาย และความสามารถในการละลาย ตามลำดับ สำหรับอาหารที่จัดเป็นผงละลายทันทีต้องใช้เวลาสำหรับขั้นตอนทั้ง 4 ไม่กี่วินาที ในรูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของอาหารผลบางชนิด



รูปที่ 2.9 ลักษณะของผงอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ทันที
ที่มา: [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณความชื้นของอาหารก่อนและหลังการทำแห้ง

อาหาร (%)	ความชื้นก่อนการทำแห้ง (%)	ความชื้นหลังการทำแห้ง
น้ำนม :		
น้ำนมสด	87	5.0
นมสกัดไขมัน	90	5.0
ไข่ :		
ไข่รวม	74	2.9
ไข่ขาว	88	7.3
ไข่แดง	51	1.1
เนื้อโค (เนื้อย่าง)	60	1.5
เนื้อไก่ (ไก่ย่าง)	61	1.6
ถั่ว (อบ)	92	11.5
ข้าวโพด (หวาน)	76	3.2
มันฝรั่ง (ต้ม)	80	4.0
น้ำแอปเปิล	86	6.2

ที่มา : [23]

ตารางที่ 2.3 สัดส่วนโดยประมาณสำหรับการอบแห้ง การหดตัวและการคืนตัวของผักบางชนิด

ผัก	อัตราการทำแห้ง	อัตราการหดตัวโดยรวม	อัตราการคืนตัว
กะหล่ำปลี	11.5	21.0	10.5
แครอท, ลูกเต๋า	7.5	12.0	7.0
หัวหอมใหญ่, แผ่นบาง	7.0	8.0	5.5
พริกไทยสด	17.0	22.0	8.0
ผักโขมฝรั่ง	13.0	13.5	5.0
แผ่นมะเขือเทศ	14.0	20.0	5.0

ที่มา : [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.2 กลิ่นและรส

ความร้อนนอกจากจะทำให้น้ำระเหยแล้วยังทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไอและความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารหอมระเหย สารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหยและการแทนที่สูงจะเกิดการสูญเสียที่ช่วงแรกของการอบแห้งเกิดการสูญเสียสารระเหยในช่วงหลังของการทำแห้งต่ำ การควบคุมสภาวะการทำแห้งในแต่ละขั้นตอนจะช่วยลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด อาหารให้กลิ่นรสที่มีมูลค่าสูง เช่น สมุนไพรและเครื่องเทศจะใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำ

ปฏิกิริยาออกซิเดชันรงควัตถุ วิตามินและไขมันในอาหารระหว่างการเก็บรักษาเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียกลิ่น อาหารแห้งซึ่งมีรูพรุนอยู่ภายในจะเก็บกักก๊าซออกซิเจนได้มากด้วย อุณหภูมิในการเก็บรักษาและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้จะเป็นตัวกำหนดอัตราการเสื่อมเสียของอาหาร

ปฏิกิริยาออกซิเดชันในนมผงแห้งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน เนื่องจากการผลิตผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 2 รวมทั้ง เดลตา – แล็คโตน ผักและผลไม้มีปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อยแต่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันดีไฮเดรชัน หรือออกซิเดชันและกลายเป็นแอลดีไฮด์ คีโตน และกรดซึ่งทำให้เกิดการเหม็นหืน แคโรทีนในอาหารบางชนิด เช่น แครอท อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิด เบตา – อิโอนโนน ซึ่งให้กลิ่นดอกไวโอแลต สามารถลดปฏิกิริยาเหล่านี้ได้โดยการบรรจุผลิตภัณฑ์ในสุญญากาศหรือเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ การกำจัดแสงอุลตราไวโอเลตหรือแสงที่มองเห็นได้ การควบคุมรักษาความชื้นให้ต่ำ การเติมสารสังเคราะห์หรือสารธรรมชาติที่สามารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การเติมเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสสามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารแห้ง การใช้ถุงซึ่งออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้แต่ความชื้นไม่ผ่านโดยมีกลูโคสและเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสบรรจุอยู่บนอาหารแห้งในบรรจุภัณฑ์ การกำจัดออกซิเจนออกจากช่องว่างในบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา นมผงภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 % นมจะดูดก๊าซและทำให้เกิดสุญญากาศย่อยภายในช่องว่างเหนืออาหาร อากาศจะแพร่ออกไปจากอาหารแห้งและถูกกำจัดออกโดยการเติมก๊าซใหม่หลัง 24 ชั่วโมง มีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้เพื่อป้องกันเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิสซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้กลิ่นเปลี่ยนแปลง

2.2.5.3 สี

การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของอาหาร การสะท้อนแสงและสี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของคาโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์เกิดจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้ง โดยทั่วไปการทำแห้งที่เวลานานกว่าและอุณหภูมิสูงกว่าทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สีเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ในอาหารทำให้เกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาทั้งนี้ป้องกันได้โดยการลวกหรือการใช้กรดแอสคอร์บิดหรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อัตราการเกิดสีคล้ำระหว่างการเก็บรักษาผักผลไม้ที่มีซัลเฟอร์ในปริมาณไม่มากนักจะแปรผกผันกับปริมาณซัลเฟอร์ที่ตกค้างอยู่เป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนสีผักผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลในนมหรือผลิตภัณฑ์ผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอาหารและอุณหภูมิในการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิการทำแห้งที่สูงเมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงกว่า 4-5% และอุณหภูมิการเก็บรักษาเกิน 38 °C

2.2.5.4 คุณค่าทางโภชนาการ

รายงานเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของอาหารแห้งมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากความแตกต่างกันในเรื่องการเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งและสภาวะในการเก็บรักษาการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของผักผลไม้มักจะเกิดในขั้นตอนการเตรียมมากกว่าในขั้นตอนการทำแห้ง Escher และ Neukom (1970) ได้รายงานว่าเกิดการสูญเสียวิตามินซีในแอปเปิลแผ่นระหว่างการเตรียมดังนี้ 8% ในการฝานบาง 62% ในการลวก 10% ในการบด และ 5% ในการทำแห้งโดยลูกกลิ้ง

ความสามารถในการละลายน้ำของวิตามินต่าง ๆ แตกต่างกันเมื่อเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้นวิตามินบางชนิด เช่น ไรโบฟลาวิน อาจเกิดการอิ่มตัวและตกตะกอนในสารละลาย จึงเกิดการสูญเสียน้อย วิตามินชนิดอื่น เช่น กรดแอสคอร์บิก จะละลายน้ำจนกระทั่งความชื้นของอาหารลดต่ำลงมากและเกิดปฏิกิริยากับตัวทำละลายด้วยอัตราเร็วเท่าการทำแห้ง วิตามินซีไวต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถลดการสูญเสียวิตามินซีได้โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำเวลาสั้น การควบคุมความชื้นและปริมาณออกซิเจนต่ำระหว่างการเก็บรักษา ไทอามินก็ไวต่อความร้อนเช่นกัน แต่วิตามินที่ละลายน้ำได้ชนิดอื่นจะทนทานต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าวิตามินซีและเกิดการสูญเสียระหว่างการทำแห้งไม่เกิน 5-10% ทั้งนี้ยกเว้นการสูญเสียเนื่องจากการลวก สารอาหารส่วนใหญ่ที่ละลายได้ในไขมัน เช่น กรดไขมันที่จำเป็น และวิตามิน เอ ดี อี และ เค จะคงอยู่ในส่วนของอาหารแห้งจึงไม่เข้มข้นขึ้นระหว่างการทำแห้ง อย่างไรก็ตามน้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับโลหะหนักซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอาหารที่ไม่อิ่มตัว เมื่อกำจัดน้ำออกตัวเร่งนี้จะมีความไวมากขึ้นและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เร็วขึ้น วิตามินที่ละลายได้ในไขมันเกิดการสูญเสียจากปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ที่เกิดการออกซิไดซ์ไขมัน การควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนและอุณหภูมิของการเก็บรักษาให้ต่ำและการกำจัดแสงออกไปจะช่วยลดการสูญเสียระหว่างการเก็บรักษาได้

ความสามารถในการย่อย (Digestibility) และค่าทางชีวภาพของโปรตีนในอาหารส่วนใหญ่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากมาย อย่างไรก็ตามโปรตีนในนมจะเกิดการเสียสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นบางส่วนในระหว่างการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง ความสามารถในการละลายของนมผงจึงน้อยลง เกิดการจับตัวและขาดความสามารถในการแข็งตัว มีรายงานว่า ค่าทางชีวภาพของโปรตีนนมลดลง 8-30% ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง การทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยจะไม่มีผลต่อค่างทางชีวภาพของโปรตีน ค่า BV ของโปรตีนนมจะลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างไลซีนและแล็กโตสที่อุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าประมาณ 5% ไลซีนจะไวต่อความร้อนและเกิดการสูญเสียในนมพร้อมไขมันเนย 3-10% ในการทำแห้งโดยการฉีดพ่นฝอย และ 5-40% ในการทำแห้งโดยใช้ลูกกลิ้ง

2.2.6 เครื่องอบแห้ง [23, 24]

เครื่องอบแห้งด้วยกระแสลมร้อน (Hot air dryers) เครื่องอบชนิดนี้มีส่วนประกอบหลัก คือ เครื่องถ่ายความร้อน (Heater) ใบพัดสำหรับเป่าลมร้อนกระจายทั่วอาหาร และทางระบายไอน้ำเพื่อให้ระเหยออกสู่ภายนอก ถ้าเป็นอาหารที่มีขนาดใหญ่ควรจะอบทีละชุด (Batch process) เพราะใช้เวลาอบนาน ส่วนอาหารที่เป็นชิ้นๆ เช่น ถั่ว ธัญพืช หรือข้าวโพดสามารถใช้ระบบต่อเนื่องได้

2.2.6.1 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา (Kiln dryers)

เครื่องอบแห้งเตาเผามีลักษณะเป็นโครงสร้างสองชั้น เตาเผาจะอยู่ชั้นล่างเพดานบนจะมีทางระบายไอน้ำออก อากาศร้อนและสารที่ได้จากการเผาจะพัดผ่านกองอาหารที่หนาถึง 20 เซนติเมตร มีการใช้เครื่องนี้มาแต่ดั้งเดิมสำหรับการอบแห้งแอปเปิลแผ่นในสหรัฐอเมริกา ฮอพและข้าวมอลท์ในยุโรป การควบคุมสภาวะการทำแห้งค่อนข้างยากและใช้เวลาในการอบแห้งนาน ใช้แรงงานสูงเนื่องจากต้องคอยกลับผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นอาหารแต่ละชิ้นอาจรับความร้อนไม่เท่ากันและต้องใช้เวลาอบนานทำให้สีอาหารเข้ม ส่วนข้อดีก็คือมีความจุสูง สร้างง่ายและใช้ค่าดูแลรักษาต่ำ

2.2.6.2 เครื่องอบแห้งแบบเป็นชั้น (Cabinet, Tray dryers)

เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้ลมพัดผ่านอาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นวางเรียงหรือแขวนอยู่ในห้องอบ ทำงานเป็นแบบกะ อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน ภายในตู้จะสร้างเป็นชั้นวางอาหาร ชั้นต่าง ๆ ทำด้วยโลหะบุฉนวน ส่วนอาหารจะใส่ในถาดตามชั้นเหล่านี้ อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/เมตร^{2}ของพื้นที่ผิวถาด นิยมใช้เครื่องอบแห้งชนิดนี้ในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ (1-20 ตัน/วัน) และเหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็กเพราะค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำ สามารถใช้อบแห้งอาหารได้หลายชนิด แต่ควบคุมดูแลยากและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ

2.2.6.3 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel dryer)

เครื่องอบแบบอุโมงค์มีขนาดใหญ่กว่าแบบชั้น เพราะสามารถจุชั้นต่าง ๆ ได้หลายชุด เป็นเครื่องที่ใช้ลมร้อนในการทำแห้งอาหารชิ้นบาง ๆ บนถาดซึ่งซ้อนอยู่บนรถบรรทุกที่จัดให้เคลื่อนที่กึ่งอัตโนมัติผ่านอุโมงค์ที่บุฉนวนไว้ ห้องอบมีลักษณะคล้ายอุโมงค์อาจยาวถึง 24 เมตร กว้าง 2 เมตร สูง 2 เมตร ในปัจจุบัน วิธีนี้ได้รับความนิยมมากกว่าการอบแห้งแบบใช้สายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าวิธีอื่น ใช้ค่าแรงงานต่ำและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่า

2.2.6.4 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Conveyor dryer or Belt dryers)

เครื่องอบแห้งแบบสายพานจะมีการติดตั้งระบบสายพานไว้ภายใน เป็นการทำแห้งอาหารซึ่งกองอยู่หนาประมาณ 5-15 เซนติเมตร บนสายพานที่มีรูพรุนอยู่ด้านล่างเหมาะสำหรับอบอาหารที่มีขนาดเล็กหรือหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ โดยอากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนผ่านกองอาหารและเคลื่อนที่กลับลงมาเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารปลิวไปจากสายพาน ส่วนมากจะอบให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงจนถึงระดับหนึ่งก่อนที่จะนำไปทำการอบแห้งแบบถังเพื่อการทำแห้งขั้นสุดท้าย เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีอัตราการผลิตสูงและสามารถควบคุมการทำงานได้ดีใช้ในการทำแห้งผักและผลไม้ได้ถึง 5.5 ตัน/ชั่วโมง

2.2.6.5 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดส์เบด (Fluidized bed dryers)

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดส์เบด มีลักษณะแตกต่างจากเครื่องอบอื่นๆ คือ ในระหว่างทำให้แห้งอาหารจะลอยตัวในลมร้อนเพราะฐานของเครื่องอบนี้จะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูทั้งแผ่นเมื่อลมร้อนพ่นผ่านรูเหล่านี้จะเกิดแรงดันซึ่งทำให้อาหารสามารถลอยตัวอยู่ได้ วิธีนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารให้มากที่สุดทำให้การทำแห้งง่ายขึ้น นอกจากนี้แล้วยังมีขนาดกะทัดรัดสามารถควบคุมสภาวะการทำแห้งได้ดี ให้ประสิทธิภาพด้านความร้อนและอัตราการทำแห้งสูง เครื่องนี้เหมาะสำหรับอบแห้งอาหารที่มีขนาดเล็ก เช่น ธัญพืช อาหารจำพวกถั่ว แครอท มันฝรั่ง หอมหัวใหญ่ เนื้อ แป้ง กาแฟ โกโก้ น้ำตาล เกลือ เป็นต้น

2.2.6.6 เครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์ (Pneumatic dryers)

อาหารที่เป็นชิ้นหรือผงจะถูกอบแห้งอย่างต่อเนื่องในท่อโลหะแนวนอนหรือแนวตั้งในเครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์และใช้ไซโคลนเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วออกมา เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้เงินลงทุนต่ำแต่ให้อัตราการทำแห้งและประสิทธิภาพของความร้อนสูง ควบคุมสภาวะการอบแห้งได้ดี นิยมใช้วิธีนี้หลังการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าปกติ เช่น มันฝรั่งเม็ด ไข่ผงและนมแบบพิเศษ

2.2.6.7 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary dryers)

เครื่องอบแห้งแบบนี้ประกอบด้วยภาชนะโลหะทรงกระบอกหมุนเอียงเป็นมุมเล็กน้อยอยู่ภายในและมีซี่โลหะเพื่อทำให้อาหารเคลื่อนที่ผ่านไอน้ำหรือลมร้อนขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในเครื่องอบ วิธีนี้เหมาะกับอาหารที่มีแนวโน้มที่จะจับตัวหรือเกาะกันในเครื่องอบแห้งแบบสายพานหรือถาด อย่างไรก็ตามความเสียหายเนื่องจากการขูดขีดหรือการกระทบกันในเครื่องทำให้เครื่องนี้ใช้ได้กับอาหารไม่กี่ชนิด เช่น เมล็ด โกโก้ ผลึกน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.8 เครื่องอบแห้งบนสายพานแขวน (Trough dryers หรือ Belt – trough dryers)

เครื่องอบแห้งบนสายพานแขวนใช้ในการอบแห้งอาหารชิ้นเล็กๆ ที่มีขนาดสม่ำเสมอ เช่น ถั่วหรือผักหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมบนสายพานที่มีรูเล็กๆ อยู่ด้านล่าง โดยสายพานนี้จะแขวนหลวมๆ ระหว่างลูกกลิ้ง มีการเป่าลมร้อนผ่านกองอาหาร การเคลื่อนที่ของสายพานจะทำให้เกิดการผสมและกลับอาหารให้เกิดผิวหน้าใหม่สัมผัสกับลมร้อนเสมอ เครื่องอบนี้ให้อัตราการอบแห้งสูง คือ ใช้เวลา 55 นาที สำหรับผักเทียบกับ 5 ชั่วโมงถ้าใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง ควบคุมได้ดีและผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายจากความร้อนน้อยมากแต่ไม่เหมาะกับอาหารที่มีความหนืดสูง

2.2.6.9 การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์ (Sun and solar drying)

เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เทคโนโลยีที่มีราคาถูก เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำไม่ต้องการพลังงานอื่นหรือความเชี่ยวชาญแรงงาน แต่มีข้อเสีย คือ ควบคุมสภาวะการอบแห้งยาก ให้อัตราการตากแห้งต่ำกว่าเครื่องอื่นๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำและมีความแตกต่างกันสูง นอกจากนั้นการตากแห้งยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล ใช้เวลานานและใช้แรงงานสูงกว่าวิธีอื่นๆ นิยมใช้กับผลไม้หรือเมล็ดธัญพืช

2.2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [17]

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำแห้งโดยทั่วไปมี 3 ลักษณะ แบ่งเป็น

1. สมการอบแห้งทางทฤษฎี (Theoretical equations)
2. สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical equations)
3. สมการอบแห้งเอมไพริคเคิล (Empirical equations)

2.2.7.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี (Theoretical equations)

เป็นสมการอบแห้งที่อาศัยพื้นฐานในการถ่ายเทความร้อนและมวล การนำไปใช้ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อนเนื่องจากจะเกี่ยวข้องกับทฤษฎีพื้นฐานการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุและจำเป็นต้องตั้งสมมติฐานหลายอย่างในการอธิบายกลไกของการทำแห้งที่เกิดขึ้น[25] ได้มีผู้นำหลักการทางทฤษฎีหลายทฤษฎีมาอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน Luikov (1966) ได้เสนอกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุซึ่งอาจเกิดขึ้นในแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจาก capillary flow ซึ่งเป็นผลจากแรงตึงผิว (surface force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (liquid diffusion)

3. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องมาจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็ก ๆ (surface diffusion)

4. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (vapor diffusion)

5. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวและไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (thermal diffusion)

6. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวและไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม (hydrodynamic flow)

จากกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุดังกล่าว Luikov (1996) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุ และความดันรวม เนื่องจากแบบจำลองของ Luikov (1996) มีความยุ่งยากมาก เพราะมีตัวแปรและตัวพารามิเตอร์หลายตัว

2.2.7.2 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical equations)

เป็นการนำเอาสมการอบแห้งทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้และทำให้ง่ายขึ้นในการหาคำตอบ ดังเช่น Lewis Model ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในระหว่างการทำแห้งจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่มีอยู่ในอาหารซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = -k_0(M - M_e)$$

เมื่อทำการอินทิเกรต ผลที่ได้ คือ

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-k_0 t) \qquad (1)$$

สมการ (1) อยู่ในรูปแบบ Simple Exponential Model ต่อมาได้มีการพัฒนาสมการนี้ให้อยู่ในรูปแบบ Page's Model คือ

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp\left(-k_0 t^n\right) \qquad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพบว่าทั้งสองสมการได้ถูกนำไปใช้อธิบายการทำแห้งอย่างกว้างขวาง และสามารถนำไปใช้อธิบายการอบแห้งได้เป็นอย่างดี [26] ตัวอย่างสมการอบแห้งกึ่งทฤษฎีมีดังนี้ [17]

1. อรุณี ผุดผ่อง และคณะ (2533) ใช้สมการการอบแห้งทางทฤษฎีสำหรับวัสดุทรงกลม คือ

$$\overline{MR} = \left(6/\pi^2\right)\sum_{p=1}^{\infty}\left(1/p^2\right)\exp\left(-p^2\pi^2x^2/9\right)$$

เมื่อ $X = (A/V)(Dt)^{1/2}$

A คือ พื้นที่ผิว, m^2

V คือ ปริมาตร, m^3

และสมการอบแห้งทางทฤษฎีสำหรับวัสดุรูปทรงสี่เหลี่ยม คือ

$$\overline{MR(t)} = \left(8/\pi^2\right)\sum_{p=0}^{\infty}\left[1/(2p+1)^2\right]\exp\left[-\left(2p+1^2\right)\pi^2 Dt/l_X^2\right]$$

และฟิตกราฟกับข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นในเมล็ดข้าวโพดได้ผลตามลำดับดังนี้

$$D = 0.1423\exp[-4496.2/(T+273)]$$
$$D = 0.1399\exp[-4343.4/(T+273)]$$

เมื่อ D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่, m^2/h

T คือ อุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพด, °C

2. ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2533) ใช้สมการอบแห้งทางทฤษฎีสำหรับวัสดุทางลูกบาศก์ คือ

$$\overline{MR} = \left(8/\pi^2\right)^3\left[\exp\left(-3\pi^2 Dt/l^2\right)+(3/9)\exp\left(-1/\pi^2 Dt/l^2\right)+(3/25)\exp\left(-27\pi^2 Dt/l^2\right)\right]$$

ฟิตกราฟเข้ากับผลการทดลองอบแห้งมะละกอแช่อิ่มในช่วงอุณหภูมิ 45-48 °C ได้ค่า D ดังนี้

$$D = 0.000917\exp[-2877.5/(T+273)]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = 0.000917\exp[-2877.5/(T+273)]$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ, °C

จากการแปรค่าความเร็วลมระหว่าง 0.7-1.3 m/s พบว่าความเร็วลมไม่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

3. อรุณี ผุดผ่อง และคณะ (2533) ทำการทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพดชั้นบาง หาค่า k ในรูปของอุณหภูมิและความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพดได้ว่า

$$k = 0.0617 - 7.542\times10^{-4}T - 0.09042M_{in} + 0.0218M_{in}T$$

อุณหภูมิอากาศอบแห้งและความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 45-70 °C และ 0.18-0.36 มาตรฐานแห้งตามลำดับ จากการแปรค่าความเร็วลมระหว่างการทดลองจาก 0.4-1.12 m/s พบว่าความเร็วลมไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

4. Sitthiphong et al. (1987) ทดสอบการอบแห้งถั่วลิสงทั้งฝัก ได้ค่า k ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิดังนี้

$$k = 5.879\times10^{-8}\exp[0.04591(T+273)]$$

สำหรับช่วงอุณหภูมิ 40-60°C และความเร็วลม 0.19-0.65 m/s นอกจากนี้ Sitthiphong et al. (1987) ยังศึกษาการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดถั่วเหลือง และถั่วเหลืองก่อนนวดด้วย

2.2.7.3 สมการอบแห้งเอมไพริคเคิล (Empirical equations)

เป็นการสร้างความสัมพันธ์จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยตรงไม่ได้อาศัยความรู้ทฤษฎีพื้นฐานใดๆ สมการในลักษณะนี้ไม่สามารถอธิบายการทำแห้งได้อย่างถูกต้อง [27]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มารีนา และคณะ [28] ศึกษาการแนวทางการอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มที่เหมาะสมโดยใช้ตู้อบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโดยพิจารณาความเหมาะสมจากคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จากผลการทดลองและผลการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าในการอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มที่เหมาะสมสับปะรดแช่อิ่มควรมีความหนาชิ้นละ 1- 2 เซนติเมตร อุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้ง 65°C อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 11 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมสับปะรดแช่อิ่มแห้ง อัตราส่วนอากาศเวียนกลับ 75 % ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นและสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะประมาณ 9.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย โดยเวลาในการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นตามความหนาและความชื้นเริ่มต้นของสับปะรด

ฐิตถิ และณัฏฐพล [22] ศึกษาการทำแห้งและสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุกโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบถาด และการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง จากผลการทดลองพบว่าการทำแห้งเนื้อลูกตาลด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดและให้คุณภาพต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับการทำแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพเนื้อลูกตาลสุกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดและแบบลูกกลิ้ง พบว่าการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 110°C ความเร็วรอบ 0.5 รอบต่อนาที เมื่อนำมาทำขนมตาลจะมีความเข้มของสี ความสม่ำเสมอของสี เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70°C

สุนทรี [29] ได้ศึกษาผลของมอลโตเด็กซ์ตรินที่เติมในน้ำใบเตยที่ระดับ 5 และ 10% w/w) และอุณหภูมิอากาศร้อนเข้าที่130, 150 และ170°C ที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่าการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 10%มีผลให้ % yield, Aw และความเข้มของกลิ่นในผลิตภัณฑ์ผงสูงกว่า 5% อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าในช่วงที่ศึกษาไม่มีผลต่อ % yield แต่ Aw มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนเข้า

เกศศิณี และจันทร์เพ็ญ [30] ได้ศึกษาศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผักพื้นบ้านไทย พบว่าผักในวงศ์ Umbelltferae ได้แก่ ผักหนอกและมะแหลบโดยในผักหนอกจัดอยู่ในพวกที่มีศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระสูง

มารีนา และคณะ [31]

ได้ศึกษาหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การอบแห้งขิง โดยมีความชื้นเริ่มต้นของขิงก่อนอบประมาณ 20%db จากการทดลองที่อุณหภูมิในช่วง 50-72°C พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นสมดุลจะต่ำลงในช่วงความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 10-30% แต่จะสูงขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศมากกว่า 40% จากการทดลองที่อุณหภูมิ 45-72°C ที่ความเร็วลม 1.3 m/s พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น จากการทดลองหาความหนาแน่นของขิงพบว่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นขิงเพิ่มขึ้นและจากการทดลองหาความร้อนจำเพาะพบว่าความร้อนจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อความชื้นขิงมีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมการทดลอง

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1.2 วัสดุ

สมุนไพรที่ใช้

1. ขิง ใช้พันธุ์ขิงใหญ่ (Zingiber officinale Roscoe) จากตลาดสี่มุมเมือง
2. บัวบก ใช้พันธุ์พื้นเมือง (Centella asiatica Urb) จากตลาดคลองเตย

สารเคมี

1. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์
2. โซเดียมไบคาร์บอเนต

3.1.1.3 อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความเร็วลม Hot Wire Anemometer ยี่ห้อ Testo รุ่น 425
2. เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบเป็นชั้น ยี่ห้อ K.N.T
3. เครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Agilent รุ่น 34901A Data Acquisition/ Switch Unit
4. เครื่องวัด A_w ยี่ห้อ Aqualab รุ่น Model Series 3 TE
5. เครื่องสไลด์ ยี่ห้อ PHILIPS รุ่น HR2830
6. เครื่องวัดคุณภาพสี ยี่ห้อ Colorimeter รุ่น JC-801
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อYamato Electronic Balance รุ่น HB-120
8. เครื่องปิดผนึกถุง ยี่ห้อ Dako รุ่น SK-210
9. เตาอบ Hot Air Oven ยี่ห้อ Memmert รุ่นUM400
10. โถอบแห้ง
11. Aluminum can
12. เทอร์โมมิเตอร์
13. นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ Casio รุ่น HS-5
14. บีกเกอร์ ขนาด 250 ml
15. กะจาด กะละมังใหญ่ และกะละมังเล็ก
16. สำสีหรือผ้าขนหนู
17. มีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. เขียง
19. ถุงมือผ้ากันความร้อน
20. ถุงพลาสติก (PE ขนาด 23.5 cm x 35.5 cm)

3.2 การวางแผนการทดลอง

ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ และความเร็วลม

3.2.1 อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70 °C

3.2.2 ความเร็วลม 3 ระดับ คือ ระดับที่ 0.22, 0.46 และ 0.54 m/s

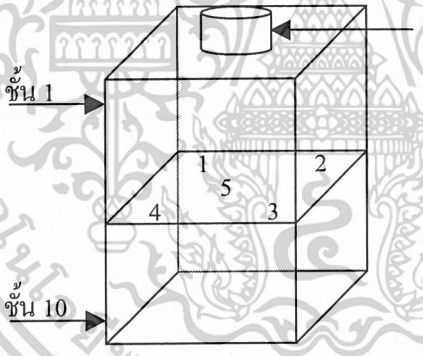
แผนการทดลอง 4 × 3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

ตัวอย่างสมุนไพร 2 ชนิด ดังนั้นประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด

4 × 3 × 2 ×2 = 48 การทดลอง

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การทดสอบสมรรถนะตู้อบ



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งที่วัดค่าต่างๆ ภายในตู้อบลมร้อน

3.3.1.1 การวัดอุณหภูมิ

1. วัดอุณหภูมิภายในตู้อบแต่ละชั้นแต่ละตำแหน่งจนครบโดยใช้ Thermocouple แบบ j-type
2. บันทึกผลที่ได้ นำไปวิเคราะห์หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยโปรแกรม Statistica

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การวัดความเร็วลม

1. วัดความเร็วลมที่ระดับความเร็วลมต่างๆ ภายในตู้ที่ตำแหน่งต่างๆ จนครบ โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม Hot Wire Anemometer ยี่ห้อ Testo รุ่น 425

2. บันทึกผลที่ได้นำไปวิเคราะห์หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยโปรแกรม Statistica

3.3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

ขิงสดและบัวบกสดที่ใช้ในการทำแห้งจะถูกเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10°C

3.3.2.1 ขิง

1. ล้างน้ำเปล่าให้สะอาด
2. แช่โซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ 0.1 % เป็นเวลา 5 นาที
3. สะเด็ดน้ำให้แห้งเป็นเวลาประมาณ 30 นาที
4. ปอกเปลือกออกโดยใช้มีด
5. หั่นโดยใช้เครื่องสไลด์ซึ่งจะได้ความหนาของขิงประมาณ 3 มิลลิเมตร
6. วิเคราะห์ค่าความชื้นและค่าสีเริ่มต้น

3.3.2.2 บัวบก

1. ล้างน้ำเปล่าให้สะอาด
2. แช่โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.5% เป็นเวลา 5 นาที
3. สะเด็ดน้ำให้แห้งเป็นเวลาประมาณ 30 นาที
4. วิเคราะห์ค่าความชื้นและค่าสีเริ่มต้น

3.3.3 การอบแห้ง

1. ชั่งน้ำหนักของสมุนไพรโดย ขิงใช้ประมาณ 1.5 กิโลกรัมและบัวบกใช้ประมาณ 0.7 กิโลกรัม

2. นำวัตถุดิบใส่ถาดโดยแบ่งใส่ถาดทั้ง 2 ให้เท่ากันๆ กำหนดให้ถาดที่ 6 เป็นถาดสำหรับการสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพ เกลี่ยให้กระจายทั่วกันและสม่ำเสมอภายในถาดโดยการวางเรียงให้เป็นไปในลักษณะชั้นบาง 3 ชั้น

3. ปรับตั้งเครื่องอบแห้งตามอุณหภูมิและความเร็วลมที่กำหนด รอจนกระทั่งค่าที่ได้เข้าสู่สมดุล

4. นำวัตถุดิบเข้าตู้อบ จับเวลาเพื่อชั่งน้ำหนักทุก 15 นาทีในชั่วโมงแรก และทุกๆ 30 นาที จนกว่าจะเข้าสู่สภาวะสมดุล

5. เก็บตัวอย่างที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ค่าความชื้น, ค่า A_w, คุณภาพสีและ Rehydration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำแห้งโดยใช้สมการแบบ Simple Exponential และ Page's Model

3.4 การคำนวณ

3.4.1 การคำนวณค่าความชื้น

3.4.1.1 ค่า DM (Dry Moisture) หรือ ค่าน้ำหนักแห้งของอาหาร (g)

$$DM = w_O\left(1-\frac{mcwb}{100}\right)$$

เมื่อ

W_o = น้ำหนักสมุนไพรเริ่มต้น (g)

mcwb = ความชื้นมาตราฐานเปียก (moisture content wet basis)

3.4.1.2 ค่าความชื้น ณ เวลาใด ๆ (M_t)

$$M_t = \left(\frac{w_t - DM}{DM}\right)\times 100$$

เมื่อ

w_t = น้ำหนักของสมุนไพรที่เวลาใด ๆ (g)

3.4.1.3 ค่าความชื้นสมดุล (M_e)

โดยหาจากการที่สภาวะการทำแห้งเข้าสู่สภาวะสมดุล คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก หรือ น้ำหนักคงที่แล้วนั้นเอง

$$M_e = \left(\frac{w_f - DM}{DM}\right)\times 100$$

เมื่อ

w_f = น้ำหนักสุดท้ายของสมุนไพรเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.4 ค่าอัตราส่วนความชื้น (MR: Moisture Ratio)

$$MR = \left(\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \right)$$

เมื่อ

M_t = ความชื้นของวัตถุดิบที่เวลาใด ๆ

M_o = ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (dry basis)

M_e = ความชื้นสมดุลของวัตถุดิบ

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

นำตัวอย่างสมุนไพรแต่ละชนิดมาบดให้ละเอียด (ยกเว้นค่า Rehydration) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพกายภาพดังนี้

3.5.1 ค่าปริมาณความชื้น (AOAC, 1990)

วิธีการหา

1. อบ Aluminum Can พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำมาใส่โถอบแห้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที
3. ชั่งน้ำหนักของ Aluminum Can พร้อมฝา
4. ชั่งวัตถุดิบ 2 กรัม ใส่ใน Aluminum Can อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ทิ้งไว้ในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนักจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

การคำนวณ

$$\text{Wet basis} = \frac{(W_i - W_f) \times 100}{(W_i - W_A)}$$

$$\text{Dry basis} = \frac{(W_i - W_f) \times 100}{(W_f - W_A)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

W_A = น้ำหนักของ Aluminum Can (g)

W_i = น้ำหนักของ Aluminum Can พร้อมตัวอย่างก่อนอบแห้ง (g)

W_f = น้ำหนักของ Aluminum Can พร้อมตัวอย่างหลังอบแห้ง (g)

3.5.2 ค่าสีในระบบ L, a, b

โดยทำการวัดสีของตัวอย่างก่อนและหลังการทำแห้ง

วิธีการ

1. วางถุงพลาสติกกรองบนรูที่อยู่บนเครื่อง
2. วางตัวอย่างทับบนถุงพลาสติก
3. นำกล่องดำมาครอบตัวอย่าง
4. เปิดเครื่องเพื่อวัดค่า

3.5.3 ค่าอัตราการคืนตัว (Rehydration ratio) [32]

โดยการแช่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งประมาณ 10 กรัม ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 50°c เป็นเวลา 50 นาที หลังจากนั้นนำค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณหาค่าอัตราการคืนตัว จากสมการ

$$\text{weight gain (\%)} = \frac{(W_T - W_D)}{W_D} \times 100$$

เมื่อ

weight gain = อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก

W_T = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการแช่น้ำ ณ เวลาใดๆ (g)

W_D = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (g)

3.5.4 ค่า A_W

วิธีการ

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 30 นาที
2. นำน้ำกลั่นใส่ รอจนกระทั่งสมดุล
3. นำตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าใส่ รอจนกระทั่งสมดุล
4. อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

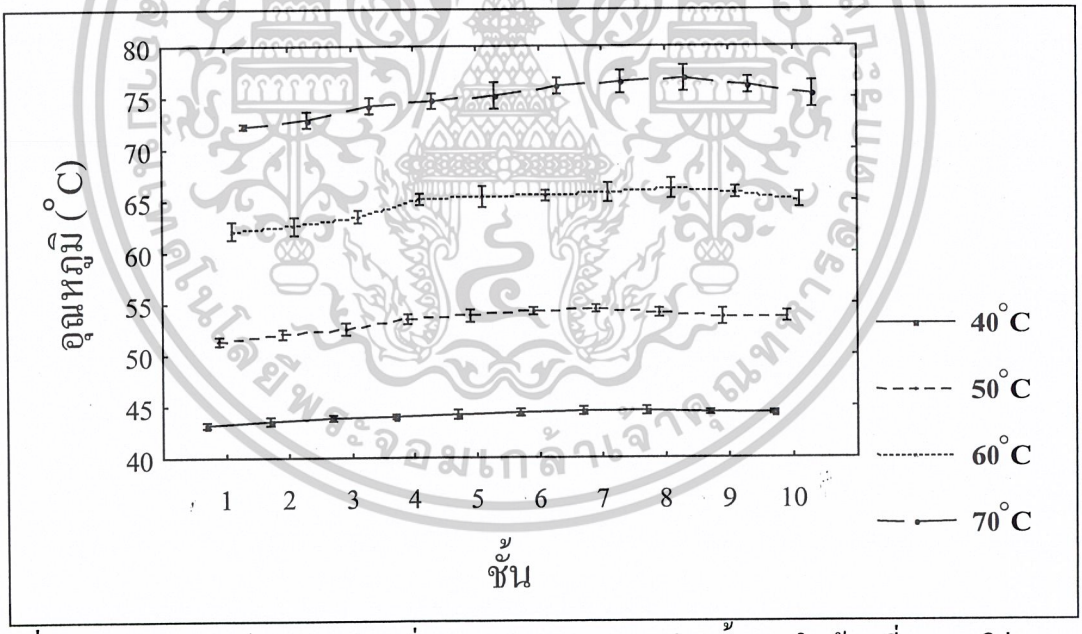
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 สมรรถนะของตู้อบลมร้อน

การทดลองอบแห้งใช้ตู้อบแห้งแบบลมร้อนของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ซึ่งสามารถปรับค่าตัวแปรอุณหภูมิและความเร็วลมร้อนภายในตู้อบได้ตามกำหนด ตู้อบมีขนาด 68 ซม.×68 ซม. ×160 ซม.ภา ยในตู้อบสามารถวางถาดสำหรับตัวอย่างที่ต้องการอบแห้งขนาด 40 ซม.× 61 ซม. จำนวน 10 ถาด

4.1.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิ

จากการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้อบที่เปิดช่องลมออก 45 องศาโดยการปรับปุ่มควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40, 50 และ 60°C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งต่างๆ 5 ตำแหน่ง ภายในถาดแต่ละชั้นเป็นจำนวน 10 ชั้น (รูปที่ 3.1 หน้า 35) โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้เท่ากับ 43, 51, 61 และ 70°C ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชั้นภายในตู้อบที่อุณหภูมิต่างๆ

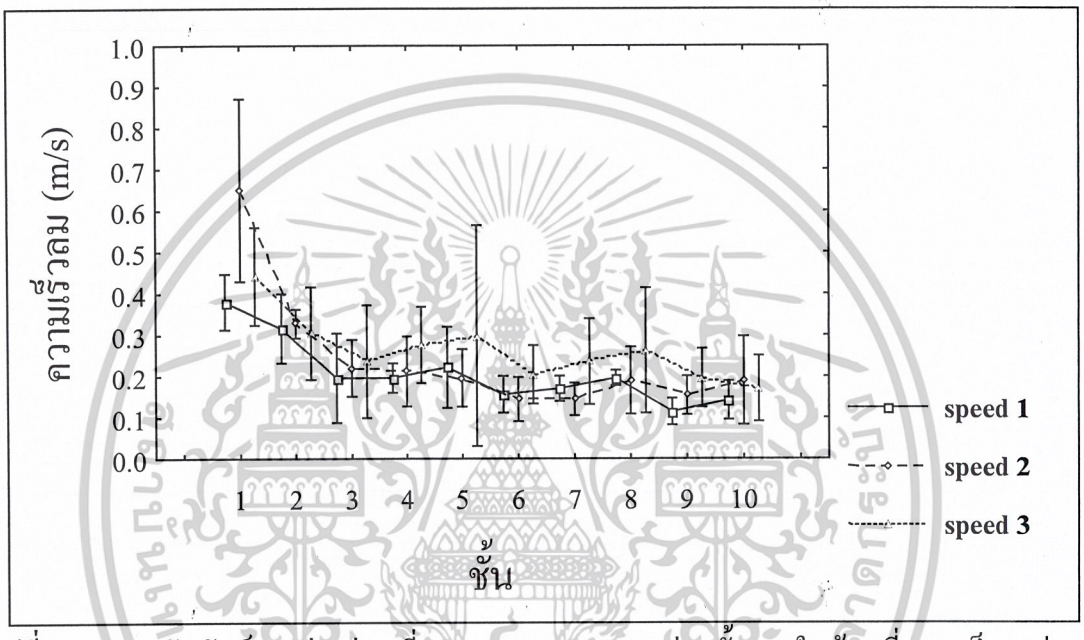
จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิที่อยู่ตำแหน่งด้านล่างของตู้อบจะมีอุณหภูมิสูงกว่าในตำแหน่งด้านบนของตู้ประมาณ 4°C ความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละถาดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปรับค่าอุณหภูมิให้สูงขึ้น ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละถาดที่ได้มีค่า $\pm 1.2^{o}$C เมื่อทำการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลโดยใช้วิธีการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) พบว่าที่บริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งถาดบนชั้นที่ 4 ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70°C มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.19, 0.39, 0.44 และ 0.6 ตามลำดับและตำแหน่งถาดบนชั้นที่ 6 ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70°C มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28, 0.29, 0.42 และ 0.63 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิบนถาดเดียวกันต่ำสุด (ภาคผนวก 1ก)

4.1.2 การวิเคราะห์ความเร็วลม

ตู้อบแห้งที่ใช้ทดลองมีปุ่มปรับระดับความเร็วลม 3 ระดับคือระดับที่ 1, 2 และ 3 วัดความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้ Hot Wire Anemometer ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชั้นภายในตู้อบที่ความเร็วลมต่างๆ

จากการทดสอบตั้งค่าความเร็วลมทั้ง 3 ระดับ พบว่า ที่ระดับ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างกัน นั้นคือค่าความเร็วลมที่วัดได้มีค่า 0.18 m/s ในขณะที่ที่ระดับ 3 ความเร็วลมมีค่า 0.24 m/s แต่อย่างไรก็ตามค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งชั้นบนสุดจะมีความแตกต่างของความเร็วลมบนถาดเดียวกันสูงสุด แต่ค่าความแตกต่างจะลดลงที่ตำแหน่งด้านล่างของตู้อบ เมื่อทำการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลโดยใช้วิธีการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) พบว่าที่บริเวณตำแหน่งถาดบนชั้นที่ 4 ที่ความเร็วลมระดับ 1, 2 และ 3 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03, 0.07 และ 0.07 ตามลำดับและตำแหน่งถาดบนชั้นที่ 6 ที่ความเร็วลมระดับ 1, 2 และ 3 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04, 0.04 และ 0.06 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิบนถาดเดียวกันต่ำสุด (ภาคผนวก 2ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 สรุปสมรรถนะตู้อบลมร้อน

จากการทดสอบการทำงานของตู้อบลมร้อนสามารถสรุปได้ว่า ในการควบคุมสภาวะของตัวแปรอุณหภูมิและความเร็วลมที่ตำแหน่งชั้นที่ 4 และ 6 จะมีความสม่ำเสมอมากกว่าที่ตำแหน่งอื่น จึงใช้เป็นตำแหน่งที่วางตัวอย่างสำหรับการอบแห้งต่อไป

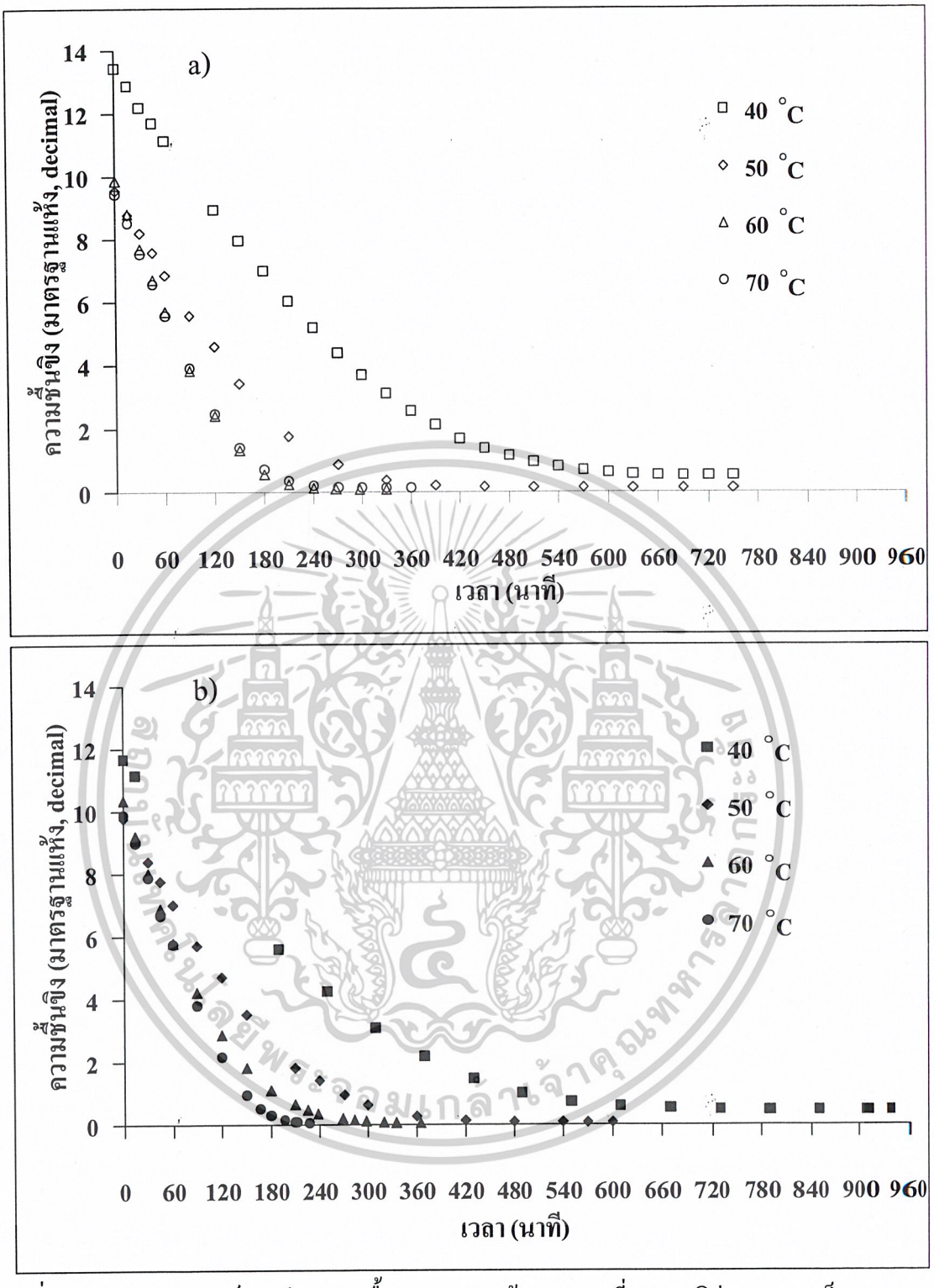
4.2 ผลการทดลองการทำแห้ง

ความชื้นของขิงเริ่มต้นก่อนทำแห้งเท่ากับ 89-93% และความชื้นเริ่มต้นของบัวบกเท่ากับ 87 -92% จากที่ได้กล่าวไว้ว่าการทำการทดลองนี้ได้ทำการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำ แต่ในการทดลองขิงครั้งแรกนั้น ค่าความชื้นที่ได้เกิดการผิดพลาดเนื่องจากบางตัวอย่างไม่ได้หาความชื้นเริ่มต้นในทันที ทำให้ค่าความชื้นที่ได้มีค่ามากกว่าที่ควรจะเป็น ในการวิเคราะห์จึงใช้ข้อมูลจากการทดลองซ้ำที่ 2 เท่านั้น ส่วนการทดลองของบัวบกการทดลองในครั้งที่ 2 นั้นความถี่ในการบันทึกข้อมูลน้อยกว่าครั้งแรก

4.2.1 อัตราการทำแห้ง

จากการทดลองอบแห้งขิงและบัวบกที่สภาวะอุณหภูมิและความเร็วลมต่างๆ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลา ดังรูปที่ 4.3 a) และ b) และรูปที่ 4.4 a) และ b) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการทำแห้งทั้งขิงและบัวบก จะมีค่าเพิ่มขึ้น พิจารณาที่สภาวะการทำแห้ง ที่อุณหภูมิ 70 °C และความเร็วลม 0.18 m/s เวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลในการทำแห้งของขิงและบัวบก มีค่า 240 และ120 นาที ตามลำดับ โดยมีค่าความชื้นสมดุลของขิงเท่ากับ 9.2% และความชื้นสมดุลบัวบกเท่ากับ 9.3% ผลของความเร็วลมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นพบว่า ความเร็วลมในช่วง 0.18 – 0.24 m/s ไม่ส่งผลแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นมากนัก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะช่วยลดค่าความชื้นได้เร็วขึ้นและในขณะเดียวกันความชื้นสมดุลของขิงและบัวบกจะมีค่าต่ำลง

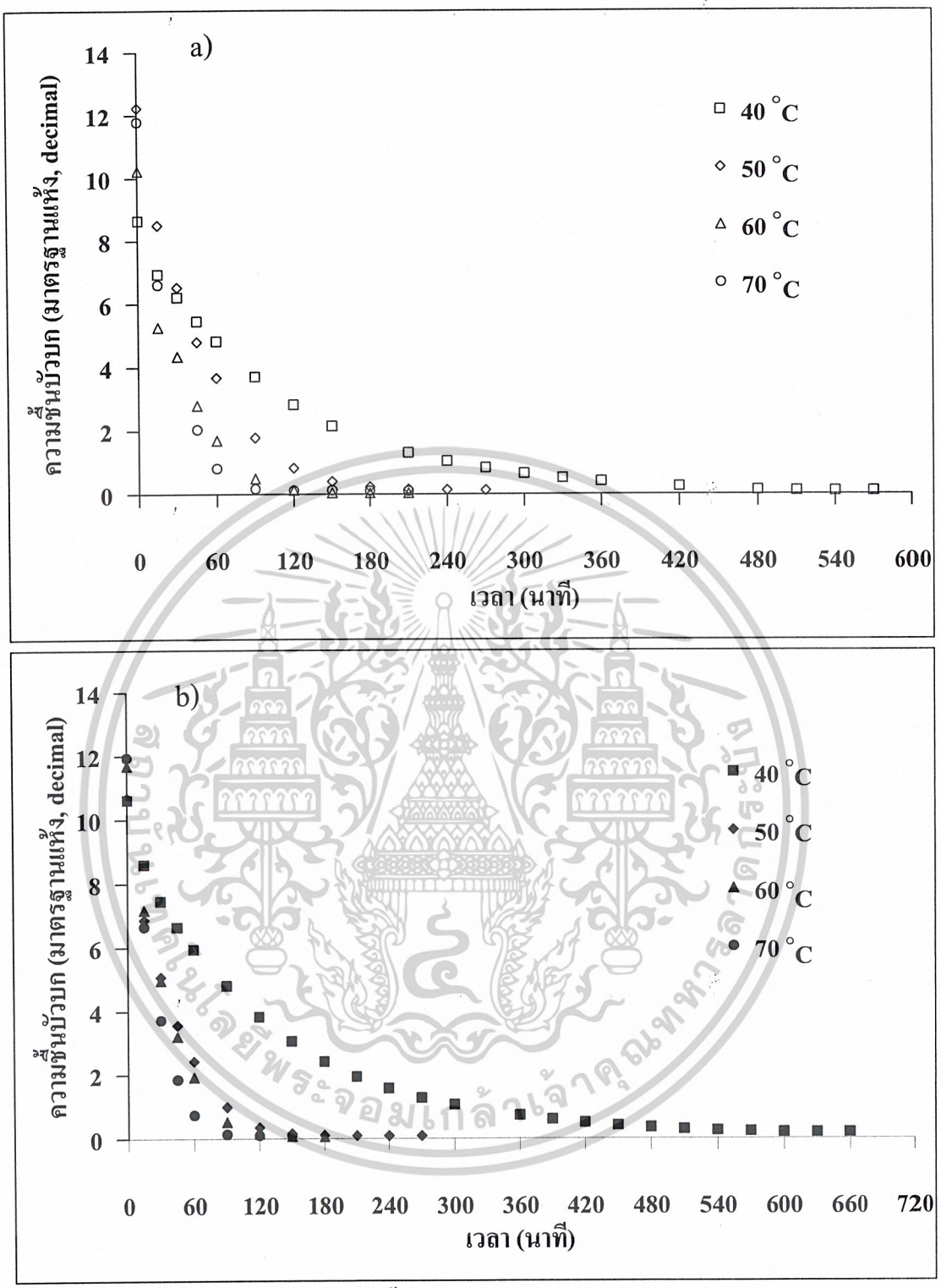
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.3 a) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลาที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของชิง

b) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลาที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 a) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของบัวบก

b) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของบัวบก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการอบแห้งชั้นบางจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของน้ำได้รับความร้อนมากขึ้นก็จะมีพลังงานในการเคลื่อนที่มากพอที่เอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ จึงทำให้น้ำเคลื่อนที่เร็วขึ้น มีผลต่ออัตราการอบแห้งเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

4.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำแห้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พัฒนามาจากสภาวะของตัวแปรที่ใช้ทำแห้งคือ อุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมภายในตู้อบ นำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์โดยการวิเคราะห์แบบ Non-linear regression (ภาคผนวก 1ข, 2ข) เพื่อทำนายค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่างๆ แบบจำลองทางคณิตสาสตร์ที่ได้นำมาใช้ในการทดลองนี้มี 2 แบบ คือ

สมการ Simple exponential $MR = \exp(-kt)$

สมการ Page's model $MR = \exp(-kt^n)$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (นาที)

k, n = ค่าคงที่การอบแห้ง

ค่าคงที่หรือค่าพารามิเตอร์ k, n ที่ได้จากสมการทั้งสองถูกนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Multiple Regression (ภาคผนวก 3ข, 4ข) เพื่อหาความสัมพันธ์กับสภาวะการทำแห้งผลที่ได้เป็นดังนี้

4.2.2.1 สมการ Simple Exponential

1. ขิง

$MR = \exp(-kt)$

$k = (-0.000005T^2) + (0.0006750T) + (0.004280(Tv)) + (-0.1611250v) + (0.3386940v^2)$

$R^2 = 0.99458673$, SE = 0.00110

2. บัวบก

$MR = \exp(-kt)$

$k = (-0.000012T^2) + (-0.66595v) + (-0.00053(Tv)) + (0.002444T) + (1.677322v^2)$

$R^2 = 0.99711499$, SE = 0.00254

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 สมการ Page's Model

1. ขิง

$MR = \exp(-kt^n)$

$k = (0.0006850T) + (-0.000026(Tv)) + (-0.1745850v) + (-0.000006T^2) + (0.4267580v^2)$

$R^2 = 0.92035501$, SE = 0.00085

$n = (28.4876v) + (-70.7173v^2) + (0.0005T^2) + (-0.0622T) + (0.0233\times(Tv))$

$R^2 = 0.99879535$, SE = 0.07734

2. บัวบก

$MR = \exp(-kt^n)$

$k = (0.00848T) + (-0.00955(Tv)) + (-1.99202v) + (5.75077v^2) + (-0.00005T^2)$

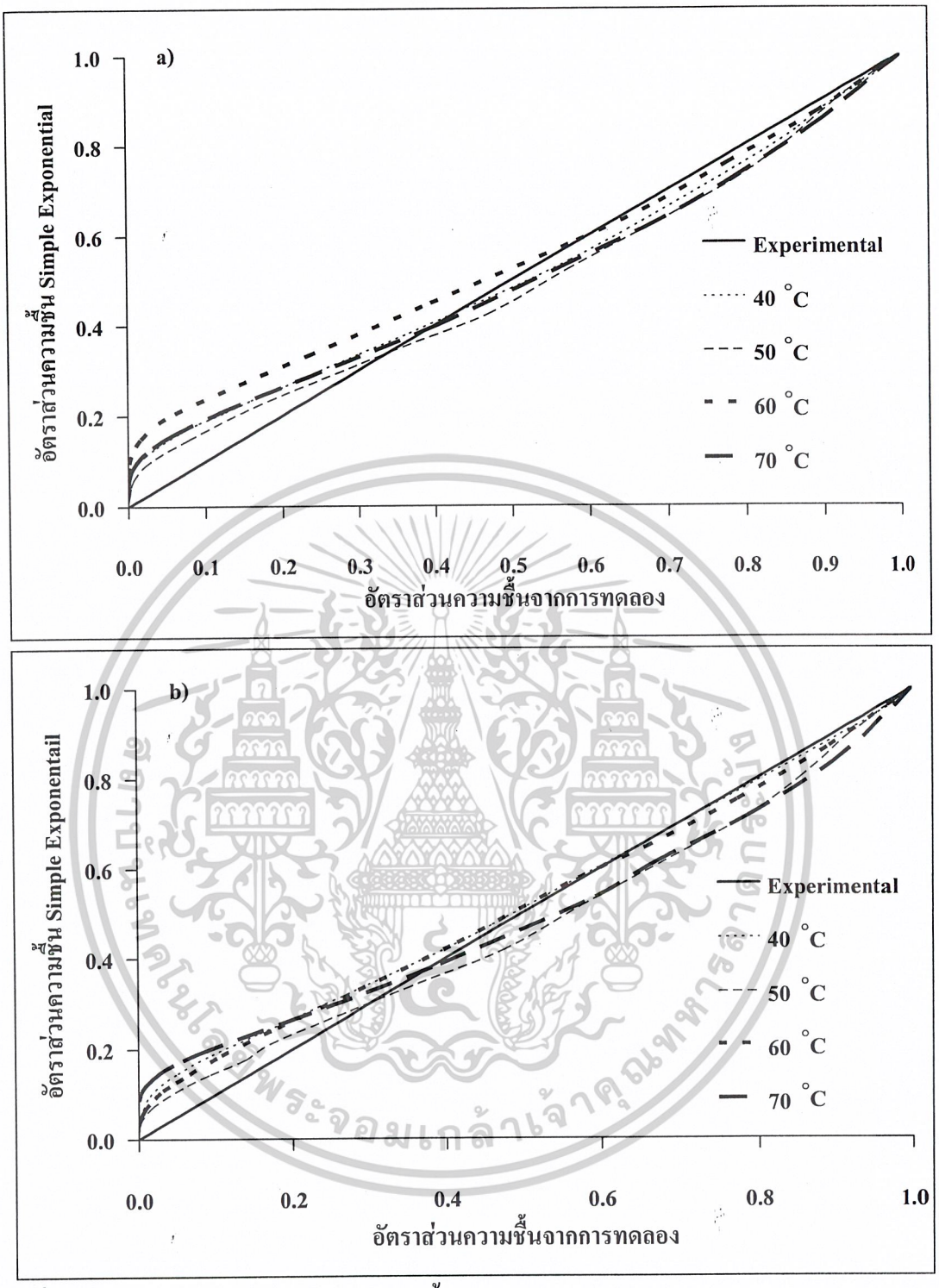
$R^2 = 0.94438242$, SE = 0.01205

$n = (-0.0274T) + (0.0002T^2) + (14.5724v) + (-42.3077v^2) + (0.0684(Tv))$

$R^2 = 0.99674924$, SE = 0.09121

ค่าสหสัมพันธ์และค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าจากสมการที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่างๆ พบว่าค่าที่ได้จากสมการ Simple exponential จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าค่าที่ได้จาก Page's Model ดังแสดงในรูปที่ 4.5 – 4.8 a) และ b)

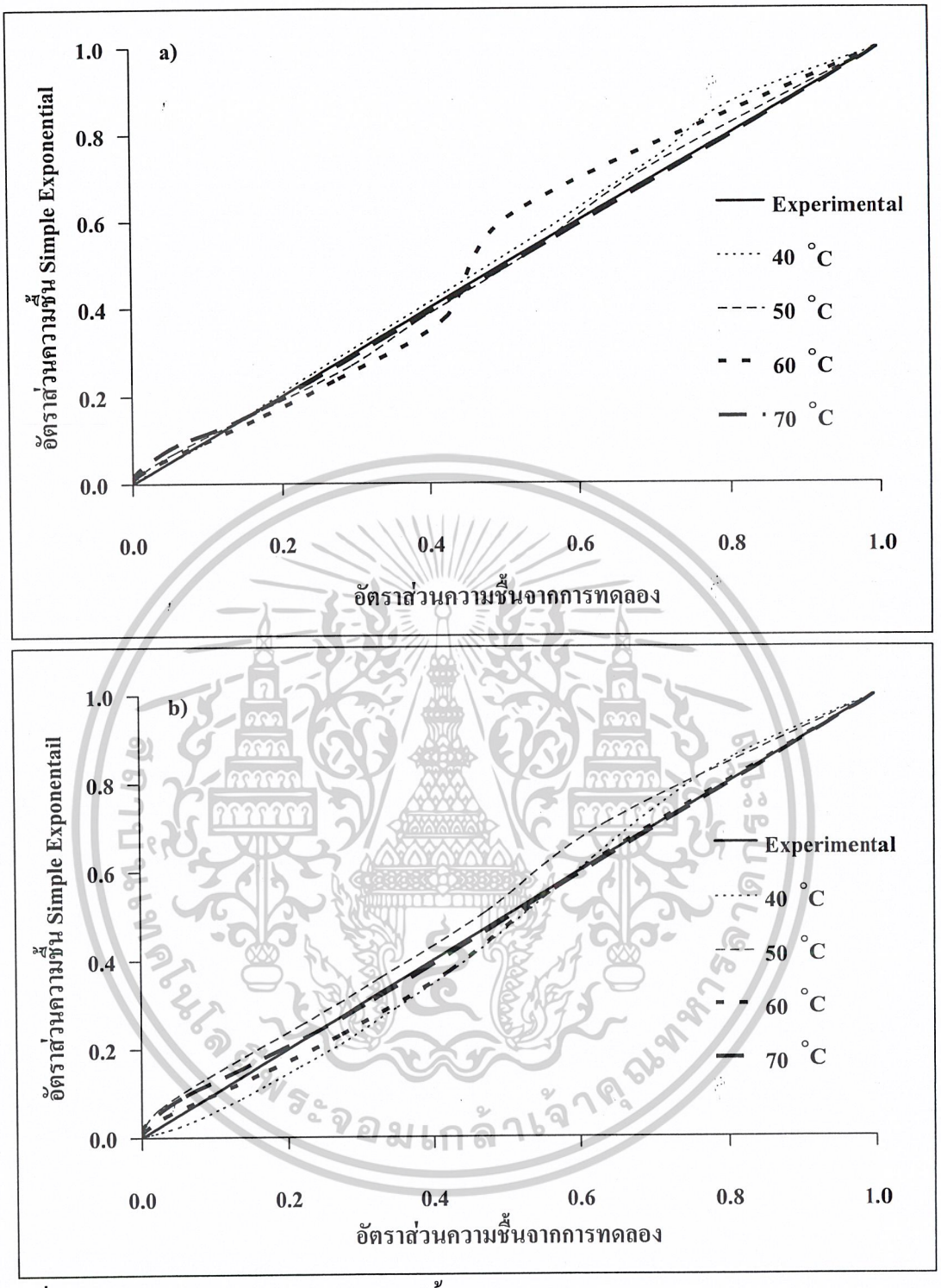
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 a) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองกับแบบจำลอง Simple Exponential ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของขิง

b) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองกับแบบจำลอง Simple Exponential ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของขิง

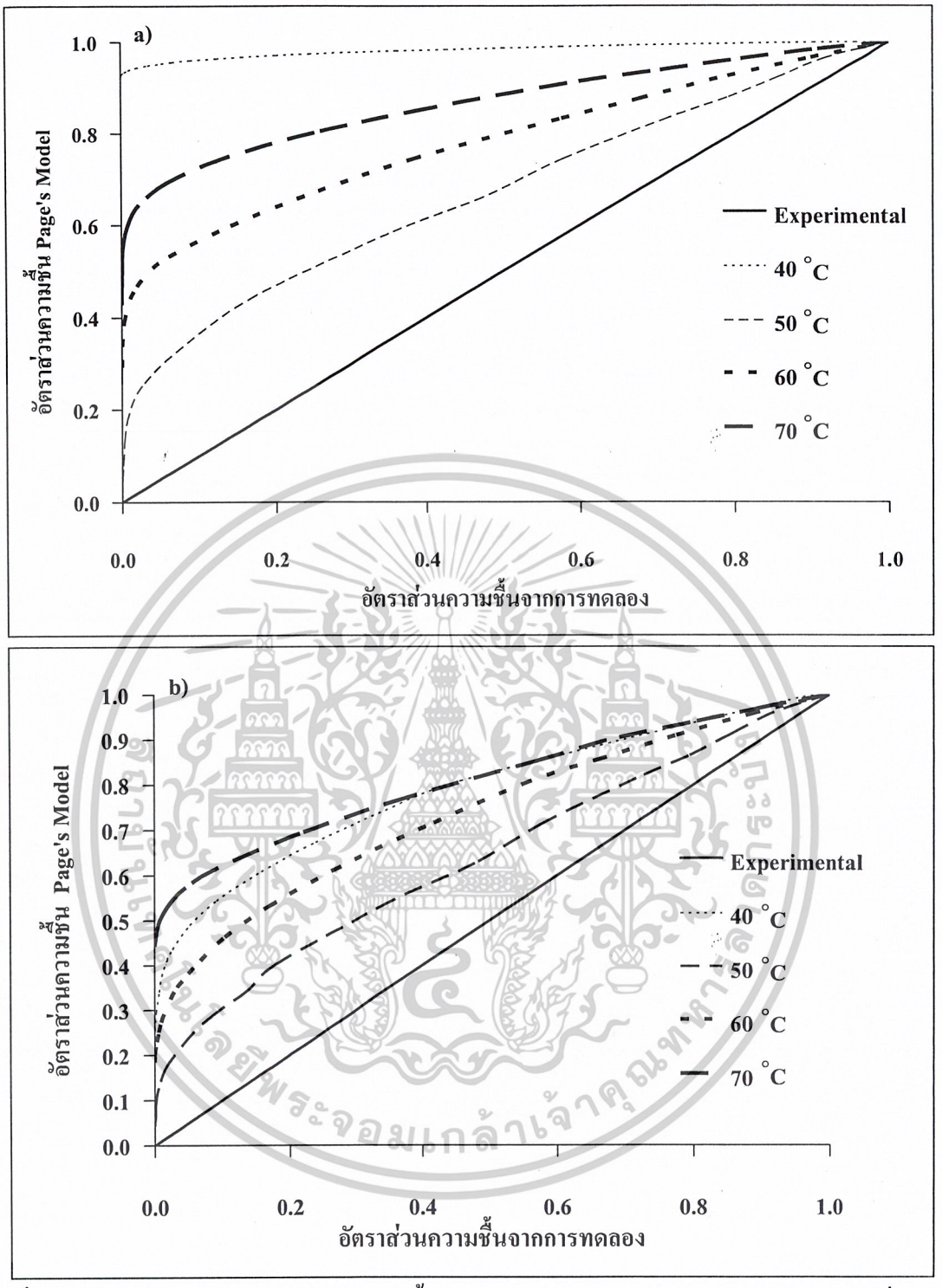
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 a) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองกับแบบจำลอง Simple Exponential ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของบัวบก

b) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองกับแบบจำลอง Simple Exponential ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของบัวบก

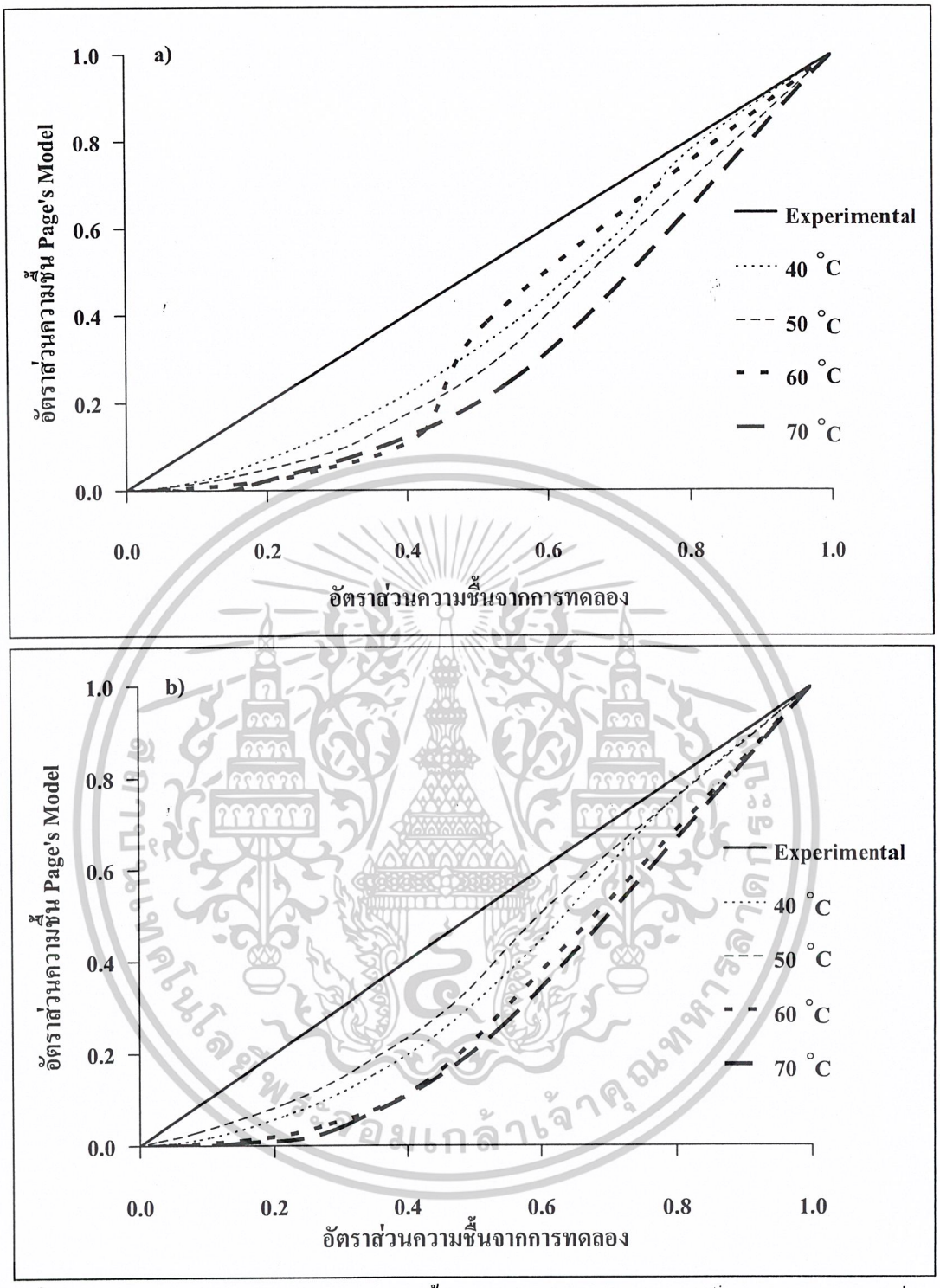
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 a) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองกับแบบจำลอง Page's Model ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของขิง

b) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองกับแบบจำลอง Page's Model ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของขิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 a) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองกับแบบจำลอง Page's Model ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.18 m/s ของบัวบก

b) การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองกับแบบจำลอง Page's Model ที่อุณหภูมิต่างๆ ความเร็วลม 0.24 m/s ของบัวบก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 a) และ b) และรูปที่ 4.6 a) และ b) จะเห็นว่าสมการ Simple exponential ให้ผลการทำนายค่าความชื้นในระหว่างการทำแห้งขิงได้ดีกว่า โดยเฉพาะในช่วงแรกของการทำแห้ง แต่เมื่อค่าอัตราส่วนความชื้นต่ำกว่า 0.4 ค่าที่ได้จากสมการ จะมีแนวโน้มที่มากกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง และความแตกต่างของค่าทั้งสองจะมีมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น ส่วนในกรณีของบัวบกพบว่าค่าความชื้นที่ได้จากสมการ Simple exponential จะต่ำกว่าค่าที่ได้จริงจากการทดลองเล็กน้อยที่ความเร็วลม 0.24 m/s แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าทั้งสองจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ในกรณีของขิงพบว่า Page's Model จะให้ ค่าความชื้นมากกว่าค่าความชื้นที่ได้จากการทดลองในทุกสภาวะอุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้อบแห้ง ส่วนในกรณีของบัวบกพบว่าเมื่อใช้ Page's Model ในการทำนายค่าความชื้นบัวบกระหว่างการทำแห้งผลที่ได้มีลักษณะตรงกันข้ามกับในกรณีขิงคือค่าความชื้นที่ได้จากการทำนายมีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นที่ได้จากการทดลอง

4.2.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของขิงที่ได้หลังการทำแห้ง

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็ว (m/s)	ค่าสี			ความชื้น (% wb)	ความชื้น (% db)	อัตราการดูดน้ำกลับ
			L	a	b			
1	40	0.18	59.13	5.50	22.74	9.82	10.89	55.13
2	50	0.18	57.54	4.49	22.28	10.32	11.51	53.54
3	60	0.18	56.43	5.24	21.83	9.44	10.42	52.43
4	70	0.18	55.53	7.11	19.11	7.34	7.92	51.53
5	40	0.24	59.78	4.96	23.14	8.03	8.73	55.78
6	50	0.24	57.26	7.43	22.61	5.51	5.83	53.26
7	60	0.24	56.04	7.38	21.64	5.48	5.80	52.04
8	70	0.24	55.16	7.72	20.21	4.69	4.92	51.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของบัวบกหลังการทำแห้ง

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็ว (m/s)	ค่าสี			Aw	ความชื้น (% wb)	ความชื้น (% db)	อัตราการดูดน้ำกลับ
			L	a	b				
1	40	0.18	38.75	-7.44	15.44	0.591	8.56	9.36	79.85
2	50	0.18	37.07	-6.47	14.44	0.382	11.3	12.74	82.34
3	60	0.18	33.92	-5.37	13	0.402	3.46	3.58	84.94
4	70	0.18	33.55	-4.38	12.62	0.361	9.17	10.1	85.32
5	40	0.24	36.88	-7.02	14.47	0.585	9.32	10.29	79.57
6	50	0.24	35.93	-6.56	13.95	0.371	7.75	8.4	82.43
7	60	0.24	33.93	-3.87	12.54	0.412	6.32	6.75	83.67
8	70	0.24	33.01	-4.2	12.12	0.366	5.21	5.5	84.12

ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้นั้น คุณสมบัติที่นำมาวิเคราะห์โดยทั่วไป แบ่งได้ดังนี้

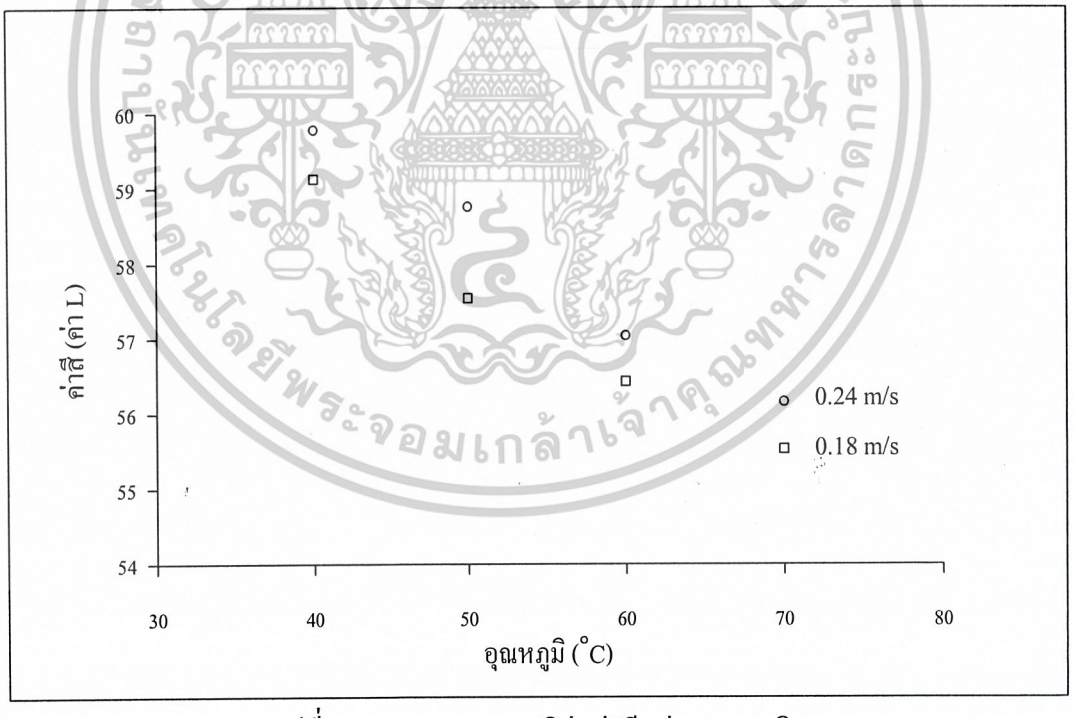
1. ผลของอุณหภูมิต่อ - ค่าสี
   - ค่าอัตราการคืนตัว (Rehydration ratio)
   - A_w
2. ผลของความเร็วลมต่อ - ค่าสี
   - ค่าอัตราการคืนตัว (Rehydration ratio)
   - A_w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1 ค่าสี

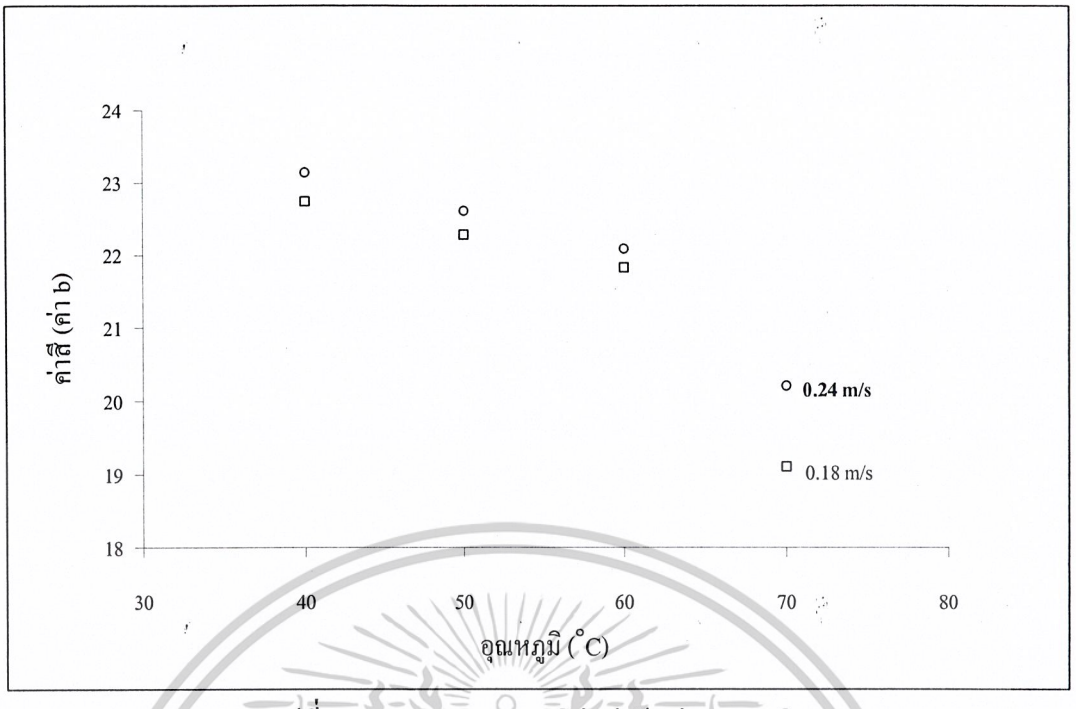
การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นวัดจากค่า L, a และ b ค่า L (Lightness) ใช้แสดงความสว่าง ค่า a (red/green value) แสดงค่าสีแดงหรือสีเขียว ถ้า a เป็น บวก (+) แสดงความเป็นสีแดง ส่วน a เป็น ลบ (-) แสดงความเป็นสีเขียว ค่า b (yellow/blue value) แสดงความเป็นสีเหลืองหรือความเป็นสีน้ำเงิน ถ้า b เป็น บวก (+) แสดงความเป็นสีเหลือง ส่วน b เป็น ลบ (-) แสดงความเป็นสีน้ำเงิน ค่าสีเริ่มต้นของขิงสดมีค่าดังนี้ คือ L= 63.64, a = 1.93 และ b = 23.2 ส่วนบัวบกจะมีค่าสีเริ่มต้นดังนี้ คือ L= 27.2, a = -5.19 และ b = 11.08 ในกรณีของขิงพบว่า ค่า a ของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากค่าเริ่มต้นมากนัก การเปลี่ยนแปลงของสีส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่า L และค่า b

ส่วนค่า L จะเห็นว่า จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 40°C และใช้ความเร็วลม 0.18 m/s ค่า L มีค่าเท่ากับ 59.13 ซึ่งยังคงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น การลดลงของค่า L มีเพียงเล็กน้อย การลดลงของค่า L จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้นค่า L จะมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 70°C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 55.53 นั่น หมายถึงขิงแห้งมีความคล้ำเกรียมของสีมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงและในทำนองเดียวกันความเป็นสีเหลืองของขิงแห้งจะลดลง เมื่ออุณหภูมิการทำแห้งมีค่าสูงขึ้น นอกจากนั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีจะเกิดขึ้นน้อยกว่าถ้าใช้ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสี (ค่า L) ของขิง

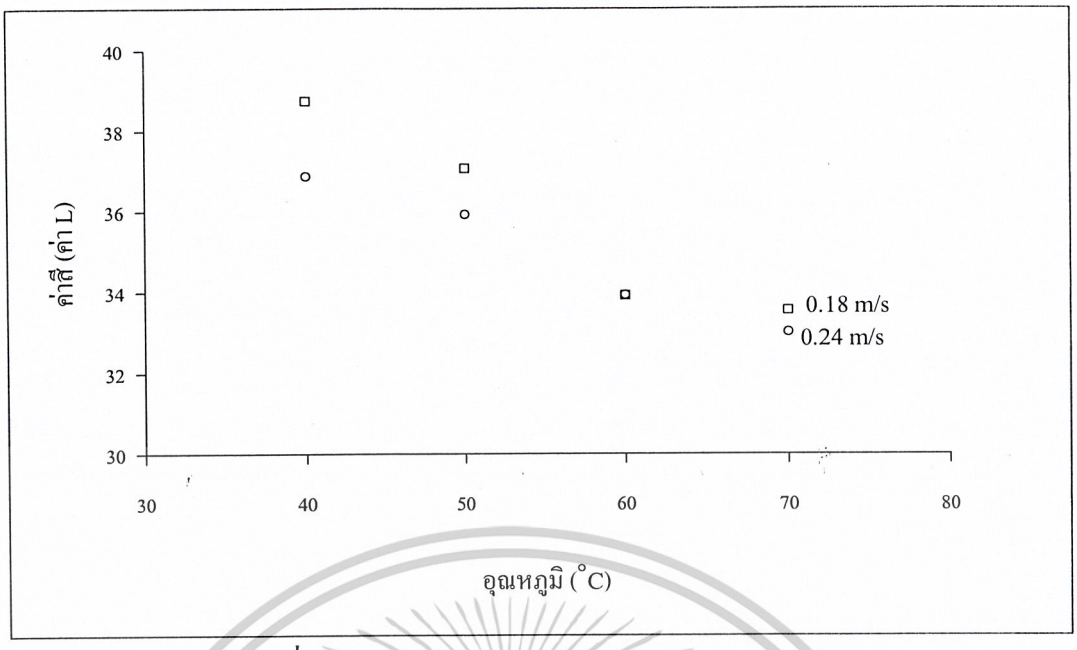
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสี (ค่าb) ของขิง

ส่วนในกรณีของบัวบกผลที่ได้มีลักษณะตรงกันข้ามกับในกรณีของขิง กล่าวคือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า L มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลง ค่า a ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเขียว ที่อุณหภูมิต่ำการเปลี่ยนแปลงของค่า a มีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นและมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 70°C ซึ่งมีค่าเท่ากับ -4.38 ส่วนผลของความเร็วลมพบว่า เมื่อความเร็วลมมีค่าต่ำการเปลี่ยนแปลงของค่า L จะมีค่าน้อยกว่าในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของค่า a จะเกิดขึ้นมากที่ความเร็วลมมีค่าสูงดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสี (ค่า L) ของบัวบก

รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสี (ค่า a) ของบัวบก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

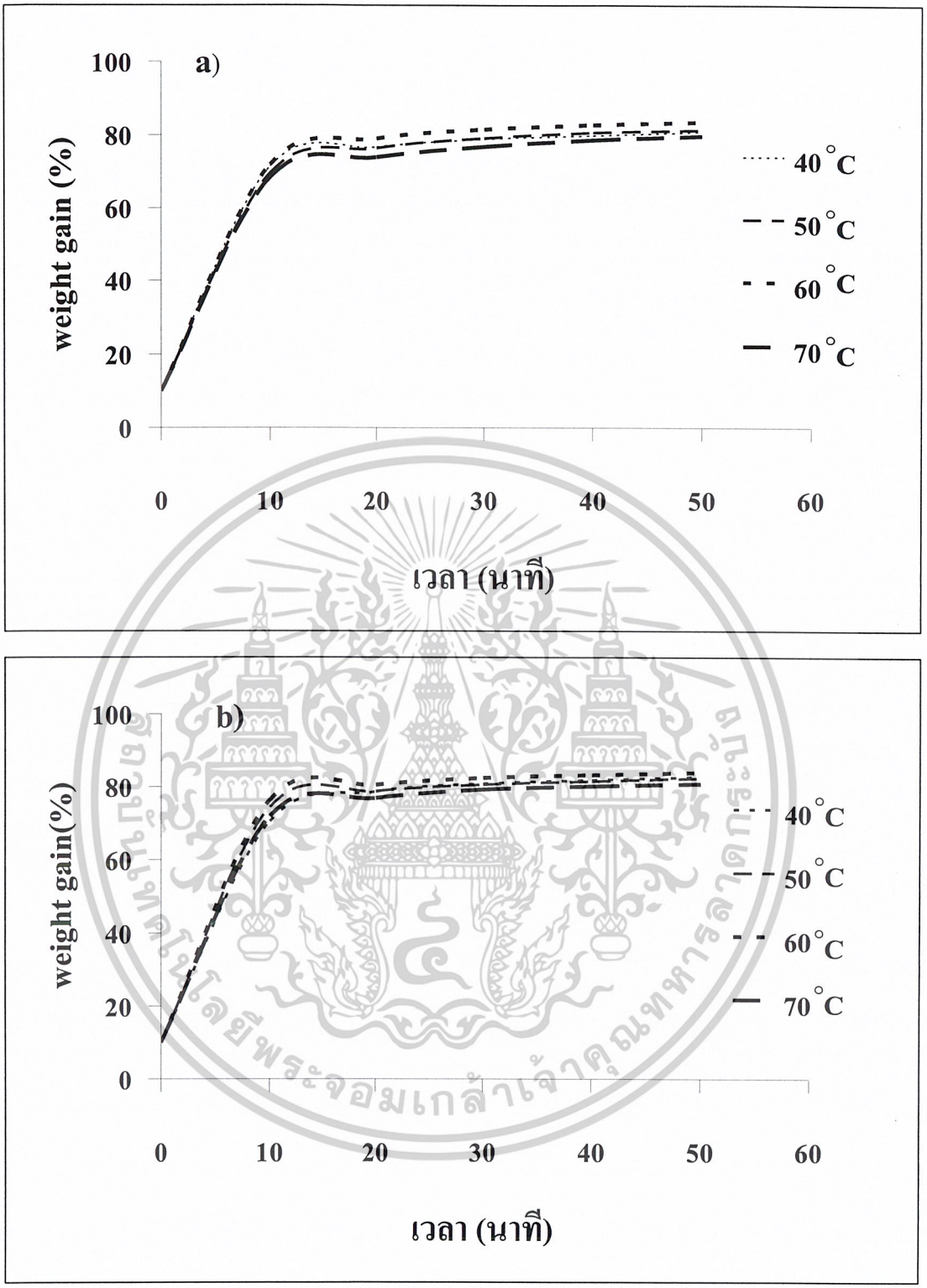
4.2.3.2 อัตราการคืนตัว

จากการทดสอบหาอัตราการคืนตัวของขิงแห้งผลที่ได้แสดงในกราฟรูปที่ 4.13 a) และ b) แสดงอัตราการคืนตัวหรือความสามารถในการดูดซึมน้ำกลับของขิงแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำอัตราเร็วในการคืนตัวของขิงสามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่าขิงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงซึ่งพบการยุบตัวของตัวอย่างหลังทดลองน้อยมากยกเว้นที่อุณหภูมิ 60°C ที่มีค่าสูงขึ้น ส่วนกรณีของบัวบกได้ผลในทางตรงกันข้ามกล่าวคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นกลับทำให้บัวบกแห้งมีความสามารถในการคืนตัวสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.14 a) และ b)

ในกรณีของขิงจากการทดสอบหาอัตราการคืนตัวเป็นเวลา 50 นาทีของขิงแห้งผลที่ได้แสดงในกราฟรูปที่ 4.15 a) แสดงอัตราการคืนตัวที่เวลา 50 นาทีของขิงแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้ความเร็วลม 0.24 m/s พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งต่ำอัตราเร็วในการคืนตัวของขิงสามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่าขิงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 60°C ที่มีค่าสูงขึ้นโดยอัตราส่วนการคืนตัวของขิงแห้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 40°C มีค่า 82.74% ในขณะที่ขิงแห้งที่อบที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าอัตราส่วนการคืนตัวเท่ากับ 80.73% ส่วนบัวบกได้ผลในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นกลับทำให้บัวบกแห้งมีความสามารถในการคืนตัวสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.15 b) แสดงอัตราการคืนตัวของบัวบกแห้งเป็นเวลา 50 นาทีที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ความเร็วลม 0.24 m/s บัวบกที่อบแห้งอุณหภูมิ 40 °C มีค่าอัตราส่วนการคืนตัวเท่ากับ 81.36% ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าเป็น 85.07% นอกจากนั้นยังพบว่าความเร็วลมไม่มีผลต่ออัตราการคืนตัวของทั้งขิงแห้งและบัวบกไม่มากนัก

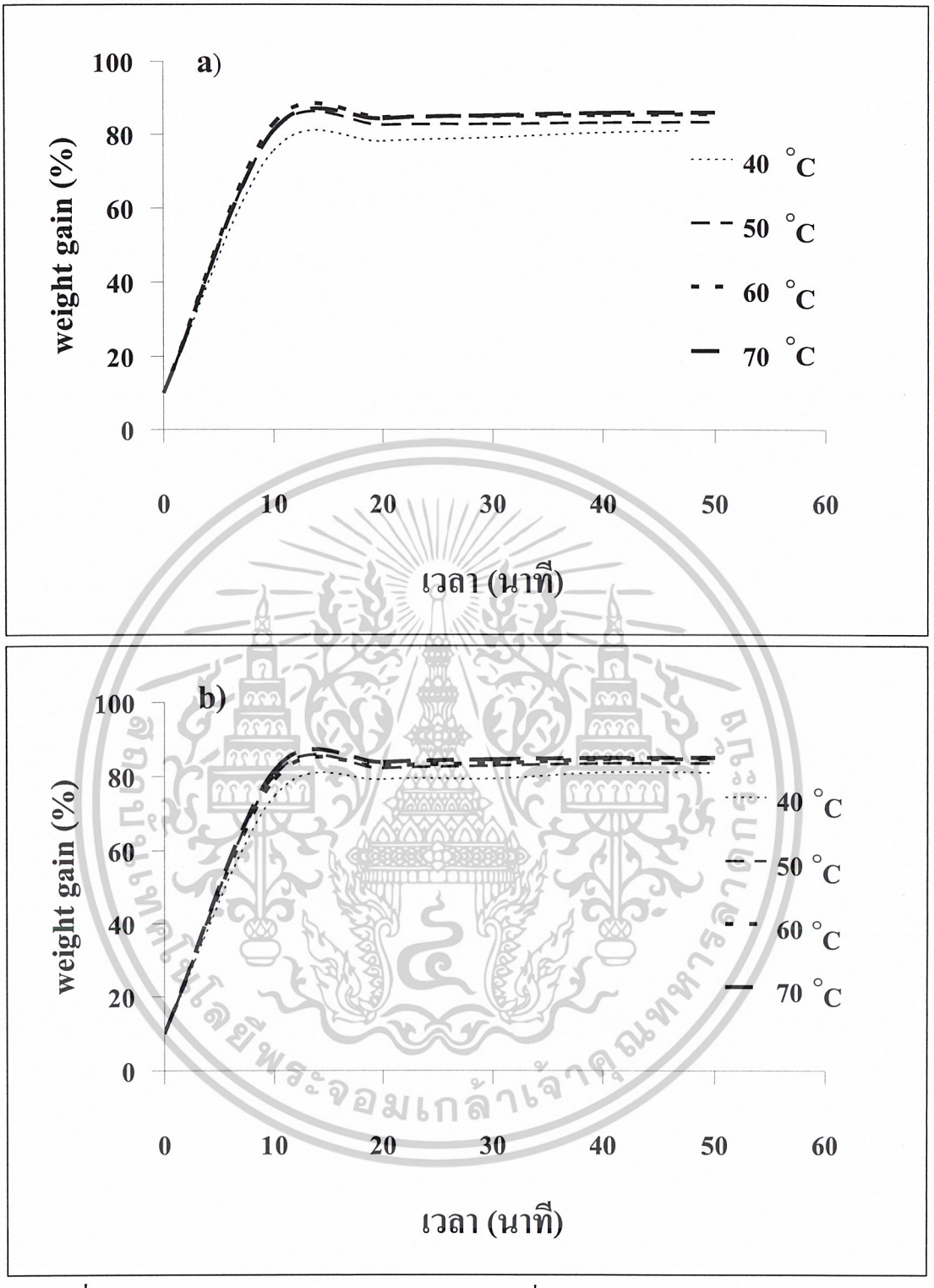
ข้อสังเกตจากการทดลองพบว่า ตัวอย่างขิงที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ เมื่อดูดซึมน้ำแล้วมีปริมาณของชิ้นที่แตกและผงละเอียดมีไม่มากนัก มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดก่อนทำการทดลอง ในส่วนตัวอย่างบัวบกหลังทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง เมื่อดูดซึมน้ำแล้วมีปริมาณของชิ้นที่แตกและผงละเอียดมากกว่าตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิต่ำในการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



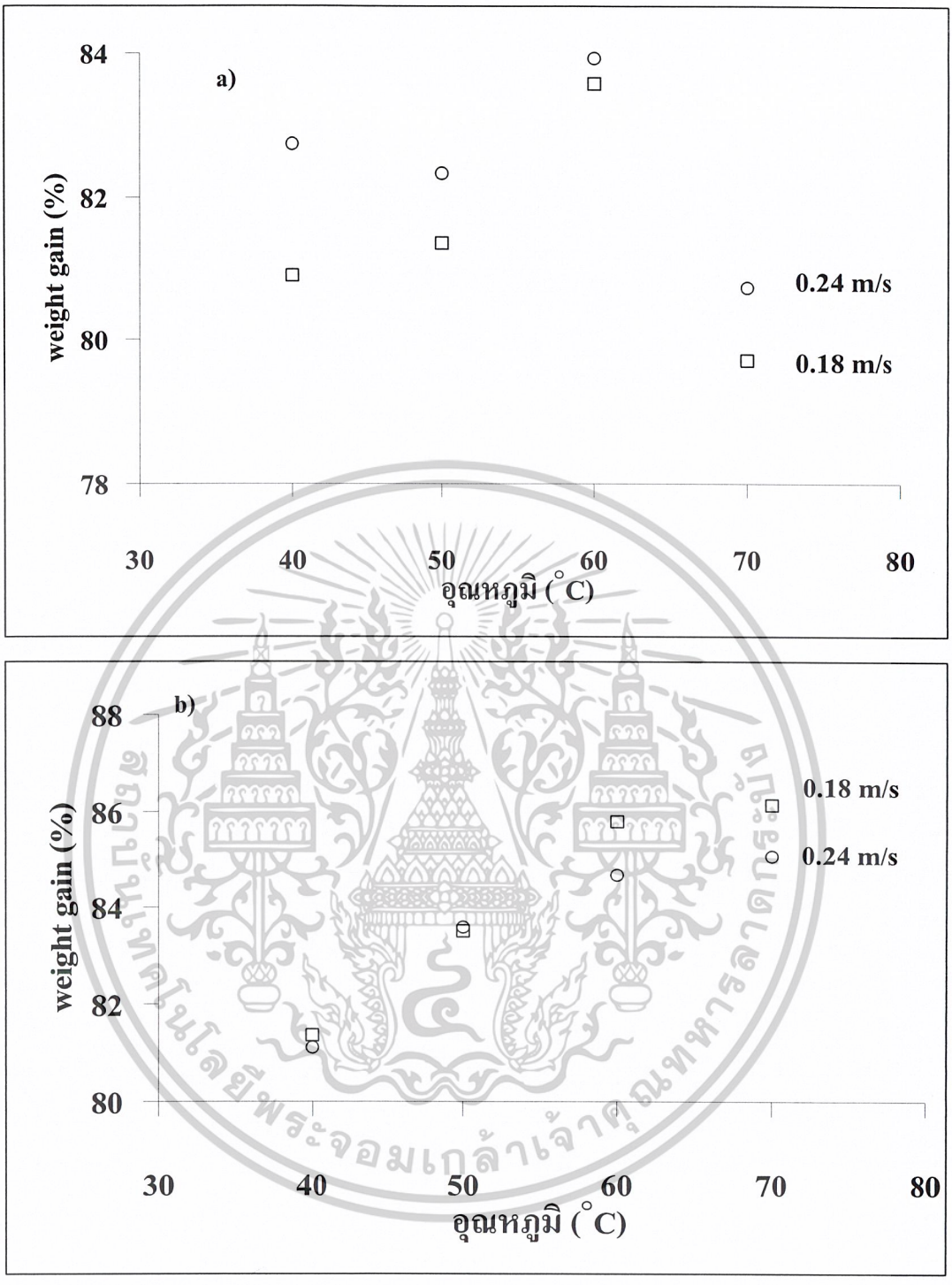
รูปที่ 4.13 a) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวที่ความเร็วลม 0.18 m/s ของขิงแห้ง
b) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวที่ความเร็วลม 0.24 m/s ของขิงแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 a) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวที่ความเร็วลม 0.18 m/s ของบัวบกแห้ง
b) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวที่ความเร็วลม 0.24 m/s ของบัวบกแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



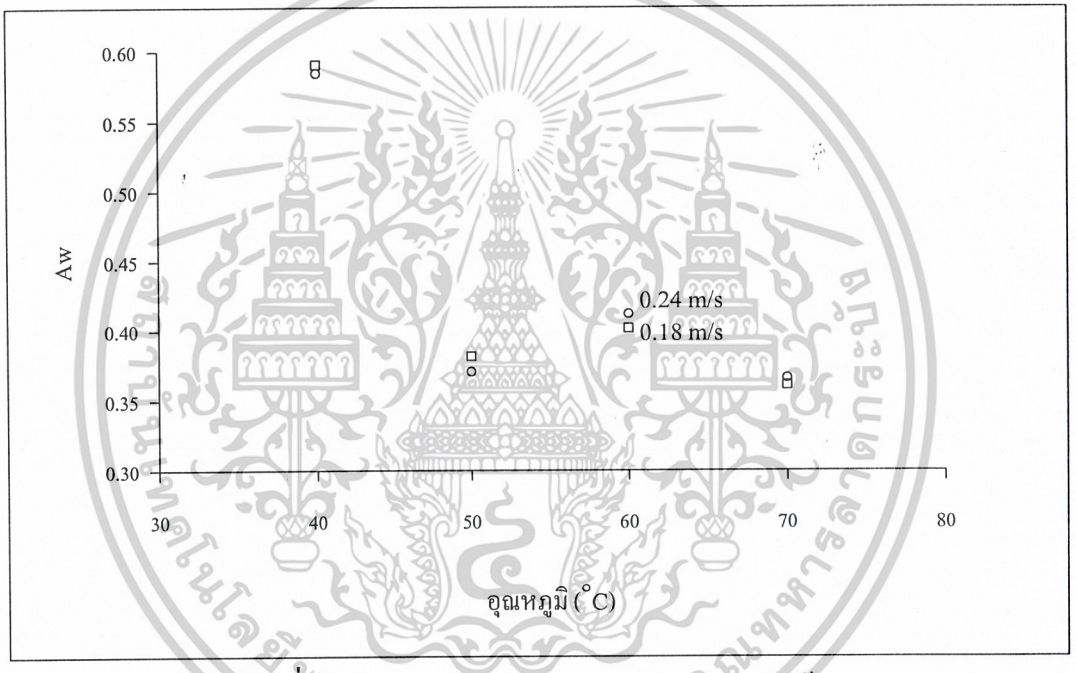
รูปที่ 4.15 a) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวที่เวลา 50 นาทีของขิงแห้ง

b) ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการคืนตัวที่เวลา 50 นาทีของบัวบกแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.3 ค่า A_w

ในกรณีของขิงค่า A_w ที่ได้จากการวัดผลิตภัณฑ์ขิงแห้งที่สภาวะต่างๆ อยู่ในช่วง 0.69 - 0.75 ค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์แห้ง ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างขิงที่ได้หลังอบแห้งไม่ได้ทำการวัดในทันทีและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แห้งไม่ดี ค่า A_w ที่ได้สูงกว่าค่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากเกิดการดูดซับความชื้นกลับเข้ามาใหม่ ส่วนค่า A_w ของบัวบกแห้งที่ได้อยู่ในช่วง 0.3-0.6 ที่อุณหภูมิ 40°C จะให้ค่า A_w สูงสุดเท่ากับ 0.6 และจะมีค่าลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นที่อุณหภูมิ 70°C ได้ค่า A_w เท่ากับ 0.33. ความเร็วลมไม่มีผลต่อ ค่า A_w มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.16 อย่างไรก็ตามพบว่าในการทำแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40 - 70°C และความเร็วลม 0.18-0.24 m/s จะให้ ค่า A_w ที่ปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์



รูปที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิต่อค่า A_w ของบัวบกแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสามารถสรุปผลการทดลองการทำแห้งที่สภาวะอุณหภูมิ 40 - 70°c และความเร็วลม 0.18 - 0.24 m/s เป็นดังนี้

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Simple Exponential Model สามารถทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำแห้งได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลอง ในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูป Page's Model ให้ค่าความชื้นของขิงที่สูงกว่าและให้ค่าความชื้นของบัวบกที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง

2. ความเร็วลมร้อนในช่วง 0.18-0.24 m/s มีอิทธิพลต่อการอบแห้งแบบชั้นบางน้อยมาก ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีผลให้อัตราเร็วในการทำแห้งมีค่าสูงขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงสีของทั้งขิงแห้งเกิดขึ้นมากเมื่อใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่มีค่าสูง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงสีของบัวบกแห้งเกิดขึ้นมากเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่มีค่าต่ำ

4. อัตราการคืนตัวของขิงแห้งที่ความเร็วลม 0.24 m/s เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งต่ำจะสามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่าขิงแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ในขณะที่ความเร็วลม 0.18 m/s จะให้ผลตรงกันข้าม ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับบัวบกแห้งเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นให้มีความสามารถในการคืนตัวสูงขึ้น

5. ค่า A_w ของผลิตภัณฑ์แห้งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์สมุนไพรแห้งที่ทุกสภาวะการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่มการทดลองซ้ำมากขึ้นอาจให้ผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

2. ควรควบคุมความชื้นเริ่มต้นของขิงและบัวบกก่อนที่จะทำการอบแห้งและควรหาความชื้นทันทีไม่ควรเก็บตัวอย่างไว้นานเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] De padua, L.S., Bunyapraphatsara, N. and Lemmers, R.H.M.J.. **Plant Resources of South-East Asia No 12. Medical and poisonours plants1.** Leiden Netherlands : Backhuys Publishers. 1999.

[2] De Guzman, C.C and Siemonsma, J.S.. **Plant Resources of South-East Asia No 13. Spices.** Leiden Netherlands : Backhuys Publishers. 1999.

[3] นิรนาม. **"ชาสมุนไพร."** [Online]. Available : http://www.fda.moph.go.th/fdanet/html/product/food/ntfmoph/ntf280.pdf. 2004.

[4] รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. **พืชเครื่องเทศสมุนไพร.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 2540.

[5] นิรนาม. **"คุยเฟื่องเรื่องสมุนไพร."** [Online]. Available : http://www.praphansarn.com/herb/herb9.asp. 2004.

[6] ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ. **สมุนไพร อันดับที่ 2 การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับงานวิจัยของโครงการศึกษาวิจัยสมุนไพร.** กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนโรงพิมพ์ยูไนเต็ดโปรดักชั่น. 2542.

[7] Donna R. Tainter and Anthony T. Grenis. **Spice and Seasoning A Food Technology Handbooks.** Newyork : A John Wiley & Sons, Inc., Publication. 2001.

[8] บก.ใกล้หมอ. **"ขิง สมุนไพรสารพัดประโยชน์."** [Online]. Available : http://www.elib-online.com/doctor/herb_ginseng2.html. 2004

[9] พเยาว์ เหมือนวงศ์ญาติ. **สมุนไพรก้าวใหม่ แก้ไข้ปรับปรุงจากตำราวิทยาศาสตร์สมุนไพร.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์เมดิคัลมีเดีย. 2537.

[10] รังว่าน อินทุใส และคณะ. **ว่านยา-เสน่ห์มหามงคล เล่ม 2.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มติ ชน. 2544.

[11] สุนทรี สิงหบุตรา. **สรรพคุณสมุนไพร 20 ชนิด.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์. 2536.

[12] จินตนา คมเชิด. "digital library." [Online]. Available : http://www.school.net.th/library/Create-web/10000/science/10000-3313.html-3k. 2004

[13] สำลี ใจดี และคณะ. **การใช้สมุนไพร เล่ม 1 รายงานการวบรวมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับงานวิจัยของโครงการพัฒนาเทคนิคการทำยาสมุนไพร.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท สารมวลชน จำกัด. 2525.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] บริษัทอินเตอร์เนทประเทศไทย จำกัด. “inside thaibarn.” [Online]. Available : http:// www/.thai.net/thaibarn/herb_gr05. 2004

[15] วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. **อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม.** กรุงเทพมหานคร : โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย–ญี่ปุ่น). 2525.

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

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

[18] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. “การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในวัสดุพรุนI หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งวัสดุพรุน.” **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย).** ปีที่ 12, ฉบับที่ 1 (มีนาคม-เมษายน 2547). หน้า 1-10.

[19] อาภากร วัฒนะ. **“การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยก๊าซชีวมวลจากซังข้าวโพด.”** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 2541.

[20] โชคชัย ธีรกุลเกียรติ และคณะ. **การถนอมและการแปรรูปอาหาร.** กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช. 2544.

[21] อนุตรา ปล้องคำ และวีระพล ดำคร้าม. **“โครงงานวิศวกรรมอาหาร เรื่อง การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับตู้อบแห้งแบบลมร้อน.”** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 2546.

[22] ฐิตถิ อารมณ์เพียร และณัฏฐพล บุญเกิดทรัพย์สิน. **“ปัญหาพิเศษ เรื่อง ศึกษาการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุก.”** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

[23] วิไล รังสาดทอง. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร Food Processing Technology.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. 2546.

[24] อรุณี อภิชาติสรางกูร. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทั่วไป.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2530.

[25] Kenneth J.Valentas, Enrique Rotstein and R. Paul Singh. **Handbooks of Food Engineering Pracitce.** Newyork : CRC Press LLC.,. 1997.

[26] P.C. Panchariya, D. Popovic, A.L. Sharma. “Thin-layer modeling of black tea drying process” **Journal of Food Engineering.** 52 (2002). 349-357.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[27] Wang, C.Y., &Singh, R.P. (1978). "Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying." **ASAE.** Paper 78 – 6505, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

[28] มารีนา นุ้ยหมีม และคณะ. "แนวทางการอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มที่ดีที่สุด." **วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์).** ปีที่ 27, ฉบับที่ 1 (เดือน 2536). หน้า 79-90.

[29] สุนทรี วราอุบล. "ผลของมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิอากาศร้อนเข้าต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำใบเตยผงที่ทำแห้งแบบพ่นกระจาย." **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย).** ปีที่ 11, ฉบับที่ 1(มกราคม-มิถุนายน 2546). หน้า 32-41.

[30] เกศศิณี ตระกูลทิวากร และจันทร์เพ็ญ ศักดิ์สิทธิพิทักษ์. "ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสรของสารสกัดจากผักพื้นบ้าน." **สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** ปีที่ 30, ฉบับที่ 3 (กรกฎาคม-กันยายน 2543). หน้า 164-176.

[31] มารีนา มะหนิ และคณะ. "การศึกษาหาพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์การอบแห้งขิง." **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.** ปีที่ 6, ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2546). หน้า 33-40.

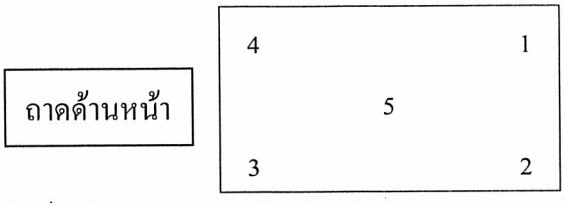
[32] Wang, C.Y., &Singh, R.P. (1978). "Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying." **ASAE.** Paper 78 – 6505, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

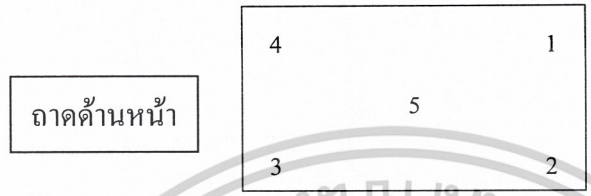
ตารางที่ 1ก อุณหภูมิภายในของตู้อบลมร้อน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ



ชั้นที่	40°c							50°c						
	ตำแหน่ง							ตำแหน่ง						
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	S.D.
1	43.10	42.90	43.50	43.20	43.30	43.20	0.22	51.00	51.20	51.90	51.20	51.50	51.36	0.35
2	43.80	43.00	43.70	43.70	43.60	43.56	0.32	52.50	51.50	52.00	52.30	51.90	52.04	0.38
3	44.00	43.50	43.80	43.90	44.10	43.86	0.23	52.90	52.00	52.10	52.50	53.10	52.52	0.48
4	44.10	43.70	44.00	44.00	44.20	44.00	0.19	53.50	53.10	53.20	53.50	54.10	53.48	0.39
5	44.20	43.70	44.00	44.50	44.60	44.20	0.37	53.90	53.20	53.40	54.20	54.30	53.80	0.48
6	44.30	44.00	44.30	44.60	44.70	44.38	0.28	54.30	53.90	54.00	54.60	54.40	54.24	0.29
7	44.50	44.10	44.40	44.80	44.90	44.54	0.32	54.50	54.10	54.30	54.70	54.80	54.48	0.29
8	44.30	44.30	44.40	44.80	45.00	44.56	0.32	54.10	53.80	53.70	54.50	54.40	54.10	0.35
9	44.40	44.20	44.50	44.50	44.60	44.44	0.15	54.00	53.50	53.10	54.20	54.30	53.82	0.51
10	44.50	44.20	44.20	44.30	44.50	44.34	0.15	53.80	53.20	53.00	54.00	54.10	53.62	0.49
ชั้นที่	60°c							70°c						
	ตำแหน่ง							ตำแหน่ง						
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	S.D.
1	62.10	61.00	62.80	62.30	62.50	62.14	0.69	72.10	71.90	72.40	72.30	72.30	72.20	0.20
2	63.30	61.50	62.20	62.90	62.80	62.54	0.70	73.40	72.00	73.00	73.50	72.50	72.88	0.63
3	63.80	62.90	63.10	63.50	64.10	63.48	0.49	74.50	73.50	73.70	74.20	75.10	74.20	0.64
4	65.30	64.50	64.90	65.40	65.60	65.14	0.44	74.70	73.90	74.30	74.80	75.50	74.64	0.60
5	65.60	64.40	64.70	65.90	66.30	65.38	0.80	75.00	74.20	74.60	75.20	76.90	75.18	1.04
6	65.50	65.00	65.20	65.60	66.10	65.48	0.42	75.80	75.50	75.70	76.50	77.00	76.10	0.63
7	65.80	64.90	65.30	66.10	66.80	65.78	0.73	76.00	75.80	75.90	76.90	77.90	76.50	0.90
8	66.10	65.10	65.90	66.60	67.20	66.18	0.79	76.40	76.00	76.20	77.10	78.50	76.84	1.02
9	65.70	65.50	65.70	66.30	66.20	65.88	0.35	76.10	75.80	75.90	76.90	77.70	76.48	0.81
10	64.90	64.30	64.50	65.00	65.50	64.84	0.47	74.70	74.50	74.30	75.20	75.50	74.84	0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ก ความเร็วลมในตู้อบลมร้อน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ความเร็วลมระดับต่าง ๆ



ชั้นที่	speed 1 (m/s), T ~ 35°C							speed 2 (m/s), T ~ 36.6°C							speed 3 (m/s), T ~ 36°C						
	ตำแหน่ง							ตำแหน่ง							ตำแหน่ง						
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	S.D.
1	0.35	0.35	0.46	0.33	0.41	0.38	0.05	0.81	0.81	0.70	0.42	0.51	0.65	0.18	0.42	0.31	0.43	0.48	0.57	0.44	0.09
2	0.37	0.27	0.22	0.36	0.36	0.32	0.07	0.34	0.28	0.34	0.35	0.33	0.33	0.03	0.32	0.27	0.45	0.27	0.21	0.30	0.09
3	0.33	0.14	0.20	0.21	0.10	0.20	0.09	0.23	0.15	0.30	0.23	0.19	0.22	0.06	0.25	0.12	0.39	0.28	0.14	0.24	0.11
4	0.19	0.20	0.22	0.22	0.15	0.20	0.03	0.14	0.23	0.19	0.18	0.32	0.21	0.07	0.22	0.25	0.20	0.35	0.36	0.28	0.07
5	0.17	0.25	0.29	0.29	0.11	0.22	0.08	0.11	0.18	0.21	0.22	0.26	0.20	0.06	0.20	0.16	0.24	0.68	0.21	0.30	0.22
6	0.13	0.16	0.19	0.19	0.11	0.16	0.04	0.11	0.15	0.10	0.21	0.15	0.14	0.04	0.28	0.17	0.13	0.21	0.23	0.20	0.06
7	0.19	0.19	0.17	0.17	0.13	0.17	0.02	0.13	0.14	0.17	0.18	0.10	0.14	0.03	0.12	0.21	0.29	0.22	0.34	0.24	0.08
8	0.20	0.22	0.19	0.19	0.18	0.20	0.02	0.11	0.26	0.14	0.25	0.19	0.19	0.07	0.23	0.20	0.46	0.28	0.14	0.26	0.12
9	0.07	0.11	0.13	0.13	0.13	0.11	0.03	0.17	0.14	0.11	0.14	0.21	0.15	0.04	0.13	0.16	0.19	0.22	0.28	0.20	0.06
10	0.11	0.20	0.12	0.12	0.16	0.14	0.04	0.33	0.14	0.16	0.21	0.11	0.19	0.09	0.10	0.27	0.17	0.18	0.13	0.17	0.06

ตารางที่ 3ก อุณหภูมิจาก Data Logger ของขิง

อุณหภูมิขิงเริ่มต้นประมาณ 25-26°C

* เวลาที่นำ wet bulb เข้าภายในตู้อบ

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
1	40	0.18	30/11/2004	11:22	41.00	44.60	30.10	26.40
				12:00	41.20	44.30	29.50	23.00
				12:17	41.00	44.20	30.00	23.40
				*12:53	41.10	44.20	30.10	26.20
				13:21	41.00	44.30	30.30	25.90
2	50	0.18	1/12/2004	12:10	51.30	57.10	28.30	21.90
				12:43	51.20	57.00	28.50	22.00
				*13:30	51.20	57.00	29.00	29.70
				14:30	51.30	57.20	28.90	29.90
3	60	0.18	2/12/2004	13:04	62.50	70.10	30.00	22.90
				13:50	62.40	70.00	30.20	23.00
				*14:07	62.20	70.20	29.80	35.00
				15:43	62.30	70.10	29.80	33.50
4	70	0.18	3/12/2004	13:44	72.50	87.10	29.50	23.00
				14:00	71.50	86.50	29.60	23.20
				*14:28	71.50	85.10	29.80	35.50
				14:50	72.80	82.60	29.90	35.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ก (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
5	40	0.18	30/1/2005	12:30	40.70	42.50	32.60	29.60
				13:38	40.70	42.50	32.00	29.20
				14:25	42.60	45.70	31.50	29.80
				15:00	41.10	42.80	31.90	29.20
				*17:30	41.20	42.70	30.80	27.70
				17:55	41.20	42.90	30.00	27.90
				18:30	41.30	43.20	29.00	28.10
6	50	0.18	1/2/2005	10:33	50.60	56.10	29.40	25.30
				11:19	51.60	56.00	29.70	25.90
				*11:45	50.50	55.30	30.20	31.70
				12:50	51.30	55.80	31.10	31.90
7	60	0.18	29/1/2005	15:47	63.50	66.80	30.20	26.10
				16:04	62.20	68.30	30.90	26.40
				16:49	62.40	67.90	30.30	26.20
				*17:17	62.00	67.70	29.90	32.70
				17:48	61.60	67.60	29.90	33.40
8	70	0.18	29/1/2005	12:58	71.70	77.00	31.80	25.30
				13:50	72.00	75.30	31.70	25.30
				*14:38	71.90	75.00	31.60	33.70
				15:42	71.90	75.30	31.50	33.50
9	40	0.24	7/12/2004	15:26	42.10	44.70	28.40	21.10
				16:00	42.10	45.00	28.60	21.10
				*17:16	42.00	44.80	28.30	26.40
				18:15	42.10	44.50	28.30	26.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ก (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
10	50	0.24	9/12/2004	12:51	52.60	59.70	26.20	20.10
				13:37	52.50	58.20	26.30	19.90
				*15:02	53.30	60.30	26.90	28.50
				16:57	53.00	59.60	26.90	27.60
11	60	0.24	10/12/2004	11:28	66.70	73.90	27.60	19.90
				12:45	66.70	76.70	27.60	20.00
				*14:08	66.40	75.30	27.50	33.10
				14:43	66.40	75.00	27.50	33.00
12	70	0.24	13/12/2004	11:35	73.00	82.30	26.70	20.20
				12:23	73.10	82.00	26.90	20.30
				*15:11	73.00	82.40	26.70	37.40
				14:15	73.10	82.30	26.60	37.20
13	40	0.24	31/1/2005	9:00	41.00	45.20	29.40	21.40
				10:13	40.30	45.30	29.50	21.40
				*16:57	40.30	44.10	28.80	25.20
				18:00	40.10	44.00	28.50	25.30
14	50	0.24	28/1/2005	9:06	53.00	56.30	28.20	25.40
				10:05	53.10	56.20	28.30	25.30
				*12:38	51.90	55.90	28.80	33.00
				13:35	51.80	55.50	28.50	33.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ก (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
15	60	0.24	27/1/2005	11:20	62.40	67.30	30.40	25.10
				12:30	62.20	67.50	30.20	25.00
				*13:00	61.40	70.20	30.10	34.40
				14:00	62.00	69.90	30.30	34.60
16	70	0.24	26/1/2005	18:06	70.60	79.60	28.40	24.40
				19:00	70.50	79.40	28.50	24.50
				*19:30	70.80	79.00	28.60	36.10
				20:30	70.50	79.10	28.60	36.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4ก อุณหภูมิจาก Data Logger ของบัวบก
อุณหภูมิขิงเริ่มต้นประมาณ 26-27°C
* เวลาที่นำ wet bulb เข้าภายในตู้อบ

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
1	40	0.18	1/3/2005	10:25	43.30	44.10	30.20	25.00
				10:56	42.70	44.70	31.30	25.10
				*11:26	42.50	44.30	31.40	29.50
				11:55	42.50	44.20	30.30	29.40
				12:25	42.40	43.70	31.00	29.10
				12:56	42.40	43.70	31.20	28.70
				13:56	42.40	43.30	31.20	28.20
				14:26	42.50	43.30	31.90	28.30
				14:56	42.40	43.10	31.30	28.40
2	50	0.18	4/3/2005	12:35	53.40	59.30	30.60	23.70
				13:04	53.20	58.20	31.20	23.70
				13:34	53.40	57.40	31.10	23.70
				14:04	53.70	57.10	31.30	24.20
				*14:34	53.20	56.50	31.50	29.30
				15:04	53.20	56.10	31.50	29.20
3	60	0.18	2/3/2005	13:30	63.30	66.50	32.60	27.80
				13:59	63.70	66.20	32.40	28.00
				*14:28	63.80	66.50	31.00	32.80
				14:56	63.50	66.10	31.10	32.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4ก (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
4	70	0.18	2/3/2005	10:15	73.20	79.30	30.20	26.40
				10:45	71.10	76.40	30.10	25.70
				*11:15	72.00	76.00	31.10	36.20
				11:45	71.20	75.80	30.80	37.20
				12:15	71.60	75.40	30.80	37.90
5	40	0.18	7/3/2005	10:12	42.10	46.30	26.70	19.50
				10:29	42.10	45.80	26.80	19.00
				10:44	42.00	45.00	26.70	18.80
				10:59	42.00	45.00	28.10	19.30
				*16:00	41.70	43.20	27.80	25.00
				16:25	42.00	43.50	28.80	25.40
				16:55	41.80	42.30	27.90	25.60
				17:30	41.60	43.00	27.60	25.70
				17:57	42.00	43.40	28.80	25.70
				18:28	42.00	43.50	28.20	25.70
				18:58	41.90	43.40	28.60	25.80
6	50	0.18	14/3/2005	12:02	52.00	55.20	31.70	26.40
				13:25	51.90	54.30	32.40	26.20
				*14:30	51.90	54.60	31.30	30.90
				15:29	51.70	54.10	32.00	31.60
7	60	0.18	8/3/2005	9:14	62.90	67.90	27.70	22.60
				10:15	62.40	66.40	29.30	23.20
				*10:44	62.20	66.00	28.40	32.00
				11:43	62.40	66.00	28.60	31.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4ก (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
8	70	0.18	8/3/2005	21:00	71.90	76.80	28.70	23.50
				21:45	71.80	75.90	28.60	23.30
				*22:10	71.80	75.80	28.60	35.50
				23:00	71.90	75.90	28.70	35.40
9	40	0.24	3/3/2005	8:33	41.90	45.60	28.70	26.00
				8:49	41.90	44.60	28.90	25.90
				9:04	41.80	44.00	29.40	26.00
				9:19	41.70	43.80	30.20	26.10
				9:48	41.50	43.30	30.40	25.70
				10:19	41.40	43.00	29.90	25.20
				*11:18	41.50	42.80	30.50	30.20
				12:19	41.70	43.00	30.80	31.00
10	50	0.24	5/3/2005	10:25	56.20	59.50	25.10	18.30
				10:45	54.40	60.30	25.10	17.50
				10:59	54.30	60.10	25.80	17.70
				11:14	54.30	58.70	25.60	17.60
				11:30	54.30	58.70	25.70	17.90
				11:59	54.60	58.10	26.70	18.20
				*12:59	54.00	56.50	26.90	27.30
				14:00	53.90	56.30	27.60	27.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4ก (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
11	60	0.24	2/3/2005	16:28	63.10	68.40	30.30	25.20
				16:44	63.40	68.00	30.50	25.30
				16:58	63.10	69.10	30.20	25.20
				*17:28	62.80	68.00	30.00	33.00
				17:59	62.90	68.00	29.80	32.90
				18:29	62.90	67.60	29.50	33.20
12	70	0.24	2/3/2005	20:10	70.60	81.10	29.40	25.10
				20:39	71.70	79.80	29.40	25.00
				*21:24	72.00	78.20	29.40	35.30
				21:53	71.90	77.50	29.30	35.30
				22:24	71.90	77.80	29.10	35.40
13	40	0.24	9/3/2005	0:10	42.00	45.50	28.70	23.50
				8:40	42.10	46.00	29.20	24.00
				9:30	42.00	45.80	29.10	24.20
				*9:40	42.10	45.70	29.00	25.40
				10:45	42.10	45.80	29.20	25.30
14	50	0.24	17/3/2005	9:50	54.40	59.50	31.20	24.20
				10:55	54.30	58.70	31.40	24.50
				*11:50	54.40	58.50	31.50	30.50
				12:50	54.20	58.70	32.10	30.80
15	60	0.24	8/3/2005	14:20	62.30	66.30	29.00	23.50
				15:20	62.20	65.40	29.90	24.20
				*16:21	62.20	65.50	30.80	30.60
				17:09	62.00	66.10	32.40	30.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4ก (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
					ถาดชั้นที่ 2	ถาดชั้นที่ 8	ambient air	wet bulb
16	70	0.24	8/3/2005	17:30	71.30	77.80	29.30	22.60
				18:21	72.10	77.40	28.60	23.50
				*19:22	71.90	76.80	28.70	35.40
				20:00	71.80	76.50	28.70	35.40

ตารางที่ 5ก ผลการ Calibration ระหว่าง Thermometer และ Data Logger

ครั้งที่	Thermometer (°C)	Data Logger (°C)				
		สาย 1	สาย 2	สาย 3	สาย 4	สาย 5
1	77.0	79.0	78.7	78.2	78.4	78.0
2	72.0	73.3	73.3	73.3	72.9	73.0
3	69.0	70.0	69.6	70.1	69.8	69.9
4	64.0	65.0	65.3	65.3	65.0	65.0
5	61.0	62.2	62.1	61.9	62.0	61.7
6	58.0	59.0	58.9	58.8	58.9	58.6
7	56.0	57.1	57.1	57.2	57.1	56.9
8	54.5	55.4	55.4	55.1	55.0	54.4
9	51.0	51.1	51.1	51.1	51.1	51.0
10	47.0	47.1	47.0	47.1	47.0	47.0
11	46.0	45.8	45.8	45.9	45.8	45.8
12	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	43.9
13	42.0	42.1	42.1	42.1	42.1	42.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 1ข วิธีการหาค่า k ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Simple Exponentail

รูปแบบของ Simple Exponential MR = exp(-kt)

ใช้โปรแกรม Statistica (Nonlinear Estimation Regression)

ตารางที่ 1ข ค่า k, R^2 และ SE ที่ได้จากการทำ Nonlinear Estimation

ตัวอย่าง	การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	k	R^2	SE
ขิง	1	40	0.18	0.004652	0.98979432	0.000176
	2	50	0.18	0.007049	0.99327449	0.000333
	3	60	0.18	0.011426	0.98845494	0.000707
	4	70	0.18	0.011035	0.98840076	0.000673
	5	40	0.24	0.00488	0.99516959	0.000192
	6	50	0.24	0.007109	0.99254637	0.000323
	7	60	0.24	0.011018	0.99430507	0.000421
	8	70	0.24	0.012275	0.97872796	0.000987
บัวบก	1	40	0.18	0.009747	0.99821072	0.000201
	2	50	0.18	0.021779	0.99903701	0.000418
	3	60	0.18	0.032283	0.99241317	0.001926
	4	70	0.18	0.040951	0.99931674	0.001062
	5	40	0.24	0.009112	0.9964905	0.000228
	6	50	0.24	0.026102	0.99884457	0.000566
	7	60	0.24	0.303451	0.99879975	0.000752
	8	70	0.24	0.041301	0.99889714	0.001128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 2ข การหาค่า k และ n ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Page's Model

รูปแบบของ Page's Model $MR = \exp(-kt^n)$

ใช้โปรแกรม Statistica (Nonlinear Estimation Regression)

ตารางที่ 2ข ค่า k และ n ที่ได้จากการทดลอง

ตัวอย่าง	การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	n	k	R^2	SE ของ n	SE ของ k
ขิง	1	40	0.18	1.35719	0.000629	0.998857	0.030706	0.000107
	2	50	0.18	1.310499	0.001533	0.999263	0.032935	0.000246
	3	60	0.18	1.378359	0.002044	0.999045	0.040582	0.000373
	4	70	0.18	1.395428	0.001801	0.9993	0.034699	0.000284
	5	40	0.24	1.393374	0.000506	0.999596	0.038551	0.000111
	6	50	0.24	1.301773	0.001575	0.999327	0.027999	0.000219
	7	60	0.24	1.241366	0.003573	0.999547	0.020754	0.000343
	8	70	0.24	1.520921	0.001131	0.998454	0.054978	0.000281
บัวบก	1	40	0.18	0.911239	0.014809	0.99928	0.016776	0.001186
	2	50	0.18	0.99632	0.022096	0.990383	0.033268	0.002897
	3	60	0.18	0.843053	0.057317	0.99476	0.081523	0.017227
	4	70	0.18	1.08356	0.033157	0.999671	0.032291	0.003403
	5	40	0.24	0.86814	0.017625	0.999235	0.014226	0.001231
	6	50	0.24	0.981381	0.028006	0.998872	0.038425	0.004081
	7	60	0.24	1.01292	0.029047	0.998813	0.048356	0.005136
	8	70	0.24	1.111268	0.028272	0.999572	0.038873	0.003738

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 3ข แสดงผลที่ได้จากการทำ Multiple Regression จากโปรแกรม Statistica ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Simple Exponential

- **ขิง**

Regression Summary for Dependent Variable: k1k

R= .99728969 R?= .99458673 Adjusted R?= .98556460

F(5,3)=110.24 p<.00135 Std.Error of estimate: .00110

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(3)	p-level
T^2	-1.73735	1.437068	-0.0000050	0.000004	-1.20896	0.313271
T	4.14079	3.025085	0.0006750	0.000493	1.36882	0.264543
T×v	0.55678	1.507838	0.0004280	0.001159	0.36926	0.736457
v	-3.73466	3.019128	-0.1611250	0.130255	-1.237	0.304091
V^2	1.72939	2.106207	0.3386940	0.412493	0.82109	0.471765

- **บัวบก**

Regression Summary for Dependent Variable: k1b

R= .99855645 R?= .99711499 Adjusted R?= .99230665

F(5,3)=207.37 p<.00052 Std.Error of estimate: .00254

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(3)	p-level
T^2	-1.39024	1.049109	-1.2E-05	0.000009	-1.32516	0.277004
v	-4.88668	2.204068	-0.66595	0.300368	-2.21712	0.113347
T×v	-0.21965	1.100774	-0.00053	0.002673	-0.19954	0.8546
T	4.74477	2.208417	0.002444	0.001138	2.14849	0.12088
v^2	2.71134	1.537604	1.677322	0.95121	1.76336	0.17604

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 4ข แสดงผลที่ได้จากการทำ Multiple Regression จากโปรแกรม Statistica ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Page's Model

- ขิง

Regression Summary for Dependent Variable: k2k

R= .95935135 R?= .92035501 Adjusted R?= .78761336

F(5,3)=6.9334 p<.07092 Std.Error of estimate: .00085

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(3)	p-level
T	20.9579	11.60344	0.0006850	0.000379	1.80618	0.168634
T×v	-0.1665	5.78367	-0.0000260	0.000892	-0.02879	0.978842
v	-20.1783	11.58059	-0.1745850	0.100197	-1.74242	0.179796
T^2	-10.7322	5.51222	-0.0000060	0.000003	-1.94698	0.146707
v^2	10.8656	8.07886	0.4267580	0.317305	1.34494	0.271282

Regression Summary for Dependent Variable: nk

R= .99939749 R?= .99879535 Adjusted R?= .99678760

F(5,3)=497.47 p<.00014 Std.Error of estimate: .07734

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(3)	p-level
v	4.42854	1.424235	28.4876000	9.16171	3.10942	0.052906
v^2	-2.42174	0.993577	-70.7173000	29.01348	-2.4374	0.092715
T^2	1.34779	0.677919	0.0005000	0.00027	1.98813	0.14094
T	-2.55682	1.427046	-0.0622000	0.0347	-1.79169	0.1711
T×v	0.20308	0.711304	0.0233000	0.08153	0.28551	0.793832

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **บัวบก**

Regression Summary for Dependent Variable: k2b

R= .97179340 R?= .94438242 Adjusted R?= .85168645

F(5,3)=10.188 p<.04233 Std.Error of estimate: .01205

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(3)	p-level
T	15.2113	9.696469	0.00848	0.005405	1.56874	0.214716
T×v	-3.6332	4.833155	-0.00955	0.0127	-0.75173	0.506815
v	-13.507	9.677374	-1.99202	1.427223	-1.39573	0.257158
v^2	8.5899	6.751141	5.75077	4.51976	1.27236	0.292909
T^2	-5.7587	4.606312	-0.00005	0.000043	-1.25018	0.299874

Regression Summary for Dependent Variable: nb

R= .99837330 R?= .99674924 Adjusted R?= .99133130

F(5,3)=183.97 p<.00063 Std.Error of estimate: .09121

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(3)	p-level
T	-1.5696	2.34423	-0.0274	0.04092	-0.66956	0.551063
T^2	0.58795	1.113627	0.0002	0.00032	0.52796	0.63409
v	3.15542	2.339614	14.5724	10.80485	1.34869	0.270212
v^2	-2.01809	1.632164	-42.3077	34.217	-1.23645	0.304267
T×v	0.83087	1.168469	0.0684	0.09615	0.71107	0.528339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ค ค่าสีก่อนและหลังการทำแห้ง

การทดลอง	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (oC)	ความเร็วลม (m/s)	ค่าสี					
				ก่อนทำแห้ง			หลังทำแห้ง		
				L	a	b	L	a	b
1	ขิง	40	0.18	62.68	1.41	24.23	59.13	5.50	22.74
2		50	0.18	64.54	1.81	24.08	57.54	4.49	22.28
3		60	0.18	65.57	1.97	25.24	56.43	5.24	21.83
4		70	0.18	63.76	2.27	24.52	55.53	7.11	19.11
5		40	0.24	64.44	2.98	23.8	59.78	4.96	23.14
6		50	0.24	63.15	1.84	25.37	57.26	7.43	22.61
7		60	0.24	61.87	1.70	23.83	56.04	7.38	21.64
8		70	0.24	63.09	1.44	24.62	55.16	7.72	20.21
9	บัวบก	40	0.18	28.23	-4.43	11.24	38.75	-7.44	15.44
10		50	0.18	27.30	-5.75	10.64	37.07	-6.47	14.44
11		60	0.18	26.44	-6.19	10.63	33.92	-5.37	13.00
12		70	0.18	27.04	-5.36	10.38	33.55	-4.38	12.62
13		40	0.24	28.31	-6.00	11.87	36.88	-7.02	14.47
14		50	0.24	27.44	-5.98	11.50	35.93	-6.56	13.95
15		60	0.24	26.93	-6.17	11.34	33.93	-3.87	12.54
16		70	0.24	26.67	-6.12	11.16	33.01	-4.2	12.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ค ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งและเปียกก่อนและหลังการทำแห้ง

Treatment	การทดลอง	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb)		ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)	
					ก่อนทำแห้ง	หลังทำแห้ง	ก่อนทำแห้ง	หลังทำแห้ง
1	1	ขิง	40	0.18	0.9307	0.1157	0.1308	13.4270
2	1		40	0.18	0.9287	0.1185	0.1344	13.0252
1	2		50	0.18	0.9052	0.1762	9.5498	0.2139
2	2		50	0.18	0.9006	0.1723	9.0604	0.2082
1	3		60	0.18	0.8995	0.0411	8.9465	0.0429
2	3		60	0.18	0.9024	0.0476	9.2459	0.0500
1	4		70	0.18	0.9042	0.0919	9.4373	0.1012
2	4		70	0.18	0.9103	0.0915	10.1483	0.1007
1	5		40	0.24	0.9210	0.1109	11.6652	0.1248
2	5		40	0.24	0.9185	0.1158	11.2699	0.1310
1	6		50	0.24	0.8903	0.0911	8.1150	0.1100
2	6		50	0.24	0.9052	0.0945	9.5487	0.1044
1	7		60	0.24	0.9086	0.0856	9.9389	0.0936
2	7		60	0.24	0.9070	0.0823	9.7491	0.0897
1	8		70	0.24	0.9018	0.0911	9.1813	0.1003
2	8		70	0.24	0.9055	0.0923	9.3780	0.1017
1	1	บัวบก	40	0.18	0.8932	0.0856	8.3646	0.0936
2	1		40	0.18	0.8786	0.0879	7.2402	0.0964
1	2		50	0.18	0.8812	0.1194	7.4145	0.1356
2	2		50	0.18	0.8836	0.1065	7.5897	0.1192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ค (ต่อ)

Treatment	การทดลอง	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb)		ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)	
					ก่อนทำแห้ง	หลังทำแห้ง	ก่อนทำแห้ง	หลังทำแห้ง
1	3	บัวบก	60	0.18	0.8948	0.0337	8.5064	0.0349
2	3		60	0.18	0.9012	0.0355	9.1215	0.0368
1	4		70	0.18	0.9046	0.0917	9.4846	0.1010
2	4		70	0.18	0.9041	0.0945	9.4327	0.1044
1	5		40	0.24	0.9138	0.0993	10.5982	0.1103
2	5		40	0.24	0.9139	0.0872	10.6172	0.0955
1	6		50	0.24	0.8958	0.0739	8.5930	0.0798
2	6		50	0.24	0.8963	0.0810	8.6458	0.0882
1	7		60	0.24	0.8898	0.0616	8.0784	0.0657
2	7		60	0.24	0.8873	0.0648	7.8739	0.0693
1	8		70	0.24	0.9236	0.0494	12.0970	0.0520
2	8		70	0.24	0.9218	0.0549	11.7904	0.0581

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ค ค่าอัตราการคืนตัวของขิงและบัวบก

ตัวอย่าง	การทดลอง	อุณหภูมิ (oC)	ความเร็วลม (m/s)	น้ำหนัก (g)				
				10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที
ขิง	1	40	0.18	35	42.93	47.23	49.67	52.36
	2	50	0.18	32.85	42.32	47.88	51.66	53.64
	3	60	0.18	35.56	47.62	54.03	57.96	60.88
	4	70	0.18	31.64	38.25	43.08	46.7	49.28
	5	40	0.24	33.82	46.78	52.03	55	57.93
	6	50	0.24	38.92	47.07	51.36	54	56.6
	7	60	0.24	42.14	51.21	56.84	59.48	62.23
	8	70	0.24	35.5	43.15	48.01	50.21	51.9
บัวบก	1	40	0.18	40.8	45.89	48	51.62	53.64
	2	50	0.18	51.92	57.65	58.4	59.91	60.62
	3	60	0.18	58.41	65.45	66.95	68.56	70.39
	4	70	0.18	52.67	64.23	67.83	71.32	72.13
	5	40	0.24	39.59	48.19	48.61	52.92	52.94
	6	50	0.24	50.71	56.25	58.41	60.7	60.91
	7	60	0.24	48.07	57.98	60.48	65.16	65.24
	8	70	0.24	54.34	61.86	64.84	66.7	66.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4ค ค่า A_w ของบัวบกหลังการทำแห้ง

Treatment	การทดลอง	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	A_w
1	1	บัวบก	40	0.18	0.583
2	1		40	0.18	0.598
1	2		50	0.18	0.366
2	2		50	0.18	0.397
1	3		60	0.18	0.395
2	3		60	0.18	0.408
1	4		70	0.18	0.346
2	4		70	0.18	0.376
1	5		40	0.24	0.569
2	5		40	0.24	0.600
1	6		50	0.24	0.407
2	6		50	0.24	0.334
1	7		60	0.24	0.444
2	7		60	0.24	0.380
1	8		70	0.24	0.394
2	8		70	0.24	0.338

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้