สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาตัวแปรในการผลิตสำรองผง ด้วยวิธีการอบแห้งแบบถาด

STUDY ON DRYING PARAMETERS FOR MALVA NUT POWDER BY TRAY DRYER

นางสาวสาริณี แก้วตรีวงษ์
นางสาวสุนันทา ฉัตรสุระชัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104076
วัน,เดือน,ปี 2 8 ต.ค. 2552

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON DRYING PARAMETERS FOR MALVA NUT POWDER BY TRAY DRYER

Miss.Sarinee Khaewtriwong

Miss.Sununta Chatsurachai

A REPORT SUBMITED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาตัวแปรในการผลิตสำรองผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบถาด

Study on Drying Parameters for Malva nut Powder by Tray Dryer

ผู้จัดทำ

1.นางสาวสาริณี แก้วดรีวงษ์

2.นางสาวสุนันทา ฉัตรสุระชัย

.....

(รองศาสตราจารย์สาทิป รัตนภาสกร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาตัวแปรในการผลิตสำรองผง
ด้วยวิธีการอบแห้งแบบถาด

โดย นางสาวสาริณี แก้วตรีวงษ์
นางสาวสุนันทา ฉัตรสุระชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาตราจารย์ สาทิป รัตนภาสกร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรในการผลิตสำรองผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบถาด เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากผลสำรอง โดยทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งแบบถาด ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 °C และ ความเร็วลม 3 ระดับ คือ 4, 5 และ 6 m/s ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง โดยทำการวิเคราะห์หาคุณภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ความสามารถในการละลาย, ความสามารถในการดูดซับ, ความหนาแน่น, ค่า water activity(a_w) และ ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม (E*) จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตสำรองผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบถาด คือ สภาวะที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วลมที่ 4 และ 6 m/s เนื่องจากสภาวะนี้ให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงที่สุด(57.22,57.19 g/g) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์น้ำสำรองที่ต้องการเนื้อสำรองที่ดูดซับน้ำได้ดี ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม(E*) (16.85,15.50) และค่า water activity (0.379,0.357) ที่สภาวะที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วลมที่ 4 และ 6 m/s มีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าความหนาแน่น (0.572,0.684 g/ml) มีค่าแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Study on Drying Parameters for Malva nut Powder by Tray Dryer

By Miss.Sarinee Khaewtriwong
Miss.Sununta Chatsurachai

Advisor Assoc.Prof. Satip Rattanapaskorn

Report for Bachelor's Degree of Food Engineering
Department of Food Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The objective of this research is to study of the most suitable drying parameters for Malva nut powder by tray dryer. More over, this research might be used as the way for development and addition in value of Malva nut products. Effect of drying parameters which related to tray dryer such as drying temperature (50, 60 and 70 °C) and air velocity (4, 5 and 6 m/s) on quality of Malva nut powder was investigated. In order to qualitative analyze, percent yield, solubility, absorbability, bulk density, water activity (a_w) and total color difference (E*) was investigated. The result show that, the most appropriate condition for Malva nut powder by tray drying were temperature 50 °C air velocity 4 and 6 m/s. At correspondent condition, the absorbability (57.22,57.19 g/g), total color difference (E*)(16.85,15.49) and water activity (0.379,0.357) were not significantly different. However the density (0.572,0.684 g/ml) showed significantly different.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สาทิป รัตนภาสกร ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางการปรับปรุง ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ ญาติพี่น้องสำหรับคำปรึกษา และกำลังใจที่มีให้เสมอ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่ดี

ขอขอบพระคุณ คุณนันทวัน แหนคำ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ คุณอำนาจ คูตะคุ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกเรื่องการใช้สถานที่และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ระหว่างการทดลองและให้คำแนะนำเรื่องการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกคนที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือและอยู่เป็นเพื่อนกันตลอดการทดลอง

นางสาวสาริณี แก้วดรีวงษ์
นางสาวสุนันทา ฉัตรสุระชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
สัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสำรอง	3
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	3
2.1.2 สรรพคุณของวุ้นสำรอง	5
2.1.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของต้นสำรองมีสรรพคุณทางยา	5
2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการ	6
2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง	7
2.2.1 ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งอาหาร	7
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง	8
2.2.3 วิธีการและเครื่องอบแห้ง	10
2.2.4 ข้อเปรียบเทียบของการทำให้อาหารแห้งทั้งสองวิธี	18
2.2.5 อัตราการทำแห้งของอาหาร	19
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	20
3.1 วัสดุ อุปกรณ์	20
3.2 เครื่องอบลมร้อนแบบถาด	20
3.3 การควบคุมและปรับปริมาณลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง	22
3.4 วิธีการทดลอง	24
3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้	27
3.5.2 ความสามารถในการดูดซับ (WAI) และความสามารถในการละลาย (WSI)	27
3.5.3 การหาค่าความหนาแน่น	28
3.5.4 ค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร	28
3.5.5 การวัดค่าสี	29
3.6 การวางแผนการทดลอง	30
3.6.1 ตัวแปรที่ศึกษา	30
3.6.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง	32
4.1 ผลการทดลอง	32
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่าง ๆ ของสำรองผงที่ได้	32
4.2.1 เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	34
4.2.2 ความสามารถในการดูดซับ	35
4.2.3 ความสามารถในการละลาย	36
4.2.4 ความหนาแน่น	37
4.2.5 การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม	38
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก	42
ภาคผนวก ก	43
ภาคผนวก ข	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อสำรอง 6
ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดลองและแผนการทดลองของเครื่องอบแห้งแบบถาด 31
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าคุณภาพของแต่ละสภาวะการทดลอง 33
ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สำรองผงที่สภาวะต่าง ๆ 43
ตารางที่ ก.2 ตาราง ANOVA ของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 44
ตารางที่ ก.3 ตาราง ANOVA ของความสามารถในการดูดซับ 44
ตารางที่ ก.4 ตาราง ANOVA ของความสารถในการละลาย 45
ตารางที่ ก.5 ตาราง ANOVA ของความหนาแน่น 45
ตารางที่ ก.6 ตาราง ANOVA ของการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ลักษณะต้นสำรอง 3

ภาพที่ 2.2 ลักษณะใบสำรอง 3

ภาพที่ 2.3 ลักษณะผลสด (ซ้าย) และ ลักษณะผลแห้ง (ขวา) ของสำรอง 3

ภาพที่ 2.4 เนื้อสำรองมีลักษณะคล้ายวุ้น 4

ภาพที่ 2.5 เครื่องทำแห้งแบบถาด 12

ภาพที่ 2.6 การทำแห้งแบบอุโมงค์ 13

ภาพที่ 2.7 เครื่องทำแห้งแบบสายพานลักษณะผสมระหว่างแบบอากาศร้อนสวนทางกับอาหารและแบบอากาศร้อนไหลทางเดียวกับอาหาร 13

ภาพที่ 2.8 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด 14

ภาพที่ 2.9 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 15

ภาพที่ 2.10 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 16

ภาพที่ 2.11 เครื่องทำแห้งสุญญากาศแบบชั้น 17

ภาพที่ 2.12 เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง 18

ภาพที่ 3.1 ภาพวาดเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ใช้ในการทดลอง 21

ภาพที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบถาดที่ใช้ในการทดลอง 21

ภาพที่ 3.3 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การอัด 23

ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์ออริฟิดที่ D_1/D_2 24

ภาพที่ 3.5 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเนื้อสำรองเริ่มต้น 25

ภาพที่ 3.6 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง 26

ภาพที่ 3.7 เครื่อง centrifugal (ซ้าย)และ เครื่อง hot plate (ขวา)ที่ใช้ในการทดลองหาค่าความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลาย 28

ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่ใช้ในการทดลอง 29

ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดค่าสีที่ใช้ในการทดลอง 30

ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ที่ความเร็วลมต่าง ๆ 34

ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความสามารถในการดูดซับที่ความเร็วลม ต่างๆ 35

ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความสามารถในการละลายที่ความเร็วลม ต่างๆ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ ค่าความหนาแน่นที่ความเร็วลม ต่างๆ 37
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมที่ความเร็วลมต่างๆ 38
ภาพที่ ข.1 ผลสำรองที่ใช้ในการทดลอง 47
ภาพที่ ข.2 ผลสำรองแช่น้ำเพื่อใช้ในการทดลองทำการทดลอง 47
ภาพที่ ข.3 ลักษณะผลสำรองแช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 48
ภาพที่ ข.4 ลักษณะถาดที่ใช้ในการอบแห้งสำรอง 48
ภาพที่ ข.5 ลักษณะเนื้อสำรองบรรจุในถาดก่อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาด 49
ภาพที่ ข.6 ลักษณะสำรองผงที่ได้จากทดลองที่ T = 50 °C,v = 4 m/s(ซ้าย) T = 50°C,v = 5 (กลาง) และ T = 50°C,v = 6 m/s(ขวา) 49
ภาพที่ ข.7 ลักษณะสำรองผงที่ได้จากทดลองที่ T = 60 °C,v = 4 m/s(ซ้าย) T = 60°C,v = 5 (กลาง) และ T = 60°C,v = 6 m/s(ขวา) 50
ภาพที่ ข.8 ลักษณะสำรองผงที่ได้จากทดลองที่ T = 70 °C,v = 4 m/s(ซ้าย) T = 70°C,v = 5 (กลาง) และ T = 70°C,v = 6 m/s(ขวา) 50
ภาพที่ ข.9 ตัวอย่างผงสำรองที่วางขายตามท้องตลาด 50
ภาพที่ ข.10 ลักษณะสำรองผงที่ T = 50 °C, v = 6 m/s ก่อนละลายน้ำ(ซ้าย) และ หลังละลายน้ำ(ขวา) 51
ภาพที่ ข.11 ลักษณะสำรองผงที่วางขายตามท้องตลาดก่อนละลายน้ำ(ซ้าย) และ หลังละลายน้ำ(ขวา) 51
ภาพที่ ข.12 เปรียบเทียบสำรองผงที่ T = 50 °C, v = 6 m/s และสำรองผงที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด 52
ภาพที่ ข.13 เครื่องอบแห้งแบบถาดที่ใช้ในการทดลอง 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

Q	ปริมาณลม (m^3/s)
Q_{th}	ปริมาณลมทางทฤษฎี (m^3/s)
Q_{ac}	ปริมาณลมจริง (m^3/s)
A	พื้นที่หน้าตัดห้องอบแห้ง (m^2)
C_0	สัมประสิทธ์ออริฟิด
Y	สัมประสิทธิ์การอัดตัวของออริฟิด
P_{atm}	ความดันบรรยากาศ (Pa)
P_1	ความดันก่อนเข้าออริฟิด (Pa)
P_2	ความดันหลังเข้าออริฟิด (Pa)
Δh_1	ความสูงของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์ที่จุดวัดความดันแตกต่างระหว่างP_1กับ P_2
Δh_2	ความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ก่อนเข้าออริฟิดเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ
ρ_{H_2O}	ความหนาแน่นน้ำ (Kg/m^3)
D_1	เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในออริฟิด (m)
D_2	เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกออริฟิด (m)
T	อุณหภูมิลมร้อน (°C)
v	ความเร็วลม (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สำรอง (Malva nut) เป็นไม้ยืนต้น ลำต้นมีลักษณะตรงและสูงชะลูด ขึ้นในป่าดิบชื้น ส่วนใหญ่ขึ้นเองตามธรรมชาติ พบมากในเขตจังหวัดจันทบุรีและตราด ผลสำรองมีลักษณะทรงรี สีน้ำตาล เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกมีสารเมือกจำนวนมาก ซึ่งพองตัวได้ดีในน้ำ มีลักษณะคล้ายวุ้น สำรองเป็นพืชสมุนไพรมีสรรพคุณมากมาย เช่น แก้เจ็บคอ แก้ไข้ แก้ไอขับเสมหะ แก้ร้อนใน เป็นต้น นอกจากนี้ผลสำรองยังมีปริมาณกากใยไฟเบอร์สูง ช่วยบำรุงลำไส้และชะล้างไขมันที่สะสมอยู่สามารถลดความอ้วนได้อีกด้วย ในปัจจุบันผลสำรองที่วางขายตามท้องตลาดล้วนมาจากแหล่งธรรมชาติ เนื่องจากสำรองเป็นต้นไม้ป่าขนาดใหญ่และสูง การเก็บผลสำรองจึงเป็นไปด้วยความยากลำบาก จึงมักโค่นต้นเพื่อสะดวกในการเก็บผลสำรองคราวละมาก ๆ ทำให้ต้นสำรองในป่าธรรมชาติถูกทะลายลง จนกลายเป็นพืชสมุนไพรหายากชนิดหนึ่งในปัจจุบัน การทำสำรองผงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาและเป็นการเพิ่มมูลค่าของสำรองเพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด นอกจากนี้สำรองผงยังสามารถเก็บไว้รับประทานได้นานและสะดวกในการบริโภค ซึ่งเหมาะกับสภาวะในปัจจุบันที่ต้องการความสะดวกรวดเร็ว ผลสำรองนิยมนำมาแปรรูปเป็นน้ำสำรองและเนื้อสำรองที่สามารถนำไปผสมกับน้ำสมุนไพรชนิดอื่น ซึ่งมีข้อเสียคือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักมาก ทำให้ไม่สะดวกในการขนส่ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาสั้น จึงเกิดแนวความคิดการแปรรูปสำรองให้อยู่ในรูปผง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลง ทำให้สะดวกในการขนส่ง อีกทั้งยังสามารถนำผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ได้มาละลายน้ำ เติมน้ำตาลตามความต้องการและดื่มได้ทันที

การแปรรูปอาหารผงมีหลายวิธี เช่น วิธีการระเหิด วิธีแบบใช้ลูกกลิ้ง เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป การทำแห้งแบบถาดเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยม เพราะเสียค่าใช้จ่ายไม่แพงนัก การบำรุงรักษาและควบคุมง่าย ส่วนมากมักใช้ในการทำแห้ง ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้โครงงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการผลิตสำรองผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบถาด ซึ่งเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่าสูงขึ้นและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (สุภาภรณ์, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ทั่วไป คือ เพื่อศึกษาตัวแปรในการผลิตสำรองผงโดยวิธีการอบแห้งแบบถาดที่มีผลต่อคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ได้ โดยมี

วัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1.2.1 ศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 50,60 และ 70 °C

1.2.2 ศึกษาความเร็วลมร้อนที่ 4,5 และ 6 m/s

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทำการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร

1.3.2 วิเคราะห์ลักษณะคุณภาพของสำรองผงที่ได้โดย เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ความสามารถในการละลาย, ความสามารถในการดูดซับ, ความหนาแน่น, ค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร และ ค่าสี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แนวทางการเลือกตัวแปรในการผลิตสำรองผงจากเครื่องอบแห้งแบบถาด

1.4.2 ทราบถึงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเร็วลมที่ใช้ต่อคุณภาพน้ำสำรองผงที่ได้

1.4.3 ส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากสำรองให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสำรอง

สำรองมีชื่อเรียกต่าง ๆ ดังนี้ (พร้อมจิต, 2543)

English name: Malva Nut

Thai name: สำรอง พุงทลาย หมากจอง

Chinese name : ฮวงได้ไฮ้

Science name : Scaphium Scaphigerum (G.Don)

Botanical name: Scaphium Macropodum Beaum.

Family name: Sterculiaceae

ภาพที่ 2.1 ลักษณะต้นสำรอง

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ภาพที่ 2.2 ลักษณะใบสำรอง

ต้นสำรอง เป็นไม้ยืนต้นลำต้นกลมตรงและสูงชะลูด ประมาณ 20-30 เมตร ชอบขึ้นตามป่าดงดิบ มีความชื้นสูง ได้แก่ ประเทศไทย กัมพูชา มาเลเซีย อินโดนีเซีย บริเวณ เกาะสุมาตราและบอร์เนียวในประเทศไทยมีมากที่จังหวัด จันทบุรี (นิรนาม, 2550)

ใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปไข่แกมขอบขนานหรือรูปไข่แกมใบหอก กว้าง 10-12 ซม.ยาว 15-25 ซม. (นิรนาม1, 2550)

ดอกช่อ ออกที่ปลายกิ่ง แยกเพศ กลีบดอกสีเขียวอ่อน มีขนสีแดงที่กลีบเลี้ยงดอกออกช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม (นิรนาม1, 2550)

ผลแห้ง มีรูปร่างรี เมื่อแก่แล้วผิวจะเหี่ยวย่นกลายเป็นสีน้ำตาลแก่ พอร่วงจากต้นจะมีปีกบางๆ ยื่นออกมา ซึ่งส่วนปีกนั้นเรียกว่า สำเภา ทำให้ผลสำรองนี้ มีลักษณะคล้ายเรือสำเภา ที่อาศัยกระแสลมให้พัดพาล่องลอยไปในอากาศ ผลแก่และเริ่มร่วงประมาณเดือนมีนาคม-เมษายน (นิรนาม1, 2550)

ภาพที่ 2.3 ลักษณะผลสด (ซ้าย) และ ลักษณะผลแห้ง (ขวา) ของสำรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>เนื้อสำรอง</u> มีลักษณะเป็นชิ้นบางๆ คล้ายสาหร่ายสีน้ำตาล มีลักษณะคล้ายวุ้น พองตัวได้ดี ในน้ำ มีความสามารถในการดูดซับน้ำถึง 40 - 45 มิลลิเมตร/กรัม เนื้อสำรองเป็นพวกสารเมือก (Mucilage) จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของสารเมือกพบว่า เป็นสารประเภทพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี จะพบว่าประกอบ ไปด้วย arabinose galactose rhamnose glucose xylose และ mannose ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ร่างกาย สามารถดูดซึมได้ง่ายเป็นด้น(นิรนาม2, 2550)

ภาพที่ 2.4 เนื้อสำรองมีลักษณะคล้ายวุ้น

- เนื้อสำรองเป็นพวกเยื่อใยที่สามารถละลายได้ในน้ำ(water soluble dietary fiber)
- สารพวก water soluble polysaacharide เมื่อเรารับประทานเข้าไปจะไม่สามารถย่อยได้เนื่องจากไม่มีน้ำย่อย จึงต้องถูกขับออกมา และเนื่องจากคุณสมบัติที่ลื่นคล้ายเยลลี ลื่น รวมทั้งเป็นเยื่อใยในตัวเองจึงสามารถดูดซับน้ำได้ จึงมีส่วนช่วยในการเป็นตัวระบาย หรือยาระบายได้
- สามารถซับหรือจับกับน้ำดีซึ่งไขมันหรือคอเลสเตอรอลต้องอาศัยในการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย เมื่อไม่มีน้ำดี หรือน้ำดีน้อยการดูดซึมของไขมันหรือคอเลสเตอรอลจึงลดลง
- การที่น้ำดีถูกขับออกมา ดับจึงต้องสร้างน้ำดีใหม่ ดังนั้นคอเลสเตอรอลที่อยู่ในร่างกายจึงถูกดึงนำมาใช้ผลิตน้ำดี คอเลสเตอรอลจึงลดลงได้แต่ไม่หมด เพราะจริงๆแล้วคอเลสเตอรอลก็มีประโยชน์ต่อร่างกาย
- ลักษณะที่เป็นเยลลีของพอลิแซคคาไรด์ จะไปเคลือบผิวของท่อทางเดินอาหาร โดยเฉพาะหากเคลือบที่ลำไส้เล็กซึ่งเป็นบริเวณที่ดูดซึมโภชนะ จึงทำให้โภชนะดูดซึมได้ลดลงด้วย(นิรนาม2, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สรรพคุณของวุ้นสำรอง

1. **แก้เจ็บคอแก้ไข้** ใช้ผลสำรองราว 10-20 ผล ต้มกับชะเอมจีนพอหวานจนได้น้ำยาเข้มข้น จิบน้ำสำรองบ่อยๆ ช่วยแก้ไข้เจ็บคอได้ดี
2. **แก้ไอขับเสมหะ** ใช้ผลสำรองแค่ 3-5 ลูกก็พอ เพียงแช่ลงในน้ำสัก 1 แก้ว จนพองเป็นวุ้นออกมา เติมน้ำตาล กรวดลงไปเพื่อแต่งรสให้หวานตามใจชอบ ดื่มทั้งเนื้อวุ้นและน้ำครั้งละ 1 แก้ว วันละ 3 เวลาก่อนอาหาร
3. **แก้ร้อนใน** หากในวันที่อากาศร้อนก็สามารถเรียกหาน้ำสำรองดื่มสัก 1-2 แก้ว แก้ร้อนใน กระหายน้ำ ทำให้ชุ่มคอ และรู้สึกกระปรี้กระเปร่าขึ้นได้
4. **แก้ตาอักเสบ** เนื่องจากวุ้นสำรองเป็นยาเย็นที่ไม่เป็นอันตรายต่อเยื่อบุอ่อนๆ จึงสามารถนำมาใช้รักษาตาอักเสบได้ โดยนำผ้าก๊อซชุบน้ำพอชุ่มชื้น แล้วนำไปวางทับบนตาที่อักเสบ จากนั้นจึงวางแผ่นเปลือกหุ้มเมล็ดลูก สำรองลงบนผ้าก๊อซ เปลือกหุ้มเมล็ดนั้นจะพองตัวเป็นวุ้นแทรกซึมในผ้าก๊อซ ช่วยบรรเทาอาการเจ็บตา ตาอักเสบอย่างได้ผล
5. **แก้โรคอ้วน** เนื่องจากฤทธิ์ในการระบายของวุ้น สำรอง หรือ การพองตัวของวุ้นสำรองที่คล้ายกับบุกก็ดี ล้วนเป็นคุณสมบัติสำคัญ แบบทูอินวันของสมุนไพร ลดน้ำหนักอย่างผลสำรอง ที่ควรจัดเป็นเมนูเครื่องดื่มประจำสำหรับกลุ่มคนที่ต้องการลดความอ้วน (สุภาภรณ์, 2550)

2.1.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของต้นสำรองมีสรรพคุณทางยา ดังนี้

- ราก รสเฝื่อนเปรี้ยวเล็กน้อย แก้ไอ แก้ท้องเสีย รักษากามโรค แก้พยาธิผิวหนัง

- แก่นต้น รสเฝื่อน แก้โรคเรื้อน แก้กุฏฐัง แก้กามโรค

- ใบ รสเฝื่อน แก้พยาธิ แก้ลม

- ผลและเมล็ด รสฝาดสุขุม แก้ไข แก้ดานซาง ดานขโมยในเด็ก แก้ท้องเสีย แก้ลมพิษ แก้ลม แก้ธาตุพิการ

- เปลือกต้น รสเฝื่อน แก้ไข้ แก้ท้องเสีย (นิรนาม1, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้วิเคราะห์ส่วนประกอบของเนื้อสำรอง ได้ผลดังนี้ (นิรนาม1, 2550)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อสำรอง

เนื้อผลสำรอง	ปริมาณร้อยละ
คาร์โบไฮเดรต	68.59
โปรตีน	8.45
ไขมัน	0.11
กาก	3.97
เถ้า	8.01
โซเดียม	0.12
โพแทสเซียม	0.14
แคลเซียม	0.25
ฟอสฟอรัส	0.20
เหล็ก	0.007

ในปัจจุบันผลสำรองที่วางขายตามท้องตลาดล้วนมาจากแหล่ง ธรรมชาติ ในประเทศไทยเองก็มีอยู่เพียงไม่กี่แห่ง เช่น ตามป่าดงดิบชื้นทางภาคตะวันออกแถบจังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด และเนื่องจากสำรองเป็นต้นไม้ป่าขนาดใหญ่ และสูง การเก็บลูกสำรองจึงเป็นไปด้วยความยากลำบากมาก จะรอเก็บลูกสำรองที่เลื่อนโล้หล่นปลิวมาตามสายลมก็คงไม่ทันใช้ ชาวบ้านจึงมักโค่นต้นเพื่อสะดวกในการเก็บลูกสำรองคราวละมากๆ ผลก็คือทำให้ต้นสำรองในป่าธรรมชาติถูกทำลายลง จนกลายเป็นพืชสมุนไพรหายากชนิดหนึ่งในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งอาหารโดยทั่วไปหมายถึง การลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อลดค่า a_w ลงมาให้อยู่ในระดับพอที่จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร และทำให้ค่า a_w อยู่ในระดับที่ปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพนั้นอยู่ในระดับต่ำสุด ดังนั้นการอบแห้งอาหารจึงจัดเป็นการถนอมอาหาร เนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้เสื่อมเสียได้ยากขึ้น สามารถเก็บได้นานขึ้นที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้โดยทั่วไปผลจากการอบแห้งจะทำให้น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษา และเป็นการแปรรูปอาหารให้อยู่ในรูปที่สะดวกแก่การนำไปใช้ประโยชน์ และบริโภค ได้แก่ การผลิตอาหารแห้งรูปผง เช่น เครื่องดื่มผง ซุปผง เป็นต้น ดังนั้นการอบแห้ง นอกจากจะเป็นการถนอมอาหารแล้ว ยังจัดเป็นการแปรรูปอาหารวิธีหนึ่งด้วย ตามปกติผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการถนอมอาหารและแปรรูป โดยการอบแห้งนั้น จะหมายถึงอาหารที่มีความชื้นต่ำ (low moisture food) ซึ่งโดยทั่วไปมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 25 และมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 และผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นสามารถนำมาบริโภคได้เลย เช่น เนื้อแห้ง ปลาแห้ง ผลไม้แห้ง หรือผลิตภัณฑ์อาหารแห้งบางชนิดอาจนำมาทำให้คืนสภาพ (rehydration)ในน้ำเพื่อให้ดูดน้ำกลับเข้าไปในอาหารก่อนบริโภค เช่น ผักดากแห้ง นมผง ชาผง น้ำผลไม้ผง เป็นต้น การอบแห้งเพื่อลด a_w ของอาหาร โดยการดึงหรือลดปริมาณน้ำในอาหารนั้นส่วนใหญ่จะอาศัยความร้อนในการระเหย (vaporization) น้ำออกจากอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งอาหารมีหลายวิธี โดยอาจจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ การอบแห้งโดยวิธีธรรมชาติและการอบแห้งโดยวิธีเชิงกล (อรวินท์, 2539)

2.2.1 ข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งอาหาร

การอบแห้งอาหารนอกจากจะทำให้อาหารเก็บได้นานแล้ว ยังมีข้อดีและข้อเสียอื่นๆ อีก (ชมพู่, 2550) ได้แก่

ข้อดีของการอบแห้งอาหาร มีดังนี้

1. น้ำหนักเบา เพราะน้ำหนักประมาณร้อยละ 60-90 ของอาหารสด ยกเว้นธัญพืชประกอบด้วยน้ำ และน้ำส่วนนี้เอง จะถูกกำจัดออกไปโดยกระบวนการอบแห้ง
2. มีความกระชับ กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งต้องการเนื้อที่น้อยกว่าของอาหารสด อาหารแช่เยือกแข็ง หรืออาหารกระป๋อง โดยเฉพาะถ้าสามารถจัดเก็บในหีบห่อภาชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความคงตัวที่สภาวะการเก็บ ผลิตภัณฑ์อาอาหารอบแห้งไม่จำเป็นต้องใช้ตู้เย็นในระหว่างการเก็บ แต่มีข้อจำกัดของอุณหภูมิสูงสุดในระหว่างการเก็บ เพื่อจะให้ได้ระยะการเก็บที่นานขึ้น

ข้อเสียของการอบแห้งอาหาร มีดังนี้

1. ความไวต่อความร้อน เนื่องจากอาหารส่วนมากมความไวต่อความร้อนในระดับหนึ่งและสามารถพัฒนาให้เกิดกลิ่นรสไหม้ขึ้นได้ ถ้าควบคุมสภาวะไม่เหมาะสม

2. เกิดการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้ และเกิดการฟอกสีของผลิตภัณฑ์ได้

3. เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงการเกิดการแห้งกรอบอันเนื่องมาจากการหดตัว

4. เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เกิดจากเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังเกิดการหืนของไขมัน

5. เกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ ถ้าหากว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นช้าหรือปริมาณความชื้นสุดท้ายมีค่าสูง

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วในการอบแห้ง (บุหลัน, 2538) มีดังนี้

1. ธรรมชาติของอาหาร

อาหารมีเนื้อโปร่ง น้ำจะเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ผ่านเซลล์ในอาหารเนื้อแน่น อาหารมีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจะแห้งช้า อาหารที่ผ่ายการลวก นวดคลึงจนเซลล์แตก จะแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิว ต่อน้ำหนัก ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่ จึงแห้งได้เร็วกว่า ความหนาของอาหาร อาหารยิ่งหนามากเท่าไหร่ การอบแห้งก็ใช้เวลานาน นอกจากนั้นต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย

3. ตำแหน่งของอาหารในห้องอบแห้ง

อัตราการอบแห้งภายในห้องอบแห้งเกิดไม่สม่ำเสมอขึ้นกับชนิด ประสิทธิภาพ ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำ(ลมร้อนมีอุณหภูมิสูง) ย่อมระเหยได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปริมาณอาหารต่อพื้นที่ (Loading)

ปริมาณอาหารในถาดมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับลมร้อน การอบแห้งอาหารโดยใส่อาหารเข้าไปในตู้อบครั้งละมากๆ ทำให้การอบแห้งไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะช่วงกลางๆ อาหารจะซ้อนทับกัน น้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี อาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อนไม่ทั่วถึง ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนได้ จึงทำให้แห้งช้า

นอกจากนี้การจัดเรียงอาหารเพื่อนำไปอบแห้ง มีผลต่ออัตราการอบแห้ง การจัดเรียงอาหารให้แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่ซ้อนทับกัน อาหารจะสัมผัสกับลมร้อนได้อย่างทั่วถึงสม่ำเสมอ อาหารจะแห้งได้อย่างทั่วถึง

5. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity : RH)

ความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนกับอาหารมีผลต่อแรงขับดันความชื้นออกจากอาหาร ในการอบแห้งลมร้อนยิ่งมีความชื้นต่ำ (น้ำน้อย:ลมร้อนมีอุณหภูมิสูง) อัตราการอบแห้งยิ่งสูง แต่ถ้าลมร้อนมีความชื้นเข้าใกล้จุดอิ่มตัว (น้ำเยอะ) จะรับไอน้ำได้น้อย อัตราการอบแห้งจะต่ำ ความชื้นของอากาศเป็นตัวกำหนดว่าสามารถลดความชื้นของอาหารในกระบวนการอบแห้งให้ต่ำลงเท่าไหร่ อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มาก จะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อย

ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนเป็นตัวกำหนดความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ทันทีที่อาหารและอากาศร้อนถึงจุดสมดุล การระเหยน้ำจะไม่เกิดขึ้นอีก

6. อุณหภูมิของอากาศ

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับลดความชื้นสัมพัทธ์ เป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ เพิ่มแรงขับดันน้ำหรือความชื้นออกจากผิวหน้าอาหาร ถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่สูงจนทำให้อาหารไหม้ หรือเกิดความเสียหายจากปฏิกิริยาทางเคมีหรือกายภาพ

การกำหนดอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนและระยะเวลาในการอบแห้ง การอบแห้งผักและผลไม้อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 45-70 องศาเซลเซียส ถ้าสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส น้ำจะระเหยเร็วเกินไป อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงซ้อนทางเคมี กายภาพ ที่ผิวหน้า ผิวหน้าเกิดเปลือกแห้งแข็งกระด้าง น้ำซึมผ่านไม่ได้ เรียกว่า การเกิดการแข็งที่บริเวณผิวหน้า(Case hardening) อัตราการอบแห้งลดต่ำลง ผลิตภัณฑ์มีความชื้นอยู่ภายในสูง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้จะเกิดการเน่าเสีย เกิดสีคล้ำ

7. ความเร็วของลมร้อน

ในการอบแห้งลมร้อนทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร พาความชื้นออกไป ถ้าใช้ความเร็วสูงก็จะพาไอน้ำออกจากผิวหน้าของอาหารสู่ภายนอกได้เร็วขึ้น และยังช่วยป้องกันการเกิดสภาวะอิ่มตัวในบรรยากาศเหนือผิวของอาหาร ช่วยลดเวลาในช่วงการอบแห้งคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วิธีการและเครื่องอบแห้ง

วิธีการอบแห้ง สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ การอบแห้งโดยวิธีทางธรรมชาติและการอบแห้งโดยวิธีเชิงกล (อรวินท์, 2539)

การอบแห้งโดยวิธีทางธรรมชาติ

การอบแห้งโดยวิธีธรรมชาติเป็นการอบแห้งโดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์ ได้แก่ การตากแดดและการอบแห้งด้วยตู้อบพลังแสงอาทิตย์

1. การทำแห้งด้วยการตากแดด

การตากแดดเป็นวิธีการอบแห้งที่รู้จักและใช้กันมานานตั้งแต่โบราณ โดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการระเหยน้ำออกจากอาหาร และยังมีลมเป็นตัวช่วยในการนำไอน้ำออกไปจากผิวอาหาร การอบแห้งโดยการตากแดดนี้ใช้ในการอบแห้งอาหารได้หลายประเภท เช่น ผัก ผลไม้ ปลา เนื้อสัตว์ การอบแห้งแบบนี้นิยมมากในระดับครัวเรือนที่ปฏิบัติกันมาช้านาน โดยทั่วไปใช้อบแห้งอาหารที่ไม่ผ่านปฏิบัติการเตรียมวัตถุดิบหลายขั้นตอนนักมักใช้มากกับการทำอาหารที่มีลักษณะตามธรรมชาติ เช่น ผลไม้เป็นผล ปลาเป็นตัว การตากแดดกระทำโดยวางอาหารผึ่งแดดไว้ในภาชนะ และมีการกลับพลิกอาหารบ้างในขณะตากแดด

ข้อดีของการทำอบแห้งด้วยการตากแดด

1. เสียค่าใช้จ่ายน้อย สามารถกระทำได้ง่าย
2. ไม่ต้องลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง

ข้อเสียของการทำอบแห้งด้วยการตากแดด

1. ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้โดยการตากแดดส่วนใหญ่มักมีคุณภาพต่ำมีโอกาสเปื้อนจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่นฝุ่น แมลง จุลินทรีย์และอื่นๆ ได้ง่าย
2. เปลืองเนื้อที่ขณะอบแห้ง
3. ประสิทธิภาพในการทำแห้งมักจะต่ำ
4. ไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่างอัตราการอบแห้งได้ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม

2. การทำแห้งด้วยพลังแสงอาทิตย์

การทำแห้งด้วยพลังแสงอาทิตย์เป็นการทำแห้งโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยจะออกแบบเป็นลักษณะตู้ เพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการทำแห้งให้เร็วขึ้น และในขณะเดียวกันตู้ดังกล่าวจะมีวัสดุกั้น เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนจากพวกสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมลง ฝุ่น เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ มีคุณภาพและความสะดวกดีขึ้นกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตากแดด

ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์นี้ มีการออกแบบหลายรูปแบบ ตัวอย่าง เช่น ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบกล่อง ดังแสดงภาพ ซึ่งกล่องจะทำด้วยไม้และปิดด้วยแผ่นกระจก โดยอาหารที่ต้องการทำแห้งนั้น จะวางบนตะแกรง ในขณะเดียวกันที่กล่องจะมีช่องให้อากาศไหลหมุนเวียนได้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแห้ง

การทำแห้งโดยวิธีเชิงกล

การทำแห้งโดยวิธีเชิงกล เป็นการนำหลักการทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์มาออกแบบเครื่องมือทำแห้งอาหาร โดยอาศัยแหล่งพลังงานความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า ไอน้ำ หรือเชื้อเพลิง โดยทั่วไปจะอาศัยหลักการส่งความร้อนเข้าไปในอาหาร เพื่อทำให้น้ำในอาหารกลายเป็นไอ แล้วระเหยออกจากผิวหน้าอาหาร ความร้อนที่ส่งผ่านเข้าไปอาจจะเป็นลักษณะการนำความร้อน(Conduction) การพาความร้อน (Convection) หรือการแผ่รังสี (radiation) อย่างไรก็ตาม การสร้างเครื่องทำแห้งอาหารมักอาศัยหลักของการพาและการนำความร้อนเป็นสำคัญ โดยเครื่องทำแห้งประเภทอาศัยการพาความร้อนเป็นหลักนั้นจะอาศัยความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนโดยตรงจากพลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง โดยความร้อนจะพัดผ่านอาหาร แล้วส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหารและความร้อนจะพาไอน้ำที่ระเหยจากอาหารออกไป เครื่องทำแห้งประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องทำแห้งแบบตู้ เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์ และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น ส่วนเครื่องทำแห้งประเภทอาศัยการนำความร้อนเป็นหลัก อาหารจะได้รับความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุที่มาสัมผัสอาหาร โดยวัสดุดังกล่าวจะได้รับความร้อนมาจากแหล่งกำเนิดความร้อนเครื่องอบแห้งประเภทนี้เช่น เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง นอกจากนี้ยังมีเครื่องทำแห้งประเภทต่างๆหลายชนิด

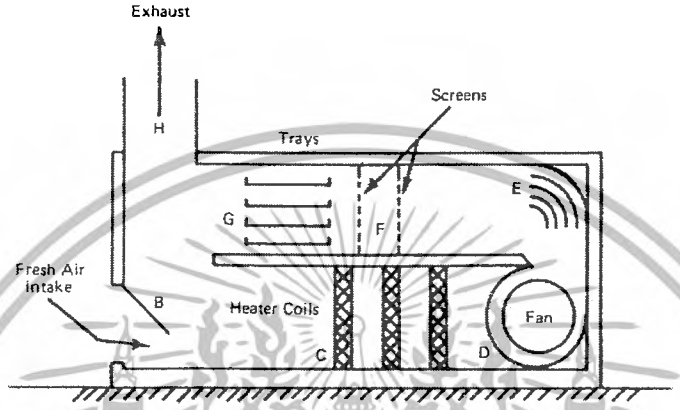
1. การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด

เป็นการทำแห้ง โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนประเภทพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งเครื่องทำทำแห้งแบบนี้เรียกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาด โดยส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องทำแห้งแบบตู้นี้ ได้แก่ ตู้หรือห้องอบ(Drying chamber) แหล่งพลังงานความร้อน(Heater) พัดลม (Fan) ตัวกรองอากาศ(Screen หรือ Filter) และช่องระบายอากาศ(Damper)(แสดงดังภาพที่ 2.5) โดยชิ้นอาหารที่ต้องการทำแห้งที่ผ่านการเตรียมมาเรียบร้อยแล้วจะจัดวางไว้ในถาดที่เรียงอยู่ในห้องอบ โดยถาดที่ใช้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่ในตู้ ถาดควรทำด้วยเหล็กปลอดสนิมและมีรูเปิดที่ถาดไว้ด้วย เพื่อทำให้ลมร้อนสามารถไหลเวียนผ่านได้

ขณะเครื่องทำแห้งทำงาน พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกเข้าไปในเครื่อง ซึ่งส่วนมากมักจะผ่านแผ่นกรองอากาศที่จะกรองพวกฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ปะปนมาในอากาศ อากาศที่กรองแล้วจะผ่านขดลวดให้ความร้อน ทำให้เกิดกระแสลมร้อน ซึ่งจะพัดผ่านอาหารใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถาดที่วางอยู่ในตู้ความร้อนจากลมร้อนจะถ่ายเทให้น้ำในอาหาร เพื่อให้น้ำกลายเป็นไอและระเหยออกจากผิวอาหาร ลมร้อนที่มีไอน้ำอยู่จะถูกปล่อยออกไปทางช่องระบายอากาศในขณะเดียวกัน จะปล่อยให้ลมร้อนบางส่วนหมุนเวียนอยู่ในตู้ เพื่อช่วยในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ยังอยู่ในอาหาร ร่วมกับความร้อนที่จากลมร้อนที่เข้ามาใหม่

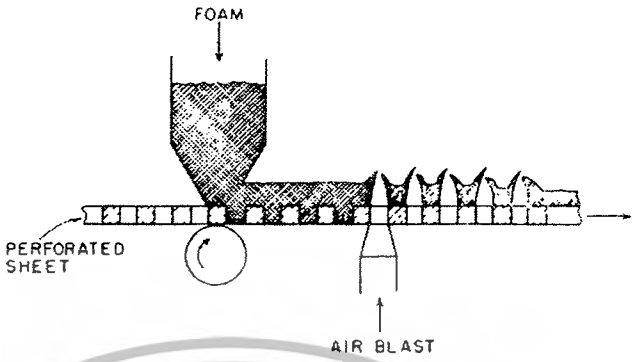


ภาพที่ 2.5 เครื่องทำแห้งแบบถาด

2. การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์นี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทำแห้งอาหารในปริมาณมาก ในระดับอุตสาหกรรมเป็นส่วนมากและการทำงานเป็นระบบแบบต่อเนื่อง ทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วขึ้นอีกด้วย ลักษณะโครงสร้างของเครื่องทำแห้งแบบนี้ ประกอบด้วยตู้ทึบยาวซึ่งภายในเป็นตู้มีล้อเลื่อน และมีถาดวางเรียงเป็นชั้นในตู้ตังกล่าว และตู้ล้อเลื่อนนี้สามารถเคลื่อนที่ไปบนรางขณะทำแห้ง นอกจากนี้ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ แหล่งให้พลังงานความร้อน พัดลมและท่อระบายอากาศ ซึ่งเครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์นี้ จะมีหลายแบบได้แก่ เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์แบบอากาศร้อนไหลทางเดียวกับอาหาร แบบอากาศร้อนไหลสวนทางกับอาหาร ตัวอย่างในภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของเครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์แบบอากาศร้อนไหลสวนทางกับอาหาร ขณะเครื่องทำแห้งนี้ทำงาน อากาศจากภายนอกจะถูกดูดด้วยพัดลมซึ่งอากาศมักผ่านแผ่นกรองอากาศเข้ามายังแหล่งให้ความร้อนซึ่งจะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ ทำให้ได้กระแสลมร้อนไหลเข้ามาผ่านไปบนอาหารในถาดซึ่งอยู่บนตู้ล้อเลื่อน ซึ่งเคลื่อนเข้ามาในทิศทางสวนทางกับการไหลของกระแสลมร้อน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนให้น้ำในอาหารเพื่อระเหยน้ำออกไป บางส่วนของลมร้อนที่มีไอน้ำอยู่จะถูกปล่อยออกช่องระบายอากาศเครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์นี้นิยมใช้ในการทำแห้ง อาหาร เช่น ผัก ผลไม้ เป็นต้น

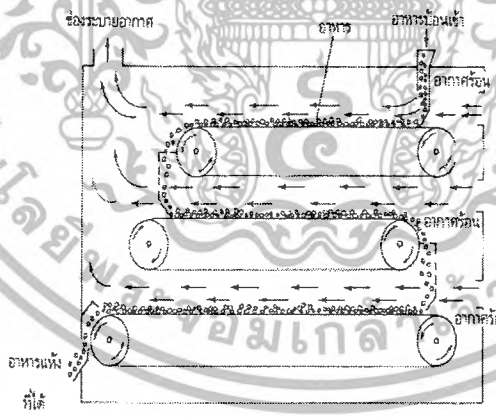
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 การทำแห้งแบบอุโมงค์

3. การทำแห้งด้วนเครื่องทำแห้งแบบสายพาน

เป็นการทำแห้งอาหารโดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนประเภทการพาความร้อนเป็นหลัก ลักษณะการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบสายพานนี้จะคล้ายกับเครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์ แต่อาหารที่ยำมาทำแห้งแทนที่จะวางไว้ในถาดบนตู้มีล้อเลื่อน จะนำอาหารมาวางบนสายพาน ที่มีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะเคลื่อนที่ไปในขณะทำแห้งตัวอย่างของการทำแห้งแบบนี้(แสดงดังภาพที่ 2.7) ซึ่งเป็นการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสายพานลักษณะผสม ระหว่างแบบอากาศร้อนไหลสวนทางกับอาหารและแบบอากาศร้อนไหลทางเดียวกับอาหาร



ภาพที่ 2.7 เครื่องทำแห้งแบบสายพานลักษณะผสมระหว่างแบบอากาศร้อนสวนทางกับอาหารและแบบอากาศร้อนไหลทางเดียวกับอาหาร

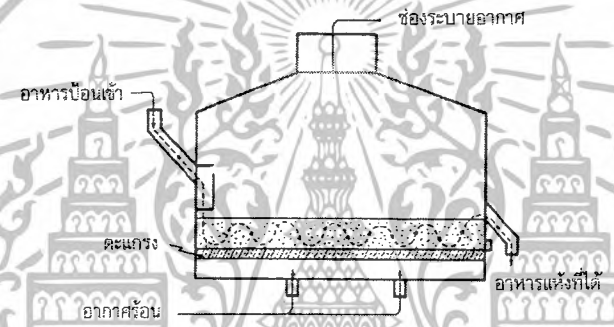
4. การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด

นิยมใช้ในการทำแห้งพวกเมล็ดธัญพืชต่างๆ เนื่องจากหลักการในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบนี้ จะอาศัยลมร้อนที่พ่นผ่านขึ้นไปยังชิ้นของวัตถุดิบหรืออาหารที่จะทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในขณะทำแห้ง อาหารจะลอยตัวอยู่ในลมร้อนดังกล่าวซึ่งเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดนี้สามารถทำได้ทั้งแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง

ลักษณะของเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบหนึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2.8 ซึ่งในขณะทำงานนั้น ลมร้อนจะผ่านเข้ามาทางด้านล่าง เป่าผ่านตะแกรงขึ้นไปด้วยความเร็วลมที่เหมาะสม ทำให้ชิ้นของอาหาร เช่น เมล็ดธัญพืช เกิดการลอยตัวและเคลื่อนที่อยู่ในลมร้อนดังกล่าว ความร้อนจากลมร้อน จะถ่ายเทให้น้ำในเมล็ดธัญพืชเพื่อระเหยน้ำออกไปในรูปของไอน้ำ ลมร้อนชื้นที่มีไอน้ำอยู่จะถูกปล่อยออกทางช่องระบายอากาศทางด้านบน ส่วนเมล็ดธัญพืชที่แห้งแล้วจะเคลื่อนที่ออกไปอีกทางหนึ่ง เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดนี้ นอกจากนิยมใช้ในการทำแห้งพวกเมล็ดธัญพืชต่างๆ แล้ว ยังใช้ในการทำแห้งพวกถั่วต่างๆ ด้วย



ภาพที่ 2.8 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด

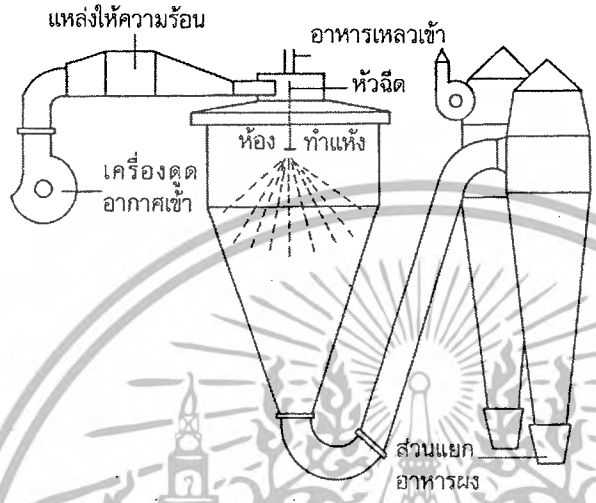
5. การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

มีความสำคัญมากในการผลิตอาหารแห้งประเภท อาหารผงและเครื่องดื่มผงชนิดต่างๆ เช่น น้ำผลไม้ผง นมผง กาแฟผง ไข่ผง เป็นต้น โดยวัตถุดิบหรืออาหารที่นำมาทำแห้งด้วยวิธีนี้ต้องอยู่ในสภาพเป็นของเหลว เช่น น้ำนมดิบ หรือเตรียมให้อยู่ในสภาพของเหลว เช่น การเตรียมน้ำผลไม้จากผลไม้ การเตรียมสารสกัดจากกาแฟ ก่อนที่จะนำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งประเภทนี้ เนื่องจากหลักการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ จะมีการพ่นอาหารเหลวให้แตกกระจายเป็นละออง หรือ หยดเล็กๆ ภายในห้องอบที่มีลมร้อนไหลผ่าน ซึ่งการที่พ่นของเหลวให้เป็นละอองนี้ จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารเหลว ดังกล่าว ทำให้ความร้อนจากลมร้อนสามารถถ่ายเทมาให้อาหารเหลวได้ดี ทำให้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแห้ง

ลักษณะการทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญได้แก่ ห้องทำแห้ง (Drying chamber) หัวฉีด (Atomizer) แหล่งให้ความร้อน(Heater) และส่วนแยกอาหารผง(Cyclone sepapator) ดังแสดงในภาพที่ 2.9 โดยในขณะทำแห้งนั้น อาหารเหลวจะถูกพ่นให้แตกเป็นละอองด้วยหัวฉีด ละอองอาหารเหลวนี้จะสัมผัสกับความร้อนจากลมร้อนที่ผ่านเข้ามาในห้องทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้ง น้ำในละอองอาหารเหลวจะละเหยออกไปในรูปไอน้ำ ส่วนละอองอาหารเหลวจะแห้ง ได้เป็นลักษณะอาหารผง ซึ่งจะแยกออกทางส่วนแยกอาหารผง



ภาพที่ 2.9 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

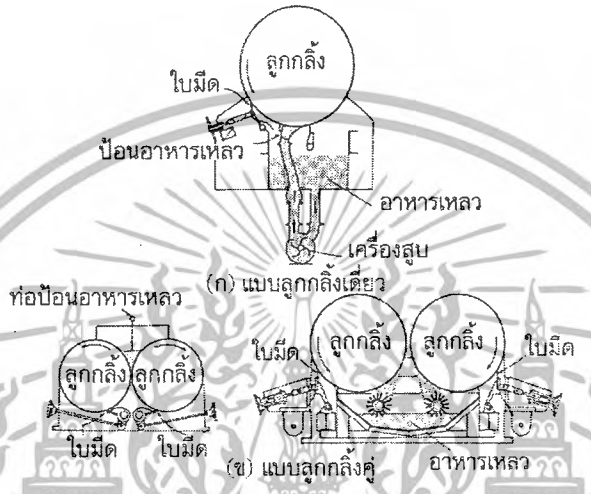
6. การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการทำแห้งอาหารหลายชนิด แต่อาหารที่จะนำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบนี้ต้องอยู่ในสภาพของเหลวข้นที่มีความหนืดพอเหมาะ สามารถจับเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ โดยรอบลูกกลิ้งทรงกระบอกในขณะทำแห้ง อาหารที่นิยมใช้การทำแห้งแบบนี้ เช่น การผลิตกล้วยผง มะเขือเทศผง แป้งผง เป็นต้น โดยวัตถุดิบดังกล่าวต้องมีการนำมาเตรียมให้อยู่ในสภาพของเหลวข้นหนืดอย่างพอเหมาะก่อนที่จะนำมาทำแห้ง ตัวอย่างเช่น มะเขือเทศต้องนำมาเตรียมเป็นลักษณะน้ำมะเขือเทศเข้มข้น ก่อนที่จะนำมาทำแห้งด้วยวิธีนี้ได้

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งประกอบด้วยส่วนประกอบ(แสดงดังภาพที่ 2.10) ที่สำคัญ คือ ลูกกลิ้งทรงกระบอก(Drum) ซึ่งอาจเป็นลูกกลิ้งหนึ่งหรือสองตัวก็ได้แล้วแต่ชนิดของเครื่องทำแห้งดังกล่าว แหล่งให้พลังงานความร้อน และใบมีดที่ขูดอาหารแห้งที่ได้ เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง สามารถแบ่งได้เป็นเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวและแบบลูกกลิ้งคู่ ดังแสดงในภาพที่ โดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวนั้น อาหารข้นจะป้อนจากทางด้านล่าง โดยอาจใช้เครื่องสูบช่วยส่งขึ้นไป อาหารข้นเหลวจะจับเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ โดยรอบลูกกลิ้งทรงกระบอกร้อน ซึ่งมักทำด้วยวัสดุที่นำความร้อนได้ดี และลูกกลิ้งนี้มักได้รับพลังงานความร้อนมาจากไอน้ำ ความร้อนจากลูกกลิ้งจะถ่ายเทให้กับน้ำในอาหารข้นเหลวที่จับเป็นแผ่นดังกล่าว น้ำจะระเหยออกไป อาหารที่แห้งแล้วจะถูกใบมีดขูดออกเป็นแผ่น ส่วนเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่นั้น อาหารข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลวจะถูกป้อนมาทางด้านบนระหว่างผิวของลูกกลิ้งทรงกระบอกสองตัวที่หมุนเข้าหากัน จากนั้นอาหารข้นเหลวจะเคลือบที่ผิวลูกกลิ้งทั้งสอง ความร้อนจากลูกกลิ้งจะถ่ายเทไปให้อาหารข้นเหลวที่เคลือบอยู่ที่ผิวลูกกลิ้ง อาศัยหลักการนำความร้อนเป็นหลัก อาหารที่แห้งแล้วจะถูกขูดออกด้วยใบมีด อาหารแห้งที่ได้จะอยู่ในลักษณะแผ่น ซึ่งสามารถทำเป็นอาหารผงได้โดยการนำไปบดด้วยเครื่องบด



ภาพที่ 2.10 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

7. การทำแห้งอาหารด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ

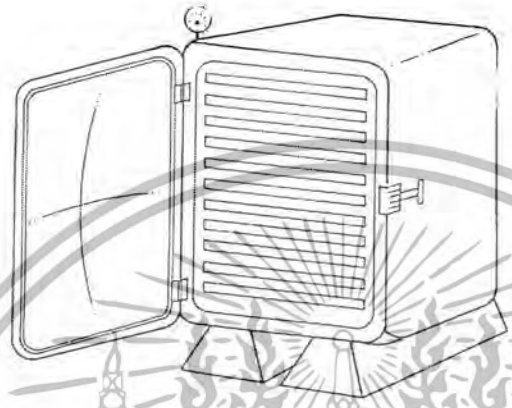
สามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำในสภาพบรรยากาศปกติ การทำแห้งวิธีนี้จึงช่วยลดการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร เนื่องจากผลของการใช้ความร้อนสูงในการทำแห้ง แต่การลงทุนและการทำงานของเครื่องทำแห้งดังกล่าวต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงมักใช้ทำแห้งกับอาหารที่ค่อนข้างไวต่อการเสื่อมเสียด้วยความร้อนออกซิเจน และต้องการลดความชื้นของอาหารดังกล่าวให้ต่ำมาก ตัวอย่างเช่น ใช้ทำแห้งผลิตภัณฑ์จากผลไม้ เช่น น้ำผลไม้ ผลไม้เป็นชิ้น เป็นต้น

เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศนี้ โดยทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ห้องทำแห้งสุญญากาศ แหล่งให้พลังงานความร้อน เครื่องดูดอากาศออกเพื่อให้เกิดระบบสุญญากาศ และส่วนเก็บแยกไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหาร โดยส่วนของห้องทำแห้งสุญญากาศนั้น ต้องคงทนต่อความดันที่แตกต่างกันระหว่างภายนอกกับภายใน เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศนี้ มีหลายแบบ เช่น เครื่องทำแห้งสุญญากาศแบบชั้น เครื่องทำแห้งสุญญากาศแบบสายพาน เครื่องทำแห้งสุญญากาศแบบลูกกลิ้ง เป็นต้น โดยเครื่องทำแห้งแยกสุญญากาศแบบง่ายที่สุด คือ เครื่องทำแห้งสุญญากาศแบบชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.11 โดยเครื่องทำแห้งแบบนี้จะประกอบด้วยห้องทำแห้งสุญญากาศที่มีชั้นจัดรียงอยู่ โดยชั้นดังกล่าวจะได้รับความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อน เช่น พลังงานไฟฟ้า ซึ่งความร้อนจากชั้นนี้ จะถ่ายเทให้กับน้ำในอาหาร โดยอาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การนำความร้อน และการแผ่รังสีเป็นส่วนใหญ่ น้ำในอาหารจะระเหยกลายเป็นไอได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดปกติ แล้วไอน้ำที่ระเหยออกมาจะแยกออกไปโดยผ่านเครื่องควบแน่นไอน้ำ



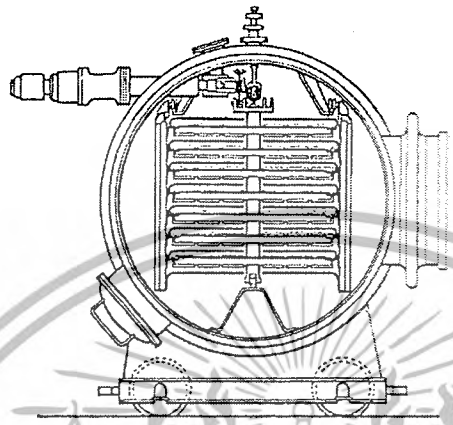
ภาพที่ 2.11 เครื่องทำแห้งสุญญากาศแบบชั้น

8. การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

นิยมใช้ในการทำแห้งอาหารที่ไวต่อการเสื่อมเสียคุณภาพและคุณค่าทางอาหารด้วยความร้อน เช่น การสูญเสียกลิ่น เนื้อสัมผัส วิตามิน เป็นต้น เนื่องจากการทำแห้งแบบนี้จะไม่ใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกจากอาหาร แต่จะทำให้อาหารอยู่ในสภาพแช่แข็ง จากนั้นจึงทำให้น้ำในรูปน้ำแข็งในอาหารเกิดการระเหิดออกไปภายใต้ความดัน และอุณหภูมิต่ำๆ โดยทั่วไปน้ำแข็งจะระเหิดที่ความดันเท่ากับหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งดังแสดงในภาพที่ 2.12 ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ห้องทำแห้งและระบบการสูบ ที่ทำให้เกิดระบบสุญญากาศ หรือทำให้ความดันภายในห้องทำแห้งลดลงโดยมีอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นเช่น ถาดใส่อาหารแช่แข็ง เครื่องควบแน่น เครื่องวัดความดัน แหล่งกำเนิดความเย็น แหล่งให้ความร้อน และอุปกรณ์ควบคุมระบบสุญญากาศ โดยในขั้นตอนการทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่แข็งนั้นในขั้นแรกอาหารที่จะทำแห้งโดยวิธีนี้ไปแช่แข็งก่อน วิธีที่นิยมคือ การแช่แข็งแบบเร็วเพื่อทำให้น้ำในอาหารเป็นน้ำแข็ง จากนั้นจึงนำอาหารที่แช่แข็งเข้าเครื่องทำแห้งโดยลดความดันในห้องทำแห้งให้เป็นสุญญากาศและมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้น้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอจนอาหารแห้งมีความชื้นต่ำตามที่ต้องการ จึงทำลายสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งโดยวิธีนี้มักมีคุณภาพสูง เนื่องจากไม่มีการเสื่อมเสียคุณภาพจากผลของความร้อน เช่น การสูญเสียกลิ่นรส เนื้อสัมผัสและคุณค่าทางอาหาร เป็นต้น ดังนั้นอาหารแห้งที่ได้จากการทำแห้งโดยวิธีนี้จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรสที่ดี และมีคุณสมบัติในการคืนสภาพที่ดีด้วย แต่อย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
104076

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงนิยมใช้กับอาหารที่มีมูลค่าสูง เช่น กาแฟ กุ้ง เป็นต้น



ภาพที่ 2.12 เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

2.2.4 ข้อเปรียบเทียบของการทำให้อาหารแห้งทั้งสองวิธี มีข้อเปรียบเทียบ(รุ่งนภา, 2535) ดังนี้

1. การทำแห้งโดยใช้เครื่องสามารถควบคุมสภาวะทั่วไป เช่น อุณหภูมิ ความชื้นและการหมุนเวียนของบรรยากาศได้ในระดับที่เหมาะสม ส่วนการทำให้แห้งโดยอาศัยธรรมชาติขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ
2. การทำแห้งโดยใช้เครื่อง ใช้พื้นที่น้อยกว่าวิธีที่อาศัยแสงแดด ได้มีการคำนวณไว้ว่า ผู้ที่ประกอบกสิกรรมในเนื้อที่ 20 ไร่ ต้องมีพื้นที่สำหรับตากแห้งเป็นเนื้อที่ 1 ไร่จึงจะเพียงพอ
3. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องทำให้อาหารแห้งจะสะอาดและมีคุณภาพดีกว่าวิธีอาศัยแสงแดด
4. คุณสมบัติในการคืนรูปเดิมเมื่อนำไปหุงต้มของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องจะดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งโดยธรรมชาติ
5. ระยะเวลาในการทำให้แห้งแบบใช้เครื่องจะเร็วกว่าวิธีการที่อาศัยธรรมชาติ
6. ค่าใช้จ่ายในแบบอาศัยธรรมชาติจะถูกกว่าการทำแห้งโดยใช้เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 อัตราการทำแห้งของอาหาร

ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการอบแห้ง(การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา) อาหารที่มีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่ของน้ำจะเป็นแบบการไหลผ่านช่องแคบ น้ำที่เคลื่อนมาที่ผิวอาหารจะเร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ ผิวอาหารจะเปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยน้ำเกิดอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า อัตราการทำแห้งคงที่ เมื่อการไหลผ่านช่องแคบของน้ำหมดไป น้ำจะเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนผิวอาหารแห้ง การระเหยเกิดขึ้นช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง

อัตราการอบแห้ง เป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อเวลาหรือพื้นที่โดยมีความสัมพันธ์ (วิไล,2546) ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยไป}}{\text{ระยะเวลาหรือพื้นที่}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ อุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. ผลสำรองแห้ง

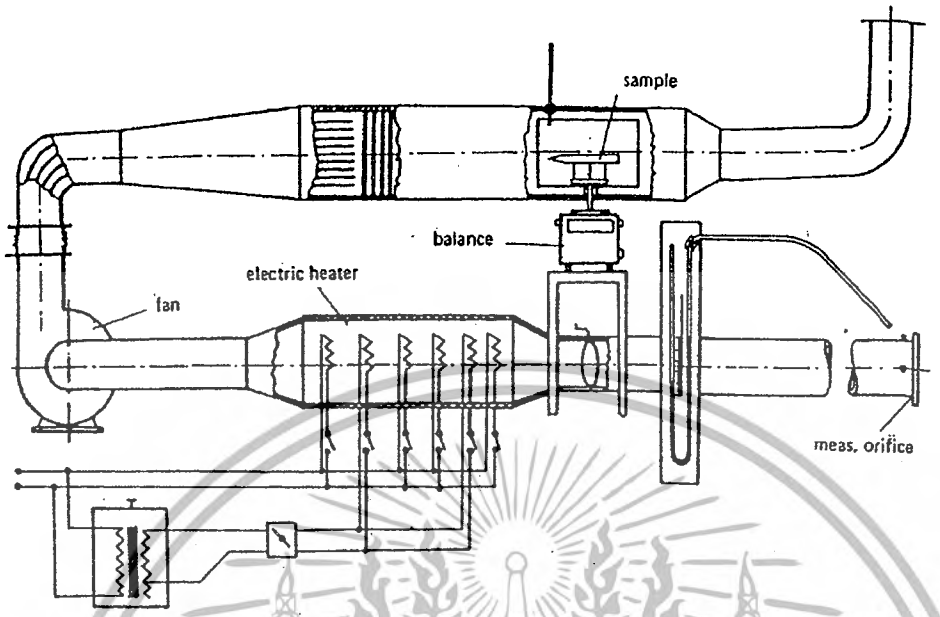
3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องอบลมร้อนแบบถาด
2. พัดลม
3. เครื่องวัดความเร็วลม
4. เครื่องวัดความเร็วรอบ
5. เครื่องปรับความเร็วรอบ
6. เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง
7. นาฬิกาจับเวลา
8. กะละมังสแตนเลส
9. ช้อนสแตนเลส
10. ผ้าตาข่าย
11. ถุงพลาสติก,ถุงบรรจุแบบสุญญากาศ
12. เครื่องปั่น
13. เครื่องซีล
14. ทัพพีสแตนเลส

3.2 เครื่องอบลมร้อนแบบถาด

เครื่องอบลมร้อนแบบถาดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาตัวแปรในการอบแห้งสำรองผง โดยอบแห้งเนื้อสำรองที่สภาวะต่างๆ ตามแผนการทดลอง ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแสดงในภาพที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 ภาพวาดเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบถาดที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบที่สำคัญมี ดังนี้

1. พัดลม เป็นพัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ขนาดใบพัด 50 ซม.
2. มอเตอร์ ขนาด 2 แรงม้า ต่อกับอินเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ในการปรับรอบพัดลมให้ไดปริมาณลมตามที่ต้องการ
3. อุปกรณ์ให้ความร้อน ใช้ขดลวดความร้อนขนาด 3000 วัตต์ ต่อกับเทอร์โมสเตดเพื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อนให้ได้ตามต้องการ
4. เครื่องอบแห้ง ภายในประกอบไปด้วยถาดอบแห้งขนาด 20X20 ซม.^{2} 2 ชั้นเพื่อใช้อบแห้งเนื้อสำรอง

3.3 การควบคุมและปรับปริมาณลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

ในการปรับปริมาณลมที่ใช้ในการอบแห้งให้ได้ปริมาณลมที่ต้องการทำโดยใช้วิธีปรับอินเวอร์เตอร์และใช้เครื่องวัดความเร็วรอบปรับรอบพัดลมให้ได้ตามต้องการ ซึ่งในการวัดความเร็วลมในการทดลองนี้ใช้ออริฟิดและได้ทำการคำนวณหาค่าความดันที่แตกต่างก่อน-เข้าออริฟิด โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

3.3.1 ปริมาณลม (Q, m^3/s)

$$Q = AC_0Y\sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)}{\rho_{H_2O}g(1 - D_2^4/D_1^4)}}$$

สมมติให้ $$X = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho_{H_2O}g(1 - D_2^4/D_1^4)}}$$

จะได้ว่า $$Q_{th} = Y \times X$$

$$Q_{ac} = C_0 \times Q_{th}$$

โดยที่ $$P_1 = P_{atm} + \Delta h_2 \rho_{H_2O} g$$

$$P_2 = P_1 - \Delta h_1 \rho_{H_2O} g$$

เมื่อ Y = สัมประสิทธิ์การอัดตัวของออริฟิด จากภาพที่ 3.3

C_0 = สัมประสิทธิ์ออริฟิดที่ D_1/D_2 จากภาพที่ 3.4

D_1, D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอกออริฟิด 0.05,0.07 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A = พื้นที่หน้าตัดห้องอบแห้ง 0.043 m^2

g = 9.81 m/s^2

P_{atm} = 101,325 Pa

P_1 = ความดันก่อนเข้าออริฟิต (Pa)

P_2 = ความดันหลังเข้าออริฟิต (Pa)

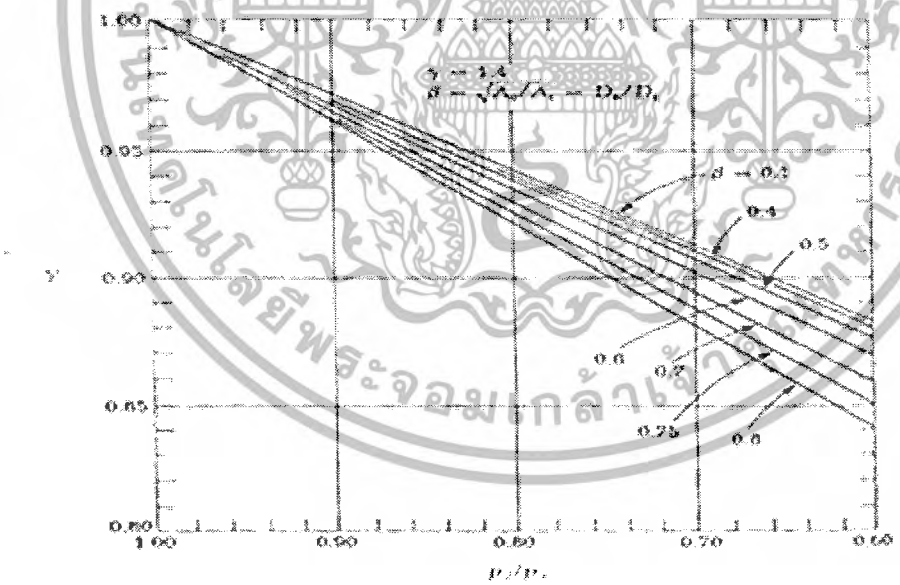
Δh_1 = ความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ที่จุดวัดความดันแตกต่างระหว่าง P_1 กับ P_2

Δh_2 = ความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ก่อนเข้าออริฟิตเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ

ρ_{H_2O} = 1000 Kg/m^3

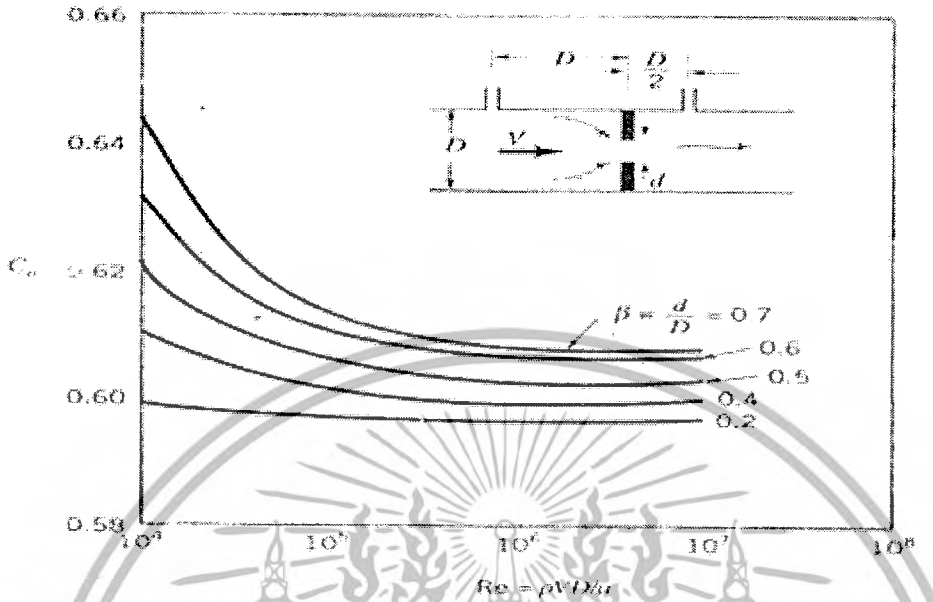
3.3.2 ความเร็วลม (v,m/s)

$$v = \frac{Q}{A} = Q / \frac{\pi}{4} D_2^2 = \frac{4Q}{\pi D_2^2} \quad \text{(m/s)}$$



ภาพที่ 3.3 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การอัดตัวออริฟิต(Y)กับ P_2/P_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์ของออริฟิด(C_0) กับ Re

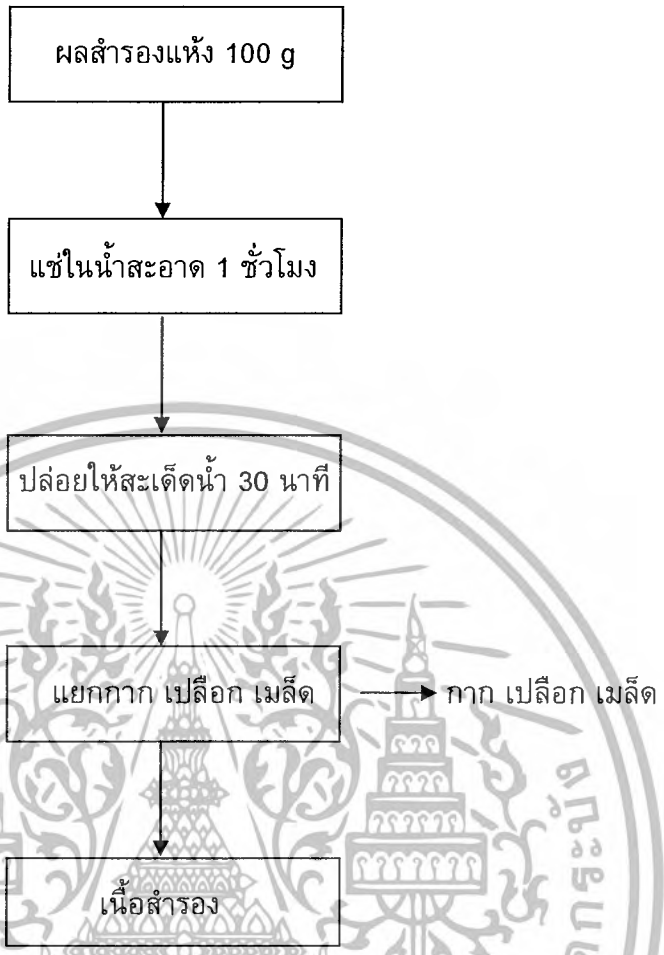
3.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมเนื้อสำรอง

ขั้นตอนการเตรียมเนื้อสำรองแสดงในภาพที่ 3.1 โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. นำผลสำรองแห้งจำนวน 100 กรัม มาแช่ในน้ำสะอาด 1 ชั่วโมง
2. เนื้อสำรองจะพองตัวออกมา นำสำรองที่ได้ไปวางให้น้ำไหลออก สะเด็ดน้ำ 30 นาที
3. นำสำรองที่ได้มาบีบแยกกาก เปลือก และเมล็ด ออกโดยใช้ผ้าดาข่ายจะได้เนื้อสำรอง
4. นำเนื้อสำรองที่ได้มาชั่งน้ำหนัก 150 กรัมใส่ในถาดอะลูมิเนียม และเกลี่ยทั่วถาดให้มีความสม่ำเสมอ
5. นำเข้าเครื่องอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ตามการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเนื้อสำรองเริ่มต้น

ตอนที่ 2 การอบแห้งแบบถาด

ขั้นตอนการเตรียมเนื้อสำรองแสดงในภาพที่ 3.6 โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ติดตั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ได้แก่ พัดลม เครื่องปรับความเร็วรอบ เข้ากับเครื่องอบแห้งแบบถาดให้เรียบร้อย
2. เปิดพัดลม เครื่องปรับความเร็วรอบ พร้อมทั้งปรับความเร็วรอบที่สภาวะต่าง ๆดามแผนการทดลอง
3. เปิด Heater และปรับอุณหภูมิที่สภาวะต่าง ๆตามแผนการทดลอง
4. ใส่เนื้อสำรองลงในถาด ถาดละ 150 กรัม ใส่เข้าไปในเครื่องอบแห้งแบบถาด
5. ได้เนื้อสำรองแห้ง เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้มาชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บเข้าถุงที่กันความชื้นและแสง
6. นำไปเนื้อสำรองไปปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียด แล้วเก็บเข้าถุงที่กันความชื้นและแสงเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.6 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

3.5.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ (% yields)

ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน (ดาริกาและคณะ, 2545)

$$\% \text{ yields} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักแห้งของสารองที่ป้อน}} \times 100$$

$$\text{น้ำหนักแห้งของสำรองที่ป้อน} = \frac{(100 - \text{ความชื้นสำรอง})}{100} \times \text{น้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น}$$

3.5.2 ความสามารถในการดูดซับ (WAI) **และความสามารถในการละลาย** (WSI)

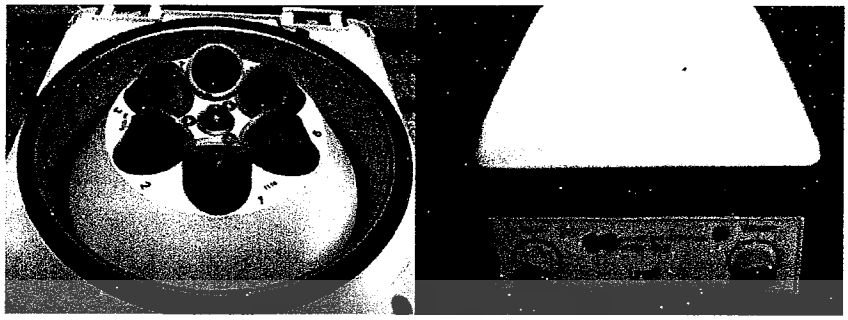
ความสามารถในการดูดซับ (WAI) ชั่งตัวอย่าง 0.5 g ใส่ในหลอดทดลองและเติมน้ำกลั่น 30 ml คนให้เข้ากัน นำหลอดทดลองใส่ในเครื่อง centrifuge (แสดงดังภาพที่ 3.7 ซ้าย) ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm 13 นาที จากนั้นนำหลอดทดลองออกจากเครื่องมาแยกส่วนที่ใสกับส่วนที่เป็นตะกอนออกจากกัน ส่วนที่เป็นตะกอนนำไปชั่งน้ำหนัก (ธีระนุตและคณะ, 2537) เพื่อหาค่า จากสมการ

$$\text{WAI (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้น}}$$

ความสามารถในการละลาย (WSI) นำส่วนที่ใสไประเหยด้วยเครื่อง Hot plate (แสดงดังภาพที่ 3.7 ขวา) จนแห้ง จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนจนน้ำหนักคงที่ (ธีระนุตและคณะ,2537) จากนั้นนำมาหาค่า WSI(%) จากสมการ

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ละลายในส่วนใส}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 เครื่อง centrifugal (ซ้าย)และ เครื่อง hot plate (ขวา)ที่ใช้ในการทดลองหาค่าความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลาย

3.5.3 การหาค่าความหนาแน่น

1. เตรียมกระบอกตวงที่ทราบค่าแน่นนอน
2. ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงที่เตรียมไว้
3. นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงค่อยๆ เทใส่ลงไปในกระบอกตวง
4. นำไปชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณค่าความหนาแน่น (ดาริกาและคณะ, 2545) ตามสมการ

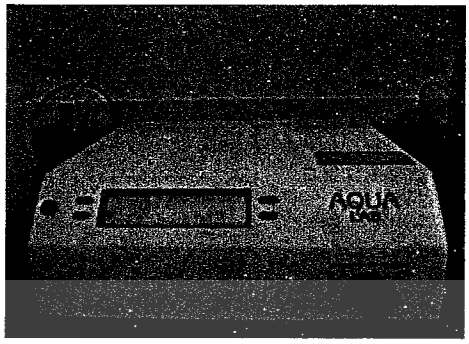
$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักกระบอกตวง} - \text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรกระบอกตวง}}$$

3.5.4 ค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร(water activity)

ค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เราสามารถใช้ค่า Water Activity ในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสีย ตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้

ในการทดลองนี้ใช้เครื่อง Aw CX3TE (แสดงดังภาพที่ 3.8) ในการวัดค่า Water Activity วัดค่าออกมาในรูปของเลขดิจิตอลแล้วบันทึกผล ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่ใช้ในการทดลอง

3.5.5 การวัดค่าสี

ในการทดลองใช้เครื่อง Colorimeter (แสดงดังภาพที่ 3.9) ในการวัดค่าสี ค่าที่ได้ทำการวัดมีทั้งหมด 3 ค่า คือ L* a* b* โดยทั้ง 3 ค่านี้เป็นค่าสีที่อยู่ในระบบ C.I.E LAB ความหมายของค่าสีในระบบ C.I.E LAB (ญานิกาและคณะ, 2549)

ค่า L* (lightness) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสว่างโดย ถ้า L* มีค่าเข้าใกล้ 0 มากก็จะมีความมืดมาก

ค่า a* เป็นค่าแสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียว

a* เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดง

a* เป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว

ค่า b* เป็นค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

b* เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง

b* เป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

หาความแตกต่างระหว่างค่าสีทั้งหมด หรือ Total Difference (E*) ได้จาก

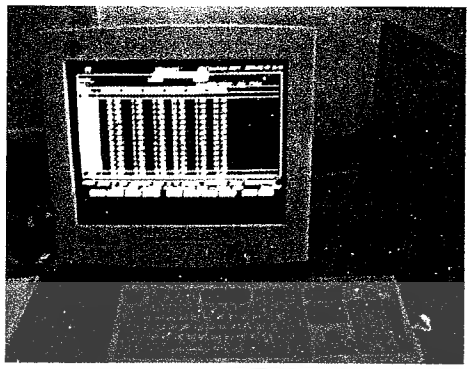
$$E^* = [(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2]^{½}$$

โดย L^*_0 = ค่าความสว่างของเนื้อสำรองสด

a^*_0 = ค่าของสีแดงของเนื้อสำรองสด

b^*_0 = ค่าของสีเหลืองของเนื้อสำรองสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดค่าสีที่ใช้ในการทดลอง

3.6 การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตซึ่งประกอบด้วยความเร็วลมร้อนและอุณหภูมิลมร้อน

3.6.1 ตัวแปรที่ศึกษา

1. ความเร็วลมร้อน 3 ระดับ
   1) 4 m/s
   2) 5 m/s
   3) 6 m/s
2. อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ
   1) 50 องศาเซลเซียส
   2) 60 องศาเซลเซียส
   3) 70 องศาเซลเซียส

3.6.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้
- ความสามารถในการละลาย
- ความหนาแน่น
- ความสามารถในการดูดซับ
- สี
- a_w

ในการทดลองนี้ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Random Desige, CRD) ทำการทดลอง 3x3 กรรมวิธี ทำการทดลอง 2 ซ้ำ รวมทั้งหมด 18 การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลอง โดยมีการเตรียมสภาวะการทดลองและแผนการทดลองที่ควบคุมสภาวะต่างๆ ของเครื่องอบแห้งแบบถาด ดังตารางที่ 3.1

ในการทดลองการอบแห้งสำรองแบบถาด ใช้เนื้อสำรองสดปริมาณ 150 กรัม และปรับสภาวะต่างๆ ของเครื่องดามตาราง โดยควบคุมเครื่องอบแห้งแบบถาดดามตารางที่ 3.1 และอบแห้งวัสดุจนกระทั่งมีความชื้น 8% ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นเท่ากับเนื้อสำรองผงที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน(ตาราง ANOVA)และเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธี โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดลองและแผนการทดลองของเครื่องอบแห้งแบบถาด

การทดลองที่	ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)
1	4	50
2	4	50
3	5	50
4	5	50
5	6	50
6	6	50
7	4	60
8	4	60
9	5	60
10	5	60
11	6	60
12	6	60
13	4	70
14	4	70
15	5	70
16	70	70
17	70	70
18	70	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

ในการทดลองสำรองผงโดยวิธีการอบแห้งแบบถาด โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับคือ 50, 60, 70 °C และปริมาณความเร็วลม 3 ระดับคือ 4, 5, 6 m/s โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางภาคผนวกที่ ก1

ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในตารางภาคผนวกที่ ก.2 – ก.6 โดยพบว่าปัจจัยร่วมคืออุณหภูมิและความเร็วลมมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับ และอุณหภูมิและความเร็วลมไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายและค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (E*)

4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่าง ๆ ของสำรองผงที่ได้

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์โดยการวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธี โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าคุณภาพของแต่ละสภาวะการทดลอง

อุณหภูมิ °C	ความเร็วลม(m/s)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้(%)	ความหนาแน่น (g/ml)	ความสามารถในการดูดซับ (g/g)	ความสามารถในการละลาย (%)	E*
50	4	75.90^{ns}	0.572^{a}	57.22^{c}	2.41^{ns}	16.85^{ns}
	5	93.75^{ns}	0.645^{b}	47.31^{abc}	3.58^{ns}	17.34^{ns}
	6	81.79^{ns}	0.684^{c}	57.19^{bc}	4.14^{ns}	15.50^{ns}
60	4	92.75^{ns}	0.595^{d}	54.05^{abc}	6.92^{ns}	17.85^{ns}
	5	90.71^{ns}	0.605^{e}	54.67^{abc}	3.26^{ns}	16.12^{ns}
	6	68.38^{ns}	0.656^{f}	43.55^{a}	5.86^{ns}	17.61^{ns}
70	4	97.92^{ns}	0.571^{g}	48.15^{abc}	4.75^{ns}	18.80^{ns}
	5	95.67^{ns}	0.582^{h}	45.93^{abc}	5.79^{ns}	15.79^{ns}
	6	96.64^{ns}	0.588^{i}	52.20^{abc}	5.96^{ns}	16.11^{ns}

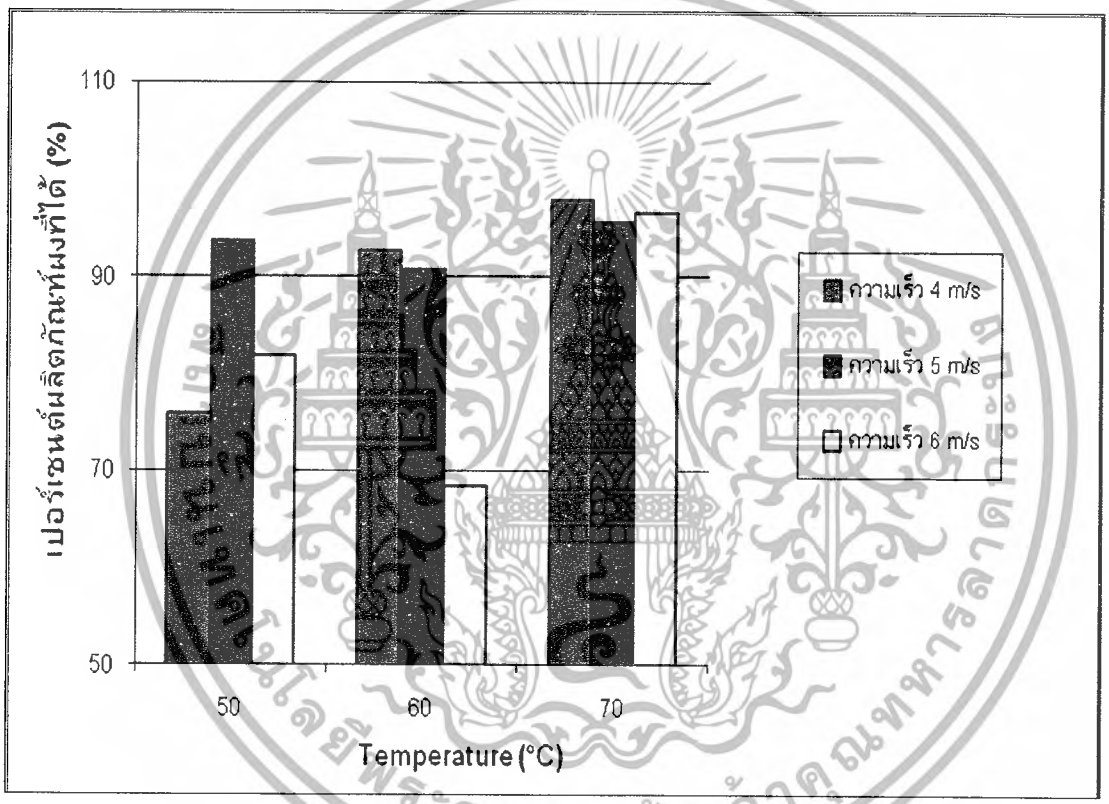
- ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน (a,b,...) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- ns (not significant) แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้(% Yield)

ผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ได้มีค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้อยู่ในช่วง 75.90 - 97.92% ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธี ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้กับอุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมร้อน จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าอุณหภูมิและความเร็วลมไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้โดยผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



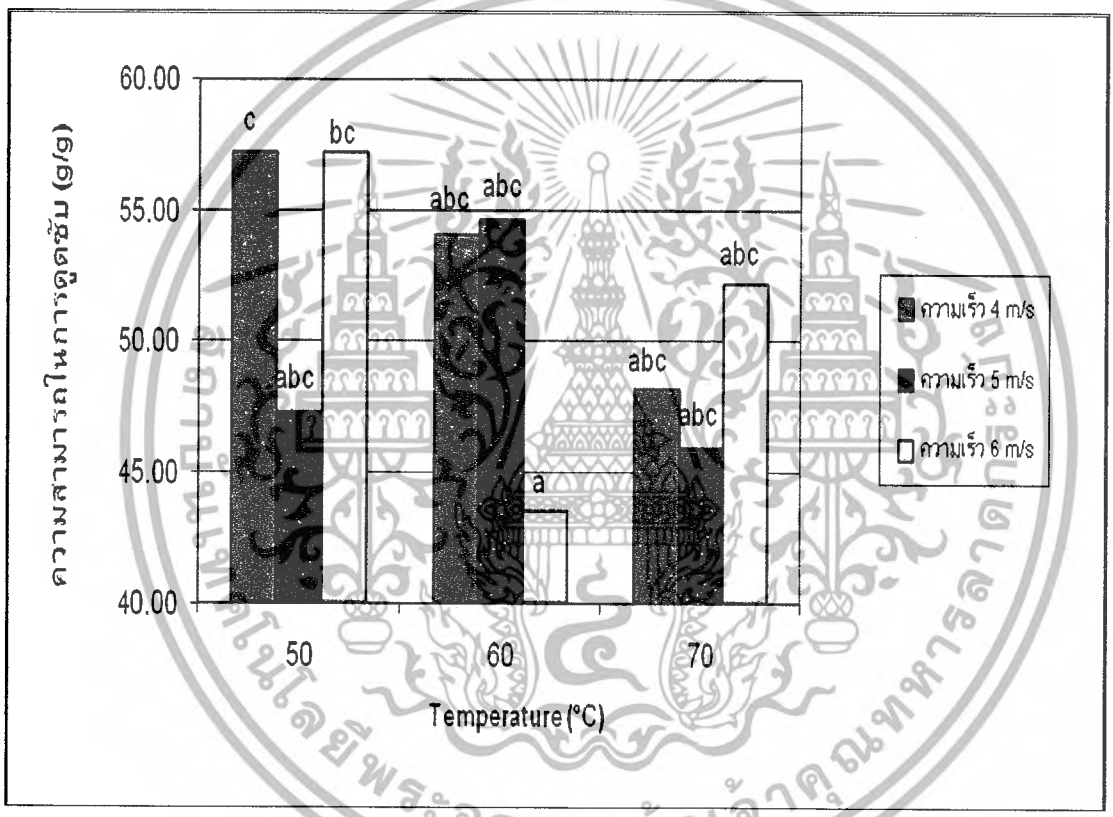
ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ที่ความเร็วลมต่าง

จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้เนื้อสำรองแห้งได้เร็วขึ้น ส่วนการเพิ่มหรือลดความเร็วลมนั้นผลที่ได้ไม่แสดงผลให้เห็นได้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความสามารถในการดูดซับ

ผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ได้มีค่าความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 43.55 - 57.22 g/g ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธีระหว่างเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้กับอุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมร้อน จากตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและความเร็วลมมีผลต่อค่าความสามารถในการดูดซับโดยผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



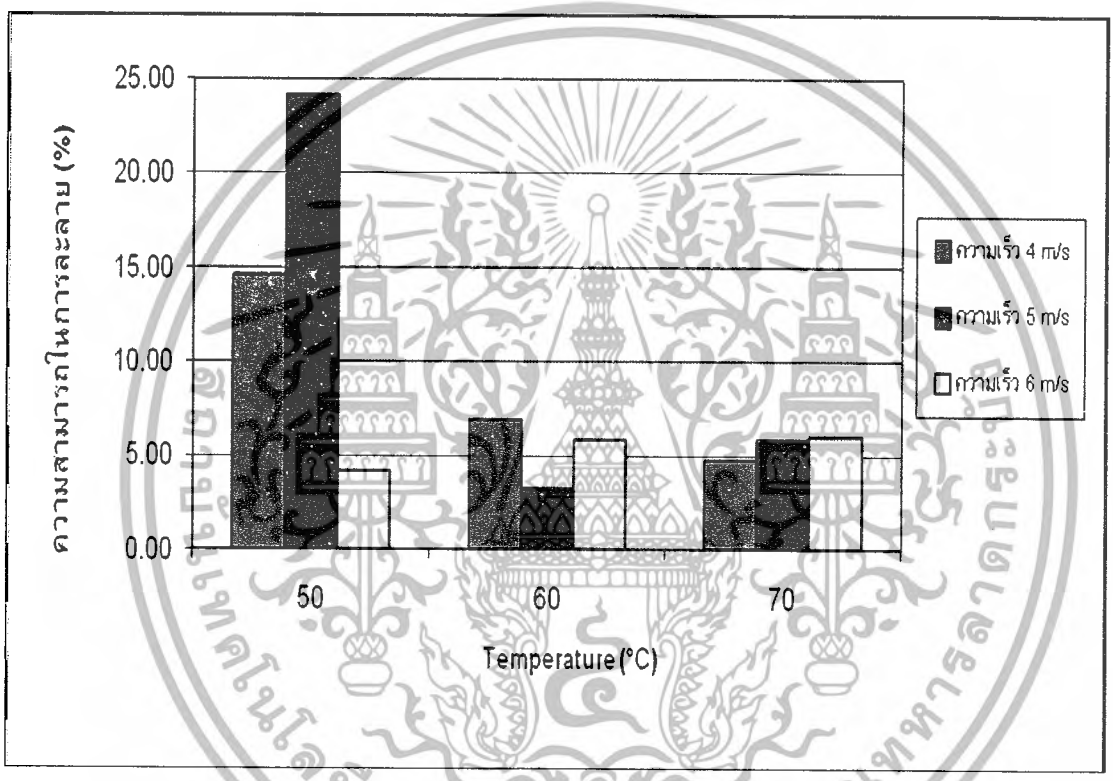
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความสามารถในการดูดซับที่ความเร็วลมต่างๆ

จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดน้อยลง โดยที่ความเร็วลม 4,6 m/s อุณหภูมิ 50 °C และที่ความเร็วลม 6 m/s อุณหภูมิ 60 °C มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนนอกเหนือจากนี้มีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนการเพิ่มหรือลดความเร็วลมนั้นผลที่ได้ไม่แสดงผลให้เห็นได้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ความสามารถในการละลาย

ผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ได้มีค่าความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 2.41 – 6.92% ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธีระหว่างเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้กับอุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมร้อน จากตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและความเร็วลมไม่มีผลต่อค่าความสามารถในการละลายโดยผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



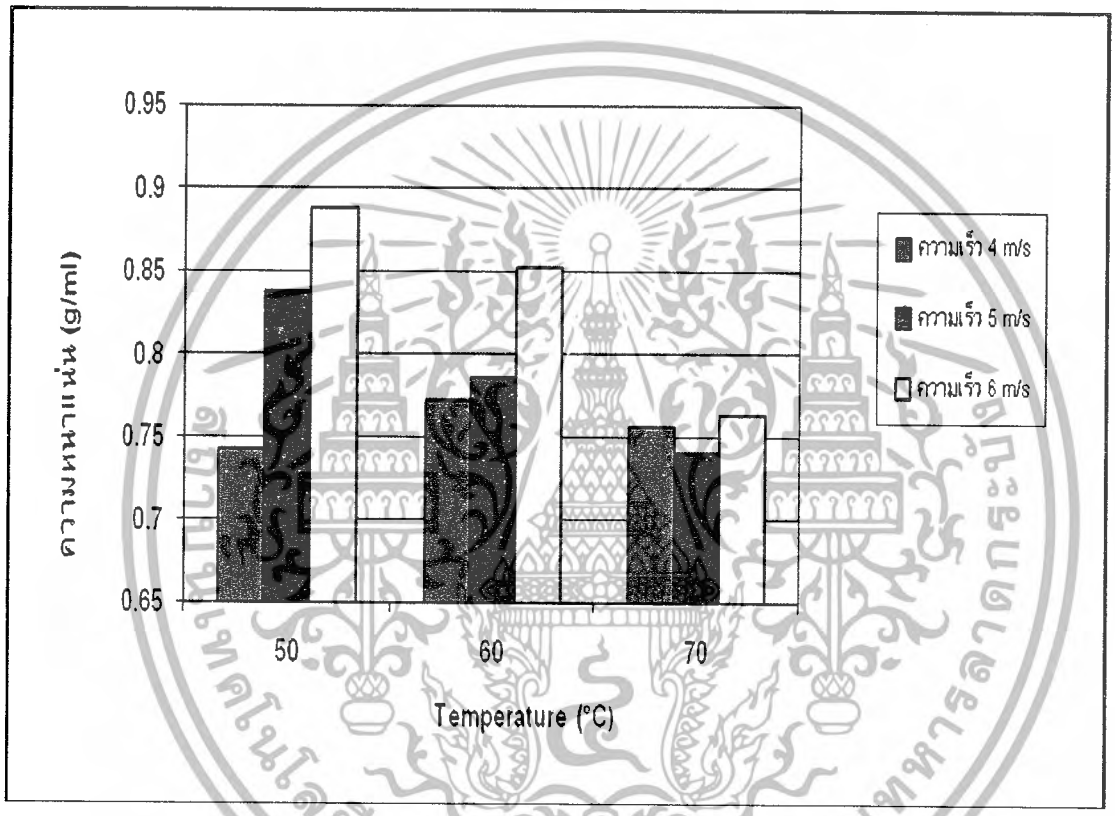
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความสามารถในการละลายที่ความเร็วลมต่างๆ

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการละลายลดลง อาจเกิดจากเมื่ออุณหภูมิสูงทำให้ผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ได้มีการเกาะตัวกันแน่นขึ้นจึงละลายได้น้อยลง ส่วนการเพิ่มหรือลดความเร็วลมนั้นผลที่ได้ไม่แสดงผลให้เห็นได้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ความหนาแน่น

ผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ได้มีค่าหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.571- 0.684 g/ml ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธี ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้กับอุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมร้อน จากตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและความเร็วลมมีผลต่อค่าความหนาแน่นโดยผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



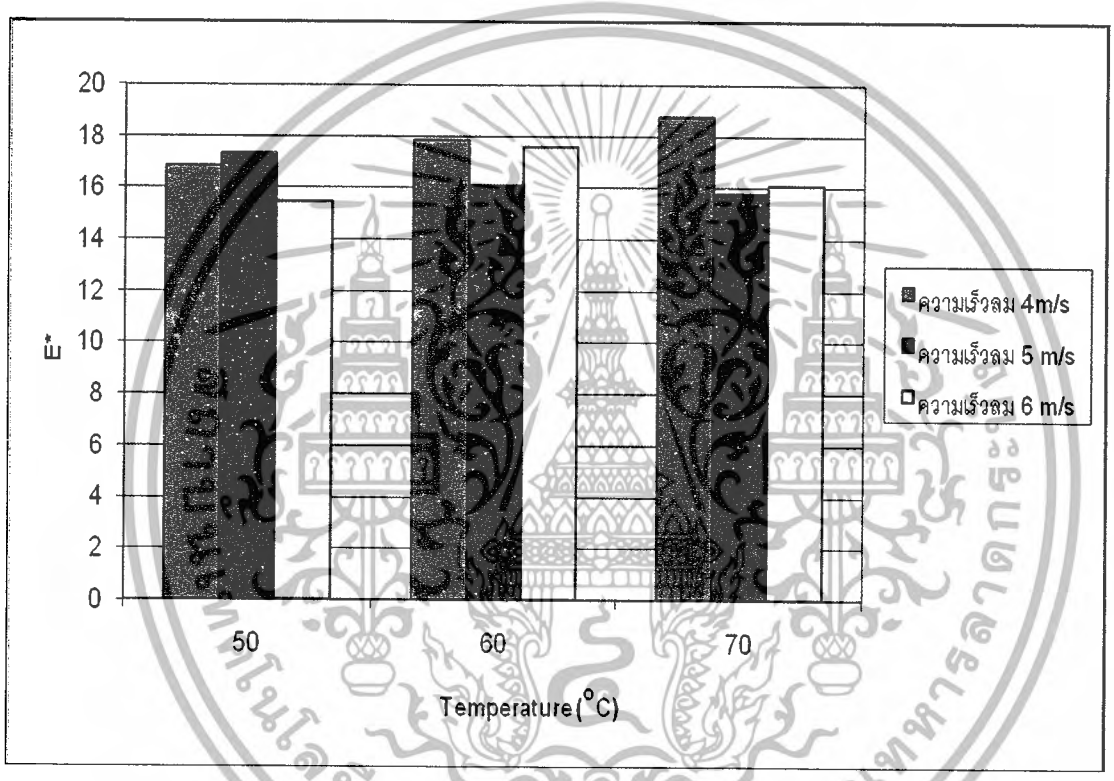
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความหนาแน่นที่ความเร็วลมต่างๆ

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงมีรูพรุนอยู่ภายในมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง ส่วนผลของความเร็วลมที่สูงขึ้นค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (E*)

ผลิตภัณฑ์สำรองผงที่ได้มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม ในช่วง 15.49569 - 18.79869 ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธีระหว่างเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้กับอุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมร้อน จากตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและความเร็วลมมีไม่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมซึ่งผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมที่ความเร็วลมต่างๆ

จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและความเร็วลมนั้นไม่ค่อยมีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากนักเนื่องจากผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรในการผลิตสำรองผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 °C และที่ความเร็วลม 4, 5, 6 m/s พบว่าอุณหภูมิและความเร็วลมมีผลต่อความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับ ส่วนอุณหภูมิและความเร็วลมไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ค่าความสามารถในการละลายและค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (E*)

- พิจารณาความหนาแน่นพบว่าอุณหภูมิและความเร็วลมมีผลต่อค่าความหนาแน่น โดยที่ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงมีรูพรุนอยู่ภายในมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง
- พิจารณาความสามารถในการดูดซับพบว่าอุณหภูมิและความเร็วลมมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยที่สภาวะอุณหภูมิ 50 °C ความเร็วลม 4 m/s มีค่าความสามารถในการดูดซับมากที่สุด และที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วลม 6 m/s มีค่าความสารถในการดูดซับน้อยที่สุด ส่วนที่สภาวะอื่นๆค่าความสามารถในการดูดซับไม่แตกต่างกัน จึงได้เลือกพิจารณาที่สภาวะที่มีค่าความสามารถในการดูดซับมาก ซึ่งในการทดลองนี้ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วลม 4,6 m/s ซึ่งค่าทั้งสองนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีแนวโน้มความสามารถในการดูดซับมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การแปรรูปสำรองผงโดยวิธีการอบแห้งแบบถาดนี้ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีคุณภาพดี เพราะฉะนั้นในการทำสำรองผงในระดับอุตสาหกรรมวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง ซึ่งควรแก่การนำมาใช้ในการแปรรูปสำรองผง
- ควรทำการทดลองซ้ำเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชเนตตี พูลพิพัฒน์, ชลิดา ไชยสมบูรณ์ และ ฐิติกุล คูหเพ็ญแสง. 2550. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของเมล็ด พริกไทยดำและเมล็ดพริกไทยดำลอกเปลือก. ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชูติรัฐ โสภาพัฒนกุล,วิภา เจียระไนวชิระ และ วิรัช แสงสุริยฤทธิ์. 2533. การออกแบบและศึกษาเครื่องอบแห้งผลิตผลเกษตรแบบถาด. ภาควิชาวิศวกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชมภู่ ยิ้มโต. 2550. การถนอมอาหาร. โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพฯ.

ญาณิกา มณีศรี, ณัฏฐ์นิรินธน์ พันธุมจินดา และ วิริยา ศนี. 2549. ผลของสภาวะการผลิตต่อการผลิตน้ำลำไยผง. ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดาริกา สิมาพัฒนพงศ์, วรินท์ศิริ สาสะเตาะห์ และ สิริวิกร ศิริโยธิพันธุ์. 2545. การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่.ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธงชัย เปาอินทร์ . 2544. ต้นไม้ยาน่ารู้. บริษัท ออฟเซ็ท เพลส จำกัด. กรุงเทพฯ.

ธีระนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์. 2537. การออกแบบเครื่องคัดแยกถั่วเหลืองฝักสด (ถั่วแระญี่ปุ่น) เพื่อการส่งออก. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

นันทวัน บุณยะประภัศร. 2543. สมุนไพร ไม้พื้นบ้าน 4. บริษัทประชาชน จำกัด. กรุงเทพฯ.

นิรนาม 1. สำรอง. http://palungjitrescuedisaster.com [20 ตุลาคม 2550]

นิรนาม 2. ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารปรับภูมิคุ้มกันจากพุงทะลาย. http://www.tistr.or.th [25 ตุลาคม 2550]

บุหลัน พิทักษ์พลและคณะ. 2538. การถนอมผลิตผลการเกษตร. บริษัทประชาชน จำกัด. กรุงเทพฯ.

พรพล รมย์นุกูล. 2545. การถนอมอาหาร. โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพ

พร้อมจิด ศรลัมพ์. 2543. สารานุกรมสมุนไพร ไทย เล่ม 1 สมุนไพรสวนคีรีรุกขชาติ.อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

พร้อมจิด ศรลัมพ์ และคณะ. 2535. สมุนไพรสวนคีรีรุกขชาติ. อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหารและการถนอมอาหาร.โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน. กรุงเทพฯ.

วงศ์สถิต ฉั่วกุล. 2540. สมุนไพรไทย มรดกไทย. อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

สุภาภรณ์ ปิดิพร. 2550. สำรอง : หมอชาวบ้าน. ปีที่ 28. ฉบับที่ 335. กรุงเทพฯ.

อรวินท์ เลาหรัชดนันท์. 2539. การถนอมและแปรรูปอาหาร. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Bruce, R., Donal, F., Theodore, H., 2004, Fundamentals of fluid mechanics, 4th Ed.; John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd. Singapore.

William, S., 1993, Introduction to fluid mechanics, 3th Ed.; John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd. Boston

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สำรองผงที่สภาวะต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%)	ความสามารถในการดูดซับ (g/g)	ความสามารถในการละลาย (%)	ความหนาแน่น (g/ml)	E*	a_w
50	4	64.30	57.24	2.71	0.568	16.25	0.379
50	4	87.51	57.19	2.10	0.575	17.45	0.240
50	5	89.89	50.58	4.58	0.665	15.60	0.396
50	5	97.61	44.04	2.58	0.625	19.17	0.218
50	6	79.74	60.90	1.26	0.658	15.85	0.393
50	6	83.84	53.48	7.02	0.709	15.25	0.320
60	4	89.43	57.24	3.52	0.606	17.69	0.265
60	4	96.08	57.19	10.32	0.583	18.03	0.171
60	5	85.07	54.20	2.72	0.617	16.78	0.287
60	5	96.35	55.15	3.80	0.594	15.52	0.282
60	6	70.39	48.30	7.00	0.646	17.15	0.414
60	6	66.38	38.81	4.72	0.666	18.12	0.278
70	4	97.36	47.39	2.88	0.574	16.88	0.259
70	4	98.48	48.91	6.62	0.591	20.75	0.253
70	5	94.75	45.61	7.58	0.572	17.71	0.259
70	5	96.60	46.26	4.00	0.568	13.97	0.181
70	6	94.28	51.97	3.28	0.565	16.03	0.256
70	6	99.00	52.42	8.64	0.611	16.23	0.281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตาราง ANOVA ของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

Source of Variation	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	Computed Fb	Turbular F 5%	Turbular F 1%
Replication	1	178.20				
treatment	8	1728.86	216.11	14.61**	2.59	3.89
Temperature(A)	2	661.79	330.89	22.37**	3.63	6.23
Velocity(B)	2	374.46	187.23	12.66**	3.63	6.23
AXB	4	692.62	173.15	11.71**	3.01	4.77
Error	16	236.68	14.79			
Total	17	2143.74				
CV%	4.36					

ตารางที่ ก.3 ตาราง ANOVA ของความสามารถในการดูดซับ

Source of Variation	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	Computed F^b	Turbular F 5%	Turbular F 1%
Replication	1	0.88				
treatment	8	333.53	41.69	7.54**	2.59	3.89
Temperature(A)	2	31.59	15.79	2.86^{ns}	3.63	6.23
Velocity(B)	2	60.41	30.20	5.46*	3.63	6.23
AXB	4	241.53	60.38	10.92**	3.01	4.77
Error	16	88.47	5.53			
Total	17	422.88				
CV%	6.17					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตาราง ANOVA ของความสามารถในการละลาย

Source of Variation	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	Computed F^b	Turbular F 5%	Turbular F 1%
Replication	1	11.31				
treatment	8	35.88	4.49	1.17^{ns}	2.59	3.89
Temperature(A)	2	16.85	8.43	2.19^{ns}	3.63	6.23
Velocity(B)	2	3.72	1.86	0.48^{ns}	3.63	6.23
AXB	4	15.31	3.83	0.99^{ns}	3.01	4.77
Error	16	61.53	3.85			
Total	17	108.72				
CV%	41.37					

ตารางที่ ก.5 ตาราง ANOVA ของความหนาแน่น

Source of Variation	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	Computed F^b	Turbular F 5%	Turbular F 1%
Replication	1	0.0001				
treatment	8	0.0268	0.0033	16.72**	2.59	3.89
Temperature(A)	2	0.0091	0.0046	22.79**	3.63	6.23
Velocity(B)	2	0.0109	0.0054	27.13**	3.63	6.23
AXB	4	0.0068	0.0017	8.49**	3.01	4.77
Error	16	0.0039	0.0002			
Total	17	0.0308				
CV%	2.565					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ตาราง ANOVA ของการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (E*)

Source of Variation	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	Computed F^b	Turbular F 5%	Turbular F 1%
Replication	1	1.15				
treatment	8	18.91	2.36	1.72^{ns}	2.59	3.89
Temperature(A)	2	1.16	0.58	0.42^{ns}	3.63	6.23
Velocity(B)	2	7.73	3.86	2.82^{ns}	3.63	6.23
AXB	4	10.03	2.51	1.83^{ns}	3.01	4.77
Error	16	21.94	1.37			
Total	17	42.00				
CV%	6.92					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

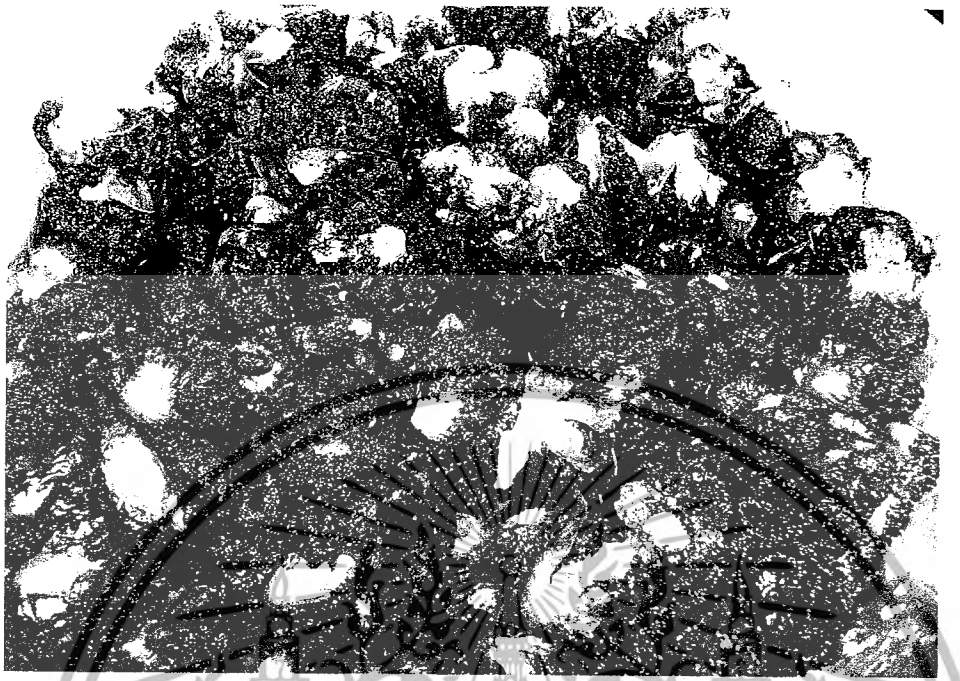
ภาคผนวก ข

รูปอุปกรณ์ วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง

ภาพที่ ข.1 ผลสำรองที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ ข.2 ผลสำรองแช่น้ำเพื่อใช้ในการทดลองทำการทดลอง

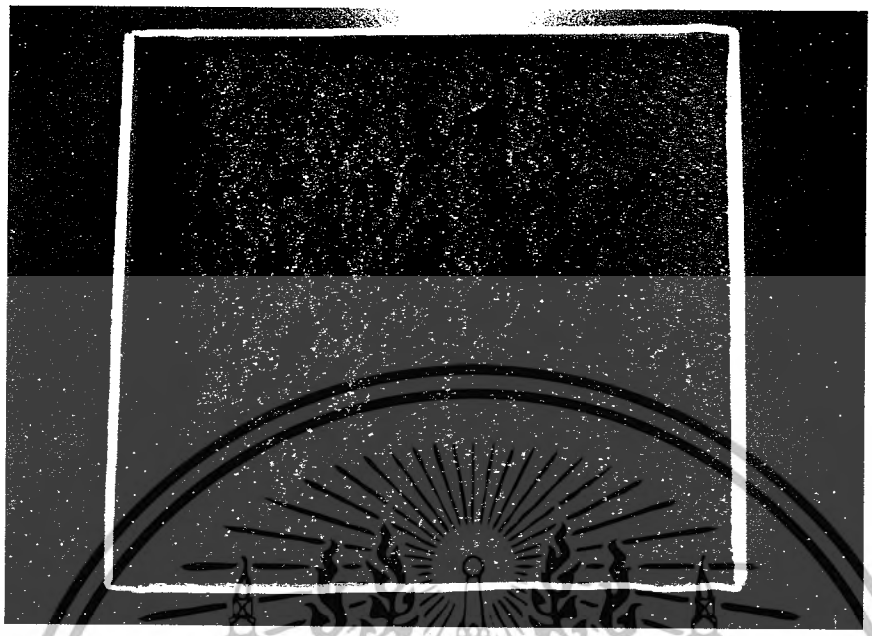
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



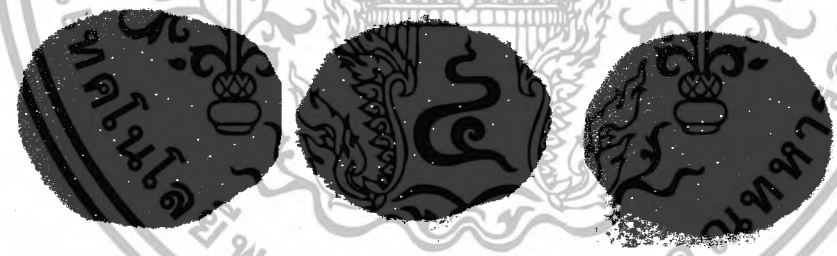
ภาพที่ ข.3 ลักษณะผลสำรองแช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ภาพที่ ข.4 ลักษณะถาดที่ใช้ในการอบแห้งสำรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.5 ลักษณะเนื้อสำรองบรรจุในถาดก่อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาด

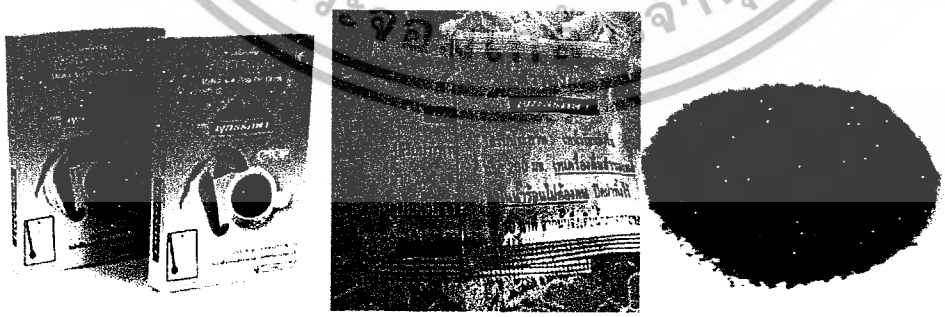


ภาพที่ ข.6 ลักษณะสำรองผงที่ได้จากทดลองที่ T = 50 °C,v = 4 m/s(ซ้าย)
T = 50°C,v = 5 (กลาง) และ T = 50°C,v = 6 m/s(ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

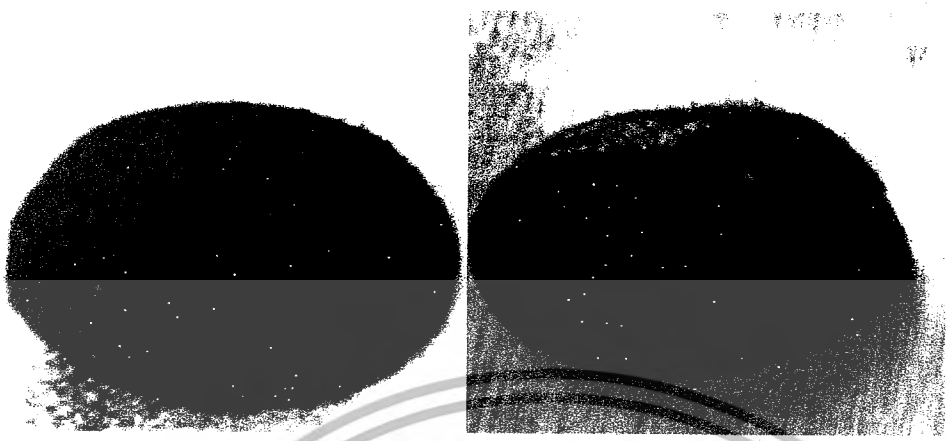
ภาพที่ ข.7 ลักษณะสำรองผงที่ได้จากทดลองที่ T = 60 °C,v = 4 m/s(ซ้าย)
T = 60°C,v = 5 (กลาง) และ T = 60°C,v = 6 m/s(ขวา)

ภาพที่ ข.8 ลักษณะสำรองผงที่ได้จากทดลองที่ T = 70 °C,v = 4 m/s(ซ้าย)
T = 70°C,v = 5 (กลาง) และ T = 70°C,v = 6 m/s(ขวา)



ภาพที่ ข.9 ตัวอย่างผงสำรองที่วางขายตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.10 ลักษณะสำรองผงที่ T = 50 °C, v = 6 m/s ก่อนละลายน้ำ(ซ้าย) และ หลังละลายน้ำ(ขวา)

ภาพที่ ข.11 ลักษณะสำรองผงที่วางขายตามท้องตลาดก่อนละลายน้ำ(ซ้าย) และ หลังละลายน้ำ(ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข.12 เปรียบเทียบสำรองผงที่ T = 50 °C, v = 6 m/s และสำรองผงที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด

ภาพที่ ข.13 เครื่องอบแห้งแบบถาดที่ใช้ในการทดลอง