การศึกษาการผลิตมะม่วงผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง
STUDY ON THE PRODUCTION OF MANGO POWDER BY USING SPRAY DRYING AND DRUM DRYING PROCESSES

จิตาภา ไทรเมือง

ณวรรณ ลิ่มพฤติชัย

ทูทธิพงศ์ อรณชัยกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาการผลิตมะม่วงผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

STUDY ON THE PRODUCTION OF MANGO POWDER BY USING SPRAY DRYING AND DRUM DRYING PROCESSES

จิดาภา ไทรเมือง

ธนวรรณ รัมพณีนิล

พุทธิพงศ์ จรณชัยกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON THE PRODUCTION OF MANGO POWDER BY USING SPRAY DRYING AND DRUM DRYING PROCESSES

MISS JIDAPA SAIMUANG

MISS TANAWAN RUMPANININ

MR.PHUTTIPHONG CHARANACHAIKUL

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการผลิตมะม่วงผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

Study on the production of mango powder by using spray drying and drum drying

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจิดาภา ไทรเมือง รหัสนักศึกษา 53010202
2. นางสาวธนวรรณ รัมพณีนิล รหัสนักศึกษา 53010651
3. นายพุทธิพงศ์ จรณชัยกุล รหัสนักศึกษา 53011178

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการผลิตมะม่วงผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

จัดทำโดย นางสาวจิดาภา ไทรเมือง

นางสาวธนวรรณ รัมพณีนิล

นายพุทธิพงศ์ จรณชัยกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร

บทคัดย่อ

การแปรรูปมะม่วงให้เป็นผลิตภัณฑ์ผงแห้ง จัดเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการสูญเสียและก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตเกษตร โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตมะม่วงผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง และศึกษาผลกระทบของค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตดังกล่าว ตัวแปรที่ศึกษาสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย อุณหภูมิลมร้อนที่ระดับ 170, 180, 190°C และปริมาณสารช่วยทำแห้ง (มอลโตเดกซ์ตริน) ที่ระดับ 50, 62.5 , 75% ส่วนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ตัวแปรที่ศึกษา ประกอบด้วย อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งที่ระดับ 120°C, 130°C, 140°C และ ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (มอลโตเดกซ์ตริน) ที่ระดับ 150, 175, 200% ผลิตภัณฑ์มะม่วงผงที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ เช่น ค่าความชื้น ค่าสี ความหนาแน่น ปริมาณผลผลิตที่ได้ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดซับความชื้น ผลการทดลองนำมาวิเคราะห์และสร้างสมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงด้วยวิธี Multiple linear regression ค่าสหสัมพันธ์ของสมการที่ได้ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ดี จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งของทั้งสองวิธีเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อย่างมาก การทำแห้งมะม่วงด้วยวิธีการแบบพ่นฝอยให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ในด้านสี และต้นทุนการผลิตที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ขณะที่คุณสมบัติด้านอื่นเช่น ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดซับความชื้น ใกล้เคียงกันทั้งสองวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : การอบแห้งแบบพ่นฝอย; การอบแห้งแบบลูกกลิ้ง; มะม่วง; มอลโตเดกซ์ตริน; เอนแคปซูเลชั่น

Project Title	Study on the production of mango powder by using spray drying and drum drying
By	MISS Jidapa Saimuang
	MISS Tanawan Rumpaninin
	MR. Phuttiphong Charanachaikul
Project Advisor	Asst.Prof. Dr Maradee Phongpipatpong
Submitted for	Bachelor's Degree in Food Engineering
	Department of Food Engineering
	Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The objective of this project was to study on the production of mango powder by using spray drying and drum drying methods. This can help reduce loss and add more value to mango. The effect of processing variables was also investigated, the variables included drying air temperature at 170°c, 180°c, 190°c and maltodextrin addition at 50%, 62.5%, 75% for spray drying. For drum drying, the studied variables were drum surface temperature at 120°c, 130°c, 140°c and addition of maltodextrin at 150%, 175%, 200% respectively. Mango powder from drying experiment was then analyzed for its characteristics, such as moisture content, color, density, product yield, solubility and hygroscopicity. Data obtained from the experimental trials was analyzed by multi linear regression technique, the relations between processing variables and product characteristics were explained in the form of 2^{nd} order polynomial equation and found to be well correlated. The most significant variable was temperature that affected the product characteristics in both spray drying and drum drying. Drying mango with spray drying method provided the better color of the product. and lower in production cost. While both drying techniques yield similar result in terms of solubility and hygroscopicity.

Keyword: Spray drying; Drum drying; Mango; Maltodextrin; Encapsulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแนวทางปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ และช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยให้คำแนะนำในการทำวิจัย วิธีดำเนินการ ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดี ตลอดจนความห่วงใย เป็นกำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สละเวลามาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ในการทำโครงงานนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงงานขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวจิดาภา ไทรเมือง
นางสาวธนวรรณ รัมพณีนิล
นายพุทธิพงศ์ จรณชัยกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
ปกใน	I
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XIII
สารบัญรูปภาพ	XIV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 มะม่วง	4
2.1.1 ประวัติ	4
2.1.2 ลักษณะทั่วไปของมะม่วง	5
2.1.3 สายพันธุ์	5
2.1.4 ประโยชน์	6
2.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับมะม่วงผง	10
2.1.6 คุณสมบัติทางเคมีของมะม่วง	12
2.1.7 การตลาด	13
2.2 การทำแห้ง (drying)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หลักการทำแห้ง (Drying Rate) 17
2.2.2 ประโยชน์ของการทำแห้ง 19
2.2.3 ประเภทของเครื่องทำแห้ง 19
2.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย 21
2.3.1 องค์ประกอบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 27
2.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะของผลิตภัณฑ์ผง 33
2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ผง 35
2.3.4 การประยุกต์การทำแห้งแบบพ่นฝอยกับวัตถุดิบบางชนิด 36
2.3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย 38
2.4 การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 39
2.4.1 องค์ประกอบของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 42
2.4.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการทำแห้งของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง 45
2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 46
2.5 กระบวนการเอนแคปซูเลชั่น 47
2.5.1 หลักของการเอนแคปซูเลชั่น 47
2.5.2 การแอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 48
2.5.3 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชั่น 50
2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลท 51
2.5.5 ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการเอนแคปซูเลชั่นด้วยวิธีการทำแห้ง 52
2.5.6 สารห่อหุ้ม 53
2.5.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น 61
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ 62
3.2 การเตรียมการทดลอง 63
3.2.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) ประกอบไปด้วย 63
3.2.2 ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Drum dryer) ประกอบไปด้วย 65

3.2.4 ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ 66

3.3. แผนการทดลอง 67

3.3.1 การออกแบบแผนการทดลองของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 67

3.3.2 การออกแบบแผนการทดลองของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ 69

3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 70

3.4 วิธีการทดลอง 71

3.4.1 การเตรียมสาร 71

3.4.2 การทำแห้ง 72

3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของมะม่วงผงที่ได้จาก spray dryer และ drum dryer 73

3.5.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%yield) 73

3.5.2 ความชื้น (%moisture content) 73

3.5.3 การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) 74

3.5.4 การกระจายตัว(Dispersibility) 74

3.5.5 ความสามารถในการละลาย (Solubility) 75

3.5.6 วัดค่าสี (color analysis) 75

3.5.7 ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) 76

3.5.8 pH 76

3.5.9 water activity 76

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 77

4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 79

4.2.1 ความชื้น (Moisture Content) 82

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้นอีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) 83

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น (Bulk density) 84

4.2.4 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) 85

4.2.5 การดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) 86

4.2.6 การละลาย (Solubility) 87

4.2.7 การกระจายตัว (dispersibility) 88

4.2.8 ความเป็นกรด – ด่าง (pH) 89

4.2.9 ความเป็นสีเหลือง (b*) 90

4.2.10 ความสว่าง (L*) 91

4.2.11 ความเป็นสีแดง (a*) 92

4.2.12 ค่าสี (ΔE) 93

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 94

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Content) 97

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield recovery) 98

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น (Bulk density) 99

4.3.4 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity) 100

4.3.5 การวิเคราะห์ค่าการดูดความชื้นกลับ(Hygroscopicity) 101

4.2.6 การละลาย (Solubility) 102

4.3.7 การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัว (dispersibility) 103

4.3.8 การวิเคราะห์ค่าพีเอช(pH) 104

4.3.9 การวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 105

4.3.10 การวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*) 106

4.3.11 ความเป็นสีแดง (a*) 107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.12 ค่าสี (ΔE) 108

4.4 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งมะม่วงผง 109

4.4.1 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการทำแห้งแบบพ่นฝอย 109

4.4.2 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 110

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 111

5.2 สรุปผลการทดลองการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 111

5.3 ปัญหาที่พบ 112

5.4 ข้อเสนอแนะ 113

5.5 สรุปผลสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งมะม่วงผง 113

เอกสารอ้างอิง 114

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์มะม่วงผงจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 118

ภาคผนวก ข. ANOVA Table : spray drying 124

ภาคผนวก ค.ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์มะม่วงผงจากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 135

ภาคผนวก ง. ANOVA Table : drum drying 142

ภาคผนวก จ. ภาพอุปกรณ์ วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ผง 153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

เนื้อหา **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะม่วง 9

ตารางที่ 2.2 สีของผล Total soluble solid ตามระยะเวลาความสุกของมะม่วง 12

ตารางที่ 2.3 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชั่น 51

ตารางที่ 2.4 สรุปการทดลองที่ทำการเอนแคปซูเลชั่นจากสารให้กลิ่นรสที่ต่างกันที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 52

ตารางที่ 2.5 สารห่อหุ้มและวิธีการที่นิยมใช้ในเทคนิคเอนแคปซูเลชัน 57

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท 58

ตารางที่ 2.7 สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงพันธุ์ไทย 6 ชนิด 60

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการดำเนินการทำแห้งแบบพ่นฝอย 64

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขในการดำเนินการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ 66

ตารางที่ 4.1คุณสมบัติเริ่มต้นน้ำมะม่วงก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 78

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำมะม่วงก่อนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 78

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์มะม่วงผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 79

ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์ของสมการของคุณสมบัติต่างๆเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกำลังสอง 81

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์มะม่วงผงด้วยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะต่างๆ 94

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์โดยใช้ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกำลังสอง 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

เนื้อหา	หน้า
รูปที่ 2.1 มะม่วง	5
รูปที่ 2.2 มะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย	6
รูปที่ 2.3 ต้นมะม่วง	8
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากมะม่วง	9
รูปที่ 2.5 แหล่งเพาะปลูกมะม่วงในไทย	13
รูปที่ 2.6 แผนผังการส่งออกมะม่วงของไทย	14
รูปที่ 2.7 ราคามะม่วงตลอดระยะเวลาหนึ่งปี (2555-2556)	15
รูปที่ 2.8 ปริมาณการส่งออกมะม่วงเฉลี่ย (2551-2554)	16
รูปที่ 2.9 ปริมาณการผลิตมะม่วง (2536-2553)	16
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในผลิตภัณฑ์เมื่อเวลาผ่านไปและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์	17
รูปที่ 2.11 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนของละอองฝอยขณะดำเนินการทำแห้ง	22
รูปที่ 2.12 ห้องอบแห้งลักษณะต่างๆ	28
รูปที่ 2.13 แรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นในไซโคลน	29
รูปที่ 2.14 องค์ประกอบในการทำแห้งแบบพ่นฝอย	33
รูปที่ 2.15 โครงสร้างในระดับไมโครของผลิตภัณฑ์ผงจากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งและเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	34
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาแบบกลุ่มก้อนของผลิตภัณฑ์ (ซ้าย) นมพร่องมันเนยและ (ขวา) นมไขมันเต็ม	35
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะการหมุนของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	41
รูปที่ 2.18 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในการอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	41

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 การเกิด wall material 48

รูปที่ 2.20 กลไกการหุ้มสารให้กลิ่นรส 49

รูปที่ 2.21 การเอนแคปซูเลทด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 49

รูปที่ 2.22 การเอนแคปซูเลทแบบ single core 50

รูปที่ 2.23 การเอนแคปซูเลทแบบ multi core 50

รูปที่ 2.24 การเอนแคปซูเลทแบบ matrix core 50

รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งและความชื้นของสารเคลือบ 4 ชนิด 53

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำแห้ง 63

รูปที่ 3.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 63

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองผลิตมะม่วงผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย 65

รูปที่ 3.5 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ 66

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทดลองผลิตมะม่วงผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ 67

รูป 4.1 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของมะม่วง 77

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง 82

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 83

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความหนาแน่น 84

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ปริมาณน้ำอิสระ 85

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความสามารถ 86
ในการดูดความชื้นกลับ

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การละลาย 87

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การกระจายตัว 88

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความเป็นกรด – ด่าง 89

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าสีเหลือง 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าความสว่าง 91

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าความเป็นสีแดง 92

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การเปลี่ยนแปลงสี 93

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง 97

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 98

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความหนาแน่น 99

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 100

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความสามารถในการดูด ความชื้นกลับ 101

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การละลาย 102

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การกระจายตัว 103

รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความเป็นกรด – ด่าง 104

รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าสีเหลือง 105

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าความสว่าง 106

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าความเป็นสีแดง 107

รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การเปลี่ยนแปลงค่าสี 108

รูปที่ 4.25 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งมะม่วงผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 109

รูปที่ 4.26 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งมะม่วงผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มะม่วงเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทยโดยในช่วงปี 2555 มีพื้นที่ในการผลิตเท่ากับ 1.94 ล้านไร่ มียอดการส่งออกคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 74,000 ตัน สายพันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เขียวเสวย แรด มันเดือนเก้า น้ำดอกไม้สีทอง เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556) มะม่วงเป็นผลไม้ที่สามารถปลูกได้ในเขตร้อนและเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมมากโดยเฉพาะในประเทศไทย มะม่วงประกอบไปด้วยสารสำคัญที่ให้ประโยชน์กับร่างกายมนุษย์ ได้แก่ วิตามินซี วิตามินเอ ฟอสโฟรัสและเบต้าแคโรทีน ผลมะม่วงนอกจากรับประทานสดยังสามารถดัดแปลงไปทำผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย แต่อย่างไรก็ตามมะม่วงเป็นผลไม้ที่ขึ้นกับฤดูกาล ผลผลิตมะม่วงมีมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมของทุกปี ส่งผลให้ในบางปีผลผลิตมะม่วงมีปริมาณมากล้นตลาดและราคาถูก ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจคิดเป็นมูลค่าสูง จึงควรมีการศึกษาการเก็บรักษาหรือนำมะม่วงไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอนาคตมะม่วงไทยมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้น และมีนโยบายการส่งออกไปยังประเทศต่างๆทั่วโลกเพิ่มมากขึ้น แต่การส่งออกผลไม้ไทยรวมถึงมะม่วง มักมีปัญหาอายุการเก็บสั้น มะม่วงสามารถอยู่ในการขนส่งได้ไม่เกิน 20 วัน การแปรรูปมะม่วงให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ถือเป็นทางเลือกที่สำคัญเพื่อช่วยลดการสูญเสียของมะม่วง

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นพันธุ์ที่มีนิยมปลูกกันมาก ต้นมะม่วงน้ำดอกไม้มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ผลมีขนาดใหญ่ เมล็ดเล็ก เนื้อละเอียดมีเสี้ยนน้อยรสหวาน มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์และเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ การรับประทนส่วนใหญ่จะทานสุก มะม่วงน้ำดอกไม้มีเปลือกบางจึงช้ำได้ง่าย และไม่ค่อยต้านทานต่อโรคแอนแทรกโนส ทำให้เน่าเสียในระหว่างการขนส่ง นอกจากนี้ปริมาณการผลิตที่มากกว่าความต้องการจึงทำให้มีมะม่วงที่ล้นตลาดและเหลือทิ้ง จึงควรมีการเก็บรักษาหรือถนอมอาหารโดยการนำมะม่วงไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บและเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่มะม่วง การทำมะม่วงผงจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษา การขนส่ง และเพิ่มมูลค่าของมะม่วง

มะม่วงมีวิตามินซีอยู่สูง มากกว่ามะนาวถึง 3 เท่า และยังมีคุณสมบัติช่วยกำจัดเซลที่ตายแล้ว จึงช่วยทำให้ผิวหน้าสดใส เสริมสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรง ป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะปัญหาโรคเลือดออกตามไรฟัน และโรคหวัด และอุดมไปด้วยแคลเซียมและฟอสฟอรัส ช่วยบำรุงกระดูกและฟัน วิตามินเอ ที่มีในมะม่วงสุกช่วยบำรุงสายตา สารเบต้าแคโรทีนเป็นสารแอนติออกซิแดนต์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.thaipost.net) การแปรรูปมะม่วงให้อยู่ในสภาพผงช่วยลดการสูญเสีย รักษาคุณค่าทางโภชนาการ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เช่น ใช้เป็นเครื่องดื่มผงชงละลายได้ง่าย หรือใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารให้มีคุณค่าโภชนาการ สี กลิ่น รส ที่ดีขึ้น การแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นลักษณะผงแห้งสามารถทำได้ด้วยกรรมวิธีการทำแห้ง เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม การแปรรูปเพื่อให้ได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติที่ดีตรงตามความต้องการนั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสามารถควบคุมการผลิตให้ได้ผลดี

ดังนั้นในโครงงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการแปรรูปผลผลิตมะม่วงให้มีสภาพเป็นผงแห้ง โดยเน้นศึกษาวิธีการทำแห้ง 2 วิธี คือ 1) วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ 2) วิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ทำการวางแผนการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการทำแห้งในแต่ละวิธี และศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้ ตัวแปรที่ศึกษา ประกอบด้วย อุณหภูมิการทำแห้ง และปริมาณสารช่วยทำแห้ง ส่วนคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษาประกอบด้วย ค่าความชื้น ค่าสี ความหนาแน่น ปริมาณผลผลิตที่ได้ ความสามารถในการละลาย ความความสามารถในการดูดซับความชื้น คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส เป็นต้น การทำแห้ง คือ กระบวนการในการดึงน้ำออกจากจากผลิตภัณฑ์ โดยการทำให้น้ำระเหยเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง การทำแห้งมีกรรมวิธีในการทำแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่นิยมคือการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ทั้งนี้การจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ของการทำแห้ง รายงานฉบับนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการทำมะม่วงผงด้วยการกำหนดตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำแห้ง พร้อมทั้งศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของมะม่วงผงที่ได้จากการทำแห้งทั้งสองกรรมวิธี

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาวิธีการผลิตมะม่วงผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง
- เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทำแห้งมะม่วง เช่น อุณหภูมิของการทำแห้งและปริมาณสารช่วยทำแห้ง
- เพื่อศึกษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผงที่ได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

- วัตถุดิบที่ใช้ คือ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 จากตลาดสี่มุมเมือง จ.กรุงเทพมหานคร
- ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณสารช่วยทำแห้ง อุณหภูมิลมร้อน และ อุณหภูมิพื้นผิวลูกกลิ้ง
- คุณสมบัติของมะม่วงน้ำดอกไม้ผงที่ศึกษาประกอบด้วยวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมะม่วงหรือมะม่วงผงวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ (yield) ปริมาณความชื้นของมะม่วงผง ปริมาณน้ำอิสระ ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นโดยรวม คุณสมบัติการดูดซับความชื้น ความสามารถในการกระจายตัว ความสามารถในการละลาย และค่าสี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เข้าใจกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง
- ทราบผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อเครื่องทำแห้งแบพ่นฝอยและเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง
- ได้แนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปมะม่วงผง ที่มีคุณลักษณะตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 มะม่วง (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556)

มะม่วงเป็นไม้ยืนต้นในตระกูล Mangifera ซึ่งเป็นไม้ผลเมืองร้อนในวงศ์ Anacardiaceae ชื่อวิทยาศาสตร์ : Mangifera indica เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในอินเดีย เพราะการที่ภูมิภาคนั้นมีความหลากหลายทางพันธุกรรมและร่องรอยฟอสซิลที่หลากหลาย นับย้อนไปได้ถึง 25-30 ล้านปีก่อน มะม่วงมีความแตกต่างประมาณ 49 สายพันธุ์กระจายอยู่ตามประเทศในเขตร้อน

มะม่วงเป็นผลไม้ที่คนไทยนิยมปลูกกันมากและประเทศไทยมีภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศเหมาะสำหรับปลูกมะม่วงเป็นอย่างมาก ผลมะม่วงจะมีมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมซึ่งในระยะนี้มะม่วงบางชนิดราคาถูกและมีปริมาณมาก ทำให้มะม่วงล้นตลาด จึงควรมีการเก็บรักษาหรือถนอมอาหาร โดยการนำมะม่วงไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มแก่มะม่วง

2.1.1 ประวัติ

มะม่วงเป็นไม้ผลที่เก่าแก่และมีความสำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง ในบรรดาพรรณไม้เขตร้อนเชื่อว่าเป็นผลไม้ที่รู้จักกันในอินเดียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นานกว่า 4,000 ปีมาแล้ว มีบันทึกในประวัติศาสตร์ว่า ระหว่างที่พระเจ้าอเล็กซานเดอร์ มหาราชบุกเข้าอินเดีย ก็ได้เห็นสวนมะม่วงแล้วในหุบเขาอินดุส (Indus valley) ประมาณ 327 ปี ก่อนคริสตกาล มีการค้นพบหลักฐานทางโบราณคดีเกี่ยวกับมะม่วงอยู่เสมอ หลักฐานสำคัญชิ้นหนึ่งได้แก่ รูปแกะสลักบนสถูปแห่งภารหัทซึ่งสร้างประมาณ 110 ปี ก่อนคริสตกาล และเชื่อว่ามีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แล้วแพร่หลายไปยังประเทศในเขตแถบร้อนและอบอุ่นของโลกมะม่วงที่ผลิตได้ในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ด้วยกัน พันธุ์ที่ดีสามารถที่จะส่งขายต่างประเทศในลักษณะมะม่วงสด มะม่วงดิบและมะม่วงสุก ในระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม เป็นเดือนที่มีมะม่วงมากที่สุด ซึ่งในระยะนี้ราคามะม่วงบางชนิดจะถูกและมีปริมาณมาก จึงควรมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะม่วงในระยะนี้ เพื่อเป็นการถนอมอาหารและยังสามารถส่งเป็นสินค้าออกไปจำหน่ายต่างประเทศได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 มะม่วง

(http://www.arisuproducts.com)

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของมะม่วง

มะม่วงเป็นไม้ผลขนาดใหญ่ ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย ปลูกได้ในดินทั่วไปยกเว้นดินเค็มและดินที่มีน้ำขัง ถ้าปลูกในดินร่วนซุยมีอินทรียวัตถุมาก และมีการระบายน้ำดีก็จะยิ่งให้ผลผลิตดี นอกจากนี้มะม่วงยังมีความต้านทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี จะเริ่มให้ผลหลังจากการปลูกด้วยกิ่งทาบประมาณ 3 ปี สามารถให้ผลผลิตมากกว่า 15 ปี และผลผลิตจะสูงขึ้นเฉลี่ยปีที่ 8 ประมาณ 50 – 100 กก./ต้น โดยเฉลี่ยอายุจากดอกบาน เก็บผลแก่อยู่ระหว่าง 90 – 115 วันน้ำหนักผลมะม่วงเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 260 กรัม

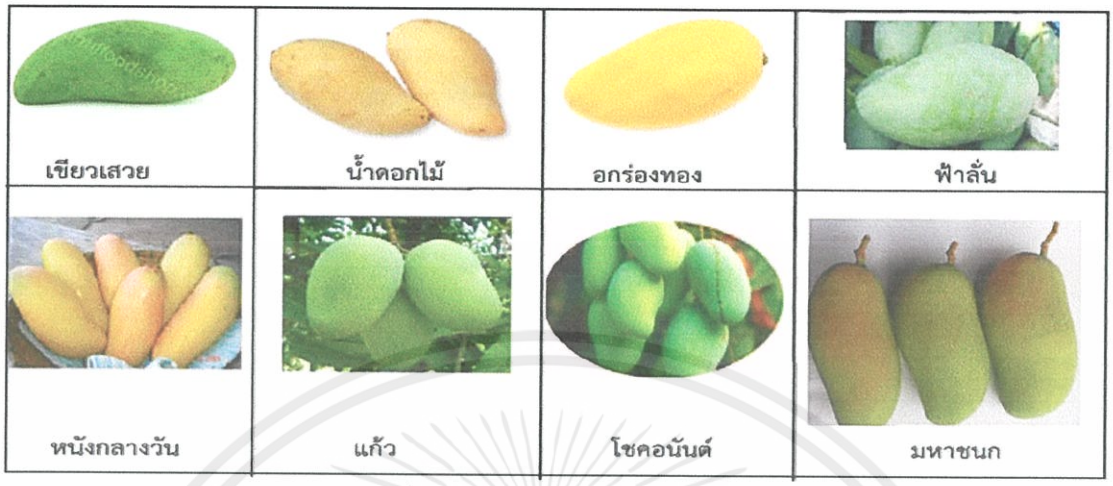
2.1.3 สายพันธุ์

มะม่วงมีพันธุ์มากมายดังที่ปรากฏในหนังสือพรรณพฤกษาของพระยาศรีสุนทรโวหาร (น้อย อาจารยางกูร) ที่กล่าวถึงมะม่วงในสมัยรัชกาลที่ 5 ไว้กว่า 50 พันธุ์ โดยสายพันธุ์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่าง เช่น

1. เขียวเสวย เป็นพันธุ์พื้นเมืองของนครปฐม ผลยาว ด้านหลังผลโค้งนูนออก ปลายแหลม ผิวเรียบ สีเขียวเข้ม เปลือกหนา เหนียว ผลแก่รสมัน
2. น้ำดอกไม้ เป็นพันธุ์ที่กินผลสุก รูปร่างยาวเรียว ผลดิบเนื้อขาว รสเปรี้ยวจัด ผลสุกสีเหลืองนวล รสหวาน
3. อกร่องทอง เป็นพันธุ์เก่าแก่ นิยมรับประทานกับข้าวเหนียวมูน ผลค่อนข้างเล็ก มีร่องเป็นแนวยาวที่ด้านท้อง ผลสุก เนื้อละเอียด มีเสี้ยนน้อย
4. ฟ้าลั่น ผลกลม ท้ายแหลม ลูกขนาดกลาง นิยมรับประทานผลแก่ มีรสมัน เมื่อปอกเปลือก เนื้อมะม่วงจะปริแตก
5. หนังกลางวัน เป็นสายพันธุ์เก่าแก่ ผลยาวคล้ายงาช้าง แก่จัดรสมันอมเปรี้ยว สุกรสหวานและมีกลิ่นหอม ติดผลดก ปีละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แก้ว นิยมกินดิบ ผลอ้วนป้อม เปลือกเหนียว เมื่อเกือบสุกเปลือกจะมีสีอมส้มหรืออมแดง ให้ผลผลิตสูง พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย



รูปที่ 2.2 มะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย
(https://lh6.ggpht.com)

7. โชคอนันต์ รูปร่างยาว ปลายมน กลายพันธุ์มาจากมะม่วงป่า นิยมนำไปทำมะม่วงดอง เพราะเนื้อแน่น และเปลือกหนาง่ายต่อการขนส่ง
8. มหาชนก เป็นลูกผสมของมะม่วงพันธุ์หนังกลางวันกับพันธุ์ซันเซ็ตจากอินเดีย ผลยาวรี สุกสีเหลืองเข้ม มีริ้วสีแดง เนื้อไม่เละ กลิ่นหอม จะสุกในช่วงที่มะม่วงพันธุ์อื่นวายแล้ว

2.1.4 ประโยชน์

มะม่วงเป็นพืชที่ให้ประโยชน์แก่มนุษย์เป็นอเนกประการ ผลมะม่วงนอกจากรับประทานสดอย่าง ผลไม้ธรรมดา ซึ่งใช้รับประทานทั้งดิบ ห่าม และสุกแล้ว ยังดัดแปลงทำผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่างตั้งแต่ระยะมะม่วงอ่อน แก่ จนกระทั่ง ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตมะม่วงได้ปีละมาก ๆ ในระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม เป็นเดือนที่มีมะม่วงมากที่สุด ซึ่งราคามะม่วงในระยะนี้จะถูก จึงควรมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะม่วงในระยะนี้ เพื่อเป็นการถนอมอาหารและยังสามารถส่งเป็นสินค้าออกไปจำหน่ายต่างประเทศได้ด้วย ผลิตภัณฑ์มะม่วงที่ผลิตขึ้นภายในประเทศ ได้แก่ มะม่วงดอง มะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงแผ่น มะม่วงกวนแบบเส้น มะม่วงกระป๋อง และน้ำมะม่วงสุก เป็นต้น ซึ่งมะม่วงกระป๋องและน้ำมะม่วงสุกเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งควรได้รับการสนับสนุนให้ทำเป็นอุตสาหกรรม และส่งตลาดต่างประเทศ ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้ กำลังเป็นที่แพร่หลายมากในตลาดต่างประเทศ

นอกจากนั้นผลมะม่วงยังให้ประโยชน์ทางการค้า ยิ่งผลครั้งแรกออกก่อนที่อื่นหรือทวายออกนอกฤดูก็ยิ่งได้ราคาแพง นอกจากผลแล้วไม้มะม่วงยังใช้ประโยชน์สำหรับสร้างบ้านเรือนและทำเครื่องใช้หลายประเภท ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่อนใช้ปรุงอาหาร ประโยชน์ที่สำคัญที่สุดคือผลมะม่วงใช้รับประทานในรูปมะม่วงสด ถือกันว่ามะม่วงเป็นผลไม้ที่มีรสอร่อยมากชนิดหนึ่งในบรรดาผลไม้เขตร้อน ในบ้านเราประชาชนนิยมรับประทานผลมะม่วงเกือบทุกระยะของการเจริญเติบโต ตั้งแต่ระยะขบเผาะทำน้ำพริกมะม่วงจิ้มน้ำปลาหวาน โดยเฉพาะมะม่วงซึ่งมีอยู่มากพันธุ์นิยมรับประทานโดยจิ้มเกลือและน้ำตาล อาจผสมพริกป่นลงไปด้วยเพื่อออกรสยิ่งขึ้น

- ส่วนประกอบและประโยชน์ของส่วนต่าง ๆ ของมะม่วง มีดังนี้

❖ ใบ (LEAF)

ใบอ่อนมะม่วงใช้ปรุงอาหารได้และเป็นแหล่งไวตามินซีที่ดีอันดับหนึ่ง จากการวิเคราะห์ใบอ่อนมะม่วงมีส่วนประกอบดังนี้คือ ความชื้น 78.2% โปรตีน 3.0% ไขมัน 0.4% คาร์โบไฮเดรตรวม 16.5% เส้นใย 1.6% และเถ้า 1.9% แคลเซียม 29 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส72 มิลลิกรัมและเหล็ก 6.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม คาโรทีน (ในรูปไวตามินเอ) 1,490 ไอ.ยูไธอามิน 0.04 มิลลิกรัม ไรโบฟลาวิน 0.06 มิลลิกรัม ไนอะซีน 2.2 มิลลิกรัม และกรดแอสคอร์บิก 53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในมะม่วงที่โตเต็มที่อาจใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ในยามขาดแคลนอาหารได้ใบมะม่วงเมื่อขยี้ดมดูจะได้กลิ่นชี้ใต้และสกัดน้ำมันระเหยได้ 0.1% เถ้าที่ได้จากการเผาใบมะม่วง ใช้รักษาแผลอันอาจเกิดจากไฟลวก แผลพุพอง ควันที่เกิดจากการเผาใบใช้สูดแก้โรคสะอึกและอาการเจ็บคอ

❖ ไม้มะม่วง (MANGO WOOD)

ไม้มะม่วงมีความถ่วงจำเพาะ 0.59 น้ำหนัก 38.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต เนื้อไม้มีสีน้ำตาลอมเขียว มีความแข็งแรงปานกลาง เนื้อแข็งและหยาบ ไม่ค่อยทน ถ้าใช้นอกร่ม แต่ถ้าอยู่ในน้ำทนดีทีเดียว ไม้มะม่วงสามารถเลื่อยและตกแต่งได้ไม่ยาก ความเหมาะสมเป็นไม้ใช้งานเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับไม้สักดังนี้ น้ำหนัก 95 ความแข็งแรงเมื่อใช้ทำเป็นคาน 75 ความแข็งเมื่อใช้ทำเป็นคาน 80 ความเหมาะสมสำหรับทำเสา 75 ความสามารถด้านแรงสะเทือน 100 ความคงรูป 95 การตัด 105 และความหนาแน่น (HARDNESS) 90 ไม้มะม่วงใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องเฟอร์นิเจอร์ พื้นเพดาน กรอบหน้าต่าง กล่องบรรจุ กล่องไม้ขีด ทำเรือ ทำไม้อัด เมื่อแช่น้ำยารักษาไม้สามารถใช้ทำคานเสารับหลังคาบานประตู หน้าต่าง และโต๊ะ แทนไม้สักได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ถ่านทำจากไม้มะม่วงให้ค่าความร้อนสูง

❖ เม็ดใน (KERNEL)

เม็ดในมะม่วงมีรสฝาด ประกอบด้วยโปรตีน 95 % ไขมัน 10.7 % แป้ง 72.8 %น้ำตาล 1.07 % แทนนิน 0.11 % และขี้เถ้า 3.66 % มีซิลิกา 0.41 % เหล็ก 0.35 % แคลเซียม0.25 % แมกนีเซียม 0.34 % กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนเม็ดใน ได้แก่ ซีนทีน,กรดแอสปาร์ติด,กรดกลูตามิค,ไกลซีน,ธรีโอนีน,อะลานีน,ไทโรซิน,ฮิสติดีน,อาร์จินีน,ไลซีน,โพรทน,วาลีน,เมธิโอนีน,ลูซินส์และฟีนิคอะลานีนจากการสกัดเม็ดในมะม่วงด้วยตัวทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายให้ไขมันแข็งที่รับประทานได้ 0.12 %มีลักษณะคล้าย ๆ เนยจากโกโก้ ไขมันนี้มีสีขาวอมเทาและมีกลิ่นไม่แรงเม็ดในมะม่วงอาจใช้เป็นอาหารในยามขาดแคลน เช่น ใช้เผาหรือต้มรับประทานและนำมาทำเป็นแป้ง หลังจากแช่น้ำและกำจัดรสฝาดออก แป้งจากเม็ดในมะม่วงเก็บไว้ไม่นานเมื่อทำเสร็จแล้วต้องนำไปใช้ทันที เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ได้จากข้าวและแป้งจากเม็ดในมะม่วงมีไขมันและแคลเซียมมากกว่า

❖ ช่อดอก

ช่อดอกที่ทำให้แห้งด้วยลม มีแทนนิน (ในรูปกรดแกลโลแทนนิค) 15% น้ำคั้นจากช่อดอกสามารถจะสกัดได้กรดแกลลิค 9% ดอกมะม่วงมีกลิ่นหอมจากการกลั่นด้วยไอน้ำจะให้น้ำมันหอมระเหยสีน้ำตาลอ่อน 0.04% ดอกมะม่วงตากแห้งมีรสฝาด ใช้รักษาโรคท้องร่วง โรคบิดเรื้อรัง

❖ เปลือก (PEEL)

เปลือกจากลำต้นและกิ่ง มีแทนนิน 16 – 20 % และอาจใช้ประโยชน์สำหรับฟอกหนังมีสารลักษณะคล้ายยางสน เปลือกมะม่วงมีสารที่ให้สี ซึ่งใช้ย้อมผ้าฝ้าย ไหม และขนสัตว์ เปลือกมีรสฝาดใช้รักษาโรคคอตีบและโรคปวดในข้อ

❖ ผล

มะม่วงที่อุดมไปด้วยแคลเซียมและฟอสฟอรัส จะช่วยบำรุงกระดูกและฟันไม้เปราะหักง่าย วิตามินซี ที่มีอยู่ในปริมาณมากก็จะช่วงเสริมสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรง ป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะปัญหาโรคเลือดออกตามไรฟัน และโรคหวัด อีกทั้งมีส่วนช่วยบำรุงผิวพรรณให้เปล่งปลั่งสดใส ช่วยทำให้ผ่อนคลาย และหลับสบายยิ่งขึ้น วิตามินเอ ที่มีในมะม่วงสุก มีคุณสมบัติโดดเด่นช่วงบำรุงสายตา ส่วนสารเบต้าแคโรทีนหรือสารตั้งต้นของ และยังมีสถานะเป็นสารแอนติออกซิแดนต์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งด้วย

รูปที่ 2.3 ต้นมะม่วง

(: http://www.moreostrova.ru)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะม่วง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

ลำดับที่	ลักษณะความแก่อ่อน	ผลิตภัณฑ์
1	**มะม่วงดิบ**	(1) มะม่วงดองเค็ม (2) มะม่วงดองเปรี้ยว (3) มะม่วงแช่อิ่มจากมะม่วงดองเค็ม (4) มะม่วงเค็มจากมะม่วงดองเค็ม (5) มะม่วงแช่อิ่ม (6) น้ำมะม่วงดิบ (7) มะม่วงดิบผง (8) ซอสมะม่วง (9) ชัทนีมะม่วง (10) มะม่วงเส้นกวน (11) แยมมะม่วง (12) เยลลี่ (13) มะม่วงดิบในน้ำเชื่อม (14) มะม่วง puree (15) สลัดมะม่วง (16) ผลิตภัณฑ์อาหารอบ เช่น พายมะม่วง ทาร์ตมะม่วง
2	**มะม่วงสุก**	(1) มะม่วงอบแห้งกวน (2) น้ำมะม่วง (3) มะม่วงในน้ำเชื่อม (4) Mango pulp (5) Mango puree (6) วอฟเฟอร์มะม่วง (7) Mango Fruit bar (8) มะม่วงในน้ำเชื่อมแช่แข็ง (9) มะม่วงผง(10) มะม่วงผงชนิดหวาน (11) ทอฟฟี่มะม่วง (12) มะม่วงแผ่นกรอบ(13) น้ำมะม่วงสุกบรรจุกระป๋อง (14) มะม่วงแผ่นอบแห้ง(15) แยมมะม่วง (16) เยลลี่มะม่วง (17) มาร์มาเลตมะม่วง(18) ไอศกรีมมะม่วง (19) มะม่วงกวน (20) ไวน์มะม่วง (21) ผลิตภัณฑ์อาหารอบ เช่น เค้กมะม่วง

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากมะม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับมะม่วงผง

มะม่วงผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่สกัดจากธรรมชาติด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงละลายน้ำได้ 100% อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีรสชาติดีและ กลิ่นที่หอม สามารถรักษารสชาติให้คงเดิมได้ และง่ายต่อการเก็บรักษา มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองและมีขนาดอนุภาค 60~80 mesh

- การประยุกต์ใช้มะม่วงผง

1. ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเป็นแคปซูล หรืออัดเม็ด
2. นำมาชงเป็นเครื่องดื่ม หรือเป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่ม
3. นำมาใช้เป็นส่วนผสมอาหารและขนม
4. นำมาใช้เป็นสีผสมอาหาร
5. เป็นอาหารทารก

- ข้อดีของการแปรรูปมะม่วงผง

❖ ด้านการค้า

1. เพื่อสดการทำปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์ กับ ปัจจัยภายนอก เช่น อากาศ น้ำ แสง
2. เพื่อการขนส่งที่สะดวก
3. เพื่อคงรสชาติของวัตถุดิบ
4. เพื่อให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ผงเข้มข้นที่ได้ไปเจือจาง
5. เป็นการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

❖ ด้านสุขภาพ

1. มะม่วงมีวิตามินซีอยู่สูง ซึ่งมีมากกว่ามะนาวถึง3 เท่า และยังมีคุณสมบัติ reducing glucids ซึ่งจะทำให้ผิวหน้าเรียบลื่นนุ่มชุ่มชื้น ยังช่วยกำจัดเซลที่ตายแล้วจึงช่วยทำให้ผิวหน้าสดใส เสริมสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรง ป้อนกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะปัญหาโรคเลือดออกตามไรฟัน และโรคหวัด ช่วยทำให้ผ่อนคลาย และหลับสบายยิ่งขึ้น
2. อุดมไปด้วยแคลเซียมและฟอสฟอรัส จะช่วยบำรุงกระดูกและฟันไม้เปราะหักง่าย
3. วิตามินเอ ที่มีในมะม่วงสุก มีคุณสมบัติโดดเด่นช่วงบำรุงสายตา
4. ด้วยความที่มีลักษณะเป็นผง จึงดูดซึมได้ง่าย และร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด
5. สารเบต้าแคโรทีนหรือสารตั้งต้นของ และยังมีสถานะเป็นสารแอนติออกซิแดนต์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชาวอินเดีย เชื่อว่าการรับประทานมะม่วงจะช่วยในการขับถ่าย ช่วยขับปัสสาวะ(ซึ่งหมายถึงการช่วยขับพิษได้ด้วย) ช่วยกระตุ้นกำหนัด ช่วยทำให้สดชื่น เช่นเดียวกับชาวเซเนกัล เชื่อว่าการรับประทานมะม่วงจะทำให้สดชื่นมีชีวิตชีวา ชาวปานามารับประทานมะม่วงสุกเป็นยาช่วยระบาย

❖ การเก็บรักษา (Chauhan and Patil, 2013)

เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท ความชื้น (RH 60%) และอุณหภูมิต่ำ มีอายุการเก็บรักษา 18 เดือนกล่าวว่า บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเก็บรักษามะม่วงผงคือกระป๋องดีบุก และที่ไม่เหมาะสำหรับการเก็บมะม่วงผงคือ polystyrene

❖ คุณค่าทางโภชนาการ (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2521)

คุณค่าทางอาหารของมะม่วงดิบ มะม่วงห่าม และมะม่วงสุก แสดงไว้ตามตารางที่ 2.2 เป็นค่าเฉลี่ย คิดจากส่วนที่เป็นเนื้อมะม่วงที่รับประทานได้ จำนวน 100 กรัม จากตารางจะเห็นได้ว่า คุณค่าทางอาหารในผลมะม่วงส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และ ไวตามิน

1. คาร์โบไฮเดรต อยู่ระหว่าง 13.8 – 16.9% เป็นผลไม้ที่มีแป้งและน้ำตาลสูง ในขณะดิบจะมีปริมาณแป้งสูง และเมื่อสุกปริมาณแป้งจะลดลง ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น
2. โปรตีน อยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6% ปริมาณโปรตีนไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับ พันธุ์มะม่วง เช่น พันธุ์มะม่วงในอินเดีย มีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.0 ซึ่งพันธุ์มะม่วง ในอเมริกามีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 1.5 – 5.5%
3. ไขมัน อยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6%
4. แร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก มะม่วงดิบ มะม่วงห่าม และมะม่วงสุก มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน คือ แคลเซียม 10 มิลลิกรัม และฟอสฟอรัส15.5 มิลลิกรัม ในเนื้อมะม่วง 100 กรัม สำหรับเหล็กมีปริมาณเหล็กอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.3 มิลลิกรัมในเนื้อมะม่วง 100 กรัม
5. ไวตามิน มะม่วงสุกมีปริมาณไวตามินเอสูง เพราะมีแคโรทีนมาก มะม่วงจึงเป็นแหล่งที่ดีของไวตามินเอ ส่วนมะม่วงดิบมีปริมาณไวตามินซีสูง
6. พลังงานความร้อน มะม่วงสุกและมะม่วงห่ามให้พลังงานความร้อนแก่ร่างกายมากกว่ามะม่วงดิบเล็กน้อย
7. เส้นใย มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.5 เปอร์เซ็นต์ มะม่วงสุกจะมีเส้นใยมากกว่ามะม่วงดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 คุณสมบัติทางเคมีของมะม่วง

สาร กลูโคส และฟรุคโตส เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ในมะม่วงสุก มอสโตสก็มีอยู่เช่นกันสารที่พบจำนวนเล็กน้อยได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และแพคติน มะม่วงดิบอ่อนมีแป้งมากขณะที่ผลกำลังแก่แป้งจะไฮโดรไลซ์เป็นรีดิววิง ชูการ์ และสารตัวหลังนี้บางส่วนจะถูกสังเคราะห์เป็นซูโครส ในระยะหลังผลสุกซูโครสจะสลายตัวเป็นรีดิววิง ชูการ์ ผลมะม่วงพันธุ์สำหรับดองที่แก่เต็มที่แต่ยังไม่สุก มีกรดซิตริก มาลิค อ๊อกซาลิคซัคซินิคและกรดอื่นอีก 2 ตัว กรดซิตริกมีอยู่ปริมาณมากกว่าอย่างอื่น ขณะที่ผลเริ่มสุกความเป็นกรดจะค่อย ๆ ลดลงและเหลือน้อยที่สุดขณะผลสุก กรดอะมิโนที่พบในผลมะม่วงมี กรดแอสปาร์ติค กรดกลูตามิค อะลานีน ไกลซีนเมธิโอนีน ลูซีนน์ และอาจมีกรดอื่นอีก เช่น ซีลดิน และ บิวทายริคผลมะม่วงสุกเป็นแหล่งไวตามินเอที่สำคัญ บางพันธุ์มีปริมาณไวตามินซีมากพอเช่นกันปริมาณไวตามินเอมีมากน้อยแตกต่างกันอย่างกว้างขวางตามพันธุ์และความแก่ของผลเบตาคาโรทีน และเซนโธฟิลล์ เป็นเม็ดสีหลักในมะม่วงสุก เอนไซม์หลักในมะม่วง คือ แคตตาเลสและเพอร์อ๊อกซิเดส ซึ่งจะมีกิจกรรมสูงสุดเมื่อผลเจริญเต็มที่ ประมาณ 115 วันหลังจากติดผล

นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการแปรรูปและการบริโภคดังนี้

1. ความเป็นกรด – ด่างในเนื้อมะม่วง (pH) เนื้อมะม่วงมี pH ประมาณ 3.9 – 4.5
2. ความเป็นกรด – ด่าง (Acidity) ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความเป็นกรดคิดในรูปกรดซิตริก อยู่ระหว่าง 0.12 – 0.71 เปอร์เซ็นต์ เพราะคนไทยคุ้นเคยกับกลิ่นรสของมะม่วงอยู่แล้ว นอกจากนี้หากสามารถผลิตเป็นสินค้าออกได้ จะเป็นการช่วยด้านเศรษฐกิจแก่ประเทศชาติได้ทางหนึ่ง
3. สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดอาการแพ้ สารอินทรีย์ตัวนี้ชื่อ 3–pentaecy Catechol เป็นสารอินทรีย์ที่ทำให้บางคนบริโภคมะม่วงแล้ว ทำให้เกิดอาการแพ้

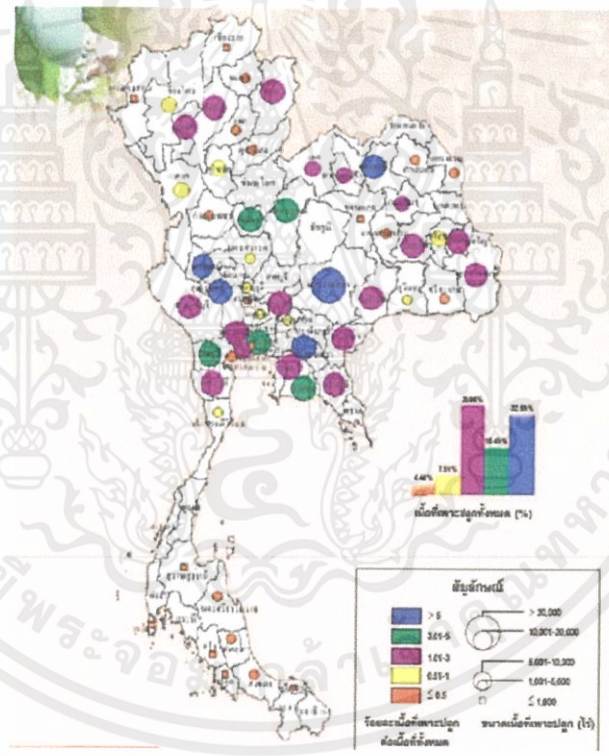
ตารางที่ 2.2 สีของผล Total soluble solid ตามระยะเวลาความสุกของมะม่วง

ลำดับที่ (Colour Index)	สีของเปลือก (External colour)	ระยะความสุก (stage of ripeness)	องศาบริกซ์ (total soluble solid)
1	เขียวทั้งผล (green)	ดิบ	7.6
3	เขียวมากกว่าเหลือง, เหลืองไม่ถึงครึ่งของผล(more green than green)	ห่าม	เกินกว่า 10
4	เหลืองมากกว่าเขียว, เหลืองเกินกว่าครึ่งผล, เหลืองประมาณ 3/4 ของผล (more yellow than green)	ค่อนข้างสุก	เกินกว่า 10
5	เขียวเล็กน้อยตรงปลายผล (trace of green apex)	สุก	
6	เหลืองทั้งหมด (full yellow)	สุกมาก	เกินกว่า 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 การตลาด

ประเทศไทยผลิตมะม่วงสู่ตลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.2 ล้านตัน แต่ผลผลิตมะม่วงส่งออกของไทยกว่า 1 ล้านตัน หรือร้อยละ 80 เป็นมะม่วงที่ออกสู่ตลาดพร้อมกันในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม ทำให้เกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาด ราคาตกต่ำ ดังนั้นกลุ่มพืชครบวงจรจึงมีการพัฒนาเทคนิคการผลิตมะม่วงนอกฤดูจนประสบผลสำเร็จ ทั้งนี้เพื่อกระจายผลผลิตมะม่วงที่ออกสู่ตลาดให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค โดยมีพันธุ์มะม่วงที่นิยมปลูกมากที่สุด คือ น้ำดอกไม้เบอร์ 4 จำนวน 6,847 ไร่ เขียวเสวย 6,436 ไร่ แรด 4,474 ไร่ น้ำดอกไม้สีทอง 4,423 ไร่ มันเดือนเก้า 4,149 ไร่ และจากการสำรวจผลผลิตล่าสุด ระหว่างปี 2555/2556 จะมีมะม่วงออกสู่ตลาดมากที่สุดคือช่วงระหว่างวันที่ 1-15 เม.ย.56 ประมาณ 3,508.65 ตัน และช่วงระหว่าง 16-30 เม.ย.56 จะออกมาอีก 3,043.85 ตัน จึงต้องมีการจัดงานวันมะม่วงขึ้นมาเพื่อช่วยระบายผลผลิตมะม่วงของเกษตรกรที่จะทะลักออกมาพร้อมกันในช่วงนี้มากที่สุด สำหรับพื้นที่ที่มีการปลูกมะม่วงมาก ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา สุพรรณบุรี ฉะเชิงเทรา อุดรธานี และอุทัยธานี



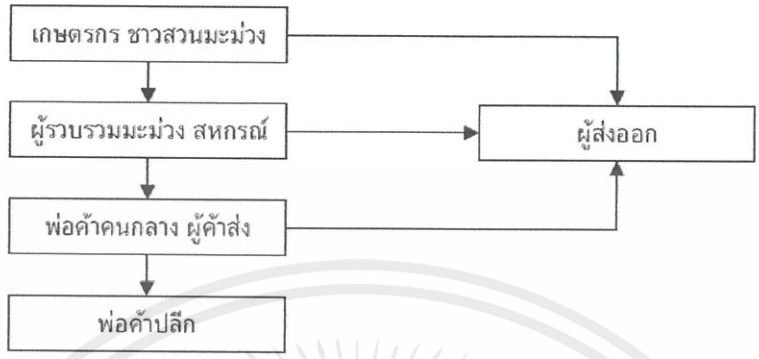
รูปที่ 2.5 แหล่งเพาะปลูกมะม่วงในประเทศไทย

(: สำนักมาตรฐานและตรวจสอบสอบสินค้าเกษตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนการส่งออกมะม่วงของไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2556)

ผู้ส่งออกที่มีสวนของตนเองดำเนินการส่งออกมะม่วงโดยตรง เกษตรกรรายย่อยจะขายผ่านสหกรณ์หรือพ่อค้าคนกลางเพื่อส่งให้ผู้ส่งออกอีกทอดหนึ่ง



รูปที่ 2.6 แผนผังการส่งออกมะม่วงของไทย

ปี2543 มะม่วงเป็นผลไม้ที่นิยมปลูกกันมาก เพราะนอกจากจะใช้บริโภคกันภายในประเทศทั้งในรูปผลสดและแปรรูป ยังสามารถส่งเป็นสินค้าส่งออกเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในปี 2543 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะม่วงทั้งหมด 2,234,804 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้ว 1,683,160 ไร่ และพื้นที่ที่ยังไม่ให้ผลผลิต 552,644 ไร่ ได้ผลผลิตรวม 1,623,141 กิโลกรัม

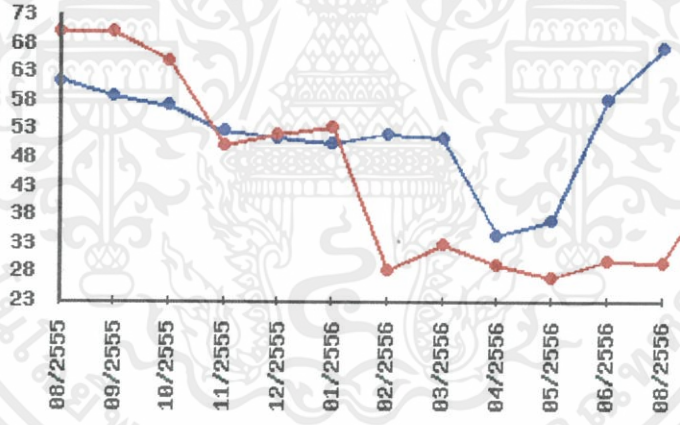
ปี2544 มูลค่าการส่งออกมะม่วงกระป๋อง 5.33 ล้านเหรียญสหรัฐ ตลาดส่งออกหลักคือญี่ปุ่น (19.76%) ออสเตรเลีย (16.31%) สหราชอาณาจักร (14.51%) เยอรมนี (7.60%) เนธอร์แลนด์ (5.76%) พันธุ์มะม่วงที่ส่งออกไปญี่ปุ่นคือ น้ำดอกไม้ พิมเสนแรด และหนังกลางวัน มะม่วงแก้ว ยังไม่มีการส่งออกไปยังญี่ปุ่นในรูปมะม่วงสด แต่มีการแปรรูปเป็นน้ำมะม่วงส่งออก ปี 2545 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงไปยังต่างประเทศปีละประมาณ 15 ล้านเหรียญสหรัฐโดยส่งออกในรูปของมะม่วงสดและแช่แข็ง มะม่วงกระป๋อง น้ำมะม่วง และมะม่วงแปรรูปอื่นๆเช่น มะม่วงกวน อบแห้ง มะม่วงดองในปี 2545 ช่วงเดือนมกราคมถึงพฤศจิกายน ไทยส่งออกมะม่วงสดและแช่แข็ง 10,707 ตัน มูลค่าส่งออกมะม่วงสดและแช่แข็ง 3.30 ล้านเหรียญสหรัฐ มะม่วงกระป๋อง 5,477 ตัน ตลาดส่งออกหลัก คือ มาเลเซีย (36.35) ญี่ปุ่น (25.21%) สิงคโปร์ (13.20%) สหรัฐฯ (6.64%) ฮ่องกง (4.80%) ปี 2549 พื้นที่เก็บเกี่ยว 1.76 (ล้านไร่) ผลผลิตรวม 2.01 (ล้านตัน) ผลผลิตต่อไร่ 1.19 (ตัน) อัตราเพิ่ม 4.020 (%) ปี 2550 พื้นที่เก็บเกี่ยว 1.86 (ล้านไร่) ผลผลิตรวม 2.30 (ล้านตัน) ผลผลิตต่อไร่ 1.24 (ตัน) อัตราเพิ่ม 6.5 (%) ปี 2551 พื้นที่เก็บเกี่ยว 1.91 (ล้านไร่) ผลผลิตรวม 2.37 (ล้านตัน) ผลผลิตต่อไร่ 1.24 (ตัน) อัตราเพิ่ม 2.96 (%)

ปี2552 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงเป็นอันดับ 3 รองจากฟิลิปปินส์ และแม็กซิโก นับเป็นโอกาสดีของประเทศไทยที่มีผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตมะม่วงนอกฤดูให้ออกผลิตทั้งปีได้ คาดว่าในปี 2553 กลุ่มธุรกิจพืชครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

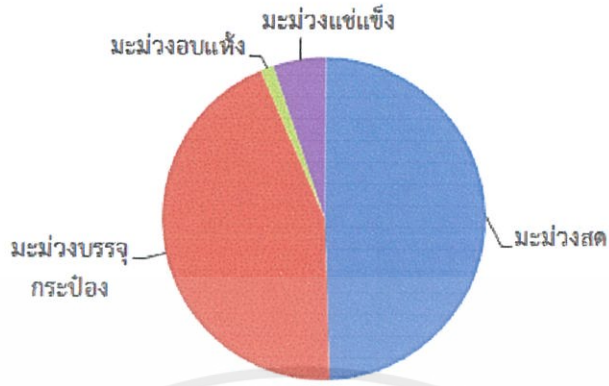
วงจร จะมีมะม่วงส่งออกถึงปีละ 2,000 ตัน จากปัจจุบันอยู่ที่ 1,500 ตันต่อปี และจะพยายามผลักดันให้ได้ถึง 3,000 ตัน ในปี 2555 นี้ โดยจะขยายสู่ตลาดแถบตะวันออกกลาง ยุโรป และรัสเซีย จากปัจจุบันตลาดหลักที่ญี่ปุ่น จีน ฮ่องกง และสิงคโปร์ ปี 2553 ผลผลิตอยู่ที่ 2,550,595 ตัน และมีพื้นที่เพาะปลูก 1,944,051 ไร่

ปี2556 สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ ณ เมืองเซี่ยเหมิน ได้สัมภาษณ์ บริษัท Nikko (Xiamen) Imp & Exp Co.,Ltd. ผู้นำเข้าผลไม้รายใหญ่จากไทย ปัจจุบันพบว่า บริษัทได้นำเข้ามะม่วงน้ำดอกไม้จากไทยมีปริมาณสูง โดยมีปริมาณการนำเข้ามากกว่า 20 ตันต่อสัปดาห์ ประมาณ 400-500 ตันต่อปี(ปี 2555 เป็นประมาณ 500 ตัน) และส่งออกไปยังญี่ปุ่น เกาหลี ตลาดในจีนส่วนใหญ่ส่งไปยังเซี่ยงไฮ้และมณฑลเจ้อเจียง ส่วนในเมืองเซี่ยเหมินมีเพียงร้อยละ 5 แล้วกระจายไปสู่ตลาดทั่วประเทศจีน บริษัทได้คัดเลือกมะม่วงที่สวนจากจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยจะซื้อผลผลิตทั้งหมดจากผู้ผลิตในไทย และส่งออกมาจีนเอง คนจีนส่วนมากนิยมมะม่วงไทยและออสเตรเลีย ความแตกต่างระหว่างมะม่วงไทยกับออสเตรเลียอยู่ที่สีสัน ราคาและรสชาติ มะม่วงไทยเป็นสีเหลือง มีรสชาติหวานและราคาถูกกว่า ในส่วนของมะม่วงออสเตรเลียเป็นสีแดง มีรสชาติเปรี้ยวกว่าไทย ราคาค่อนข้างแพง เนื่องจากการนำเข้ามะม่วงจากออสเตรเลียต้องเสียภาษีร้อยละ 20 ในขณะที่นำเข้าจากไทยเสียร้อยละ 13 คนจีนจะซื้อมะม่วงจากออสเตรเลีย เพื่อนำไปใช้เป็นของฝากมากกว่าที่จะบริโภคเองเพราะมีสีค่อนข้างแดงและสวยกว่า เหมาะสำหรับเป็นของฝาก

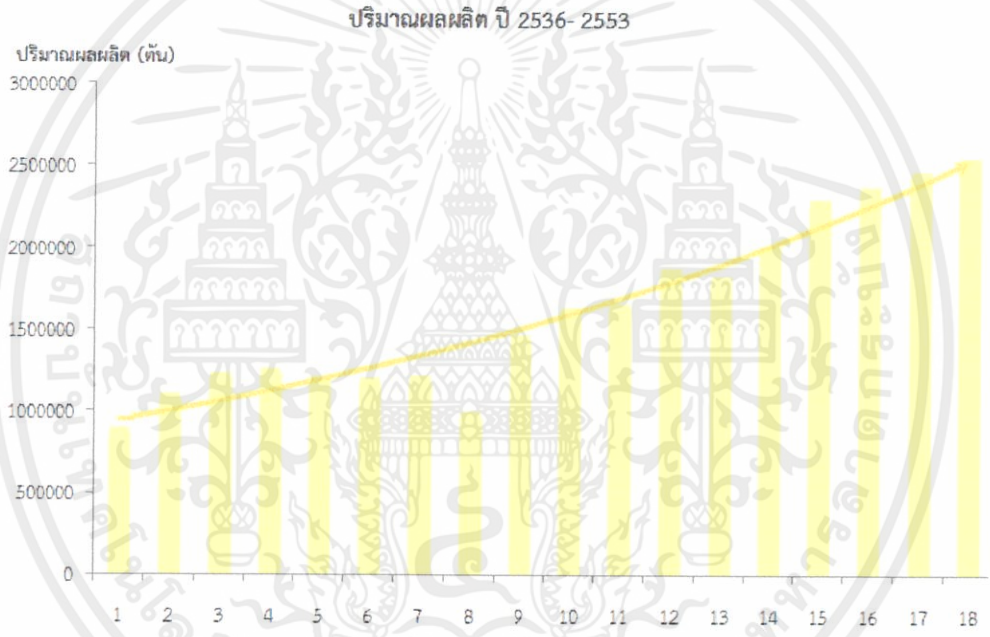


รูปที่ 2.7 ราคามะม่วงตลอดระยะเวลาหนึ่งปี (2555-2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ปริมาณการส่งออกมะม่วงเฉลี่ย (2551-2554) (กรมศุลกากร)



รูปที่ 2.9 ปริมาณการผลิตมะม่วง (2536-2553)

ในอนาคตมะม่วงไทยมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้นและมีนโยบายการส่งออกไปยังประเทศต่างๆทั่วโลกเพิ่มมากขึ้น แต่การส่งออกผลไม้ไทย รวมถึงมะม่วงด้วยมักจะมีปัญหาเรื่องระยะเวลาในการส่งออก มะม่วงสามารถอยู่ในการขนส่งได้ไม่เกิน 20 วัน (คมชัดลึก, 2552) ดังนั้นการแปรรูปมะม่วงก็ถือเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับการส่งออกของไทยในอนาคต

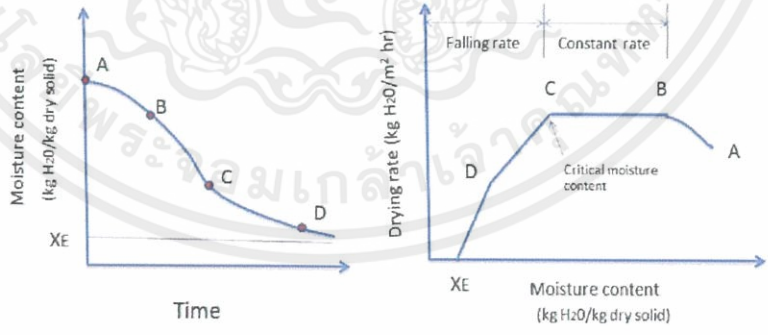
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทำแห้ง (drying) (Chen and Mujumda, 2008)

การทำแห้ง คือ กระบวนการในการดึงน้ำออกจากจากผลิตภัณฑ์ โดยการทำให้น้ำระเหย เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลงอยู่ในระดับค่าที่ยอมรับได้หรือไม่มีความชื้นเลยซึ่งปกติจะทำได้ยาก ทำให้สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้ง ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญ (รุ่งนภา, 2535) คือมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บได้ที่ความชื้น 15-20% แต่ถ้าเป็นเมล็ดธัญพืชเก็บที่ความชื้นนี้จะเกิดราได้ วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งคือ การลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยในการขนส่งและการเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวัตถุประสงค์สุดท้ายของหารทำแห้ง เพื่อผลิตภัณฑ์ซึ่งสะดวกต่อการใช้งานของผู้บริโภค (รุ่งนภา, 2535) การทำแห้งมีกรรมวิธีที่หลากหลาย การเลือกใช้เครื่องทำแห้งอาจจะต้องพิจารณาตามความเหมาะสม โดยอาจพิจารณาจากวัตถุดิบที่ต้องการทำแห้งว่าเป็นอย่างไร ของเหลว แผ่น เม็ด รวมไปถึงการพิจาณาความชื้นที่อยู่ในวัตถุดิบว่า อยู่บริเวณผิว อยู่ภายในผิว หรือมีทั้งที่ผิวและในเนื้อผลิตภัณฑ์

2.2.1 หลักการทำแห้ง (Drying Rate)

ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา) ถ้าอาหารมีเนื้อโปร่ง การเคลื่อนที่เป็นการไหลแบบผ่านช่องแคบ (capillary flow) น้ำเคลื่อนที่ผิวอาหารได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้ที่ผิวอาหารเปียกชุ่มด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาจากกราฟอัตราการทำแห้งจะพบว่าช่วงแรกความชื้นจะมากมีการระเหยมากอุณหภูมิของผิวจะเพิ่มขึ้นจนไปถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก ต่อมาจะมีอัตราการทำแห้งคงที่คือน้ำมีการระเหยคงที่ และช่วงสุดท้ายเมื่อความชื้นในเนื้อวัตถุลงลงปริมาณน้ำที่ระเหยก็ลดลงทำให้กราฟมีความชันลดลง



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในผลิตภัณฑ์เมื่อเวลาผ่านไปและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์

(http://www.foodnetworksolution.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง**

การทำแห้งคือ การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยใดๆที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่อการทำแห้ง ได้แก่

1. ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่ง การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็ว

2. ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้คำนึงถึงพื้นผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมาทับถมกันการระเหยขึ้นได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสอากาศจึงเกิดได้ช้า ทั้งๆที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อพื้นที่

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า นอกจากนี้การจัดเรียงอาหารเพื่อนำไปอบแห้ง มีผลต่อการอบแห้ง การจัดเรียงอาหารให้แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่ทับซ้อนกัน อาหารจะสัมผัสกับลมร้อนได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ

5. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity, RH)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

7. ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงมีการสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.2.2 ประโยชน์ของการทำแห้ง

1. ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์
2. เป็นการถนอมอาหารทำให้เก็บไว้ได้นานขึ้น ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลน
3. สามารถลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ การเก็บรักษาและการขนส่ง
4. เปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของกระบวนการแปรรูปอื่นๆ ต่อไป
5. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความหลากหลาย
6. เป็นการเพิ่มความสะดวกในการใช้ให้แก่ผู้บริโภค

2.2.3 ประเภทของเครื่องทำแห้ง

- เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drier)

เครื่องทำแห้งที่ใช้กับวัตถุที่เป็นของเหลว ทำการพ่นออกมาเป็นละอองฝอย ละอองฝอยจะสัมผัสกับอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง มีการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น กาแฟ ครีมเทียม ไข่ผง เป็นต้น

- เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drier)

เครื่องทำแห้งที่ประกอบไปด้วยลูกกลิ้งหนึ่งหรือสองลูกภายในกลวงได้รับความร้อนจากไอน้ำหรือไฟฟ้า วัตถุดิบที่ทำแห้งส่วนใหญ่เป็นลักษณะข้นหนืด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่น สามารถนำไปบดต่อเพื่อทำให้เป็นผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องทำแห้งแบบสายพาน (belt drier)

เครื่องทำแห้งที่ให้วัตถุดิบที่ต้องการทำแห้งเรียงกระจายตัวกันอยู่บนสายพาน แล้วถูกเป่าด้วยลมร้อนเพื่อดึงเอาความชื้นออก โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะอุโมงค์ วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ คือ ผักเป็นชิ้น และสมุนไพร

- เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดร์ทเบด (fluidized bed drier)

เครื่องทำแห้งชนิดหนึ่งซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องทำแห้งแบบสายพานแต่ว่าจะทำการเป่าวัตถุดิบให้ลอยเพื่อให้คลุกเคล้ากับลมร้อนได้อย่างทั่วถึง วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ทำแห้งแบบนี้ คือ ถั่ว และเมล็ดธัญพืช

- เครื่องทำแห้งแบบใช้ลมร้อน (flash drier)

เครื่องทำแห้งที่ใช้ลมร้อนเป่าวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นเม็ดหรือเป็นผงให้ลอยอยู่ภายในห้องอบแห้ง จนเมื่อผลิตภัณฑ์ความชื้นตามต้องการแล้ว ก็จะลอยออกมาจากห้องอบแห้ง

- เครื่องทำแห้งแบบระเหิด (freez drier)

เครื่องทำแห้งชนิดนี้ทำการทำให้อาหารแข็งก่อนแล้วจึงระเหิดน้ำแข็งด้วยความดันต่ำ (ที่ อุณหภูมิเท่ากับหรือ ต่ำกว่า °0 C น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า) ผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาทำการทำแห้งด้วยเครื่องนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่เสี่ยงต่อการสูญเสียคุณภาพเมื่อใช้ลมร้อนในการทำแห้ง

- เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacumm drier)

เครื่องทำแห้งที่ทำการอบแห้งที่ความดันสุญญากาศ โดยมีปั๊มดูดอากาศออกเพื่อรักษาสภาวะภายในห้องอบให้เป็นสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพสูงกว่าการใช้อบด้วยลมร้อนที่ ความดันทั่วไป

- เครื่องอบแห้งแบบรังสีอินฟาเรด (infrared drier)

เครื่องทำแห้งที่ใช้รังสีอินฟาเรดในการทำให้โมเลกุลน้ำภายในวัตถุดิบสั่น เกิดความร้อน และระเหยออกไป นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นไม่สูง มักใช้ทำแห้งพวกเมล็ดธัญพืช เพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกับตอนก่อนอบคือไม่เหี่ยวย่น

- เครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ (solar drier)

เครื่องอบแห้งที่อาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์

จากประเภทของเครื่องทำแห้งประเภทต่างๆจะเห็นว่าเครื่องทำแห้งที่สามารถใช้งานการทำแห้งวัตถุดิบให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงนั้นมี 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
2. เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

เพราะฉะนั้นในการศึกษาการทำแห้งมะม่วงผงนั้นจึงได้เลือกประเภทของเครื่องที่ใช้ในการทำแห้ง 2 ประเภทนี้มาใช้งาน และทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ประเภทนี้ นั้นเอง

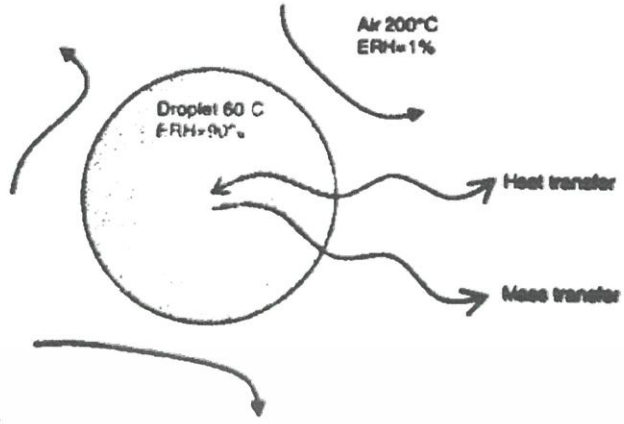
2.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

- หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งละอองฝอยเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลและความร้อนที่เกิดขึ้นกับละอองฝอย การทำแห้งจะเริ่มจากการระเหยน้ำที่บริเวณผิวของละอองฝอยก่อน เมื่อเทียบการทำแห้งละอองฝอยที่เป็นสารละลายกับละอองฝอยที่เป็นน้ำเปล่าแล้วจะพบว่าความดันไอที่ผิวที่ใช้ในการทำแห้งของละอองฝอยที่เป็นสารละลายจะต่ำกว่าความดันไอที่ผิวของละอองฝอยที่เป็นน้ำเปล่าในขณะที่น้ำกำลังระเหย (shi and wang ,2004) ผลที่ได้ก็คือมวลที่ถ่ายเทจะน้อยหรือก็คือน้ำจะระเหยได้น้อยขณะที่ทำแห้ง เพราะฉะนั้นเวลาที่ทำแห้งจึงต้องทำให้อุณหภูมิที่ผิวของละอองฝอยสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกหรือสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยละอองฝอยของน้ำเปล่า การทำแห้งที่บริเวณผิวของละอองฝอยจะยุติเมื่อบริเวณผิวของละอองกลายเป็นของแข็ง เมื่อนั้นการทำแห้งภายในของละอองฝอยก็จะเริ่มดำเนินการต่อไป ในขณะที่ดำเนินการทำแห้งตัวแปรที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการระเหยความชื้นนั้นก็คือ อุณหภูมิ ความเข้มข้น และความดัน รูพรุนที่เกิดขึ้นกับหยดพ่นฝอยขณะที่ทำการทำแห้งนั้น เกิดจากการถ่ายเทในเชิงกล อันประกอบไปด้วย

1. การแพร่ของของเหลวอันเนื่องจากความหนาแน่นของเหลว
2. การแพร่ของไอน้ำอันเนื่องจากความหนาแน่นของไอน้ำ
3. การไหลแบบแคปปิรารีอันเนื่องจากแรงแคปปิรารี
4. การถ่ายเทความชื้นอันเนื่องจากความดันภายใน
5. การถ่ายเทความชื้นอันเนื่องจากการระเหยและการควบแน่นของรูพรุนหลายๆรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนของละอองฝอยขณะดำเนินการทำแห้ง
(Chen and Mujumda, 2008)

- พลังงานจลน์ในการทำแห้ง

โดยทั่วไปในการทำแห้งจะแบ่งช่วงออกเป็น 3 ช่วงคือ

1. ช่วงการปรับสภาวะเริ่มต้นจะเป็นกราฟเส้นตรงความชันเป็นบวก
2. ช่วงการทำแห้งคงที่ช่วงนี้จะใช้ระยะเวลานานที่สุดกราฟมีความชันเป็นศูนย์
3. ช่วงที่การทำแห้งลดลงช่วงนี้กราฟจะมีความชันเป็นลบเนื่องจากปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์มีการระเหยที่น้อยลง

ในการคำนวณนั้นจะคำนวณ 2 ช่วงคือช่วงการทำแห้งคงที่และการทำแห้งลดลง เนื่องจากช่วงแรกของการทำแห้งนั้นสั้นมากจึงไม่เอามาคำนวณ การคำนวณส่วนใหญ่นิยมคำนวณที่ช่วงการทำแห้งคงที่เพราะว่าง่ายต่อการคำนวณการถ่ายเทมวลและความร้อน ความร้อนที่ถ่ายเทในช่วงนี้คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

สำหรับหยดพ่นฝอยที่มีขนาดเล็กมากๆ ปริมาณความชื้นที่อยู่ภายในหยดพ่นฝอยที่ถูกพ่นออกมาจะมีความสัมพันธ์กับพลังงานกระตุ้น ซึ่งพลังงานนี้จะเป็นตัวบอกความยากง่ายในการระเหยของความชื้นที่อยู่บริเวณพื้นผิวของหยดพ่นฝอย ถ้าปริมาณความแตกต่างของความชื้นที่พื้นผิวมีปริมาณมาก พลังงานกระตุ้นจะน้อยกล่าวคือน้ำสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้พลังงานมาก แต่ถ้าปริมาณความแตกต่างของความชื้นที่ผิวที่ปริมาณน้อยก็จะได้ผลในทางตรงกันข้ามนั้นเอง

- เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง

เวลาที่ใช้ในการทำแห้งมีผลอย่างมากต่อความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้เป็น รวมไปถึงขนาดของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในกาทำแห้งขึ้นอยู่กับปริมาตรและรูปทรงของห้องอบแห้ง, ขนาดต่างๆ ของละออง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝอย และอัตราเร็วของอากาศที่ใช้ทำแห้งรวมไปถึงรูปแบบการไหลของอากาศ (Zbicinski et al., 2002) อนุภาคที่ถูกทำแห้งจะมีขนาดใกล้เคียงกันซึ่งจะใช้เวลาแตกต่างกันทำให้เวลาที่ใช้จึงต้องเป็นเวลาที่เกิดจากการเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแต่ละอนุภาค ซึ่งเวลานี้ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องแห้งแบบเป่าด้วยลมร้อนถ้าหากมีการติดตั้งใช้งานร่วมด้วย เวลาโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการทำแห้งสามารถคำนวณได้ โดยใช้สูตร

$$t = V_{ch}/V \tag{2.1}$$

เมื่อ t = เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทำแห้ง (วินาที)

V = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

V_{ch} = ปริมาตรของห้องอบแห้ง (ลูกบาศก์เมตร)

ภายใต้สมมติฐานคืออนุภาคมีการตกด้วยความเร็วอิสระและภายในห้องอบแห้งมีการไหลแบบ plug-flow

- สมดุลของมวลและความร้อน

❖ การสมดุลมวล

โดยทั่วไปเราจะทำการสมดุลมวลของของแข็งที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ โดยมีสมการคือ

อัตราการป้อนวัตถุดิบ(F) + อัตราการไหลของก๊าซขาเข้า(G_i) = อัตราการได้ผลิตภัณฑ์ผง(P)
+ อัตราการไหลของก๊าซขาออก(G_i)
+ อัตราการสูญเสียผลิตภัณฑ์$(losses)$ (2.2)

จะได้สมดุลของของแข็ง คือ

$$(1-\omega_i)F + G_{dry}(1+Y_i) = (1-\omega_o)P + \{G_{dry}(1+Y_i) + [\omega_i F - \omega_o P]\} + losses \tag{2.3}$$

เมื่อ ω_i, ω_o = อัตราส่วนของน้ำต่อของแข็งในผลิตภัณฑ์

G_{dry} = มวลอากาศแห้ง (กิโลกรัม)

Y_i = ความชื้นของอากาศขาเข้า (กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

$losses$ มักเกิดขึ้นในขณะที่มีการทำแห้งอาจเกิดจากผลิตภัณฑ์ไปติดอยู่ตามท่อหรือออกไปกับก๊าซขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ การสมดุลทางความร้อน

เมื่อสมมติให้ขณะที่ทำแห้งมีสภาวะคงที่ ความร้อนรวมที่ใช้ในการทำแห้ง คือ สมการสมดุลของเอนโทปี จะได้ว่า

$$h_{feed} + h_{airinlet} = h_{product} + h_{airoutlet} + h_{loss} \quad (2.4)$$

เมื่อทำการพิจารณาในแต่ละส่วนจะได้ว่าความร้อนในส่วนของวัตถุดิบที่ป้อน

$$h_{feed} = m_f(c_{pf})(T_f - T_{ref}) \quad (2.5)$$

โดยที่ $c_{pf} = 1.42 \times Cabohydrate(kg) + 1.549 \times Protein(kg)$

$$+ 1.67 \times fat(kg) + 0.837 \times Ash(kg) + 4.187 \times Moisture(kg) \quad (2.6)$$

ความร้อนในส่วนของอากาศร้อนขาเข้า

$$h_{airinlet} = \mathrm{m}_{airinlet} c_{p,air} (\mathrm{T}_{airinlet} - T_{ref}) + \mathrm{m}_{\mathrm{wi}} \mathrm{L} \quad (2.7)$$

ความร้อนในส่วนของอากาศขาออก

$$h_{airoutlet} = \mathrm{m}_{airoutlet} c_{p,air} (\mathrm{T}_{airoutlet} - T_{ref}) + [\mathrm{m}_{\mathrm{wi}} + (\omega_i F - \omega_o P)]L \quad (2.8)$$

เมื่อ $\mathrm{c}_{p,air} = \mathrm{c}_{p,dryair} + \mathrm{Y} \times \mathrm{c}_{p,vapor}$ (2.9)

ความร้อนในส่วนของผลิตภัณฑ์ผง

$$h_p = m_p c_{pp} (T_p - T_{ref}) \quad (2.10)$$

ความร้อนที่สูญเสียไป

$$h_{loss} = UA(T_{b,o} - T_{b,a}) \quad (2.11)$$

ความร้อนที่สูญเสียไปขึ้นอยู่กับผนังของห้องอบแห้ง โดยทั่วไปจะมีการทำฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

เมื่อ $h_{feed}, h_{airinlet}, h_{airoutlet}, h_p, h_{loss}$ = เอนโทปีของวัตถุดิบที่ป้อน,อากาศขาเข้า, อากาศขาออก, ผลิตภัณฑ์ และที่สูญเสียไป ตามลำดับ (kJ)

$m_f, \mathrm{m}_{airinlet}, \mathrm{m}_{airoutlet}, \mathrm{m}_{\mathrm{wi}}, m_p$ = มวลของวัตถุดิบที่ป้อน,มวลของอากาศร้อนขาเข้า, มวลของอากาศร้อนขาออก, มวลของน้ำที่อยู่ในอากาศขาเข้าที่ความชื้นสัมพันธ์ขณะนั้น และมวลของผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c_{pf}, $c_{p,air}$, $c_{p,air}$, c_{pp} = ความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุดิบ, อากาศร้อนขาเข้า,อากาศร้อนขาออก และผลิตภัณฑ์ตามลำดับ (kJ/kg)

Y = ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศร้อนขาออก

T_f, $T_{airinlet}$, $T_{airoutlet}$, $T_{b,o}$, $T_{b,a}$, T_p = อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์, อากาศร้อนขาเข้า, อากาศร้อนขาออก ,อากาศรอบผนังห้องอบแห้ง , อากาศร้อนขาออกที่วัดจากท่อขาออกของอากาศร้อนและ ผลิตภัณฑ์ (°C , K)

จากสมการ (4) จะได้ว่า

$$m_f c_{pf}(T_f - T_{ref}) + m_{airinlet} c_{p,air}(T_{airinlet} - T_{ref}) + m_{wi} L = m_{airoutlet} c_{p,air}(T_{airoutlet} - T_{ref}) + [m_{airinlet} Y_{in} + (\omega_i F - \omega_o P)]L + m_p c_{pp}(T_p - T_{ref}) + UA(T_{b,o} - T_{b,a}) \quad (2.12)$$

❖ ประสิทธิภาพของการทำแห้ง

ประสิทธิภาพทางความร้อน

<u>กรณี 1 ไม่มีการสูญเสียความร้อน</u> (Master,1991); (Keey,1991)

$$\text{Eff thermal (\%)} = \frac{\text{ความร้อนที่ใช้ในการระเหยความชื้น}}{\text{ความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการทำแห้ง}}$$

$$= \{(T_{airinlet} - T_{airoutlet})/(T_{airinlet} - T_{air@ambient})\} \times 100 \quad (2.13)$$

จะเห็นว่าถ้าเกิดต้องการให้ประสิทธิภาพทางความร้อนมากๆ จะต้องให้ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้ามากๆ และ อุณหภูมิอากาศร้อนขาออกต่ำๆ แต่ทว่า การที่ให้อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนได้ และถ้าให้อุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ต่ำจนเกินไปก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความชื้นหลงเหลืออยู่มากไม่ได้ความชื้นตามที่ต้องการ

<u>กรณี2 มีการสูญเสียความร้อน</u>

$$Eff\ thermal\ (\%) = \frac{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่ใช้ในการระเหยความชื้น}}{[\text{ความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ} + \text{ความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัตถุดิบ}]}$$

$$= E_c L / m_{air} c_{pa}(T_{airin} - T_{wb}) + m_f c_{pf}(T_{fi} - T_{wb}) \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ E_c = อัตราการระเหย (kg/s)

L = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/ kg)

m_{air}, m_f = มวลของอากาศและมวลของวัตถุดิบที่ป้อน ตามลำดับ (kg)

c_{pa}, c_{pf} = ความจุความร้อนของอากาศและวัตถุดิบที่ป้อน (kJ/kg)

T_{airin} , T_{wb} , T_{fi} =อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า, อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ใช้ทำแห้ง และ อุณหภูมิของวัตถุดิบที่ป้อน (K)

❖ ประสิทธิภาพในการระเหย (Master, 1991)

ประสิทธิภาพในการระเหย คือ อัตราส่วนระหว่างความสามารถในการระเหยจริงต่อความสามารถในการระเหยที่ทำให้ความชื้นในอากาศอิ่มตัว หรือ อัตราส่วนของความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อความร้อนที่ต้องการในการระเหยให้ได้มากที่สุด

$$Eff\ thermal\ (\%) = \{(T_{airin} - T_{airout}) / (T_{airin} - T_{airsat})\} \times 100 \quad (2.15)$$

- ความสามารถในการระเหยเชิงปริมาตร

ความสามารถในการระเหยเชิงปริมาตรคือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ระเหยในหนึ่งหน่วยเวลาต่อปริมาตรของห้องอบแห้ง

$$\text{ความสามารถในการระเหยเชิงปริมาตร } (kg/m^3h) = \frac{\frac{dm_w}{dt}}{V_{ch}} \quad (2.16)$$

- **วิธีการในการพัฒนาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำแห้งสูงๆ**

- เพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าสูงๆ และลดอุณหภูมิอากาศร้อนขาออกต่ำๆ แต่อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์และได้ความชื้นไม่เป็นที่ต้องการก็เป็นได้
- ติดตั้งระบบหมุนเวียนการทำความร้อน โดยต้องถูกออกแบบมาเฉพาะ เนื่องจากอากาศขาออกจะปะปนด้วยผลิตภัณฑ์ผง
- ป้อนวัตถุดิบที่มีความเข้มข้นสูง แต่ก็ต้องพิจารณาอะตอมไมเซอร์ที่จะใช้ด้วยว่าเหมาะสมหรือไม่ และอุณหภูมิของวัตถุดิบต้องไม่สูงจนเกินไปเพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงเกิดความเสียหาย
- ติดตั้งฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังห้องอบแห้งและท่อต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 องค์ประกอบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบไปด้วย (Chen and Mujumda, 2008)

❖ ห้องอบแห้ง

โดยส่วนมากแล้วจะห้องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกับทรงกรวยที่มีองศามุมประมาณ 40 – 60 องศา อยู่ที่ก้นถังประกอบเข้าด้วยกัน อาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ตกไปยังด้านล่างของห้องอบแห้ง บางครั้งก็จะพบว่าห้องอบแห้งมีลักษณะสูงยาว สั้นกว้าง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบของแต่ละคน แต่เมื่อไม่นานมานี้ก็ได้มีการออกแบบให้ห้องอบแห้งวางตัวอยู่ในแนวนอนซึ่งอาจจะเหมาะสมกับการใช้กับวัตถุดิบที่ง่ายต่อการทำแห้งและยังลดปัญหาในเรื่องการเพิ่มปริมาณการทำแห้ง (Cakoloz et al., 1997); (Huang and Mujumdar, 2005)

ในการออกแบบห้องอบแห้งขึ้นกับปัจจัยหลายประการได้แก่

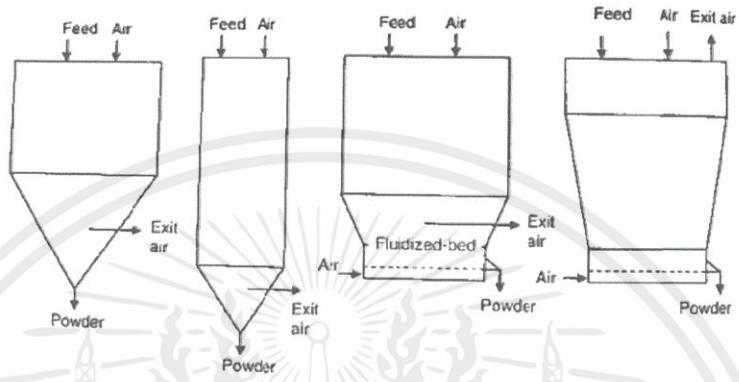
1. ประเภทของตัวทำละออง
2. เส้นวงโคจรของหยดที่พ่นออกมา
3. คุณสมบัติของวัตถุดิบ (เช่น ความไวต่อความร้อน ความเข้มข้น เป็นต้น)
4. ความต้องการในการทำแห้ง
5. ลักษณะการทำแห้งแบบขั้นตอนเดียวหรือสองขั้นตอน
6. ต้นทุนการผลิต
7. การไหลของอากาศเป็นแบบทางเดียวกันหรือไหลสวนทางกันเมื่อเทียบกับการป้อนวัตถุดิบ

เมื่อพิจารณาในส่วนของหัวพ่นฝอย ถ้าหากใช้ตัวทำละอองชนิดหัวฉีดแรงดัน จะทำให้ห้องอบแห้งส่วนใหญ่มีลักษณะสูง ค่าความสูงต่อความกว้างจะมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าหากใช้ตัวทำละอองชนิดจานหมุนจะทำให้ห้องอบแห้งมีลักษณะกว้าง ค่าความสูงต่อความกว้างจะน้อย ในปัจจุบันมีการพยายามที่ออกแบบห้องอบแห้งที่จะไม่ทำให้ก๊าซร้อนที่ใช้ในการทำแห้งมีอิทธิพลกับการทำแห้งมากนักเพราะว่าจะช่วยลดการติดของผลิตภัณฑ์ที่ผนังห้องอบแห้งและยังเป็นการเพิ่มผลได้ของผลิตภัณฑ์อีกด้วย นอกจากนี้ในส่วนของห้องอบแห้งยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ตกมายังก้นถังไม่เกาะกับผนังห้องอบแห้งโดยใช้ค้อนดีด และบางครั้งยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มด้วย ห้องอบแห้งที่ทันสมัยมากๆ จะมีการติดตั้งในส่วนการทำแห้งแบบเป่าด้วยลมร้อนเพิ่มเข้าไปด้วย เรียกว่า การทำแห้งแบบสองขั้นตอน การติดตั้งนั้นจะติดตั้งภายในหรือภายนอกก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

สำหรับการทำแห้งวัตถุดิบที่เป็นอาหารนั้นเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมักทำการดำเนินการผลิตโดยใช้วิธีการไหลไปในทางเดียวกันของวัตถุดิบและลมร้อน เพราะว่าจะทำให้เวลาที่ใช้ในการทำแห้งน้อย และวัตถุดิบที่ทำการทำแห้งจะไม่ผ่านไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงในขณะที่ทำการอบแห้ง การทำแห้งด้วยวิธีการไหลแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้เหมาะกับวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อนและวัตถุดิบที่ต้องการควบคุมปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่เหลืออยู่หลังจากการทำแห้ง การหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ในการทำแห้งไม่เหมาะสมเมื่อห้องอบแห้งมีลักษณะที่สูงหรือเมื่อใช้อะตอมไมเซอร์ชนิดหัวฉีดแรงดัน แต่จะเหมาะสมเมื่อมีการใช้ตัวทำละอองชนิดจานหมุนซึ่งการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่นี้จะทำให้มีอุณหภูมิที่หลากหลายภายในห้องอบแห้งเมื่อเทียบกับไม่ได้มีการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 2.12 ห้องอบแห้งลักษณะต่างๆ
(Chen and Mujumda, 2008)

❖ ไซโคลน

โดยปกติแล้วอากาศที่อยู่ในห้องอบแห้งจะนำเอาผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงติดมาด้วยประมาณ 10-50% ของผลิตภัณฑ์ผงทั้งหมดในห้องอบแห้ง ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาทำผลิตภัณฑ์ผงและประเภทของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่นำมาใช้งาน (Pisecky, 1997) การหาวิธีในการแยกผงออกจากลมนั้นไม่เพียงคำนึงถึงเฉพาะในแง่ของเศรษฐศาสตร์เท่านั้นแต่ยังรวมไปถึงมลภาวะทางอากาศอีกด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกนี้เรียกว่า ไซโคลน โดยส่วนบนของไซโคลนเป็นทรงกระบอกในขณะที่ส่วนล่างเป็นทรงกรวยที่ส่วนปลายทำมุม 10 -20 องศา ความสูงของไซโคลนจะเป็น 2- 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกด้านบน การใช้ไซโคลนในการแยกผลิตภัณฑ์ผงกับลมออกจากกันอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกแต่ทว่าในบางทีหากต้องการให้แยกได้ดีขึ้นอาจมีการติดตั้งตัวกรองเพิ่มเข้าไปด้วย การทำงานของไซโคลนเริ่มจากอากาศที่มีผลิตภัณฑ์ผงปะปนอยู่เข้ามายังส่วนบนอากาศเมื่อเข้ามาในไซโคลนจะหมุนเป็นเกลียวไปยังด้านล่างของไซโคลนและลอยกลับขึ้นไปออกยังด้านบนอันเป็นผลมาจากความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ในส่วนของผลิตภัณฑ์ผงนั้นจะเกิดการชนกับผนังของไซโคลนด้วยแรงเหวี่ยงและตกลงข้างล่างของไซโคลนด้วยแรงโน้มถ่วง แรงเหวี่ยงที่กระทำกับแต่ละอนุภาคเราสามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

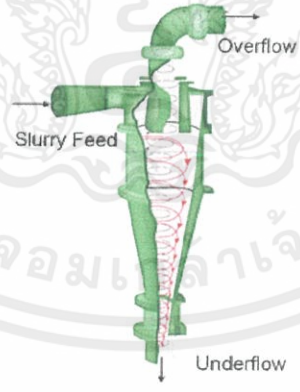
$$C = m_d v_t^2 / r$$

เมื่อ C = แรงเหวี่ยง , m_d = มวลของอนุภาคนั้นๆ

v_t = ความเร็วเชิงเส้น , r = ระยะรัศมีจากผนังไซโคลนไปยังจุดที่กำหนด

ประสิทธิภาพของไซโคลนขึ้นอยู่กับแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นบนอนุภาคผง ถ้าอนุภาคผงมีขนาดเล็กมากจะทำให้มีความเร็วเชิงเส้นสูงจะทำให้อนุภาคมีโอกาสลอยออกไปกับอากาศที่ลอยขึ้นไปด้านบนของไซโคลน แต่ว่าถ้าอนุภาคขนาดใหญ่แล้วมีความเร็วเชิงเส้นสูงก็จะทำให้ได้ประสิทธิภาพของไซโคลนที่สูงเพราะอนุภาคจะไม่ลอยออกไป บางครั้งอาจปรับแก้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของไซโคลนได้โดยการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนลง เวลาที่อนุภาคผงอยู่ในไซโคลนก็จะต้องถูกพิจารณาด้วยเช่นกัน ถ้าหากอากาศที่เข้ามายังไซโคลนที่ปริมาณมากจะทำการแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยการเพิ่มจำนวนไซโคลนโดยเรียงต่อกันเป็นอนุกรม

ข้อบังคับทางสิ่งแวดล้อมกำหนดให้ฝุ่นที่ติดมากับอากาศมีได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศที่ปล่อยออกมา เพื่อที่จะควบคุมปริมาณฝุ่นที่ถูกปล่อยออกมายังอากาศภายนอก บางครั้งอาจจะมีการเพิ่มอุปกรณ์เติมเพื่อช่วยในการดักจับผลิตภัณฑ์ผงไม่ให้หลุดลอยออกไปยังอากาศภายนอกมากเกินไป ได้แก่ ถุงกรองอากาศ จะทำการกรองผงไม่ไว้ไม่ให้ออกไปยังภายนอก ,แผ่นดักจับความชื้น จะทำการพ่นน้ำให้ไปผสมกับอากาศเพื่อดักจับผงแต่ข้อควรระวังคือเชื้อโรคที่อาจเกิดการเจริญเติบโตได้ที่แผ่นกรองเพราะว่าเปียกชื้นและมีอุณหภูมิประมาณ 40- 50 องศา และสุดท้ายใช้ ระบบ ตัวกรองแบบทำความสะอาดเฉพาะที่ (clean in place – bag filter) ซึ่งสามารถติดตั้งได้ทั้งภายในไซโคลนหรือใช้แทนไซโคลน (Master,1998, Master , 2004)



รูปที่ 2.13 แรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นในไซโคลน

(www.aeroprobe.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ก๊าซที่ใช้ในการทำแห้ง พัดลมและระบบทำความร้อน

เริ่มแรกอากาศที่ความดันบรรยากาศจะถูกดูดโดยพัดลมแบบเหวี่ยงโดยผ่านตัวกรองหลังจากนั้น อากาศจะถูกทำให้ร้อนโดยผ่านเครื่องทำความร้อน (heater) อากาศถูกทำให้ร้อนได้ตั้งแต่ 150 – 270 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ต้องการทำแห้ง ค่าความชื้นสัมผัสของอากาศร้อนที่ใช้ทำแห้งปกติอยู่ที่ 4-5 กรัมน้ำ ต่อ กิโลกรัมอากาศแห้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในบริเวณที่ทำการปฏิบัติงานด้วย ค่าความชื้นสัมพันธ์ของอากาศร้อนกกว่า 8 กรัมน้ำ ต่อ กิโลกรัมอากาศแห้ง อาจทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นมากกว่าเดิมเล็กน้อย โดยทั่วไปจะมีการติดตั้งระบบดูดความชื้นจากอากาศในตอนที่ทำให้อากาศร้อนเพื่อที่จะได้อากาศร้อนที่มีความชื้นสัมพันธ์ต่ำๆ ในความเป็นจริงถ้าทำแห้งที่ความชื้นสัมพันธ์ต่ำๆ อาจจะใช้อุณหภูมิของก๊าซขาเข้าต่ำกว่าปกติก็ได้ ที่เงื่อนไขในการระเหยเดิมที่ใช้อุณหภูมิก๊าซสูงๆ และมีความชื้นสัมพันธ์ที่ความดันบรรยากาศ แต่ทั้งนี้ก็ต้องทำการศึกษาต้นทุนการการทำการลดความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซของก๊าซก่อนว่าคุ้มค่ากับการลงทุนไหม

การให้ความร้อนกับอากาศสามารถได้ทั้งระบบที่มีการสัมผัสโดยตรงและการสัมผัสทางอ้อม อาทิ การใช้กระแสไฟฟ้า, การใช้ไอน้ำ, การใช้การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง, ระบบทำความร้อนด้วยก๊าซ เป็นต้น ซึ่งการเลือกวิธีการให้ความร้อนต้องพิจารณาจากปริมาณที่ต้องการทำแห้ง ลักษณะของผลิตภัณฑ์ และการวิเคราะห์การใช้พลังงานในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยส่วนมากจะใช้ไอน้ำหรือกระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อน

พัดลมที่ทางออกใช้เพื่อดูดอากาศออกจาก ไซโคลน พัดลมด้านทางออกโดยปกติทำงานโดยใช้กำลังสูงกว่าพัดลมดูดอากาศเพื่อที่จะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในห้องอบแห้ง ท่อ และ ไซโคลน ดังนั้นความดันของอากาศภายในห้องอบจะมากกว่าความดันบรรยากาศเพียงเล็กน้อย ความดันของอากาศกกว่าเล็กน้อยนี้จะช่วยทำให้หลีกเลี่ยงการเกิด การรั่วไหลของผลิตภัณฑ์ผงที่ติดอยู่กับอากาศจากการทำแห้งหลุดลอยออกไป ในส่วนของอากาศร้อนที่เข้าไปยังห้องอบแห้งจะผ่านไปยังอากาศเดิมที่ฟุ้งกระขายอยู่ทำให้มีการผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน และยังมีผลทำให้เกิดการผสมกันของอากาศร้อนกับหยดที่ถูกพ่นฝอยภายในห้องอบแห้งอีกด้วย

❖ หัวพ่นฝอย

การพ่นฝอยคือขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในขณะที่กำลังดำเนินการทำแห้ง ขั้นตอนการพ่นฝอยทำการผลิตพื้นที่ผิวการทำแห้งขนาดใหญ่ระหว่างหยดผลิตภัณฑ์กับตัวแปรทำแห้งอื่นๆ การกระจายตัวของหยดทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวโดยรวมกขึ้นนี้ก็เพื่อทำให้มีการถ่ายเทมวลและความร้อนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น พื้นที่โดยรวม 1 ลูกบาศก์เมตรของของเหลว อาจจะประมาณได้ว่า มีหยดของเหลวขนาด 100 ไมครอน อยู่ประมาณ 2X1012 อนุภาค มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 60000 ตารางเมตร (Bayvel and Orzechowki, 1993) ขนาดพื้นที่ผิวที่ใหญ่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อน้ำถูกระเหยออกเมื่อเวลาผ่านไป โดยอัตราการระเหยแปรผันโดยตรงกับขนาดพื้นที่ผิวที่มีการถ่ายเทมวลและความร้อน ประสิทธิภาพการทำแห้ง, คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และความเหมือนกันของผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของตัวทำละออง การพ่นฝอยมีผลต่อขนาดของละออง การกระจายตัวของละออง เส้นรอบวงที่กระจายตัว และความเร็ว คุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ การออกแบบห้องอบแห้งรวมไปถึงพลังงานที่ต้องการในการทำแห้ง

การจะดูผลของการพ่นฝอยโดยปกติจะดูที่ขนาดละอองฝอยเฉลี่ยที่ออกมาและการกระจายตัวของละอองฝอย เพราะว่าขณะที่ทำการพ่นจะมีขนาดที่ไม่เท่ากันแต่จะมีขนาดใกล้เคียงกัน ขนาดละอองฝอยหรือการกระจายตัวของละอองฝอยเป็นตัวแปรหนึ่งในการเลือกใช้ตัวทำละออง ในการกำหนดเงื่อนไขการพ่นฝอยรวมถึงลักษณะการป้อน เช่น ความเร็ว หรือ แรงตึงผิว เป็นต้น ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เหลวที่ป้อนมีผลเล็กน้อยต่อการกระจายตัวเนื่องจากขนาดของละอองฝอยไม่ได้แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างของความหนาแน่นมากนัก ความหนืดของของเหลวและแรงตึงผิวบางครั้งก็มีผลแต่บางครั้งก็ไม่ได้มีผลมากนักกับลักษณะในการพ่นฝอย กล่าวคือ ความหนืดของของเหลวมีอิทธิพลไม่เฉพาะแค่ขนาดเฉลี่ยของหยดและขนาดของการกระจายตัวแต่ยังมีผลต่ออัตราการป้อนและรูปแบบในการพ่นฝอยอีกด้วย ถ้ามีความหนืดมากจะทำให้ค่าเรย์โนวนัมเบอร์มีค่าน้อยและยังขัดขวางการพุ่งออกของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหัวพ่นฝอยไม่ให้เป็นลักษณะแบบเป็นลำ(jet)และแผ่น (sheet) ประกอบกับการกระจายตัวที่ช้าเมื่อทำการพ่นฝอยทำให้ขนาดของละอองฝอยมีขนาดใหญ่พอๆกัน การป้อนวัตถุดิบเหลวที่มีแรงตึงผิวและมากๆ ก็จะทำให้ขนาดของละอองฝอยที่พ่นออกมามีขนาดใหญ่

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับพ่นฝอยเรียกว่า ตัวทำละออง (atomizer) ตัวทำละอองสามารถใช้เป็นชิ้นส่วนเดี่ยวๆ หรือเป็นกลุ่ม การเลือกและการนำไปปฏิบัติการของหัวพ่นฝอยมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในด้านเศรษฐศาสตร์ ก็คือทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพและมีปริมาณตามความต้องการทางเศรษฐศาสตร์ ตัวทำละอองแต่ละตัวจะทำงานได้ที่ข้อจำกัดหนึ่งๆซึ่งถูกออกแบบไว้ สามารถแยกประเภทของตัวทำละอองออกได้โดยแบ่งตามพลังงานที่ใช้ จำนวนและรูปร่างของออริฟิส รูปแบบการปฏิบัติการ(ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง) และรูปทรง แต่โดยปกติจะใช้การแบ่งประเภทของตัวทำละอองโดยใช้เกณฑ์คือประเภทพลังงานที่นำไปใช้ ซึ่งทำให้จำแนกได้เป็น 4 ประเภท ที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยในระดับอุตสาหกรรม

1.แบบจานหมุนหรือจานเหวี่ยง (rotary whell/disk) ใช้พลังงานเหวี่ยง

2.แบบหัวฉีดแรงดัน (pressure nozzles) ใช้พลังงานแรงดัน

3.แบบหัวฉีดของไหลสองชนิด (two fluid nozzles) ใช้พลังงานความดันและก๊าซ

4.แบบหัวฉีดโซนิก (sonic nozzles) ใช้พลังงานโซนิก

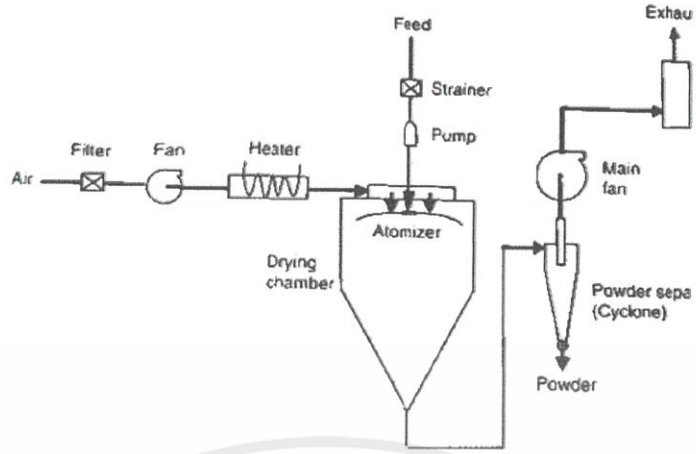
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของละอองที่เกิดจากหัวฉีดโซนิกจะมีลักษณะแตกต่างไปจากประเภทอื่น หัวพ่นฝอยโซนิกจะใช้ความถี่คลื่นเสียงระดับโซนิกในการสร้างให้ละอองที่พ่นฝอยออกไปมีรูปลักษณ์ที่พ่นออกไปเป็นแบบถ้วย ตัวทำละอองชนิดจานหมุนและชนิดหัวฉีดแรงดันถูกใช้อย่างกว้างขวางในการดำเนินการทำแห้งแบบพ่นฝอยในปริมาณมากๆ หัวฉีดแบบลมถูกใช้ในการดำเนินการทำแห้งในระดับเล็กและระดับกลาง ตัวทำละอองชนิดโซนิกมักใช้ในการดำเนินการทำแห้งในระดับเล็กของผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาในการกระจายตัวซึ่งยากในการทำให้เป็นละอองโดยใช้ตัวทำละอองชนิดอื่นๆ นอกจากนี้การใช้ตัวทำละอองชนิดโซนิกอาจจะเพื่อสำหรับการผลิตที่ต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความพิเศษเฉพาะ

รูปแบบของการพ่นฝอยถูกกำหนดโดยรูปร่างและขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพ่นฝอยโดยหัวพ่นฝอยรูปแบบในการพ่นฝอยสำคัญมากเพราะมีผลต่อการทำทำแห้งของละอองที่พ่นออกมากล่าวคือละอองที่พ่นออกมาภายในห้องอบแห้งจะทำการผสมกับอากาศร้อนและระเหยได้ดีเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการพ่นฝอย นอกจากนี้รูปแบบของการพ่นฝอยยังมีผลต่อการออกแบบห้องอบแห้ง ระบบควบคุม การติดอยู่กับผนังห้องทำแห้ง และการหาคุณลักษณะบางประการของละอองที่ถูกพ่นออกมา อาทิเช่น ความหนาแน่น ความเร็วเส้นโคจรและขนาดเมื่อเทียบกับเวลาและพื้นที่ในการทำแห้ง การพ่นฝอยที่มีรูปแบบการพ่นฝอยที่มีลักษณะเนื้อเดียวจะทำให้เกิดข้อดีมากเพราะจะทำให้การกระจายตัวของขนาดของละอองนั้นมีขนาดเล็กที่สุด ประเภทของรูปแบบของการพ่นฝอยเป็นผลมาจากการประกอบกันของไฮโดรไดนามิกและแอโรไดนามิก ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบที่ป้อนและก๊าซร้อนที่ใช้ทำแห้ง ตัวทำละอองแบบจานหมุน แบบหัวฉีดแรงดัน แบบหัวฉีดของไหลสองชนิด โดยทั่วไปจะได้รูปแบบการพ่นเป็นแบบโคน ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของความดันและก๊าซที่ใช้งาน การพ่นลักษณะโคนที่มีรูกลวงสามารถทำให้กลายเป็นการพ่นลักษณะโคนเต็มคือไม่มีรูกลวงได้โดยการปรับความเร็วตามแนวแกนของวัตถุดิบที่ถูกพ่นออกมาจากหัวฉีด ตัวทำละอองแบบจานหมุนทำให้ได้โคนที่มีฐานกว้าง ซึ่งบางทีอาจจะมองว่าคือการพ่นฝอยแบบกลุ่มเมฆ ทำให้ได้ขนาดหยดที่มีขยาดเล็ก แต่ถ้าหากต้องการขนาดเล็กมากๆควรใช้เป็นตัวทำละอองชนิดโซนิกซึ่งจะทำให้ละอองมีขนาดเล็กกกว่าหัวพ่นฝอยแบบจานหมุน

กระบวนการพ่นฝอยโดยทั่วไปคือการทำให้เป็นหยดที่มีลักษณะเป็นทรงกลม แต่ทว่าอนุภาคที่ถูกทำแห้งอาจจะไม่ได้มีรูปร่างและขนาดที่เหมือนกัน ขนาดและรูปร่างที่กระจายตัวของละอองมีผลมาจากการป้อนวัตถุดิบ, ความเข้มข้นของวัตถุดิบ,ประเภทของตัวทำละออง และรูปแบบของอากาศที่ใช้ทำแห้ง ส่วนพื้นผิวลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคมีผลมาจากประเภทของตัวทำละออง, เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง, การชนกันของอนุภาค และการออกแบบห้องอบแห้ง ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยและผลต่างๆของอนุภาคสามารถอธิบายได้ด้วย เส้นผ่านศูนย์กลางปริมาตร-พื้นผิวโดยเฉลี่ย (Suater mean diameter, D32) ตัวทำละองแบบจานหมุน ,แรงดัน และลม ใช้สูตรของ log-nomal,Rosin-Rammler and Nukiyama-Tanasawa distributions ตามลำดับ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 องค์ประกอบในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

(Chen and Mujumda, 2008)

2.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะของผลิตภัณฑ์ผง

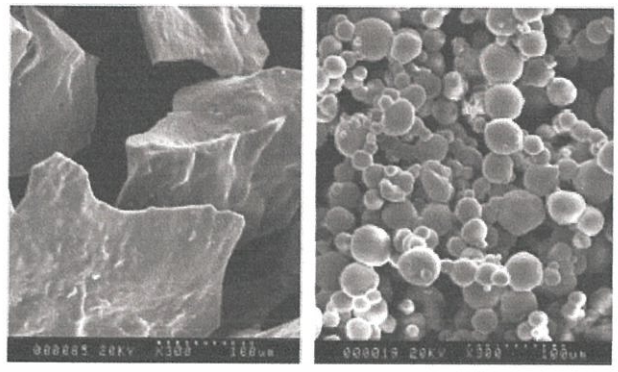
- โครงสร้างในระดับไมโคร

ในปัจจุบันเรามีอุปกรณ์มากมายที่ใช้ในการมองเพื่อดูลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ผง ปัจจัยต่างๆตั้งแต่อัตราการทำแห้งไปจนถึงเงื่อนไขต่างๆที่ใช้ในการทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีผลต่อลักษณะโครงสร้างของอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงที่จะเกิดขึ้นทั้งสิ้น ตัวอย่างเช่น

- ใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่ต่ำจะทำให้โครงสร้างอนุภาคเกิดการหดเนื่องจากการแพร่ของน้ำที่ช้าทำให้มีเวลาเหลือพอที่จะทำให้โครงสร้างเสียหาย
- ใช้อุณหภูมิที่สูงในการทำแห้งจะทำให้โครงสร้างของอนุภาคเกิดการขยายตัวเนื่องจากน้ำในอนุภาคที่เดือดและเกิดการกระจายและการขยายตัวของอากาศในอนุภาค
- ใช้อัตราการทำแห้งที่สูงจะทำให้โครงสร้างจะหดตัวเล็กน้อยและจะมีผิวเรียบ แต่บางครั้งก็มี การแตกหักและมีรูพรุน
- ใช้อัตราการทำแห้งต่ำจะทำให้โครงสร้างหนาแน่นแต่มีลักษณะเปลือกที่ผิดปกติกว่าทั่วไป

การเข้าใจลักษณะโครงสร้างต่างๆ ที่เกิดขึ้นของอนุภาคว่ามีผลมาจากปัจจัยใดจะช่วยทำให้สามารถแก้ไขปรับปรุงการดำเนินการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีลักษณะตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 โครงสร้างในระดับไมโครของผลิตภัณฑ์ผงจากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (ซ้าย) และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (ขวา) (Caparino et al., 2012)

- ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาค

อนุภาคผงที่ถูกทำแห้งสามารถจำแนกตามลักษณะสัณฐานวิทยา ได้เป็น 3 ประเภท (Walton and Munfold, 1999)

❖ รูปแบบผิว

การทำอาหารให้มีลักษณะเป็นผงส่วนมากจะมีรูปแบบของอนุภาคเป็นแบบนี้ เนื่องด้วยอนุภาคเหล่านี้มักมีชั้นนอกสุดของอนุภาคเป็นของแข็งซึ่งก็คือพื้นผิวของอนุภาค ตัวอย่างของอาหารที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นแบบนี้ ได้แก่ นมขาดมันเนย, นมไขมันเต็ม ,โยเกิร์ต ,กาแฟ, แป้ง, ครัชตาร์ท, เจลาติน และแลคโตส เป็นต้น ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่จำแนกเป็นประเภทรูปแบบผิวมีลักษณะได้หลากหลาย อาทิเช่น รอยเว้า รอยแตก รอยยับ เป็นต้น เมื่อสังเกตไปถึงระดับโครงสร้างของอนุภาคอาจจะพบว่า มีรู หด แตกหัก เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคส่วนใหญ่จะมีรูปร่างปรกติหรือเป็นทรงกลม

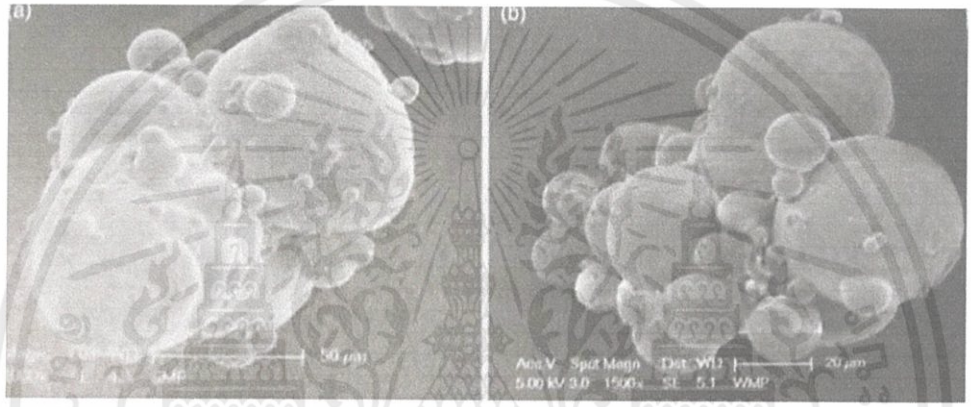
❖ ผลึก

อนุภาคที่มีลักษณะเป็นผลึก สารอนินทรีย์จะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นแบบนี้ อนุภาคที่มีลักษณะผลึกนี้จะมีลักษณะที่สัณฐานวิทยาที่จำกัด คือ การแตกหักและการเกิดหลุมอากาศ และยังมีรูปร่างที่ไม่ปกติไม่เหมือนกับอนุภาคที่มีลักษณะที่สัณฐานวิทยาประเภทรูปแบบผิว อาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตอย่างเช่น กลูโคส แม้ว่าจะถูกนิยามให้เป็นอนุภาคที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นประเภทผลึก แต่ที่พื้นผิวยังคงมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นประเภทรูปแบบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ กลุ่มก้อน

อนุภาคที่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนเกิดจากอนุภาคที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาประเภทรูปแบบผิวหรือประเภทโปร่งแสง ตั้งแต่สองอนุภาคขึ้นไปมารวมกันด้วยพันธะ มีแนวโน้มจะที่เป็นผงสำเร็จรูปเพราะว่าการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนมีการฟุ้งกระจายที่ดีและละลายตัวทำละลายได้ดี เนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมผ่านเข้าได้เข้าไปในเนื้อสารได้ง่ายทำให้อนุภาคจมลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับอนุภาคเดี่ยวๆ นอกจากนี้ลักษณะกลุ่มก้อนของอนุภาคนี้ทำให้มีเศษฟุ้งกระจายน้อยและลอยตัวได้ดีทำให้ได้ผลผลิตมากเมื่อทำการผลิต (Retsina, 1988) เมื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคกลุ่มก้อนจะพบว่ามีลักษณะเป็นปล่อง เป็นหลุมอากาศ และมีรอยแยก



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาแบบกลุ่มก้อนของผลิตภัณฑ์ (ซ้าย) นมพร่องมันเนยและ (ขวา) นมไขมันเต็ม (Walton and Munfold, 1999)

2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ผง

คุณสมบัติทางกายภาพมีอิทธิพลอย่างมาก คุณสมบัติทางกายภาพนั้นส่งผลต่อ การประเมินราคาของผลิตภัณฑ์ วิธีการจัดเก็บ วิธีการบรรจุ และวิธีการขนส่งภายในห่อ นอกจากนี้ยังมีผลต่อฟังก์ชั่นของผลิตภัณฑ์อาทิ ความเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ขณะที่เก็บ การแพร่กระจาย การลอย ความสามารถในการละลาย และการผสมเข้ากันกับผลิตภัณฑ์ผงอื่นๆ

คุณสมบัติบางประการที่ดี ที่มักถูกใช้พิจารณาในอุตสาหกรรมอาหารและการประเมินของผู้บริโภค คือ

1. ความชื้นของผลิตภัณฑ์ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 2-5 % โดยน้ำหนัก
2. ความหนาแน่นของอนุภาคควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0 -1.5 กรัมต่อมิลลิลิตร
3. ขนาดอนุภาคเฉลี่ยควรอยู่ที่ 10 – 200 ไมโครกรัม
4. ความหนาแน่นโดยรวมควรอยู่ที่ 0.4-0.7 กรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความสามารถในการลอยตัวของอนุภาค ควรลอยขึ้นไปทำมุมอยู่ที่ประมาณ 35 องศา คุณสมบัตินี้มีผลต่อการออกแบบการเก็บผลิตภัณฑ์ การบรรจุ การออกแบบระบบท่อ เป็นต้น เพราะถ้ามุมน้อยกว่า 30 องศานั้นแสดงว่าผลิตภัณฑ์ผงสามารถลอยตัวได้อย่างอิสระ แต่ถ้ามุมมากกว่า 57 องศาแสดงว่าผลิตภัณฑ์ผงมีความหนืด ส่วนถ้าค่าองศาอยู่ระหว่าง 30-57 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ผงเป็นแบบกึ่งลอยตัวอิสระ
6. ความสามารถในการละลาย สามารถละลายได้ประมาณ 92 – 99%
7. ความสามารถในการดูดซับความชื้นของพวกผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปประมาณ 10- 60 วินาที
8. ความสามารถในการจม ควรจะมีการจมอย่างรวดเร็วเมื่อทำการละลาย
9. ความสามารถในการกระจายตัวในน้ำ ต้องสามารถกระจายตัวได้ดี

นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพชนิดหนึ่งที่มีผลอย่างมากในขณะที่ดำเนินการทำแห้ง นั้นก็คืออุณหภูมิที่ใช้ในในการเปลี่ยนผ่านไปเป็นลักษณะแก้วของผลิตภัณฑ์ (Glass- transition temperature:Tg)

- คุณสมบัตินี้มักพบในวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของของแข็งจำพวกที่มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นของแข็งสัณฐาน เช่น แลคโตส ฟรุคโตส กลูโคส เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิของฝอยที่พ่นอยู่ในห้องอบแห้งควรสูงมากกว่าอุณหภูมิ Tg ไม่เกิน 5 – 20 องศาเซลเซียส หรือจะให้ดีควรจะน้อยกว่าอุณหภูมิ Tg เพราะว่าถ้าไม่เป็นไปตามที่กล่าวแล้วจะทำให้โครงสร้างขององค์ประกอบของวัตถุดิบที่พ่นฝอยออกมาที่มีโครงสร้างอสันฐานจะเปลี่ยนแปลงไปทำให้เกิดความเหนียวขึ้นกับตัวผลิตภัณฑ์ที่กำลังทำแห้งทำให้ ผลิตภัณฑ์ไปติดยังผนังของห้องอบแห้งหรือมีการรวมกันกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหนียวและไม่แห้งเป็นผง

2.3.4 การประยุกต์การทำแห้งแบบพ่นฝอยกับวัตถุดิบบางชนิด

- ผลิตภัณฑ์ผงจากนม
  - ❖ นมขาดมันเนย

ในปัจจุบันสามารถทำแห้งนมขาดมันเนยให้เป็นผงได้สูงถึง 25 ตันต่อชั่วโมง การทำแห้งนมขาดมันเนยนี้ยังรวมไปถึงการทำให้นมขาดมันเนยมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจาก 12-14 % น้ำหนักของของแข็ง เป็น 50-55% น้ำหนักของของแข็ง อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกที่ใช้อยู่ที่ประมาณ 180 – 230 องศาเซลเซียส และ 70-95 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีความชื้นอยู่ที่ 3-3.5 % ความชื้นฐานแห้ง การผลิตให้ได้นมขาดมันเนยผงที่ลักษณะแตกต่างกันออกไปนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเวย์ที่อยู่ในน้ำนมขณะที่ทำการอุ่นว่ามีปริมาณเท่าใด โปรตีนเวย์และเคซีน ไมซีรีส ที่ผสมกันอยู่ในนมขาดมันเนยนั้นเป็นตัวทำให้เกิดนมขาดมันเนยผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแต่จะไปใช้งาน อาทิเช่น ความสามารถในการดูดซับน้ำสูง, ปริมาตรสูง ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง และการพัฒนากลิ่นของอาหารคอนเฟ็ก

แล็กโตสก็เป็นส่วนประกอบหลักในนมขาดมันเนย นมขาดมันเนยผงจะมีปริมาณแล็คโตสอยู่มากกว่า 50% ซึ่งช่วยให้นมผงขาดมันเนยสามารถดูดซับความชื้นได้ดีเนื่องจากแล็กโตสมีโครงสร้างเป็นของแข็งอสันฐานเพราะฉะนั้นเวลาที่เก็บนมผงขาดมันเนยจึงเก็บในที่ที่มีการควบคุมความชื้น แต่ถ้าหากขณะที่ทำแห้งนั้นแล็คโตสเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นผลึกความสามารถในการดูดซับความชื้นของนมผงขาดมันเนยก็จะลดลง

❖ นมไขมันเต็ม

การทำนมผงไขมันเต็มมักจะใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกต่ำกว่าการทำนมผงขาดมันเนยเล็กน้อย เนื่องด้วยปริมาณไขมันกในน้ำนมซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดความหนืดขณะดำเนินการทำแห้ง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์ไปติดอยู่ที่บริเวณห้องอบแห้ง เนื่องด้วยนมผงไขมันเต็มมีไขมันอยู่ตามผิวของหยดที่ถูกพ่นออกมาก ทำให้ผงไม่เกาะกันเป็นก้อนและยังละลายน้ำได้ดี บ่อยครั้งจะมีการใช้เลซิตินในการพ่นไปยังผลิตภัณฑ์ผงขณะที่ทำแห้งแบบใช้ลมร้อนเป่าเพื่อที่จะเคลือบไขมันบนผิว

❖ โปรตีนเวย์

เวย์ที่นำมาทำแห้งได้คือชีสเวย์หรือเวย์ชนิดหวาน มักอยู่ในรูปของเวย์เข้มข้น 35-80 % อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าที่ใช้อยู่ที่ประมาณ 160 -190 องศาเซลเซียส ในปัจจุบันนิยมทำเวย์เป็นก้อนโดนใช้เทคนิคเครื่องทำแห้งแบบเป่าด้วยลมร้อนเข้ามาช่วยในการทำแห้งแบบผงของโปรตีนเวย์ที่มีความเข้าข้นสูงในขณะที่มีปริมาณแลคโตสน้อยๆ ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดการจับตัว

นอกจากนี้ยังมีการทำแล็คโตสผงซึ่งนิยมนำไปใช้ในกันอุตสาหกรรมยา,ฟู้ดเกรด และอินดัสเตียลเกรด ซึ่งแล็คโตสผงที่เป็นก้อนจับจะมีความชื้นอยู่ที่ประมาณ 15 -20% โดยน้ำหนัก

- ผลิตภัณฑ์ผงจากวัตถุดิบที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ

ผลไม้ ผัก และน้ำผึ้ง คือ ผลิตภัณฑ์จำพวกที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบและกรดอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ พวกวัตถุดิบประเภทนี้เวลาที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นจำเป็นต้องมีตัวพา (carrier) หรือก็คือตัวช่วยในการทำแห้งมาผสมร่วมด้วยเพื่อป้องกันความเหนียวที่เกิดขึ้นขณะที่กำลังทำแห้ง ซึ่งความเหนียวนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ติดผนังของห้องอบแห้ง ไซโคลน สายพาน หรือแม้กระทั่งระบบการบรรจุ รวมทั้งยังทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ผลได้ที่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาเรื่องความเหนียวของวัตถุดิบนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนผ่านไปเป็นแก้ว (glass–transition temperature) อนุภาคที่ถูกทำให้แห้งแล้วกลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่แห้งและได้ออกมาจะมีการเรียกว่า “แก้ว” ในบางครั้งอาจกล่าวได้ว่าเวลาที่วัตถุดิบกำลังรวมตัวเพื่อเป็นของแข็งนั้นน้อยเกินไปเมื่อเทียบกับความเร็วที่น้ำระเหยออกไปทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีลักษณะเหนียวหนืดอยู่ แต่ถ้าหากเรามองในมุมของอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนผ่านไปเป็นแก้วนั้นจะพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนผ่านต่ำกว่าอุณหภูมิขาออกของอากาศที่ใช้ทำแห้ง นั้นหมายความว่าผลิตภัณฑ์จะยังคงเหนียวอยู่เมื่อมีการทำแห้ง แม้ว่าจะทำการอบแห้งที่ความชื้นต่ำๆแล้วก็ตาม ในทางปฏิบัติจะพบว่าอุณหภูมิพื้นผิวของอนุภาคไม่ควรสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนผ่าน 10 – 20 องศาเซลเซียส เพราะฉะนั้นวิธีการในการแก้ปัญหาเพื่อที่จะทำให้เปลี่ยนผ่านสูงกว่าอุณหภูมิพื้นผิวของอนุภาค จึงมีการเติมสารที่มีมวลโมเลกุลสูงเข้ามาเพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิเปลี่ยนผ่านกลายเป็นแก้วสูงขึ้น

ตัวอย่างสารที่มีมวลโมเลกุลสูงที่ถูกเติมเข้ามา คือ มอลโตเดกตริน การเติมสารจำพวกนี้เข้าไปเสมือนเป็นการเจือจางวัตถุดิบเดิมให้มีความเข้มข้นลดลง

- ผลิตภัณฑ์ผงจากไข่

การทำแห้งแบบผงของผลิตภัณฑ์จำพวกไข่ทำได้ทั้งไข่ทั้งฟอง เฉพาะไข่แดงหรือเฉพาะไข่ขาว ผลิตภัณฑ์ผงจากไข่นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนมปัง เพราะว่ายืดอายุการเก็บและยังปลอดภัยจากเชื้อแบคทีเรีย ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะอยู่ที่ประมาณ 4 - 9% การทำแห้งเฉพาะไข่ขาวนั้นจะมีปัญหามากกว่าเนื่องจากมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งจะทำการกำจัดได้โดยการหมักด้วยแบคทีเรียหรือยีสต์หรือเอมไซม์ เพราะว่ากลูโคสจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างที่เก็บไว้ นอกจากนี้ยังมีการเติมเกลือเข้าไปเพื่อช่วยป้องกันโปรตีนขณะโดนความจากการทำแห้ง อุณหภูมิขาเข้าและขาออกของลมร้อนที่ใช้อยู่ที่ 145-200 องศาเซลเซียส และ 80-90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2.3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Fang and Bhandari (2012) พบว่าถ้าไม่มีการเติมสารช่วยทำแห้งจะไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ผงได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะติดกับผนังห้องอบแห้ง การเติมสารช่วยทำแห้งเช่น เวย์โปรตีนไอโซเลส เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณวัตถุดิบที่ป้อน จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบที่ป้อน ในขณะเดียวกัน การเติมมอลโตเด็กตริน จะต้องเติมมากถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณวัตถุดิบที่ป้อน ถ้าต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงในปริมาณเท่ากับเวย์โปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jayasundera et al., (2011) จากการศึกษาพบว่า การเติมโปรตีนเข้าไปในสารละลายน้ำตาลฟรุคโตส ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงกขึ้น แต่ว่าจะต้องเติมในปริมาณกกว่าน้ำตาลซูโครสจึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงในปริมาณที่เท่ากัน และการเติมสารช่วยลดแรงตึงผิวที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็กลงไปในสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสและโปรตีนทำให้แรงตึงผิวลดลงแต่ว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่การเติมสารช่วยลดแรงตึงผิวที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็กลงไปในจะมีผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงในปริมาณที่ลดลงหรือไม่ได้ผลิตภัณฑ์ผงเลย

Cano et al., (2005) จากการศึกษาพบว่า การทำมะม่วงผงโดยใช้มอลโตเดกตริน, กัมอาราบิก และสตาร์ช แว็กซี่ เป็นสารช่วยทำแห้ง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีโครงสร้างอนุภาคเป็นของแข็งอสัณฐาน แต่เมื่อมีการเติมเซลลูโลสลงไป พบว่าความความเหนียวของวัตถุดิบลดลง แต่ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ที่ได้จะมีปริมาณลดลง เนื่องจากเกิดโครงสร้างอนุภาคบางส่วนกลายเป็นแบบผลึก

Caparinoa et al., (2012) จากการศึกษาพบว่า เมื่อทำการทำแห้งมะม่วงผงด้วยรีแฟคแตนท์วินโดร แบบระเหิด แบบพ่นฝอย และแบบลูกกลิ้ง สีของผลิตภัณฑ์จากรีแฟคแตนท์วินโดรจะคล้ายกับการทำแห้งแบบระเหิดแต่ว่าสีจะอ่อนกว่าแบบลูกกลิ้ง และจะเข้มกว่าแบบพ่นฝอย ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยเครื่องรีแฟคแตนท์วินโดรมากกว่าแบบระเหิดและแบบพ่นฝอย อุณหภูมิ Tg ของการทำแห้งทุกแบบไม่แตกต่างกัน โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยรีแฟคแตนท์วินโดรจะมีลักษณะเป็นสเก็ด ส่วนเครื่องทำแห้งแบบระเหิดจะเป็นรูพรุน ส่วนเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะเป็นเหลี่ยมๆ และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีลักษณะเป็นทรงกลม การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบรีแฟคแตนท์วินโดรจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับแบบระเหิด แต่จะดีกว่าแบบลูกกลิ้งและแบบพ่นฝอย

Adhikaria et al., (2004) จากการศึกษาพบว่า สมการที่สร้างมาในการทำนายความชื้นของผลิตภัณฑ์และค่า Tg ของวัตถุดิบมีความแม่นยำในการทำนายได้ค่าใกล้เคียงกับการทดลอง สมการที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการประมาณการปริมาณมอลโตเดกตรินที่ควรจะใส่เข้าไปเพื่อให้เหมาะสมกับการทำแห้งที่ต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงของน้ำผลไม้มีขนาดประมาณ 120 ไมครอน

2.4 การทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน

- **การทำแห้งอาหารด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง** (ดาริกาและคณะ, 2545)

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่ (Double dryer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำแห้งอาหารแห้ง โดยให้อาหารเหลวสัมผัสกับผิวที่ร้อนของลูกกลิ้ง 2 อัน ที่หมุนสวนทางกัน อาหารจะถูกรีดเป็นแผ่นบางๆและแห้งในระยะเวลาอันสั้นประมาณ 2-30 นาที มีใบมีดขูดอาหารแห้งออกมาเป็นแผ่นกรอบ (Flake) เพื่อใช้เป็นอาการว่าง เช่น ผัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลไม้แผ่นกรอบ หรือนำไปบดเป็นอาหารผงก็ได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จากเครื่องมือนี้ ได้แก่ นมผง ซุปผง ผักและผลไม้ผง อาหารเด็ก

- **หลักการทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน**

การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบคือ

❖ การนำความร้อน

เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ข้างเคียงสภาพการนำความร้อน เป็นคุณสมบัติของสารที่ประกอบกันขึ้นเพื่อเป็นวัตถุซึ่งจะมีค่าแตกต่างกัน สภาพการนำความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิและความร้อน ค่าสภาพการนำความร้อนของน้ำจะมีค่ามากกว่าค่าของวัตถุแห้งที่เป็นอาหาร ซึ่งจะเกิดกับอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง

❖ การพาความร้อน

จะเกิดกับอาหารที่เป็นของเหลวโดยกระแสความร้อนจะถูพาผ่านช่องว่างที่เป็นอากาศหรือแก๊สจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง

❖ การแผ่รังสี

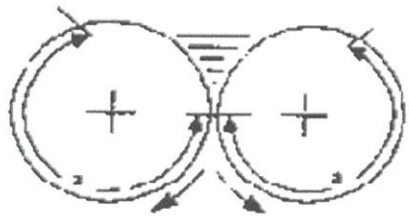
เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนไปยังอาหารซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีอบอาหารในสุญญากาศ และการอบแห้งแบบเยือกแข็ง

ในทางปฏิบัติ การถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งอาจเกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 หรือ 3 แบบ ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหารที่นำมาอบแห้ง

ในกระบวนการอบแห้งสิ่งที่สำคัญคือ การไล่ความชื้นออกโดยวิธีการระเหยซึ่งอาศัยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นเครื่องมืออบแห้งที่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนจากผิวลูกกลิ้งไปยังอาหารเหลวซึ่งเกาะติดที่ผิวของลูกกลิ้งโดยไอน้ำหรือไฟฟ้าเป็นตัวให้ความร้อน

ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนจากแหล่งความร้อน คือ ไอน้ำ ไปยังผิวลูกกลิ้งที่สัมผัสไอน้ำแล้วจะเกิดการนำความร้อนผ่านผนังลูกกลิ้ง และถ่ายเทไปให้กับอาหารเหลวที่เกาะติดอยู่บนผิวลูกกลิ้ง ความชื้นในอาหารเหลวที่มีอยู่จะระเหยออกไป และมีการพาความร้อนระหว่างผิวอาหารกับอากาศโดยรอบและเมื่อพิจารณาการเกาะติดของอาหารบนผิวลูกกลิ้งประมาณ 2 ใน 3 ของพื้นผิวลูกกลิ้ง ดังรูป โดย a คือระยะทางที่ของเหลวเริ่มอยู่บนผิวลูกกลิ้ง จนถึงที่ขูดออก ต่อระยะทางทั้งหมดของลูกกลิ้งที่เคลื่อนที่ได้ 1 รอบ

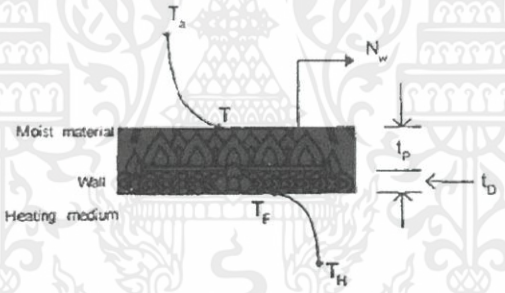
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะการหมุนของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และส่วน a

จากการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกของ Keey ได้ทำการศึกษา ภายใต้สมมติฐาน (Keey, 1987) ดังนี้

1. ภายใต้สภาวะคงที่
2. ความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มคงที่
3. ความหนาของผนังลูกกลิ้งเรียบสม่ำเสมอเท่ากันตลอด
4. ไม่มีช่องว่างของอากาศระหว่างสารที่มีความชื้นกับ Heating surface
5. ไม่คิดการสูญเสียความร้อน โดยการนำความร้อนผ่านแกนเพลาของลูกกลิ้ง
6. ไม่คิดการสูญเสียความร้อน ที่ด้านปิดทั้งสองของลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.18 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในการอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

จากลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการกำหนดสมมติฐานดังกล่าวจะได้สมดุลความร้อนและมวล ดังนี้

สมดุลความร้อนและมวล

$$UA_B(T_H - T) = mh_{fg} + h_cA(T - T_0)$$

$$Ua\pi DW(T_H - T) = mh_{fg} + h_c\pi DW(T - T_0)$$

$$Ua(T_H - T) = \frac{mh_{fg}}{\pi DW} + h_c(T - T_0)$$

$$Ua(T_H - T) = N_w h_{fg} + h_c(T - T_0)$$

$$N_w = \frac{Ua(T_H - T) - h_c(T - T_0)}{h_{fg}} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 องค์ประกอบของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

❖ โครงสร้างของลูกกลิ้ง

ตัวลูกกลิ้งสามารถสร้างด้วยสแตนเลสสตีล หรือวัสดุอื่นซึ่งมีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการที่ต้องการทำแห้งลูกกลิ้งที่สร้างด้วยเหล็กหล่อมาตรฐานจะสามารถทนความดันได้ถึง 100 psig และอาจจะหนาไม่สม่ำเสมอต้องกลึงผิวให้สม่ำเสมอกัน โดยปกติจะหนาประมาณ 32 ไมโครนิ้วหรือมากกว่า ลูกกลิ้งจะมีระบบกาลักน้ำอยู่ภายใน เพื่อป้องกันการสะสมของสารควบแน่น

❖ ชุดปรับระยะลูกกลิ้ง

การปรับช่องระหว่างลูกกลิ้งใช้สกรูเป็นตัวปรับดันให้ลูกกลิ้งตัวหนึ่งเคลื่อนเข้าหาลูกกลิ้งอีกตัวหนึ่งซึ่งตั้งอยู่กับที่ การปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งจะช่วยในการควบคุมความหนาของสารที่จะอบแห้ง สกรูที่ใช้ปรับจะติดกับแบริ่งที่รองรับเพลาของลูกกลิ้ง ดังนั้น เมื่อปรับสกรูให้เคลื่อนที่ แบริ่งก็จะเคลื่อนที่ด้วยเป็นผลให้ลูกกลิ้งเคลื่อนที่ นอกจากนี้วิธีการปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ยังสามารถจะใช้สปริงในการดันลูกกลิ้งเข้าหากัน แต่วิธีนี้จะปรับช่องว่างได้ในช่วงที่ไม่มากนัก

❖ ตัวกักขังสารละลาย (End boards)

หน้าที่ของตัวกักขังสารละลายจะช่วยกักขังสารละลายที่ต้องการอบแห้งให้อยู่ในขอบเขตของลูกกลิ้ง มิให้ไหลออกนอกพื้นผิวของลูกกลิ้ง ตัวกักขังสารละลาย (End board) ตั้งอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของลูกกลิ้ง ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งโดยการป้อนสารแบบปล่อย หรือพ่นสารลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งเท่านั้นโดยปกติตัวกักขังสารละลาย (End board) ทำด้วย Rein forced phenolic resin ซึ่งสามารถลดอัตราการดูดซึมและป้องกันการเน่าบูดของสารที่อบแห้งได้ ตัวกักขังสารละลาย (End board) จะต้องอยู่บนลูกกลิ้งได้โดยอาศัยแรงดันจากสกรูหรือสปริงที่ติดตั้งอยู่บนโครงของเครื่องอบแห้ง

❖ ใบมีด (Knife)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งมักจะติดตั้งใบมีดขนาดประมาณ 2.4 มิลลิเมตร ทำด้วย high grade tool steel ที่ผ่านการชุบแข็ง (Tempered) มาแล้ว เพื่อให้มีอายุการใช้งานนาน ใบมีดอาจทำด้วย เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel), ทองเหลืองแบน (phosphor bronze) หรือพลาสติกตามแต่คุณลักษณะของสารที่อบแห้ง ในกรณีที่ลูกกลิ้งมีความยาวมากกว่า 10 ฟุต จะใช้ใบมีดแบบแยกส่วน ใบมีดอาจติดตั้งให้อยู่กับที่หรือติดตั้งให้ปรับเปลี่ยนมุมของการขูดสารที่จะอบแห้งให้ได้สารที่มีขนาดสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ชุดปรับใบมีด (Knife adjustment)

ส่วนนี้จะใช้สกรูปรับความดัน (Pressure thumb screw) ขนาดประมาณ 2 นิ้ว เป็นตัวที่ทำให้ใบมีดสัมผัสของผิวของลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของลูกกลิ้ง โดยมีความตึงเพียงพอที่จะทำความสะอาดได้ทั่วทั่วผิวของลูกกลิ้ง และสามารถปรับใบมีดขึ้นเพื่อลับคมหรือเปลี่ยนได้

❖ อุปกรณ์เก็บไอน้ำจากการอบแห้ง (Vapor hoods)

ทำด้วยสแตนเลสสตีล, พลาสติก (Plastic) ทำหน้าที่ดูดไอน้ำจากการอบแห้ง ควรมีการป้องกันการเกิดการควบแน่น มิให้หยดบนเครื่องอบแห้ง

- **การแบ่งชนิดเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง**

การแบ่งชนิดเครื่องอบแห้ง แบ่งได้โดยใช้จำนวนลูกกลิ้ง ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งและลักษณะการป้อนสารให้เครื่องมือเป็นหลัก สามารถแบ่งได้ดังนี้

❖ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว (single drum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่ได้รับความร้อนหนึ่งชุด ส่วนใหญ่เป็นแบบที่ทำงานที่ความดันบรรยากาศ โดยการป้อนสารที่ต้องการอบแห้งได้หลายแบบ คือ การป้อนสารแบบจุ่ม (Dip feed) การป้อนสารแบบพุ่ย (Splash feed) ข้อเสียเปรียบของทั้งสองวิธีนี้ คือ แผ่นฟิล์มที่ติดบนผิวลูกกลิ้งมีความหนาไม่สม่ำเสมอ และอาจไหม้ได้ จึงมีการปรับปรุงวิธีการป้อนสารแบบป้ายติด (Transfer roll) โดยการเพิ่มลูกกลิ้งอีกหนึ่งหรือสองชุด เพื่อช่วยป้อนของเหลวจากถัง

❖ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double drum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ส่วนใหญ่มักเป็นการทำงานที่ความดันบรรยากาศ ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่ได้รับความร้อน 2 ชุดหมุนเข้าหากัน ป้อนของเหลวตรงช่องระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง ซึ่งสามารถปรับให้ชิดห่างกันได้ ข้อเสียของการป้อนระบบนี้ คือ ทำให้ของเหลวที่ได้มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูงและอาจมีผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของอาหารแห้งที่ได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการพ่นของเหลวลงบนผิวของลูกกลิ้งโดยตรง หรือในกรณีที่ของเหลวมีความหนืดไม่สูงมานัก อาจป้อนผ่านท่อที่เจาะรูไว้ตรงตำแหน่งเหนือระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งที่ความดันบรรยากาศนี้ไม่เหมาะกับของเหลวที่มีปริมาณน้ำ หรือตัวทำละลายมากเกินไปแต่ใช้ได้ดีกับของเหลวที่มีความหนืดสูง ในผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ไวต่อความร้อนหรือต้องการผลิตภัณฑ์แห้งที่มีคุณภาพดีขึ้นจะต้องทำให้แห้งภายใต้สุญญากาศ (Vacuum drum dryer) เพื่อลดจุดเดือดของน้ำในอาหารลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแฝด (Twin drum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแฝด มีลักษณะการใช้งานคลายเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ แต่ลูกกลิ้งทั้งสองหมุนออกจากกัน การออกแบบใช้แห้ปัญหาความยุ่งยากของระบบ ช่องห่างระหว่างลูกกลิ้งจะไม่มีผลต่อความหนาของแผ่นฟิล์มแต่ก็สามารถจะปรับได้ โดยใช้แบบจุ่ม คือ ให้ลูกกลิ้งจุ่มลงในถังบรรจุของเหลว แต่ถ้าของเหลวมีคุณสมบัติที่ไม่ติดเกาะกับลูกกลิ้ง แก้ไขได้โดยวิธีป้อนจากด้านบน

- **ระบบการป้อนสารอาหารเหลวที่ต้องการอบแห้ง แบ่งได้ดังนี้**

❖ การป้อนสารแบบจุ่ม (Dip feed)

การป้อนสารแบบจุ่มเป็นแบบที่ง่ายที่สุดที่ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว และบางครั้งใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแฝด ระบบนี้ประกอบด้วยถาดที่มีของเหลวที่ต้องการทำให้แห้ง ลูกกลิ้งจุ่มลงในถาดของสารละลาย โดยทั่วไปการป้อนสารแบบจุ่มใช้สารละลายซึ่งมีความเข้มข้นสูง และสามารถเกาะติดกับผิวลูกกลิ้งที่ร้อน

❖ การป้อนสารแบบพุ้ย (Splash feed)

การป้อนสารแบบพุ้ยใช้มากที่สุดกับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแฝด เมื่อสารที่ทำแห้งเป็นสารละลายข้น (Slurry) ระบบนี้ประกอบด้วย Revolving splash roll 2 ตัว ซึ่งมีความยาวเท่ากับความยาวของลูกกลิ้ง จะถูกย้ำด้วยหมุดซึ่งจุ่มลงไปในถาดป้อนสาร และพุ้ยสารละลายของเหลวข้นให้มาคนกับด้านล่างของลูกกลิ้ง บางส่วนของของเหลวจะตกกลับลงในถาดป้อนสาร ระดับของสารในถาดป้อนสารอาจทำให้คงที่ด้วยระบบ Over flow โดยการเปลี่ยนความเร็วรอบของการหมุนของ Splash roll แลกเปลี่ยนความลึกของหมุดที่จุ่มลงในสารละลายจะสามารถควบคุมความหนาของสารที่จะอบแห้งบนผิวลูกกลิ้งทั้งถาดป้อนสารและ Splash roll อาจทำด้วยสแตนเลสสตีลหรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม

❖ การป้อนสารแบบปล่อย หรือพ่นสารลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (Nip feed) แบ่งได้ดังนี้

Perforate manifold pipe feed

ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เมื่อสารที่จะทำให้แห้งมีความหนืดปานกลาง ของแข็งอยู่ในสภาพสารละลาย เครื่องมือการป้อนสารแบบนี้ประกอบด้วย Perforate pipe ติดตั้งขนานอยู่กับลูกกลิ้ง เพื่อให้สารละลายกระจายอย่างสม่ำเสมอลงบนผิวลูกกลิ้งตลอดความยาวของลูกกลิ้ง

Pendulum feed

ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เมื่อสารที่ต้องการทำแห้งมีความหนืดมาก จนไม่สามารถใช้ Feed ด้วย Perforate manifold pipe เครื่องมือนี้ประกอบด้วย Feed pipe ติดตั้งในแนวดิ่งตั้งฉากกับตัวลูกกลิ้ง เมื่อทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เคลื่อนที่โดย gear motor pipe จะแกว่งตามความยาวของลูกกลิ้ง และป้อนสารอย่างสม่ำเสมอในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง

การป้อนสารแบบป้ายติด (Transfer roll)

การป้อนสารแบบป้ายติดส่วนมากใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว การป้อนสารแบบป้ายติดจะประกอบด้วยลูกกลิ้งขนาดเล็กจุ่มอยู่ในถาดของเหลวบางส่วน และติดตั้งให้ลูกกลิ้งนี้สัมผัสกับลูกกลิ้งที่ร้อน ในขณะที่ลูกกลิ้งขนาดเล็กหมุนจะนำของเหลวไปสัมผัสติดกับลูกกลิ้งที่ร้อน ตลอดแนวความยาวของลูกกลิ้ง

2.4.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการทำแห้งของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

❖ ปริมาณความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน

ปริมาณความร้อนมีผลต่ออุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง เมื่อลูกกลิ้งได้รับความร้อนในปริมาณมากเกินไปทำให้อุณหภูมิสูงซึ่งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้ ในทางตรงข้าม ถ้าได้รับปริมาณความร้อนที่น้อย ผลิตภัณฑ์ก็จะไม่แห้ง

❖ ความเร็วของลูกกลิ้ง (Drum speed)

เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการทำแห้ง (Drying time) โดยกำหนดเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการหมุนครบ 1 รอบ หรือจำนวนรอบต่อนาที (rpm) ในการทำแห้งถ้าเพิ่มความเร็วรอบมากขึ้นระยะเวลาที่ของเหลวได้รับความร้อนน้อยลง ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้น แต่ถ้าลดความเร็วรอบลง ของเหลวได้รับความร้อนน้อยลง ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้น แต่ถ้าลดความเร็วลงของเหลวได้รับความร้อนเป็นเวลานานอาจไหม้ได้

❖ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Drum clearance)

ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม เพราะถ้าฟิล์มหนาเกินไป การระเหยของไอน้ำจากภายในชิ้นอาหารไปยังผิวทำได้ยาก ถ้าบางเกินไปย่อมเกิดความสูญเสียความร้อนไปกับไอน้ำที่ระเหยออกไปมากเกินไป

❖ อุณหภูมิเริ่มต้นของของเหลวก่อนป้อนเข้าเครื่อง (Feed temperature)

มีผลต่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งกับอุณหภูมิของของเหลวที่จะทำให้แห้ง ถ้าของเหลวมีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง อัตราการระเหยน้ำจะเกิดเร็วขึ้น ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งต่ำ แต่ถ้ามีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำเกินไป อัตราการระเหยน้ำจะช้าลงเพราะต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งไปทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นในผลิตภัณฑ์แห้งจึงสูง

❖ ปริมาณของแข็งในของเหลว (Solid content)

เป็นตัวแสดงความเข้มข้นของของเหลว พบว่าเมื่อใช้ความเร็วของลูกกลิ้งเท่ากัน ของเหลวที่มีปริมาณของแข็งสูงจะมีอัตราการผลิตสูงด้วย แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูงกว่าพวกที่มีปริมาณของแข็งน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ อัตราส่วนความชื้นในของเหลว

มีผลต่อแรงดึงดูดต่อลูกกลิ้ง ของเหลวควรมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 78-80 เป็นช่วงที่ดีที่สุดถ้าของเหลวมีความชื้นร้อยละ 45 หรือต่ำกว่านี้จะเกิดความเสียหายแก่เซลล์ของผลิตภัณฑ์

2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

ดาริกา และคณะ, (2545) ศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่ โดยใช้ปลายข้าวกล้องมาหุงต้มเป็นเวลา 20, 30 และ 40 นาทีก่อนบดละเอียด เพื่อป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่โดยศึกษาที่สภาวะต่างๆ คืออุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 105°C, 115°C และ 125°C ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.5, 0.8 และ 1.2 rpm พบว่าตัวแปรที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยเวลาที่ใช้หุงต้ม, อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่ได้

นฤดี และคณะ, (2544) ศึกษาปัจจัยการผลิตกล้วยหอมผง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่ โดยได้ศึกษาผลของปัจจัยการผลิตที่มีต่อความชื้นและ คุณภาพทางด้านสีของกล้วยหอมผง ได้แก่ ระดับการสุกหรือดัชนีสีเปลือกของกล้วยหอม (Peel Color Index, PCI), ความเข้าข้นของกล้วยบด, อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง และความหนาของฟิล์มอาหาร โดยทำการอบแห้งด้วยลูกกลิ้งหมุนที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 120, 130 และ 140°C และปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 และ 0.30 มิลลิเมตร พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกล้วยหอมผง คือที่ระดับการสุกของกล้วยหอม PC15 อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 130°C และใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร

Wadswarth et al., (1996) ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งมันฝรั่งแผ่นบางกรอบ (Potato Flake) โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่ อัตราการการทำแห้งพิจารณาจากปริมาณมันฝรั่งแผ่นบางกรอบที่ผลิตได้ต่อชั่วโมง-ตารางฟุต และพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง คือความเร็วในการหมุนของลูกกลิ้ง, ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งและปริมาณของแข็งของอาหารที่เปื้อน

พรศักดิ์ มนัสศิริเพ็ญ, (2534) กล่าวถึงหลักในการปฏิบัติเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ดี อาหารเหลวจะต้องมีความข้นหนืดและไหลได้พอสมควร เครื่องอบแห้งชนิดนี้เหมาะสมที่ใช้กับอาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบสูง หากอาหารที่มีน้ำตาลสูง น้ำตาลจะไหม้ติดลูกกลิ้งได้ ลูกกลิ้งทรงกระบอกจะต้องมีรูปทรงสม่ำเสมอ ผิวราบเรียบและสะอาดตลอดความยาวของลูกกลิ้ง ความเร็วของหารหมุนของลูกกลิ้งจะขึ้นกับอุณหภูมิ เส้นผ่านศูนย์กลางและช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pua et al., (2005) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความเข้มข้นของ soy lecithin และ Gum Arabic ที่ใช้ในการทำแห้งผงขนุน โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่ โดยได้ทำการศึกษาการอบแห้งที่สภาวะ ค่าความเร็วรอบ 1 rpm, ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 in, ความดัน 2.3 bar, ความเข้มข้นของ soy lecithin และ Gum Arabic 1%-5% และ 5%-15% พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนุนผงพิจารณาจากค่า moisture content, bulk density, ค่าสี โดยใช้ระบบ Hunter L, a, b และการทดสอบความชอบของขนุนผง พบว่าความเข้มข้นของ soy lecithin 2.65% และความเข้มข้นของ Gum Arabic 10.28% ที่เติมลงในขนุน 40% v/w water เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งขนุนผง

Pua et al., (2010) จากผลการทดลองการผลิตขนุนผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่นั้นพบว่าแรงดันไอน้ำ และ ความเร็วรอบในการหมุนของลูกกลิ้งนั้นมีผลอย่างมากโดยการใช้แรงดันไอน้ำที่น้อยกว่า 0.05 นั้นจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวม ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ และค่าวอเตอร์เอกติวิตี้จะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของลูกกลิ้ง โดยค่าที่เหมาะสมในการดำเนินการคือ แรงดันไอน้ำ 336 kPa, ความเร็วในการหมุน 1.2 rpm เพื่อให้ผงขนุนที่ได้มีคุณภาพที่เหมาะสม

2.5 กระบวนการเอนแคปซูเลชั่น

Encapsulation หมายถึงกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสาร ถูกเคลือบ ยึดจับ หรือ ห่อหุ้มอย่างมิดชิด ด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบหรือ ถูกยึดจับไว้ ส่วนใหญ่จะเป็น ของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซ ซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating

2.5.1 หลักการของการเอนแคปซูเลชั่น

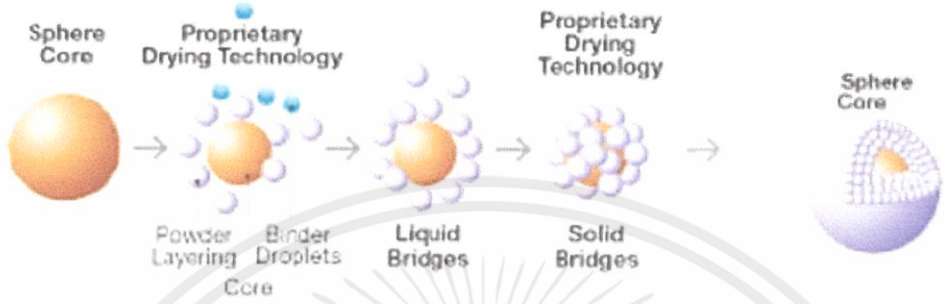
- **จุดประสงค์ของการเอนแคปซูเลชั่น**

1. ป้องกันการสลายตัวของสารถูกกักเก็บโดยลดการทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกเช่น ความร้อน แสง ความชื้นและอากาศ
2. ช่วยรักษากลิ่น
3. ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
4. ลดการระเหยหรืออัตราการถ่ายเทมวลของสารถูกกักเก็บไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก
5. ช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา
6. ควบคุมการปลดปล่อยของสารถูกกักเก็บ (Madene *et al.*, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ขั้นตอนการเอนแคปซูเลชั่น**

โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบโดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือ โปรตีน ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง



รูปที่ 2.19 การเกิด wall material (http://www.omixjuice.com)

2.5.2 การแอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

การ Encapsulate สารให้กลิ่นรสสามารถทำได้หลายวิธี วิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายใน ระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และ เอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคอื่นๆเช่น สเปรย์ชิลลิงและคูลลิง (spray chilling and cooling), coacervation,การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟูลอิดไดส์เบด (fluidized bed coating), การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (liposome entrapment), inclusion complexation และ เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

- ขั้นตอนการเอนแคปซูเลชั่นด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

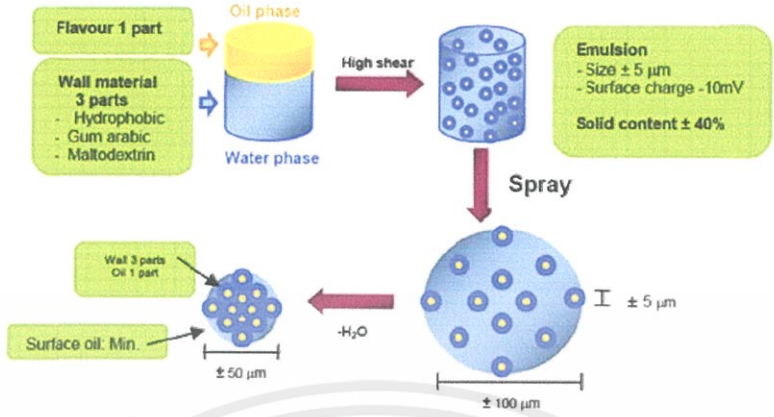
กระบวนการ Encapsulation แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน (Shahidi and Han., 1993)

ขั้นตอนแรกเป็นการทำอิมัลชั่น แบบ Oil-In-Water ระหว่างน้ำมันกลิ่นรสกับ วัสดุที่เป็นชั้นผนัง เช่น ไฮโดรโฟบิกสตาชร์, มอลโทเด็กตรินซ์, กัมอะราบิก และแป้งดัดแปรต่างๆ เป็นต้น โดยกลไกการเกิดอิมัลชันคือการทำให้ของเหลวแตกตัว กระจายเป็นหยดขนาดเล็กๆ ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลว 2 ชนิด สามารถทำได้ด้วยการใช้ แรงกล เช่น การผสม (mixing) ด้วยเครื่องผสม (mixer) การฮอโมจิไนซ์ (homogenization) ด้วยเครื่องฮอโมจิไนซ์ (homogenizer) เครื่องบดคอลลอยด์ (colloid mill)

ขั้นตอนที่สอง ทำการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เพื่อทำให้อิมัลชันคงตัว และเพื่อไม่ให้แยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ ด้วยการลดแรงตึงผิวของของเหลว ทั้งสองส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนเป่าผ่าน



รูปที่ 2.20 กลไกการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส (Werawat, 2009)

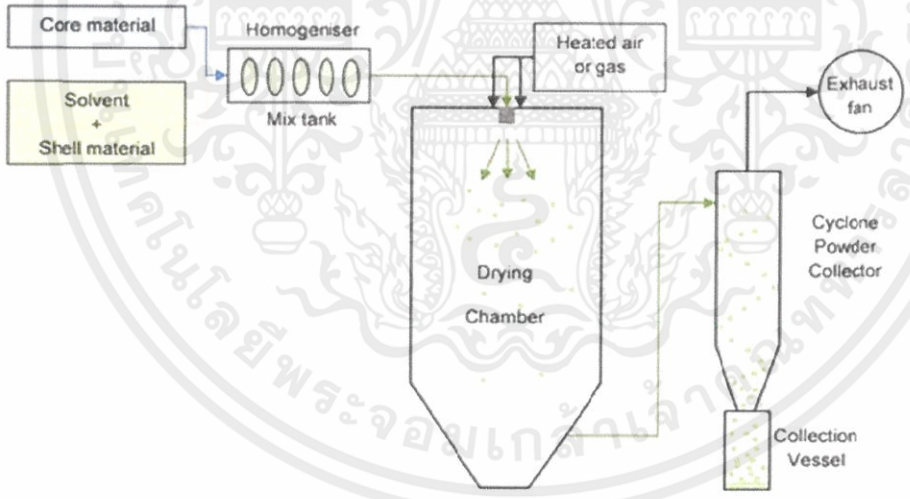
❖ ข้อดีของการเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.ต้นทุนการผลิตต่ำ

2.สามารถจัดหาเครื่องมือได้ง่าย

3.สามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.สามารถเลือกใช้ชนิดของสารห่อหุ้มได้หลากหลาย



รูปที่ 2.21 การเอนแคปซูเลชั่นด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

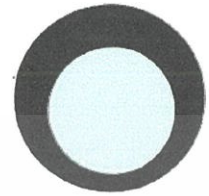
(Chen and Mujumda, 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน

- Single core (True encapsulation)

เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค coacervation



รูปที่ 2.22 ไมโครแคปซูลแบบ single core

(http://e-book.ram.edu)

- Multi-core หรือ matrix encapsulation

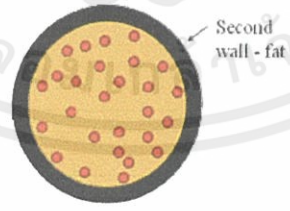
เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย สเปรย์ชิลลิง สเปรย์คูลลิง เอ็กซ์ทรูชันในการเอนแคปซูเลท

รูปที่ 2.23 ไมโครแคปซูลแบบ multi-core หรือ matrix encapsulation

(http://e-book.ram.edu)

- Multi-wall หรือ control release

เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้เทคนิค fluidized bed หรือ centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในสภาวะที่ต้องการได้



รูปที่ 2.24 ไมโครแคปซูลแบบ matrix encapsulation ที่มีการเคลือบผิว 2 ชั้น

(http://e-book.ram.edu)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชั่น

	Encapsulation Methods	Particle size(μm)	Max load(%)	reference
Chemical techniques	Simple coacervation	20-200	<60	Richard & Benoit, 2000
	Complex coacervation	5-200	70-90	Richard & Benoit, 2000
	Molecular inclusion	5-50	5-10	Uhlemann et al., 2002
Mechanical techniques	Spray-drying	1-50	<40	Richard & Benoit, 2000
	Spray chilling	20-200	10-20	Uhlemann et al., 2002
	Extrusion	200-2000	6-20	Uhlemann et al., 2002
	Fluidised bed	>100	60-90	Richard & Benoit, 2000

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลท

1. คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรสได้แก่ โครงสร้างทางเคมี (chemicalstructure), ความมีขั้ว (polarity) และ ความสามารถในการระเหย (volatility)
2. คุณสมบัติของสารเคลือบ
3. สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลท

- สภาวะที่เหมาะสมและเงื่อนไขการทำงานของการเอนแคปซูเลชั่นด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเอนแคปที่ดีที่สุดจำเป็น ต้องอาศัยสภาวะที่เหมาะสมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำเอนแคปซูเลชั่นได้แก่ คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรส เช่น โครงสร้างทางเคมี, ความมีขั้ว , ความสามารถในการระเหย เป็นต้น นอกจากนั้นคุณสมบัติของสารเคลือบที่เป็นวัสดุชั้นผนังก็สำคัญกับคุณลักษณะของผงที่ได้ ที่สำคัญคือการกำหนดสภาวะ ที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้มโดยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

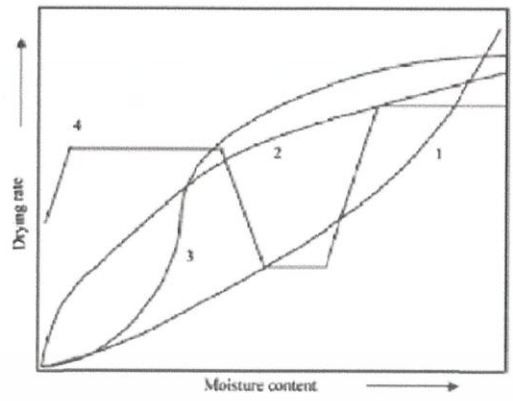
ตารางที่ 2.4 สรุปการทดลองที่ทำการเอนแคปซูเลชั่นจากสารให้กลิ่นรสที่ต่างกันที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

Encapsulated ingredient	Wall material	Feed temperature (°C)	Air inlet temperature (°C)	Air outlet temperature (°C)	References
Anhydrous milk fat	Whey proteins/lactose	50	160	80	Young et al. (1993)
Ethyl butyrate ethyl caprylate	Whey proteins/lactose	5	160	80	Rosenberg and Sheu (1996)
Oregano, citronella and marjoram flavors	Whey proteins/milk proteins	NR	185–195	85–95	Baranauskiené et al. (2006)
Soya oil	Sodium caseinate/carbohydrates	NR	180	95	Hogan et al. (2001)
Calcium citrate calcium lactate	Cellulose derivatives/ polymethacrylic acid	NR	120–170	91–95	Oneda and Ré (2003)
Lycopene	Gelatin/sucrose	55	190	52	Shu et al. (2006)
Fish oil	Starch derivatives/glucose syrup	NR	170	70	Drusch et al. (2006)
Cardamom essential oil	Mesquite gum	Room T	195–205	105–115	Beristain et al. (2001)
Arachidonyl L-ascorbate	Maltodextrin/gum arabic/soybean polysaccharides	NR	200	100–110	Watanabe et al. (2004)
Cardamom oleoresin	Gum arabic/modified starch/ maltodextrin	NR	176–180	115–125	Krishnan et al. (2005)
Bixin	Gum arabic/maltodextrin/sucrose	Room T	180	130	Barbosa et al. (2005)
D-Limonene	Gum arabic/maltodextrin/modified starch	NR	200	100–120	Soottitantawat et al. (2005a)
L-Menthol	Gum arabic/modified starch	NR	180	95–105	Soottitantawat et al. (2005b)
Black pepper oleoresin	Gum arabic/modified starch	NR	176–180	105–115	Shaikh et al. (2006)
Cumin oleoresin	Gum arabic/maltodextrin/modified starch	NR	158–162	115–125	Kanakdande et al. (2007)
Fish oil	Sugar beet pectin/glucose syrup	NR	170	70	Drusch (2006)
Caraway essential oil	Milk proteins/whey proteins/ maltodextrin	NR	175–185	85–95	Bylaité et al. (2001)
Short chain fatty acid	Maltodextrin/gum arabic	NR	180	90	Teixeira et al. (2004)

2.5.5 ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการเอนแคปซูเลชั่นด้วยวิธีการทำแห้งดังนี้

1. ความหนืด ถ้า feed มีความหนืดสูง (อาจเกิดจากการลดลงของอุณหภูมิของ feed) จะทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่สภาวะของ atomizer เดียวกัน และหากมีความหนืดสูงมาก จะทำให้ feed ที่ฉีดออกมามีลักษณะคล้ายเส้นด้ายได้ ดังนั้น จึงไม่ควรใส่ของเหลวที่มีความหนืดสูงเกินไป
2. อัตราการไหลของ feed ถ้าอัตราการไหลของ feed สูงขึ้นจะทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้น เพราะใช้เวลาที่สัมผัสกับอากาศน้อยเกินไป จึงควรควบคุมอัตราการไหลของ feed ให้เหมาะสม
3. อัตราไหลของอากาศ หากอัตราการไหลลดลงจะทำให้เวลาที่ละอองอยู่ใน drying chamber นานขึ้น ซึ่งจะทำให้สัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น และเป็นผลให้ลดความชื้นได้ดีขึ้น แต่หากอัตราการไหลของ feed สูง และอัตราการไหลของอากาศต่ำเกินไป และมีอุณหภูมิไม่สูงเพียงพอ ก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง และเกาะติดอยู่กับผนังของ drying chamber ได้
4. อุณหภูมิอากาศขาเข้า การเพิ่ม อุณหภูมิ อากาศขาเข้าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระเหยได้ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับการไหลของอากาศด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งและความชื้นของสารเคลือบ 4 ชนิด

(Adem et al., 2009)

จากรูป เส้นที่ 1 สารเคลือบ maltodextrin, pullulan,gum arabic and gelatin.กราฟความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ด้วยอัตราการทำแห้งตอนเริ่มต้นที่สูง ทำให้สารเคลือบขึ้นรูปอย่างรวดเร็วที่พื้นผิวและทำให้ปกป้องแกนของอนุภาคได้อย่างดี จากการทำปฏิกิริยาจากออกซิเจน การเลือกสารเคลือบนี้ถือได้ว่าเหมาะสมกับการทำไมโครเอนเคปในการทำแห้ง, เส้นที่ 2 สารเคลือบมีน้ำหนักโมเลกุลมาก โครงสร้าง 3มิติ เช่น sodium caseinate and albumin, เส้นที่ 3 น้ำตาลโมเลกุลต่ำ เช่น กูลโคส และ เส้นที่ 4 สารเคลือบที่เป็นผลึกง่ายเมื่อมีการสูญเสียน้ำ เช่น mannitol จะเห็นได้ว่า ชนิดที่ 2 3 และ4 ไม่สามารถป้องกันแกนของอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.6 สารห่อหุ้ม

- การเลือกชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น

ขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาไมโครแคปซุลคือการเลือกชนิดของสารเคลือบ ที่ต้องมีความแข็งแรงและเข้ากันได้กับอาหาร อีกทั้งต้องมีอุณหภูมิที่เหมาะสม,คุณสมบัติการละลายได้และขนาดอนุภาคที่เหมาะสมสารเคลือบที่เหมาะสมควรมี สมบัติการเป็นอิมัลสิไฟเออร์ มีคุณสมบัติการขึ้นรูป และไม่ควรให้น้ำมันของสารให้กลิ่นรสแตกตัวระหว่างการสูญเสียน้ำ เพราะระหว่างการทำแห้งจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำ

- ชนิดของสารห่อหุ้ม

❖ คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรต เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในเทคนิคการเอนแคปซูเลชันแบบพ่นฝอยเพื่อใช้เป็นสารห่อหุ้ม คาร์โบไฮเดรต เช่นสตาร์ช (starch), มอลโตเดกซ์ตริน(maltodextrin), คอนไซรัป (corn syrup solids) และกัมอคาเซีย (acacia gum) สามารถจับกับสารให้กลิ่นรสได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งยังมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลากหลาย ราคาต่ำ มีการกระจายตัวที่ดี สามารถใช้กับอาหารได้และเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการเอนแคปซูเลชัน นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตมีสมบัติเป็นสารที่มีความหนืดต่ำที่มีปริมาณของแข็งสูงและสามารถละลายได้ดีซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องมีในสารเอนแคปซูเลติงเอเจนท์ (encapsulating agent) สตาร์ช และผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากสตาร์ช เช่นมอลโตเดกซ์ตริน และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ตริน มักใช้ในการเอนแคปซูเลชันสารประกอบที่ให้กลิ่นหอม (Madene *et al.*, 2005)

ตัวอย่างของสารคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในเทคนิคเอนแคปซูเลชันมีดังต่อไปนี้

สตาร์ช (starch)

สามารถนำสตาร์ชมาใช้ในการกักเก็บสารให้กลิ่นรส โดยโครงสร้างที่มีลักษณะเหมือนขดลวดของอะไมโลสสามารถใช้กักเก็บสารให้กลิ่นรสได ้การทำให้อนุภาคของสตาร์ชเกิดเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนมากขึ้นอาจทำโดยใช้เอมไซม์อะไมเลส การทำแห้งแบบพ่นฝอยของสตาร์ชด้วยโปรตีนหรือสารจำพวกพอลิแซ็กคาร์ไรด์ที่มีความสามารถในการเป็นสารเชื่อมโยง (bonding agent) อาจทำให้สตาร์ชเกาะตัวรวมกันและทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นสามารถใช้ในการกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ (Zeller *et al.*, 1999)

ซูโครส (sucrose)

สามารถนำน้ำตาลซูโครสมาใช้ในเทคนิคเอนแคปซูเลชันเพื่อกักเก็บสารให้กลิ่นรส และน้ำมันได้โดยมีรายงานการวิจัยในการใช้ ระบบอิมัลชันของกัมอราบิก ซูโครส และ เจลาตินในการกักเก็บลิโมนิน โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า เมื่อใช้กัมอราบิก ซูโครส และเจลาตินในอัตราส่วน 1:1:1 โดยน้ำหนัก สามารถกักเก็บลิโมนินได้ถึงร้อยละ 84 เมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่เติมลงไป (Kaushik and Roos, 2007) อีกทั้งยังมีรายงานการวิจัยในการนำน้ำตาลซูโครสเป็นตัวดูดซับ (adsorbent) สารให้กลิ่นรสเอาไว้และนำน้ำตาลซูโครสที่ได้ไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางเพื่อใช้เป็นสารที่ให้ทั้งกลิ่นและความหวาน โดยนำผลึกน้ำตาลผ่านตะแกรงร่อน ทำให้แห้งและบดเพื่อทำให้ผลึกน้ำตาลมีพื้นที่ผิวกขึ้น จากนั้นทำการพ่นน้ำตาลซูโครสลงไปในไนโตรเจนเหลว และนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อผลิตเป็นน้ำตาลซูโครสในรูปอสัณฐาน ที่มีพื้นที่ผิวมากเพื่อที่จะสามารถดูดซับสารให้กลิ่นไว้ได้ (Zeller *et al.*, 1999) มีรายงานการวิจัยโดย (Beristain *et al.*,1996) ซึ่งใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันแบบตกผลึกร่วม (co-crystallization) ในการกักเก็บน้ำมันจากผิวเปลือกส้มโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส จากการศึกษานี้พบว่า สารละลายน้ำตาลซูโครสมีความสามารถกักเก็บน้ำมันผิวเปลือกส้มได้มากกว่าร้อยละ 90 น้ำตาลซูโครสยังมีคุณสมบัติอีกหลายอย่างเช่น สามารถละลายในน้ำได้ดี ราคาไม่แพง มีอายุการเก็บรักษานานเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (Kaushik and Roos, 2007) แต่ผลึกน้ำตาลอาจเกิดการเกาะตัวกันเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่ไม่แน่นอนเป็นผลทำให้เกิดการดูดซับความชื้น และเกิดการละลายของผิวหน้าผลึกกลายเป็นชั้น amorphous ซึ่งจะทำให้อนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียว (Barbosa et al., 2005) ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาการเกาะตัวกันของผลึกจึงควรเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (anticaking) ลงไป อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการไหลอีกด้วย

มอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin)

มอลโตเดกซ์ตรินจัดเป็นสารห่อหุ้มชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในเทคนิคเอนแคปซูเลชัน โดยมอลโตเดกซ์ตรินเกิดจากการไฮโดรไลซิสแป้งข้าวโพดบางส่วนด้วยกรดหรือเอมไซม์ โดยดูได้จากค่า dextrose equivalents (DEs) ค่า DE วัดได้จากระดับการไฮโดรไลซีสพอลิเมอร์ของแป้ง (degree of starch polymer hydrolysis) (Rahman, 1995) มอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE แตกต่างกันจะมีสมบัติทางเคมี กายภาพแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิเยือกแข็ง ความหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตามมอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE เหมือนกัน อาจจะมีสมบัติต่างกันได้ขึ้นอยู่กับวิธีการ ไฮโดรไลซิสแหล่งของสตาร์ช (แป้งข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าว) และอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน (Klinkesorn *et al.*, 2004) มอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE สูงจะมีค่า Tg ต่ำกว่าและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารที่ได้รับการยอมรับที่ดีทั้งทางด้านราคาและประสิทธิภาพเนื่องจากไม่มีรสชาติ มีความหนืดต่ำ มักใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวและเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ สามารถละลายในน้ำเย็นได้ดี อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกาะติดและสามารถปลดปล่อยสารให้รสชาติได้เร็ว (Madene *et al.*, 2005) เมื่อผสมมอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE ต่ำกว่า ลงไปในผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียว และนำไปทำให้แห้งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเกาะติดต่ำ เนื่องจากมอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE ต่ำ จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า และมีค่า Tg สูงกว่า ซึ่งสามารถทำให้แห้งได้ง่าย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวลดลง ในขณะที่มอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE สูงจะมีค่า Tg ต่ำ อาจทำให้แห้งได้ยากกว่า เนื่องจากวัตถุยังคงอยู่ในสถานะของไหลภายใต้สภาวะการทำแห้งปกติ (Onwulata, 2005)

❖ กัม (Gum)

gum acacia อาจเรียกว่า กัมอะคาเชีย หรือ กัมอะราบิก (gum arabic) กัม (gum) เป็นคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เป็นสารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ประเภท พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ใช้เพื่อเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) Gum arabic เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และ สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดี ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray-dried particles) โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ทริน และgum arabic เป็นสารเคลือบ จะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอน และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรส ได้ > 80% ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้แก่อุณหภูมิขาเข้าของอากาศร้อน, ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืด และ สัดส่วนของ gum arabic และ มอลโตเดกซ์ทริน ด้วยสาเหตุที่ กัม gum arabic อาราบิค ราคาแพง จึงคิดหาสารห่อหุ้มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาทดแทน (Beristain and Vernon carter,1994)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ โปรตีน (Protein)

สารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์มักจะถูกใช้เป็นสารห่อหุ้มสำหรับกักเก็บสารให้กลิ่นรส เช่น โซเดียมเคซี-เนต (sodium caseinate) เวย์โปรตีน (whey protein) โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein isolate) และเจ-ลาติน (gelatin) เป็นต้น โปรตีนที่มีคุณสมบัติที่ดีเช่น การละลาย, ความหนืด, ความเป็นอิมัลชัน (emulsion) และคุณสมบัติในการก่อฟิล์ม สามารถนำมาใช้ในเทคนิคเอนแคปซูเลชันได้ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วยังไม่นิยมใช้โปรตีนในเทคนิคแอนแคปซูเลชันมากนักเพราะความแตกต่างของกลุ่มเคมี (chemical group) และความมีขั้วของโมเลกุล (amphiphilicproperties) ความสามารถในการเชื่อมโยงและการเกิดปฏิกิริยากับสารอื่นๆ

Jones et al., (2009) ได้ศึกษาการทำไบโอโพลิเมอร์จากสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนและพอลิเซกคาร์ไรด์จาก เบต้า-เลคโตโกลบูลิน (β-lactoglobulin) และเพกตินจากหัวบีท ซึ่งพบว่าไบโอพอลิเมอร์ชนิดนี้มีความเสถียรในช่วงพีเอชที่กว้าง จึงสามารถนำไบโอพอลิเมอร์ชนิดนี้มาใช้ในเทคนิคเอนแคปซูเลชันเพื่อใช้เป็นสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลชันไขมัน

Ortiz et al., (2009) ได้ศึกษาการเอนแคปซูเลชัน casein hydrolysate โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นสารห่อหุ้มเพื่อลดความขมของผลิตภัณฑ์ พบว่าโปรตีนถั่วเหลืองช่วยลดความขมของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกทั้งยังช่วยลดการดูดซับความชื้นอีกด้วย

เวย์โปรตีน (Whey protein)

เวย์โปรตีนจะให้คุณสมบัติทางหน้าที่ (functional properties) ที่ต้องการในการใช้เป็น สารเคลือบ เวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายใน international market จะอยู่ในรูปของ whey protein isolates (มีปริมาณโปรตีน 95-96%) หรือ whey protein concentrate (WPC-50, WPC-70) powder เวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเอนแคปซูเลทน้ำมันส้ม โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Kim and Morr, 1996) การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับคาร์โบไฮเดรตสามารถใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยเวย์โปรตีนจะทำหน้าที่ เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มในขณะที่คาร์โบไฮเดรต (มอลโตเดกซ์ทริน หรือ corn syrup solid) จะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเมทริกซ์

เจลาติน (gelatin)

เจลาตินเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ซึ่งเป็นโปรตีน (protein) ที่ได้จากย่อย และสกัดคอลลาเจน (collagen) ที่มีอยู่ใน กระดูก หนังสัตว์และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ของสัตว์ ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว (stabilizer) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้น้ำกับไขมันรวมตัวกันได้ดี ไม่แยกชั้น อนุพันธุ์ของเจลาติน (gelatin derivative) มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรส ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาใช้ในรูปของสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิค complex coacervation และเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ได้

ตารางที่ 2.5 สารห่อหุ้มและวิธีการที่นิยมใช้ในเทคนิคเอนแคปซูเลชัน

ประเภท	สารห่อหุ้มสำหรับเทคนิคเอนแคปซูเลชัน	วิธีการที่นิยมใช้ในเทคนิคเอนแคปซูเลชัน
คาร์โบไฮเดรต	สตาร์ช, มอลโตเดกซ์ตริน,ไคโตซาน, คอนไซรัป, เดกซ์แทรน (dextran) , แป้งดัดแปร, ไซโคลเดกซ์ตริน	การอบแห้งแบบพ่นฝอย, การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง, การอัดขึ้นรูป (extrusion), โคอะเซอร์เวชัน (coacervation), อินคลูชัน คอมเพล็กซ์เซชัน (Inclusion complexation)
เซลลูโลส	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, เมทิลเซลลูโลส, เอทิลเซลลูโลส, เซลลูโลสอะซีเตต-พาทาเลต, เซลลูโลสอะซีเตต-บิวทีเรต-พาทาเลต	โคอะเซอร์เวชัน (coacervation), การอบแห้งแบบพ่นฝอย, เอดิเบิล ฟิล์ม(edible films)
กัม	กัมอคาเชีย (gum acacia) เอการ์ (agar) โซเดียม แอลจิเนต, คาราจีแนน	การอบแห้งแบบพ่นฝอย, การสร้างเม็ดเจล (gel beads)
ลิปิด	แวกซ์, พาราฟิน, บีแวกซ์ (beeswax), ไดเอซิลกลีเซอรอล (diacylglycerols) น้ำมัน, ไขมัน	อิมัลชัน, ลิโปโซม, การก่อฟิล์ม (film formation)
โปรตีน	กลูเตน, เคซีน, เจลลาติน, อัลบูมิน, เปปไทด์	อิมัลชัน, การอบแห้งแบบพ่นฝอย

สารเคลือบที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสถูกสารขึ้นเพื่อปกป้องสารให้กลิ่นรสไม่ให้ทำปฏิกิริยากับสารอื่น โดยจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่นรส มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง, ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อม มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียรคือการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ ขึ้นกับชนิดของสารให้กลิ่นรสและลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท

ชนิดของสารเคลือบ	คุณลักษณะเฉพาะ
Maltodextrin (DE<20)	Film forming
Corn syrup solid(DE>20)	Film forming
Modified starch	Very good emulsifier
Gum Arabic	Emulsifier, film forming
Modified cellulose	Film forming
Gelatin	Emulsifier, film forming
Cyclodextrin	Encapsulant, emulsifier
Lecithin	Emulsifier
Whey protein	Good emulsifier
Hydrogenated fat	Barrier to oxygen and water

- **สารให้กลิ่นรสที่นำมาเอนแคปซูเลทด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย**

สารให้กลิ่นรสจัดเป็นส่วนผสมที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหาร การรักษาสารให้กลิ่นรสให้คงอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการให้ความสำคัญมากที่สุดเนื่องจากความเสถียรของสารให้กลิ่นสรมีความสัมพันธ์กับคุณภพและการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ อาหาร ได้แก่ ขั้นตอนการผลิต การเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์ รวมถึงส่วนผสมอื่นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร ปัจจัยที่เชื่อมโยงสารให้กลิ่นรสกับคุณภาพโดยรวมของอาหาร ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ความเข้มข้น และอันตรกิริยาระหว่างโมเลกลุของสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ กับองค์ประกอบของอาหาร สารให้กลิ่นรสแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสตามธรรมชาติ (natural flavoring) , วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสเลียนแบบธรรมชาติ และ วัตถุปรุงแต่งกลิ่นสังเคราะห์ ในที่นี้จะกล่าวถึง กลิ่นรสตามธรรมชาติ คือ วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสที่ได้จากพืช หรือสัตว์ที่ปกติมนุษย์ใช้บริโภคโดยผ่านวิธีทางกายภาพ เช่น บด (grinding) ทำให้แห้ง (dehydration) แล้วนำมาใช้เป็นส่วนผสมเติมลงในอาหารโดยตรง พืชจะมีการสร้างและปลดปล่อยสารระเหย (volatile compounds) มากมายหลายชนิดซึ่งมีความสำคัญมากต่อองค์ประกอบของคุณภาพ มนุษย์มีการจำแนกรูปแบบของอาหารที่เลือกบริโภคและกลิ่นรส (flavour) เป็นเกณฑ์แรก (primary criteria) ที่ใช้ในการตัดสิน กลิ่นรสส่วนใหญ่ (most flavours) จะประกอบด้วยรสชาติ (taste) และกลิ่นหอม (odour) เนื่องจากรสชาติโดยทั่วไปจะประกอบด้วย รสหวาน (sweet) เปรี้ยว (sour) เค็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(salty) และขม (bitter) สารระเหยมีบทบาทสำคัญในกลิ่นรส และทำให้การรับรสชาติพื้นฐาน (basic tastes) 4 รสอาจแตกต่างกันได้เนื่องจากสารระเหยต่างๆที่มีมากถึง 10,000 ชนิด (: ผศ.ดร.สุจิตรา รตนะมโน)

น้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์หลายชนิดรวมกัน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ เทอร์พีนอยด์ (terpeniod) และ นอนเทอร์พีนอยด์ (non-terpenoids) สารกลุ่มเทอร์พีนอยด์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเส้นตรงหรือเป็นวงแหวนก็ได้ ประกอบด้วย หน่วย ไอโซพรีน (isopene) ตั้งแต่ 2 หน่วยขึ้นไป น้ำมันหอมระเหยที่เป็น นอนเทอร์พีนอยด์บางชนิดเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกไฮไดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ เอสเทอร์ คีโตน และฟีนอล

- สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วง

กลิ่น (aroma) จัดเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงการสุกและการยอมรับของผู้บริโภคต่อมะม่วง สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในผลไม้ส่วนใหญ่ รวมถึงมะม่วงนั้นจะประกอบกันอยู่อย่างซับซ้อน มีความหลากหลายและพบในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน มะม่วงพันธุ์ต่างๆ กันจะประกอบไปด้วยสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในลักษณะอิสระ มากกว่า 270 ชนิด และมีรายงานว่าสารประกอบระเหยง่ายที่พบมากที่สุดในมะม่วงประมาณ 70 ชนิด จะอยู่ในรูป glycosidically-bound Monoterpene และ sesquiterpene hydrocarbons ในขณะที่เอสเทอร์,แอลกอฮอล์,คาร์บอนิลและ แลคโตน เป็นกลิ่นรสเฉพาะในแต่ละแหล่งเพาะปลูก

สำหรับมะม่วงในประเทศไทย (Maneepun and Yunchaland, 2004) รายงานว่าพบสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสเป็นสารประกอบในกลุ่มเทอร์พีน เช่นกัน ซึ่งสารประกอบหลักที่ให้กลิ่นรสจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ เช่น Linalool พบในมะม่วงโชคอนันต์ และสารประกอบ α-terpinolene จะพบมากที่สุดในมะม่วงแก้ว มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงโชคอนันต์ แรด และพิมเสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 สารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงพันธุ์ไทย 6 ชนิด (Maneepun and Yunchalad, 2004)

	มะม่วงสุกพันธุ์ไทย					
ชนิดของ	แก้ว	น้ำดอกไม้	โชคอนันต์	แรด	พิมเสน	สามปี
สารประกอบ	%/ppm	%/ppm	%/ppm	%/ppm	%/ppm	%/ppm
alpha-terpinene	0.38/-	1.19/-	-	1.8	0.72	-
p-xylene	0.07/-	4.01/-	-	6.17	0.95	-
delta-3-carene	5.49/65	-	1.64/2.1	-	2.68	2.99
alpha-terpinene	2.68/2.4	-	1.2/-	-	0.65	-
limonene	0.99/0.2	-	0.44/-	-	0.307	-
alpha-terpinolene	46.9/75.1	0.4/-	33.3/62.1	0.65	25.6	-
linalool	-	-	1.19/-	-	-	-
beta-caryophyllene	0.83/-	4.7	0.11/-	2.17	-	-
mesifuranne	5.74/-	-	-	1.04	-	-
beta-selinene	4.59/-	-	-	0.2	2.39	3.97/-
para-cymene-8-ol	0.71/-	-	-	-	0.35	-
geraniol	0.97/-	-	1.67/-	-	-	-
1-heptadecene	0.48/-	1.24	7.23/-	6.31	5.67	-
mesifuranne	3.76/-	1.4	0.808/-	13.16	12.62	0.39
hexadecanoic acid	7.03/-	28.5	12.6/-	22.53	20.95	-
octadecanoic acid	3.15	14.9	9.86/-	3.91	7.64	-

- โอลีโอเรซิน (oleoresin)

โอลีโอเรซิน เป็น สารให้กลิ่นรส (flavoring agent) แทนการใช้เครื่องเทศโดยตรง โอลีโอเรซิน มีความหนืดสูง สีเข้ม มีกลิ่นเฉพาะของเครื่องเทศนั้นเช่น paprika oleoresin,peper oleoresin,turmeric oleoresin เป็นต้น Oleoresin ที่สกัดได้จะ ละลายอยู่ในตัวพา เช่น น้ำมันพืช อาจมีส่วนผสมของอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และ antioxidant เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ข้อดีของการเก็บสารให้กลิ่นรสในน้ำมันคือ การป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น เพื่อเสถียรภาพของอนุภาค,ควบคุมการปล่อยสารให้กลิ่นรสออกมา , ปิดบังรสขมของสารให้กลิ่นรสได้ และป้องกันการรวมกันของน้ำกับสารให้กลิ่นรส ตัวอย่างเช่น การกักเก็บกลิ่นของลูกกระวานใช้ กรัม อาราบิค,มอลโตเดกตรินและแป้งดัดแปร เป็นสารห่อหุ้ม และสภาวะที่เหมาะสมคืออัตราส่วนของ กรัม อาราบิค : มอลโตเดกตริน : แป้งดัดแปร อยู่ที่ (4/6:1/6:1/6) นอกจากนั้น การกักเก็บกลิ่นของใบยี่หร่า ใช้ กรัม อาราบิค,มอลโตเดกตริน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งดัดแปร เป็นสารห่อหุ้ม อยู่ที่ (4/6:1/6:1/6), การกักเก็บกลิ่นของ พริกไทยดำ ใช้ กรัม อาราบิค และแป้งดัดแปร เป็นสารห่อหุ้ม ,การกักเก็บกลิ่นของ น้ำมันถั่วเหลือง ใช้ โซเดียมคาร์ซิเนตและคาร์โบไฮเดรต เป็นสารห่อหุ้ม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการเพิ่ม น้ำตาลเดกโตรส ในอัตราส่วนที่เท่ากันกับคาร์โบไฮเดรต

2.5.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น

Ai-juan et al., (2009) พบว่าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยการเติมเจลาตินร้อยละ 1 ลงไปในส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ตรินและ กัมอราบิกจะเพิ่มการกักเก็บเอทิลบิวทีเรต (ethyl butyrate) และสามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ดี

Beristain and Vernon carter, (1994) กล่าวว่า mesquite gum สามารถนำมาทดแทน gum Arabic ได้ เช่นการ กักเก็บน้ำมันในเปลือกส้มโดยใช้ mesquite gum จะให้ประสิทธิภาพที่สูง และ mesquite gum สามารถใช้ ในการทำ oil-in-water อิมัลชั่น ในช่วง pH กว้างๆ

Duangmal et al., (2008) ได้ศึกษาความคงตัวของสีและสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในกระเจี๊ยบที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยเติมมอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin) และ ทรีฮาโลส (trehalose) เป็นสารเพิ่มความคงตัวพบว่า การเติมมอลโตเดกซ์ตรินและทรีฮาโลสจะช่วยให้สารแอนโทไซยานินสลายตัวช้าลงซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีปริมาณน้ำอิสระ (aw) ต่ำในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและจากการถูกห่อหุ้มด้วยสารเพิ่มความคงตัว

Kiatisak et al., (2008) ได้ศึกษาความคงตัวของสีและสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในกระเจี๊ยบที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยเติมมอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin) และ ทรีฮาโลส (trehalose) เป็นสารเพิ่มความคงตัวพบว่าการเติมมอลโตเดกซ์ตรินและทรีฮาโลสจะช่วยให้สารแอนโทไซยานินสลายตัวช้าลงซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีปริมาณน้ำอิสระ (aw) ต่ำในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและจากการถูกห่อหุ้มด้วยสารเพิ่มความคงตัว

Madene et al., (2005) รายงานการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาสารให้รสชาติ 12 ชนิดขึ้นอยู่กับ DE ของมอลโตเดกซ์ตริน โดยมอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE 10 จะมีความสามารถในการเก็บรักษาที่ดีที่สุด ถ้า DE มากขึ้น (DE 15, 20, 25, 36.5) การกักเก็บสารให้รสชาติจะลดลง อีกทั้งการกักเก็บสารให้รสชาติระหว่างการเก็บรักษาจะเพิ่มขึ้นตามค่า DE ของมอลโตเดกซ์ตริน อีกทั้งมอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE สูง จะป้องกันน้ำมันเปลือกส้มที่ถูกกักเก็บโดยจะต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ DE ต่อระบบของสารห่อหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทดลอง

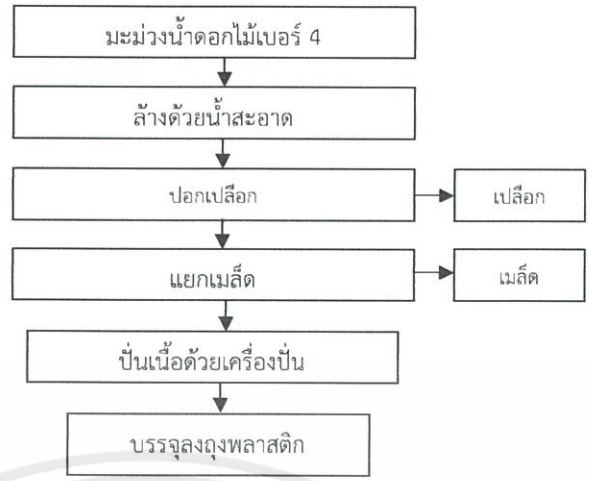
ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมะม่วงผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง สำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (160, 170 และ 180°C) , ปริมาณสารช่วยทำแห้ง(50 , 62.5 และ 75 %)และตัวแปรที่ทำการศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ คือ อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (110°C, 120°C และ 130°C) , ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (150, 175 และ 200%) โดยการออกแบบการทดลองแบบ 3^k full factorial design จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้คือ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเบอร์ 4 จากตลาดสี่มุมเมือง เก็บวัตถุดิบไว้ 3 วัน หลังจากได้รับวัตถุดิบมา 5 วัน นำเนื้อมะม่วงมาปั่นและบรรจุลงถุงพลาสติกถุงละ 1200 กรัม ซึ่งมี ค่าบริกซ์ 16 โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ คือ

1) เครื่องปั่น
2) เครื่องชั่ง
3) เครื่องวัด pH
4) เทอร์โมมิเตอร์
5) บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
6) ผ้าขาวบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำแห้ง

3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 **เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer)** ประกอบไปด้วย

1) ห้องอบแห้ง (drying chamber)

2) ตัวทำละอองชนิดหัวฉีดของไหลสองชนิด (two-fluid nozzle)

3) ไซโคลน (cyclone)

4) ชุดทำความร้อน (heater)

5) ปั๊ม Peristalic

6) ชุดแมคเนติกสเตอเลอร์

นำส่วนประกอบทั้งหมดมาประกอบเพื่อให้ได้ชุดเครื่องมือทำแห้งแบบพ่นฝอย

รูปที่ 3.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

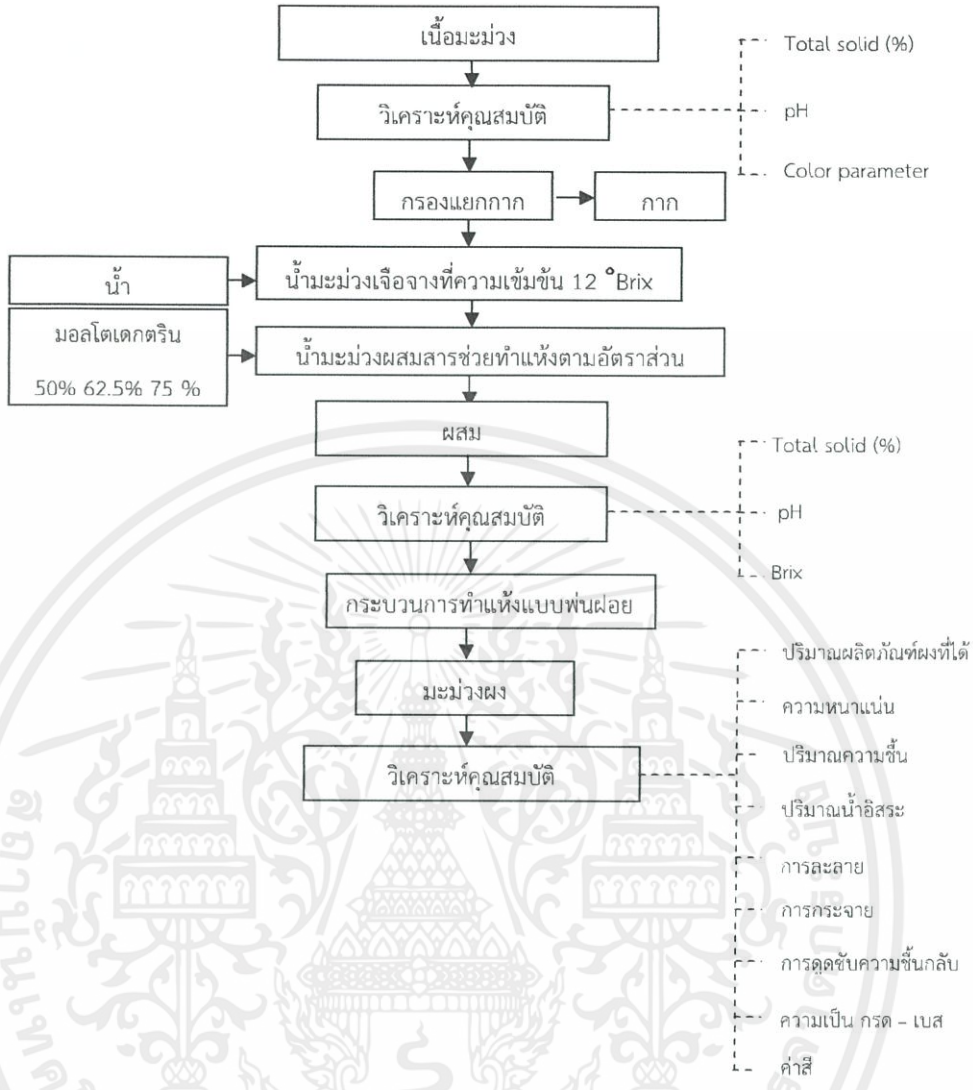
1) อุณหภูมิลมร้อน170, 180 และ 190°C

2) ปริมาณสารช่วยทำแห้งที่ 50, 62.5 และ 75%

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการดำเนินการทำแห้งแบบพ่นฝอย

อุปกรณ์	ตัวแปรควบคุม
อุณหภูมิลมร้อนขาออก	70 ° C
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	170 - 190 ° C
อัตราเร็วลมที่ใช้ในการพ่นละอองฝอย	0.15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
อัตราเร็วลมที่ใช้ในการดูดผลิตภัณฑ์ออกจากห้องอบแห้ง	3000 rpm
อุณหภูมิของวัตถุดิบที่ป้อน	25 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นของสารละลาย	12° brix
อัตราการป้อน	1.98 kg/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองผลิตมะม่วงผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.2.3 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Drum dryer) ประกอบไปด้วย

1) ลูกกลิ้งคู่

2) ชุดปรับระยะลูกกลิ้ง

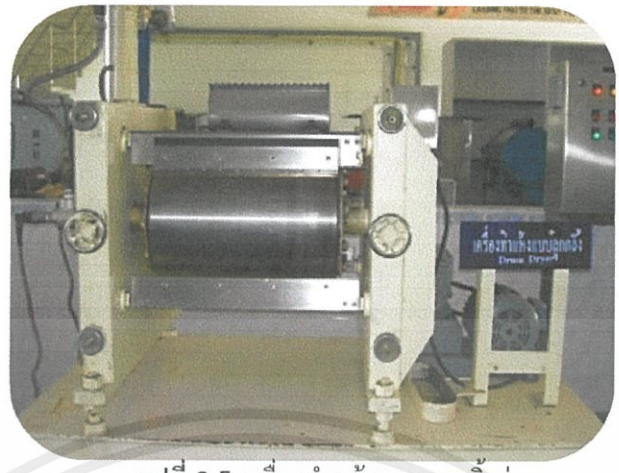
3) ตัวกักขังสารละลาย (End boards)

4) ใบมีด (Knife)

5) อุปกรณ์เก็บไอน้ำที่มาจากการอบแห้ง(Vapor hoods)

นำส่วนประกอบทั้งหมดมาประกอบเพื่อให้ได้ชุดเครื่องมือทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

3.2.4 ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

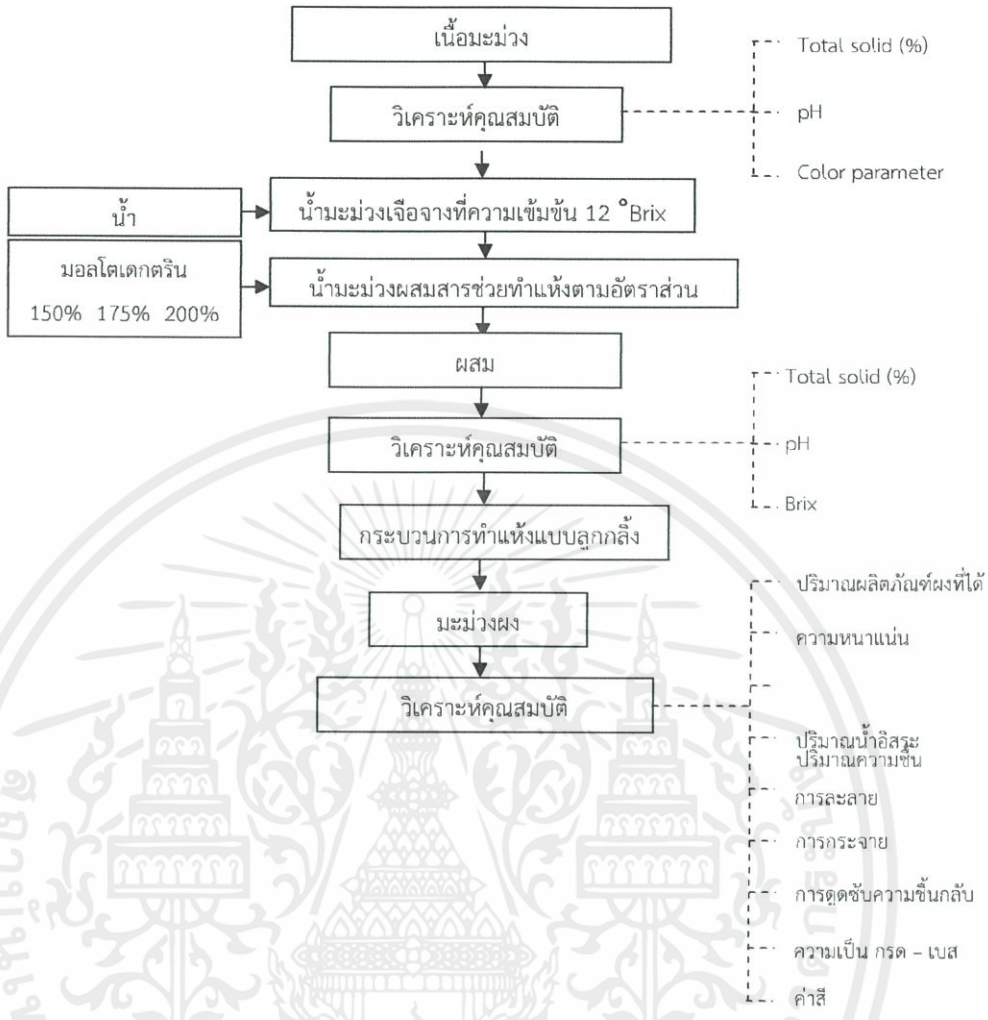
1) อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 120°C, 130°C และ 140°C

2) ปริมาณสารช่วยทำแห้งที่ 150%, 175% และ 200%

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขในการดำเนินการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

อุปกรณ์	ตัวแปรควบคุม
อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง	120 -140 ° C
ความเร็วรอบลูกกลิ้ง	4 rpm
อุณหภูมิของวัตถุดิบที่ป้อน	25 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นของสารละลาย	12° brix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทดลองผลิตมะม่วงผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

3.3 แผนการทดลอง

3.3.1 การออกแบบแผนการทดลองของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

แผนการทดลองที่ใช้เป็นแบบ 3^k full factorial design โดยทำการทดลองซ้ำทุกๆ การทดลอง จากตัวแปรที่ต้องการศึกษามี 2 ตัวแปรและแต่ละตัวแปรมีการเปลี่ยนแปลงค่าทั้งหมด 3 ค่า เพราะฉะนั้นจะได้การทดลองเท่ากับ 3^2=9 แผนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code Standardization

การทดลอง	ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (x_2) (%)	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (x_1) (°C)
1	-1	-1
2	0	-1
3	1	-1
4	-1	0
5	0	0
6	1	0
7	-1	1
8	0	1
9	1	1

การทดลอง	ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (%)	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)
1	15	190
2	30	170
3	45	180
4	15	190
5	30	170
6	45	180
7	15	190
8	30	170
9	45	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การออกแบบแผนการทดลองของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

แผนการทดลองที่ใช้เป็นแบบ 3^k full factorial design โดยทำการทดลองซ้ำทุกๆ การทดลอง จากตัวแปรที่ต้องการศึกษามี 2 ตัวแปรและแต่ละตัวแปรมีการเปลี่ยนแปลงค่าทั้งหมด 3 ค่า เพราะ ฉะนั้นจะได้การทดลองเท่ากับ 3^2=9 แผนการทดลอง ที่มีการทำซ้ำอย่างละ 1 ครั้งทุกๆแผนการทดลอง

Code Standardization

แผนการทดลองที่	ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (x_2) (%)	อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (x_1) (^oC)
1	-1	-1
2	0	-1
3	1	-1
4	-1	0
5	0	0
6	1	0
7	-1	1
8	0	1
9	1	1

การทดลอง	ปริมาณสารช่วยทำแห้ง (%)	อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง (^oC)
1	15	140
2	30	120
3	45	130
4	15	140
5	30	120
6	45	130
7	15	140
8	30	120
9	45	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบของสมการการทดลองที่ประกอบด้วยจำนวนปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์ Response surface และสมการ multiple linear regression เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผง ได้แก่ ความชื้น (Moisture),ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%yield), ความหนาแน่น (bulk density), การละลาย(solubility), การดูดความชื้นกลับ Hygroscopicity และ ค่าสี (color b-value)

1) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

สมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

$$Y= \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_{2x_2} + \beta_{12} x_{12} + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2$$

เมื่อ Y = คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผง

X_1 = อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า , องศาเซลเซียส (T_a)

X_2 = ปริมาณมอลโตเดกตริก , กรัม (MD_1)

X_{12} = ผลคูณระหว่างอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตริน (T_a*MD_1)

X_1^2 = อุณหภูมิลมร้อนยกกำลังสอง (T_a^2)

X_2^2 = ปริมาณมอลโตเดกตรินยกกำลังสอง (MD_1^2)

หมายเหตุ β_0 , β_1 , β_2 , β_{12} , β_{11} และ β_{22} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1, X_2, X_{12}, X_1^2 และ X_2^2 ตามลำดับ

2) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

สมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

$$Y= \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_{2x_2} + \beta_{12} x_{12} + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Y = คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผง

X_1= อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง , องศาเซลเซียส (T_d)

X_2= ปริมาณมอลโตเดกตริก , กรัม (MD_2)

X_{12} = ผลคูณระหว่างอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณมอลโตเดกตริน (T_d*MD_2)

X_1^2 = อุณหภูมิลมร้อนยกกำลังสอง (T_d^2)

X_2^2 = ปริมาณมอลโตเดกตรินยกกำลังสอง (MD_2^2)

หมายเหตุ β_0 , β_1 , β_2 ,β_{12} ,β_{11} และ β_{22} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1, X_2, X_{12}, X_1^2 และ X_2^2 ตามลำดับ

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมสาร

การเตรียมสารสำหรับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1) นำมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 มา ล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือก และเอาเมล็ดออก

2) นำเนื้อมะม่วงมาปั่นละเอียดแล้วทำการกรองด้วยผ้าขาวบางหลังจากนั้นจึงนำน้ำมะม่วงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่าที่ชั่งได้

3) เติมสารช่วยทำแห้ง.ลงไปในน้ำมะม่วงที่อัตราส่วนต่างๆ

4) ชั่งน้ำหนักวัดค่าความเข้มข้น และความเป็นกรด-ด่างให้เป็นไปตามเงื่อนไขในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การเตรียมสารสำหรับเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

1) นำมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 มา ล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือก และเอาเมล็ดออก

2) นำเนื้อมะม่วงมาปั่นละเอียดหลังจากนั้นจึงนำน้ำมะม่วงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่าที่ชั่งได้

3) เติมสารช่วยทำแห้ง.ลงไปในน้ำมะม่วงตามอัตราส่วนที่กำหนด

4) ชั่งน้ำหนัก วัดค่าความเข้มข้น และความเป็นกรด-ด่างให้เป็นไปตามเงื่อนไขในการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทำแห้ง

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1) ทำการปรับค่าต่างๆของอุปกรณ์ทำแห้งแบบพ่นฝอยให้เป็นไปตามเงื่อนไขในการดำเนินการ และรอจนสภาวะที่ดำเนินการคงที่

2) ทำการป้อนสารละลายที่เตรียมไว้ด้วยปั๊ม

3) สารละลายจะผ่านท่อลำเลียงสารไปยังหัวฉีดแบบของไหลสองชนิด ลมที่มาจากท่อลมที่ต่อเข้ากับหัวฉีดแบบของไหลสองชนิด จะทำการผสมและดันให้สารละลายออกจากรูของหัวฉีดกลายเป็นลักษณะละอองฝอย

4) อากาศจากภายนอกจะถูกดูดผ่านเครื่องทำความร้อนโดยผ่านตัวกรองเพื่อกรองฝุ่นออก และถูกทำให้ร้อนด้วยขดลวดที่ถูกทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ลมร้อนที่ได้จะถูกส่งผ่านท่อลมร้อนไปยังช่องทางออกที่อยู่บริเวณฝาปิดของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

5) ลมร้อนและละอองฝอยจะทำการผสมกันในห้องอบแห้ง น้ำที่อยู่ภายในละอองฝอยจะระเหยออกมาทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีความชื้นค่าหนึ่ง

6) อุปกรณ์เป่า (blower) จะทำการดูดผลิตภัณฑ์ผงจากก้นห้องอบแห้งไปยังไซโคลน เมื่อผลิตภัณฑ์ผงมายังไซโคลนจะเกิดการหมุนวนอยู่ภายในไซโคลน ผลิตภัณฑ์ผงจะตกไปยังภาชนะที่ใช้ใส่ผลิตภัณฑ์ผง ส่วนลมร้อนจะลอยออกขึ้นไปทางด้านบนไซโคลน และออกไปทางท่อลมร้อนขาออก

7) ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

1) คลายชุดใบมีดที่ติดอยู่กับผิวลูกกลิ้ง

2) เปิดสวิตช์หมุนลูกกลิ้งเครื่องอบแห้ง ปรับความเร็วรอบ

3) ค่อยๆเปิดวาล์วไอน้ำเพื่อให้ความร้อนกับผิวลูกกลิ้งทั้งสอง (เปิดไอน้ำขณะที่ลูกกลิ้งยังหมุน)

4) เปิดท่อน้ำทิ้งคอนเดนเสท เพื่อไล่น้ำที่ค้างอยู่ภายในเครื่อง จนกระทั่งเริ่มมีไอน้ำออก จึงค่อยปรับวาล์วคอนเดนเสท

5) บันทึกค่าของความดันไอน้ำที่ใช้

6) เมื่อลูกกลิ้งร้อนอย่างสม่ำเสมอจึงปิดวาล์วไอน้ำ และเปิดวาล์วคอนเดนเสท เพื่อลดความดันในลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ปิดสวิตช์การหมุนของลูกกลิ้ง เพื่อปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้สม่ำเสมอโดยใช้แผ่นเหล็กวัดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Feeler Gauge)

8) ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งตามความต้องการคือ 0.15 0.30 และ 0.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ เปิดสวิตช์การหมุนและวาล์วไอน้ำเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ 3 ระดับที่ต้องการ คือ 120°C, 130°C และ 140°C

9) เมื่อทำการเตรียมเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการป้อนวัตถุดิบลงสู่เครื่อง

10) บันทึกอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง ทุกๆ 10 นาที เพื่อควบคุมอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งให้คงที่

11) เมื่อทำการทำแห้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว เก็บตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บเข้าถุงพลาสติก จากนั้นปิดปากถุงให้สนิท

3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของมะม่วงผง

3.5.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%yield) (Jayasundera et al., 2011)

การปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาชั่งน้ำหนักและหาปริมาณของแข็งเริ่มต้น โดยการหาค่าความชื้น

$$\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้} = \frac{W_{cwp}}{SS_{cwf}} \times 100$$

เมื่อ W_{cwp} คือ อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง

SS_{cwf} คือปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน (g)

ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นค่าบอกความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ หากต้นทุนการผลิตของทั้งสองกรรมวิธีมีค่าเท่ากัน กรรมวิธีที่ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์มากกว่าย่อมได้กำไรมากกว่า ทั้งนี้ขึ้นกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย

3.5.2 ความชื้น (%moisture content) (Caparinoa et al., 2012)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยนำตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัม ในถ้วยอลูมิเนียมจากนั้นนำไปอบในตู้อบความร้อนแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยใช้ความดันอย่างน้อย -86 kPa จากนั้นนำออกไปใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและนำไปชั่งคำนวณหาปริมาณความชื้นดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความชื้นของผลิตภัณฑ์} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

ความชื้นมีผลต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก Spray dryer และ Drum dryer ว่าผลิตภัณฑ์ผงแบบใดมีความชื้นน้อยกว่ากัน เพื่อส่วนหนึ่งในการชี้วัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากทั้งสองกรรมวิธี

3.5.3 การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) (Jaya and Das, 2004)

วิเคราะห์การดูดซับความชื้นโดยนำมะม่วงผง 1 กรัม ใส่ในขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว (NaCl) ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 75.3 % ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำผงตัวอย่างออกมาชั่ง แล้วนำมาคำนวณ ดังสมการ

$$\text{การดูดซับความชื้น} = \frac{\frac{b}{a} - W_i}{1 + \frac{b}{a}}$$

เมื่อbคือ น้ำหนักของผงที่เพิ่มขึ้น (g)

a คือ น้ำหนักของผงก่อนนำไปวัดค่า (g)

W_iคือปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด (% wb)

การดูดซับความชื้นมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ดูดซับความชื้นได้มากจะเสื่อมสภาพไวกว่าผลิตภัณฑ์ที่ดูดซับความชื้นได้น้อย การทดลองจึงทำการเปรียบเทียบการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จาก Spray dryer และ Drum dryerว่ากรรมวิธีใดดูดซับความชื้นได้น้อยกว่ากัน

3.5.4 การกระจายตัว (Dispersibility) (Jaya and Das, 2004)

วิเคราะห์การกระจายตัวโดยนำผงตัวอย่าง 15 กรัม ผสมกับน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100ml คนกลับไปมา 15 วินาที จากนั้นเทลงใน sieve ขนาด 200 ไมครอน นำมาคำนวณหาความสามารถในการกระจายตัว ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{การกระจายตัว} = \frac{(w+a)\times S_p}{a \times S_j}$$

เมื่อ w คือ น้ำหนักของน้ำ (g)

A คือ ปริมาณผงที่ใช้ทั้งหมด (g)

S_P คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)

S_j คือปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบน sieve (%)

การกระจายตัวมีผลต่อคุณสมบัติการละลายของผลิตภัณฑ์ การทดลองจะทำการเปรียบเทียบการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จาก Spray dryer และ Drum dryer ว่ากรรมวิธีใดมีการกระจายตัวที่ดีมากกว่ากัน การกระจายตัวที่ดีจะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผงสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้นจึงทำให้ละลายได้ไวกว่าการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน

3.5.5 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (Caparinoa et al., 2012)

การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายโดยชั่งน้ำหนักผงตัวอย่าง 40 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 200ml กวนของผสมทั้งหมดด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วคงที่ จากนั้นวัดเวลาที่ใช้ในการละลายตัวอย่างจนสมบูรณ์

ความสามารถในการละลาย = เวลาที่ใช้ในการละลายตัวอย่างจนสมบูรณ์ (วินาที)

3.5.6 ค่าสี (color analysis)

บรรจุมะม่วงผงลงในถ้วยทรงกระบอก และวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter (Juki Instrument ,model JC801, Japan) บันทึกค่าสีระบบ CIE ในเทอมของ L*, a* และ b* แล้วนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของสีได้จากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

เมื่อ L* คือ ค่าความสว่าง

a* คือ ค่าแสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

หมายเหตุ L มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า L เท่ากับ 0 เป็นสีที่มืดที่สุด และ L เท่ากับ 100 เป็นสีที่สว่างที่สุด

ค่า a เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีแดง และ ค่า a เป็นลบจะแสดงความเป็นสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า b เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลืองและ ค่า b เป็นลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

3.5.7 ความหนาแน่นโดยรวม (Density)

ชั่งตัวอย่างอาหารผง 2 ก. ใส่ในกระบอกตวงขนาด 50 มล.หาปริมาตรนำไปหารด้วยน้ำหนัก

$$\rho = \frac{m}{v}$$

3.5.8 pH

ความเป็นกรด - ด่าง ของผลิตภัณฑ์ โดย เตรียมผงตัวอย่าง 10 กรัม ผสมกับน้ำ 50 ml ที่อุณหภูมิห้องแล้ววัดด้วย pH meter บันทึกผล

3.5.9 วอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity: a_w)

ปริมาณน้ำอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ สามารถหาได้จากการวัดด้วยเครื่อง

$$a_w = \frac{P}{Po}$$

เมื่อ P คือ ความดันไอของน้ำในอาหาร

Po คือ ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์

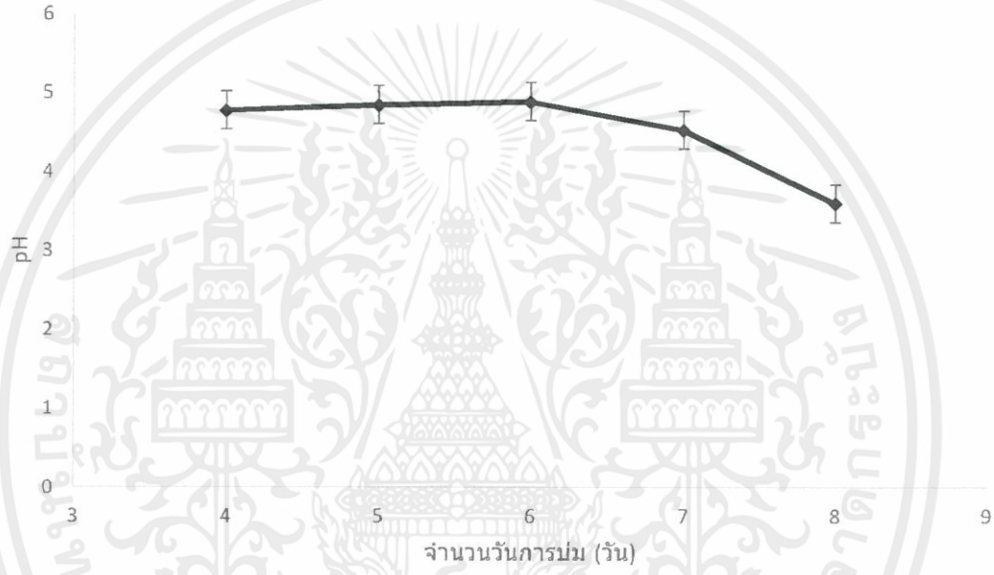
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบมะม่วง

เมื่อนำมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเบอร์ 4 จากตลาดสี่มุมเมือง ซึ่งเป็นมะม่วงที่ผ่านการบ่มมาเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นเริ่มทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมะม่วงจนกระทั่งมะม่วงเริ่มเน่าเสีย คุณสมบัติที่บันทึกประกอบด้วยค่า pH ค่าสี และปริมาณของแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูป 4.1 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของมะม่วง

ในวันที่ 5 หลังจากเก็บมาจากต้น จึงทำการปอกเปลือก และแยกเนื้อกับเมล็ดโดยมะม่วง 1 ลูกมีน้ำหนักเฉลี่ย 370 g คิดเป็น เปลือกและเมล็ด 18.88 % จะได้เนื้อ 81.12 % จากนั้นนำเนื้อมะม่วงมาปั่นและบรรจุลงถุงพลาสติกถุงละ 1,200 กรัม ซึ่งมีค่าบริกซ์เฉลี่ยเท่ากับ 15 หลังจากนั้น 74 วัน จึงเริ่มดำเนินการทดลองโดยมีการเติมน้ำเพื่อลดความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุดิบเริ่มต้นในขณะทำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเริ่มต้นน้ำมะม่วงก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Total soluble solid (°Brix)	12
Total solid (%)	15.25
pH	4.79
Color parameters	
L*(lightness-darkness)	53.6
a*(redness-greenness)	7.28
b* (blueness-yellowness)	52.12

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำมะม่วงก่อนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

Total soluble solid (°Brix)	12
Total solid (%)	15.25
pH	4.92
Color parameters	
L* (lightness-darkness)	54.81
a* (redness-greenness)	6.796
b* (blueness-yellowness)	53.86

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะพบว่าวัตถุดิบเริ่มต้นของน้ำมะม่วงมีของแข็งละลายอยู่ทั้งหมด 15.25% ความเป็นกรด-เบสของวัตถุดิบที่ใช้ทำแห้งแบบพ่นฝอยและทำแห้งแบบลูกกลิ้งเท่ากับ 4.79 และ 4.92 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

มะม่วงบดถูกนำมากรองกากออกเพื่อป้องกันการอุดตันที่ตัวทำละออง หลังจากนั้นจึงเติมน้ำเปล่าให้มีความเข้มข้น 12 brix ทำการผสมมอลโตเดกตรินที่อัตราส่วนต่างๆ และนำมาทำแห้งตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์มะม่วงผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

Inlet Air Temperature(°C)	Maltodextrin (%d.b)	Yield (%)	Moisture (%)	Density (kg/m^3)	Water activity	Hygroscopicity ($gH_2O/gsolid$)	Solubility at 25°C (min.)	Dispersibility	pH	Color change (ΔE)	Color Parameter		
											L*	a*	b*
170	50	58.44	1.9674	429.33	0.2005	0.3551	6.12	26.4937	4.8167	30.22	75.84	11.48	35.60
	62.5	66.23	1.2358	477.333	0.2145	0.3627	7.36	29.5915	4.88	31.24	75.22	10.12	28.25
	75	73.51	0.7224	478.67	0.1795	0.3680	8.14	35.4524	4.74	31.77	76.47	10.79	31.38
180	50	50.89	1.7559	499.33	0.2395	0.3289	6.44	32.8544	4.7967	27.75	75.57	10.94	36.69
	62.5	60.39	0.9347	610.67	0.232	0.3481	7.52	35.9522	5.01	29.97	76.	11.14	33.69
	75	68.17	0.2604	454.67	0.1605	0.3633	10.4	39.4439	4.7366	31.17	76.22	10.81	33.08
190	50	40.55	1.6558	448.67	0.2325	0.3224	7.32	37.7544	4.7633	28.11	74.98	11.3	35.72
	62.5	53.74	0.8027	584	0.2345	0.3416	7.92	38.8951	4.8633	31.28	76.07	11.01	31.98
	75	65.38	0.0939	490	0.178	0.3565	10.54	40.8763	4.6933	29.65	75.70	10.56	33.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สมการโพลิโนเมียลกำลังสอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบของสมการการทดลองที่ประกอบด้วยจำนวนปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์ Response surface และสมการ multiple linear regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผง ได้แก่ ความชื้น (Moisture),ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%yield), ความหนาแน่น (bulk density), การละลาย(solubility), การดูดความชื้นกลับ Hygroscopicity และ ค่าสี (color b-value)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_{12} + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2$$

Y = คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผง

X_1= อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า องศาเซลเซียส (Ta)

X_2= ปริมาณมอลโตเดกตริก กรัม (MD_1)

X_{12} = ผลคูณระหว่างอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกตริน ($Ta*MD_1$)

X_1^2 = อุณหภูมิลมร้อนยกกำลังสอง (Ta^2)

X_2^2 = ปริมาณมอลโตเดกตรินยกกำลังสอง (MD_1^2)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_{11}$ และ β_{22} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_1, x_2, x_{12}, x_1^2 และ x_2^2 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.4 ในการทำนายผลกระทบของตัวแปรอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกตรินต่อคุณสมบัติต่างๆ ของมะม่วงผงโดยใช้สมการโพลิโนเมียลกำลังสอง จะพบว่าความชื้นและร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงนั้นตัวแปรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(<P<0.001) การดูดความชื้นกลับนั้นตัวแปรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญสถิติ (0.001<P <0.01) การละลายนั้นตัวแปรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.01<P<0.05) ส่วนคุณสมบัติอื่นๆนั้นตัวแปรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ *** ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ <0.001

** ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001-0.01

* ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01-0.05

ns ไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์ของสมการของคุณสมบัติต่างๆเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกำลังสอง

Coefficients	Yield (%)	Moisture (%)	Density (kg/m^3)	Solubility (min)	Hygroscopicity	b* value	L* value	Aw	Dispersibility	pH	Total color change
β_0	275.2667	34.7282*	-213.9644	-42.6800	2.2966	-398.43	9.2394	-2.5844	-574.186	-16.1921	253.41
β_1	-1.2318	-0.3289*	2.0413	0.7113	-0.0192	5.9168	0.7557	0.0197	5.6253	0.1952	-2.7625
β_2	-2.2472	-0.0112	1.1391	-0.7573	-0.0051	-3.4249	-0.0324	0.0329	1.8171	0.1228	0.9317
β_{12}	0.0195*	-0.0006*	-0.0002	0.0024	0.0000	0.0046	0.0002	-0.0001	-0.0117	0.0000	0.0000
β_{11}	-0.0018	0.0010*	-0.0055	-0.0022	0.0000	-0.0169	-0.0021	0.0000	-0.0124	-0.0006	0.0074
β_{22}	-0.0040	0.0005*	-0.0087	0.0036	0.0000	0.0196	0.0002	-0.0002	0.0043	-0.0010**	-0.0067
R^2	0.9969	0.9990	0.7551	0.9364	0.9801	0.8956	0.4786	0.9155	0.9965	0.9004	0.8155
SE.	0.9164	0.0337	0.7419	0.6394	0.0037	1.3706	0.5607	0.0140	0.4578	0.0496	1.0022
p-value	***	***	ns (p<0.4)	*	**	ns (p<0.1)	ns (p<0.8)	ns (p<0.1)	***	ns (p<0.1)	ns (p<0.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4.2.1 ความชื้น (Moisture Content)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่า ความชื้นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ผงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.0939 ถึง 1.9674 %

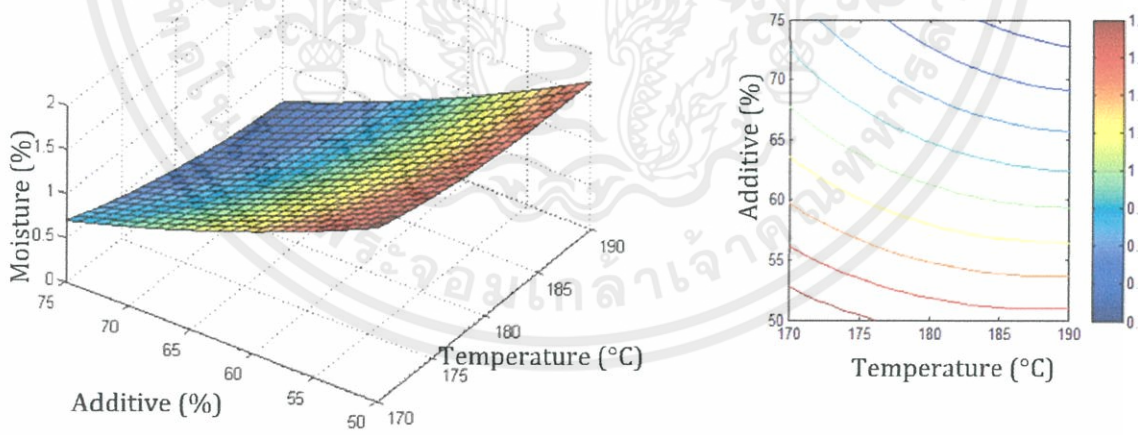
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Moisture (\%)} = 275.26 - 1.23x_1 - 2.24x_2 + 0.02x_1x - 0.0018\,x_1^{\,2} + 0.004x_2^{\,2}$$

ค่า R^2 =0.9990, S.E. = 0.0337 , $p<0.001$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น95% ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรร่วมระหว่างอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกตรินมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่4.2 ความชื้นจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นและปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราการระเหยเพิ่มขึ้นและปริมาณมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น (Quek et al., 2007) โดยที่อุณหภูมิลมร้อน 190 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกตรินเท่ากับ 75% จะมีความชื้นต่ำสุด เท่ากับ 0.0939%



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 40.55 % ถึง 73.51 %

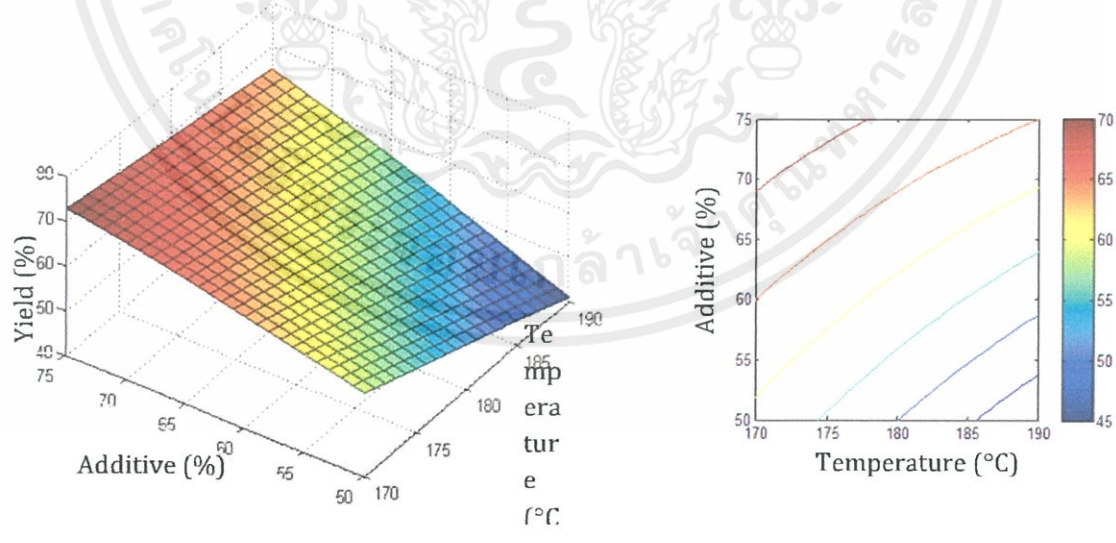
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Yield (\%)} = 34.72 - 0.33x_1 - 0.01x_2 - 0.0006x_1x_2 - 0.001\ x_1^{\ 2} + 0.0005\ x_2^{\ 2}$$

ค่า R^2 =0.9969, S.E. = 0.9164 , $p<0.001$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิตินอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรร่วมระหว่างอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกตรินมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงจะเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhongxiang Fang et al., 2012) พบว่าเมื่อ อุณหภูมิลมร้อนลดลง ร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะยิ่งอุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นในขณะที่กำหนดให้อุณหภูมิขาออกคงที่ อุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งสูงเกินกว่าค่า glass temperature ของสารละลาย (Hilal S ,ahin-Nadeem et al., 2013) นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน เท่ากับ 75% จะได้ร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สูงสุดเท่ากับ 73.51%



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ความหนาแน่น (Density)

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่า ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงอยู่ในช่วง 429.33 ถึง 610.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

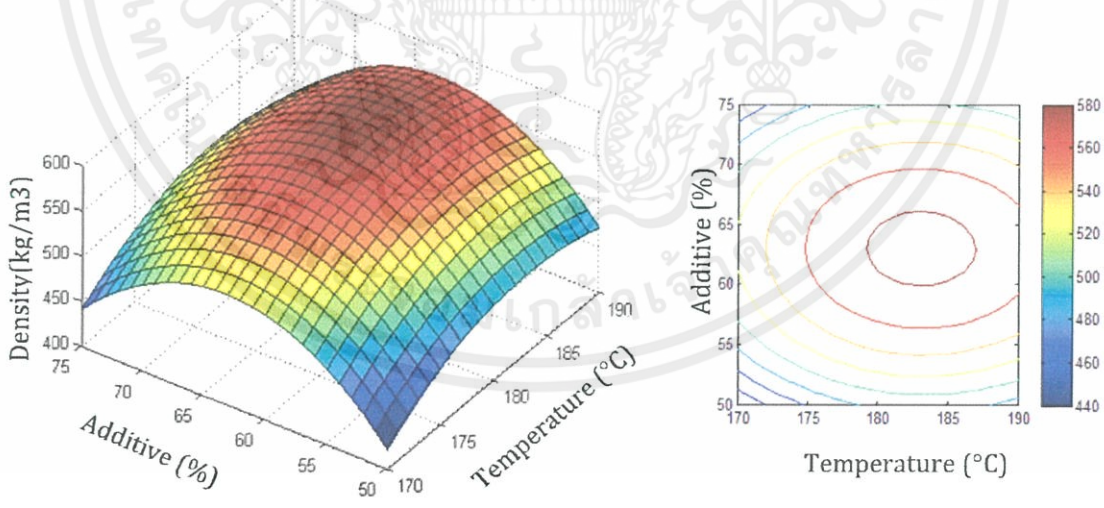
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Density } (kg/m^3) = -213.9644 + 2.0413x_1 + 1.1390x_2 - 0.0002x_1x_2 - 0.0055\,x_1^{\,2} + 0.0087x_2^{\,2}$$

ค่า R^2=0.7551, S.E. = 0.7419, $p < 0.4$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆนั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น แสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.4 จะพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเดกตรินและอุณหภูมิลมร้อนค่าความหนาแน่นที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Barbosa et al., 2005) เมื่ออุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะหนึ่งที่อุณหภูมิลมร้อนประมาณ180 องศาเซลเซียส และปริมาณสารช่วยทำแห้ง 62.5% จะได้ค่าความหนาแน่นมากที่สุด 610.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดตรินพบว่าค่าความหนาแน่นที่ได้จะลดลง



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระจะพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.1605 ถึง 0.2395ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตราฐานของอาหารแห้ง

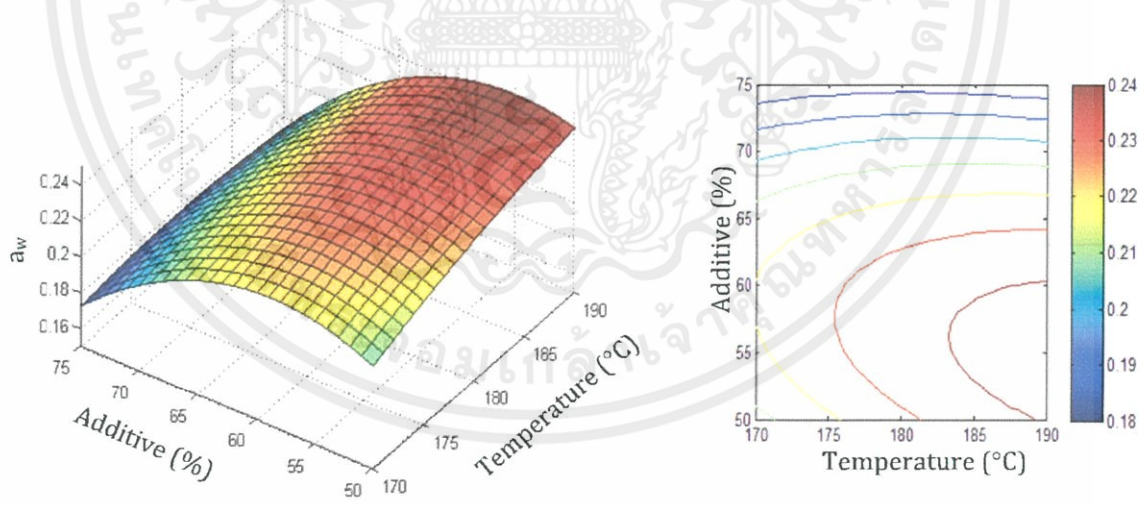
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$Aw = -2.5843 + 0.01972x_1 + 0.03286x_2 - 0.00006x_1x_2 - 4.0833\ x_1^{\ 2} - 0.0001x_2^{\ 2}$$

ค่า $R^2 = 0.9154$, S.E. = 0.0139 , $p < 0.1$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกันดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.5 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ต่างกันมาก แต่ เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกตรินค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จะมีแนวโน้มลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Quek et al., 2007) ที่อุณหภูมิลมร้อน 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน75 % จะทำให้มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.1605



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity)

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดความชื้นกลับจะพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.3224 ถึง 0.3680

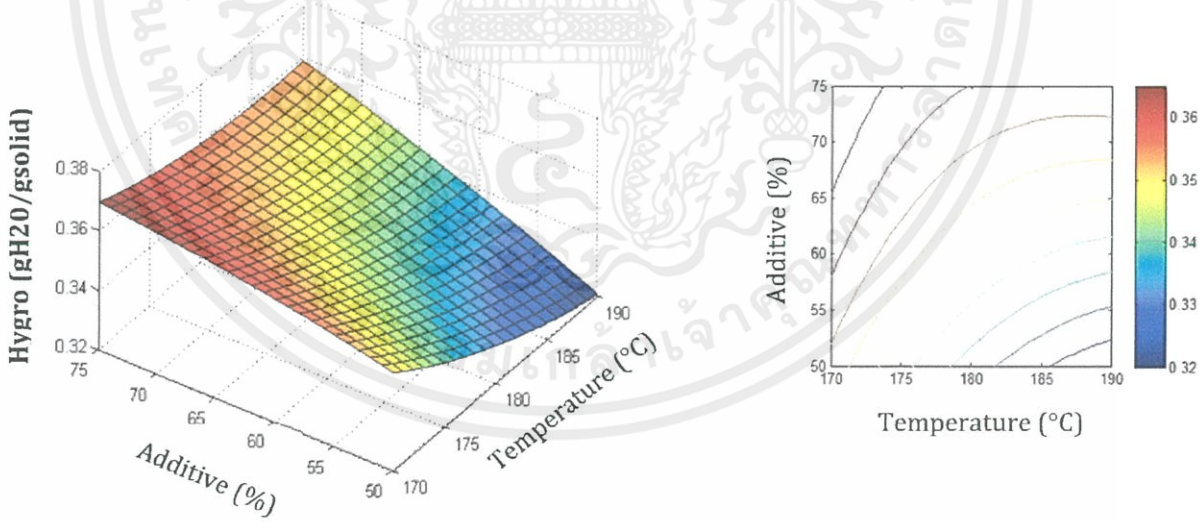
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Hygroscopicity } (gH_2o/gsolid) = 2.29 - 0.019x_1 - 0.0051x_2 + 0.00x_1x_2 + 0.00\,x_1^{\,2} + 0.00x_2^{\,2}$$

ค่า $R^2 = 0.9801$, S.E. = 0.003 , $p < 0.01$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value ($P<0.01$) อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่4.6 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นค่าการดูดความชื้นกลับมีแนวโน้มลดลง แต่ทว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นค่าการดูดความชื้นกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ทว่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าการดูดความชื้นนั้นไม่ต่างกันมากเพียงทศนิยมตำแหน่งที่สองเท่านั้น ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 75% จะมีค่าการดูดความชื้นกลับสูงสุด เท่ากับ 0.3680



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ค่าการละลาย (Solubility)

จากการวิเคราะห์ค่าการละลายพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ ค่าการละลายของผลิตภัณฑ์ผงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 6.12 ถึง 10.54 นาที

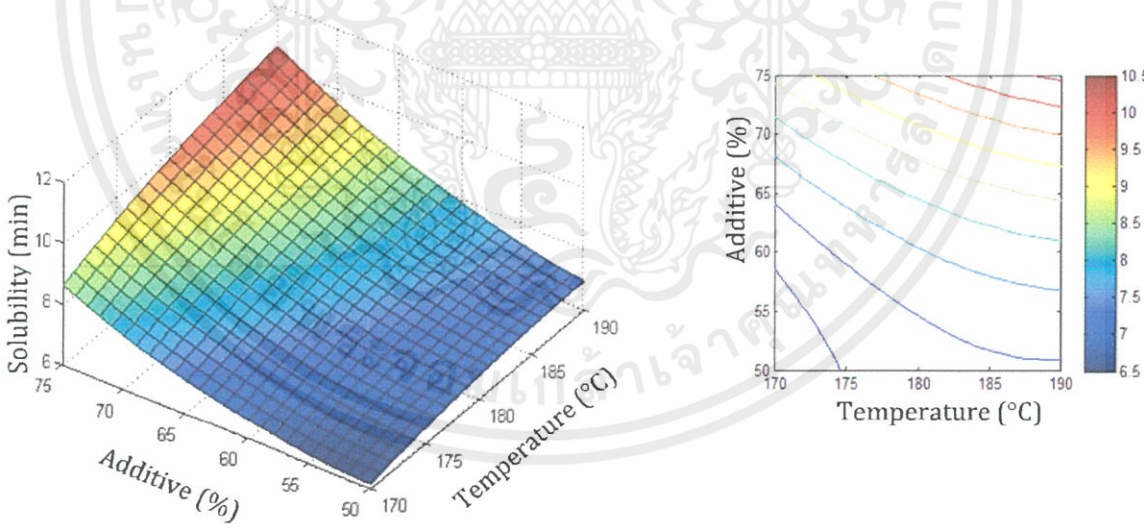
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Solubility (min)} = -42.68 + 0.7x_1 - 0.76x_2 + 0.0024x_1x_2 - 0.0022\,x_1^2 + 0.0036\,x_2^2$$

ค่า R^2 = 0.9364 , S.E. = 0.6394 , $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติมากแต่อย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้น จะพบว่า การละลายจะลดลงซึ่งจะเห็นได้จากเวลาที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นจะพบว่าการละลายจะลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ (Hilal S et al.,2013)ที่อุณหภูมิลมร้อน 190 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกตริน 75% จะละลายได้ช้าที่สุด โดยใช้เวลานานถึง 10.54 นาที



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ค่าการกระจายตัว (Dispersibility)

จากการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 26.49 ถึง 40.87

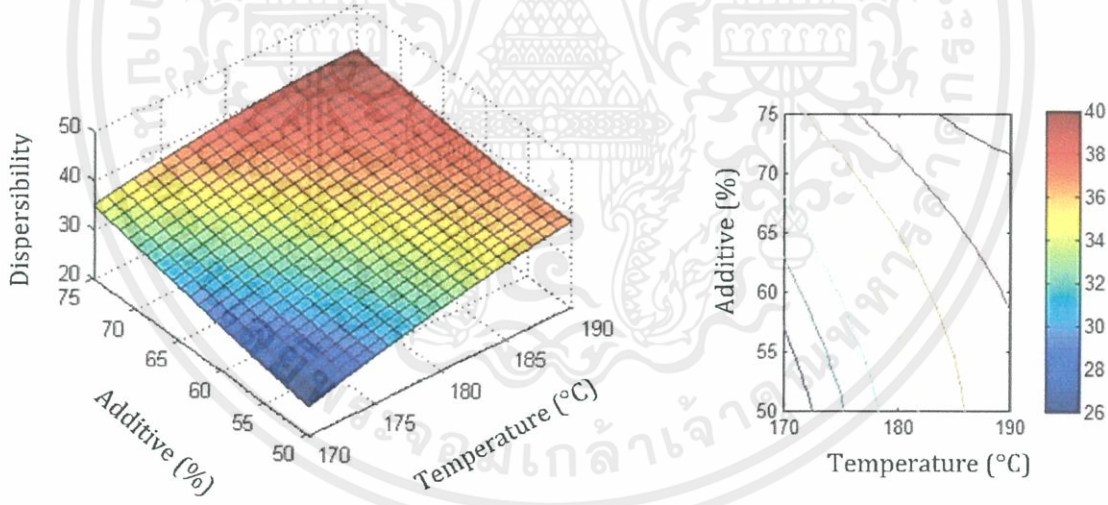
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Dispersibility} = -574.19 + 5.6253\,x_1 + 1.8172x_2 - 0.0117x_1x_2 - 0.0124x_1^{\,2} + 0.0043x_2^{\,2}$$

ค่า $R^2 = 0.9965$ S.E. = 0.4578 , $p < 0.001$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าถ้าอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นการกระจายตัวจะดีขึ้น คือมีค่าน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaya.et.al.,2004ที่อุณหภูมิลมร้อน 190 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 75% จะมีค่าการกระจายตัวมากที่สุดเท่ากับ 40.87



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การกระจายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

จากการวิเคราะห์ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ผงพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.6933 ถึง 5.0100 ซึ่งเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้นนั้นจะมีค่าความเป็นกรดที่ลดลง

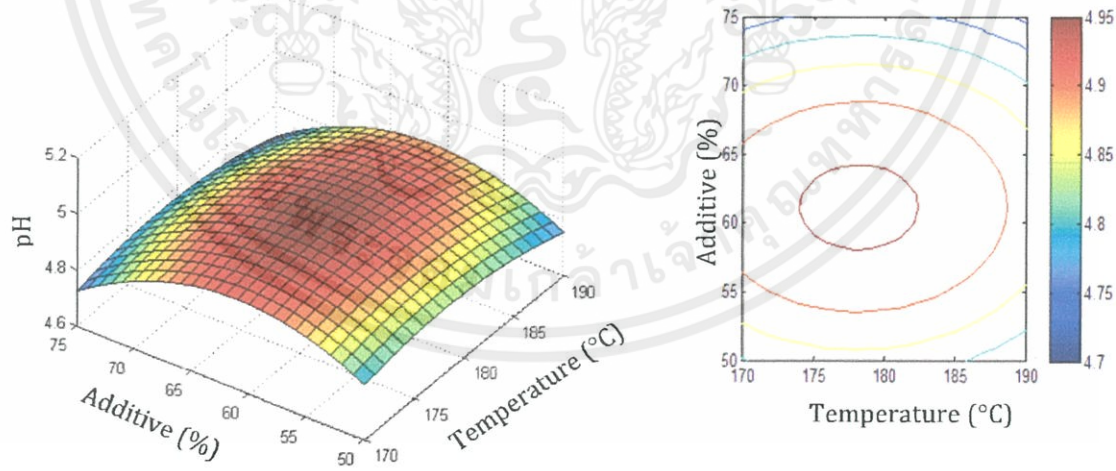
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$pH = -16.1921 + 0.1952x_1 + 0.1228x_2 + 0.00001x_1x_2 - 0.00005x_1^2 - 0.001x_2^2$$

ค่า R^2 = 0.9003 , S.E. = 0.0495 , $P < 0.1$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95 % นั้นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรปริมาณมอลโตเดกตรินกำลังสอง จะพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) คือปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มเป็นสองเท่า ค่าพีเอชของความเป็นกรดจะเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.9 จะพบว่าค่าพีเอชที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้น ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มมอลโตเดตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไปจนถึงที่ 180องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดตริน62.5% แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกตรินขึ้นไปอีก ค่าพีเอชจะลดลง ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ต่างกันเพียงทศนิยมตำแหน่งที่หนึ่งเท่า ซึ่งถือว่าไม่ต่างกันมากนักที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 75% จะมีค่าพีเอชแสดงความเป็นกรดต่ำที่สุด เท่ากับ 4.6933



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความเป็นกรด - ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9 ความเป็นสีเหลือง (b*)

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลืองซึ่งเป็นสีที่สำคัญสำหรับมะม่วงสุก พบว่าจะมีค่าอยู่ในช่วง 28.25 ถึง 36.69

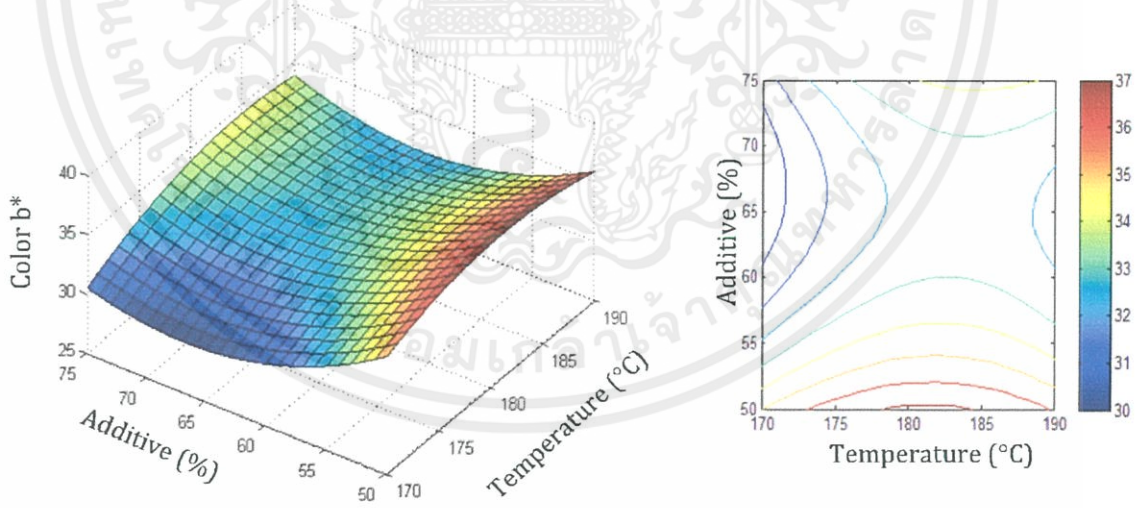
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$b^* = -398.43 + 5.9168x_1 - 3.4249x_2 + 0.0046x_1x_2 - 0.0169x_1^2 + 0.0197x_2^2$$

ค่า R^2 = 0.8956, S.E. = 1.3706, $p < 0.1$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติมากอย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่4.10 การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนไม่มีผลกระทบต่อค่าความเป็นสีเหลือง แต่ทว่าการเติมมอลโตเดกตรินทำให้สีเหลืองของผลิตภัณฑ์ผงจางลงที่อุณหภูมิลมร้อน 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 50% จะมีค่าความเป็นสีเหลืองเท่ากับ 36.69 มากที่สุด ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าความเป็นสีเหลืองของวัตถุดิบซึ่งมีค่าสีประมาณ 52.12



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.10 ความสว่าง (L*)

การวิเคราะห์ค่าความสว่างซึ่งเป็นสีที่สำคัญสำหรับมะม่วงสุก พบว่าจะมีค่าอยู่ในช่วง 74.98 ถึง 76.47 ซึ่งมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น

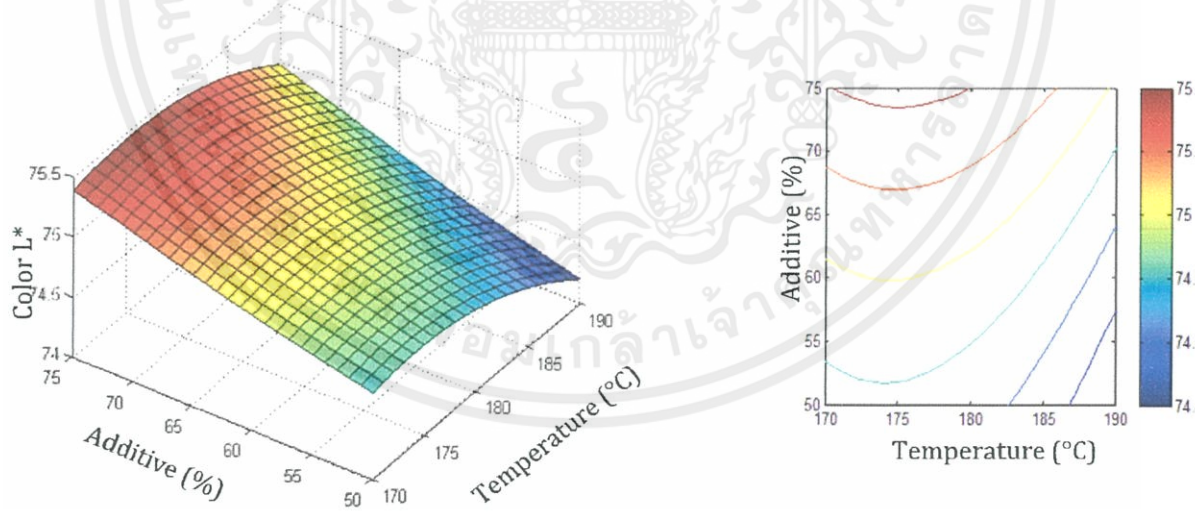
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$L^* = 9.2394 + 0.7558x_1 - 0.0324x_2 + 0.0001x_1x_2 - 0.0021x_1^2 + 0.0002x_2^2$$

ค่า R^2 = 0.4786, S.E. = 0.5607, $p < 0.8$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติมากแต่อย่างใด ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.11 การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนความสว่างลดลง แต่ทว่าการเติมมอลโตเดกตริน ซึ่งมีสีขาวนั้นทำให้มีความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้นที่อุณหภูมิลมร้อน 170 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 75% จะมีค่าความสว่างเท่ากับ 76.47 ซึ่งมากที่สุด



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.11 ความเป็นสีแดง (a*)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นสีแดง มีค่าอยู่ในช่วง 10.12 ถึง 11.48 ซึ่งมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น

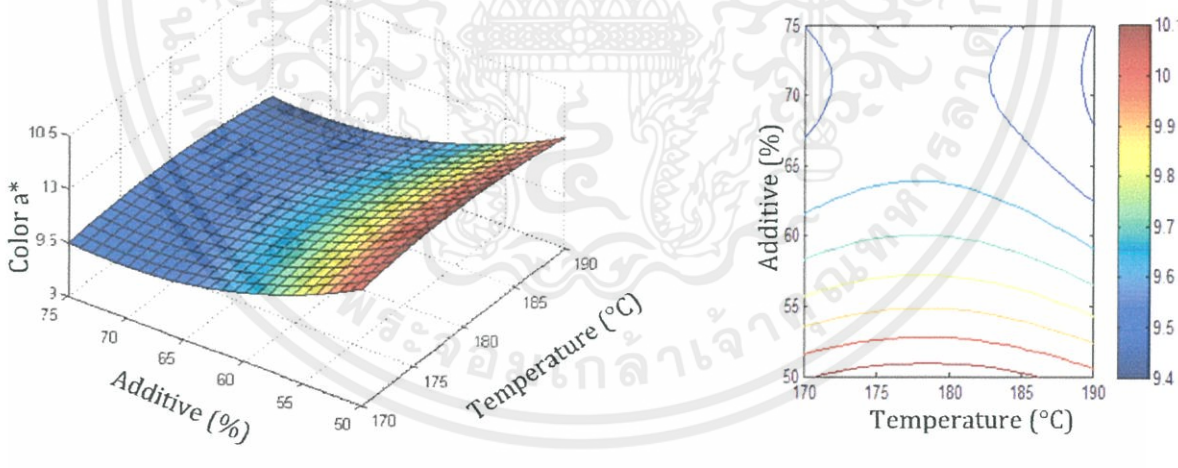
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$a^* = -12.9472 + 0.3263x_1 - 0.1815x_2 - 0.0001x_1x_2 - 0.0009x_1^2 + 0.0014x_2^2$$

ค่า R^2 = 0.4264, S.E. = 0.5007, $p < 0.8$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.12 การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ผงมากนัก แต่ทว่าการเติมมอลโตเดกตรินซึ่งมีสีขาวนั้นทำให้ความเป็นสีแดงลดลง ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ความเป็นสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) หรืออาจเกิดคาราเมไลเซชัน (Caramelization) (สโลบลและชัยรัตน์,2554) ที่อุณหภูมิลมร้อน 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 50% จะมีค่าความเป็นสีแดงต่ำที่สุดเท่ากับ 10.94



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าความเป็นสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.12 ค่าสี (ΔE)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสี มีค่าอยู่ในช่วง 27.75 ถึง 31.77

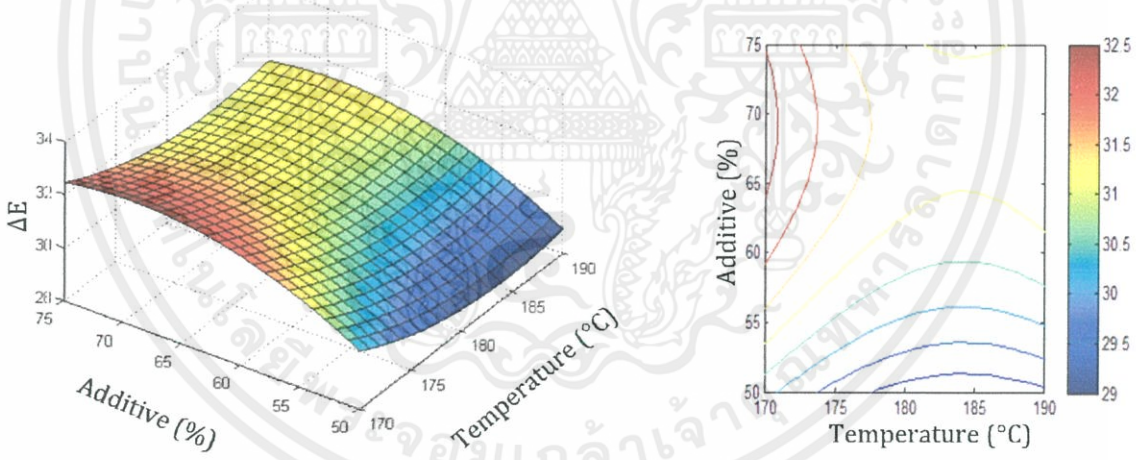
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta E = 253.41 - 2.7626x_1 + 0.0917 x_2 - 0.0000x_1x_2 + 0.0075 x_1^2 - 0.0067x_2^2$$

ค่า R2 = 0.8155, S.E. = 1.0022 , $p < 0.3$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2, ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่ 95% นั้นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.13 การเพิ่มมอลโตเดกตรินมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 75 % จะมีค่าการเปลี่ยนของค่าสีมากทุสุดเท่ากับ 31.77



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การเปลี่ยนแปลงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

มะม่วงบดถูกนำมากรองกากออกเพื่อป้องกันการอุดตันที่ตัวทำละออง หลังจากนั้นจึงเติมน้ำเปล่าให้มีความเข้มข้น 12 brix ทำการผสมมอลโตเดกตรินที่อัตราส่วนต่างๆ และนำมาทำแห้งตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์มะม่วงผงด้วยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะต่างๆ

Inlet Air Temperature(°C)	Maltodextrin (%d.b)	Yield (%)	Moisture (%)	Density (kg/m^3)	Water activity	Hygroscopicity ($gH_2o/gsolid$)	Solubility at 25°C (min.)	Dispersibility	pH	Color change (ΔE)	Color Parameter		
											L*	a*	b*
120	150	76.09	0.1200	832	0.235	0.44	3.44	42.01	4.8	26.72	63.18	12.1	25.76
	175	76.92	0.0841	855.33	0.226	0.4633	2.6	45.68	4.87	26.88	65.91	12.95	27.9
	200	81.56	0.1229	756	0.183	0.4689	2.58	26.72	4.93	32.04	66.79	11.11	24.46
130	150	71.01	0.2232	760.67	0.1215	0.4919	2.2	47.01	4.85	31.05	68.01	11.52	26.15
	175	73.34	0.8903	724.67	0.107	0.5081	2.9	35.89	4.90	30.52	68.34	12.11	25.03
	200	78.81	0.0355	690.67	0.101	0.4980	2.46	30.85	4.92	34.91	72.39	9.35	23.69
140	150	56.43	0.4923	705.33	0.1475	0.4859	2.38	45.46	4.90	26.81	63.13	13.9	28.09
	175	56.42	0.0195	746	0.153	0.4828	1.6	36.15	4.93	27.58	63.71	14.08	27.99
	200	60.65	0.1686	767.33	0.1385	0.4882	2.23	32.20	5.02	31.95	68.68	12.43	26.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สมการโพลิโนเมียลกำลังสอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบของสมการการทดลองที่ประกอบด้วยจำนวนปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์ Response surface และสมการ multiple linear regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผง ได้แก่ ความชื้น (Moisture),ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%yield), ความหนาแน่น (bulk density), การละลาย(solubility), การดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) และ ค่าสี (color b-value)

$$Y= \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_{12} + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2$$

Y = คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มะม่วงผง

X_1 = อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง องศาเซลเซียส (Td)

X_2 = ปริมาณมอลโตเดกตริก กรัม (MD_2)

X_{12} = ผลคูณระหว่างอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณมอลโตเดกตริน($Td*MD_2$)

X_1^2 = อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งยกกำลังสอง (Td^2)

X_2^2 = ปริมาณมอลโตเดกตรินยกกำลังสอง (MD_2^2)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_{11}$ และ β_{22} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_1, x_2 ,x_{12}, x_1^2 และ x_2^2 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.6 ในการทำนายผลกระทบของตัวแปรอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกตรินต่อคุณสมบัติต่างๆ ของมะม่วงผงโดยใช้สมการโพลิโนเมียลกำลังสองจะพบว่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงนั้นตัวแปรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (<P<0.001) การดูดความชื้นกลับและพีเอชนั้นตัวแปรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.001<P<0.01) วอเตอร์แอคติวิตี้ ค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเหลืองนั้นตัวแปรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P <0.01) ส่วนคุณสมบัติอื่นๆนั้นตัวแปรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ *** ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ <0.001

** ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001-0.01

* ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01-0.05

ns ไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.6 ผลการวิเคราะห์โดยใช้ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกำลังสอง

Coefficients	Yield (%)	Moisture (%)	Density (kg/m³)	Solubility (min)	Hygroscopicity	b* value	L* value	Aw	Dispersibility	pH	Total color change
β_0	-50.22**	-829.37	12053.5	25.38	-5.32**	239.57	-585.461*	13.20***	67.69	7.01	-472.184**
β_1	0.6223**	15.7759	-162.228	-0.0388	0.0784**	-4.3461	10.95583*	-0.1947***	-0.6773	-0.0417	9.1345**
β_2	0.1161	-0.7653	-5.43333	-0.1990	0.0070	0.7749	-0.7462	-0.0019	0.4824	0.0016	-1.143*
β_{12}	-0.0003	-0.0013	0.138	0.0007	0.0000	-0.0007	0.00194	0.0000	0.0020	0.0000	-0.00018
β_{11}	-0.0022**	-0.0638	0.516667	-0.0005	-0.0003**	0.0174	-0.04347*	0.0007***	0.0012	0.0002	-0.03497**
β_{22}	-0.0002	0.0030	-0.03733	0.0003	0.0000	-0.002	0.001669	0.0000	-0.0030	0.0000	0.003605**
R^2	0.9969	0.9990	0.8810	0.9364	0.9801	0.8676	0.947948	0.9899	0.7903	0.9414	0.988069
SE.	0.9164	0.0337	30.5773	0.6394	0.0037	0.9516	1.143835	0.0079	5.4933	0.0241	0.526522
p-value	***	ns (p<0.9)	ns (p<0.2)	ns (p<0.6)	*	ns (p<0.2)	*	**	ns (p<0.3)	*	**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4.3.1 ความชื้น (Moisture Content)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่า ความชื้นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ผงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.0195 ถึง 0.8903 เปอร์เซ็นต์

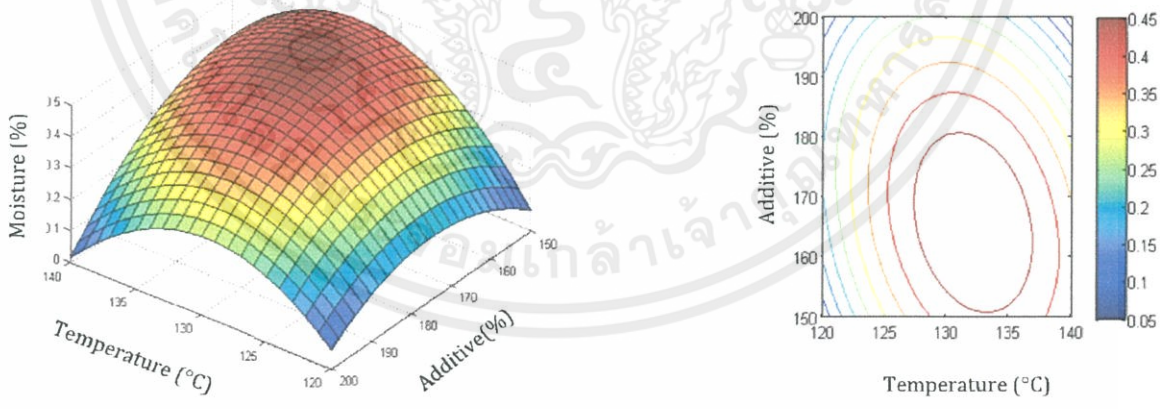
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Moisture (\%)} = -50.21 + 0.62x_1 + 0.116x_2 - 0.0003\, x_1x_2 - 0.002x_1^{\,2} - 0.0002x_2^{\,2}$$

ค่า R^2 =0.3480 , S.E. = 0.3714, $p < 0.9$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือไม่มีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆนั้นก็ไม่มีมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นดังเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.13 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง ให้มีค่าเพิ่มขึ้น จะพบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกตรินพบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงจะมีค่าลดลง แต่ที่ปริมาณมอลโตเดกตรินค่าๆหนึ่งการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความชื้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งที่ใช้ในขณะนั้น ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 140 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกคริน 175% จะมีค่าความชื้นต่ำสุดเท่ากับ 0.0195%



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 40.55 % ถึง 82.51 %

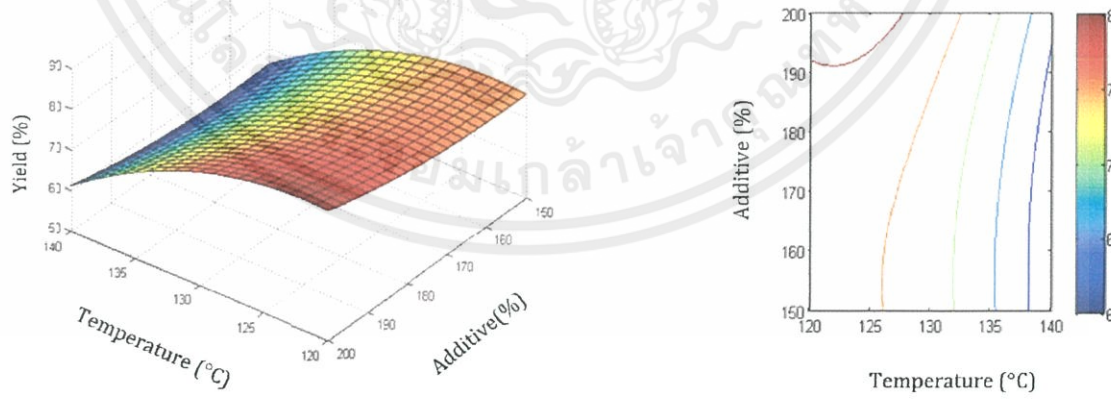
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Yield (\%)} = -829.37 + 15.77x_1 - 0.76x_2 - 0.0012x_1x_2 - 0.063x_1^2 + 0.0029x_2^2$$

ค่า R^2 =, 0.9960 S.E. = 1.0021 , $p<0.001$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95 % นั้นคือมีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างอุณหภูมิผิวนั้นมีมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นดังเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.14 จะพบว่าเมื่อทำการเพิ่มมอลโตเดกตริกร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhongxiang Fang. et.al,2012ในทางตรงกันเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจะพบว่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีปริมาณลดลง เนื่องด้วยอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งถ้าสูงกว่าTgของอนุภาคอาหารมากเท่าใดก็จะส่งเสริมให้เกิดการเกาะติดมากขึ้น (Weerachet.,et.al., 2011)ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน เท่ากับ 200% จะได้ร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สูงสุดเท่ากับ 81.56%



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น (Density)

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่า ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงอยู่ในช่วง705.33 ถึง 855.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

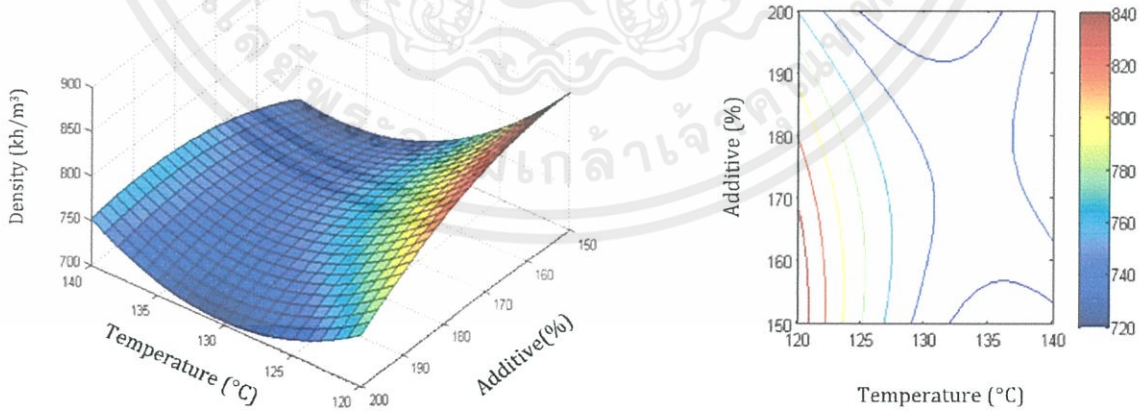
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Density } (kg/m^3) = 12053.5 - 162.2278\, x_1 - 5.4333\, x_2 + 0.138\, x_1x_2 + 0.5167\, x_1^2 - 0.0373 x2^2$$

ค่า R^2 =0.8810 , S.E. =30.5773 , $p < 0.2$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างนั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.15 เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเดกตริกและอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Weerachet.,et.al., 2011 นั้นคืออุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณมอลโตเดกตรินไม่มีผลกระทบต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงมากนัก ที่สภาวะอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 120 องศาเซลเซียส ปริมาณสารช่วยทำแห้ง 175%จะมีความหนาแน่นมากที่สุดเท่ากับ 855.33 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)

จากการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จะพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.1010 ถึง 0.2350

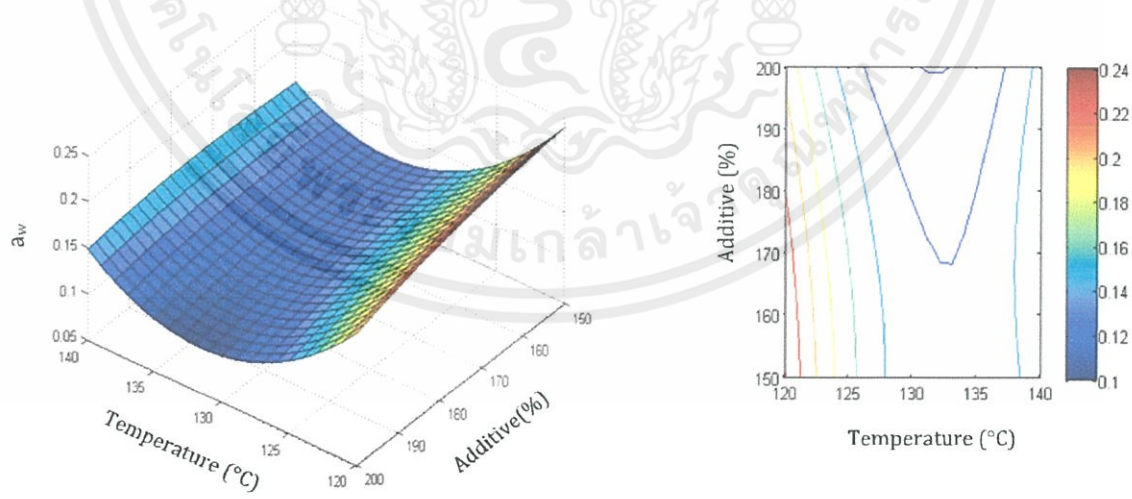
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$Aw = 13.2034 - 0.1946\ x_1 - 0.0018\ x_2 + 0.00004\ x_1x_2 + 0.0007x_1^2 - 0.00001x_2^2$$

ค่า R^2 =0.9899 , S.E. =0.0079 , $p < 0.01$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือมีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างอุณหภูมิผิวนั้นมีมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.16 เมื่ออุณหภูมิผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ต่างกันหรือกล่าวได้ว่าอุณหภูมิไม่มีผลกระทบต่อค่าวอเตอแอคติวิตี้มากนัก ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกตรินค่าวอเตอร์แอคติวิตี้จะมีค่าลดลง ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 130 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตรินเท่ากับ 200% จะค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำสุด เท่ากับ 0.1010



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity)

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดความชื้นกลับจะพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.44 ถึง 0.50 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง

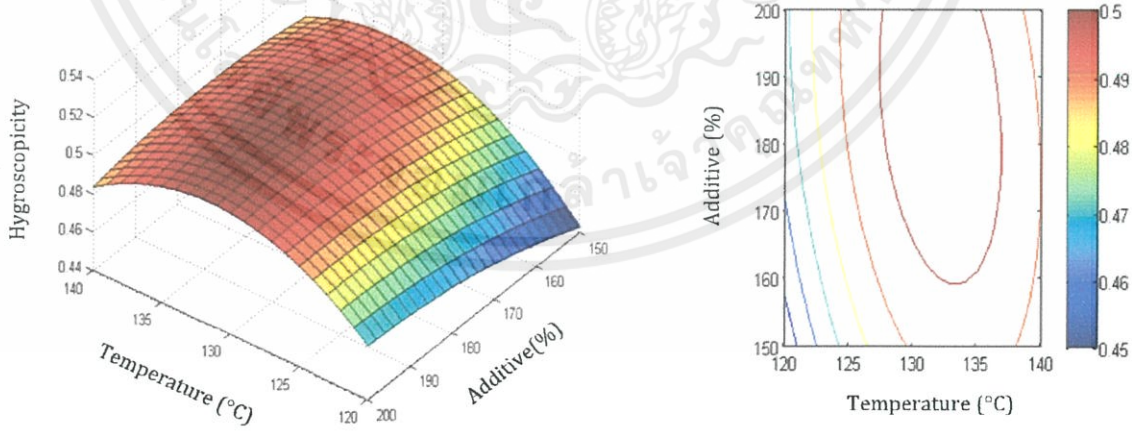
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Hygrosco(gH2o/gsolid)} = -5.32 - 0.078x_1 - 0.00702x_2 - 0.00002x_1x_2 - 0.0002x12 - 9.467E\text{-}06x_2^2$$

ค่า R^2 = 0.9584, S.E. = 0.006 , $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. , P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือมีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลกระทบของตัวแปรอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งนั้นมีมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดความชื้นกลับ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.17 การเพิ่มอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งทำให้ค่าการดูดความชื้นกลับเพิ่มขึ้นแต่เมื่ออุณหภูมิผิวลูกกลิ้งสูงเกินกว่า 135 องศาเซลเซียส ค่าการดูดความชื้นกลับมีแนวโน้มลดลง และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกตรินไม่ส่งผลกระทบมากนักต่อค่าการดูดความชื้นกลับที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 175เปอเซนต์ จะมีค่าการดูดความชื้นกลับสูงสุด เท่ากับ 0.5081



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ค่าการละลาย (Solubility)

จากการวิเคราะห์ค่าการละลายพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ ค่าการละลายของผลิตภัณฑ์ผงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.6 ถึง 3.44 นาที

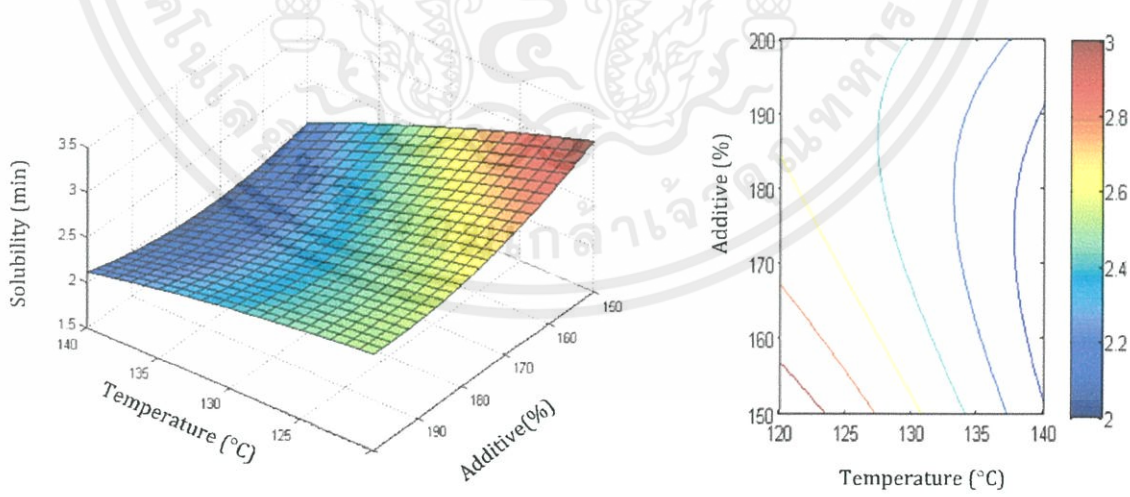
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Solubility} = 25.38 - 0.038x_1 - 0.19x_2 + 0.0007x_1x_2 - 0.00048x_1^2 - 0.0003x_2^2$$

ค่า R^2 = 0.6146 , S.E. = 0.5128 , $p < 0.6$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. , P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือไม่มีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างนั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดความชื้นกลับเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.18 จะพบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้น การละลายจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น จะพบว่าการละลายจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากเวลาที่ลดลงโดยที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 140 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกตรินประมาณ 175% จะละลายได้เร็วที่สุด โดยใช้เวลาเพียง1.6 นาที



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7ค่าการกระจายตัว (Dispersibility)

จากการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 26.72 ถึง 47.01

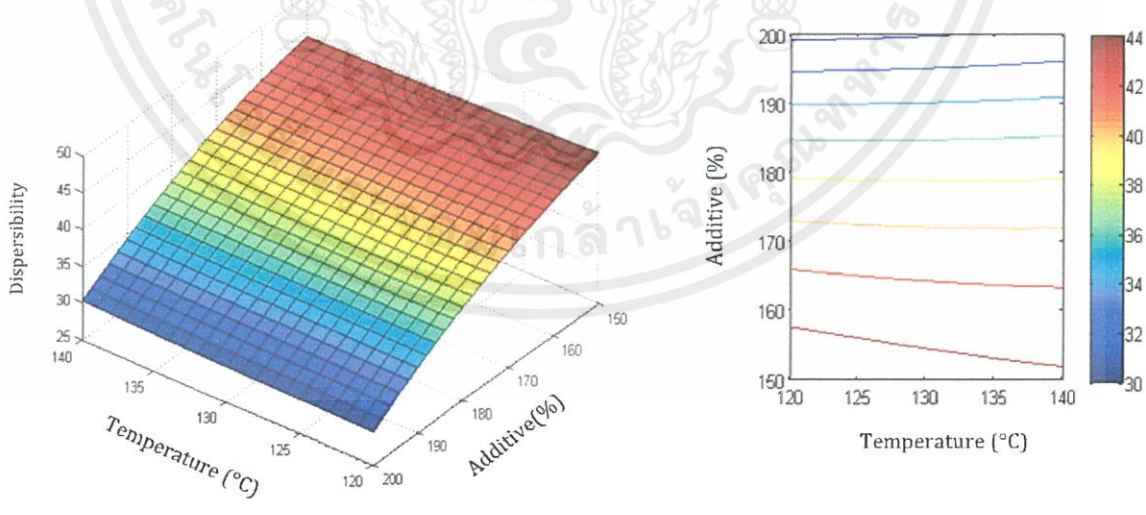
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{Dispersibility} = 67.6991 - 0.6772x_1 + 0.4824x_2 + 0.002x_1x_2 + 0.0012x_1^2 - 0.0029x_2^2$$

ค่า R^2 =0.7903 , S.E. = 5.4933 , $p < 0.3$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. , P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือไม่มีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ นั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการการกระจายตัวเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.19 จะพบว่า ถ้าอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงค่าการกระจายตัวน้อยมาก ในทางตรงกันข้ามปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นการกระจายตัวจะลดลง ที่สภาวะอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 130 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 150% จะมีค่าการกระจายตัวมากที่สุดเท่ากับ 47.01



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การกระจายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3..8 ค่าพีเอช (pH)

จากการวิเคราะห์ค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์ผงพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.80 ถึง 5.02เมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้นนั้นจะมีค่าความเป็นกรดที่ลดลง

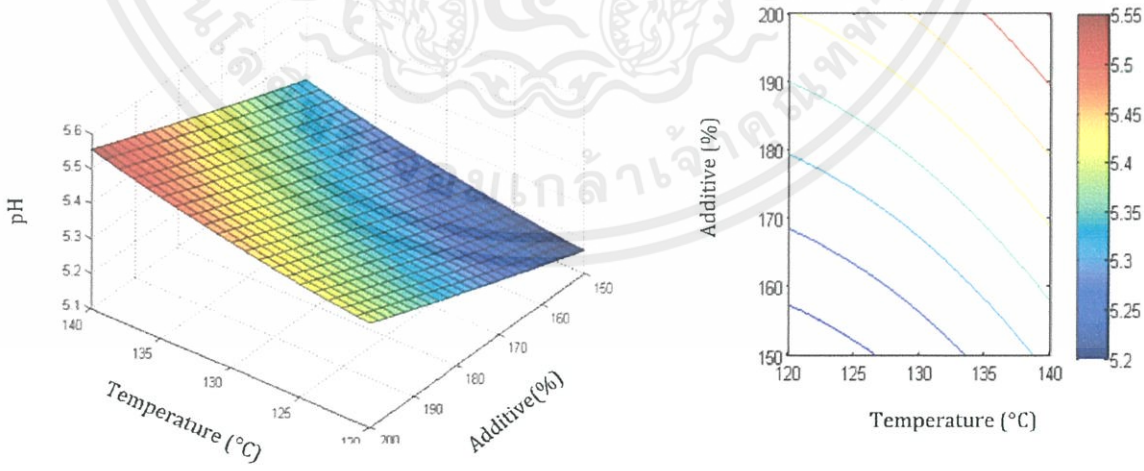
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$pH = 7.0069 - 0.417x_1 + 0.0015x_2 - 0.00005x_1x_2 + 0.0001x_1^2 - 0.000005x_2^2$$

ค่า R^2 =0.9414 , S.E. = 0.0241 , $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. , P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือมีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ นั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการการะจายตัวเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.20 ปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นความเป็นกรดจะลดลงอย่างไรก็ตามค่าพีเอช มีค่าใกล้เคียงกันมาก ที่สภาวะอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 120 องศาเซลเซียส ปริมาณสารช่วยทำแห้ง 150% จะมีค่าความเป็นกรดมากที่สุดเท่ากับ 4.8



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ความเป็นกรด - ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.9 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลืองซึ่งเป็นสีที่สำคัญสำหรับมะม่วงสุก พบว่าจะมีค่าอยู่ในช่วง 23.69 ถึง 28.09 ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น

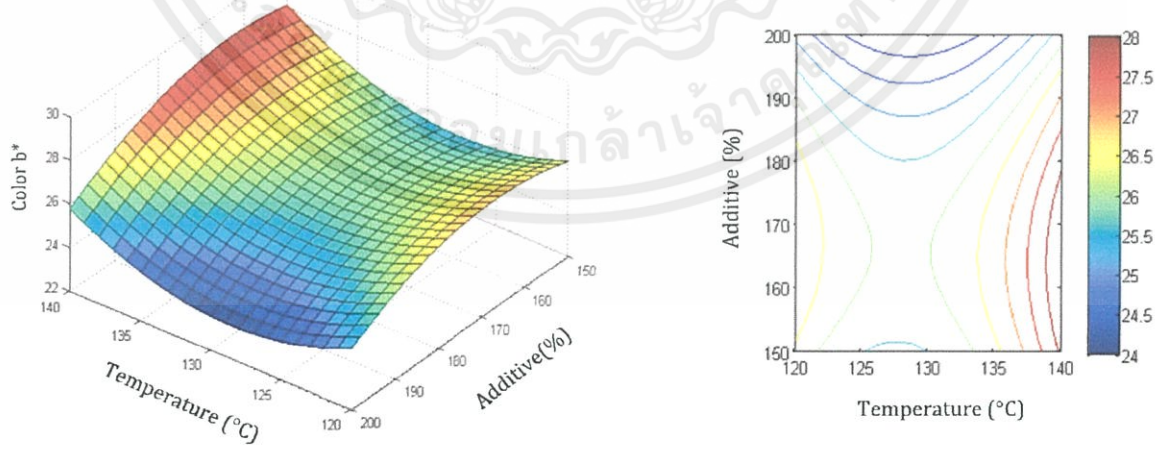
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$b^* = 239.57 - 4.3462x_1 + 0.7749x_2 - 0.0007x_1x_2 + 0.0174x_1^2 - 0.0020x_2^2$$

ค่า R^2 =0.8676 , S.E. =0.9516 , $p < 0.2$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value ไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95 % นั้นคือไม่มีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ นั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.21 จะพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิลมผิวลูกกลิ้งนั้นมีแนวโน้มค่า ความเป็นสีเหลือจะลดลงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 130 องศาเซลเซียส แต่ทว่าการเติมมอลโตเดกตรินทำให้สีเหลืองของผลิตภัณฑ์ผงจางลง ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง140องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน150% จะมีค่าความเป็นสีเหลืองเท่ากับ 28.09 ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าความเป็นสีเหลืองของวัตถุดิบซึ่งมีค่าสีประมาณ 53.86



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.10 ค่าความสว่าง (L*)

จากการวิเคราะห์ค่าความสว่างซึ่งเป็นสีที่สำคัญสำหรับมะม่วงสุก พบว่าจะมีค่าอยู่ในช่วง 63.13 ถึง 72.39

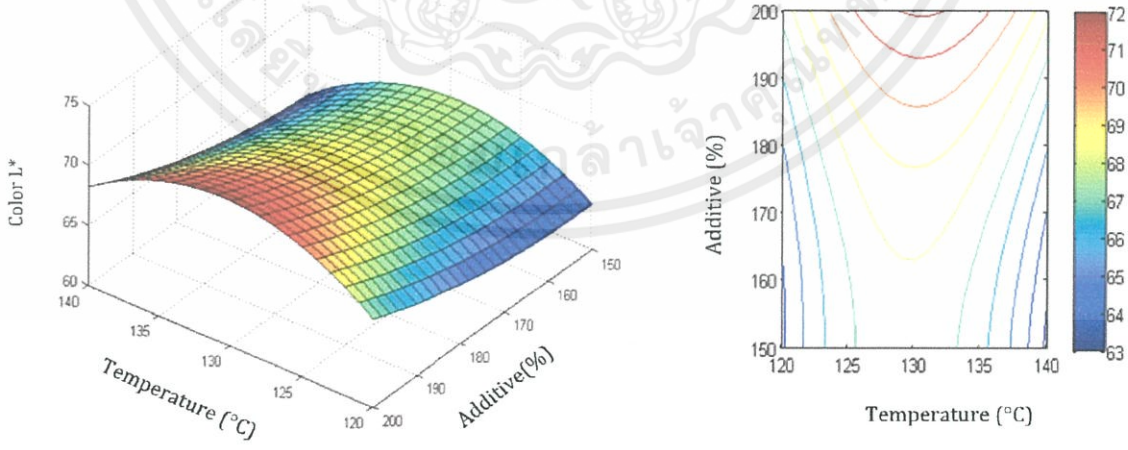
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$L^* = -585.46 + 10.9558\, x_1 - 0.7462x_2 + 0.0019x_1x_2 - 0.0435x_1^2 + 0.0017x_2^2$$

ค่า R^2 =0.9479 , S.E. =1.1438 , $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% นั้นคือมีมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง นั้นมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.22 จะพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งมีผลกระทบต่อค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิหนึ่งความสว่างจะลดลง แต่ทว่าการเพิ่มมอลโตเดกตรินทำให้มีความสว่างเพิ่มขึ้น โดยรวมแล้วผลิตภัณฑ์ผงจะมีค่าความสว่างต่ำกับของวัตถุดิบเริ่มต้น ที่อุณหภูมิผิว 140 องศาเซลเซียส ปริมาณสารช่วยทำแห้ง 150% จะมีค่าความสว่างเท่ากับ63.13 ซึ่งลดลงมากเมื่อเทียบกับวัตถุดิบซึ่งมีค่าความสว่างเท่ากับ 75.81



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.11 ความเป็นสีแดง (a*)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นสีแดง มีค่าอยู่ในช่วง 9.35 ถึง 13.90 ซึ่งมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น

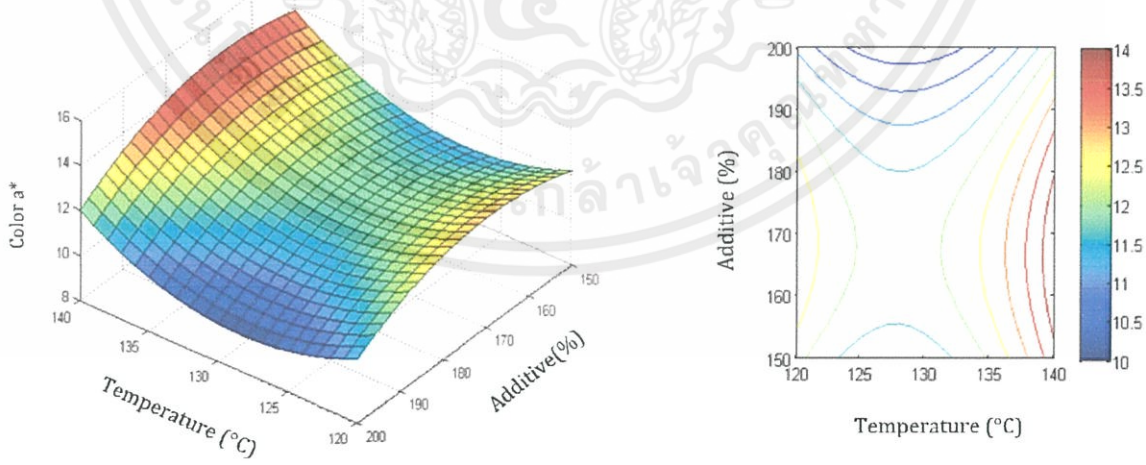
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$a^* = 231.71 - 4.4428\,x_1 + 0.7660x_2 - 0.0004x_1x_2 + 0.0176\,x_1^2 - 0.0020\,x_2^2$$

ค่า R^2 = 0.9709 , S.E. =0.4033 , $p<0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95 % นั้นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณมอลโตเดกตริน จะพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.23 การเพิ่มอุณหภูมิผิวในช่วงแรกทำให้ความเป็นสีแดงลดลงและเมื่ออุณหภูมิเกิน 130 องศาเซลเซียสความเป็นสีแดงจะเพิ่มขึ้น แต่ทว่าการเติมมอลโตเดกตรินทำให้ความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิหนึ่งและลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อไปเรื่อยๆ ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ความเป็นสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) หรืออาจเกิดคาราเมไลเซชัน (Caramelization) เช่นเดียวกับการทำแห้งแบพ่นฝอย (สโลบลและชัยรัตน์,2554) ที่อุณหภูมิผิว 130 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกตริน 200% จะมีค่าความเป็นสีแดงต่ำที่สุดเท่ากับ 9.35



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ ค่าความเป็นสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.11 ค่าสี (ΔE)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสี มีค่าอยู่ในช่วง 26.72 ถึง 34.91

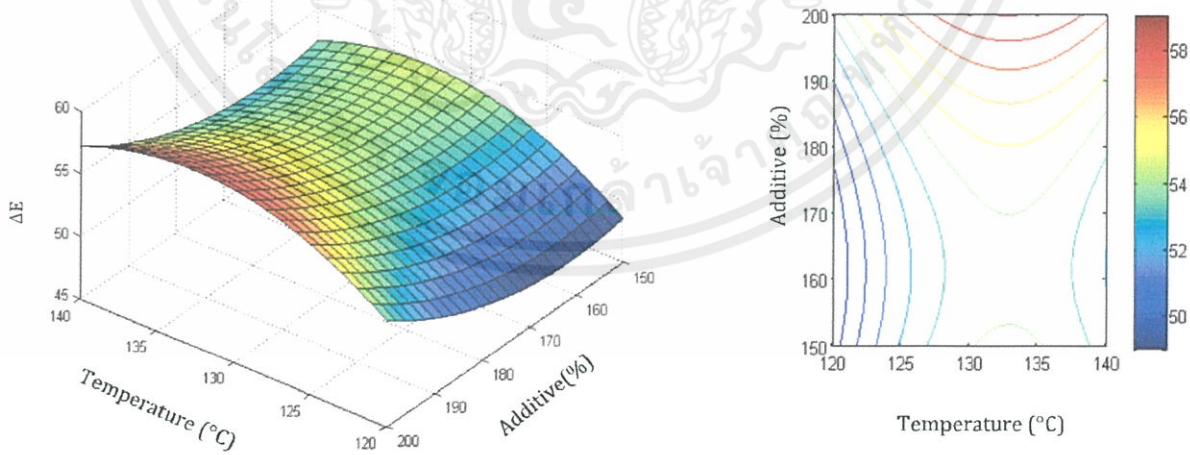
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสอง จะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta E = -472.18 + 9.1345x1 - 1.143\ x2 - 0.0001x_1x_2 - 0.0349\ x_1^2 + 0.0036x_2^2$$

ค่า R2 =0.9880 , S.E. =0.5265 , $p<0.01$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2, ค่า S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95 % นั้นคือมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณมอลโตเดกตริน จะพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ง.

จากรูปที่ 4.24 การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกตรินทำให้การเปลี่ยนแปลงสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิผิวมีแนวโน้มทำให้การเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นแต่ถ้าเพิ่มขึ้นต่อไปเรื่อยๆ ก็มีแนวโน้มที่การเปลี่ยนแปลงสีจะลดลง ที่อุณหภูมิผิว 140 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน 200 % มีการเปลี่ยนแปลงสีไปมากที่สุด



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิว อัตราส่วนมอลโตเดกตริน และ การเปลี่ยนแปลงค่าสี

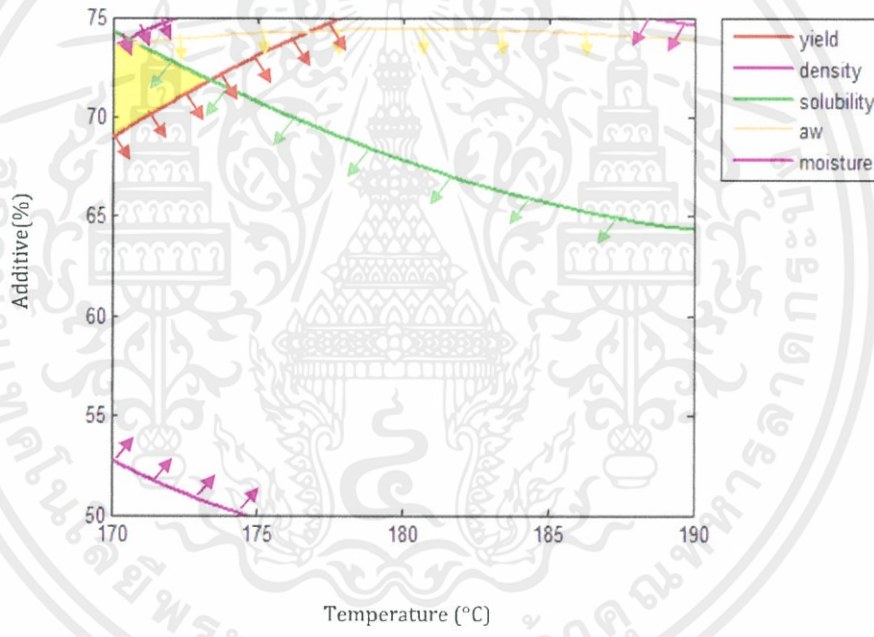
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งมะม่วงผง

4.4.1 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่อนำกราฟพื้นผิว (Response surface) ของคุณสมบัติต่างๆ มาพรอตรวมกัน โดยใช้เกณฑ์ในการหาจุดที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

เกณฑ์	ค่า
ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง	>70%
ความหนาแน่น	>450 กก./ลบ.ม.
ความชื้น	<3%
Aw	<0.6
การละลาย	<8.5 นาที



รูปที่ 4.25 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งมะม่วงผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

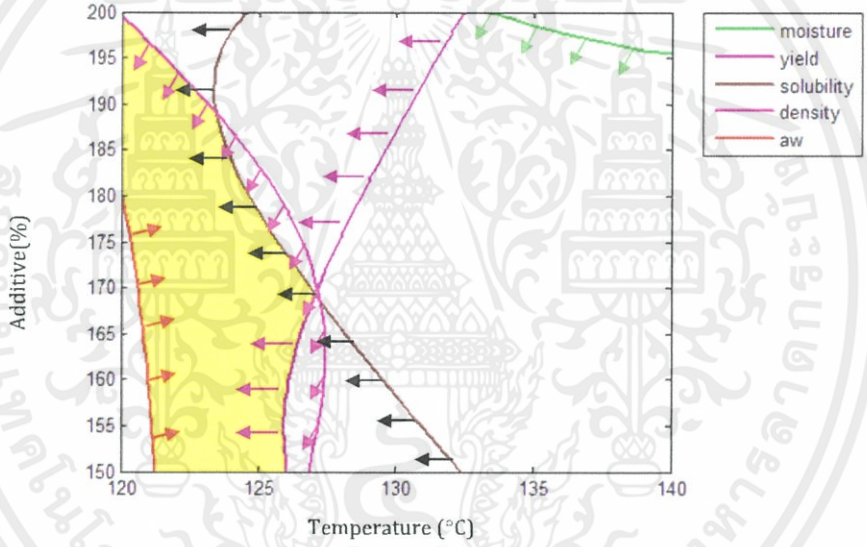
จากรูปที่ 4.25 จะได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในพื้นที่แรเงาที่สีทุกสีตัดกัน นั้นคือ เมื่ออุณหภูมิลมร้อนอยู่ในช่วง 170 – 174 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน อยู่ในช่วง 69 - 73%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

เมื่อนำกราฟพื้นผิว (response surface) ของคุณสมบัติต่างๆ มาพลอตรวมกัน โดยใช้เกณฑ์ในการหาจุดที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

เกณฑ์	ค่า
ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง	>50%
ความหนาแน่น	>650 กก/ลบ.ม.
ความชื้น	<5%
Aw	<0.6
การละลาย	<2.5 นาที



รูปที่ 4.26 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งมะม่วงผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

จากรูปที่ 4.26 จะได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในพื้นที่แรเงาที่สีทุกสีตัดกัน เพราะฉะนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด นั้นคือ เมืออุณหภูมิผิวลูกลิ้งอยู่ในช่วง 120 – 127 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน อยู่ในช่วง 150 - 200%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาการทำแห้งมะม่วงผงด้วยกกรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งดังนี้ อุณหภูมิขาออก 90 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 1.98 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันลม 0.15 MPa อัตราเร็วโบว์เออร์ 3000 เฮริซ์ โดยที่ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิลมร้อน และปริมาณมอลโตเดกตริน

จากการทดลองพบว่า

- ทั้งอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกตรินมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผง ซึ่งอุณหภูมิลมร้อนจะมีผลกระทบมากกว่าปริมาณมอลโตเดกตริน ยกเว้นในบางกรณีจะไม่เกิดผลกระทบเด่นชัด
- เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ ความชื้น (Moisture content) ค่าลดลง ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้(%Yield) มีค่าลดลง ความหนาแน่น (Bulk density) ค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity) มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) มีค่าใกล้เคียงกัน การละลาย(Solubility) ใช้เวลามากขึ้น การกระจายตัว (Dispersibility) ดี ค่าพีเอช (pH) มีความเป็นกรดลดลงเมื่อเทียบกับวัตถุดิบ ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)ไม่มีผลกระทบ ค่าความเป็นสีแดง (a*) ไม่มีผลกระทบ ค่าความสว่าง (L*) สว่างเพิ่มขึ้น
- เมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ ความชื้น(Moisture content) ค่าลดลง ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้(%Yield) มีค่ามากขึ้น ความหนาแน่น (Bulk density) ค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity) มีค่าลดลง ค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) มีค่าใกล้เคียงกัน การละลาย(Solubility) ใช้เวลามากขึ้น การกระจายตัว (Dispersibility) ดี ค่าพีเอช (pH) มีความเป็นกรดลดลงเมื่อเทียบกับวัตถุดิบ ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สีลดลง ค่าความเป็นสีแดง (a*) ลดลง ค่าความสว่าง (L*) สว่างลดลง
- จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ทำให้สรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมะม่วงผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ควรใช้อุณหภูมิลมร้อน 170 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน75 %

5.2 สรุปผลการทดลองการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

จากการศึกษาการทำแห้งมะม่วงผงด้วยกกรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งดังนี้ ระยะห่างระหว่างผิวลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร อัตราการหมุนลูกกลิ้ง 3 เฮริซ์ โดยที่ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง และปริมาณมอลโตเดกตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า

- ทั้งอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งและปริมาณมอลโตเดกตรินมีผลต่อกระทบการทำแห้งม่วงผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ โดยจะส่งผลต่อค่าคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ผง ยกเว้นในบางกรณีจะไม่เกิดผลกระทบเด่นชัด
- เมื่ออุณหภูมิผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ ความชื้น(Moisture content) ค่าลดลง ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้(%Yield) มีค่าลดลง ความหนาแน่น (Bulk density) ค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity) มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) มีค่าลดลง การละลาย(Solubility) ใช้เวลาลดลง การกระจายตัว (Dispersibility) ดี ค่าพีเอช (pH) มีความเป็นกรดลดลงเมื่อเทียบกับวัตถุดิบ ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สีลดลง ค่าความเป็นสีแดง (a*) ไม่มีผลกระทบชัดเจน ค่าความสว่าง(L*) เพิ่มขึ้น
- เมื่อปริมาณมอลโตเดกตรินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ ความชื้น(Moisture content) ค่าลดลง ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้(%Yield) มีค่ามากขึ้น ความหนาแน่น (Bulk density) ค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity) มีค่าลดลง ค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) มีค่าใกล้เคียงกัน การละลาย(Solubility) ใช้เวลาไม่ต่างกันมากนัก การกระจายตัว (Dispersibility) ไม่ดี ค่าพีเอช (pH) มีความเป็นกรดลดลงเมื่อเทียบกับวัตถุดิบ ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สีลดลง ค่าความเป็นสีแดง (a*) ไม่มีผลกระทบชัดเจน ค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้น
- จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ทำให้สรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมะม่วงผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ควรใช้อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 120 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกตริน 200 %

5.3 ปัญหาที่พบ

- เนื่องด้วยน้ำมะม่วงที่ผ่านการคั้นยังคงมีเส้นใยอยู่จึงจำเป็นที่จะต้องทำการกรองอีกครั้งเพื่อป้องการการอุดตันที่บริเวณหัวฉีด
- สภาพแวดล้อมขณะทำการทดลองในแต่ละวันหรือภายในวันเดียวกันแต่คนละช่วงเวลามีค่าความชื้นสัมพันธ์ไม่เท่ากันจึงส่งผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง
- สายเทอโมคัปเปิลที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิลมร้อนขาออก มีลักษณะที่เก่าซึ่งอาจจะส่งผลต่อความแน่นอนของค่าอุณหภูมิลมร้อนขาออก ที่ได้ทำการจัดให้เป็นตัวแปรคงที่ ซึ่งถ้าหากว่าค่านี้เปลี่ยนแปลงไปก็อาจส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ให้มีค่าคุณลักษณะที่คลาดเคลื่อนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สภาพแวดล้อมขณะทำการทดลองในแต่ละวันหรือภายในวันเดียวกันแต่คนละช่วงเวลามีค่าความชื้นสัมพันธ์ไม่เท่ากันจึงส่งผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง
- พื้นที่ผิวของลูกกลิ้งที่น้อยเกินไปทำให้เมื่อหมุนครบรอบแล้วทำให้ผลิตภัณฑ์ยังไม่แห้งแม้ว่าจะให้มอเตอร์หมุนช้าๆแล้วก็ตาม
- ตัวป้อนวัตถุดิบที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มโอกาสที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีและลดการสูญเสียจากการหกเลอะเทอะ

5.4 ข้อเสนอแนะ

- บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุต้องสามารถปิดได้สนิทเพราะผลิตภัณฑ์มะม่วงผงมีการเติมมอลโตเดกตรินลงไปและเมื่อเจอกับความชื้นจะทำให้เกิดการเหนียวติดที่บรรจุภัณฑ์ได้
- บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุต้องสามารถปิดได้สนิทเพราะผลิตภัณฑ์มะม่วงผงมีการเติมมอลโตเดกตรินลงไปและเมื่อเจอกับความชื้นจะทำให้เกิดการเหนียวติดที่บรรจุภัณฑ์ได้
- พื้นที่ผิวของลูกกลิ้งควรถูกออกแบบมาให้มากพอต่อการทำแห้ง

5.5 สรุปผลสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งมะม่วงผง

เมื่อใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ต้องใช้อุณหภูมิลมร้อนอยู่ในช่วง 170 – 174 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน อยู่ในช่วง 69 - 73% และเมื่อใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ต้องใช้อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งอยู่ในช่วง 120 – 127 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเดกตริน อยู่ในช่วง 150 - 200%

ถ้าต้องคุณสมบัติที่ดีในด้านสีของผลิตภัณฑ์ควรจะเลือกผลิตภัณฑ์ที่ดำเนินการผลิตจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยในช่วงสภาวะที่เหมาะสมที่สุด แต่ถ้าหากต้องการคุณสมบัติที่ดีในด้านอื่นๆยกเว้นสีควรเลือกผลิตภัณฑ์ที่ดำเนินการผลิตจากเครื่องแบบลูกกลิ้งในช่วงสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร ,2547 , "กระบวนการผลิตมะม่วงตามระบบการจัดการคุณภาพมาตราฐาน" [online], Avaible http://www.k-center.doae.go.th/knowledge_detail.jsp?id=2290., 1-2.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556 , "การผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก" [online] ,Avaible : http://it. doa.go.th, 1-2.

คมชัดลึก ,2552 , "เกษตรยุคใหม่" [online], http://www.komchadluek.net/detail/2009 .,1-2.

ดาริกา สิมาพัฒนพงศ์, วิรินทร์ศิริ สาสะเดาะห์, สิริวิกร ศิริโยธิพันธุ์. 2545, "การศึกษาการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่." วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นฤดี พงศ์กิจวิทูร, สุวิชศิริวัฒนโยธิน, สายลม สัมพันธ์เวชโสภา, ทิพาพร อยู่วิทยา. "ปัจจัยการผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน".วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 24, ฉบับที่1, มกราคม-เมษายน, หน้า 64-84

พรศักดิ์ มนัสศิริเพ็ญ. 2534, "การทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก", วารสารอาหาร., ปีที่ 21, ฉบับที่ 3, กรกฎาคม-กันยายน, หน้า 178-181.

วิกิพีเดีย ,2553 , "มะม่วง" [online] ,Avaible http://th.wikipedia.org/wiki., 1-2.

สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งตวงดี. 2554, ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับปะรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย.วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.,ฉบับที่ 3, หน้า 203-215.

อิสรภาพทางความคิด ไทยโพสต์. 2554 , บริโภค"มะม่วง"ได้ประโยชน์ล้นเหลือ" [online] ,Avaible http://www.thaipost.net/x-cite/050213/69088.,1-2.

Adhikari, B., Howes, T., Bhandari B.R. and Troung, V., "Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling". Jounal of Food Engineering. 2004(62): 53–68.

Barbosa-Canovas, G and Juliano, P., "Compression and Compaction Characteristics of Selected Food Powders". Advances in Food and Nutrition Research, Vol.49, (2005): 233-307.

Beristain, C., Vazquez, A., Garcia, H and Vernon-Carter, E., "Encapsulation of Orange Peel Oil by Co-crystallization". Food Science and Technology, Vol.29, 7(1996): 645-647.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cano-Chauca, P.C., Stringheta, A.M., Ramos, J and Cal-Vidal., "Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization". Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2005(6): 420-428.

Caparinoa,Q.A., Tang, J., Nindo, C.I., Sablani, S.S., Powers, J.R and Fellman, J.K., "Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder". Jounal of food Engineering. 2012(111) : 135-148.

Chauhan, A and Patil, V., "Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink". Powder Technology, Centre of Food Science and Technology, Banaras Hindu University, 239(2013): 86–93.

Chen,X and Mujumda,A.S., "Drying Technology in food processing". Chennai :Blackwell Publishing. 2008.

Fang ,Z and Bhandari, B., "Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying ofbayberry juice". Food Research International, 48(2012): 478–483.

Fazaeli, M., Emam-Djomeh., Ashtari, A and Omid, M., "Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder". Food and bioproducts processing. 90(2012): 667–675.

Hilal, I., Melike, S., Tansel, K., Ozgul, O., Gonul, G., Ali, U., Figen, K., "Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens (baking kinetics of muffin)". Journal of Food Engineering, Vol. 119, 3(2013): 483-489.

Jayasundera, M., Adhikari, B., Adhikari, R and Aldred, P., "The effects of proteins and low molecular weight surfactants on spray drying of model sugar-rich foods: production and characterization". Jounal of Food Engineering. 2011(104) : 259 - 271.

Jaya, S., and Das, H., "Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties". Journal of Food Engineering. (2004): Pp.125–134.

Jones, D.T., "Improving the accuracy of transmembrane protein topology prediction using evolutionary information". Bioinformatics. 5(2009): 538–544.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kaushik, V and Roos, Y., "Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic–sucrose–gelatin systems". Food Science and Technology, Vol.40, 8(2007): 1381-1391.

Keey, R.B., "Introduction to Industrial Drying Operation", London,William Clowes and Sons Ltd., (1987): pp.158-179.

Kiattisak, D.,Busararat, S., Suchitra, S., 2008,. "Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink",41,:1437-1445.

Kim, Y.D. and Morr, C.V., "Dynamic headspace analysis of light activated flavor in milk". International Dairy Journal, Vol.6, 2(1996): 185-193.

Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P and McClements, D.J., "Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin". Food Research International, Vol.37, 9(2004): 851-859.

Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S., "Flavour encapsulation and controlled release – A review". International Journal of Food Science and Technology, 41(2005): 1–21.

Omix instant fruit drink mix, 2556, "น้ำผลไม้ผงสำเร็จรูป" [online], http://www.omixjuice.com., 1.

Ortiz, M., Bleiber, G., Martinez, R., Kaessmann H., Telenti, A,. "Patterns of evolution of host proteins involved in retroviral Pathogenesis". Retrovirology. 3(2006): 11.

PuaC.K.,n. Sheikh Abd. Hamid and Abd. Rahman., "Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit powder using response surface methodology.".Jounal of Food Engineering. (2010): 343 – 349.

PuaC.K.,n. Sheikh Abd. Hamid and Abd. Rahman.,"Production of drum-dried jackfruit (ArtocarpusHeterophyllus) power with different concentration of soy lecithin andgum Arabic.".Jounal of Food Engineering. (2005)

Quek, S., Chok, N and Swedlund, P., "The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders". Chemical Engineering and Processing. 46(2007): 386–392.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rahman, A., "Computation of intensities of vibrational spectra of electronic bands in diatomic molecules III". Physica, Vol. 21, 6(1955): 663-666

Sahin-Nadeem, S., Dinçer, C., Torun, M., Topuz, A and Özdemir, F., "Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (Salvia fruticosa Miller) by spray drying" .Food Science and Technology 52 (2013): 31-38.

Tonon, R., Brabet, C and Hubinger, M., "Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying". Journal of Food Engineering. 88(2008): 411–418.

Wadswarth, J.I., Kolton, S.P and Gallo, A.S. "Instant Sweet Potato Flakes Factor Affecting Drying on Double Drum Dryer." Food Technology, Vol.20, (1996): 111-114.

Walton, D.E and Mumford, C.J., "The Morphology of Spray-Dried Particles: The Effect of Process Variables upon the Morphology of Spray-Dried Particles". Chemical Engineering Research and Design, Vol.77, 5(1999): 442-460.

Weerachet, J., Maythawee ,C., Tithiya, D and Wantanee, R. "Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and Arabic gum as adjuncts". Songklanakarin J. Sci. Technol. 33(2011): 33-41.

Werawat, L., "A New Role of Modified Starch in Flavor Encapsulation". Special report. (2009): 1-2.

Zbicinski, I., Delag, A., Strumillo, C and Adamiec, J., "Advanced experimental analysis of drying kinetics in spray drying". Chemical Engineering Journal, Vol.86, (2002): 207-216.

Zeller, R., Haramis, AG., Zuniga, A., McGuigan, C., Dono, R., Davidson, G., Chabanis, S., Gibson, T., "Cell Tissue Res.". (1999): 85-93.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงผง : กรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	$Tss_{ผง}$ (%)	น้ำมะม่วง + น้ำ (g)	$Tss_{เปียก}$ (%)	Yield (%)
1	170	50	133.35	98.34	1321.5	16.98	58.44
2	170	62.5	169	99.74	1270	20.04	66.23
3	170	75	192	99.70	1320	19.73	73.51
4	180	50	111.5	99.91	1289	16.98	50.89
5	180	62.5	157.5	99.20	1291	20.04	60.39
6	180	75	176	99.28	1299	19.73	68.17
7	190	50	92.5	98.04	1317	16.98	40.55
8	190	62.5	140	98.08	1275	20.04	53.74
9	190	75	167.85	98.36	1280	19.73	65.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	Tss $_{ผง}$ (%)	ผงหลังอบ (g)	Moisture content (%)
1	170	50	3.037	98.34	2.9773	1.9674
2	170	62.5	3.0337	99.74	2.9962	1.2358
3	170	75	3.0384	99.70	3.0165	0.7224
4	180	50	3.0133	99.91	2.9604	1.7559
5	180	62.5	3.0894	99.20	3.0605	0.9347
6	180	75	3.077	99.28	3.0690	0.2604
7	190	50	3.073	98.04	3.0221	1.6558
8	190	62.5	3.0588	98.08	3.0342	0.8027
9	190	75	3.0649	98.36	3.0620	0.0939

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ปริมาตรภาชนะ (ml)	Density (kg/cm^3)
1	170	50	6.44	15	429.33
2	170	62.5	7.16	15	477.33
3	170	75	7.18	15	478.67
4	180	50	7.49	15	499.33
5	180	62.5	9.16	15	610.67
6	180	75	6.82	15	454.67
7	190	50	6.73	15	448.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	190	62.5	8.76	15	584.00
9	190	75	7.35	15	490.00

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	a_w	Temperature
1	170	50	0.2005	25.35
2	170	62.5	0.2145	25.3
3	170	75	0.1795	25.2
4	180	50	0.2395	25.1
5	180	62.5	0.232	25.35
6	180	75	0.1605	25.15
7	190	50	0.2325	25.05
8	190	62.5	0.2345	25.2
9	190	75	0.178	25.1

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การดูดความชื้นกลับ

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ผงที่เพิ่มขึ้น (g)	a_w	Hygroscopicity
1	170	50	1.50505	1.3292	0.2145	0.3551
2	170	62.5	1.51875	1.29215	0.1795	0.3627
3	170	75	1.5248	1.3718	0.2005	0.368
4	180	50	1.5432	1.3073	0.2395	0.3289
5	180	62.5	1.5117	1.345	0.232	0.3481
6	180	75	1.564	1.2865	0.1605	0.3633
7	190	50	1.5489	1.279	0.2375	0.3224
8	190	62.5	1.5252	1.27975	0.2375	0.3416
9	190	75	1.576	1.30895	0.178	0.3565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	การละลาย
1	170	50	0.3551
2	170	62.5	0.3627
3	170	75	0.3680
4	180	50	0.3289
5	180	62.5	0.3481
6	180	75	0.3633
7	190	50	0.3224
8	190	62.5	0.3416
9	190	75	0.3565

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การกระจาย

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ปริมานน้ำ (ml)	ของแข็งที่ค้างบนตะแกรงกรอง (%)	ปริมานของแข็งบนผงตัวอย่าง (%)	Dispersibility
1	170	50	15	100	28.4531	98.3442	26.49
2	170	62.5	15	100	25.8391	99.7396	29.59
3	170	75	15	100	21.5600	99.7046	35.45
4	180	50	15	100	23.3165	99.9061	32.85
5	180	62.5	15	100	21.1535	99.1973	35.95
6	180	75	15	100	19.3001	99.2776	39.44
7	190	50	15	100	19.9128	98.0400	37.75
8	190	62.5	15	100	19.3293	98.0800	38.90
9	190	75	15	100	18.4461	98.3600	40.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – ด่าง

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	pH			
			1	2	3	avg.
1	170	50	4.8	4.77	4.88	4.81
2	170	62.5	4.87	4.88	4.89	4.88
3	170	75	4.76	4.74	4.74	4.74
4	180	50	4.84	4.81	4.74	4.79
5	180	62.5	5	4.98	5.05	5.01
6	180	75	4.74	4.74	4.73	4.73
7	190	50	4.77	4.74	4.78	4.76
8	190	62.5	4.88	4.89	4.82	4.86
9	190	75	4.62	4.71	4.75	4.69

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี (b*)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Color b*	
			Solution	Powder
1	170	50	52.12	35.60
2	170	62.5	52.12	28.25
3	170	75	52.12	31.38
4	180	50	52.12	36.69
5	180	62.5	52.12	33.69
6	180	75	52.12	33.08
7	190	50	52.12	31.98
8	190	62.5	52.12	35.72
9	190	75	52.12	33.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี (L*)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Color L*	
			Solution	Powder
1	170	50	53.6	75.84
2	170	62.5	53.6	75.22
3	170	75	53.6	76.47
4	180	50	53.6	75.57
5	180	62.5	53.6	76
6	180	75	53.6	76.22
7	190	50	53.6	76.07
8	190	62.5	53.6	74.98
9	190	75	53.6	75.70

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Total Color change
1	170	50	30.2190
2	170	62.5	31.2414
3	170	75	31.7669
4	180	50	27.7497
5	180	62.5	29.9712
6	180	75	31.1655
7	190	50	28.1177
8	190	62.5	31.2815
9	190	75	29.6532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ANOVA Table : Spray Drying Process

Moisture Content (%)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.999507124
R Square	0.999014491
Adjusted R Square	0.997371975
Standard Error	0.033717
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	3.457341756	0.691468351	608.2222	0.000104951
Residual	3	0.003410604	0.001136868		
Total	8	3.46075236			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	34.72825	7.882360541	4.405818513	0.021686	9.643060823	59.81344	9.643061	59.81344
X Variable 1	-0.328874167	0.086254588	-3.812830975	0.031727	-0.603374763	-0.05437	-0.60337	-0.05437
X Variable 2	-0.011201333	0.030892764	-0.362587612	0.740952	-0.109515894	0.087113	-0.10952	0.087113
X Variable 3	-0.0006338	0.00013487	-4.699343724	0.018228	-0.001063016	-0.0002	-0.00106	-0.0002
X Variable 4	0.00096	0.000238419	4.02653241	0.027528	0.000201246	0.001719	0.000201	0.001719
X Variable 5	0.00054336	0.000152588	3.5609646	0.037794	5.77573E-05	0.001029	5.78E-05	0.001029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Yield (%)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.998461295
R Square	0.996924958
Adjusted R Square	0.991799888
Standard Error	0.916393899
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	816.7648667	163.3529733	194.5193	0.000577368
Residual	3	2.519333333	0.839777778		
Total	8	819.2842			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	275.2666667	214.2315613	1.28490249	0.289047	-406.5137741	957.0471	-406.514	957.0471
X Variable 1	-1.231833333	2.344279365	-0.52546354	0.635625	-8.692376536	6.22871	-8.69238	6.22871
X Variable 2	-2.2472	0.839622208	-2.676441832	0.075276	-4.919252593	0.424853	-4.91925	0.424853
X Variable 3	0.01952	0.003665576	5.325220963	0.012939	0.007854502	0.031185	0.007855	0.031185
X Variable 4	-0.00175	0.006479883	-0.270066588	0.804622	-0.022371881	0.018872	-0.02237	0.018872
X Variable 5	-0.004032	0.004147125	-0.972239716	0.402641	-0.017230004	0.009166	-0.01723	0.009166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Density

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.86899
R Square	0.755144
Adjusted R Square	0.347052
Standard Error	49.46096
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	22634.27	4526.854	1.850425	0.324825
Residual	3	7339.16	2446.387		
Total	8	29973.43			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-14264.3	11562.82	-1.23363	0.305178	-51062.4	22533.76	-51062.4	22533.76
X Variable 1	136.0889	126.5289	1.075556	0.360925	-266.583	538.7603	-266.583	538.7603
X Variable 2	75.93778	45.31733	1.67569	0.192392	-68.2822	220.1577	-68.2822	220.1577
X Variable 3	-0.016	0.197844	-0.08087	0.940637	-0.64563	0.613627	-0.64563	0.613627
X Variable 4	-0.36889	0.349742	-1.05475	0.368979	-1.48192	0.744146	-1.48192	0.744146
X Variable 5	-0.57956	0.223835	-2.58921	0.081129	-1.2919	0.132787	-1.2919	0.132787

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Solubility

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.967702129
R Square	0.93644741
Adjusted R Square	0.830526427
Standard Error	0.639444203
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	18.07493333	3.614986667	8.841	0.05132169
Residual	3	1.226666667	0.408888889		
Total	8	19.3016			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-42.68	149.4871694	-0.285509453	0.793832	-518.41489	433.0549	-518.415	433.0549
X Variable 1	0.711333333	1.635798593	0.434853861	0.693051	-4.494507855	5.917175	-4.49451	5.917175
X Variable 2	-0.757333333	0.585874212	-1.292655177	0.286686	-2.621846555	1.10718	-2.62185	1.10718
X Variable 3	0.0024	0.002557777	0.938314863	0.417303	-0.005739987	0.01054	-0.00574	0.01054
X Variable 4	-0.0022	0.004521553	-0.486558455	0.659902	-0.016589601	0.01219	-0.01659	0.01219
X Variable 5	0.003584	0.002893794	1.238512432	0.303604	-0.005625344	0.012793	-0.00563	0.012793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Hygroscopicity

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.99000346
R Square	0.98010685
Adjusted R Square	0.9469516
Standard Error	0.003651078
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.001970304	0.000394061	29.56114	0.009356564
Residual	3	3.99911E-05	1.33304E-05		
Total	8	0.002010296			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	2.296644444	0.853537039	2.690737882	0.074368	-0.419691351	5.01298	-0.41969	5.01298
X Variable 1	-0.019158333	0.00934003	-2.051206771	0.13261	-0.048882478	0.010566	-0.04888	0.010566
X Variable 2	-0.005133333	0.003345206	-1.534534406	0.222456	-0.015779271	0.005513	-0.01578	0.005513
X Variable 3	4.24E-05	1.46043E-05	2.903252156	0.062337	-4.07744E-06	8.89E-05	-4.1E-06	8.89E-05
X Variable 4	4.28333E-05	2.5817E-05	1.659112223	0.195675	-3.93279E-05	0.000125	-3.9E-05	0.000125
X Variable 5	-1.13067E-05	1.65229E-05	-0.684303096	0.542907	-6.38899E-05	4.13E-05	-6.4E-05	4.13E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Color b*

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.946389
R Square	0.895651
Adjusted R Square	0.721737
Standard Error	1.370653
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	48.37573	9.675147	5.149946	0.103903
Residual	3	5.636067	1.878689		
Total	8	54.0118			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-398.43	320.4267	-1.24344	0.302023	-1418.17	621.3108	-1418.17	621.3108
X Variable 1	5.916833	3.506345	1.687465	0.190099	-5.24192	17.07559	-5.24192	17.07559
X Variable 2	-3.42493	1.255825	-2.72724	0.072108	-7.42153	0.571663	-7.42153	0.571663
X Variable 3	0.00464	0.005483	0.846312	0.459544	-0.01281	0.022088	-0.01281	0.022088
X Variable 4	-0.01695	0.009692	-1.74887	0.178629	-0.04779	0.013894	-0.04779	0.013894
X Variable 5	0.01968	0.006203	3.172727	0.050375	-6E-05	0.03942	-6E-05	0.03942

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Color L*

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.691856
R Square	0.478665
Adjusted R Square	-0.39023
Standard Error	0.560779
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.866203	0.173241	0.550891	0.738784
Residual	3	0.943419	0.314473		
Total	8	1.809622			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	9.239444	131.0971	0.070478	0.948248	-407.97	426.4489	-407.97	426.4489
X Variable 1	0.75575	1.434561	0.526816	0.634791	-3.80966	5.321163	-3.80966	5.321163
X Variable 2	-0.0324	0.513799	-0.06306	0.953685	-1.66754	1.602739	-1.66754	1.602739
X Variable 3	0.00018	0.002243	0.080246	0.941095	-0.00696	0.007319	-0.00696	0.007319
X Variable 4	-0.00217	0.003965	-0.54641	0.622803	-0.01479	0.010453	-0.01479	0.010453
X Variable 5	0.000213	0.002538	0.084062	0.938302	-0.00786	0.00829	-0.00786	0.00829

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Water activity

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.956806764
R Square	0.915479184
Adjusted R Square	0.774611157
Standard Error	0.013980724
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.00635134	0.001270268	6.498843	0.077180828
Residual	3	0.000586382	0.000195461		
Total	8	0.006937722			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-2.584361111	3.26836786	-0.790719167	0.486852	-12.98576633	7.817044	-12.9858	7.817044
X Variable 1	0.019729167	0.035764886	0.551635108	0.619629	-0.094090662	0.133549	-0.09409	0.133549
X Variable 2	0.032866667	0.012809477	2.56580865	0.082794	-0.007898806	0.073632	-0.0079	0.073632
X Variable 3	-6.7E-05	5.59229E-05	-1.19807814	0.316908	-0.000244972	0.000111	-0.00024	0.000111
X Variable 4	-4.08333E-05	9.88586E-05	-0.413047658	0.707319	-0.000355446	0.000274	-0.00036	0.000274
X Variable 5	-0.000182933	6.32695E-05	-2.891333609	0.062945	-0.000384285	1.84E-05	-0.00038	1.84E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Dispersibility

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.998288
R Square	0.996578
Adjusted R Square	0.990875
Standard Error	0.457826
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	183.1379	36.62758	174.7457	0.000678
Residual	3	0.628815	0.209605		
Total	8	183.7667			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-574.186	107.0292	-5.36476	0.012676	-914.8	-233.571	-914.8	-233.571
X Variable 1	5.625297	1.171192	4.803053	0.017178	1.898041	9.352552	1.898041	9.352552
X Variable 2	1.817183	0.419472	4.332075	0.022687	0.482237	3.152129	0.482237	3.152129
X Variable 3	-0.01167	0.001831	-6.37447	0.007815	-0.0175	-0.00585	-0.0175	-0.00585
X Variable 4	-0.0124	0.003237	-3.82909	0.03138	-0.0227	-0.00209	-0.0227	-0.00209
X Variable 5	0.004264	0.002072	2.058028	0.131745	-0.00233	0.010858	-0.00233	0.010858

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

pH

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.948878523
R Square	0.900370451
Adjusted R Square	0.734321201
Standard Error	0.049586571
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.066662636	0.013332527	5.42231	0.097371552
Residual	3	0.007376484	0.002458828		
Total	8	0.07403912			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-16.19208333	11.59218608	-1.396810164	0.256867	-53.08359309	20.69943	-53.0836	20.69943
X Variable 1	0.195215833	0.126850229	1.538947425	0.22144	-0.208478209	0.59891	-0.20848	0.59891
X Variable 2	0.122830667	0.045432413	2.703591056	0.073562	-0.02175555	0.267417	-0.02176	0.267417
X Variable 3	1.34E-05	0.000198346	0.067558613	0.950388	-0.000617826	0.000645	-0.00062	0.000645
X Variable 4	-0.00055	0.00035063	-1.568605045	0.214747	-0.001665861	0.000566	-0.00167	0.000566
X Variable 5	-0.001024	0.000224403	-4.563214676	0.019735	-0.001738151	-0.00031	-0.00174	-0.00031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Total color change

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.903066
R Square	0.815528
Adjusted R Square	0.508076
Standard Error	1.002212
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	13.3214	2.664281	2.652533	0.225859
Residual	3	3.013286	1.004429		
Total	8	16.33469			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	253.4194	234.2938	1.081631	0.358606	-492.208	999.0469	-492.208	999.0469
X Variable 1	-2.76258	2.563815	-1.07753	0.36017	-10.9218	5.396621	-10.9218	5.396621
X Variable 2	0.931733	0.918251	1.014683	0.384975	-1.99055	3.854017	-1.99055	3.854017
X Variable 3	-2E-05	0.004009	-0.00499	0.996333	-0.01278	0.012738	-0.01278	0.012738
X Variable 4	0.007483	0.007087	1.055967	0.368501	-0.01507	0.030036	-0.01507	0.030036
X Variable 5	-0.00673	0.004535	-1.484	0.23446	-0.02116	0.007703	-0.02116	0.007703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงผง : กรรมวิธีทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	$Tss_{ผง}$ (%)	น้ำมะม่วง + น้ำ (g)	$Tss_{เปียก}$ (%)	Yield (%)
1	120	150	254.24	99.96	1276	26.18	76.09
2	120	175	275.88	99.78	1270	28.18	76.92
3	120	200	387.71	99.11	1320	35.69	81.56
4	130	150	240.00	99.83	1289	26.18	71.01
5	130	175	268.12	99.51	1291	28.18	73.34
6	130	200	365.47	99.98	1299	35.69	78.81
7	140	150	194.78	99.88	1317	26.18	56.43
8	140	175	202.95	99.88	1275	28.18	56.42
9	140	200	277.32	99.92	1280	35.69	60.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	$Tss_{ผง}$ (%)	ผงหลังอบ (g)	Moisture content (%)
1	170	50	3.037	99.96	3.0334	0.12
2	170	62.5	3.0337	99.78	3.0311	0.0841
3	170	75	3.0384	99.11	3.0347	0.1229
4	180	50	3.0133	99.83	3.0066	0.2232
5	180	62.5	3.0894	99.51	3.0619	0.8903
6	180	75	3.077	99.98	3.0759	0.0355
7	190	50	3.073	99.88	3.0579	0.4923
8	190	62.5	3.0588	99.88	3.0582	0.0195
9	190	75	3.0649	99.92	3.0597	0.1686

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ปริมาตรภาชนะ (ml)	Density (kg/cm³)
1	170	50	12.48	15	832.00
2	170	62.5	12.83	15	855.33
3	170	75	11.34	15	756.00
4	180	50	11.41	15	760.67
5	180	62.5	10.87	15	724.67
6	180	75	10.36	15	690.67
7	190	50	10.58	15	705.33
8	190	62.5	11.19	15	746.00
9	190	75	11.51	15	767.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	a_w	Temperature
1	170	50	0.235	25.3
2	170	62.5	0.226	25.5
3	170	75	0.183	25.3
4	180	50	0.1215	25.3
5	180	62.5	0.107	25.4
6	180	75	0.101	25.4
7	190	50	0.1475	25.3
8	190	62.5	0.153	25.6
9	190	75	0.1385	25.7

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การดูดความชื้นกลับ

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ผงที่เพิ่มขึ้น (g)	a_w	Hygroscopicity
1	170	50	1.02545	1.23595	0.235	0.44
2	170	62.5	1.03185	1.32515	0.226	0.4633
3	170	75	1.00995	1.23955	0.183	0.4689
4	180	50	1.0037	1.2115	0.1215	0.4919
5	180	62.5	1.02135	1.27715	0.107	0.5081
6	180	75	1.0205	1.21765	0.101	0.498
7	190	50	1.02665	1.26475	0.1475	0.4859
8	190	62.5	1.01165	1.24355	0.153	0.4828
9	190	75	1.02145	1.25055	0.1385	0.4882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	การละลาย
1	170	50	3.44
2	170	62.5	2.6
3	170	75	2.58
4	180	50	2.2
5	180	62.5	2.9
6	180	75	2.46
7	190	50	2.38
8	190	62.5	1.6
9	190	75	2.23

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การกระจาย

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	ผง (g)	ปริมานน้ำ (ml)	ของแข็งที่ค้างบนตะแกรงกรอง (%)	ปริมานของแข็งบนผงตัวอย่าง (%)	Dispersibility
1	170	50	15	100	18.22	99.88	42.01
2	170	62.5	15	100	16.76	99.91	45.68
3	170	75	15	100	28.65	99.87	26.72
4	180	50	15	100	16.27	99.77	47.01
5	180	62.5	15	100	21.17	99.10	35.89
6	180	75	15	100	24.83	99.96	30.85
7	190	50	15	100	16.78	99.50	45.46
8	190	62.5	15	100	21.19	99.98	36.15
9	190	75	15	100	23.76	99.83	32.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – ด่าง

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	pH			
			1	2	3	avg.
1	170	50	4.83	4.77	4.8	4.8
2	170	62.5	4.89	4.85	4.86	4.87
3	170	75	4.91	4.93	4.95	4.93
4	180	50	4.96	4.95	4.65	4.85
5	180	62.5	4.88	4.91	4.93	4.9
6	180	75	4.92	4.96	4.89	4.92
7	190	50	4.94	4.91	4.86	4.9
8	190	62.5	4.89	4.94	4.95	4.93
9	190	75	5	5.07	5.01	5.02

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี (b*)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Color b*	
			Solution	Powder
1	170	50	53.86	27.9
2	170	62.5	53.86	25.76
3	170	75	53.86	24.46
4	180	50	53.86	26.15
5	180	62.5	53.86	25.03
6	180	75	53.86	23.69
7	190	50	53.86	28.09
8	190	62.5	53.86	27.99
9	190	75	53.86	26.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี (L*)

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Color L*	
			Solution	Powder
1	170	50	75.81	65.91
2	170	62.5	75.81	63.18
3	170	75	75.81	66.79
4	180	50	75.81	68.01
5	180	62.5	75.81	68.34
6	180	75	75.81	72.39
7	190	50	75.81	63.13
8	190	62.5	75.81	63.71
9	190	75	75.81	68.68

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี

Experiment No.	Temperature	Additive (%)	Total Color change
1	170	50	21.2576
2	170	62.5	18.2695
3	170	75	22.24
4	180	50	28.4461
5	180	62.5	21.7286
6	180	75	24.9566
7	190	50	23.6527
8	190	62.5	21.7405

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9	190	75	22.8522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. ANOVA Table : Drum Drying process

Moisture Content (%)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.589981289
R Square	0.348077921
Adjusted R Square	-0.738458878
Standard Error	0.371406475
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.220954	0.044191	0.320355	0.87392311
Residual	3	0.413828	0.137943		
Total	8	0.634782			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-50.21975	49.0521	-1.0238	0.381276	-206.325437	105.8859	-206.3254	105.8859
X Variable 1	0.622305	0.695251	0.895079	0.436699	-1.59029513	2.834905	-1.590295	2.834905
X Variable 2	0.116096	0.176043	0.659475	0.556696	-0.44415144	0.676343	-0.444151	0.676343
X Variable 3	-0.0003266	0.000743	-0.43968	0.689915	-0.00269056	0.002037	-0.002691	0.002037
X Variable 4	-0.002151	0.002626	-0.81904	0.47277	-0.01050887	0.006207	-0.010509	0.006207
X Variable 5	-0.00022008	0.00042	-0.52375	0.63668	-0.00155734	0.001117	-0.001557	0.001117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Yield (%)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.99802668
R Square	0.996057254
Adjusted R Square	0.98948601
Standard Error	1.002182341
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	761.2025	152.2405	151.5782	0.0008376
Residual	3	3.013108	1.004369		
Total	8	764.2156			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-829.3708333	132.3594	-6.26605	0.008204	-1250.59764	-408.144	-1250.598	-408.144
X Variable 1	15.77591667	1.876027	8.409215	0.003528	9.80556094	21.74627	9.8055609	21.74627
X Variable 2	-0.7653	0.475025	-1.61107	0.20555	-2.27704016	0.74644	-2.27704	0.74644
X Variable 3	-0.00125	0.002004	-0.62364	0.577066	-0.00762878	0.005129	-0.007629	0.005129
X Variable 4	-0.06375	0.007086	-8.99598	0.0029	-0.0863024	-0.0412	-0.086302	-0.0412
X Variable 5	0.002984	0.001134	2.631765	0.078207	-0.00062438	0.006592	-0.000624	0.006592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Density

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.938647
R Square	0.881058
Adjusted R Square	0.68282
Standard Error	30.57737
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	20777.2963	4155.459	4.444459	0.124691
Residual	3	2804.92593	934.9753		
Total	8	23582.2222			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	12053.5	4038.38984	2.984729	0.058376	-798.459	24905.46	-798.459	24905.46
X Variable 1	-162.228	57.2390541	-2.83421	0.06596	-344.388	19.93244	-344.388	19.93244
X Variable 2	-5.43333	14.4933704	-0.37488	0.73268	-51.5577	40.69104	-51.5577	40.69104
X Variable 3	0.138	0.06115473	2.256571	0.109272	-0.05662	0.332622	-0.05662	0.332622
X Variable 4	0.516667	0.21621463	2.389601	0.096776	-0.17142	1.204758	-0.17142	1.204758
X Variable 5	-0.03733	0.03459434	-1.07917	0.359542	-0.14743	0.072761	-0.14743	0.072761

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Solubility

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.783977
R Square	0.61462
Adjusted R Square	-0.027679
Standard Error	0.512863
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	1.258469	0.25169389	0.956907	0.55105
Residual	3	0.789086	0.2630287		
Total	8	2.047556			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	25.38139	67.73447	0.37471894	0.732791	-190.18	240.9427	-190.18	240.9427
X Variable 1	-0.03875	0.96005	-0.0403625	0.97034	-3.09406	3.016558	-3.09406	3.016558
X Variable 2	-0.199033	0.243092	-0.8187568	0.47291	-0.97266	0.574594	-0.97266	0.574594
X Variable 3	0.00071	0.001026	0.69219233	0.538581	-0.00255	0.003974	-0.00255	0.003974
X Variable 4	-0.000483	0.003626	-0.1332785	0.902411	-0.01202	0.011058	-0.01202	0.011058
X Variable 5	0.000291	0.00058	0.50094342	0.650857	-0.00156	0.002137	-0.00156	0.002137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Hygroscopicity

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.979015
R Square	0.95847
Adjusted R Square	0.889253
Standard Error	0.006822
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.003222	0.0006444	13.84737	0.02767
Residual	3	0.00014	4.6536E-05		
Total	8	0.003362			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-5.319839	0.900953	-5.9046768	0.0097	-8.18707	-2.4526	-8.18707	-2.4526
X Variable 1	0.07839	0.01277	6.13866746	0.008694	0.037751	0.119029	0.037751	0.119029
X Variable 2	0.00702	0.003233	2.17106893	0.118337	-0.00327	0.01731	-0.00327	0.01731
X Variable 3	-2.66E-05	1.36E-05	-1.9496536	0.146323	-7E-05	1.68E-05	-7E-05	1.68E-05
X Variable 4	-0.000278	4.82E-05	-5.7666807	0.010365	-0.00043	-0.00012	-0.00043	-0.00012
X Variable 5	-9.47E-06	7.72E-06	-1.2265858	0.307467	-3.4E-05	1.51E-05	-3.4E-05	1.51E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Color b*

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.984171555
R Square	0.968593649
Adjusted R Square	0.91624973
Standard Error	0.463636991
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	19.88848	3.977696	18.50442	0.01836639
Residual	3	0.644878	0.214959		
Total	8	20.53336			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	342.4727778	61.2331	5.592935	0.01129	147.601724	537.3438	147.60172	537.3438
X Variable 1	-4.720666667	0.867902	-5.43917	0.012201	-7.48271669	-1.95862	-7.482717	-1.95862
X Variable 2	-0.116733333	0.219759	-0.53119	0.632103	-0.81610573	0.582639	-0.816106	0.582639
X Variable 3	0.00138	0.000927	1.488233	0.233427	-0.001571	0.004331	-0.001571	0.004331
X Variable 4	0.017483333	0.003278	5.332872	0.012888	0.00704997	0.027917	0.00705	0.027917
X Variable 5	-0.000330667	0.000525	-0.63039	0.573188	-0.002	0.001339	-0.002	0.001339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Color L*

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.992880131
R Square	0.985810954
Adjusted R Square	0.962162543
Standard Error	0.597202584
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	74.337	14.8674	41.68614	0.00566554
Residual	3	1.069953	0.356651		
Total	8	75.40696			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-454.1930556	78.87327	-5.75852	0.010406	-705.203003	-203.183	-705.203	-203.183
X Variable 1	10.47808333	1.117929	9.372766	0.002572	6.92033569	14.03583	6.9203357	14.03583
X Variable 2	-1.8837	0.283068	-6.65458	0.006916	-2.78454917	-0.98285	-2.784549	-0.98285
X Variable 3	0.00467	0.001194	3.909896	0.029724	0.00086887	0.008471	0.0008689	0.008471
X Variable 4	-0.043466667	0.004223	-10.2932	0.001956	-0.05690569	-0.03003	-0.056906	-0.03003
X Variable 5	0.003853333	0.000676	5.703086	0.010692	0.00170309	0.006004	0.0017031	0.006004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Water activity

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.994959809
R Square	0.989945021
Adjusted R Square	0.973186722
Standard Error	0.007951823
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.018676	0.003735	59.07193	0.00339242
Residual	3	0.00019	6.32E-05		
Total	8	0.018866			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	13.20347222	1.050207	12.57226	0.001085	9.8612453	16.5457	9.8612453	16.5457
X Variable 1	-0.194675	0.014885	-13.0783	0.000965	-0.24204683	-0.1473	-0.242047	-0.1473
X Variable 2	-0.001886667	0.003769	-0.50056	0.651095	-0.01388158	0.010108	-0.013882	0.010108
X Variable 3	4.3E-05	1.59E-05	2.703783	0.07355	-7.6125E-06	9.36E-05	-7.61E-06	9.36E-05
X Variable 4	0.000706667	5.62E-05	12.56791	0.001086	0.00052772	0.000886	0.0005277	0.000886
X Variable 5	-1.21333E-05	9E-06	-1.34868	0.270215	-4.0764E-05	1.65E-05	-4.08E-05	1.65E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Dispersibility

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.88900379
R Square	0.790327739
Adjusted R Square	0.44087397
Standard Error	5.493332575
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	341.2395	68.2479	2.261609	0.26683575
Residual	3	90.53011	30.1767		
Total	8	431.7696			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	67.69916667	725.5111	0.093312	0.931538	-2241.20096	2376.599	-2241.201	2376.599
X Variable 1	-0.67725	10.2832	-0.06586	0.951633	-33.4029809	32.04848	-33.40298	32.04848
X Variable 2	0.482433333	2.603786	0.185282	0.864827	-7.80397439	8.768841	-7.803974	8.768841
X Variable 3	0.00203	0.010987	0.184769	0.865195	-0.03293447	0.036994	-0.032934	0.036994
X Variable 4	0.0012	0.038844	0.030893	0.977295	-0.12241808	0.124818	-0.122418	0.124818
X Variable 5	-0.002984	0.006215	-0.48013	0.66397	-0.02276289	0.016795	-0.022763	0.016795

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

pH

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.97030273
R Square	0.941487389
Adjusted R Square	0.84396637
Standard Error	0.024171455
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.028203	0.005641	9.6542	0.04555252
Residual	3	0.001753	0.000584		
Total	8	0.029956			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	7.006944444	3.192353	2.194915	0.115721	-3.15254905	17.16644	-3.152549	17.16644
X Variable 1	-0.04175	0.045248	-0.9227	0.424215	-0.18574793	0.102248	-0.185748	0.102248
X Variable 2	0.001566667	0.011457	0.136743	0.899895	-0.03489472	0.038028	-0.034895	0.038028
X Variable 3	-1E-05	4.83E-05	-0.20686	0.849367	-0.00016385	0.000144	-0.000164	0.000144
X Variable 4	0.000183333	0.000171	1.072639	0.362043	-0.0003606	0.000727	-0.000361	0.000727
X Variable 5	5.33333E-06	2.73E-05	0.195025	0.857834	-8.1697E-05	9.24E-05	-8.17E-05	9.24E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Total color change

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.931597645
R Square	0.867874173
Adjusted R Square	0.64766446
Standard Error	1.6623818
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	54.45677	10.89135	3.941126	0.14413998
Residual	3	8.29054	2.763513		
Total	8	62.74731			

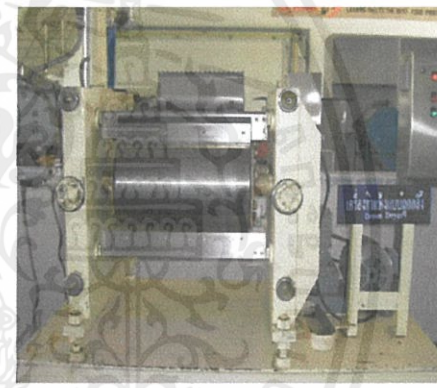
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-435.5413639	219.5528	-1.98377	0.141538	-1134.25631	263.1736	-1134.256	263.1736
X Variable 1	9.1950225	3.111882	2.954811	0.059793	-0.7083756	19.09842	-0.708376	19.09842
X Variable 2	-1.650220333	0.787953	-2.09431	0.127253	-4.15783719	0.857397	-4.157837	0.857397
X Variable 3	-0.0017829	0.003325	-0.53625	0.629	-0.01236378	0.008798	-0.012364	0.008798
X Variable 4	-0.033750167	0.011755	-2.87118	0.063989	-0.07115923	0.003659	-0.071159	0.003659
X Variable 5	0.005314133	0.001881	2.825509	0.066435	-0.00067132	0.0113	-0.000671	0.0113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวก จ. ภาพที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ จ. 1 มะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4

รูปที่ จ. 2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



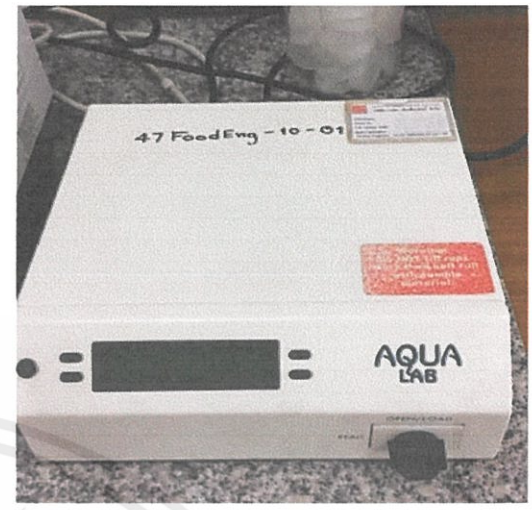
รูปที่ จ. 3 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

รูปที่ จ. 4 เครื่องปิดผนึก

รูปที่ จ. 5 Magnetic Stirrers

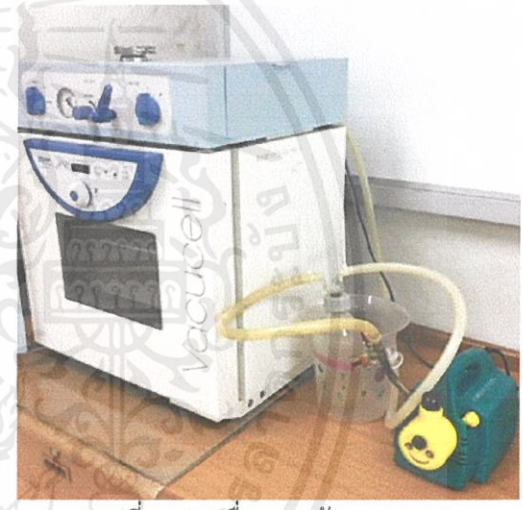
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ. 6 โถบรรจุสารอิ่มตัว Nacl

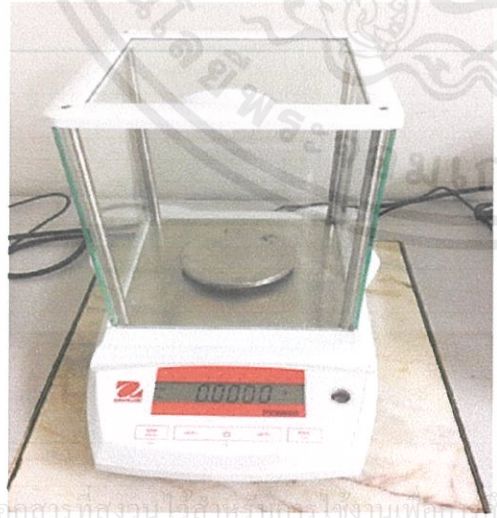


รูปที่ จ. 7 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

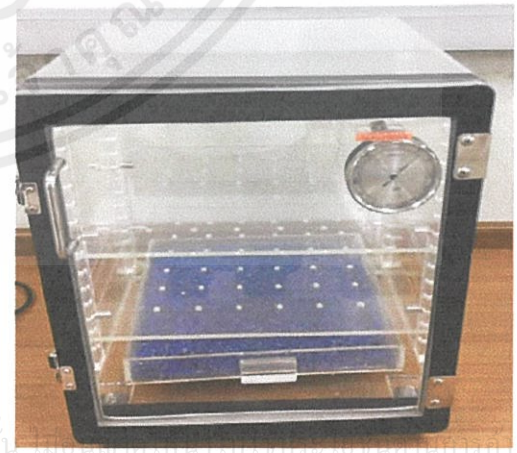
รูปที่ จ. 8 เครื่องวัดสี



รูปที่ จ. 9 เครื่องอบแห้งสูญญากาศ

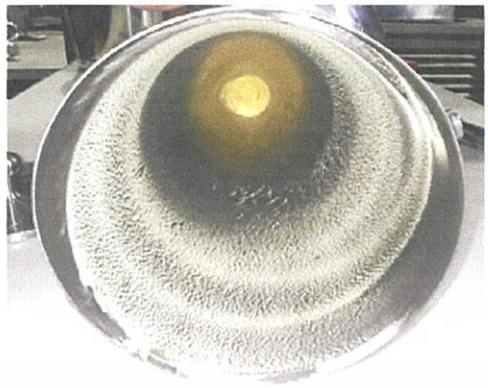


รูปที่ จ. 10 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

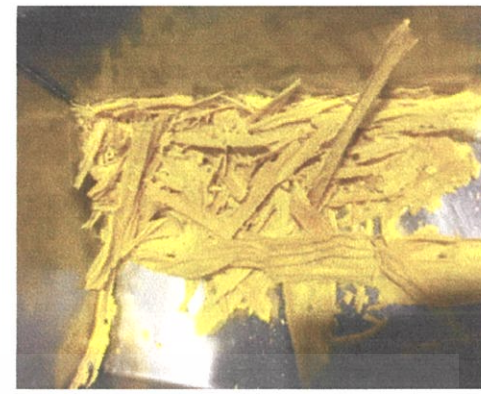


รูปที่ จ. 11 ตู้ดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



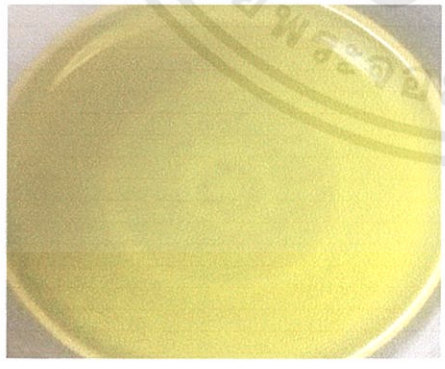
รูปที่ จ. 12 ผลิตภัณฑ์จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



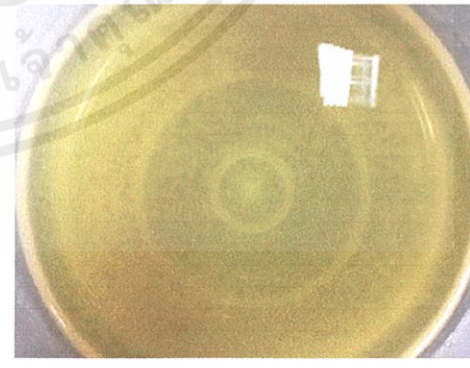
รูปที่ จ. 13 ผลิตภัณฑ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

รูปที่ จ. 14 ผลิตภัณฑ์จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขต่างๆ

รูปที่ จ. 15 ผลิตภัณฑ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งตามเงื่อนไขต่างๆ



รูปที่ จ. 16 การละลายของผลิตภัณฑ์จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ จ. 17 การละลายของผลิตภัณฑ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้