

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

PRODUCTION OF COCONUT SUGAR POWDER BY SPRAY DRYING PROCESS



T121715

นายสมบัติ อุตตะกะ

ปพ.
๑๒๕๔๗
๑๕๕๔

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 121715
วันเดือนปี 23 ก.ค. 2555

b. 1217159x
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PRODUCTION OF COCONUT SUGAR POWDER
BY SPRAY DRYING PROCESS**



**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
ACDEMIC YEAR 2011**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2554

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

Production of Coconut Sugar Powder by Spray Drying Process

ผู้จัดทำ

นายสมบัติ

อุตตะกะ รหัสนักศึกษา 50011624

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย
โดย	นายสมบัติ อุตตะกะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย และการศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้ ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย ความเข้มข้นของน้ำตาลมะพร้าวที่ระดับ 30%, 40% และ 50% ปริมาณสารเจือปนอาหารที่ระดับ 20%, 30% และ 40% และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งที่ระดับ 160°C, 180°C และ 200°C วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken ประกอบด้วย 15 การทดลอง ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้นำมาศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ความหนาแน่น, ปริมาณความชื้น, คุณสมบัติการละลาย, การกระจายตัว, การดูดซับความชื้น, สมบัติการไหลและการเปลี่ยนแปลงสี พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงมากที่สุดคือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ ปัจจัยที่มีผลรองลงมาคือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งและอัตราส่วนสารเจือปนในอาหารตามลำดับและผลจากการทดลองสามารถคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผง ควรใช้ความเข้มข้นวัตถุดิบที่ระดับ 35-37% อัตราสารเจือปน 20-24% และใช้อุณหภูมิลมร้อนใช้ในการทำแห้งที่ 200°C ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงเป็นไปตามเกณฑ์ที่ต้องการ

คำสำคัญ : น้ำตาลมะพร้าว; กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย; กระบวนการห่อหุ้ม; glass transition temperature

Report Title Production of Coconut Sugar Powder by Spray Drying Process
 By Sombat Uttaka
 Advisor Ass.Prof.Dr Maradee Phongpipatpong
 Report 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 research is to study the production of coconut sugar powder by spray drying process and affectations of factor that relate to quality of coconut sugar powder. The coconut sugar was dried by spray dryer with concentration of 30% 40% and 50% food additive of 20% 30% and 40% and inlet temperature of hot air of 160°C 180°C and 200°C and outlet temperature of 80°C. Drying test was carried out based on Box-Behnken design. The coconut sugar powder was collected and analyzed for its properties such as recovery yield, density, moisture content, solubility, dispersibility, hygroscopicity, flowability and color. The study indicated that to factor affecting the characteristics of the powder is concentration the second inlet temperature hot air and the ratio of food additive, respectively, and the experimental condition selected suitable for the production, could be accomplished when using concentration and food additive 35-37% and 20-24% respectively and drying air temperature at 200°C

Keyword : coconut sugar; Spray Drying; Encapsulation; glass transition temperature

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแนวทางปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ และช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้คำแนะนำในการทำวิจัย วิธีดำเนินการ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดี ตลอดจนความห่วงใย เป็นกำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยเอื้อเฟื้อสละเวลา ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆตลอดจนให้ความรู้ในการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุกปัจจัย ทำให้โครงการนี้สามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่น

ขอขอบคุณนางสาวปัญญาชรี ถิ่นฐาน ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการโครงการครั้งนี้จนสำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเกษตรกรชาวสวนมะพร้าว ที่ยังคงดำรงอาชีพ ทำให้มีวัตถุดิบที่ดีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในวงการอาหารของประเทศไทย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงการขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายสมบัติ อุตตะกะ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอ้อมมีติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูปภาพ	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา	1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3. ขอบเขตของโครงการ	2
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1. น้ำตาล	3
2.1.1. การจำแนกชนิดของน้ำตาลด้วยคุณสมบัติทางเคมี	4
2.1.2. การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรตตามรายงาน FAO/WHO	7
2.1.3. การจำแนกคาร์โบไฮเดรตด้านอาหารและโภชนาการ	7
2.1.4. น้ำตาลกับสุขภาพ	9
2.2. ค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic index)	10
2.3. มะพร้าว	12
2.4. น้ำตาลมะพร้าว	15
2.4.1. น้ำตาลอินเวิร์ต	16
2.4.2. องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าว	16
2.4.3. การสลายตัวของน้ำตาล	17
2.4.4. คุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว	18
2.5. สารเจือปนอาหาร	19
2.5.1. วัตถุประสงค์ในการใช้วัตถุเจือปนอาหาร	20
2.5.2. การแบ่งประเภทของสารเจือปนอาหาร	20
2.5.3. พิษภัยของวัตถุเจือปนอาหาร	21
2.6. การทำแห้งแบบพ่นฝอย	21
2.6.1. ส่วนประกอบหลักของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2. คุณภาพของอาหารแห้งผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	23
2.6.3. ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	23
2.6.4. ลักษณะการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย	24
2.6.5. การคืนรูปของผลิตภัณฑ์อาหารผง	24
2.6.6. การกำหนดสภาวะการทำงานในการทำแห้งแบบพ่นฝอย	25
2.7. กระบวนการห่อหุ้ม	25
2.7.1. ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านกระบวนการห่อหุ้ม	26
2.7.2. ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม	26
2.7.3. เทคนิคที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม	28
2.7.4. การเอนแคปซูเลทโดยใช้เครื่องมือ : เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	30
2.8. Glass Transition Temperature	32
2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง	
3.1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ศึกษา	36
3.2. อุปกรณ์การทดลอง	36
3.3. สารเคมี	36
3.4. การเตรียมอุปกรณ์	36
3.5. วิธีทำการทดลอง	37
3.5.1. การเตรียมสารละลายก่อนการทำแห้ง	37
3.5.2. ขั้นตอนการทำแห้ง	37
3.6. การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง	40
3.6.1. ปริมาณความชื้น	40
3.6.2. ความหนาแน่น	40
3.6.3. ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	40
3.6.4. ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้	41
3.6.5. ความเป็นกรด – เบส	41
3.6.6. คุณสมบัติการละลาย	41
3.6.7. คุณสมบัติการกระจาย	41
3.6.8. คุณสมบัติการดูดซับความชื้น	42
3.6.9. คุณสมบัติการไหล	42
3.6.10. ค่าสี	43
3.7. การวางแผนและการวิเคราะห์การทดลอง	43
3.7.1. การออกแบบการทดลอง	43
3.7.2. การทำแห้งแบบพ่นฝอย	44
3.7.3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1. ผลการทดลองเบื้องต้น	47
4.2. การทำแห้งแบบพ่นฝอย	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ผลการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง	48
4.4. ผลการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่สภาวะต่างๆ	50
4.4.1. ปริมาณของผลผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	51
4.4.2. ความหนาแน่น	53
4.4.3. ปริมาณความชื้น	55
4.4.4. ความเป็นกรด – เบส	57
4.4.5. ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	59
4.4.6. คุณสมบัติการละลาย	61
4.4.7. คุณสมบัติการกระจาย	63
4.4.8. คุณสมบัติการดูดซับความชื้น	65
4.4.9. คุณสมบัติการไหล	67
4.4.10. ค่าสี	69
4.4.11. สภาวะที่เหมาะสม	78
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1. สรุปผลการทดลอง	80
5.2. ปัญหาที่พบ	81
5.3. ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง	
ภาคผนวก ข. ANOVA Table	
ภาคผนวก ค. ภาพอุปกรณ์ วัดจุดดับ และผลผลิตภัณฑ์ในการทดลอง	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่2.1 การจำแนกชนิดของอาหารคาร์โบไฮเดรตตามรายงานของFAO/WHO	7
ตารางที่2.2 การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรตทางอาหารและโภชนาการ	8
ตารางที่2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว	18
ตารางที่2.4 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูล	28
ตารางที่2.5 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นรส Encapsulation	29
ตารางที่3.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง	38
ตารางที่3.2 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรที่จะศึกษา	44
ตารางที่3.3 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)	45
ตารางที่4.1 แสดงผลการวิเคราะห์วัตถุดิบเบื้องต้นของสารละลายน้ำตาลมะพร้าวก่อน การทำแห้งที่สภาวะต่างๆ	47
ตารางที่4.2 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง	48
ตารางที่4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่สภาวะต่างๆ	49

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของน้ำตาลอัลโดสและน้ำตาลคีโตส	3
รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างของน้ำตาลอัลโดสที่มีจำนวนคาร์บอนต่างๆกัน	5
รูปที่ 2.3 แสดงสูตรโครงสร้างของน้ำตาลคีโตสที่มีจำนวนคาร์บอนต่างๆกัน น้ำตาลเฮกโซส	5
รูปที่ 2.4 แสดงสูตรโครงสร้างของน้ำตาลไดแซคคาไรด์	6
รูปที่ 2.5 มะพร้าว	12
รูปที่ 2.6 แสดงปริมาณผลผลิตมะพร้าวของโลกในปี พ.ศ. 2547	14
รูปที่ 2.7 น้ำตาลมะพร้าว	15
รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบหลักของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	22
รูปที่ 2.9 การเอนแคปซูลทสารให้กลิ่นรส	26
รูปที่ 2.10 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูลทสารให้กลิ่นรส	29
รูปที่ 2.11 การเอนแคปซูลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	30
รูปที่ 2.12 ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	31
รูปที่ 3.1 Box – Behnken Design	43
รูปที่ 4.1 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและปริมาณของน้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้ของน้ำตาลมะพร้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	52
รูปที่ 4.2 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและความหนาแน่นของน้ำตาลมะพร้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	54
รูปที่ 4.3 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและปริมาณความชื้นที่อุณหภูมิลมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	56
รูปที่ 4.4 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและความเป็นกรด – เบสที่อุณหภูมิลมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	58
รูปที่ 4.5 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและปริมาณน้ำอิสระที่อุณหภูมิลมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	60
รูปที่ 4.6 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและคุณสมบัติการละลายที่อุณหภูมิลมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	62

รูปที่ 4.7 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ วัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและคุณสมบัติการกระจายตัว ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	64
รูปที่ 4.8 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ วัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและคุณสมบัติการดูดซับความชื้น ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	66
รูปที่ 4.9 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	68
รูปที่ 4.10 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ วัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและค่าความสว่าง ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	71
รูปที่ 4.11 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ วัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	73
รูปที่ 4.12 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ วัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	75
รูปที่ 4.13 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	77
รูปที่ 4.14 (a), (b) และ (c) แสดงการพิจารณาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ น้ำตาลมะพร้าวผงเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1. หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา

ปัจจุบันสภาพเศรษฐกิจและสังคมทำให้รูปแบบการบริโภคอาหาร และการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันเปลี่ยนแปลงไปจากอดีต ปัญหาด้านทุพโภชนาการมีเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะมีสาเหตุส่วนใหญ่มากจากการรับประทานอาหารที่เกินกว่าที่ร่างกายต้องการ เป็นสาเหตุของโรคต่างๆ ที่สำคัญคือโรคอ้วน และโรคเบาหวาน ซึ่งถือเป็นปัญหาทางด้านโภชนาการที่สำคัญของประเทศ จากการรายงานว่าเป็นปัจจุบันมีผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานสูงถึง ร้อยละ 10 และคนไทยมีแนวโน้มที่จะเป็นโรคเบาหวานเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อก่อน และสามารถพบได้ในคนทุกอายุทุกเพศและทุกวัย (วิภา, 2549)

น้ำตาล เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งให้พลังงานแก่ร่างกาย ซึ่งหลังรับประทานเข้าสู่ระบบการย่อยและดูดซึมของร่างกายจะเปลี่ยนในน้ำตาลในเลือดซึ่งมีผลต่อการเพิ่มการตอบสนองต่ออินซูลิน คือเมื่อมีการหลั่งอินซูลินมากติดต่อกันเป็นเวลานานจะเป็นตัวการที่ทำให้เกิดโรคเบาหวาน ดังนั้นการทราบคุณภาพของคาร์โบไฮเดรตในอาหารแต่ละชนิดจะช่วยให้สามารถตัดสินใจเลือกชนิดของอาหารที่จะบริโภคได้ถูกต้องมากขึ้น เพื่อให้สามารถควบคุมสถานะของระดับน้ำตาลในเลือดให้เป็นปกติ ซึ่งนักโภชนาการนิยมนำค่าดัชนีน้ำตาลหรือที่เรียกว่า “ดัชนีไกลซีมิก” (Glycemic Index; GI) มาใช้ในการจัดลำดับคุณภาพของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ขึ้นอยู่กับว่าอาหารนั้นๆ มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดมากหรือน้อยหลังการบริโภคอาหารนั้น 2 ถึง 3 ชั่วโมง (ฤดี, 2548)

น้ำตาลมะพร้าวเป็นอาหารธรรมชาติ มีคุณค่าทางอาหารสูงน้ำตาลทรายที่นิยมรับประทานกันทั่วไปยังมีแร่ธาตุอื่นๆ รวมทั้งวิตามินบางชนิดที่น้ำตาลทรายแดงและน้ำตาลทรายขาวไม่มี ไปแต่สเซียมีบทบาทในการลดความดันโลหิต ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ระดับโคเลสเตอรอลและน้ำหนักตัว น้ำตาลมะพร้าว 1 ช้อนชา ให้พลังงาน 15 แคลอรี (น้ำตาลทราย 1 ช้อนชา ให้พลังงาน 20 แคลอรีและไม่มีคุณค่าทางโภชนาการอยู่เลย) อยู่ในกลุ่มอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index; GI) ต่ำ คือ 35 ± 4 จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดไม่สูงขึ้นเร็วและร่างกายไม่ต้องหลั่งอินซูลินออกมามากเพื่อกวาดน้ำตาลออกไปจากกระแสเลือด จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาทดแทนน้ำตาลทราย สำหรับผู้บริโภคที่ให้ความสนใจในการเลือกรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ แต่ปัจจุบันน้ำตาลโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปก้อนแข็งหรือขี้หนืด นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอย่างรวดเร็ว เช่น การเยิ้มเหลวของน้ำตาล ซึ่งทำให้ไม่สะดวกต่อการนำมาใช้งาน มีระยะเวลาการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น ประมาณ 1-3 เดือน เป็นผลทำให้มีการศึกษาการทำแห้งน้ำตาลมะพร้าวด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง ซึ่งจะเป็นการยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้สะดวกต่อการบริโภคและเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคอีกด้วย

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าว และกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำแห้งน้ำตาลมะพร้าวต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งน้ำตาลมะพร้าวด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3. ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 วัตถุดิบที่ใช้ คือน้ำตาลมะพร้าวสด จากอำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม
- 1.3.2 ปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย
 - อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว
 - ความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น
 - อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง
- 1.3.3. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผลิตภัณฑ์ผงที่ศึกษาประกอบด้วย
 - ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้
 - ความหนาแน่น
 - ปริมาณความชื้น
 - ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้
 - ความเป็นกรด – เบส
 - คุณสมบัติการละลาย
 - คุณสมบัติการกระจาย
 - คุณสมบัติการดูดซับความชื้น
 - คุณสมบัติการไหล
 - ค่าสี

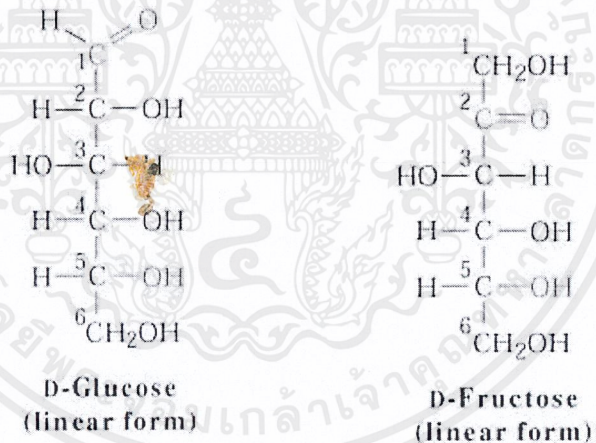
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1. เพื่อส่งเสริมและเพิ่มทางเลือกในการเลือกรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ
- 1.4.2. เป็นการส่งเสริมการแปรรูปน้ำตาลมะพร้าวให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น
- 1.4.3. มีความเข้าใจในหลักการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. น้ำตาล

น้ำตาลเป็นอาหารคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรตอาหาร จำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารได้แก่อาหารจำพวกแป้งและน้ำตาลเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างที่มีน้ำจับอยู่กับทุกๆอะตอมของคาร์บอนมีสูตรโครงสร้างอิมพีริคัลเป็น $(CH_2O)_n$ ในทางเคมีเป็น สารประกอบจำพวกโพลีไฮดรอกซีอัลดีไฮด์หรือโพลีไฮดรอกซีคีโตนและสารอนุพันธ์ของสารเหล่านั้น น้ำตาลที่มีหมู่ทำหน้าที่ (functional group) เป็นหมู่อัลดีไฮด์จะเรียกน้ำตาลพวกนี้ว่าน้ำตาลอัลโดส ส่วนน้ำตาลที่มีหมู่ทำหน้าที่เป็นคีโตนจะเรียกน้ำตาลจำพวกนี้ว่าน้ำตาลคีโตสมีสูตรโครงสร้างดังแสดง ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 : สูตรโครงสร้างของน้ำตาลอัลโดสและน้ำตาลคีโตส

น้ำตาลเป็นสารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ รสหวานของน้ำตาลเป็นรสหวานธรรมชาติที่ปราศจากรสอื่นเจือปน โดยเปรียบเทียบกับความหวานของกลูโคสถือว่าเท่ากับ 100 ฟรุกโตส เป็นน้ำตาลที่หวานที่สุดและมีความหวานกว่าซูโครส น้ำตาลที่หวานรองลงมาจากซูโครส คือ กลูโคส มอลโทส และแลคโตส วัตถุประสงค์หลักของการใส่น้ำตาลในอาหารคือการทำให้ความหวาน โดยทั่วไปนิยมซูโครสหรือน้ำตาลทราย เพราะให้ความหวานสูง และมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลอื่นๆ

น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากน้ำตาลทรายขาวมีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.5 จึงสามารถคำนวณพลังงานของน้ำตาลทรายได้ โดยคิดว่าน้ำตาลทราย 1 กรัม ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี นอกเหนือจากพลังงานแล้ว น้ำตาลทรายขาวไม่ให้สารอาหารอื่นเลย (อบเชย และ ชนิษฐา, 2544)

น้ำตาลทั่วไปมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ประมาณร้อยละ 30 – 80 ปริมาณที่ละลายได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การละลายได้จะสูงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำตาลแต่ละชนิดจะต่างกัน ฟรุคโตสเป็นน้ำตาลที่ละลายได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ซูโครส ในทำนองเดียวกัน ฟรุคโตส ก็เป็นน้ำตาลที่มีความสามารถในการดูดความชื้นได้ดีมาก รองลงมาคือ เด็กซ์โตส ซูโครส มอลโตส และแลคโตส ซึ่งคุณสมบัติการดูดซับความชื้นของน้ำตาลมีส่วนช่วยให้อาหารที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบนุ่มขึ้น และคุณสมบัติการเก็บรักษาความชื้นจะเป็นประโยชน์ต่อการช่วยให้อาหารเก็บไว้ได้นานโดยไม่แห้งแข็ง หรือเสียลักษณะที่ต้องการเร็วเกินไป ส่วนกิริยาต่อต้านจุลินทรีย์เกิดจากน้ำตาลซูโครสไปลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity, a_w) ในระบบ การถนอมอาหารอาจทำได้โดยการแช่น้ำตาลละลายน้ำตาล หรืออาจเติมน้ำตาลโดยตรงก็ได้ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity, a_w) ที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่ (ไพบูลย์, 2532)

การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรตมีหลายวิธีได้แก่การจำแนกด้วยโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมี การจำแนกตามรายงานขององค์การอาหารและเกษตรและขององค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) การจำแนกด้านอาหารและโภชนาการและการจำแนกทางพันธุกรรมโดยองค์คณะกรรมการนโยบายอาหารด้านการแพทย์ (Committee on Medical Aspects of Food Policy)

2.1.1. การจำแนกชนิดของน้ำตาลด้วยคุณสมบัติทางเคมี

การจำแนกคาร์โบไฮเดรตด้วยโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีจำแนกออกตามขนาดโมเลกุล หรือจำนวนหน่วยย่อยในโมเลกุลจะแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ โมโนแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ และ โพลีแซคคาไรด์

2.1.1.1. โมโนแซคคาไรด์ หมายถึง น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือน้ำตาลที่มีโครงสร้างธรรมดา (simple sugar)

สามารถแบ่งจำพวกออกตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลเป็น

เตโตรส (tetrose) จำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็น 4 อะตอม

เพนโตส (pentose) จำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็น 5 อะตอม

เฮกโซส (hexose) จำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็น 6 อะตอม

เฮปโตส (heptose) จำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็น 7 อะตอม

น้ำตาลที่ใช้ในอุตสาหกรรม และในครัวเรือนทั่วไปคือน้ำตาลเฮกโซสเป็นส่วนใหญ่ได้แก่กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตสแมนโนสเป็นต้น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในธรรมชาติอีกพวกหนึ่งคือน้ำตาลเพนโตสได้แก่ อะราบินอส ไรโบส ไรบูลอส และไซโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3 นอกจากนี้ยังมีอนุพันธ์

ของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ได้แก่ กรดน้ำตาลน้ำตาลอัลกอฮอล์น้ำตาลดีออกซีน้ำตาลอะมิโนและน้ำตาลเอสเทอร์เช่นน้ำตาลฟอสเฟตเป็นต้น

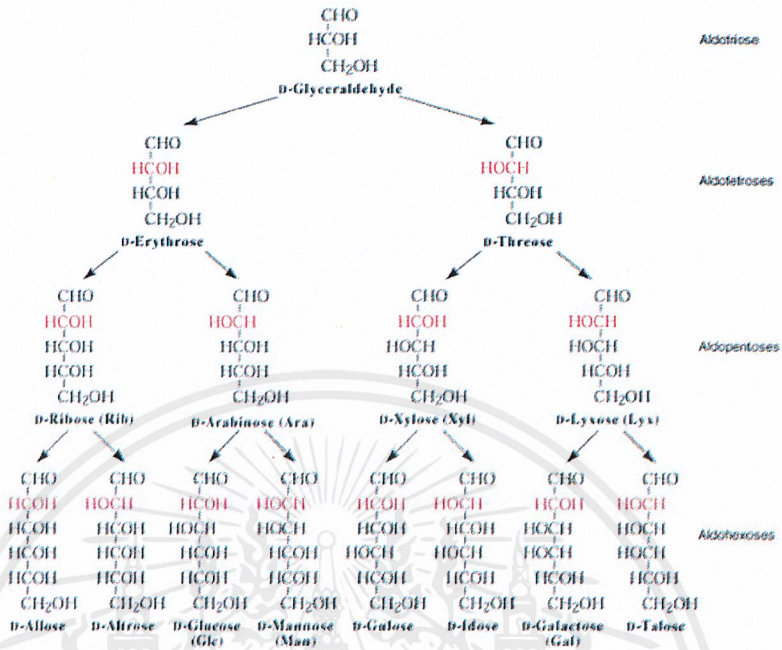


Figure 8-1. The D-aldoses with three to six carbon atoms.
Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

รูปที่ 2.2 : แสดงสูตรโครงสร้างของน้ำตาลอัลโดสที่มีจำนวนคาร์บอนต่าง ๆ กัน

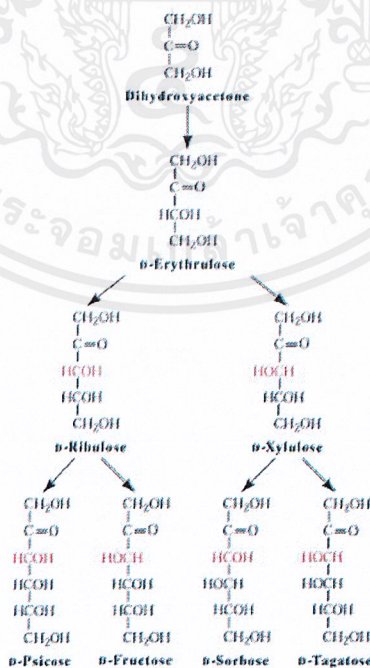
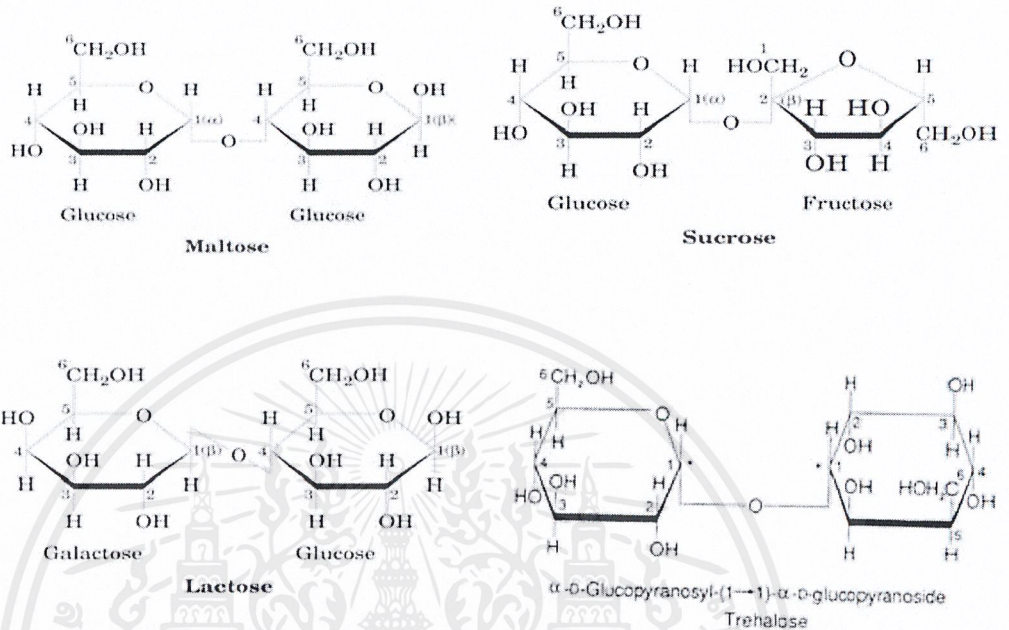


Figure 8-2. The D-ketoses with three to six carbon atoms.
Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

รูปที่ 2.3 : แสดงสูตรโครงสร้างของน้ำตาลคีโตสที่มีจำนวนคาร์บอนต่าง ๆ กัน น้ำตาลเฮกโซส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.1.1.2. ไดแซคคาไรด์หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีหน่วยย่อย 2 หน่วยหรือมีน้ำตาล 2 ตัวเชื่อมต่อกันด้วยพันธะทางเคมีที่เรียกว่าพันธะไกลโคซิดิกได้แก่ น้ำตาลซูโครสมอลโตสและแลคโตส นอกจากนี้ยังมีเซลโลไบโอสมอลโตสเทรฮาโลสไอโซมอลโตส เป็นต้น



- 2.1.1.3. โอลิโกแซคคาไรด์หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยโมโนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 3 หน่วยถึง 10 หน่วยพวกที่ประกอบด้วย 3 หน่วยย่อยเรียกว่าไตรแซคคาไรด์พวกที่มี 4 หน่วยย่อยเป็นเตตราแซคคาไรด์ถ้ามี 5 หน่วยย่อยเรียกเพนตาแซคคาไรด์ถ้ามี 6 หน่วยย่อยเรียกว่าเฮกซาแซคคาไรด์ตามลำดับ
- 2.1.1.4. โพลีแซคคาไรด์หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของโมโนแซคคาไรด์มากกว่า 10 หน่วยย่อยขึ้นไปเป็นโพลิเมอร์ของโมโนแซคคาไรด์ซึ่งอาจมีจำนวนนับร้อยหรือเป็นพันก็ได้เป็นนมโหมลกุลที่มีหน้าที่หลากหลายทางชีวภาพแบ่งออกได้ตามหน้าที่การทำงานเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือโพลีแซคคาไรด์สะสม (storage polysaccharides) และโพลีแซคคาไรด์โครงสร้าง (structural polysaccharides) โพลีแซคคาไรด์สะสมที่พบในธรรมชาติจำนวนมากคือแป้งในเซลล์พืชและไกลโคเจนในเซลล์สัตว์ส่วนโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นโครงสร้างได้แก่เซลลูโลสในพืชไคตินในเปลือกกุ้งกระดองปูแกนปลาหมึกและเปลือกแมลงเปปติโดไกลแคนในผนังเซลล์ของแบคทีเรียไกลโคอะมิโนไกลแคนบนผิวเซลล์สัตว์และไกลโคโปรตีนต่างๆ เป็นต้น

2.1.2. การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรตตามรายงาน FAO/WHO

การจำแนกชนิดของอาหารคาร์โบไฮเดรตตามรายงานขององค์การอาหารและเกษตรและขององค์การอนามัยโลก(FAO/WHO) จำแนกตามระดับของการเกิดโพลีเมอร์ (degree of polymerization) ดังแสดงในตารางที่2.1 ซึ่งเป็นความพยายามที่จะรวมการจำแนกทางเคมีและทางสรีรวิทยาเข้าไว้ด้วยกันซึ่งจะทำให้ง่ายต่อความเข้าใจและทำให้ไม่สับสนกับกลไกการทำงานทางสรีรวิทยาเพราะศัพท์เฉพาะบางคำเรียกอย่างเดียวกันแต่มีความหมายแตกต่างกันในพื้นที่ต่าง ๆ กัน ตัวอย่างเช่นคำว่าคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนหรือ complex carbohydrate ซึ่งในแถบอเมริกาเหนือจะหมายถึงแป้งเท่านั้นแต่ในแถบยุโรปอาจหมายถึงโพลีแซคคาไรด์ทุกชนิดด้วย

ตารางที่2.1 การจำแนกชนิดของอาหารคาร์โบไฮเดรตตามรายงานของFAO/WHO

Class	Subgroup	Components
Sugars (1-2)	Monosaccharides	Glucose, galactose, fructose
	Disaccharides	Sucrose, lactose, trehalose
	Polyols	Sorbitol, mannitol, xylitol
Oligosaccharides	Malto-oligosaccharides	Maltodextrin
	Other Oligosaccharides	Raffinose, stachyose, fructo-oligosaccharides
Polysaccharides	Starch	Amylose, amylopectin,
	Non-starch polysaccharides	Modified starch Cellulose, hemicellulose, pectin, hydrocolloid

2.1.3.การจำแนกคาร์โบไฮเดรตด้านอาหารและโภชนาการ

ในทางอาหารและโภชนาการมีการจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรตดังแสดงในตารางที่ 2.2 ข้างล่างโดยจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรตออกเป็นน้ำตาลธรรมดา (simple carbohydrate) และคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate)

ตารางที่ 2.2 การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรตทางอาหารและโภชนาการ

Simple Carbohydrates	Complex Carbohydrates
Digestible SIMPLE Carbohydrates	Digestible COMPLEX Carbohydrates
Monosaccharides Examples :	Polysaccharides Examples :
Glucose [Fruit, honey, corn syrup]	Starch and dextrins [Grains, legumes & vegetables]
Fructose [Fruit, juices, honey, high fructose, corn syrup]	Glycogen [Meats]
Galactose [Fruit, honey]	Partially Digested COMPLEX Carbohydrates
Mannose [Pineapple, olives, carrots]	Inulin [Jerusalem artichokes, onions, garlic]
	Mannosans [Legumes]
Disaccharides	Raffinose [Sugar beets, kidney beans, lentils navy beans]
Sucrose [Cane sugar, molasses, maple syrup]	Stachyose [Dried beans]
Lactose [Milk and milk products]	Pentosans [Fruits and gums]
Maltose [Malt products and some breakfast cereals]	Indigestible COMPLEX carbohydrates (Dietary Fiber)
Carbohydrate Derivatives	Cellulose [Vegetables and seeds]
Ethyl alcohol [Fermented grains]	Hemicellulose [Vegetables and seeds]
Lactic acid [Milk products]	Pectins [Citrus Fruits]
Malic acid [Fruits]	Gums & mucilages [Oats, barley, seeds]

*Source: Mahan, L.K. and Escott-Stump, S. Krause's Food, Nutrition & Diet Therapy. 10th ed., 2000

น้ำตาลธรรมดา (simple sugar) หมายถึงน้ำตาลพวกโมโนแซคคาไรด์ได้แก่น้ำตาลกลูโคสฟรุกโตสกาแลคโตสแมนโนสและน้ำตาลไดแซคคาไรด์ได้แก่น้ำตาลซูโครสแลคโตสและกาแลคโตสนอกจากนี้ยังรวมถึงพวกอนุพันธ์ของน้ำตาลได้แก่อัลทอซอลและกรดด้วยเช่นเอทิลอัลทอซอลกรดแลคติกกรดมาลิก เป็นต้นพวกนี้มักเป็นน้ำตาลที่ใช้เติมลงในอาหารเพื่อให้เกิดรสหวานบางทีเราเรียกพวกนี้ง่าย ๆ ว่า น้ำตาลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate) หมายถึงน้ำตาลที่เข้าไปอยู่ในโครงสร้างของผลไม้และผักต่างๆบางแห่งเรียกว่าเป็นน้ำตาลภายใน (intrinsic sugar) รวมทั้งพวกโพลีแซคคาไรด์ที่มีโมโนแซคคาไรด์หลายๆหน่วยเชื่อมต่อกันเป็นโพลีเมอร์ได้แก่แป้งไกลโคเจนเซลลูโลสเพคตินไคตินรวมทั้งพวกโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีหน่วยย่อยโมโนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 3 หน่วยย่อยขึ้นไปอาจแบ่งออกได้เป็น

1. แป้งที่พบในมันฝรั่งขนมปังข้าวเจ้าและพาสต้ารวมทั้งโพลีแซคคาไรด์พวกที่ไม่ใช่แป้งเป็นพวกที่ร่างกายมนุษย์ย่อยไม่ได้ได้แก่เซลลูโลสเพคตินในผลไม้ผักต่างๆและธัญพืช
2. โยอาหารซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตผสม

2.1.4. น้ำตาลกับสุขภาพ

น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่ดีที่สุดของร่างกายร่างกายต้องมีระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดคงที่อยู่เสมอเพื่อจะได้เป็นแหล่งพลังงานให้สมองเมื่อร่างกายอ่อนเพลียหรือขาดพลังงานจะต้องมีการให้น้ำตาลกลูโคสหรือเดกซ์โตรสแก่ร่างกายโดยฉีดเข้าทางกระแสเลือดหรือที่คนส่วนใหญ่เรียกว่าการให้น้ำเกลือนั่นเองเพื่อให้มีน้ำตาลเพียงพอที่จะไปเลี้ยงสมองน้ำตาลยังเป็นสารที่จะเปลี่ยนไปเป็นไพรูเวทที่จำเป็นในการช่วยเมแทบอลิซึมของทั้งไขมันและกรดอะมิโนในร่างกายจึงไม่ควรขาดน้ำตาลน้ำตาลเป็นสารที่มีคุณค่ามากทั้งในเรื่องของสารที่ช่วยกระตุ้นความอยากรับประทานอาหารเช้าอาหารมีรสชาติที่ดีขึ้นและยังใช้ในการเก็บถนอมรักษาอาหารเช่นการเชื่อมการแช่แข็งเป็นต้นน้ำตาลมีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมอาหารใช้ช่วยเพิ่มลักษณะที่พึงประสงค์ทางกายภาพของอาหารช่วยลดกรดช่วยเพิ่มความหนืดช่วยในการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ช่วยให้สีของอาหารสวยงามรับประทานและช่วยให้อาหารมีรสดีขึ้นด้วยสำหรับนักกีฬาที่จะต้องใช้เวลาออกกำลังกายอย่างหนักและเป็นเวลาในการบริโภคอาหารคาร์โบไฮเดรตสูงมีรายงานว่าช่วยให้เกิดการสร้างกล้ามเนื้อและสะสมพลังงานไว้ใช้ในเวลาที่ต้องเล่นกีฬา

อันตรายจากน้ำตาลที่สำคัญและมีการกล่าวถึงมากได้แก่โรคฟันผุโรคอ้วนเบาหวานความดันโลหิตสูงโรคหัวใจโรคมะเร็งการติดรสหวานการติดเชื้อการทำให้อายุสั้น เป็นต้น

โรคเบาหวาน

โรคเบาหวานเป็นโรคของความผิดปกติในเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตเกิดจากสาเหตุจากหลายปัจจัยร่วมกันอาการที่แสดงออกคือการมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงและมีความผิดปกติของเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตไขมันและโปรตีนความผิดปกติเหล่านี้เป็นผลเนื่องมาจากความผิดปกติของฮอร์โมนที่ควบคุมการขนส่งน้ำตาลเข้าเซลล์ที่ชื่อว่าอินซูลินทำให้ผู้ป่วยโรคนี้มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานานหลังจากรับประทานอาหารหรือบางคนมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงตลอดเวลาแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

เบาหวานประเภทที่ 1 (Type 1 Diabetes Mellitus) เบาหวานในเด็กเป็นโรคทางพันธุกรรมพบได้ตั้งแต่เด็กโดยร่างกายมีการสร้างอินซูลินผิดปกติหรือสร้างไม่ได้เลยเกิดจากการที่เบต้าเซลล์ของตับอ่อนถูกทำลายไปเป็นชนิดที่ในการรักษาต้องให้อินซูลินเข้าไป (insulin dependent diabetes mellitus) และพวกนี้จะเกิดภาวะความเป็นกรดในเลือดสูงหรือคีโตแอซิโดสิสได้ง่ายเป็นโรคแพ้

ภูมิคุ้มกันตนเองโรคนี้อาจมีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่ไม่ตรงไปตรงมาตามกฎของเมนเดลการแสดงออกของโรคขึ้นกับปัจจัยแวดล้อมหลายประการแม้กระทั่งการติดเชื้อไวรัสบางชนิดอาจเป็นสาเหตุสำคัญให้มีการแสดงอาการของโรคได้

ส่วนเบาหวานประเภทที่ 2 (Type 2 Diabetes Mellitus) เป็นโรคเบาหวานที่พบได้บ่อยในผู้ใหญ่พบประมาณ 85-95% ของผู้ป่วยเบาหวานทั้งหมดในประเทศแถบตะวันตกพบความชุกประมาณ 4-5% ของประชากรพบมากในผู้สูงอายุและบางเชื้อชาติเช่นในอินเดียมีอาการทั้งที่เป็นการขาดอินซูลินหรือไม่ตอบสนองต่ออินซูลินเป็นโรคที่เกี่ยวกับพันธุกรรมเช่นกันแต่ไม่ใช่โรคแพ้ภูมิคุ้มกันตนเองในการรักษาบางครั้งใช้การให้อินซูลินช่วย (non - insulin dependent diabetes mellitus) ซึ่งโรคเบาหวานประเภทที่ 2 นี้มีความชุกเพิ่มสูงขึ้นมากในปัจจุบันทำให้ผู้ตั้งข้อสงสัยเกิดว่าน่าจะมีปัจจัยเสี่ยงบางอย่างที่เร่งการเกิดโรคเบาหวานประเภทนี้

เนื่องจากโรคเบาหวานเกิดจากการที่เซลล์ของเนื้อเยื่อต่างๆไม่สามารถนำเอากลูโคสในเลือดไปใช้ได้ทำให้มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเกินไปทำให้ผู้ป่วยโรคนี้ต้องจำกัดอาหารที่มีน้ำตาลสูงเพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มของระดับน้ำตาลในเลือดโดยเกรงว่าจะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงเพิ่มผลของการตอบสนองต่ออินซูลินทำให้การทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติ หรือเร่งการทำลายของเบต้าเซลล์ในตับ

นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการใช้น้ำเชื่อมฟรุคโตสมากขึ้นน้ำตาลฟรุคโตสเดิมเชื่อกันว่าฟรุคโตสอันตรายต่อผู้ป่วยเบาหวานน้อยกว่ากลูโคสเนื่องจากดูดซึมช้ากว่าจึงมีผลเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดน้อยกว่ากลูโคสต่อมาพบว่าในสัตว์ทดลองฟรุคโตสปริมาณสูงทำให้เกิดตับแข็งได้ในลักษณะเดียวกับแอลกอฮอล์เนื่องจากการสลายฟรุคโตสเกิดได้ที่ตับเท่านั้นในขณะที่กลูโคสสลายได้ในทุกเนื้อเยื่อนอกจากนี้พบว่าฟรุคโตสยังยับยั้งการทำงานของเม็ดเลือดแดง ฟรุคโตสลดความสามารถในการจับของอินซูลินกับตัวจับที่ผิวเซลล์ทำให้ต้องสร้างอินซูลินเพิ่มขึ้นดังนั้นน้ำเชื่อมฟรุคโตสน่าจะไม่ใช่ปลอดภัยนักสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน

โดยสรุปตามหลักฐานเท่าที่มีอยู่ในปัจจุบันอาจสรุปได้ว่าน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลอื่นๆไม่ได้เป็นตัวการที่ทำให้เกิดโรคเบาหวานแต่น้ำตาลเป็นอันตรายต่อผู้ป่วยเบาหวานนอกจากนี้การรับประทานน้ำตาลที่มากเกินไปเกินความต้องการของร่างกายอาจทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน

2.2. ค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic index)

ค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) คือ ดัชนีที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งหลังรับประทานเข้าสู่ระบบการย่อยและดูดซึมของร่างกายสามารถเพิ่มระดับน้ำตาล ในเลือดได้มากหรือน้อยโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ น้ำตาลกลูโคสหรือขนมปังขาวซึ่งมีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 100

โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มอาหาร ซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตตามค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) ออกเป็น 3 กลุ่มคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) ต่ำ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 55 หรือ น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน
2. อาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) ปานกลาง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 56-69 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน
3. อาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) สูง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 70 หรือ มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

จากเกณฑ์ดังกล่าว จึงประเมินได้ว่าการรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดอย่างรวดเร็วและสูงมากในขณะที่การรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำจะมีการปลดปล่อยของน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ทำให้ร่างกาย สามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ง่ายกว่า

ประเภทของอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูงได้แก่ ขนมปังขาว Corn-freak ข้าวเมล็ดสั้น มันฝรั่งอบ มันฝรั่งทอด (French fries) Rice cake ไอศกรีม ลูกเกด ผลไม้อบแห้ง กถั่วย แครอท ผลไม้ที่มีรสหวาน เช่น แดงโม เป็นต้น อาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกสูงปานกลางจะเป็นอาหารประเภทเส้น (pasta) ถั่วคั่ว ถั่วฝักเขียว มันเทศ น้ำส้มคั้น บลูเบอร์รี่ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว ชุปถั่ว Whole wheat และข้าวกล้อง เป็นต้น ส่วนอาหารที่มีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ เช่น ถั่วชนิดต่างๆ ผักและอาหารที่มีเส้นใยสูง ธัญพืชที่มีน้ำตาลต่ำ โยเกิร์ตไขมันต่ำและไม่หวาน เกรฟฟรุต แอปเปิล และมะเขือเทศ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการนำค่าดัชนีไกลซีมิก เพียงอย่างเดียวมาใช้ในการพิจารณาเลือกชนิดของอาหาร เพื่อบริโภคจะให้ผลที่ไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่น ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) ของอาหาร เช่น วิธีการปรุง รวมทั้งองค์ประกอบอื่นที่มีอยู่ในอาหารชนิดนั้นๆ ดังนั้นการวิเคราะห์ หรือประเมินค่าดัชนีไกลซีมิก จะต้องกระทำทุกครั้งเมื่อ

1. มีการเปลี่ยนแปลงสูตรอาหารไปจากปกติ
2. เปลี่ยนวิธีการผลิต
3. มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของส่วนผสมที่ใช้
4. มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นความสามารถในการดูดซึ่ม สภาวะความเป็นกรด-ด่าง หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของอาหารนั้น

2.3. มะพร้าว



รูปที่ 2.5 : มะพร้าว

ที่มา : <http://www.thaihealth.in.th/2011/09/10/มะพร้าว-สมุนไพร>

ชื่อสามัญ	Coconut
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Cocos nucifera</i> Linn.
ชื่อวงศ์	PALMAE
การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์	
Kingdom :	Plantae
Division :	Magnoliophyta
Class :	Liliopsida
Order :	Arecales
Family :	Arecaceae
Genus :	<i>Cocos</i>
Species :	<i>C. nucifera</i>

มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นตระกูลเดียวกับหมาก ลำต้นกลม ฐานลำต้นกว้าง มีข้อปล้องตามลำต้น ใบมีลักษณะเป็นใบประกอบเรียงขนานอยู่บนก้านใหญ่แบบขนนก ออกดอกเป็นช่อ ดอกมีสีเหลืองอ่อน โดยดอกอ่อนจะมีกาบหุ้มช่อเหมือนปลีกล้วย เรียกช่อดอกอ่อนว่าวงมะพร้าว ส่วนช่อดอกที่บานและวกาบหลุดออกเรียกว่าจั่นมะพร้าว และออกผลเป็นทลาย คือมีหลายๆ ผลในช่อเดียวกัน ผลมะพร้าวเป็นทรงกลม ผลอ่อนมีเปลือกสีเขียวอ่อน และผลมะพร้าวประกอบด้วยเอพิคาร์ป (epicarp) คือเปลือกนอก ถัดไปข้างในจะเป็นมีโซคาร์ป (mesocarp) หรือใยมะพร้าว ถัดไปข้างในเป็นส่วนเอนโดคาร์ป (endocarp) หรือกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีคล้ำอยู่ 3 รู สำหรับบอ ถัดจากส่วนเอนโดคาร์ปเข้าไปจะเป็นส่วนเอนโดสเปิร์ม หรือที่เรียกว่าเนื้อมะพร้าว ภายในมะพร้าวจะมีน้ำมะพร้าว ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่ เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมด ขณะที่มะพร้าวยังอ่อน ชั้นเอนโดสเปิร์ม (เนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าว) ภายในผลมีลักษณะบางและอ่อนนุ่ม ภายในมีน้ำมะพร้าว ซึ่งในระยะนี้เรามากสอยเอา มะพร้าวลงมารับประทานน้ำและเนื้อ เมื่อมะพร้าวแก่ ซึ่งสังเกตได้จากการที่เปลือกนอกเริ่ม เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ชั้นเอนโดสเปิร์มก็จะหนาและแข็งขึ้น จนในที่สุดมะพร้าวก็นั่นลงจากต้น

เนื้อมะพร้าวสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด หรือนำมาคั้นเอาน้ำกะทิประกอบ อาหารคาวหวานได้หลากหลายชนิด เนื้อมะพร้าวประกอบไปด้วยน้ำมันถึง 60–65% ในน้ำมันมีกรด ไขมันหลายชนิด เนื้อมะพร้าวแห้งผอยใส่น้ำเคี้ยวหรือตากแห้ง แล้วเคี้ยวจะได้น้ำมันมะพร้าว ส่วนน้ำ มะพร้าวเป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางอาหารสูง รสหวาน หอม ชุ่มคอ ชื่นใจ ในน้ำมะพร้าว ยังมีน้ำตาล โปรตีน โซเดียม แคลเซียม โปแตสเซียม แต่สำหรับผู้ที่มีปัญหาเป็นโรคหัวใจ หรือโรคไตก็ไม่ควรดื่มน้ำ มะพร้าว

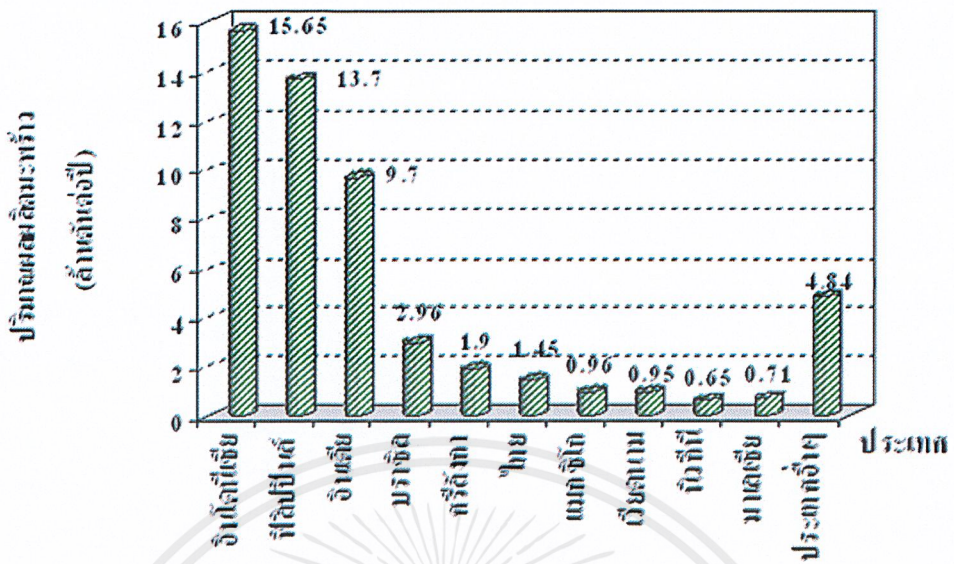
มะพร้าวปลูกได้ดีในดินปนทราย ขยายพันธุ์โดยใช้ผลแก่เพาะเป็นต้นอ่อนสูงประมาณครึ่งถึง หนึ่งเมตร จึงนำไปปลูกในหลุมที่รองก้นด้วยปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก บำรุงด้วยปุ๋ยปัสะ 2 ครั้ง

พันธุ์มะพร้าวที่ปลูกมี 2 กลุ่มคือ ประเภทต้นเตี้ย และประเภทต้นสูง

ประเภทต้นเตี้ย มีการผสมตัวเองค่อนข้างสูงจึงมักให้ผลตกและไม่ค่อยกลายพันธุ์ ส่วนใหญ่นิยม ปลูกไว้เพื่อรับประทานผลอ่อน เพราะในขณะที่ยังไม่แก่ อายุประมาณ 4 เดือน เนื้อมีลักษณะอ่อน นุ่ม และน้ำมีรสหวาน บางพันธุ์มีกลิ่นหอม ต้นเตี้ยโตเต็มที่สูงประมาณ 12 เมตร ให้ผลเมื่ออายุ 3 – 4 ปี

ประเภทต้นสูง มักผสมข้ามพันธุ์คือในแต่ละช่อดอก(จั่น) หนึ่งๆ ดอกตัวผู้จะค่อยๆทยอยบาน และร่วงไปหมดก่อนที่ดอกตัวเมียในจั่นนั้นจะเริ่มบานจึงไม่มีโอกาสผสมตัวเอง มะพร้าวประเภทนี้มัก ใช้ผลแก่เพื่อประกอบอาหารหรือใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช เพราะมีผลโตเนื่อหนา ปริมาณเนื้อมาก ต้นสูงโตเต็มที่ประมาณ 18 เมตร ให้ผลเมื่ออายุ 5 – 6 ปี (โครงการอุทยานความรู้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 1998)

สำหรับปริมาณผลผลิตมะพร้าวผลในประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตมะพร้าว ผลในตลาดโลก ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2542 – 2547 พบว่าในประเทศไทยมีผลผลิตมะพร้าวอยู่ในอันดับที่ 6 ประมาณ 1.38 – 1.45 ล้านตันต่อปี ซึ่งจังหวัดที่ปลูกมากที่สุด คือ ชลบุรี ราชบุรี สมุทรสาคร นครปฐม และชุมพร แต่ผลผลิตมะพร้าวน้ำหอมมีที่จังหวัดสมุทรสาครมากที่สุด เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ ให้ผลผลิตแล้วเป็นส่วนใหญ่ โดยมีอินโดนีเซียเป็นผู้ผลิตมะพร้าวรายใหญ่ที่สุด ประมาณ 14.97 – 16.06 ล้านตันต่อปี รองลงมาเป็นประเทศฟิลิปปินส์ อินเดียบราซิล และศรีลังกา ตามลำดับดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 : แสดงปริมาณผลผลิตมะพร้าวของโลกในปี พ.ศ. 2547

ที่มา : องค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (ส่วนสถิติ), 2011

ประเทศไทยมีผลผลิตมะพร้าวรวมทั้งหมด 2.75 ล้านตันโดยมีปริมาณสัดส่วนและมูลค่าแยกตามชนิดของมะพร้าว มีสัดส่วนการใช้ประโยชน์แบ่งเป็นการบริโภคภายในประเทศร้อยละ 60 และร้อยละ 40 สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมและส่งออก โดยมีผลิตภัณฑ์ที่สำคัญได้แก่ มะพร้าวน้ำหอมทั้งลูก น้ำมันมะพร้าว เส้นใยมะพร้าว มูลค่ารวมประมาณ และพบว่าในการใช้มะพร้าว 1 ลูก น้ำหนักเฉลี่ย 2 กิโลกรัม ราคา 6 บาท หากมีการแปรรูปเป็นมะพร้าวขาว ได้ปริมาณ 0.6 กิโลกรัม ราคา 6.6 บาท ถ้าแปรรูปเป็นกะทิ (กรณีกะทิ UHT) ได้ปริมาณ 0.5 กิโลกรัมราคา 12.5 บาท และหากแปรรูปต่อเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้ปริมาตร 0.3 ลิตร ราคา 90 บาท และจะมีวัสดุเหลือคือ กะลามิมูลค่า 1.5 บาท, น้ำมันมะพร้าวมีมูลค่า 0.2 บาท, ใยมะพร้าวมีมูลค่า 1.32 บาท, ฝัสดามีมูลค่า 0.8 บาทและกากมะพร้าวมีมูลค่า 0.2 บาท แสดงให้เห็นว่ามะพร้าว มีห่วงโซ่อุปสงค์และอุปทานที่ซับซ้อนสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดและเกิดมูลค่าเพิ่มขึ้นในทุกขั้นตอน (องค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (ส่วนสถิติ), 2011)

2.4. น้ำตาลมะพร้าว



รูปที่ 2.7 : น้ำตาลมะพร้าว

ที่มา : <http://www.moohin.com/trips/samutsongkram/madesugar/>

น้ำตาลมะพร้าวเป็นอาหารธรรมชาติ ผลิตจากพืชที่ไม่ผ่านการตัดต่อพันธุกรรม รสชาติคล้ายน้ำตาลทรายแดง แต่มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่ามาก น้ำตาลมะพร้าวปริมาณ 100 กรัมมีโปแตสเซียมประมาณ 1,030 มิลลิกรัม ในขณะที่น้ำตาลทรายแดงมี 6.5 มิลลิกรัม และน้ำตาลทรายขาวมี 2.5 มิลลิกรัม นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุอื่นๆ รวมทั้งวิตามินบางชนิดที่น้ำตาลทรายแดงและน้ำตาลทรายขาวไม่มี โปแตสเซียมมีบทบาทในการลดความดันโลหิต ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ระดับโคเลสเตอรอล และน้ำหนักตัว น้ำตาลมะพร้าว 1 ซอนซา ให้พลังงาน 15 แคลอรี (น้ำตาลทราย 1 ซอนซา ให้พลังงาน 20 แคลอรีและไม่มีคุณค่าทางโภชนาการอยู่เลย) อยู่ในกลุ่มอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index; GI) ต่ำ คือ 35 จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดไม่สูงขึ้นเร็วและร่างกายไม่ต้องหลั่งอินซูลินออกมามากเพื่อกวาดน้ำตาลออกไปจากกระแสเลือด (การมีอินซูลินในเลือดมากๆ จะทำให้ระดับน้ำตาลลดลงมากเกินไป)

การทำน้ำตาลมะพร้าว หรือที่เรียกว่า น้ำตาลปี๊บ จะใช้น้ำหวานจากจั่นมะพร้าวเป็นวัตถุดิบ มะพร้าวที่นิยมนำมาทำน้ำตาลมะพร้าว คือ มะพร้าวพันธุ์หมูสีกลาย ซึ่งเป็นมะพร้าวที่ต้นไม่สูงมากนัก สะดวกต่อการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ยังมีจั่นใหญ่ให้น้ำตาลสดปริมาณมาก และความหวานสูง น้ำตาลมะพร้าวมีการทำมากในภาคกลาง จังหวัดที่มีการทำน้ำตาลมะพร้าวมากคือ จังหวัดสมุทรสงคราม

น้ำตาลมะพร้าวที่มีคุณภาพดี มีสีนวลโดยไม่ใช้สารฟอกสี เนื้อละเอียด กลิ่นหอม ปริมาณความชื้นร้อยละ 7 – 8 ไม่เอี่ยมเหลว ปริมาณน้ำตาลซูโครสมีสูงกว่าร้อยละ 70 ในขณะที่น้ำตาลอินเวิร์ตมีต่ำกว่าร้อยละ 6 -7

2.4.1. น้ำตาลอินเวิร์ต

น้ำตาลอินเวิร์ตคือ กลูโคสและฟรุกโตส จะดูดความชื้นได้ดี ทำให้น้ำตาลมะพร้าวมีลักษณะเยิ้มเหลว และขัดขวางการตกผลึกของซูโครส ซึ่งน้ำตาลอินเวิร์ตจะเกิดจากการสลายตัวของน้ำตาลซูโครส ขณะเคี้ยว เนื่องจากในน้ำตาลสดมีความเป็นกรด จึงทำให้น้ำตาลซูโครสสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน ส่วนการใช้ปูนขาวเพื่อลดการเกิดน้ำตาลอินเวิร์ตในขณะเคี้ยวจะไม่นิยมเพราะจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องสีและกลิ่นรส (อบเชย และ ขนิษฐา, 2544)

2.4.2. องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าว

การพิจารณาองค์ประกอบของน้ำตาลสดจากมะพร้าว ต้องมีการแยกความแตกต่างระหว่าง sweet toddy และ toddy ออกจากกัน โดย sweet toddy หมายถึง น้ำตาลสดที่สดจริงๆ ยังไม่มีการ budding ขึ้น ส่วน toddy หมายถึง น้ำตาลที่มีการ budding ขึ้นไปแล้วในสภาพต่างๆกัน (ศิริพร, 2519) องค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสด sweet toddy ที่มีผู้วิเคราะห์ไว้ดังนี้

การวิเคราะห์ของฟิลิปปินส์ (ศิริพร, 2519)

น้ำตาลซูโครส	16.5	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
โปรตีน	0.60	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
เถ้า	0.40	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ของไทย (ประเทือง, 2503)

ฟิเอช	4.7 - 7.2	
ของแข็งทั้งหมด	16.10 - 18.99	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

เมื่อนำน้ำตาลมะพร้าวสดมาต้มระเหยน้ำออกจะได้น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว ซึ่งมีรายงานการวิเคราะห์ไว้ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว (กล้าณรงค์, 2532)

ความชื้น	11.40 %	
น้ำตาล	72.04 %	
น้ำตาลรีดิวิซิง	7.79 %	
เถ้า	1.13 %	
โปรตีน	0.55 %	
เพกติน กัม	7.09 %	
แคลอรีต่อ 100 กรัม	321.60	แคลอรี

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว (Thampan, 1975)

ซูโครส	68.35	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ความชื้น	10.92	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
เพกตินและกัม	8.72	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
น้ำตาลรีดิวิซิง	6.58	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
เถ้า	2.19	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว (เกสร, 2541)

พลังงาน	383	กิโลแคลอรี
โปรตีน	0.4	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ไขมัน	0.1	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
คาร์โบไฮเดรต	95	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
แคลเซียม	80	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ฟอสฟอรัส	43	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
เหล็ก	11.4	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
วิตามิน เอ	280	IU ต่อ 100 กรัม
วิตามิน บี 3	1	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

2.4.3. การสลายตัวของน้ำตาล

กล้าณรงค์ (2532) พบว่าจากการศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลสดพบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 14.72% (% wet basis) ประกอบด้วยซูโครส 11.64%, กลูโคส 0.24% และฟรุคโตส 2.84% หลังจากเคี้ยวน้ำตาลสดจนกลายเป็นน้ำตาลปี๊บจะมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 74.41% ประกอบด้วยซูโครส 66.49%, กลูโคส 3.81% และฟรุคโตส 4.11%

Apriyantono และคณะ (2002) พบว่าในระหว่างการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวปริมาณน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสจะเห็นได้ชัด ดังตารางที่ 2.3 โดยกลูโคสจะลดลงตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์และฟรุคโตสจะลดลงตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ในขณะที่อัตราการลดลงของซูโครสไม่ใช่ทั้งปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่ง

จากการศึกษาของ Andrew และคณะ (2002) พบว่าปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตและฟิเอซเริ่มต้นจะมีผลต่อการสลายตัวของซูโครสที่เกิดได้ดีที่สุดที่ฟิเอซต่ำ และที่ฟิเอซสูงซูโครสจะเกิดการสลายตัวมากกว่าที่ฟิเอซเป็นกลาง และเมื่อเคี้ยวน้ำตาลนานขึ้นก็จะทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น และเมื่อในสารละลายน้ำตาลซูโครสมีน้ำตาลซูโครสมีน้ำตาลฟรุคโตสอยู่มาก ก็จะทำให้เกิดการสลายตัวของซูโครสมากขึ้นเช่นกัน

121715

การบรรจุน้ำตาลมะพร้าวในภาชนะบรรจุที่สะอาด ผนึกได้เรียบร้อย ป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกหรือความชื้น กรณีใช้ภาชนะบรรจุที่ทำด้วยโลหะต้องไม่เป็นสนิม (มผช.๕/๒๕๔๖)

2.4.4.2. การผลิตน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณภาพดี (กล้าณรงค์, 2532)

1. ต้องรักษาจั่นให้สะอาดปราศจากโรคและแมลง
2. อุปกรณ์ในการทำน้ำตาลมะพร้าว ต้องล้างให้สะอาด โดยเฉพาะกระบอกรองน้ำตาลสด จะต้องล้างให้สะอาดและลวกด้วยน้ำเดือดทุกครั้ง
3. ต้องทำการกรองน้ำตาลสดให้สะอาด ปราศจากเศษผง แมลงและเปลือกไม้ต่างๆ
4. เมื่อเคี้ยวน้ำตาลได้ที่แล้ว การเทน้ำตาลลงในบรรจุภัณฑ์ต้องไม่เกิน 9 ถึง 10 กิโลกรัม เพราะถ้ามากเกินไป น้ำตาลจะแข็งตัวเฉพาะบริเวณรอบนอก ส่วนด้านในจะยังมีลักษณะเหลว ขึ้นหนืด และหากต้องการเทน้ำตาลลงในบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำตาลบรรจุอยู่ก่อนแล้ว ควรรอให้น้ำตาลที่บรรจุอยู่เต็มเย็นตัวลงก่อน

2.4.4.3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าวในระหว่างการเก็บรักษา

Water Activity (a_w) เป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่ออายุการเก็บของน้ำตาลมะพร้าว ในขณะที่อุณหภูมิ พีเอช และปัจจัยอื่นๆ ก็มีผลกระทบต่อความเร็วในการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร อีกทั้ง a_w ยังมีผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ และองค์ประกอบในอาหารซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสี รส และกลิ่นของอาหารอย่างชัดเจน

2.5. สารเจือปนอาหาร

ปัจจัยสำคัญในการดำรงชีพของคนเราไม่ว่ายุคสมัยใด ก็ยังคงเป็นอาหาร เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค และที่อยู่อาศัย เช่นเดิม เพียงแต่มีการพัฒนาปัจจัยต่าง ๆ ให้ก้าวหน้าทันสมัย อำนวยความสะดวก ความสุขและความพอใจให้มนุษย์เรามากขึ้น ในเรื่องอาหารก็เช่นเดียวกัน ระยะเวลาที่กินอาหารพืช ผัก ตามธรรมชาติ ต่อมาก็มมีการเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์เป็นอาหาร และพัฒนาเรื่อยมา รู้จักการเก็บถนอมอาหารไว้บริโภคในยามขาดแคลน หรือบริโภคนอกฤดูกาล ประกอบกับวิถีชีวิตอันเร่งรีบในสังคมเมือง และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอาหาร ทำให้มีการผลิตอาหารสำเร็จรูป กึ่งสำเร็จรูป อาหารพร้อมบริโภค การใช้วัตถุดิบอาหารก็เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ผลิตอาหารได้ตามความต้องการ

คณะกรรมการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ สาขาวัตถุเจือปนอาหารและสารปนเปื้อนและ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ได้ให้คำจำกัดความว่า “ สารเจือปนอาหาร หมายถึง สารใด ๆ ซึ่งปกติมิได้ใช้เป็นอาหารหรือเป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางโภชนาการ หรือไม่ก็ได้ เป็นสารที่ตั้งใจเติมลงในอาหาร เพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านเทคโนโลยีการผลิต การเตรียมวัตถุดิบ และ การแปรรูป การบรรจุ การขนส่ง การเก็บรักษา

อาหาร และมีผลหรืออาจมีผลทางตรงหรือทางอ้อม ทำให้สารนั้นหรือผลิตภัณฑ์ของสารนั้น กลายเป็นส่วนประกอบของอาหารนั้น หรือ มีผลต่อคุณลักษณะของอาหารนั้น แต่ไม่รวมถึง สารปนเปื้อน หรือ สารที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของอาหาร โดยที่การใช้วัตถุเจือปนอาหารต้องมีได้มีเจตนาหลีกเลี่ยงผู้บริโภค หรือปิดบังการใช้วัตถุที่มีคุณภาพไม่ดี หรือการผลิตที่มีการสุขาภิบาลไม่ถูกต้องและต้องไม่ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลงด้วย ” โดยคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปของวัตถุเจือปนอาหาร ได้แก่ ไม่เป็นพิษ ใช้จำนวนเล็กน้อยก็ได้ผล ไม่ทำให้สี กลิ่น รส ลักษณะของอาหารเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เสื่อมคุณภาพ และ ต้องเป็นชนิดที่ผ่านการทดสอบและอนุญาตให้ใช้เติมลงในอาหารได้ (อิติรัตน์, 2553)

2.5.1. วัตถุประสงค์ในการใช้วัตถุเจือปนอาหาร

1. เพื่อเก็บถนอมหรือยืดอายุการเก็บของอาหารไว้ ตัวอย่างเช่นในระยะเวลาที่มีผลผลิตทางการเกษตรมากเกินไปในฤดู โดยเฉพาะประเทศไทยมีอุณหภูมิและความชื้นค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นสภาวะเร่งการเสียของอาหาร เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีและจุลินทรีย์ จึงจำเป็นต้องใช้วัตถุเจือปนอาหารเพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของอาหาร
2. เพื่อปรุงแต่งลักษณะสี กลิ่น รส ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ
3. เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต เช่น การใช้วัตถุป้องกันการเกิดฟองที่มากเกินไปในกระบวนการผลิตน้ำมันพืช น้ำเชื่อมเข้มข้น เป็นต้น
4. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมา ทำให้มีอาหารหลากหลายชนิด

2.5.2. การแบ่งประเภทของสารเจือปนอาหาร

วัตถุเจือปนที่ใช้ในอาหารแบ่งเป็นหลายกลุ่ม ตามวัตถุประสงค์การใช้ที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. วัตถุกันเสีย หมายถึง สารที่เติมลงในอาหารเพื่อป้องกันการเสีย บุคเน่าของอาหาร สารนี้จะไปควบคุมการเจริญเติบโต หรือทำลายจุลินทรีย์ ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของอาหาร วัตถุกันเสียที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย
2. วัตถุกันหืน หมายถึงสารที่ใช้เพื่อชะลอการเสียของอาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ลักษณะการเสื่อมคุณภาพจากปฏิกิริยานี้ รวมถึงการมีกลิ่นผิดปกติ เช่น กลิ่นหืน กลิ่น สี รส ผิดปกติไปจากเดิม อาจเกิดสารประกอบใหม่ที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายด้วย
3. สี การใช้สีผสมอาหาร เพื่อแต่งสีให้อาหารมีลักษณะคล้ายธรรมชาติ หรือเพื่อให้มีสีสม่ำเสมอ และอาจใช้เพื่อจำแนกกลิ่น รสของอาหารก็ได้ สีที่ใช้ผสมอาหารมี 2 จำพวก ได้แก่ สีธรรมชาติ จากใบเตย กระเจี๊ยบ ไบยานาง ดอกอัญชัน ลูกตาล สีน้ำตาลเคียวไหม สีสังเคราะห์ ซึ่งสร้างจากสารเคมีต่างๆ
4. กลุ่มวัตถุเจือปนที่ใช้ปรับสภาพความเป็น กรด-ด่าง ของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กลุ่มวัตถุเจือปนที่ช่วยคงสภาพอาหาร/กลุ่มวัตถุเจือปนที่ช่วยทำให้อาหารเป็นเนื้อเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำและน้ำมันเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งการทำให้ส่วนผสมเนียนเป็นเนื้อเดียวกันต้องใช้ อิมัลซิไฟเออร์ช่วยประสานให้น้ำและน้ำมันรวมตัวกันได้โดยไม่แยกชั้น
6. วัตถุป้องกันการรวมตัวเป็นก้อน หมายถึง สารที่เติมลงในอาหารผงแห้ง เพื่อช่วยเก็บหรือดูดความชื้นไว้โดยที่สารนี้ไม่ขึ้น สารนี้อาจไปรวมตัวกับน้ำในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือจับน้ำจากบรรยากาศที่เก็บอาหารก็ได้

2.5.3. พิษภัยของวัตถุเจือปนอาหาร

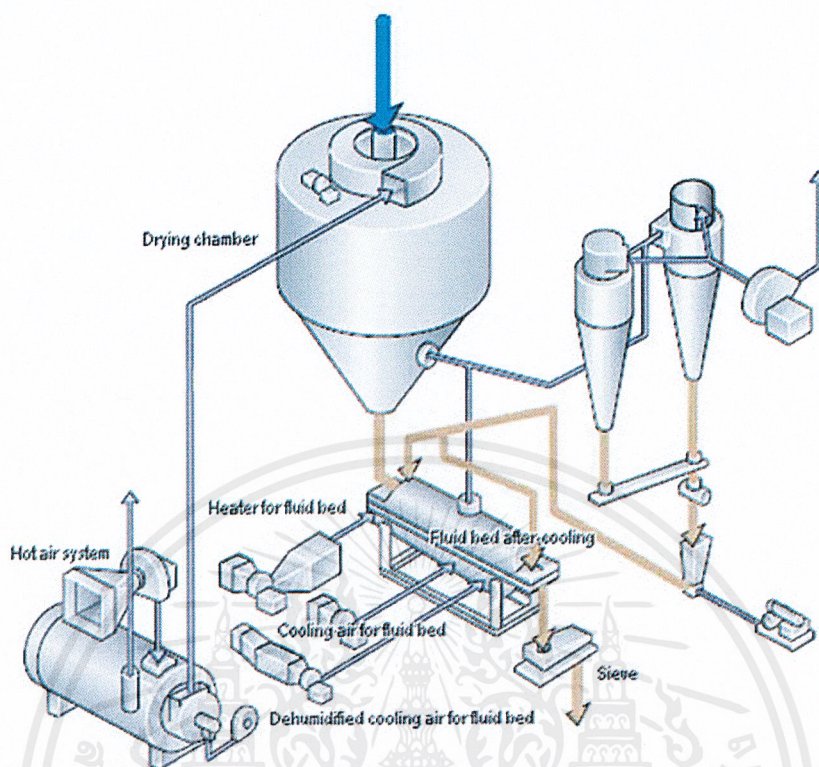
วัตถุเจือปนอาหารมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหาร ช่วยให้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิด มีคุณภาพได้มาตรฐาน ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากใช้ไม่ถูกต้องก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคได้เช่นกัน ปัญหาพิษภัยที่เกิดจากวัตถุเจือปนอาหารอาจเกิดได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้ผิดประเภท ทำให้เกิดอาการพิษและตายได้ หรือการใช้ในปริมาณมากกว่าที่กฎหมายอนุญาต อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ โดยที่ผู้บริโภคไม่รู้เท่ากันไม่การณหรือจงใจ เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บให้นานกว่าปกติ หรือคุณภาพดีขึ้น หรืออาจใช้วัตถุเจือปนอาหารที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานมาใช้ เพราะมีราคาถูกกว่า

ผู้บริโภคควรเลือกบริโภคอาหารที่ผ่านการแปรรูปน้อยที่สุด เลือกบริโภคแต่อาหารที่ผลิตได้มาตรฐาน เพื่อป้องกันพิษภัยจากการใช้วัตถุเจือปนอาหาร

2.6. การทำแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) คือ เครื่องทำแห้งที่ใช้ทำแห้งอาหารเหลว ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้ง ตกสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง ผงบางส่วนที่รวมอยู่กับลมร้อนจะถูกแยกออก ด้วยระบบแยก อาหารผงที่ได้มีความชื้น (moisture content) ต่ำ (น้อยกว่า 5 %) นิยมใช้ในการผลิตอาหารแห้งมีลักษณะเป็นผง เช่น นมผง กาแฟผง ไข่ผง น้ำผลไม้ผง

2.6.1. ส่วนประกอบหลักของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 2.8 : ส่วนประกอบหลักของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : http://www.almil.de/index1.php?page=eng_solutions_mop_spray

2.6.1.1. ห้องทำแห้ง (drying chamber) เป็นบริเวณที่เกิดการทำแห้งอาหาร โดยอากาศร้อนแห้ง ซึ่งเป็นอากาศ ที่ถูกดูดผ่านระบบกรองและทำให้ร้อน จะปะทะกับอาหารเหลว บริเวณนี้เกิดการระเหยของน้ำจากหยดอาหารเหลว การสัมผัสระหว่างอากาศร้อนและอาหารเหลวอาจเป็นได้หลายทิศทาง

- อากาศและอาหารเหลวไหลทางเดียวกัน (co-current flow)
- อากาศและอาหารเหลวไหลสวนทางกัน (counter-current flow)
- การไหลแบบผสม (mixed flow)

2.6.1.2. ตัวทำละออง (atomizer) มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้น เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลไปยังห้องอบแห้ง และกำหนดขนาดอนุภาค ตลอดจนคุณภาพต่างๆของอาหารผง

เครื่องพ่นละอองที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีหลายระบบ แต่ละระบบ มีผลต่อลักษณะ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การเลือกชนิดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอาหารเหลวเริ่มต้น เช่น ความหนืด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับและคุณสมบัติของอาหารผงที่ต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค การละลาย (solubility) ความหนาแน่น (density) การเปียกน้ำ (wettability) เป็นต้น ตัวทำละอองที่นิยมใช้ได้แก่

- หัวฉีดแรงดันสูง (Pressure nozzles หรือ Nozzle atomizer) ตัวทำละอองประเภทนี้จะใช้แรงดันสูงดันให้ อาหารเหลวไหลผ่านรูเปิดขนาดเล็ก (orifice) ขนาดของอนุภาคจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหล และความหนืดของของเหลว และเมื่อเพิ่มแรงดัน ขนาดของอนุภาคจะเล็กลง
- Two-fluid atomizer หรือ Pneumatic atomizer) อาหารเหลวจะไหลกระทบกับก๊าซ หรืออากาศที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ทำให้ของเหลว แตกเป็นละอองฝอย ได้ขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก สามารถใช้ได้กับ อาหารเหลว ที่มีความหนืด (viscosity) สูง
- ตัวทำละอองแบบจานเหวี่ยง(Centrifugal atomizer หรือ Rotary atomizer) มีลักษณะเป็นจาน(disk, wheel) โดยอาหารเหลวจะไหลลงบริเวณใกล้กับจุดศูนย์กลางของจานที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูงมาก (ประมาณ 2,000-20,000 รอบต่อนาที) ถูกเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ให้ของเหลวกระจายออกด้านข้างของจานเป็นละอองเล็กๆ ซึ่งขนาดของอนุภาคแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหล และความหนืดของอาหารเหลว และแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง ไม่เป็นเนื้อเดียว ซึ่งอาจมีปัญหาการอุดตันหัวฉีด

2.6.1.3. อุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศ

- ไซโคลน (cyclone)
- ถุงกรอง (bag filter)

2.6.2. คุณภาพของอาหารแห้งผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และคุณภาพของอาหารที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อัตราการไหลของอาหารเหลวขาเข้า (Feed Rate), ความหนืดของอาหารเหลว และอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้า เป็นต้น

2.6.3. ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย

1. การเตรียมความเข้มข้นของวัตถุดิบ(สารละลาย / ของเหลว)
2. การทำให้วัตถุเหลวมีอนุภาคเล็กลง โดยการพ่นละอองวัตถุดิบ
3. การอบแห้งโดยใช้อากาศแห้ง อุณหภูมิสูง
4. การแยกผลิตภัณฑ์แห้ง (ลักษณะเป็นผง) ออกจากลมร้อน

5. การลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์

6. การบรรจุ

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิในระดับที่สูงมากในกระบวนการทำแห้ง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะระยะเวลาที่วัตถุดิบสัมผัสกับลมร้อนสั้นมาก โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ผิวของอนุภาคจะอยู่ในช่วง 45 – 50 °C ซึ่งอาจแบคทีเรียบางชนิดไม่ได้ถูกทำลาย และในระหว่างการอบแห้ง คุณสมบัติทางกายภาพบางอย่างของผลิตภัณฑ์อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

2.6.4. ลักษณะการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีคุณสมบัติการกระจายตัวไม่ตึง สักเกตจากการนำไปละลายน้ำ จะดูดซับน้ำได้ช้าและจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งมักเกิดกับผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของโปรตีน เช่น นมผง และแป้ง โดยลักษณะการกระจายตัวที่ดีได้ถูกกำหนดคุณสมบัติไว้ ดังนี้

- มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก
- ต้องไม่ลอยอยู่บนผิวของเหลว (ตัวทำละลาย)
- มีความสามารถในการละลายที่ดี
- ไม่ตกตะกอนง่าย

2.6.5. การคืนรูปของผลิตภัณฑ์อาหารผง

สมบัติการละลายของผง ได้แก่

1. Wettability คือ ความสามารถของอนุภาคของผงในการดูดซับน้ำบนพื้นผิวของอนุภาค และปัจจัยที่มีผลต่อ wettability ได้แก่ กระบวนการเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคจำนวนของอนุภาคที่ดูดซับน้ำได้ พื้นผิวของอนุภาค หรือ การไม่มีอนุภาคที่ไม่เกาะกันเป็นก้อน
 2. Sinkability คือ ความสามารถของผงในการจมลงไปในน้ำ หลังจากผงเกิดการดูดซับน้ำบนพื้นผิวของอนุภาค และถูกกระทบโดยความหนาแน่นของอนุภาค
 3. Dispersibility หมายถึง ความสามารถของผง ในการกระจายตัวตลอดทั่วทั้งภายในน้ำโดยไม่เกิดเป็นก้อน ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ dispersibility คือ การไม่มีของอนุภาคที่มีขนาดมากกว่า 250 μm หรือ อนุภาคที่เกาะตัวกันเป็นก้อน
 4. Solubility คือ อัตราการละลายหรือความสามารถในการละลายทั้งหมด โดยการไม่มีจุด และการบวมตัวอย่างรวดเร็วของอนุภาค เป็นปัจจัยที่กระทบต่อความสามารถในการละลาย
- หากผลิตภัณฑ์ผงมีคุณสมบัติทั้ง 4 ประการนี้ นะเรียกเป็นลักษณะ “Instant Powder”

โดยปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลาย คือ ธรรมชาติของตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย อุณหภูมิ ความดัน ขนาดของอนุภาค และการกวนผสม (Rahman, 1995)

2.6.6. การกำหนดสภาวะการทำงานในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งเป็นสิ่งสำคัญที่เป็นตัวตัดสินการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถปรับการทำงานของเครื่องทำแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นที่ต้องการ โดยสามารถกำหนดการทำงานของเครื่องได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าโดยการตั้งค่า Thermostat, อัตราการไหลของวัตถุดิบเหลวโดยการปรับค่าความดันและความเร็วของปั๊ม, อัตราการไหลของอากาศโดยการตั้งค่าความเร็วรอบของพัดลม, ตำแหน่งของแผ่นกั้น, ขนาดอนุภาค และอุณหภูมิลมร้อนขาออก

2.7. กระบวนการห่อหุ้ม(Encapsulation)

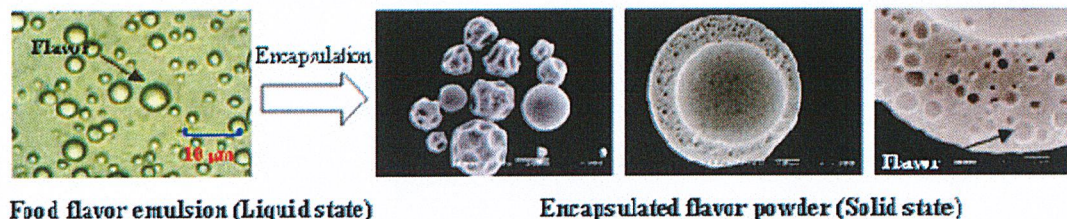
กระบวนการห่อหุ้ม(Encapsulation) เป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่นสารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือถูกยัดจับไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating

การเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรสสามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสที่อาจทำปฏิกิริยากับส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารลดการเกิดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากสารให้กลิ่นรสทำปฏิกิริยากันปกป้องสารให้กลิ่นรสจากแสงหรือปฏิกิริยาออกซิเดชันยืดอายุการเก็บรักษาสารให้กลิ่นรสหรือควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหาร

ส่วนผสมอาหารอื่นๆที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน(Encapsulation) ได้แก่กรด (acids), ไขมัน (lipids), เอนไซม์ (enzymes), จุลินทรีย์ (microorganism), สารทดแทนน้ำตาล (artificial sweetener), วิตามิน (vitamins), เกลือแร่ (mineral), สี(colorants) และเกลือ (salts)

โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรสประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน (รูปที่ 2.9) โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบโดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือโปรตีนขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัว

เทคนิคการเอนแคปซูเลชันที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรสและความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 2.9 : การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส
ที่มา : Madene et al., 2006

2.7.1. ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านกระบวนการห่อหุ้ม

1. คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรสได้แก่โครงสร้างทางเคมี (chemical structure), ความมีขั้ว (polarity) และความสามารถในการระเหย (volatility)
2. คุณสมบัติของสารเคลือบ
3. สภาพที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการห่อหุ้ม

สารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม ให้กลิ่นรสจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่นรสมีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง, ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อมมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียรและสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ

2.7.2. ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม

2.7.2.1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบ ได้แก่ สตาร์ช (starch), มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), corn syrup solids และ gum acacia คาร์โบไฮเดรต

สตาร์ช และ ingredients ที่ผลิตได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปร (modified starch), มอลโตเดกซ์ทริน และ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (beta-cyclodextrin) ถูกนำมาใช้ เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อกักเก็บและปกป้องสารให้กลิ่นรส กลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ชแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบโดย รูปแบบแรก สารให้กลิ่นรสจะถูกล้อมรอบด้วย amylose helix โดยการจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่ง สตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ภายในโมเลกุล (inclusion complex) รูปแบบที่สองจะเกิด polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและสารให้กลิ่นรส

มอลโตเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วนโดย การใช้กรดหรือเอนไซม์ โดยผลิตจำหน่ายในรูป Dextrose Equivalent (DEs)

Gum arabic เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดี ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray-dried particles) โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ทริน และ gum arabic เป็นสารเคลือบ จะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอน และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้มากกว่า 80% ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่อุณหภูมิอากาศของอากาศร้อน, ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืด และ สัดส่วน ของ gum arabic และ มอลโตเดกซ์

2.7.2.2. โปรตีน (Protein)

โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (solubility), ความหนืด (viscosity), emulsification และ คุณสมบัติของการทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูลเลชัน ระหว่างการเกิดอิมัลชัน โมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด stericstabilizing layer ชั้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน (oil droplets)จากการกลับมา รวมตัวอีกครั้ง (recoalescence) ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่าง กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

เวย์โปรตีนจะให้คุณสมบัติทางหน้าที่ (functional properties) ที่ต้องการในการ ใช้เป็นสารเคลือบ เวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายใน international market จะอยู่ในรูปของ whey protein isolates (มีปริมาณโปรตีน 95-96%) หรือ whey protein concentrate (WPC-50, WPC-70) powder เวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการ เอนแคปซูลเลทน้ำมันส้ม (microencapsulated orange oil) โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบ พ่นฝอย การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับคาร์โบไฮเดรตสามารถใช้เป็น สารเคลือบในการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่นรส โดยเวย์โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มใน ขณะที่คาร์โบไฮเดรต (มอลโตเดกซ์ทริน หรือ corn syrup solids) จะทำหน้าที่เป็นสารที่ ทำให้เกิดเมทริกซ์

Protein-based material เช่น polypeptone, โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) หรือ อนุพันธ์ของเจลาติน (gelatin derivative) มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียร กับสารให้กลิ่นรส

เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคอลลาเจน (collagen) ถูกนำมาใช้ ในรูปของสารเคลือบในการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิค complex coacervation และ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจาก สามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ได้โดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน ผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส (seasoning)

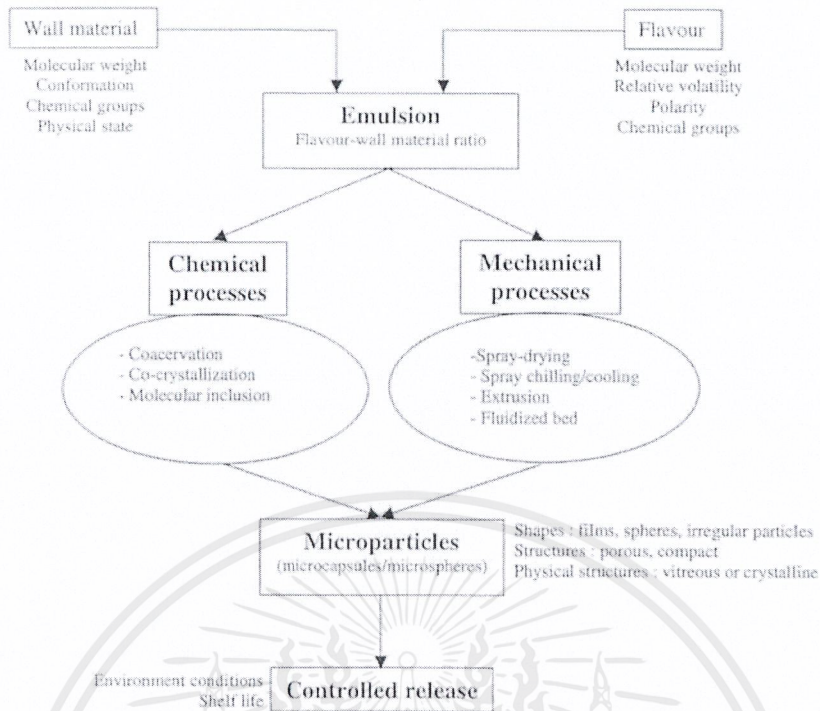
ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท

สารให้กัณธรส 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

ที่มา : Madene et al., 2006

2.7.3. เทคนิคที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation techniques)

การเอนแคปซูเลทสารให้กัณธรสสามารถทำได้หลายวิธีวิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมได้แก่เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคอื่นๆเช่นสเปรย์ชิลลิ่งและคูลลิ่ง (spray chilling and cooling), coacervation, การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไรส์เบด (fluidized bed coating), การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (liposome entrapment), inclusion complexation และเทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)



รูปที่ 2.10 : เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส

ที่มา: Madene et al., 2006

ตารางที่ 2.5 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส Encapsulation

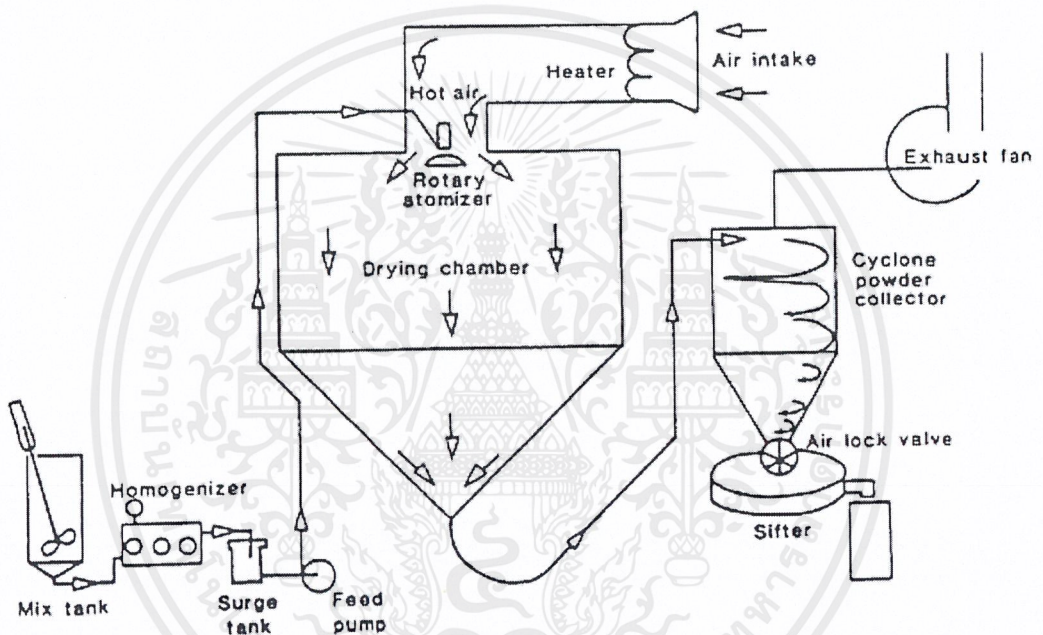
	Encapsulation Methods	Particle size (µm)	Max load(%)	reference
Chemical techniques	Simple coacervation	20-200	<60	Richard & Benoit, 2000
	Complex coacervation	5-200	70-90	Richard & Benoit, 2000
	Molecular inclusion	5-50	5-10	Uhlemann et al., 2002
Mechanical techniques	Spray-drying	1-50	<40	Richard &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

ที่มา : Madene et al., 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4. การเอนแคปซูเลทโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical processes) :เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลทที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่ายและต้นทุนการผลิตโดยวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วยการนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier หรือ wall material) เช่นมอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), สตาร์ชดัดแปร (modified starch) กัมหรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำจากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูเลทมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier solution) โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (homogenize) เพื่อให้เกิดหยดของสารให้กลิ่นรส



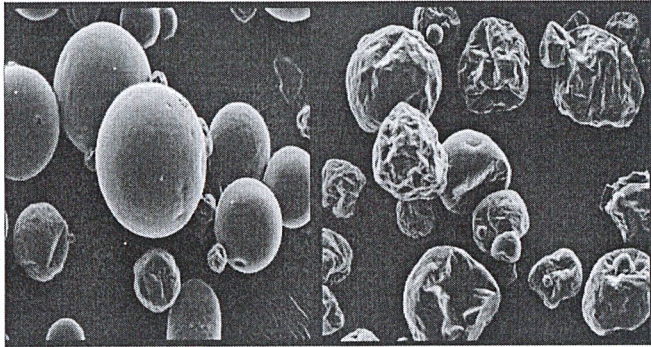
รูปที่ 2.11 : การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา: Madene et al., 2006

ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. ต้นทุนการผลิตต่ำ
2. เครื่องมือที่ใช้สามารถหาได้ง่าย
3. สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดีและสามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 : ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ซ้าย : อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้ wheel atomizer

ขวา : อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้ pressure spray atomizer

ที่มา : Madene et al., 2006

ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. อาจเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย
2. อาจมีสารแกนกลางติดที่ผิวของไมโครแคปซูลซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ที่ได้
3. การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่ละเอียดมากโดยทั่วไปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ในช่วง 10-100 ไมครอนซึ่งอาจจะต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการ agglomeration โดยใช้ fluidized bed process เพื่อทำให้อนุภาคที่ผ่านการเอนแคปซูเลทสามารถละลายได้ทันทีหรือละลายได้ง่ายขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในรูปของเหลว

ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตสารเคลือบโดยการใช้อัลตราโซนิกและการใช้แก๊มอาราบิกพร้อมกับสตาร์ชหลายชนิดเพื่อทำให้สารให้กลิ่นรสมีความคงตัวมากขึ้นในระหว่างขั้นตอนการอบแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่นานขึ้น

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่อง Leafless Spray Dryer เพื่อใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดสูงโดยออกแบบให้อากาศร้อน (300-4000 °C) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงภายในห้องอบแห้งซึ่ง leafless spray dryer สามารถใช้ในการอบแห้ง citral และ linalyl acetate โดยมีผลกระทบต่อคุณภาพของสารให้กลิ่นรสดังกล่าว น้อยมาก

ในกรณีนี้ที่สารให้กลิ่นรสที่จะนำมาเอนแคปซูเลทมีจุดเดือดต่ำกว่าการเอนแคปซูเลทจะทำได้โดยนำอิมัลชันซึ่งประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นรสในตัวกลางที่ละลายน้ำ (hydrated carrier) เช่นกัมอาราบิก มาผ่านหัวฉีดเพื่อพ่นละอองฝอยไปยังสารละลายเอทานอลซึ่งเป็นของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำ (dehydrating liquid) ออกจากผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลที่ได้สามารถแยกออกจากสารละลายโดยการกรองและทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum oven) วิธีการนี้ยังไม่มีเครื่องมือการผลิตเป็นแบบต่อเนื่องจึงทำให้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศร้อนแต่วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตสารให้กลิ่นรสที่มีราคาแพงและไวต่อความร้อน

2.7.4.1. การกักเก็บสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

จะขึ้นอยู่กับ

1. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของของสารแกนกลางและสารเคลือบ
2. อุณหภูมิที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง
3. คุณสมบัติของสารเคลือบเช่นคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรความสามารถในการทำให้เกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวของสารแกนกลางและมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง

2.7.4.2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้แก่

1. องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารเคลือบ
2. อัตราส่วนของสารให้กลิ่นรส : สารเคลือบ
3. วิธีการพ่นฝอยและตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง
4. การหดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้นของการอบแห้ง
5. สภาพในการเก็บรักษา

2.8. Glass Transition Temperature

Glass Transition Temperature (T_g) หมายถึงอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารจากที่ไม่มีรูปร่างแน่นอน (Amorphous System) หรือมีสถานะคล้ายแก้ว (Glassy State) ไปเป็นสถานะของเหลวหนืดคล้ายยาง (Rubbery State) หรือย้อนกลับ (Silva *et al.*, 2006) วัสดุที่มีสถานะคล้ายแก้วอาจถือเป็นสารละลายของของแข็งได้ในสถานะที่ความหนืดของวัสดุคล้ายแก้วจะเท่ากับ 10¹² Pa.s เมื่ออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นจนถึงจุด T_g วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น Rubbery ซึ่งจะมีความหนืดเฉลี่ยเท่ากับ 10⁶ – 10⁸ Pa.s ในการค่าความหนืดของวัสดุค่อนข้างทำได้ยากและมักเกิดความผิดพลาดได้ (Bhandari and Howes, 1999) ซึ่งสามารถวิเคราะห์อุณหภูมิ

ดังกล่าวได้ด้วยเครื่อง DSC ซึ่งการเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างที่สัมพันธ์กับความหนืดเช่น Stickness, Elasticity, Collapse, Shrinkage และ Crystallization จะขึ้นอยู่กับ Glass Transition

Glass Transition คือการเปลี่ยนแปลงสถานะลำดับที่ 2 เป็นการเปลี่ยนโครงสร้างของอาหารจากโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous) ไปเป็นลักษณะคล้ายยางหนืด (Rubbery) ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับได้ การเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งเป็นแบบของเหลวไปเป็นแบบลักษณะคล้ายยางหนืด และเปลี่ยนเป็นของแข็งอสัณฐาน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอาหารผงระหว่างการเก็บรักษาเป็นแบบของแข็งอสัณฐานไปเป็นแบบลักษณะคล้ายยางหนืด โดยสมบัติทางกายภาพของวัสดุ จะเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การเพิ่มปริมาตรอิสระ, การเพิ่มปริมาณความจุความร้อน, สมประสิทธิการขยายตัวเนื่องจากความร้อน, สมประสิทธิการนำไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทาง Viscoelastic (Genin and Rene, 1995)

Glass Transition ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างเฉพาะของตัวถูกละลายและยังขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวทำละลายที่ปรากฏ (Rahman, 1995) ค่า T_g ถูกใช้เป็นตัวแปรทางเคมีกายภาพ ที่สามารถวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต คุณภาพความคงตัวและความปลอดภัยของอาหาร (Barbosa, C. & Vega, M., 1996) Glass Transition ของอาหารที่ผ่านการทำแห้งเป็นตัวแปรสำคัญในการอธิบายกลไกของกระบวนการเปลี่ยนรูปในอาหารและการควบคุมอายุการเก็บรักษาของอาหารนั้น (Omar & Roos, 2007)

Glass Transition Temperature (T_g) เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุอสัณฐาน โดยอาหารที่มีลักษณะเป็นวัสดุอสัณฐาน จะเกิดการก่อรูปในสถานะที่ไม่สมดุล (Non Equilibrium Condition) โดยอาจเกิดจากการกำจัดตัวกลางที่กระจายอยู่ล้อมรอบ เช่น น้ำ, จากการหลอมเหลวโดยความเย็นหรือการทำให้เย็นแบบยิ่งยวด (Supercooling) วัสดุนี้จะไม่เกิดการสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนั้นวัสดุนี้จึงอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียร ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการตกผลึกได้ (Bhandari & Howes, 1999) ที่ค่าความหนืดสูงกว่า 10^{12} Pa.s วัสดุอสัณฐานจะเกิดการเหนียวเนื่องจากในสถานะนี้มีโมเลกุลจะเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลเป็นผลึกโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณความชื้น

2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(กนกพร, 2005) น้ำตาลมะพร้าวโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปแบบก้อนแข็งทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และการเยิมเหลวของน้ำตาลไม่สะดวกต่อการใช้งาน มีระยะเวลาการเก็บค่อนข้างสั้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการผลิตน้ำตาลมะพร้าวในรูปแบบน้ำเชื่อม โดยมีการเติมกลูโคสไซรัปที่ 15% และมอลโตเดกตรินที่ 10% เพื่อยับยั้งการตกผลึก โดยการเคี่ยวน้ำตาลด้วยไฟแรงในช่วงแรกและลดไฟที่ 107°C สามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 4 เดือนโดยมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆน้อยมาก และมีการใช้น้ำตาลมะพร้าวในรูปแบบน้ำเชื่อมในผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำปลาหวานและลอดช่องน้ำกะทิ พบว่าการเตรียมผลิตภัณฑ์โดยใช้น้ำตาลมะพร้าวในรูปแบบน้ำเชื่อมให้ความสะดวก และใช้เวลาการเตรียมน้อยกว่าการใช้น้ำตาลมะพร้าวในรูปแบบของแข็ง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคระดับ 6 จาก 9 ระดับ

(กวีศรี และคณะ, 2009)ศึกษากระบวนการผลิตและลักษณะการให้ผลผลิตของน้ำตาลมะพร้าวที่อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2551 ถึง เดือนสิงหาคม 2551 เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการผลิตน้ำตาลมะพร้าวในประเทศไทย พบว่ากระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือการเก็บน้ำตาล และการเคี่ยวน้ำตาล ขั้นตอนการเก็บน้ำตาลจากต้นมะพร้าวเริ่มจากการคัดเลือกจั่น (ช่อดอก) ซึ่งมี ความยาวประมาณ 75-100 เซนติเมตร มีตจั่นโน้มลงด้วยเชือก 4-5 วันลอกเปลือกจั่น พร้อมทั้งมัดรวบจั่นด้วยเชือก ปาดส่วนปลายสุดของจั่นหนาประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร วันละ 2 รอบ คือ รอบเช้า และ รอบเย็น รองรับน้ำตาลสดจากมะพร้าวด้วยกระบอกซึ่งใส่เปลือกพะยอมเพื่อชะลอการเน่าเสีย กระบวนการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวด้วยความร้อนให้เป็นน้ำตาลตาลแห้ง ใช้เวลาประมาณ 50-60 นาที โดยใช้ไฟแรงในช่วงแรก และไฟปานกลางหลังจากน้ำตาลงวดลง จากนั้นยกกระทะลงจากเตา กวนด้วยไม้พายประมาณ 6-10 นาที หยุดกวนทันทีเมื่อน้ำตาลเริ่มแข็งตัวบริเวณ ขอบกระทะ แผ่นน้ำตาลเป็นแผ่นบางๆ และบรรจุในภาชนะ ลักษณะการให้ผลผลิตของน้ำตาลจากมะพร้าวพบว่า มะพร้าวให้น้ำตาลเฉลี่ย 24.4 วัน/จั่น ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 14.15 กิโลกรัมหรือ 13.16ลิตร/จั่น ค่าเฉลี่ย total soluble solids ของ น้ำตาลมะพร้าวอยู่ที่ 16.0oBrix และค่าเฉลี่ยของน้ำตาลปึกที่ได้จากน้ำตาลสดเท่ากับร้อยละ 29.45 โดยน้ำหนัก

(G.R. Chegini และคณะ,2007)การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่มีความสลับซับซ้อนมากสำหรับการทำแห้งน้ำผลไม้ ตัวแปรส่วนใหญ่จะทำการทดสอบและหาค่าก่อนที่จะออกแบบการทำแห้ง การทดลองการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำส้มที่ความเข้มข้น 65% ทำการศึกษาตัวแปรพื้นฐานสำหรับการทำแห้งแบบผง ในการศึกษาตัวแปรประกอบด้วย การแห้งของผลิตภัณฑ์ อัตราการป้อน อุณหภูมิขาออก และอุณหภูมิ sticky point การทดสอบดำเนินการโดยศึกษาความแตกต่างในสภาพการทำงานของการทำงานการทำแห้งแบบพ่นฝอย และอุณหภูมิ sticky point ของน้ำส้มผง ผลการศึกษาทางสถิติพบว่าผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวแปรของอุณหภูมิขาเข้า และอัตราการป้อนนั้นมีความสำคัญต่อผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่แห้ง เพราะการเกาะติดผนังของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและการรวมตัวกัน เช่นเดียวกับการที่มีการเติมน้ำตาลกลูโคสลงในผลิตภัณฑ์ สภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราการป้อนอยู่ที่ 15 ml/min อุณหภูมิขาเข้าที่ 130°C อุณหภูมิขาออกที่ 85°C อุณหภูมิที่ sticky point ที่ 44°C

(สโรบลและคณะ, 2007)การทดลองผลิตสับปะรดผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยจำเป็นต้องมีการเติมสารช่วยทำแห้งเนื่องจากน้ำสับปะรดมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาลและกรดสูง ทำให้ยากต่อการทำให้แห้ง เนื่องจากน้ำผลไม้ทั่วไปมี glass transition temperature , Tg ต่ำ ทำให้เกิดปัญหาการเกาะติดตามผนังเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและมีความสามารถในการดูดความชื้นกลับได้ดี (high hygroscopicity) การทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่อุณหภูมิสูงจึงเป็นไปได้ยากที่จะทำให้แห้งได้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้มอลโตเด็คทรีน (DE10) จากการศึกษาผลของปริมาณมอลโตเด็คทรีนและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อคุณภาพของสับปะรดผงที่ได้ พบว่าการลดอุณหภูมิและเพิ่มปริมาณมอลโตเด็คทรีนจะทำให้ %yields ที่ได้สูงขึ้น และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง อุณหภูมิลมร้อนที่สูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า hygroscopicity ค่าการกระจายตัว และค่าการละลายสูงขึ้น ส่วนมอลโตเด็คทรีนมีผลทำให้ค่า HG ค่าการละลายลดลง ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลของผลิตภัณฑ์ลดลง

48-54% เมื่อพิจารณาคุณภาพโดยรวม สภาวะอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ คือ อุณหภูมิ ลมร้อนเข้า 130-150°C, 37% MD

(Trinidad และคณะ,2010) ค่าดัชนีระดับน้ำตาล (GI) เป็นการแบ่งประเภทของอาหารโดยใช้ การตอบสนองของน้ำตาลกลูโคสในเลือดในความสัมพันธ์กับอาหารด้วยสารละลายกลูโคสมาตรฐาน และเป็นวิธีที่ถูกรับรองในการรักษาโรคเบาหวาน วัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการ เลือกรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตในประเทศฟิลิปปินส์ จากอาหาร 40 ชนิดแบ่งเป็น บิสกิต เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์จากข้าว เส้นบะหมี่ แบ่งจากราก แบ่งจากหัว ถั่วเปลือกแข็ง เมล็ดถั่ว ผลไม้ ผลไม้แห้ง ผัก น้ำตาล น้ำเชื่อม และเครื่องดื่มกลูโคสที่ใช้ในการศึกษา อาหารถูกให้กับคนที่มีสุขภาพดี การควบคุมและการทดสอบทำโดยการสุ่มหลังจากได้รับอาหารผ่านไปข้ามคืน การเก็บตัวอย่างเลือด และการวิเคราะห์ค่ากลูโคสนั้นทำในคลินิกเคมี พบว่า บิสกิต เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์จากข้าวนั้น เป็นอาหารที่มีค่าดัชนีระดับน้ำตาลสูง(>70) ยกเว้นบิสกิตที่เพิ่มใยอาหารและที่ให้พลังงานน้อย และบะหมี่ นั้นเป็นอาหารที่ให้ค่าดัชนีระดับน้ำตาลปานกลาง (56-69) และอาหารที่มีค่าดัชนีระดับน้ำตาลต่ำ (<55)ได้แก่ แบ่งจากหัวและราก ถั่วเปลือกแข็งและเมล็ดถั่ว ผัก และน้ำตาลที่ได้จากดอกมะพร้าว น้ำเชื่อม อาหารที่นำมาศึกษาค่าดัชนีระดับน้ำตาลแบ่งออกเป็นต่ำไปสูง ใยอาหาร คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนจากอาหารเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้อาหารมีค่าดัชนีระดับน้ำตาลที่ต่ำ โดยที่น้ำตาลมะพร้าวนั้น มีค่าดัชนีระดับน้ำตาลที่ 35 ± 4 ซึ่งถือเป็นการมีค่าดัชนีระดับน้ำตาลต่ำ

(วิสัย และคณะ,2006)การแสดงค่า Glass Transition Temperature (Tg) เป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำนายคุณภาพของอาหารในระหว่างกระบวนการผลิตหรือว่าการเก็บรักษา มอลโตเดกตริน DE 10 ที่ความเข้มข้น 0.9 1.8 และ 2.7จากเนื้อกล้วย ถูกเติมเข้าไปในเนื้อกล้วยนั้นจะทำให้เนื้อกล้วยมีค่า Tg เพิ่มขึ้น Differential scanning calorimetry (DSC) นั้นถูกใช้ในการหาค่า Tg ของเนื้อกล้วยด้วยฟังก์ชันของปริมาณน้ำที่มีอยู่ ปริมาณความชื้นสมดุลนั้นถูกวัดด้วยสารอิมิตัวที่แตกต่างกันไปเพื่อหาความน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นภายใต้อุณหภูมิ 35°C ค่า Tg ของเนื้อกล้วยลดลงเมื่อค่าปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มขึ้นของมอลโตเดกตริน ใช้แบบจำลองของ Gordon และ Taylor (GAB model) ในการทำนายค่า Tg ของเนื้อกล้วย และยังใช้ทำนายปริมาณน้ำในกล้วยอีกด้วย มันจะแสดงให้เห็นได้ว่าความเข้มข้นของมอลโตเดกตรินที่เพิ่มขึ้นในชั้นของน้ำในผิวกล้วย และค่า Tg ของของแข็งทั้งหมดในเนื้อกล้วย

บทที่ 3

อุปกรณ์ และการทดลอง

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยในการทำแห้งน้ำตาลมะพร้าวผง มีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว เริ่มต้น (30%, 40%, 50%), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (20%, 30%, 40%) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้ง (160°C, 180°C, 200°C) โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

3.1. วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

น้ำตาลมะพร้าวสด จากอำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม

3.2. อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย JCM Minilab SDE-10
2. Magnetic Stirrer, และ Magnetic Bar
3. เครื่องชั่ง
4. รีเฟรคโตมิเตอร์
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. ปีกเกอร์ 2 ลิตร
7. หม้อให้ความร้อน
8. ทัพพี

3.3. สารเคมี

1. สารเจือปนอาหารชนิด ช่วยการทำแห้ง
2. สารเจือปนอาหารชนิด ป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อน

3.4. การเตรียมอุปกรณ์

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วยห้องทำแห้ง (Drying Chamber) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูงและเป็นส่วนที่จะมีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลายที่ฉีดผ่านหัวฉีด (Atomizer, Nozzle) ทำหน้าที่ฉีดสารละลายให้เป็นละอองฝอยโดยเลือกใช้หัวฉีดแบบ Two Fluid Nozzle

1. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยก่อนเปิดเมนสวิตซ์
2. เตรียมวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวและสารเจือปนอาหารและควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 40°C
3. ปรับอุณหภูมิลมร้อนและอัตราการไหล รกระทั่งอุณหภูมิคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เริ่มต้นให้ทดลองด้วยการปั้มน้ำเปล่าเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่
5. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวที่เตรียมไว้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
6. ในขณะการทำแห้ง สังเกตการณ์ทำงานของบีมลมที่ส่งไปกระแทกผนังของห้องอบเป็นระยะ ต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของผลิตภัณฑ์ผงบริเวณผนังห้องอบแห้ง

3.5. วิธีการทดลอง

ในการทดลองมีตัวแปรที่ศึกษาคือ ความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

3.5.1. การเตรียมสารละลายก่อนการทำแห้ง

- เตรียมวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวสด 2 ลิตร
- เตรียมสารเจือปนอาหารชนิดช่วยการทำแห้ง ในอัตราส่วนต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว
- เตรียมสารเจือปนอาหารชนิดป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อน ในอัตราส่วนต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว
- ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายเริ่มต้นไว้ที่ 40 °C พร้อมทั้งวัดค่า pH และค่าความเข้มข้น

3.5.2. ขั้นตอนการทำแห้ง

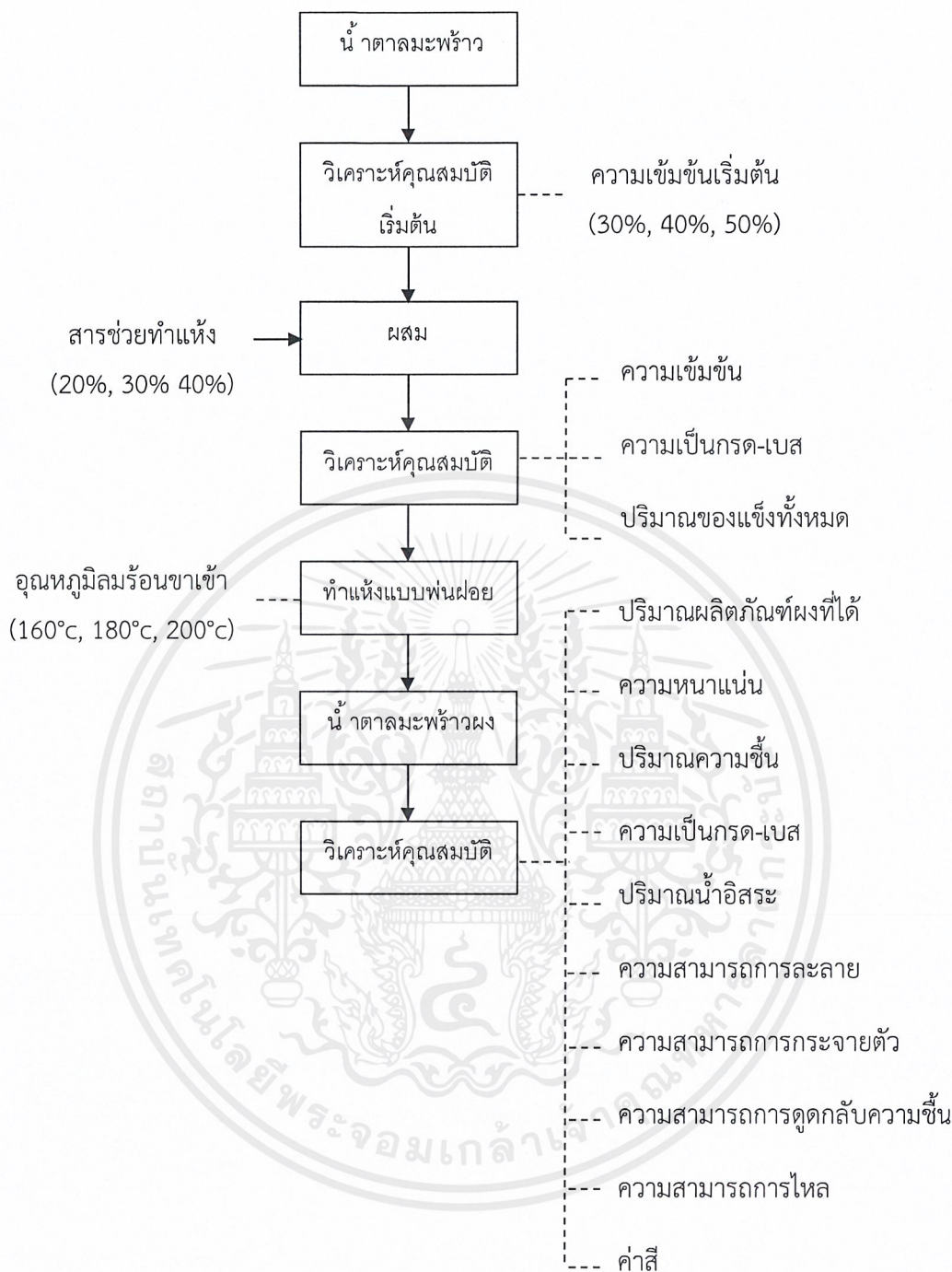
- เปิดเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
- เปิดบีมลมโดยปรับค่าความดันที่ป้อนวัตถุดิบที่ 0.2 MPa
- ปรับค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขที่กำหนด
- ปรับอัตราการป้อนวัตถุดิบ
- ทดลองด้วยการปั้มน้ำเปล่าเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
- เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกคงที่ ตามที่ปรับค่าไว้
- นำสารละลายที่เตรียมไว้ใส่ในถังป้อนวัตถุดิบ
- สังเกตอุณหภูมิขาเข้าและขาออกในขณะทำแห้งและควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในย่านที่ปรับค่าไว้โดยค่าปรับสวิทช์ฮีเตอร์
- เก็บผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ในบรรจุภัณฑ์ที่มิดชิด ป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ผงสัมผัสอากาศ ชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่อไป

ตารางที่ 3.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง

No.	อุปกรณ์		ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อน	ทางออก	80 °C
2	เครื่องดูดลม (Blower)	ความเร็ว	2800 Hz
3	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	การปรับค่าป้อน	54 min/ml
4	หัวฉีดวัตถุติด	ชนิด	Two-Fluid nozzle
		ทิศทางการทำแห้ง	Parallel
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 3 ชุด (1.5,3,3 kw) ควบคุมอัตโนมัติ 1 ตัว
6	ปั๊มลม	ความดันที่ป้อนวัตถุดิบ	0.2 MPa



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.1 ขั้นตอนการทดลองผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.6. การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง

3.6.1. ปริมาณความชื้น (Moisture Content, %)

เครื่องมือ

เครื่อง Moisture Analyzer (Mettler)

การวิเคราะห์

นำผลิตภัณฑ์ผง 3 กรัม ใส่เครื่อง Moisture Analyzer (Mettler) จากนั้นอ่านค่า 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.6.2. ค่าความหนาแน่น (Density, g/cm³)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน

การวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน
2. ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะแล้วปิดออก
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง
4. คำนวณเพื่อหาความหนาแน่น

จากสมการ

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

โดย m = มวลของตัวอย่าง (g)

V = ปริมาตรของภาชนะ (cm³)

3.6.3. ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)

เครื่องมือ

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

เป็นเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงมาหาความชื้นและนำมาคำนวณจากสมการ

$$\%yield = \frac{W_{CP}}{SS_{CF}} \times 100$$

โดย W_{cp} = ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ (g dry matter)

SS_{cf} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น (g dry matter)

3.6.4. ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Water Activity, a_w)

ใช้เครื่องวัดค่า a_w โดยอัตโนมัติยี่ห้อ AQUA LAB MODEL SERIES 3 TE อ่านค่า a_w โดยทำการหาค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.6.5. ความเป็นกรด – เบส (pH)

เครื่องมือ

- 1.pH Meter
- 2.บีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร
- 3.น้ำกลั่น

การวิเคราะห์

- 1.ชั่งผงตัวอย่าง 5 กรัม
- 2.เติมน้ำกลั่น 25 มล. ที่อุณหภูมิ 20°C
- 3.วัดค่า pH ของสารละลาย 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.6.6. คุณสมบัติการละลาย (Solubility, sec)

เครื่องมือ

- 1.Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar
- 2.บีกเกอร์ 1 ลิตร
3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน 3 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 150 มล. ที่อุณหภูมิ 60°C กวนผสมด้วยแมกเนติกสเตอร์เลอร์ ที่ความเร็วคงที่ จับเวลาในการละลายอย่างสมบูรณ์

Solubility = เวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างจนสมบูรณ์

3.6.7. คุณสมบัติการกระจาย (Dispersibility)

เครื่องมือ

- 1.ตะแกรงขนาด 200 ไมครอน
- 2.บีกเกอร์ 500 มล.
- 3.แท่งแก้ว
- 4.เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 5.นาฬิกาจับเวลา
- 6.เทอร์โมมิเตอร์
- 7.ตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ

การวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างผง 15 กรัม เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 50°C คนกลับไปกลับมา 15 วินาที แล้วเทตัวอย่างลงบนตะแกรง แล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ ชั่งน้ำหนัก จนไม่เปลี่ยนแปลงเกิน 0.5%

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

- โดย
- w = น้ำหนักของน้ำ (g)
 - a = ผงที่ใช้ทั้งหมด (g)
 - S_p = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)
 - S_j = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดที่ค้างบน sieve (%)

3.6.8. คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

เครื่องมือ

1. ภาชนะปิดสนิท
2. อลูมิเนียมฟอยด์
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

นำผลิตภัณฑ์ผง 3 กรัม ใส่ขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว (NaCl) ที่ไว้จนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงออกมาชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณจากสมการ

$$hygroscopicity = \frac{(b/a) - W_i}{1 + (b/a)}$$

- โดย
- b = น้ำหนักของผงที่เพิ่มขึ้น (g)
 - a = น้ำหนักของผงก่อนนำไปวัด (g)
 - W_i = ปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด (% wb)

3.6.9. คุณสมบัติการไหล (Flowability)

เครื่องมือ

1. แผ่นอะคลีลิก
2. เครื่องวัดมุม
3. เชือก

การวิเคราะห์

นำตัวอย่างปริมาณเท่ากัน วางที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ จากนั้นดึงเชือกขึ้น และอ่านค่ามุมเมื่อผลิตภัณฑ์ผงเริ่มมีการไหล

$$Flowability = \text{ค่ามุมที่ครีมเทียมผลเริ่มมีการไหลลงจากพื้นเอียง}$$

3.6.10. ค่าสี (Color)

เครื่องมือ

เครื่อง Colorimeter (Tri – Stimulus Colori – meter)

การวิเคราะห์

ทำการวัดค่าสีจากเครื่องมือ 3 ครั้งแล้วนำมาเฉลี่ยค่า L^* a^* b^* แล้วนำไปวิเคราะห์จากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

โดย L^* คือความสว่าง

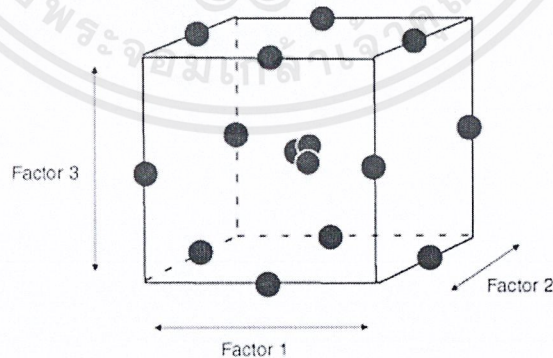
a^* คือค่าแทนสีแดง – เขียว

b^* คือค่าแทนสีเหลือง – น้ำเงิน

3.7. การวางแผนและการวิเคราะห์การทดลอง

3.7.1. การออกแบบการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน (Box – Behnken Design) เป็นการออกแบบรูปทรงลูกบาศก์จตุรัสอิสระ เป็นการทำงานรวมกันที่เป้าหมายเป็นจุดกึ่งกลางของขอบเขตพื้นที่ว่างกระบวนการ และเป็นศูนย์กลางจำเป็นต้องมีปัจจัยอย่างน้อย 3 ปัจจัยซึ่งมีประโยชน์เมื่อผู้ทดลองหลีกเลี่ยงการทำงานร่วมกับตัวแปรที่ห่างกัน คุณสมบัตินี้ทำให้ข้อเสียลดลง สมรรถภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนไม่เป็น Sequential experiment หมายความว่า ถ้าทำ DOE แล้วพบว่า Curvature ต้องเริ่มออกแบบการทดลองใหม่



รูปที่ 3.1 : Box – Behnken Design

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรที่จะศึกษา

ตัวแปรอิสระ (Variable)	สัญลักษณ์	ระดับ		
		-1	0	1
ความเข้มข้นน้ำตาลมะพร้าวเริ่มต้น (°Brix)	X_1	30	40	50
ปริมาณสารเจือปนอาหาร(%)	X_2	20	30	40
อุณหภูมิผสมร้อนชาเข้า(°c)	X_3	160	180	200

จากตารางที่ เป็นการศึกษาศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ ความเข้มข้นของวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวเริ่มต้น ที่ 30°Brix, 40°Brix และ 50°Brix อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดใน วัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว ที่ 20%, 30% และ 40% และอุณหภูมิผสมร้อนชาเข้าที่ใช้ในการทำแห้งที่ 160°c, 180°c และ 200°c

3.7.2. การทำแห้งแบบพ่นฝอย

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย JCM Minilab SDE – 10 ออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ – เบห์เคน (Box – Behnken Design) ประกอบด้วย 3 ตัวแปร แบ่งระดับตัวแปรเป็น 3 ระดับ ที่สภาวะต่างกัน ซึ่งจะทำให้การทดลองทั้งหมด 15 การทดลองดังตารางที่ 3.3

หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นทั้ง 15 การทดลอง จะนำผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่อไป

ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การทดลอง	ค่าระดับตัวแปร		
	ความเข้มข้นเริ่มต้น (°Brix)	อัตราส่วนของสารเจือปนอาหาร (%)	อุณหภูมิผสมร้อนขาเข้า (°C)
1	30	20	180
2	30	30	160
3	30	30	200
4	30	40	180
5	40	20	160
6	40	20	200
7	40	30	180
8	40	30	180
9	40	30	180
10	40	40	160
11	40	40	200
12	50	20	180
13	50	30	160
14	50	30	200
15	50	40	180

3.7.3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบของสมการการทดลองที่ประกอบด้วยจำนวนปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Analysis) และอาศัยสมการโพลีโนเมียลอันดับสอง (second-order polynomial) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และ อุณหภูมิผสมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) และคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ผง ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture Content, %wb), ความหนาแน่น (Bulk Density, g/cm^3), ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield), ค่าแอกติวิตี (Water Activity, a_w), ความเป็นกรด - เบส (pH), คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopic), คุณสมบัติการละลาย (Solubility), คุณสมบัติการกระจาย (Dispersibility), คุณสมบัติการไหล (Flowability) และค่าสี (Color)

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3$$

เมื่อ a_0 = ค่าคงที่
 a_i = เป็นผลเชิงเส้นตรง (Linear effect) ของ X_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- a_{ii} = เป็นผลเชิงเส้นโค้ง (Quadratic effect) ของ X_i
 a_{ij} = เป็นผลของปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction effect) ของ X_i และ X_j

ซึ่งจะนำทางสู่การค้นพบการตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด การตอบสนองที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้ใน 2 ลักษณะคือการตอบสนองที่มากที่สุด (Maximum) หรือการตอบสนองที่ต่ำที่สุด (Minimum) ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1. ผลการทดลองเบื้องต้น

ในกระบวนการการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำตาลมะพร้าว มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องเช่น ความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งเป็นต้น ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และคุณสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์วัตถุดิบเบื้องต้นของสารละลายน้ำตาลมะพร้าวก่อนการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ

Experiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	Conc. (°Brix)	pH	Color			TS (%w/w)
						L*	a*	b*	
1	30	20	180	35	5.16	41.62	4.87	22.13	34.35
2	30	30	160	35	5.13	41.65	4.6	21.58	36.51
3	30	30	200	35	5.13	41.38	4.55	21.36	36.38
4	30	40	180	37	5.15	41.02	4.32	21.39	38.59
5	40	20	160	49	5.13	45.28	4.65	26.47	50.73
6	40	20	200	49	5.14	45.34	4.73	26.85	51.33
7	40	30	180	46	5.14	45.32	5.59	26.48	49.30
8	40	30	180	46	5.15	45.38	5.59	26.55	48.46
9	40	30	180	47	5.14	45.24	5.67	26.83	49.30
10	40	40	180	48	5.12	45.26	5.73	28.46	51.49
11	40	40	200	48	5.12	45.36	5.62	28.34	50.93
12	50	20	180	59	5.06	48.75	6.70	33.86	61.88
13	50	30	160	60	5.08	48.66	5.54	33.04	63.56
14	50	30	200	61	5.08	48.79	5.68	33.24	64.46
15	50	40	180	68	5.08	50.42	5.78	33.86	70.33

4.2. การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอย เริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายน้ำตาลมะพร้าว ตามตารางการทดลองและควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง

No.	อุปกรณ์	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิความร้อน	ทางออก 80 °C
2	เครื่องดูดลม (Blower)	ความเร็ว 2800 Hz
3	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	การปรับค่าป้อน 54 ml/min
4	หัวฉีดวัตถุดิบ	ชนิด Two-Fluid nozzle ทิศทางกาทำแห้ง Parallel
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด ใช้ 3 ชุด (1.5,3,3 kw) ควบคุมอัตโนมัติ 1 ตัว
6	ปั๊มลม	ความดันที่ป้อนวัตถุดิบ 0.3 MPa

4.3. ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง

จากการดำเนินการทดลองการทำแห้งครบทุกสภาวะแล้ว เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ที่ผลิตกันชนน้ำตาลมะพร้าวด้วยการทำแห้งแบบฟุ้งฝอยที่สภาวะต่างๆ

Exp. No.	Concentration	Additive	Inlet Temp	Yield	Density	Moisture Content	pH	a_w	Solubility	Dispersibility	Hygroscopicity	Flowability
1	30	20	180	47.82	0.35	1.73	5.16	0.26	17.33	58.99	1.66	46.00
2	30	30	160	30.82	0.39	1.53	5.13	0.22	21.33	58.96	1.48	46.33
3	30	30	200	46.75	0.43	1.69	5.13	0.25	21.67	58.87	1.64	45.00
4	30	40	180	53.60	0.41	1.95	5.15	0.23	24.33	58.76	1.84	47.33
5	40	20	160	59.05	0.55	1.18	5.13	0.24	26.00	59.69	1.11	37.00
6	40	20	200	47.54	0.57	0.98	5.14	0.28	26.67	59.14	0.96	38.00
7	40	30	180	68.61	0.49	1.01	5.14	0.26	27.67	58.92	1.05	36.00
8	40	30	180	67.44	0.50	1.06	5.15	0.29	27.00	59.26	1.03	35.00
9	40	30	180	61.20	0.51	1.16	5.14	0.27	27.33	59.15	1.11	37.00
10	40	40	180	56.59	0.47	1.18	5.12	0.22	29.33	59.39	1.21	34.67
11	40	40	200	65.79	0.51	1.22	5.12	0.27	28.33	59.73	1.18	36.33
12	50	20	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	50	30	160	76.43	0.52	0.94	5.08	0.21	31.33	59.96	0.96	31.33
14	50	30	200	6.31	0.46	1.10	5.08	0.21	36.33	65.99	1.04	33.00
15	50	40	180	43.84	0.51	0.88	5.08	0.21	32.67	61.09	0.93	32.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. ผลการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่สภาวะต่างๆ

เมื่อทำการนำผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ มาวิเคราะห์ผล หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆ ที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย ปริมาณของผลผลิตผงที่ได้ (% Yield), ความหนาแน่น (Bulk Density, g/cm³), ปริมาณความชื้น (Moisture Content, %wb), ความเป็นกรด – เบส (pH), ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Water Activity, a_w), คุณสมบัติการละลาย (Solubility), คุณสมบัติการกระจาย (Dispersibility), คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity), คุณสมบัติการไหล (Flowability) และค่าสี (Color) โดยมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง ดังนี้

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3$$

เมื่อ	a ₀	=	จุดตัด (Intercept) หรือ Gran mean
	a _i	=	เป็นผลเชิงเส้นตรง (Linear effect) ของ X _i
	a _{ii}	=	เป็นผลเชิงเส้นโค้ง (Quadratic effect) ของ X _i
	a _{ij}	=	เป็นผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction effect) ของ X _i และ X _j

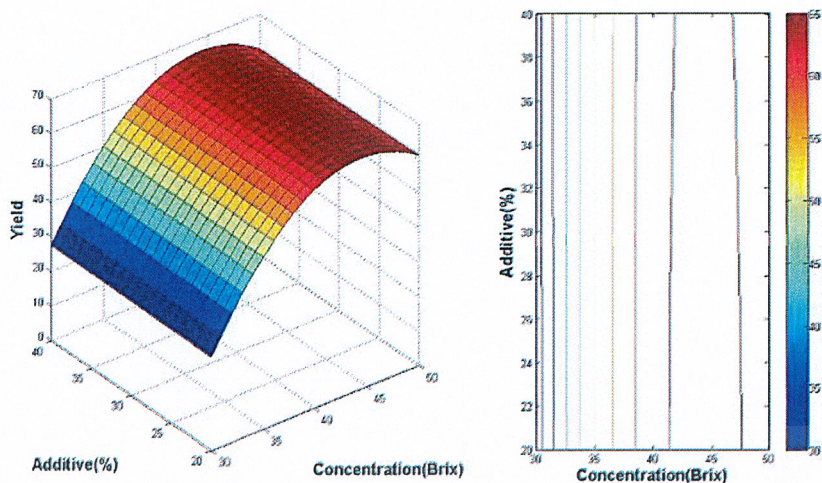
4.4.1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield)

ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 6.31% - 68.61% เมื่ออัตราส่วนของสารเจือปนอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

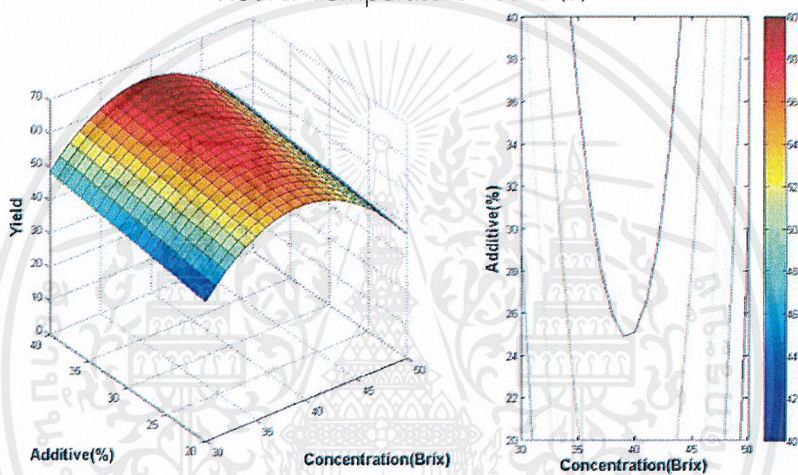
$$\begin{aligned} \% \text{ Yield} = & -1269.94 + 32.38042X_1 - 2.29502X_2 + 8.368156X_3 - 0.18993X_1^2 - \\ & 0.00097X_2^2 - 0.01481X_3^2 - 0.00403X_1X_2 - 0.09682X_1X_3 + 0.15613X_2X_3 \\ R^2 = & 0.899271, \text{ S.E.} = 9.739076, p < 0.09872 \end{aligned}$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

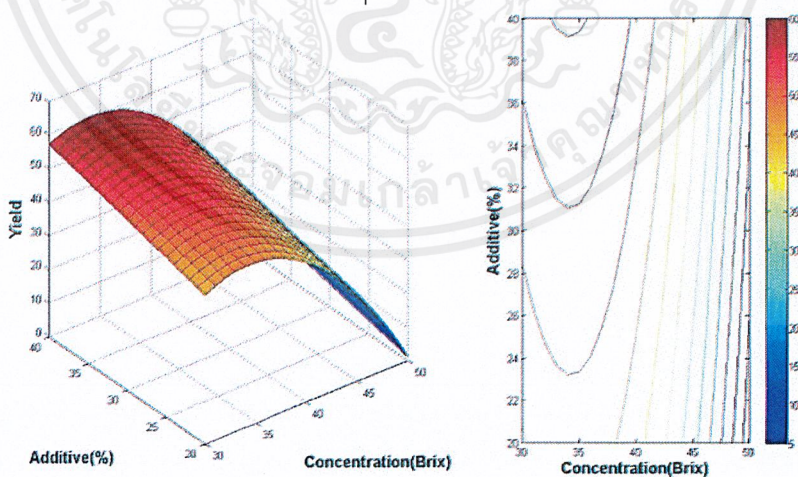
รูปที่ 4.1 (a), (b) และ (c) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือปนอาหารมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มากขึ้น เนื่องจากสารเจือปนอาหารเป็นสารช่วยทำแห้งซึ่งช่วยทำให้ค่าอุณหภูมิ Glass Transition (T_g) ของน้ำตาลมะพร้าวสูงขึ้น ช่วยลดการเกาะติดภายในห้องอบแห้ง ในขณะที่เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบในสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิความร้อนต่ำ ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลผงที่ได้เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกลับทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิความร้อนที่สูงทำให้อุณหภูมิอาหารเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิ Glass Transition (T_g) ส่งผลให้เกิดการเกาะติดตามผนังเครื่องอบแห้งมากขึ้น (Bhandari และคณะ, 1997)



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.1 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้ที่อุณหภูมิหม้อน้ำร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2. ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น (Density)

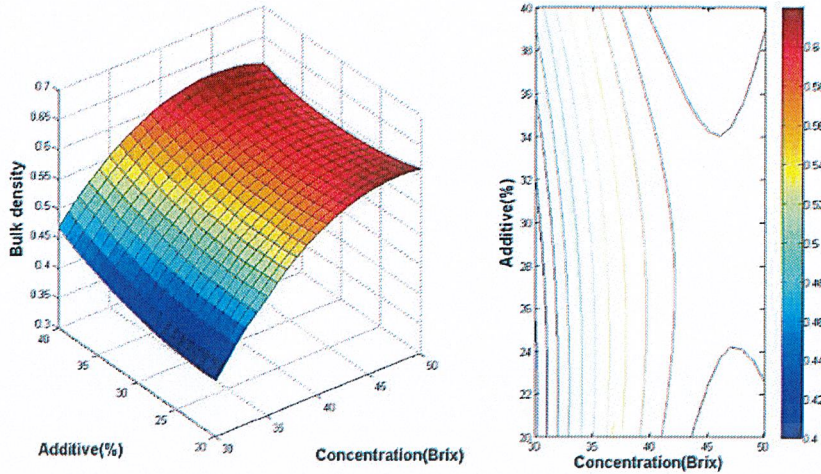
ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 0.353 – 0.576 g/ml เมื่อระดับความเข้มข้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความหนาแน่นสูงขึ้น โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความหนาแน่น (Density, g/cm³) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Bulk Density} = 0.393675 + 0.089975X_1 + 0.013554X_2 - 0.02187X_3 - 0.00068X_1^2 + 0.000202X_2^2 + 8.3E-05X_3^2 - 0.0002X_1X_2 - 0.00013X_1X_3 - 0.0001X_2X_3$$

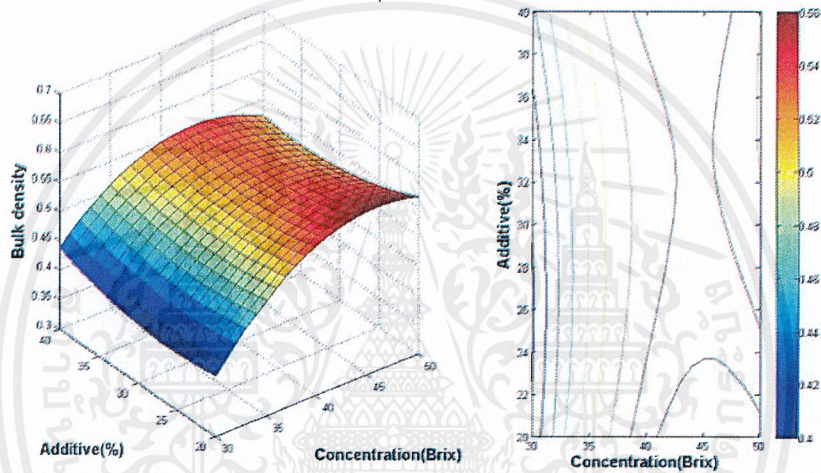
$$R^2 = 0.90296, \text{ S.E.} = 0.034885, p < 0.092454$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

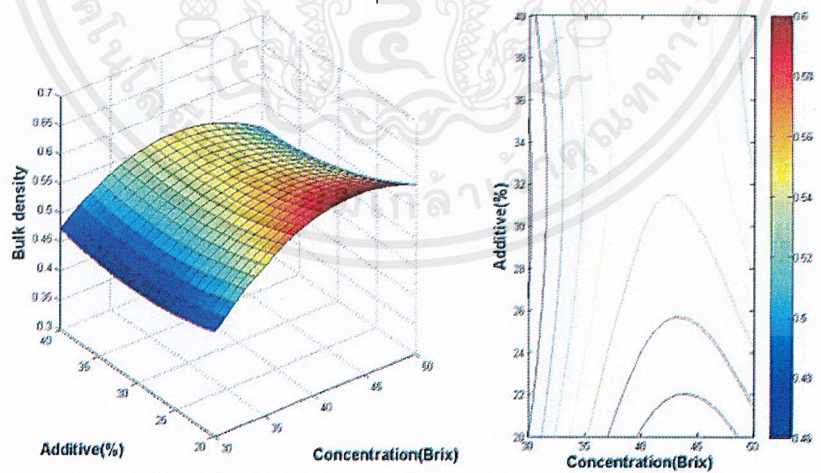
จากรูป 4.2 (a), (b) และ (c) พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนสารเจือปนอาหารและอุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้งไม่มีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงอย่างมีนัยสำคัญ



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.2 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

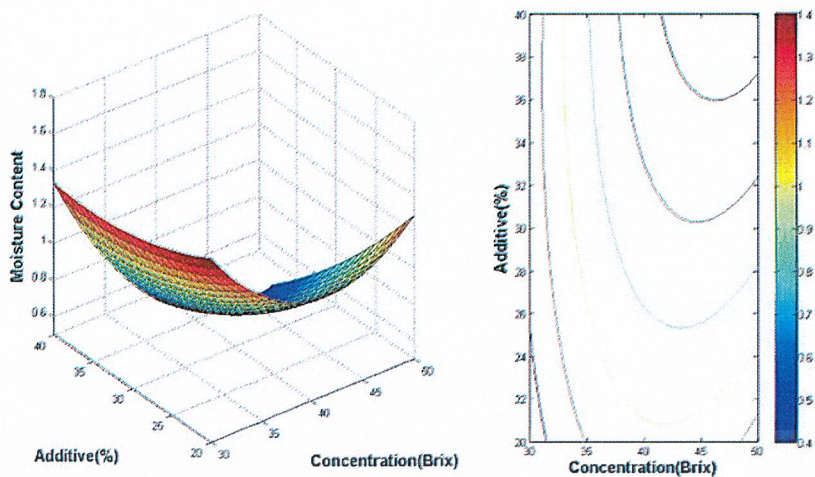
4.4.3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 0.88% - 1.95% เมื่อระดับความเข้มข้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงลดลง โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content, %wb) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

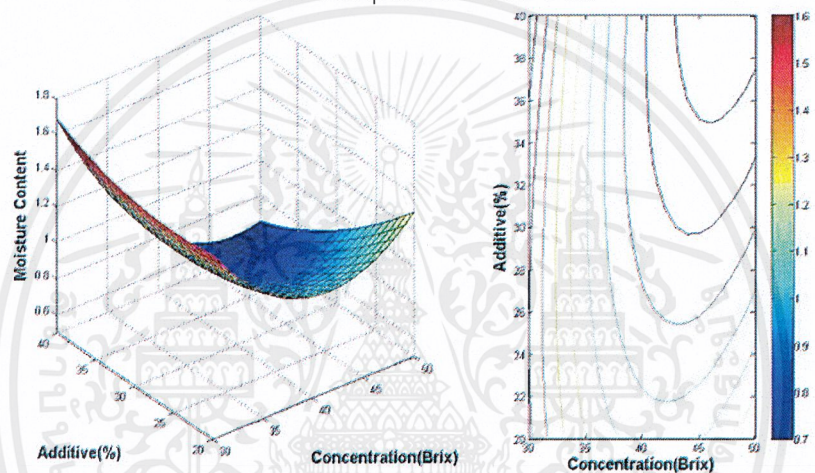
$$\begin{aligned} \text{Moisture Content} = & -0.46217 - 0.25083X_1 - 0.13147X_2 + 0.099017X_3 + \\ & 0.003508X_1^2 + 0.00078X_2^2 - 0.00034X_3^2 - 0.00204X_1X_2 + \\ & 3.03E-18X_1X_3 + 0.000887X_2X_3 \\ R^2 = & 0.982217, S.E. = 0.079801, p < 0.003754 \end{aligned}$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

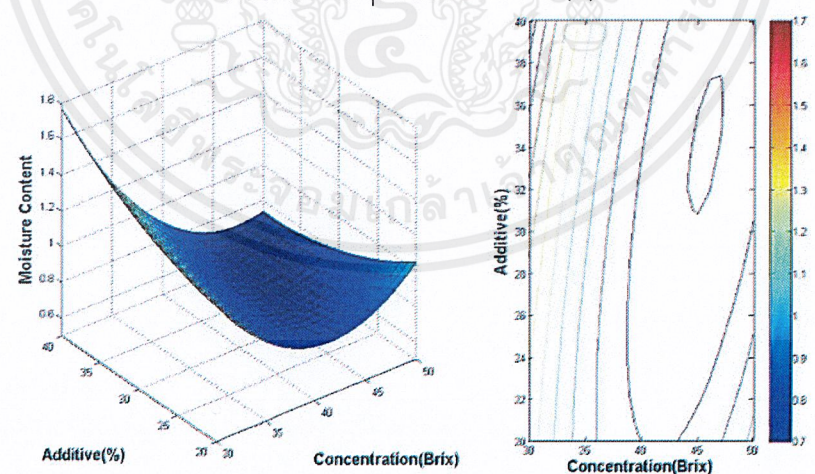
จากรูป 4.3 (a), (b) และ (c) พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของวัตถุดิบ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่ได้มีความชื้นลดลง ในขณะที่ การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารเจือปนอาหารในช่วงที่วัตถุดิบมีความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำกว่า 40% ไม่ส่งผลต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง แต่เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบสูงกว่า 40% จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความชื้นลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของวัตถุดิบเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลาย ช่วยให้มีปริมาณน้ำที่เหลือมีค่าลดลง (Siew et al., 2007) ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อนในช่วง 160°C - 200°C ไม่ส่งผลกระทบต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมากนัก



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.3 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

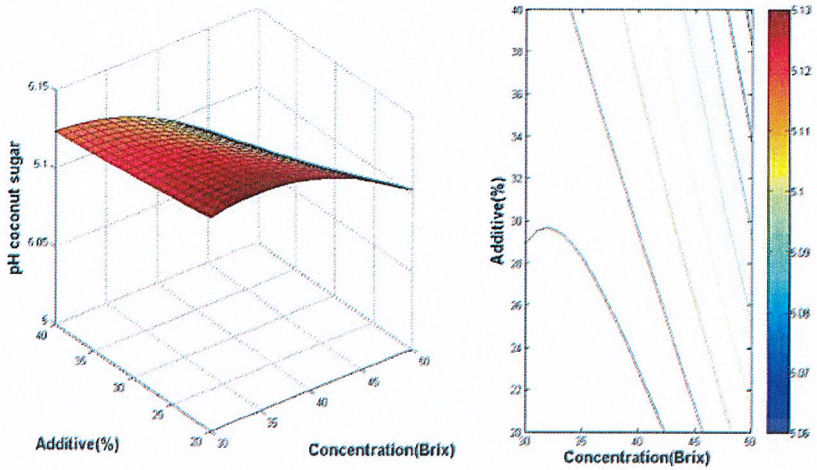
4.4.4. ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด – เบส (pH)

ความเป็นกรด – เบสที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 5.08 – 5.16 โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความเป็นกรด – เบส (pH) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

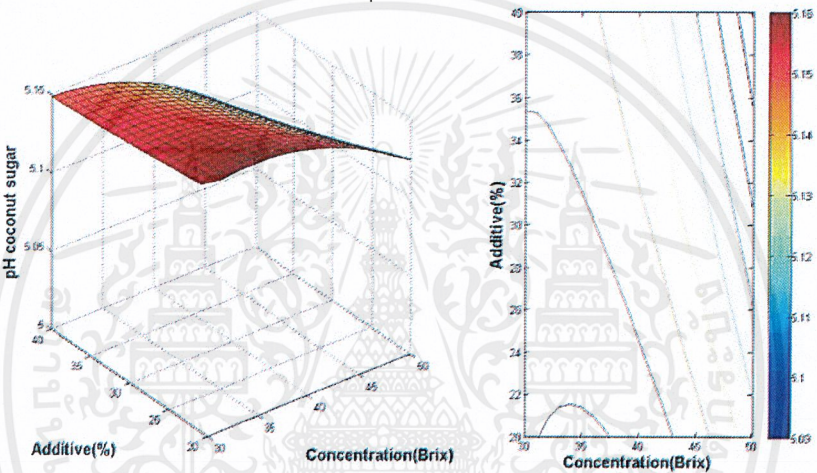
$$\begin{aligned} \text{pH} &= 3.324698 + 0.012301X_1 + 0.000217X_2 + 0.01806X_3 - 0.000155X_1^2 + \\ &7.83E-06X_2^2 - 5.03E-05X_3^2 - 8.19E-05X_1X_2 - 1.3E-19X_1X_3 + 6.92E-06X_2X_3 \\ R^2 &= 0.970233, \text{ S.E.} = 0.008341, p < 0.010224 \end{aligned}$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

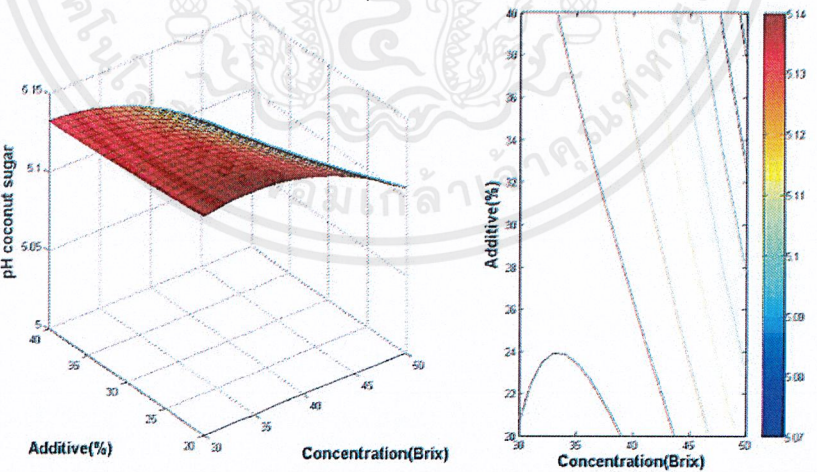
รูปที่ 4.5 (a), (b) และ (c) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปัจจัยการทดลอง ไม่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นกรด-เบสของสารละลายวัตถุดิบก่อนทำการผลิตโดยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.4 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและความเป็นกรด - เบส ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5. ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ผง (Water Activity)

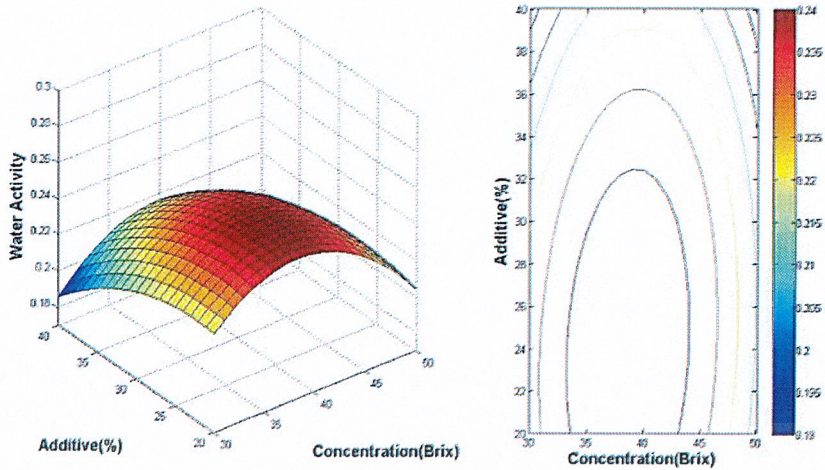
ค่าปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 0.212 – 0.295 โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (Water Activity, a_w) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Water Activity} = -1.2349 + 0.030004X_1 + 0.001617X_2 + 0.009614X_3 - 0.00032X_1^2 - 0.00013X_2^2 - 2.3E-05X_3^2 + 4.76E-05X_1X_2 - 4E-05X_1X_3 + 1.74E-05X_2X_3$$

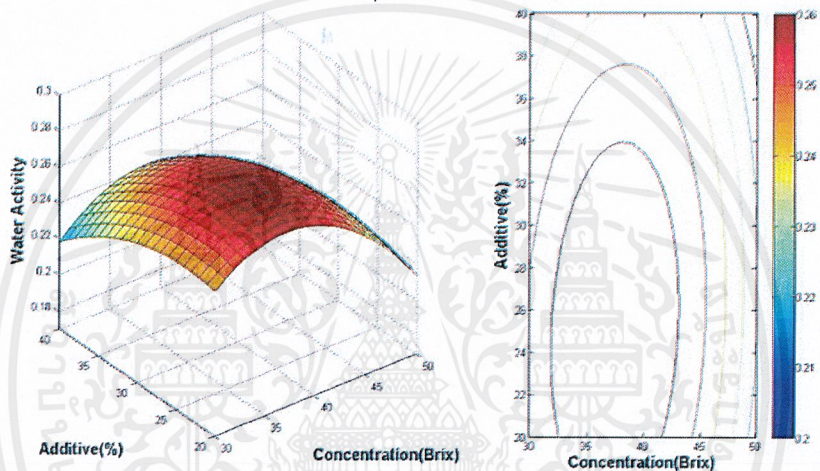
$$R^2 = 0.79443, \text{ S.E.} = 0.022727, p < 0.316567$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

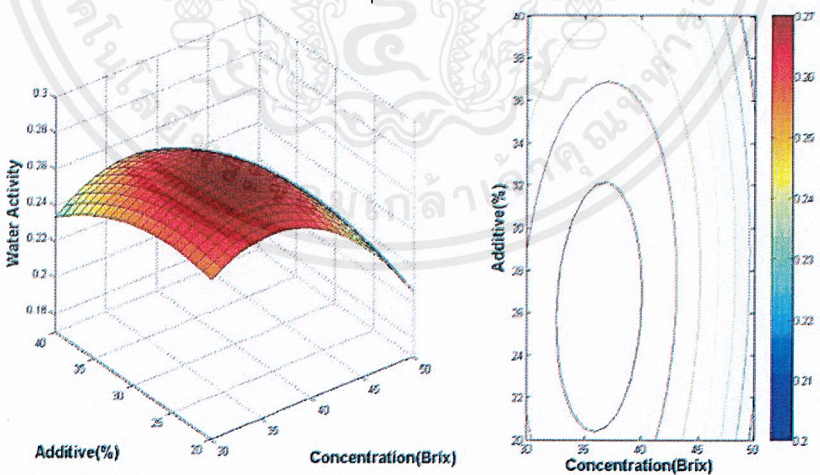
รูปที่ 4.5 (a), (b) และ (c) พบว่าการเพิ่มระดับปัจจัยการทดลองทั้ง 3 ปัจจัย คือความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหาร และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง ให้มีระดับที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ผงมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.5 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและปริมาณน้ำอิสระที่อุณหภูมิร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการละลาย (Solubility)

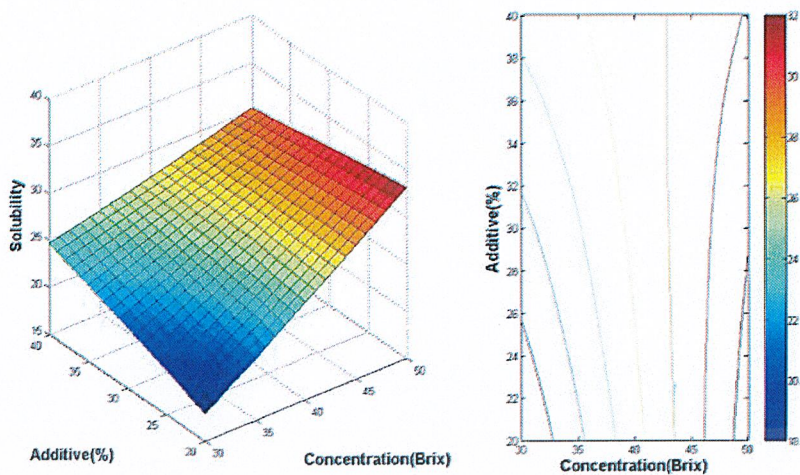
คุณสมบัติการละลายที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 17.33 – 36.33 วินาที การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและปริมาณสารเจือปนอาหารมีผลให้ความสามารถในการละลายลดลงโดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างคุณสมบัติการละลาย (Solubility) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Solubility} = - 3.06426 + 0.14759X_1 + 1.06071X_2 - 0.07326X_3 + 0.001954X_1^2 - 0.00177X_2^2 - 0.00037X_3^2 - 0.02392X_1X_2 + 0.005833X_1X_3 + 0.000589X_2X_3$$

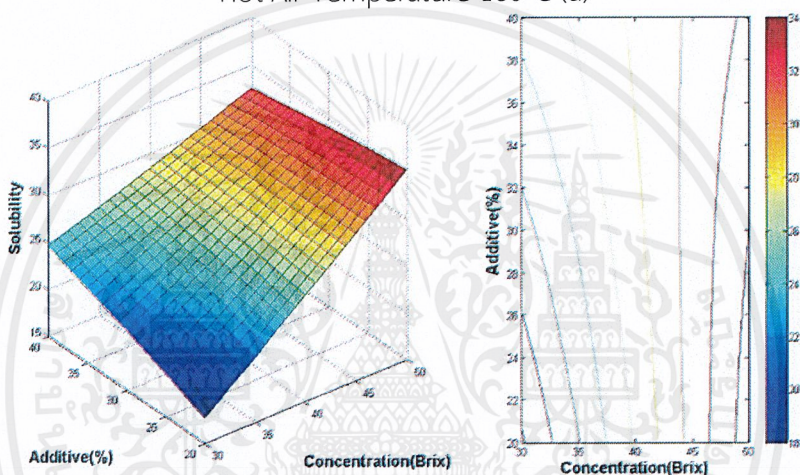
$$R^2 = 0.987824, S.E. = 0.966242, p < 0.001769$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

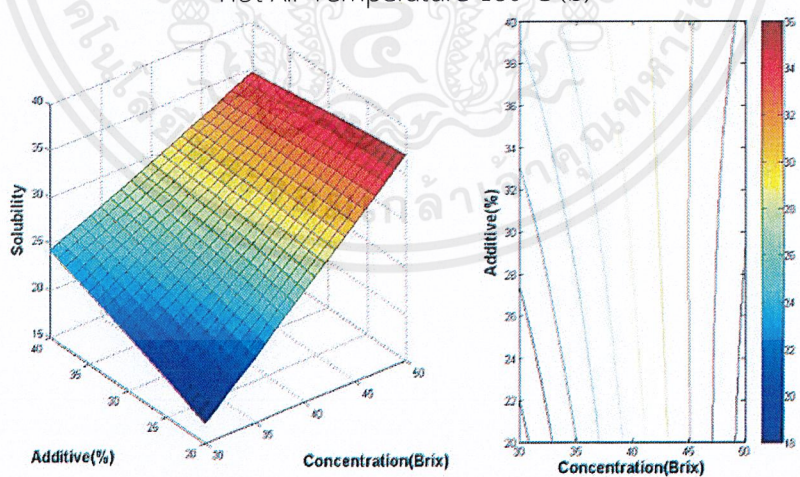
รูปที่ 4.6 (a), (b) และ (c) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของวัตถุดิบและปริมาณสารเจือปนอาหารมีผลให้ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ส่วนอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในช่วง 160–200 °C ไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงอย่างมีนัยสำคัญ สภาวะที่ให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมีความสามารถละลายดีที่สุดอยู่ที่ สภาวะการใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ระดับ 30% และปริมาณสารเจือปน 20% ความสามารถในการละลายมีค่าประมาณ 20 วินาที



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.6 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและคุณสมบัติการละลายที่อุณหภูมิร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

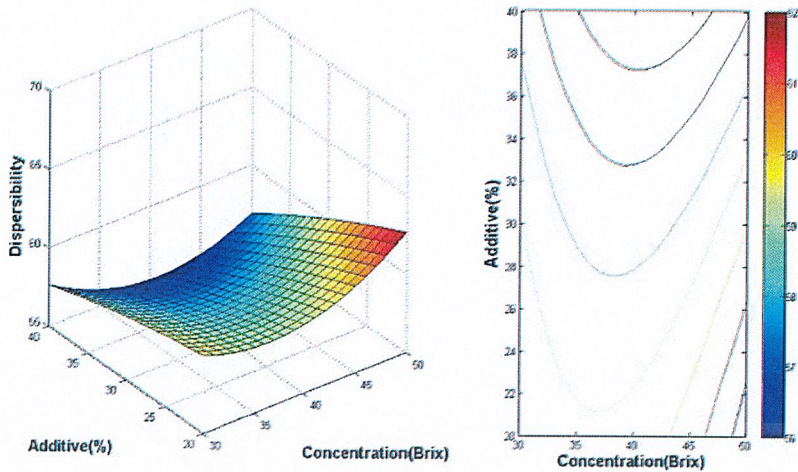
4.4.7. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการกระจายตัว (Dispersibility)

คุณสมบัติการกระจายตัวที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 58.76 – 65.99 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมีค่าลดลง โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างคุณสมบัติการกระจายตัว (Dispersibility) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

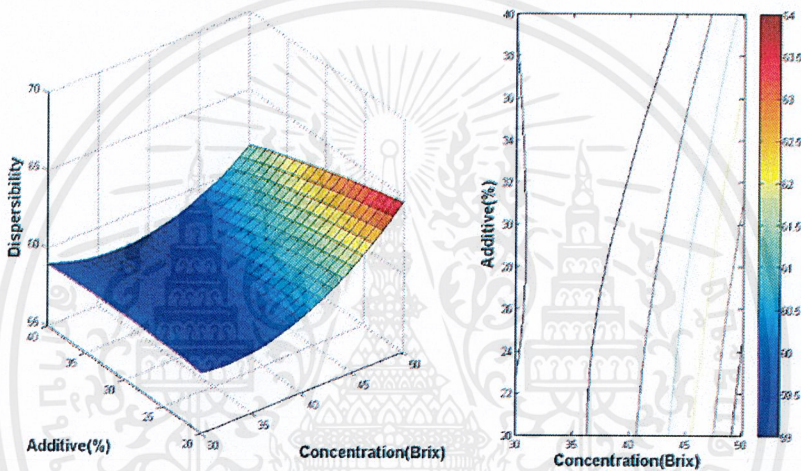
$$\begin{aligned} \text{Dispersibility} &= 114.0737 - 2.4852X_1 - 0.7109X_2 - 0.03007X_3 + 0.019539X_1^2 - \\ &0.00226X_2^2 - 0.00111X_3^2 - 0.00839X_1X_2 + 0.007643X_1X_3 + \\ &0.006123X_2X_3 \\ R^2 &= 0.947282, S.E. = 0.773159, p < 0.030367 \end{aligned}$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

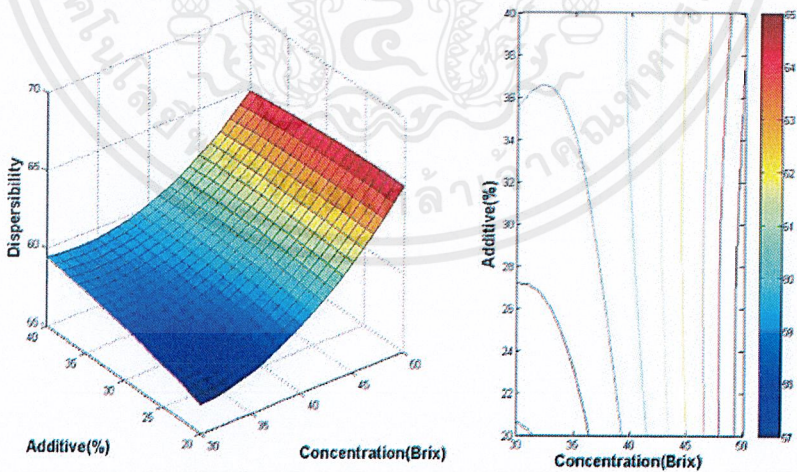
รูปที่ 4.7 (a), (b) และ (c) พบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ มีผลให้คุณสมบัติการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับของปริมาณสารเจือปนอาหารและอุณหภูมิความร้อน ไม่ส่งผลต่อค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมากนัก สำหรับค่าการกระจายตัวที่วิเคราะห์เป็นการคำนวณค่าปริมาณของแข็งที่เหลือค้างจากการละลาย ดังนั้นค่าความสามารถในการกระจายตัวที่มีค่าสูง แสดงถึงสารเหลือค้างสูง ความสามารถในการกระจายตัวจึงมีค่าต่ำ คุณสมบัติการกระจายตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง ไม่สัมพันธ์กับค่าการกระจายของอาหารผงทั่วไป ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าการกระจายตัวของอาหารผงทั่วไปคือ 67.05 – 99.98 (Jaya และ Das, 2004) เนื่องจากในน้ำตาลมะพร้าวมีส่วนประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ดี จึงไม่มีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำที่ค้างบน sieve มากนัก



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.7 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและคุณสมบัติการกระจายตัวที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

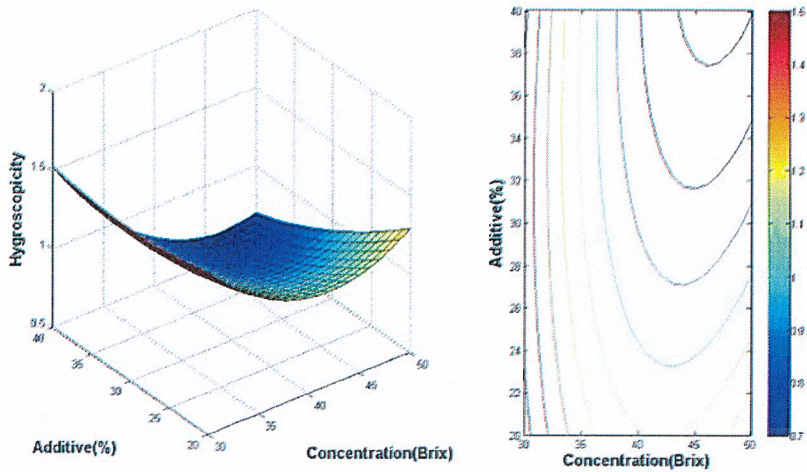
4.4.8. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

คุณสมบัติการดูดซับความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.93 – 1.84 เมื่อความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมีค่าลดลง โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างคุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

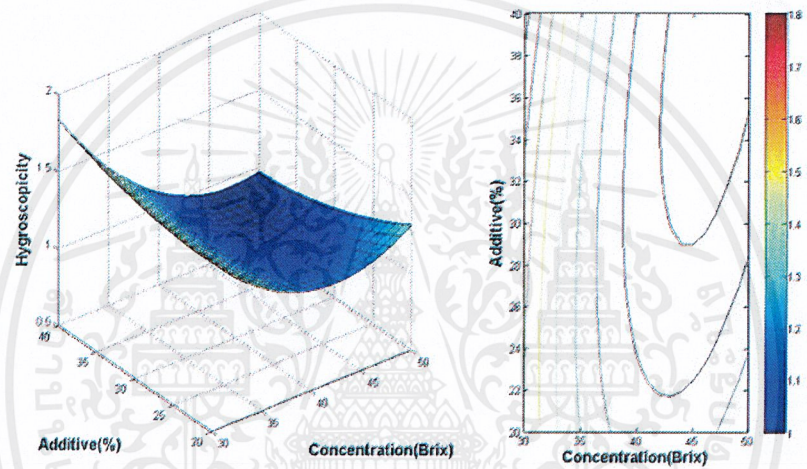
$$\begin{aligned} \text{Hygroscopicity} = & - 1.11117 - 0.2131X_1 - 0.09681X_2 + 0.092002X_3 + 0.003066X_1^2 + \\ & 0.000643X_2^2 - 0.00029X_3^2 - 0.00144X_1X_2 - 0.0001X_1X_3 + \\ & 0.000629X_2X_3 \\ R^2 = & 0.98381, \text{ S.E.} = 0.068507, p < 0.003123 \end{aligned}$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

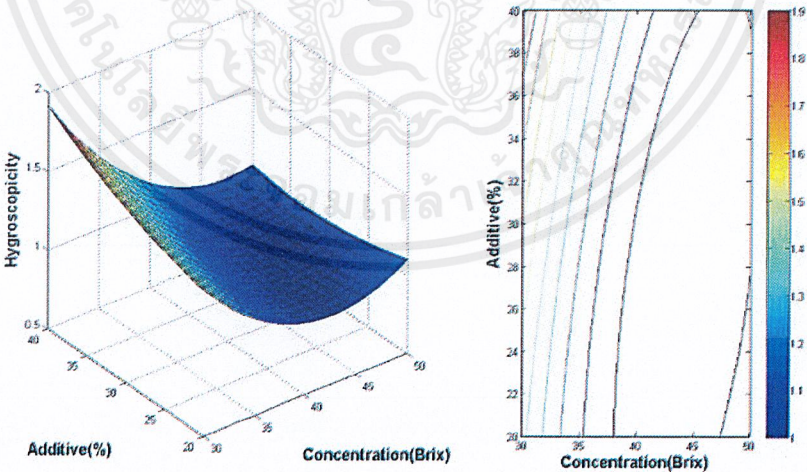
รูปที่ 4.7 (a), (b) และ (c) พบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ ทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมีค่าลดลง ขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อน ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำลง จึงสามารถดูดซับความชื้นได้ง่ายขึ้น ส่วนระดับอัตราส่วนสารเจือปนอาหารไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.8 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและคุณสมบัติการดูดซับความชื้นที่อุณหภูมิลมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

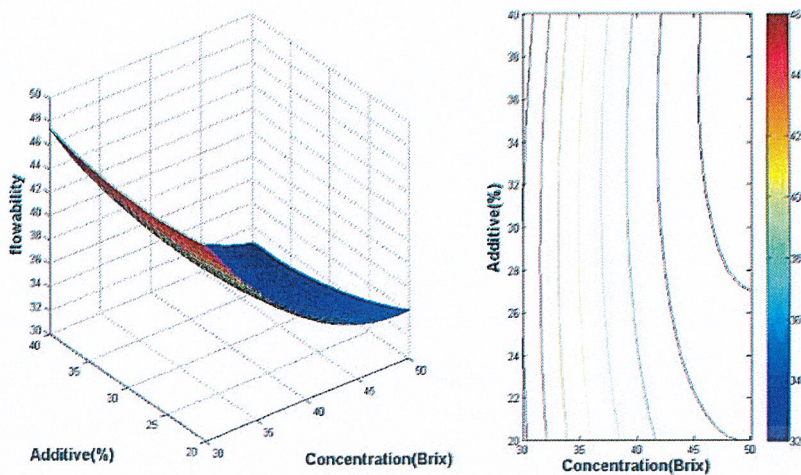
4.4.9. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการไหล (Flowability)

คุณสมบัติการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง $31.33^\circ - 47.33^\circ$ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างคุณสมบัติการไหล (Flowability) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

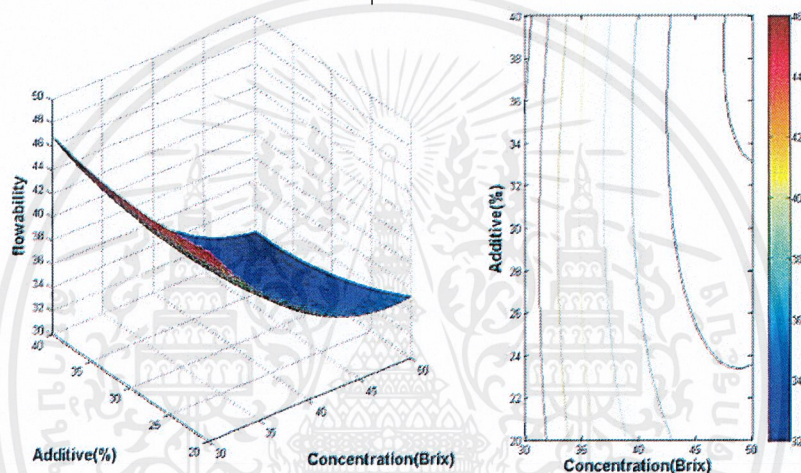
$$\begin{aligned} \text{Flowability} = & 1128.3247 - 3.71895X_1 - 0.1017X_2 - 0.0384X_3 + 0.033853X_1^2 + \\ & 0.009099X_2^2 - 0.00024X_3^2 - 0.01077X_1X_2 + 0.00375X_1X_3 - \\ & 0.00048X_2X_3 \\ R^2 = & 0.987603, \text{ S.E.} = 1.112268, p < 0.001848 \end{aligned}$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

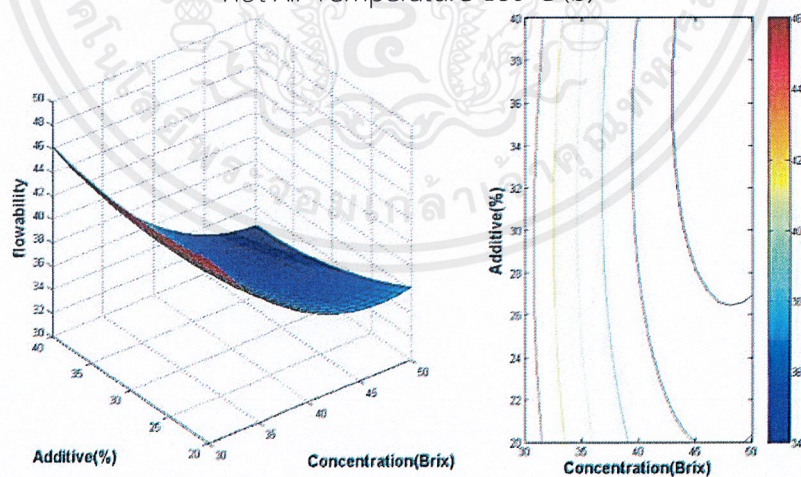
จากรูปที่ 4.9 (a), (b) และ (c) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณสารเจือปนอาหารและอุณหภูมิความร้อนไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์มากนัก ที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 30%, อัตราส่วนสารเจือปนอาหาร 40% และอุณหภูมิความร้อน 180°C นั้น ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงไหลยากที่สุด เนื่องจากการวิเคราะห์ค่ามุมเอียงที่วัดจากความชันของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงเริ่มเกิดการไหลบนแผ่นอะคริลิกมีค่าสูงสุด ความสามารถในการไหลจึงมีค่าต่ำสุด



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.9 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.10. ผลการวิเคราะห์ค่าสี (Color)

ตารางที่ 4.4 ค่าการวัดสี

Experiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	Color			
				L*	a*	b*	ΔE
1	30	20	180	76.01	5.5	19.07	34.53
2	30	30	160	72.78	3.49	9.01	33.59
3	30	30	200	84.88	5.15	21.82	43.51
4	30	40	180	84.52	3.39	8.5	45.38
5	40	20	160	83.38	5.32	17.51	39.14
6	40	20	200	82.99	4.57	18.79	38.50
7	40	30	180	85.85	4.17	10.35	43.64
8	40	30	180	84.6	4.21	10.48	42.41
9	40	30	180	85.2	4.36	11.3	42.89
10	40	40	180	87.52	3.86	8.37	46.83
11	40	40	200	85.7	4.53	14.86	42.54
12	50	20	180	-	-	-	-
13	50	30	160	85.49	3.88	9.72	43.62
14	50	30	200	78.49	3.47	9.79	37.91
15	50	40	180	83.69	3.55	9.94	41.03

จากการวิเคราะห์ค่าสีผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง โดยการตรวจสอบจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 15 สภาวะการทดลอง พบว่าผลิตภัณฑ์ผงมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 72.78 -87.52 ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว (a*) อยู่ระหว่าง 3.47 - 5.5 และค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน (b*) อยู่ระหว่าง 8.37 - 21.82 และการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมอยู่ระหว่าง 33.59 - 46.83

ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*)

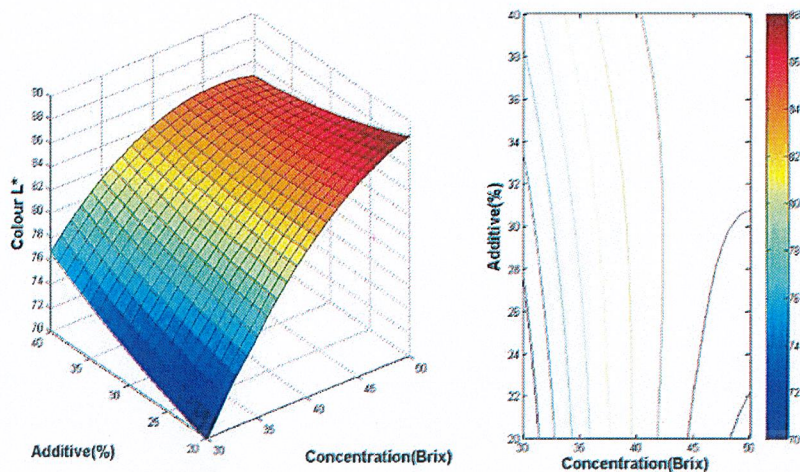
ผลิตภัณฑ์ผงมีค่าความสว่าง (L*) ที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 72.78 -87.52 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิผสมร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความสว่างลดลง โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสว่าง (L*) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิผสมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$L^* = - 311.303 + 7.862521X_1 + 0.422712X_2 + 2.485013X_3 - 0.03198X_1^2 + 0.005222X_2^2 - 0.00436X_3^2 - 0.0271X_1X_2 - 0.02388X_1X_3 + 0.002625X_2X_3$$

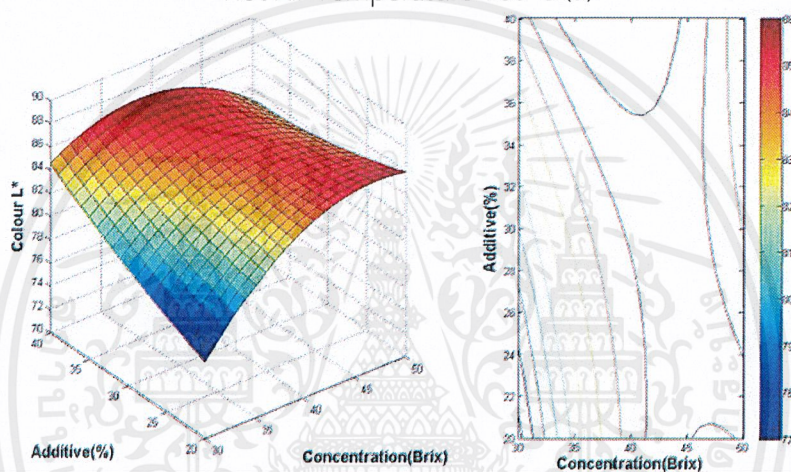
$$R^2 = 0.978616, S.E. = 1.107654, p < 0.005382$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

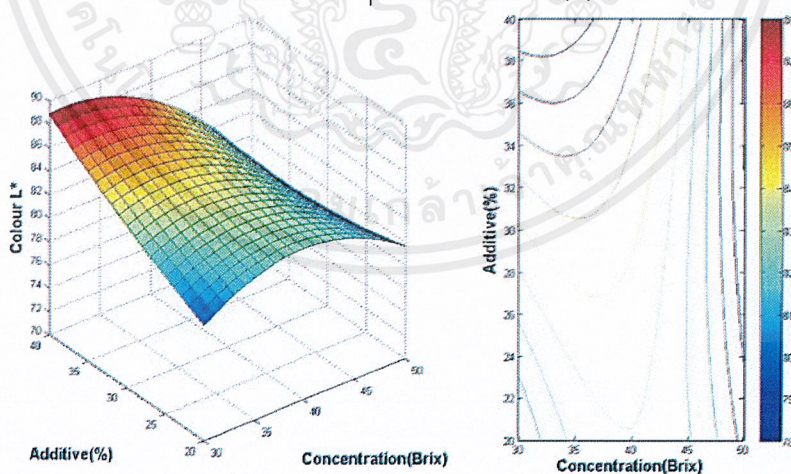
จากรูปที่ 4.10 (a), (b) และ (c) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 30-40% ในสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิผสมร้อนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวมีค่ามากขึ้น ในขณะที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 50% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิผสมร้อนสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวลดลง



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.10 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและค่าความสว่าง ที่อุณหภูมิความร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว (a^*)

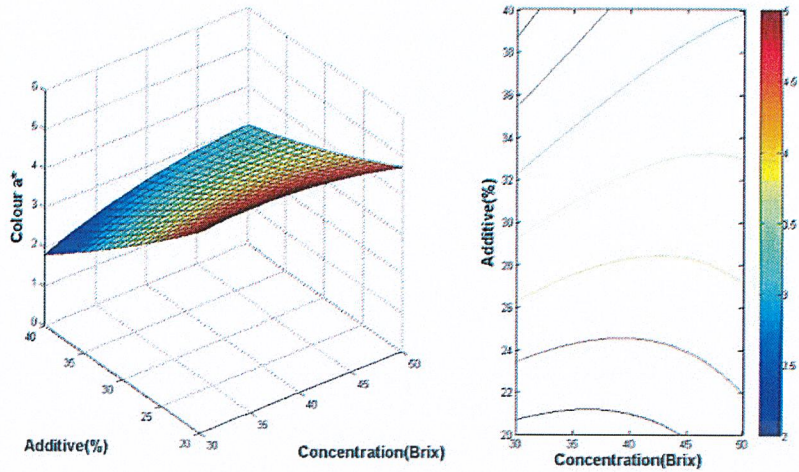
ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว (a^*) ที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 3.47 – 5.5 เมื่อความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้นและอุณหภูมิความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเป็นสีแดงลดลง โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว (a^*) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$a^* = 0.903735 + 0.497265X_1 - 0.84979X_2 + 0.072128X_3 - 0.00232X_1^2 - 0.000998X_2^2 - 0.00014X_3^2 + 0.00405X_1X_2 - 0.00259X_1X_3 + 0.003137X_2X_3$$

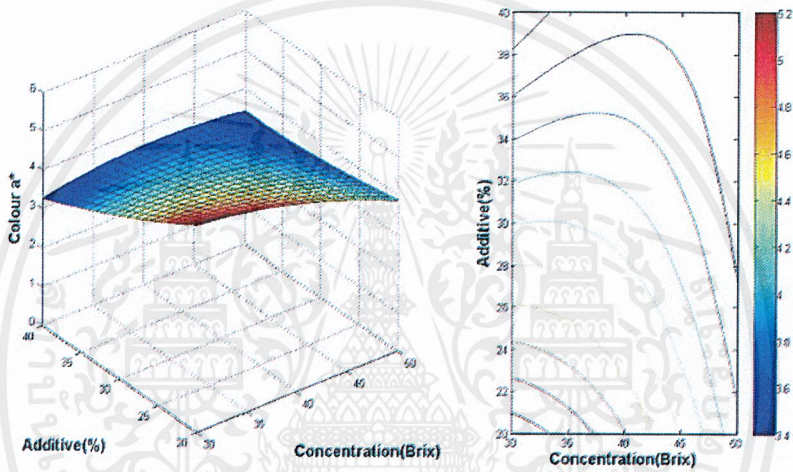
$$R^2 = 0.9892318, S.E. = 0.111059, p < 0.000717$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

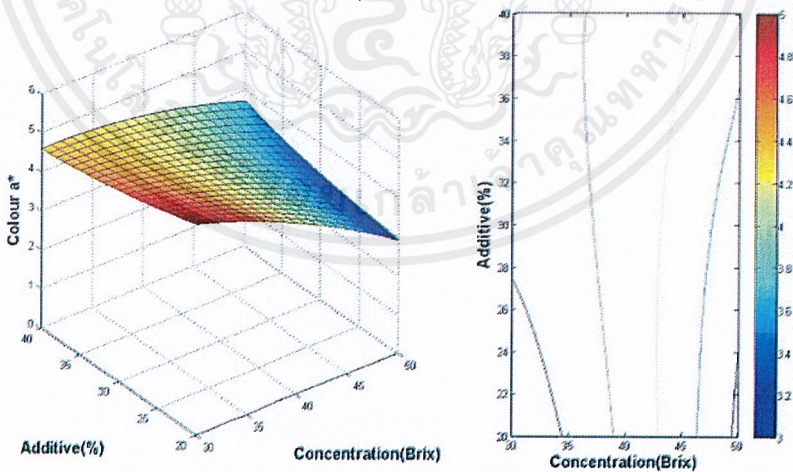
จากรูป 4.11 (a), (b) และ (c) พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการแห้งเพิ่มสูง ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวลดลง และค่าความเป็นสีเขียวเพิ่มสูงขึ้น



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.11 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น, อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว ที่อุณหภูมิสมร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน (b^*)

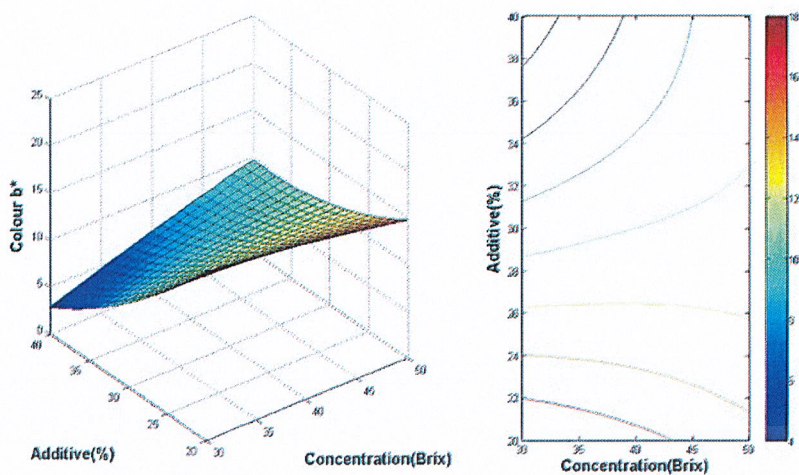
ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน (b^*) ที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 8.37 – 21.82 เมื่อความเข้มข้นของวัตถุตั้งเริ่มต้นและอุณหภูมิร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b^*) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุตั้งเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$b^* = 158.1046 + 2.041422 X_1 - 3.85026X_2 - 1.485 X_3 - 0.00211X_1^2 + 0.014858X_2^2 + 0.00554X_3^2 + 0.025392X_1X_2 - 0.01593X_1X_3 + 0.008958X_2X_3$$

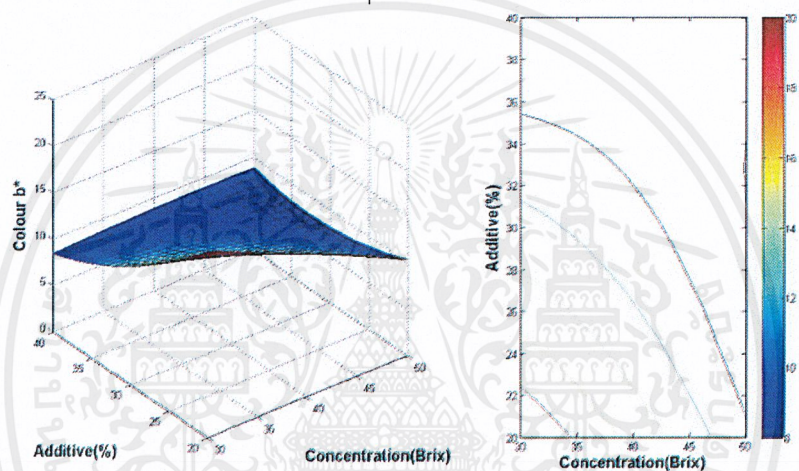
$$R^2 = 0.97775, S.E. = 1.238629, p < 0.005815$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

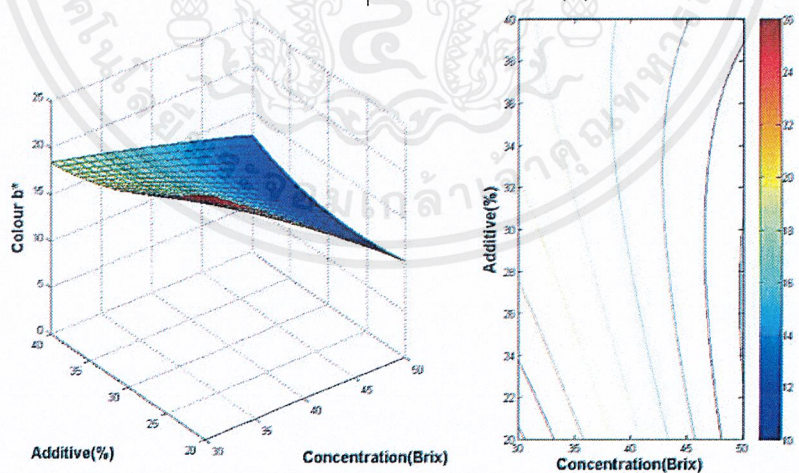
จากรูปที่ 4.12 (a), (b) และ (c) พบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นเริ่มต้นและปริมาณสารเจือปนอาหาร ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเป็นสีเหลืองลดลง ในขณะที่การเพิ่มของอุณหภูมิร้อน ส่งผลให้ความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.12 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน ที่อุณหภูมิร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม

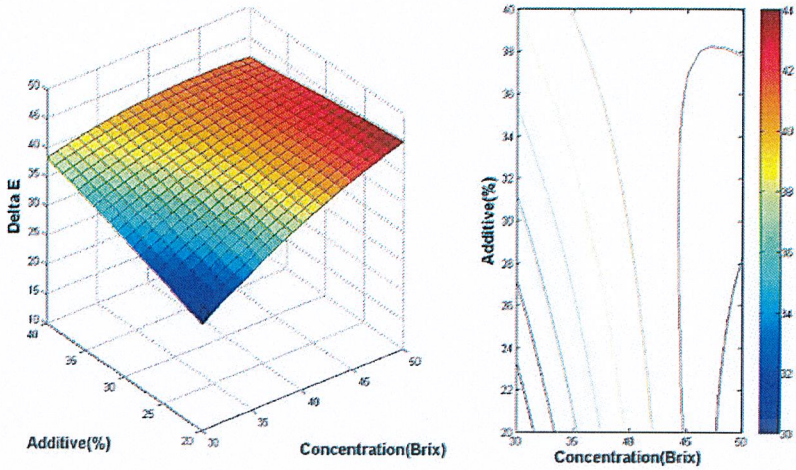
การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าค่าอยู่ในช่วง 33.59 - 46.83 เมื่อความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้นและอุณหภูมิร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมลดลง โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม (ΔE) กับค่าความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (X_1), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (X_2) และอุณหภูมิร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (X_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\Delta E = -358.186 + 5.92947X_1 + 1.471084X_2 + 2.811129X_3 - 0.01555X_1^2 - 0.00226X_2^2 - 0.00569X_3^2 - 0.03488X_1X_2 - 0.01954X_1X_3 + 0.00147X_2X_3$$

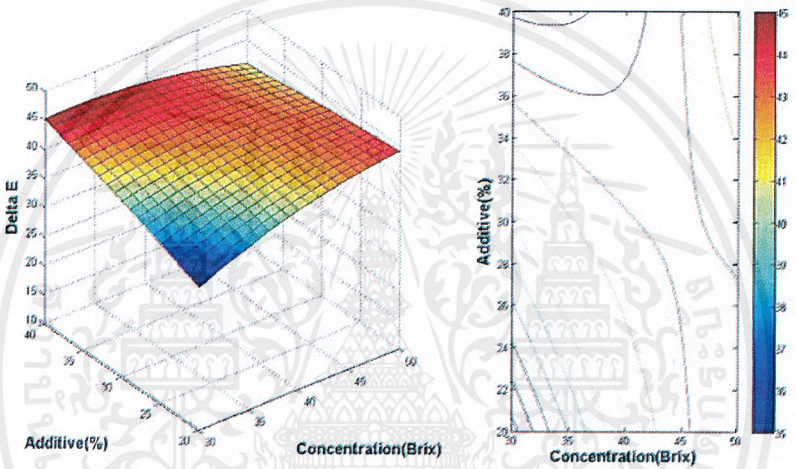
$$R^2 = 0.96206, S.E. = 1.367276, p < 0.016292$$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ

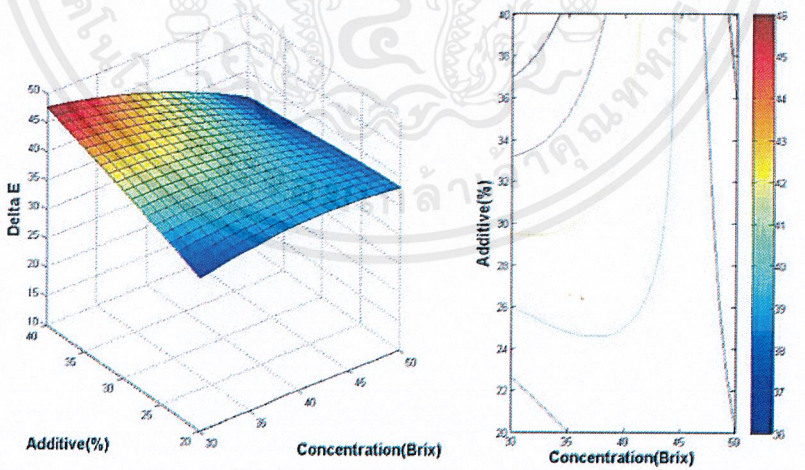
จากรูปที่ 4.13 (a), (b) และ (c) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 30-40% ในสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิร้อนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมีค่ามากขึ้น ในขณะที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 50% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิร้อนสูงขึ้น จะส่งผลให้ความเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงลดลง



Hot Air Temperature 160°C (a)



Hot Air Temperature 180°C (b)



Hot Air Temperature 200°C (c)

รูปที่ 4.13 (a), (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น , อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารและการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม ที่อุณหภูมิหมักร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

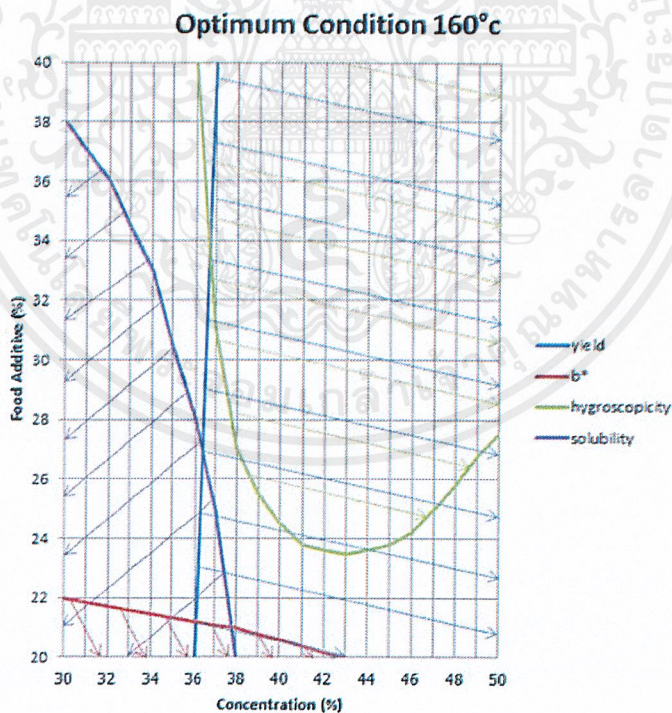
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.11. ผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสม (Optimum Condition)

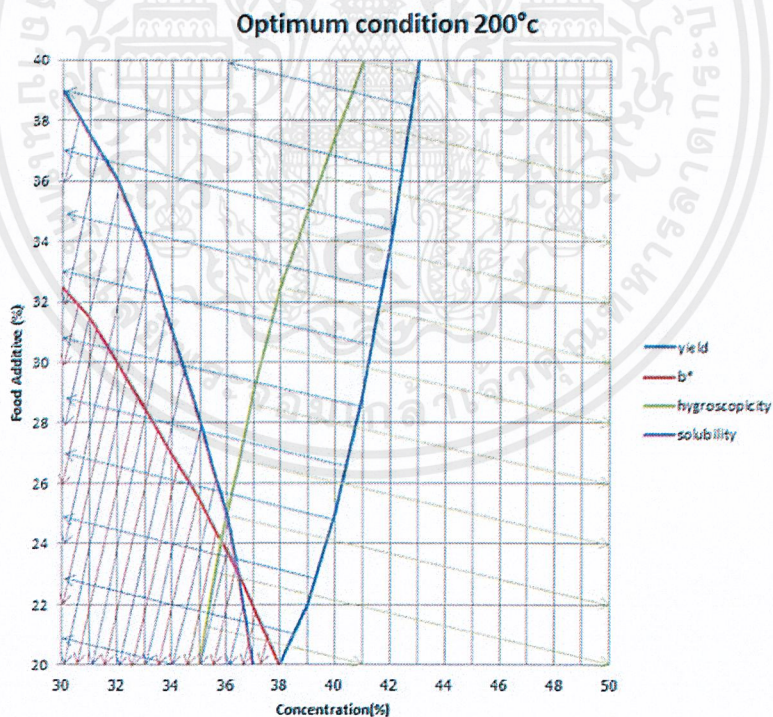
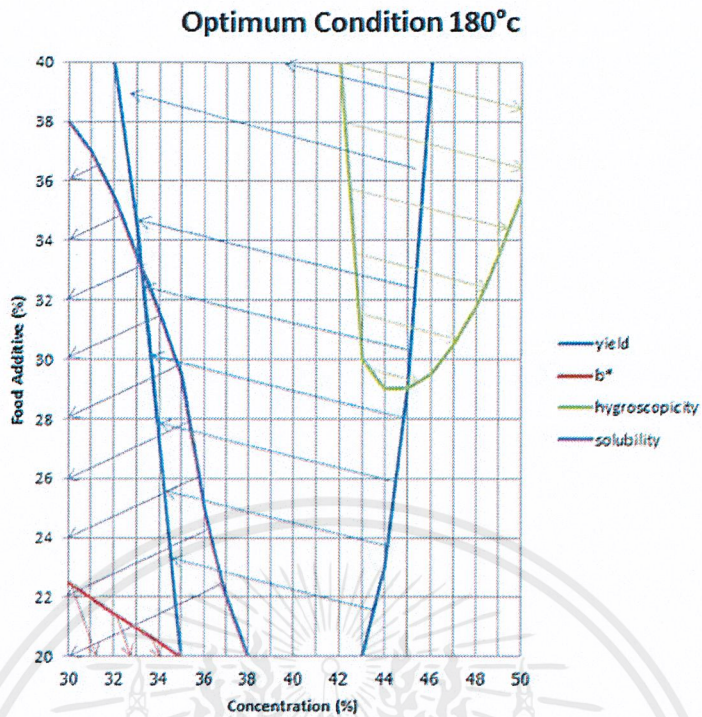
ผลจากการทดลองที่นำมาวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง(Response Surface Analysis) โดยอาศัยสมการอันดับสอง (second-order) สามารถนำมาใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ศึกษา เพื่อพิจารณาคูณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงให้ได้ตามที่ต้องการ โดยเลือกใช้เกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

- พิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) สูงมากกว่า 55%
- พิจารณาความสามารถในการละลาย (Solubility) น้อยกว่า 24 วินาที
- พิจารณาความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygrosopicity) น้อยกว่า 1
- พิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากกว่า 20

และจากการพลอตกราฟเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยดังรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าในการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์พิจารณาข้างต้น มีสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตที่ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวที่ 35-37%, อัตราส่วนสารเจือปนอาหาร 20-24% และใช้อุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ระดับ 200 °C



(a)



รูปที่ 4.14 (a), (b) และ (c) แสดงการพิจารณาคูณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงเพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิหมักร้อน 160°C, 180°C และ 200°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทดลองการผลิตน้ำตาลมะพร้าวผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สภาวะของเครื่องดังนี้ อุณหภูมิลมร้อนทางออก 80°C, ปริมาณลมที่ใช้, อัตราการป้อนวัตถุดิบ, และความดันลมที่ใช้ 0.3 MPa โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยความเข้มข้นของวัตถุดิบเริ่มต้น (30%, 40% และ 50%), อัตราส่วนของสารเจือปนอาหารต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว (20%, 30% และ 40%) และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง (160°C, 180°C และ 200°C)

จากการทดลองพบว่า

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมากที่สุด ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงรองลงมาคือ อัตราส่วนสารเจือปนอาหาร และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งตามลำดับ
- เมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือปนอาหารมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มากขึ้น ในขณะที่เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบในสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำ ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลผงที่ได้เพิ่มขึ้น
- การเพิ่มความเข้มข้นของวัตถุดิบและปริมาณสารเจือปนอาหารมีผลให้ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง สภาวะที่ให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมีความสามารถละลายดีที่สุดอยู่ที่ สภาวะการใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ระดับ 30% และปริมาณสารเจือปน 20% ความสามารถในการละลายมีค่าประมาณ 20 วินาที
- คุณสมบัติการกระจายตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง ไม่สัมพันธ์กับค่าการกระจายของอาหารผงทั่วไป ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าการกระจายตัวของอาหารผงทั่วไป คือ 67.05 – 99.98 เนื่องจากในน้ำตาลมะพร้าวมีส่วนประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ดี จึงไม่มีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำที่ค้างบน sieve มากนัก
- การเพิ่มระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ ทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงมีค่าลดลง ขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อน ส่งผลให้

ความสามารถในการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนระดับอัตราส่วนสารเจือปนอาหาร ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง

- ในการศึกษาที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง เนื่องจากแนวโน้มของผู้บริโภคต้องการให้สีของผลิตภัณฑ์มีความเป็นสีเหลืองเหมือนน้ำตาลธรรมชาติที่ผ่านการเคี้ยว และพบว่า การเพิ่มระดับความเข้มข้นเริ่มต้นและปริมาณสารเจือปนอาหารส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเป็นสีเหลืองลดลง ในขณะที่การเพิ่มของอุณหภูมิความร้อน ส่งผลให้ความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น
- จากกราฟการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงพบว่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผงที่ต้องการคือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) สูงมากกว่า 55%, ความสามารถในการละลาย (Solubility) น้อยกว่า 24 วินาที, ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) น้อยกว่า 1 และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่า 20 โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตที่ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวที่ 35-37%, อัตราส่วนสารเจือปนอาหาร 20-24% และใช้อุณหภูมิความร้อนในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ระดับ 200 °C

5.2. ปัญหาที่พบ

- ขั้นตอนการทำแห้งของสารละลายน้ำตาลมะพร้าว ต้องมีการอุ่นและรักษาอุณหภูมิของสารละลายให้คงที่สม่ำเสมอ คุณสมบัติบางประการของน้ำตาลมะพร้าวอาจมีเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิ

5.3. ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาการทำ Agglomeration ของน้ำตาลมะพร้าวผง เพื่อทำให้ความสามารถในการละลายดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กนกพร รังสิมันต์วงศ์. (2548). การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาล มะพร้าวในรูปแบบน้ำเชื่อม. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2532. เทคโนโลยีของน้ำตาล. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรม เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 89.
- กวีศร์ วานิชกุล จิตติมา สกุนนุ่ม และ ประภาพร ตั้งกิจโชติ. (2552). กระบวนการผลิตและลักษณะการ ให้ผลผลิตของน้ำตาลมะพร้าว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกสร สุนทรเสรี. 2541. มะพร้าวต้นไม้แห่งชีวิต. บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชย์ จำกัด. กรุงเทพฯ. หน้า 8-9.
- ฤดี สุราฤทธิ. น้ำตาล. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสรีรวิทยาและชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- จิตรีรัตน์ ปานม่วง. วัตถุเจือปนอาหาร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาอาหารเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- นิรนาม. (2011). ข้อมูลสถิติการปลูกมะพร้าวในประเทศไทย. วันที่ค้นข้อมูล 12 กันยายน 2554, จาก องค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ เว็บไซต์ : http://www.opsmoac.go.th/ewt_news.php?nid=106&filename=index
- นฤมล วุฒยาภาอิฐกุล. 2527. การศึกษาระบบการตลาดและราคาน้ำตาลมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ประเทือง สง่าวงศ์. 2503. การวิเคราะห์น้ำตาลมะพร้าวสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. กรรมวิธีแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะ ทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วิภา สุโรจนะเมธากุล. คำดัชนีดัชนีไกลเซมิก วารสาร อาหาร. ปีที่ 36, ฉบับที่3. กรกฎาคม - กันยายน 2549 หน้าที่ 183 -187.
- ศิริพร สิริสุขธีรัตน์. 2519. การศึกษากระบวนการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สโรบล สโรชวิกสิต ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี และ สักกมน เทพหัสติน ณ อยุธยา. (2550). การทำแห้งน้ำสับประรด ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟั่นผอย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อบเชย วงศ์ทอง และ ขนิษฐา พูนผลกุล. 2544. หลักการประกอบอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Andrew, L.S., Godshall, M.A., and Moore, S. 2002. Sucrose degradation under model processing condition. Journal of Food Science. 67(5): 1621-1624p.
- AOAC. (1995). Official Method of Analysis. 16th Edn. Arlington. Virginia. USA. The Association of Official Analytical Chemists. Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- AOAC. (1984). **Official Method of Analysis**. 14th ed. Washington, D.C: Association of Official Chemists
- Apriyantono, A., Aristyani, A., Nurhayati, Lidya, Y., Budiyanto, S., and Soekarto, S.T. 2002. **Rate of browning reaction during preparation of coconut and palm sugar**. International Congress. 1245: 275-278p.
- Athanasia, M. G. and Konstantios, G. A., 2004, **Spray drying of tomato pulp. Effect of feed concentration, drying technology**, 22(10). p. 2309-2330.
- Bhandari, B. R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., and Rigby, S., 1997. **A semi-empirical approach to optimize the quantity of drying aids required to spray dry sugar-rich foods**. Drying Technology, 15(10). p. 2509-2525.
- Bhandari, B. R., & Howes, T. (1999). **Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods**. Journal of Food Engineering, 40(1-2), 71-79.
- Jaya, S. and Das, H., 2004. **Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties**. Journal of Food Engineering. 63. p. 125-134.
- Chegini G.R. and Ghobadian B. (2007). **Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying**. World Journal of Agricultural Sciences, 3 (2), 230-236. doi: ISSN 1817-3047
- Madene A., Jacquot M., Scher J., Desobry, S., (2006). **Flavour encapsulation and controlled release**. International Journal of Food Science and Technology Volume 41, 1-21.
- Mahan, L.K. and Escott-Stump, S. (2000) **Krause's Food, Nutrition and Diet Therapy 10th ed.**
- Rahman, S. (1995). **Food Properties Handbook**. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc.
- Siew, Y. Q., Ngan, K. C., and Peter, S. 2007. **The Physicochemical properties of spray-dried watermelon poeders**. Chemical Engineering and Processing. 46: 386-392.
- Thampan, P.K. 1975. **The Coconut Palm and Its Products**. Cochin, India: Green Villa Publishing.

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield)

Experiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (%)	TS _{Solution} (g)	TS _{product} (g)	Yield (%)
1	30	20	180	724.18	346.29	47.82
2	30	30	160	783.35	241.48	30.82
3	30	30	200	782.84	366.02	46.75
4	30	40	180	845.32	453.1	53.60
5	40	20	160	964.31	569.46	59.05
6	40	20	200	965.65	459.09	47.54
7	40	30	180	1043.64	716.03	68.61
8	40	30	180	1044.38	704.37	67.44
9	40	30	180	1043.59	638.73	61.20
10	40	40	180	1127.73	638.28	56.59
11	40	40	200	1126.75	741.35	65.79
12	50	20	180	1204.62	0	-
13	50	30	160	1305.73	880.5	76.43
14	50	30	200	1304.62	82.31	6.31
15	50	40	180	1406.38	616.6	43.84

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น (Density)

Experiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (%)	Volume (cm ³)	Weight (g)				Density (g/cm ³)
					1	2	3	average	
1	30	20	180	10	3.53	3.52	3.53	3.53	0.353
2	30	30	160	10	3.92	3.90	3.91	3.91	0.391
3	30	30	200	10	4.37	4.36	4.37	4.37	0.437
4	30	40	180	10	4.17	4.16	4.17	4.17	0.417
5	40	20	160	10	5.56	5.57	5.56	5.56	0.556
6	40	20	200	10	5.76	5.75	5.76	5.76	0.576
7	40	30	180	10	4.91	4.92	4.92	4.92	0.492
8	40	30	180	10	5.00	5.01	5.01	5.01	0.501
9	40	30	180	10	5.08	5.07	5.08	5.08	0.508
10	40	40	180	10	4.71	4.70	4.69	4.70	0.470
11	40	40	200	10	5.08	5.08	5.07	5.08	0.508
12	50	20	180	10	-	-	-	-	-
13	50	30	160	10	5.26	5.25	5.25	5.25	0.525
14	50	30	200	10	4.64	4.65	4.64	4.64	0.464
15	50	40	180	10	5.08	5.09	5.07	5.08	0.508

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Content)

Emperiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp. (°C)	Moisture Content (%wb)		
				1	2	average
1	30	20	180	1.73	1.73	1.73
2	30	30	160	1.59	1.53	1.56
3	30	30	200	1.76	1.69	1.72
4	30	40	180	1.97	1.95	1.96
5	40	20	160	1.13	1.18	1.15
6	40	20	200	1.01	0.98	0.99
7	40	30	180	1.06	1.01	1.03
8	40	30	180	1.02	1.06	1.04
9	40	30	180	1.14	1.16	1.15
10	40	40	180	1.24	1.18	1.21
11	40	40	200	1.19	1.22	1.21
12	50	20	180	-	-	-
13	50	30	160	0.96	0.94	0.95
14	50	30	200	1.02	1.10	1.06
15	50	40	180	0.89	0.88	0.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด – เบส (pH)

Emperiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	pH
1	30	20	180	5.16
2	30	30	160	5.13
3	30	30	200	5.13
4	30	40	180	5.15
5	40	20	160	5.13
6	40	20	200	5.14
7	40	30	180	5.14
8	40	30	180	5.15
9	40	30	180	5.14
10	40	40	180	5.12
11	40	40	200	5.12
12	50	20	180	5.06
13	50	30	160	5.08
14	50	30	200	5.08
15	50	40	180	5.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, a_w)

Emperiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	Water Activity, a_w	Temp (°C)
1	30	20	180	0.258	24.9
2	30	30	160	0.226	24.8
3	30	30	200	0.257	24.9
4	30	40	180	0.229	24.9
5	40	20	160	0.246	25.0
6	40	20	200	0.281	24.9
7	40	30	180	0.259	24.9
8	40	30	180	0.295	24.8
9	40	30	180	0.276	24.9
10	40	40	180	0.218	24.9
11	40	40	200	0.268	24.9
12	50	20	180	-	-
13	50	30	160	0.215	24.8
14	50	30	200	0.214	24.8
15	50	40	180	0.212	24.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (Solubility)

Emperiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	Time (sec)			
				1	2	3	average
1	30	20	180	16	17	19	17.33
2	30	30	160	19	24	21	21.33
3	30	30	200	21	23	21	21.67
4	30	40	180	21	25	27	24.33
5	40	20	160	26	25	27	26
6	40	20	200	25	27	28	26.67
7	40	30	180	27	29	27	27.67
8	40	30	180	26	28	27	27
9	40	30	180	27	26	29	27.33
10	40	40	180	28	31	29	29.33
11	40	40	200	27	29	29	28.33
12	50	20	180	-	-	-	-
13	50	30	160	30	32	32	31.33
14	50	30	200	37	37	35	36.33
15	50	40	180	34	32	32	32.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility)

Emperiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	Water (g)	Powder (g)	Dispersibility
1	30	20	180	100	15	58.9935
2	30	30	160	100	15	58.9651
3	30	30	200	100	15	58.8745
4	30	40	180	100	15	58.7655
5	40	20	160	100	15	59.6971
6	40	20	200	100	15	59.1399
7	40	30	180	100	15	58.9243
8	40	30	180	100	15	59.2581
9	40	30	180	100	15	59.1497
10	40	40	180	100	15	59.3906
11	40	40	200	100	15	59.7289
12	50	20	180	-	-	-
13	50	30	160	100	15	59.9657
14	50	30	200	100	15	65.9892
15	50	40	180	100	15	61.0977

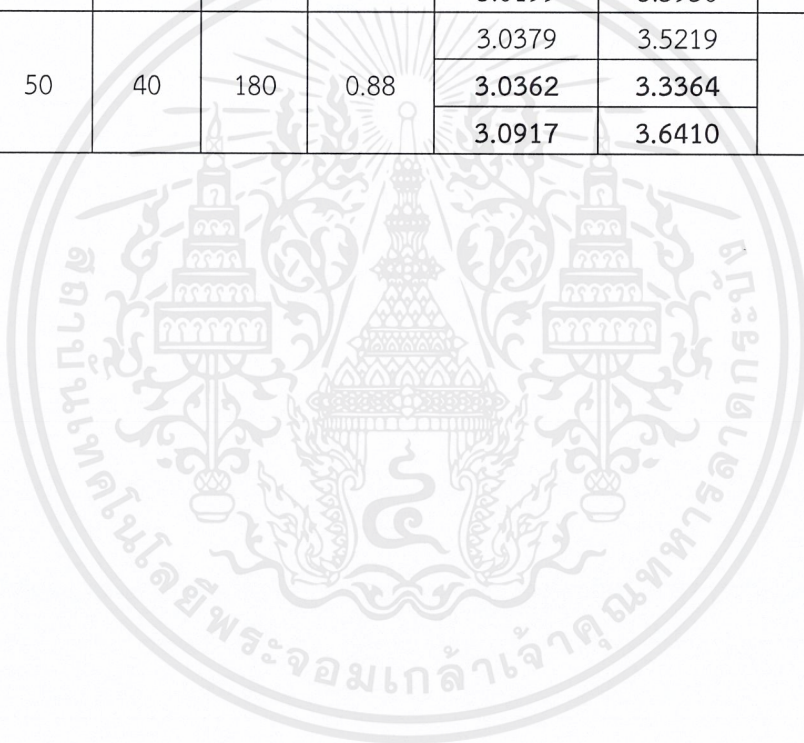
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

Emperiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	MC (%wb)	Weight _a (g)	Weight _b (g)	Hygroscopicity
1	30	20	180	1.73	3.2160	3.5792	1.6621
					3.0472	3.4380	
					3.0542	3.4426	
2	30	30	160	1.56	3.0472	3.3958	1.4783
					3.0310	3.3495	
					3.0699	3.3918	
3	30	30	200	1.72	3.0844	3.5263	1.6392
					3.0318	3.3268	
					3.0057	3.4267	
4	30	40	180	1.96	3.0014	3.4710	1.8426
					3.0304	3.4114	
					3.0058	3.5235	
5	40	20	160	1.15	3.0531	3.5989	1.1098
					3.0603	3.6547	
					3.0591	3.6029	
6	40	20	200	0.99	3.0152	3.4533	0.9624
					3.0627	3.4626	
					3.0228	3.2609	
7	40	30	180	1.03	3.0170	3.4550	1.0521
					3.0407	3.4114	
					3.0222	3.5889	
8	40	30	180	1.04	3.0760	3.6631	1.0332
					3.0634	3.7694	
					3.0903	3.6838	
9	40	30	180	1.15	3.0339	3.5897	1.1112
					3.0209	3.5329	
					3.0584	3.5296	
10	40	40	180	1.21	3.0172	3.3653	1.2050
					3.0645	3.4573	
					3.0376	3.4089	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11	40	40	200	1.21	3.0224	3.4126	1.1776
					3.0710	3.4464	
					3.0682	3.4585	
12	50	20	180	-	-	-	-
13	50	30	160	0.95	3.0123	3.4764	0.9654
					3.0140	3.4915	
					3.0585	3.5218	
14	50	30	200	1.06	3.0606	3.4665	1.0440
					3.0015	3.3754	
					3.0199	3.3950	
15	50	40	180	0.88	3.0379	3.5219	0.9301
					3.0362	3.3364	
					3.0917	3.6410	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการไหล (Flowability)

Emperiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	Angle (°)			
				1	2	3	average
1	30	20	180	45	48	45	46
2	30	30	160	45	47	47	46.33
3	30	30	200	45	45	45	45
4	30	40	180	47	47	48	47.33
5	40	20	160	35	38	38	37
6	40	20	200	38	38	38	38
7	40	30	180	35	38	35	36
8	40	30	180	35	35	35	35
9	40	30	180	38	38	35	37
10	40	40	180	34	35	35	34.67
11	40	40	200	35	37	37	36.33
12	50	20	180	-	-	-	-
13	50	30	160	30	32	32	31.33
14	50	30	200	32	35	32	33
15	50	40	180	30	32	32	31.33

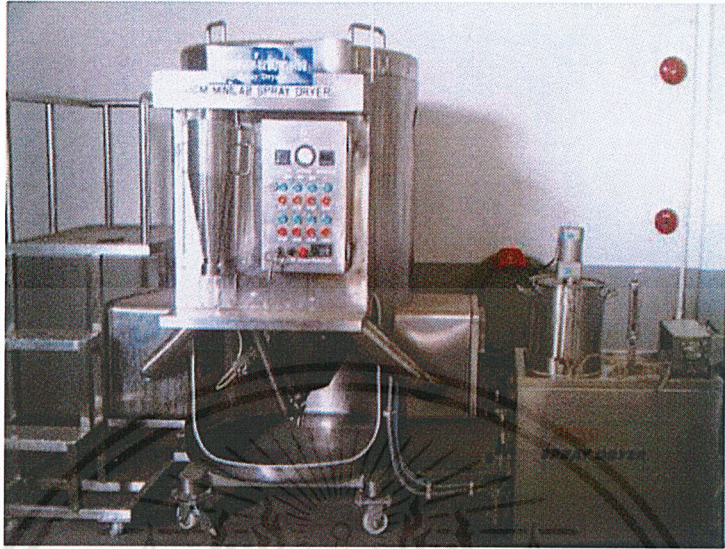
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี (Color)

Emperiment No.	Conc. (%)	Additive (%)	Temp (°C)	Color _{solution}			Color _{powder}			ΔE
				L ₀ *	a ₀ *	b ₀ *	L*	a*	b*	
1	30	20	180	41.62	4.87	22.13	76.01	5.5	19.07	34.53
2	30	30	160	41.65	4.60	21.58	72.78	3.49	9.01	33.59
3	30	30	200	41.38	4.55	21.36	84.88	5.15	21.82	43.51
4	30	40	180	41.02	4.32	21.39	84.52	3.39	8.50	45.38
5	40	20	160	45.28	4.65	26.47	83.38	5.32	17.51	39.14
6	40	20	200	45.34	4.73	26.85	82.99	4.57	18.79	38.50
7	40	30	180	45.32	5.59	26.48	85.85	4.17	10.35	43.64
8	40	30	180	45.38	5.59	26.55	84.60	4.21	10.48	42.41
9	40	30	180	45.24	5.67	26.83	85.20	4.36	11.30	42.89
10	40	40	180	45.26	5.73	28.46	87.52	3.86	8.37	46.83
11	40	40	200	45.36	5.62	28.34	85.70	4.53	14.86	42.54
12	50	20	180	48.75	6.70	33.86	-	-	-	-
13	50	30	160	48.66	5.54	33.04	85.49	3.88	9.72	43.62
14	50	30	200	48.79	5.68	33.24	78.49	3.47	9.79	37.91
15	50	40	180	50.42	5.78	33.86	83.69	3.55	9.94	41.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. ภาพอุปกรณ์ วัสดุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง



รูปที่ค.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



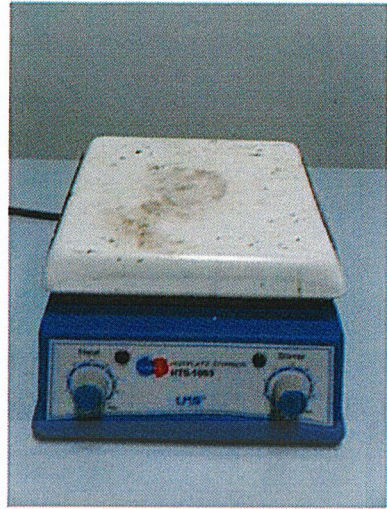
รูปที่ค.2 (ซ้าย) สารเจือปนอาหาร (สารช่วยทำแห้ง)

รูปที่ค.3 (ขวา) สารละลายวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าว

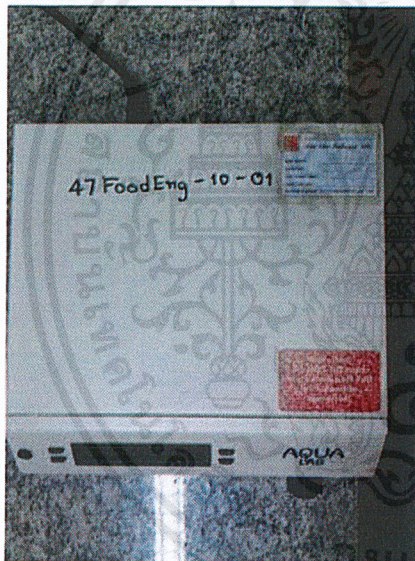
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ค.4 หัวฉีดแบบ Two - Fluid



รูปที่ค.5 Magnetic Stirrer



รูปที่ค.6 เครื่องวัดค่า a_w โดยอัตโนมัติ

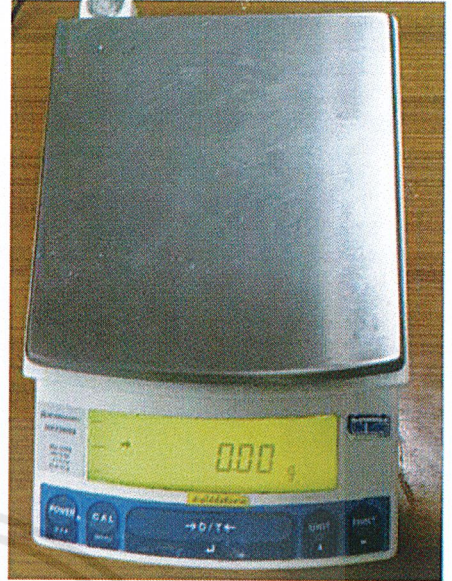


รูปที่ค.7 เครื่องวัดสี

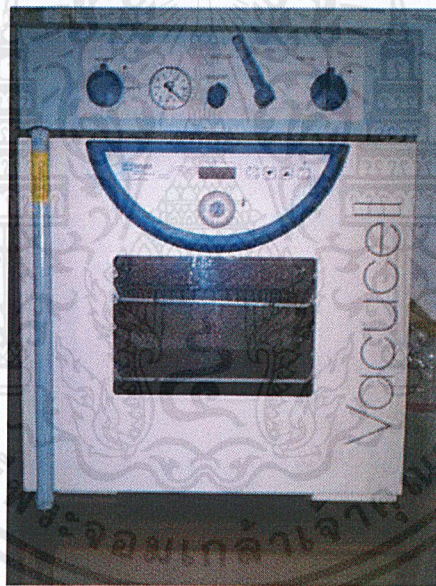
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ค.8 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

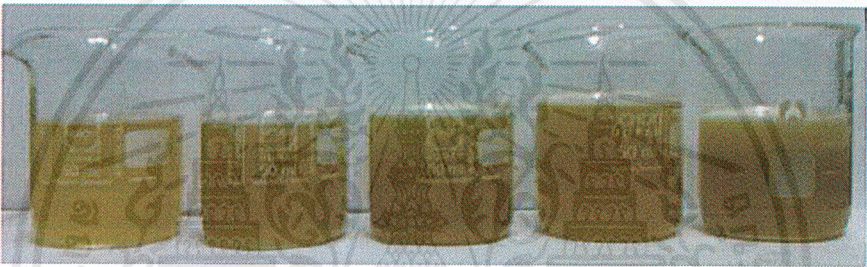


รูปที่ค.9 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง



รูปที่ค.10 เครื่องอบแห้งสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ค.11 ตัวอย่างสารละลายยวตติบน้ำตาลมะพร้าวก่อนผ่านกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ค.12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้