สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการผลิตกะทิผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

A study on production of coconut milk powder by spray drying

T129285

นางสาวชลดา รักษาธรรม

นายณัฐพงค์ คูณพงษ์

จพ.
ป221ก
2555
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 129285
วัน,เดือน,ปี - 2 S.A. 2556
.b 12568594
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON PRODUCTION OF COCONUT MILK POWDER BY SPRAY DRYING

MISS CHOLADA RAKSATHAM

MR. NATTAPHONG KOONPHONG

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULITY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการผลิตกะทิผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

A study on production of coconut milk powder by spray drying

ผู้จัดทำ

1. นางสาวชลดา รักษาธรรม รหัสนักศึกษา 52010222
2. นายณัฐพงศ์ คูณพงษ์ รหัสนักศึกษา 52011161

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน การศึกษาการผลิตกะทิผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จัดทำโดย นางสาวชลดา รักษาธรรม

นายณัฐพงค์ คูณพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตกะทิผง เพื่อช่วยเพิ่มความสะดวกในการบริโภคต่อผู้บริโภค และสามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้อง มีน้ำหนักเบาและปริมาตรลดลง อีกทั้งยังมีสารอาหารและคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับกะทิสด โดยมุ่งเน้นศึกษากรรมวิธีการแปรรูปกะทิด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์(1:1, 1.5:1 และ 2:1), ปริมาณสารละลายแป้ง (5, 10 และ 15%) และอุณหภูมิลมร้อน (170, 190 และ 210 ºC) อาศัยแผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนซึ่งมีทั้งหมด 15 การทดลอง ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติต่างๆ เช่น ปริมาณผลผลิตที่ได้ ความชื้น ความหนาแน่น ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการละลาย คุณสมบัติการดูดซับความชื้น ความสามารถการกระจายตัว และสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลที่ได้พบว่าเมื่ออัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (%Yield) ลดลง ค่าความหนาแน่น (Bulk density) เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มปริมาณสารละลายแป้ง แต่ได้ผลตรงกันข้ามกับการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อน นอกจากนั้นยังได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อน มีผลให้ความชื้น (Moisture content) และค่าความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) ของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเพิ่มปริมาณสารละลายแป้ง สำหรับความสามารถในการละลาย จะละลายได้ดีเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์-ตรินเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลมร้อนต่ำลง จากการศึกษาได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งกะทิผงเพื่อให้กะทิผงที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด คือเมื่อใช้อัตราส่วนสารทำแห้งต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ (MD:AG) 1:1 ปริมาณสารละลายแป้ง 10 % และอุณหภูมิลมร้อน 210 ºC

คำสำคัญ : กะทิผง การทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title A study on production of coconut milk powder by spray drying

Students Miss Cholada Raksatham

Mr. Nattaphong Koonphong

Project Advisor Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong

Submitted for Bachelor's Degree in Food Engineering, Major of Food Engineering Faculty of Engineering

King's Mongkut Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

This project is a study of the production of coconut milk powder in order to help for conveniently used and kept for long period of time at room temperature. The study focuses on coconut milk process by using spray drying technique and optimizing the process variables. These variables included the ratio of maltodextrin and emulsifier - MD:EM (1:1, 1.5:1 and 2:1), addition of soluble starch solution (5, 10 and 15%) and hot air temperature (170, 190 and 210 ºC). The experiment were conducted based on Box-Behnken design, including fifteen tests. The dried powder were analyzed for product yield, moisture content, water activity, bulk density, hygroscopicity, dispersibility, solubility and color. The results showed that an increase in maltodextrin cause a decrease in product yield, but an increase in product's bulk density and water activity. Similar results were also obtained when apply an increase of the amount of soluble starch and in contrast with increasing the hot air temperature. Increasing hot air temperature and soluble starch resulted in moisture content and hygroscopicity increased. Solubility increased when higher maltodextrin and lower hot air temperature were used. The optimum condition for drying coconut milk powder was at MD: EM (1:1) amount of soluble starch (10%) and hot air temperature (210 ºC).

Keyword: Coconut milk powder; Spray dry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อข้อมูล ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำโครงงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัทเอเชียติค อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด ที่สนับสนุนวัตถุดิบ และคำแนะนำต่างๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ทุกท่านที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์สละเวลามาให้ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ให้คำแนะนำ และกำลังใจในการทำโครงงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานวิจัย

และสำหรับคุณความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้บิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีเสมอมา

นางสาวชลดา รักษาธรรม
นายณัฐพงค์ คูณพงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ปกใน(ภาษาไทย)	I
ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XI
สารบัญรูปภาพ	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	
2.1 ข้อมูลทั่วไปของมะพร้าว	4
2.2 ข้อมูลทั่วไปของกะทิ	8
2.3 การแปรรูปน้ำกะทิ	12
2.4 กะทิผง	13
2.5 มาตรฐานกะทิผง	14
2.6 Encapsulation	15
2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลท	16
2.6.2 ชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลท	16
2.6.3 ขั้นตอนในการทำให้เกิดอิมัลชันของกลิ่นรส	16
2.6.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน	17
2.6.4.1 การเอนแคปซูเลทโดยใช้วิธีทางเคมี	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4.1.1 Coacervation 18
2.6.4.1.2 Co-crystallization 19
2.6.4.1.3 การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม 19
2.6.4.2 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เครื่องมือ 20
2.6.4.2.1 การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด 20
2.6.4.2.2 เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 21
2.6.4.2.3 สเปรย์ชิลลิง 22
2.6.4.2.4 เอกซ์ทรูชัน 22
2.7 การทำแห้ง 22
2.8 เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย 25
2.8.1 ทฤษฎีและกลไกการกักเก็บกลิ่นรสโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย 26
2.8.2 การสูญเสียกลิ่นรสระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอย 28
2.8.3 ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย 29
2.8.4 ข้อด้อยของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย 29
2.8.5 ปัจจัยที่สำคัญในการกักเก็บสารให้กลิ่นรส 29
2.9 วัตถุเจือปนที่เลือกใช้ 30
2.9.1 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) 30
2.9.2 สารช่วยทำแห้ง 30
2.10 อิมัลชัน 30
2.10.1 ความคงตัวของอิมัลชัน 31
2.10.2 สารอิมัลซิไฟเออร์ 31
2.11 Glass Transition 32
2.12 โฮโมจีไนเซชัน 32
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33
2.13.1 คุณสมบัติของกะทิ 33
2.13.2 Encapsulation 34
2.13.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย 34
2.14.4 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ 37
บทที่ 3 อุปกรณ์ และการทดลอง 39
3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์การทดลอง 39
3.3 การเตรียมอุปกรณ์ 40
3.4 วิธีการทดลอง 41
3.5 การวางแผนการทดลอง 43
3.5.1. การทดลองเบื้องต้น 43
3.5.2. การออกแบบการทดลอง 43
3.5.3. การทำแห้งด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย 44
3.6 การวิเคราะห์ผล 45
3.6.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของอิมัลชันของน้ำกะทิ 45
3.6.1.1 ความหนืดของอิมัลชัน 45
3.6.1.2 วัดความคงตัวของอิมัลชัน 46
3.6.2 วิเคราะห์คุณลักษณะความเป็นกะทิผง 46
3.6.2.1 ความชื้น (moisture) 46
3.6.2.2 การหาค่า water activity 46
3.6.2.3 ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk Density) 46
3.6.2.4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ 47
3.6.2.5 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น 47
3.6.2.6 ความสามารถในการกระจายตัว 47
3.6.2.7 ความสามารถในการละลาย 48
3.6.2.8 วัดค่าสี 48
3.6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 48
3.5.4 ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส 49
บทที่ 4 ผลการทดลอง 50
4.1 ผลการวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ 50
4.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิที่มีจำหน่ายในท้องตลาด 52
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิที่ทดลอง 52
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ 55
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ 57
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ 59
4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ 63
4.3.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ 65
4.3.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจายของผลิตภัณฑ์ 67
4.3.8 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความสว่าง (L*) ของสีผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 69
4.3.9 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 71
4.3.10 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความแตกต่าง (dE) ของสีผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 73
4.4 สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ 75
4.5 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส 78
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 80
5.1 สรุปผลการทดลอง 80
5.2 ปัญหาที่พบ 81
5.3 ข้อเสนอแนะ 81
เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. การเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผง
ภาคผนวก ค. การทดสอบทางประสาทสัมผัส
ภาคผนวก ง. ตาราง ANOVA
ภาคผนวก จ. รูปภาพเกี่ยวกับโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าส่งออกกะทิสำเร็จรูป 10 ตลาดแรก ปี 2555 (ม.ค.-มิ.ย.) 8
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ 9
ตารางที่ 2.3 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว 10
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางเคมีของกะทิผง 14
ตารางที่ 2.5 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท 18
ตารางที่ 2.6 ชนิดและตัวอย่างของสารช่วยทำแห้ง 30
ตารางที่ 3.1 การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตริน และสารอิมัลซิไฟเออร์ 43
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและระดับตัวแปรที่จะศึกษา 44
ตารางที่ 3.3 สภาวะของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง 44
ตารางที่ 3.4 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ของการผลิตกะทิผง 45
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผง ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด 52
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผงด้วยกรรมวิธี การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 53
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่สองของคุณสมบัติ ทางกายภาพต่างๆ 54
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 20 คน 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมะพร้าว 4
รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูป 13
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผง 13
รูปที่ 2.4 แนวคิดการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส 15
รูปที่ 2.5 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท 17
รูปที่ 2.6 หลักการของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค complex coacervation 19
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ lipid bilayer matrix 20
รูปที่ 2.8 การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด 21
รูปที่ 2.9 การเกิดอิมัลชันของสารละลายระหว่างสารให้กลิ่นรสและสารห่อหุ้ม 25
รูปที่ 2.10 ระบบการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 27
รูปที่ 2.11 กลไกการกักเก็บกลิ่นโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย 28
รูปที่ 2.12 ประเภทของอิมัลชัน 31
รูปที่ 3.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 41
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ 42
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำแห้ง 42
รูปที่ 3.4 Box-Behnken Design สำหรับ 3 factors 43
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความหนืดที่อัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างกัน 50
รูปที่ 4.2 ความคงตัวของกะทิที่ระดับ 31.4%, 59% และ 100% ตามลำดับ 51
รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความคงตัวที่อัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างกัน 52
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และค่าความชื้นของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 56
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณน้ำอิสระของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 58
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และความหนาแน่นของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 62
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และความสามารถในการดูดซับความชื้นของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 64
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และความสามารถในการละลายของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 66
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และความสามารถในการกระจายของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 68
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และค่าความสว่างของสีกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 70
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และค่าความเป็นสีเหลืองของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 72
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และค่าความแตกต่างของสีกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15% 74
รูปที่ 4.14 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อเติมสารละลายแป้ง 5% 75
รูปที่ 4.15 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อเติมสารละลายแป้ง 10% 76
รูปที่ 4.16 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อเติมสารละลายแป้ง 15% 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มะพร้าวเป็นพืชที่คนทั่วไปต่างรู้จักกันดีไม่ว่าจะชาติใดก็ตาม ซึ่งสังเกตได้จากที่สามารถพบเห็นมะพร้าวที่มีอยู่ได้เกือบทุกส่วนของโลก และปัจจัยสำคัญที่ทำให้รู้จักมะพร้าวนั่นคือประโยชน์ต่างๆที่มีอยู่ในตัวของมะพร้าวซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ในชีวิตประจำวันและจากประโยชน์ที่ได้ต่างๆนั้นทำให้มะพร้าวได้ชื่อว่า ต้นไม้แห่งชีวิต "Tree of Life" (กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ยืนต้น, 13 กุมภาพันธ์ 2556) สำหรับประเทศไทยมะพร้าวถือเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ซึ่งมีพื้นที่ในการปลูกมะพร้าวประมาณ 2.4 ล้านไร่ กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ ซึ่งมีผลผลิตประมาณ 1400 ล้านผล คิดเป็นมูลค่าไม่ต่ำกว่า 4500 ล้านบาทต่อปี (กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ยืนต้น, 13 กุมภาพันธ์ 2556) สำหรับคนไทยจะนำผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวมาเป็นส่วนประกอบของอาหารทั้งคาวและหวาน ผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวที่รู้จักกันดีคือ น้ำกะทิ น้ำมันมะพร้าว น้ำตาลมะพร้าว เนื้อมะพร้าว เป็นต้น จากสำนักงานสถิติแห่งชาติได้เคยสำรวจพบว่า ประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งปัจจุบันประเทศพลเมืองประมาณ 55 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณ 65% ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณ 35% ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผล ใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือการส่งออก (สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 13 กุมภาพันธ์ 2556) ในส่วนของการแปรรูปมะพร้าวซึ่งเป็นการเก็บรักษาผลิตผลมะพร้าวรูปแบบหนึ่ง ซึ่งได้แก่ การนำมะพร้าวแก่แปรรูปเป็นเนื้อมะพร้าวแห้ง และกะทิ (กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ยืนต้น, 13 กุมภาพันธ์ 2556)

กะทิ (Coconut Milk) เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะพร้าวที่สำคัญทางเศรษฐกิจอย่างหนึ่งของไทย ทั้งยังมีข้อดีต่างๆมากมาย อาทิเช่น มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคและสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย เนื่องจากในน้ำกะทิมีกรดลอริก (lauric acid, C-12) อยู่สูงมาก (45.9-50.3%) ซึ่งเป็นสารตัวเดียวกันกับกรดไขมันที่มีในนมของมารดา (ซึ่งมีเพียง 3-18%) เมื่อบริโภคเข้าไปในร่างกาย กรดลอริกจะเปลี่ยนเป็นโมโนลอริกที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน และยังช่วยยับยั้งเชื้อโรค ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส หรือโปรโตซัว นอกจากกรดลอริกแล้วน้ำกะทิยังประกอบด้วยกรดไขมันที่มีขนาดปานกลางอีก 3 ชนิด คือกรดคาโปรอิก (caproic acid, C-6, 0.4-0.6%) กรดคาปริลิก (caprylic acid, C-8, 6.9-9.4%) และกรดคาปริก (capric acid, C-10, 6.2-7.8%) ซึ่งทุกชนิดต่างก็มีส่วนช่วยยับยั้งเชื้อโรค และเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกายโดยไม่ทำให้เกิดการดื้อยา และจะฆ่าเฉพาะเชื้อโรคที่มีเกราะหุ้มเป็นไขมัน แต่ไม่ได้ทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในร่างกายที่ไม่ได้มีไขมันเป็นเกราะหุ้ม นอกจากนั้น กะทิยังมีความอยู่ตัวทางเคมีสูง เพราะมีองค์ประกอบเป็นไขมันอิ่มตัวทำให้อะตอมของออกซิเจน หรือไฮโดรเจน ไม่สามารถเข้าไปแทนที่ได้ จึงทำให้ไม่เกิดอนุมูลอิสระ และไขมันทรานส์ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2551) สำหรับการแปรรูปมะพร้าวเป็นน้ำกะทิ มีจุดประสงค์เพื่อการเก็บรักษาผลผลิตและเพิ่มมูลค่าให้กับมะพร้าว น้ำกะทินั้นได้จากการคั้นหรือบีบส่วนของเหลวที่มีส่วนประกอบของไขมันออกจากเนื้อมะพร้าว ผลิตภัณฑ์กะทิบรรจุในภาชนะปิดสนิทของไทยมีส่วนแบ่งทางการตลาดถึงร้อยละ 85 ของโลก มูลค่าตลาดสำหรับกะทิสำเร็จรูปของไทยในปี 2551 มีมูลค่าประมาณ 4,000 ล้านบาท (กลุ่มวิจัยเศรษฐกิจการค้าการลงทุน, 2553) ส่วนตลาดผลิตภัณฑ์กะทิในประเทศไทยมีมูลค่าตลาดประมาณ 600-700 ล้านบาท โดยส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 90 เป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของน้ำกะทิ ขณะที่ผลิตภัณฑ์กะทิในลักษะผงแห้งยังมีจำหน่ายค่อนข้างน้อย ความต้องการใช้กะทิในประเทศส่วนใหญ่เป็นน้ำกะทิสดและน้ำกะทิพาสเจอร์ไรซ์ ขณะที่น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง น้ำกะทิยูเอชที และกะทิผง ผลิตเพื่อการส่งออกเป็นหลัก จากการสำรวจเอกสารพบว่าการผลิตน้ำกะทิในระดับอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้ 5 รูปแบบ ดังนี้ น้ำกะทิสด น้ำกะทิพลาสเจอร์ไรซ์ น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง น้ำกะทิบรรจุกล่องยูเอชที และกะทิผง

การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dry) เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมใช้ในปัจจุบันในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารให้อยู่ในรูปแบบของผงแห้ง เนื่องจากค่าใช้จ่ายการลงทุนไม่สูงมากนักและสามารถควบคุมการผลิตได้ง่าย ดังนั้นหากได้มีการแปรรูปกะทิให้เป็นผงแห้ง โดยคงสภาพให้กลิ่นและรสเหมือนกะทิสด จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยสร้างความสะดวกให้แก่ผู้บริโภคในการใช้งานและประหยัดเวลาในการเตรียมน้ำกะทิ นอกจากนั้นกะทิในลักษณะผงแห้งมีข้อได้เปรียบกว่ากะทิในสภาพของเหลว คือ ช่วยลดน้ำหนัก และปริมาตรลงมาก สามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้นาน มีสารอาหารและคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับกะทิสด แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในปัจจุบันยังมีการผลิตกะทิผงยังมีไม่มากนัก อีกทั้งผลิตภัณฑ์กะทิผงยังขาดคุณสมบัติการละลายที่ดี แต่ในการทำแห้งกะทิซึ่งมีปริมาณไขมันเป็นส่วนใหญ่นั้นทำได้ค่อนข้างยากจึงจำเป็นต้องเติมสารบางอย่างเพื่อช่วยในการทำแห้งเช่น สารอิมัลซิไฟเออร์เพื่อช่วยทำให้น้ำกะทิมีความเป็นอิมัลชันขึ้น ในการทำแห้งจะทำให้สามารถกักเก็บกลิ่นรส และปริมาณไขมันไว้ได้มากขึ้นกว่าไม่เติม ซึ่งตัวอย่างสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้กันบ่อยๆได้แก่ อะคาเซียกัม เลซิติน แป้งดัดแปร เวย์โปรตีน เป็นต้น นอกจากสารอิมัลซิไฟเออร์แล้วในการทำแห้งแบบนี้ยังเติมสารช่วยทำแห้ง ยกตัวอย่างเช่น มอลโตเด็กซ์ตริน คอร์นไซรัป เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวช่วยในการดึงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของน้ำกะทิให้สูงขึ้น ทำให้สามารถทำแห้งได้ที่อุณหภูมิสูง การเติมสารดังกล่าวเป็นหนึ่งในกระบวนการเอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคปซูเลชัน ซึ่งเป็นกระบวนการกักเก็บกลิ่นรส โดยมีน้ำกะทิเป็นสารกลิ่นรสที่ต้องกักเก็บ (core) และมีมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นตัวห่อหุ้ม (carrier) เพื่อกักเก็บกลิ่นรสไว้ สำหรับการทำแห้งอาหารเหลวให้มีคุณสมบัติการชงละลายหรือคืนรูปได้ดีนั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น สภาพวัตถุดิบเริ่มต้น ปริมาณสารช่วยทำแห้ง อุณหภูมิลมร้อน อัตราการป้อน เป็นต้น และผลกระทบของตัวแปรการผลิตต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงเป็นประการสำคัญ ดังนั้นการศึกษาผลกระทบของตัวแปรเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมต่อการทำแห้งกะทิให้มีลักษณะเป็นผงแห้งจึงเป็นสิ่งจำเป็น และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการผลิตเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับมะพร้าวต่อไป นับเป็นการช่วยขยายการแปรรูปผลิตภัณฑ์กะทิให้เพิ่มมากขึ้นและเพิ่มความสะดวกต่อการใช้บริโภคสำหรับผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- ศึกษากรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกะทิ
- ศึกษาผลกระทบของตัวแปรการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตกะทิผง
- เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

วัตถุดิบหลักคือน้ำกะทิจากบริษัทเอเชียติค อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด

- ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ ปริมาณสารละลายแป้ง และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

- คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ (yield) ปริมาณความชื้นของกะทิผง ปริมาณน้ำอิสระ ความหนาแน่นโดยรวม คุณสมบัติการดูดซับความชื้น ความสามารถในการกระจายตัว ความสามารถในการละลาย และค่าสี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของกะทิ และกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- ทราบผลกระทบของตัวแปรการผลิตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผง ด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลทั่วไปของมะพร้าว (Coconut)

รูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมะพร้าว

ชื่อสามัญ : Coconut

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ : Cocos nucifera Linn.

วงศ์ : Palmae

ชื่ออื่น : ดุง (จันทบุรี) เฮ็ดดุง (เพชรบูรณ์) โพล (กาญจนบุรี) คอส่า (แม่ฮ่องสอน) พร้าว (นครศรีธรรมราช) หมากอุ๋น

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ :

- รากเป็นระบบรากฝอย ซึ่งเกิดจากส่วนโคนของต้นอ่อน เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีขนาดเท่ากัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรแผ่ขยายไปตามแนวดิ่งที่ความลึกประมาณ 50-90 เซนติเมตร และแผ่ขยายออกไปรอบๆ ต้นประมาณ 6 เมตร ถ้าหากรากเดิมเหล่านี้ได้รับอันตรายตะแตกรากแขนงได้ และมีขนาดเท่ากับรากเดิม นอกจากนี้ยังมีรากขนาดเล็ก แตกแขนงออกช่วยในการดูดน้ำและอาหาร และรากอากาศช่วยลำเลียงอากาศบนผิวดินลงสู่รากใต้ผิวดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลำต้นของมะพร้าวมีความสูงแตกต่างกันตามพันธุ์ โดยปกติพันธุ์ต้นสูงมีความสูงประมาณ 8-10 เมตร ส่วนพันธุ์ต้นสูงมีความสูงประมาณ 15-20 เมตร ลำต้นกลมตั้งตรง ไม่แตกกิ่งก้านสาขา เปลือกต้นแข็ง สีเทา ขรุขระ และภายในลำต้นมีตายอดเพียงตาเดียวที่เจริญเติบโตเพิ่มความสูงขึ้นไปเรื่อยๆ พร้อมทั้งอวัยวะส่วนอื่น เช่น ใบ ดอก และผล ถ้าหากตายอดตาย มะพร้าวต้นนั้นก็จะตาย ที่ลำต้นมะพร้าวจะมีรอยแผลใบที่เกิดจากใบแก่ร่วงหล่นไป รอยแผลใบนี้อาจใช้คำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้ เพราะโดยทั่วไปแล้วมะพร้าวจะเกิดใบจำนวน 12-14 ใบต่อปี เมื่อเอารอยแผลใบบวกด้วยจำนวนใบที่มีอยู่ทั้งหมดที่มีขณะนั้นหารด้วย 12 หรือ 14 ผลลัพธ์ที่ได้คืออายุของมะพร้าวต้นนั้น

- ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก ซึ่งประกอบด้วยก้านใบและใบย่อยจำนวนมากประมาณ 200-300 ใบ เกิดเป็นคู่สองข้างของก้านใบ ออกเรียงเวียนสลับกันหนาแน่นที่บริเวณยอด ความยาวของก้านใบ 4.5-6.0 เมตร ส่วนใบย่อยกว้าง 3.5 เซนติเมตร ยาว 75-100 เซนติเมตร ใบใหม่หรือใบอ่อน มีลักษณะยาวเรียวคล้ายดาบ แตกออกตรงใจกลางของส่วนยอด ใบจะมีลักษณะคลี่ขยายออกเมื่อมีอายุมากขึ้น และค่อยๆเอนออกจากใจกลางต้นโน้มต่ำห้อยลงเรื่อยๆตามอายุของใบจนกระทั่งร่วงหลุดออกจากต้นทิ้งรอยแผลใบไว้ที่ลำต้น ใบใหม่จะเกิดบริเวณลำต้นและเรียงตัววนไปทางด้านใดด้านหนึ่ง

- ช่อดอกและดอก มะพร้าวถือเป็นพืชสองเพศ คือมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย เพียงแต่แยกกันอยู่คนละดอก แต่บางครั้งก็พบว่าในหนึ่งช่อดอกมีดอกตัวผู้ หรือดอกตัวเมียเพียงอย่างเดียว ส่วนช่อดอกจะมีกาบมะพร้าวที่เรียกว่าจั่น ซึ่งจะขยายตัวให้มีขนาดใหญ่ และจะบานแตกออกพร้อมที่จะแพร่พันธุ์ต่อไป ซึ่งในช่อดอกจะมีดอกตัวเมียอยู่บริเวณโคนก้าน มีลักษณะกลมและขนาดใหญ่ประมาณ 1.3 เซนติเมตร เป็นสีขาว เมื่อดอกบานปลายของดอกจะแตกเป็น 3 แฉก และเป็นทางเกสรงอก เมื่อการผสมสิ้นสุดลงจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กลีบดอกจะขยายตัวใหญ่ขึ้นและติดอยู่ที่ฐานของผล ส่วนดอกตัวผู้จะอยู่บริเวณปลายดอก ซึ่งจะไม่มีก้านดอก ดอกจะบานทั้งวัน เมื่อบานแล้วจะไม่ปิดแต่จะหลุดร่วงไป

- ผล มักเกิดเป็นช่อเรียกว่า ทะลาย ผลมีรูปทรงกลมหรือรี ผิวเรียบ ผลอ่อนสีเขียว ผลแก่สีน้ำตาล เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยนุ่ม ชั้นในแข็งเป็นกะลา ชั้นต่อไปเป็นเนื้อสีขาว ข้างในมีน้ำใส เมื่อผลอ่อนเนื้อมะพร้าวจะบางและอ่อนนิ่ม เมื่อแก่จะแข็งและมีน้ำมันสะสมอยู่มากเนื้อหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 4 - 20 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับพันธุ์และการบำรุงรักษา น้ำมะพร้าวมีกลูโคสประมาณ 5 - 6% และมีซูโครสเล็กน้อยในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ เมื่อผลแก่ปริมาณกลูโคสจะลดลงแต่ซูโครสจะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นน้ำมะพร้าวยังค่อยๆแห้งและหมดไปด้วย (ศศิธร, 2545)

ประโยชน์ :

- ลำต้นและทางมะพร้าว สามารถใช้ในการสร้างที่พักอาศัยได้และยังทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ไว้ใช้สอยได้อีกด้วย

- เนื้อมะพร้าว สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด หรือนำมาคั้นน้ำได้เป็นน้ำกะทิมาประกอบอาหารคาวหวานได้หลากหลายชนิด ซึ่งสามารถจำหน่ายได้ทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ ทั้งแบบสดและแบบแปรรูปผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ สเตอลิไรซ์ รวมทั้งกระบวนการทำแห้งจนได้เป็นกะทิผง นอกจากนั้นยังทำเป็นเนื้อมะพร้าวหั่นฝอยใส่น้ำเคี่ยวหรือตากแห้งแล้วเคี่ยวจะได้น้ำมันมะพร้าว ซึ่งถือเป็นการแปรรูปที่สร้างเศรษฐกิจให้ประเทศได้อย่างมาก

- น้ำมะพร้าว เป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางอาหารสูง รสหวาน หอม ชุ่มคอ ในน้ำมะพร้าวยังมีน้ำตาล โปรตีน โซเดียม แคลเซียม โปแตสเซียม แต่สำหรับผู้ที่เป็นโรคหัวใจ หรือโรคไตไม่ควรดื่ม น้ำมะพร้าวสามารถแปรรูปเป็นเครื่องดื่ม นำไปผสมในส่วนผสมของอาหาร หรือเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้แล้วน้ำมะพร้าวยังสามารถนำไปหมักเป็นน้ำส้มสายชู หรือนำไปผสมเชื้อวุ้นเป็นวุ้นมะพร้าวได้อีกด้วย

- น้ำตาลจากจั่น หรือดอกมะพร้าว สามารถนำไปดื่มคล้ายน้ำตาลสดที่มาจากต้นตาล และนำไปเคี่ยวแปรรูปเป็นน้ำตาลมะพร้าว โดยบรรจุใส่ปี๊บหรืออัดเป็นก้อนกลมๆ

- กะลามะพร้าว สามารถนำไปขัด แปรรูปเป็นของใช้ในครัวเรือน หรือเป็นเฟอร์นิเจอร์ นอกจากนี้กะลาและกากมะพร้าวยังสามารถนำไปเผาเป็นถ่านได้อีกด้วย

- ใยในกากมะพร้าว สามารถนำไปอัดภายในที่นอน หมอน ซึ่งสามารถบรรเทาอาการปวดหลัง ปวดไหล่ ปวดต้นคอได้เป็นอย่างดี

- กากของเนื้อมะพร้าว สามารถนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์และปุ๋ยได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรรพคุณทางยา :

- กะลา นำมาเผาให้เป็นถ่านดำ แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด ผสมน้ำดื่มวันละ 3-4 ครั้ง ครั้งละ 0.5-1 ช้อนชา แก้ปวดกระดูกและเส้นเอ็น

- ดอก รสฝาดหวานหอม เป็นยาแก้เจ็บคอ แก้ท้องเสีย แก้ไข้ แก้ร้อนใน กระหายน้ำ บำรุงโลหิต และแก้ปากเปื่อย

- ราก รสฝาดหวานหอม เป็นยาแก้ท้องเสีย ขับปัสสาวะ หรืออมบ้วนปากแก้เจ็บคอ

- น้ำมันมะพร้าว รสหวานเค็ม รับประทานเป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ ใช้ทาบำรุงผม หรือทาเป็นยาแก้กลากเกลื้อน ทาผิวหนังแห้งแตก แก้โรคผิวหนังต่างๆ ทาแผลน้ำร้อนลวก โดยการเอาน้ำมันมะพร้าวมา 1 ส่วน และน้ำปูนใส 1 ส่วน เติมทีละส่วนพร้อมกับคนไปด้วยจนเข้ากันดีใช้ทาบริเวณแผลบ่อยๆ

- น้ำมะพร้าว รับประทานเป็นยาระบาย แก้ท้องเสีย ขับปัสสาวะ แก้พิษ แก้กระหายน้ำ แก้นิ่ว แก้อาเจียนเป็นเลือดและบวมน้ำ (นฤมล, 2548)

มะพร้าว ถือเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่ในการปลูกมะพร้าวประมาณ 2.4 ล้านไร่ กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ ซึ่งมีผลผลิตประมาณ 1400 ล้านผล คิดเป็นมูลค่าไม่ต่ำกว่า 4500 ล้านบาทต่อปี (กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ยืนต้น, 13 กุมภาพันธ์ 2556) คนไทยจะนำผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวมาเป็นส่วนประกอบของอาหารทั้งคาวและหวาน ผลิตภัณฑ์ที่รู้จักกันดีคือน้ำกะทิ น้ำมันมะพร้าว น้ำตาลมะพร้าว เนื้อมะพร้าว เป็นต้น ซึ่งจากสำนักงานสถิติแห่งชาติได้เคยสำรวจพบว่าประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งปัจจุบันประเทศพลเมืองประมาณ 55 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณ 65% ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณ 35% ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผล ใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออก (สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 13 กุมภาพันธ์ 2556) สำหรับมะพร้าว 1 ผลน้ำหนักเฉลี่ย 2 กิโลกรัมประกอบด้วย เปลือก 30% หนักประมาณ 0.6 กิโลกรัม น้ำมะพร้าว 20% หนักประมาณ 0.4 กิโลกรัม เนื้อมะพร้าว 35% หนักประมาณ 0.7 กิโลกรัม และกะลา 15% หนักประมาณ 0.3 กิโลกรัม ซึ่งเปลือกที่ได้สามารถนำไปแปรรูปต่อได้ใยมะพร้าว 0.24 กิโลกรัม และขุยมะพร้าว 0.36 กิโลกรัม เนื้อมะพร้าวก็เช่นกันเมื่อนำไปแปรรูปต่อโดยการขูดผิวจะได้เนื้อมะพร้าวขาวประมาณ 0.6 กิโลกรัม ถ้าแปรรูปเป็นกะทิต่อจะได้กะทิ 0.5 กิโลกรัม และหากแปรรูปต่อเป็นน้ำมันมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริสุทธิ์จะได้ประมาณ 0.3 กิโลกรัม ซึ่งการแปรรูปต่างๆนั้นเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับตัวมะพร้าวได้อย่างมาก (http://www.kmutt.ac.th/titec/gtz/coconut-detail-upload5.html, 2 มีนาคม 2556)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าส่งออกกะทิสำเร็จรูป 10 ตลาดแรก ปี 2555 (ม.ค.-มิ.ย.)

ตลาด	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
สหรัฐอเมริกา	18,174.43	991.30
ออสเตรเลีย	5,095.69	280.87
สหราชอาณาจักร	4,221.55	202.28
เยอรมนี	2,869.32	159.52
เนเธอร์แลนด์	3,154.23	151.86
แคนาดา	2,015.61	94.29
สวีเดน	1,487.92	76.85
นิวซีแลนด์	1,414.31	66.06
ฝรั่งเศส	1,078.16	60.41
ฮ่องกง	1,004.82	58.74
อื่นๆ	10,348.53	553.45
รวมทั้งสิ้น	**50,864.57**	**2,695.63**

ที่มา: (http://fic.nfi.or.th/food/upload/pdf/17_1585.pdf, 13 กุมภาพันธ์ 2556)

จากตารางที่ 2.1 ตลาดส่งออกผลิตภัณฑ์มะพร้าวสำเร็จรูปที่สำคัญของไทย 3 อันดับแรกคือ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และสหราชอาณาจักร สอดคล้องกับที่ทั้ง 3 ประเทศเป็นประเทศที่มีร้านอาหารไทยจำนวนมากอันดับ 1-3 ตามลำดับ โดยสหรัฐอเมริกานั้นมีมากกว่า 5,000 ร้าน ส่วนออสเตรเลียก็มากกว่า 1,000 ร้าน นอกจากนี้ ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นคือมีชาวเอเชียอพยพเข้าไปตั้งถิ่นฐานจำนวนมากมานานแล้ว จึงทำให้อาหารเอเชียเป็นที่รู้จักแพร่หลาย ผลิตภัณฑ์มะพร้าวสำเร็จรูปจึงเป็นที่ต้องการสูง

2.2 ข้อมูลทั่วไปของกะทิ

น้ำกะทิ (coconut milk) เป็นของเหลวสีขาวขุ่นที่ได้จากการคั้น หรือบีบเนื้อมะพร้าว(solid coconut endosperm) โดยอาจเติมหรือไม่เติมน้ำหรือน้ำมะพร้าว (liquid coconut endosperm) เป็นอาหารประเภทที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.2 มีลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ซึ่งสามารถคงตัวได้เนื่องจากโปรตีนบางชนิดที่ถูกดูดซับอยู่บริเวณพื้นผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ นอกจากนั้นยังมีเมมเบรนที่เกิดจากฟอสฟอลิปิด (phospholipid) คือ เซพาลิน (cephalin) และเลซิทิน (lecithin) ล้อมรอบเม็ดไขมัน (oil globule) ไว้อีกด้วย (ทศพรพรรณ รัตนภักดี, 2546)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกะทิที่มีรายงานไว้จะอยู่ในช่วงกว้างเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น สายพันธุ์ สภาพภูมิศาสตร์ในการเพาะปลูก สภาวะการดูแลรักษา ความแก่อ่อนของผลมะพร้าว วิธีการที่ใช้ในการสกัดน้ำกะทิและระดับความเจือจางเนื่องจากการเติมน้ำหรือน้ำมะพร้าว องค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ แสดงได้ดัง ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ

องค์ประกอบ (%)	Seow and Gwee (1997 b)	Seow and Gwee (1997 e)	Seow and Gwee (1997 g)	Seow and Gwee (1997 f)
ความชื้น	53.9	50.0	54.1	50.0
ไขมัน	34.7	40.0	32.2	39.8
โปรตีน (N × 6.25)	3.6*	3.0	4.4	2.8
เถ้า	1.2	1.5	1.0	1.2
คาร์โบไฮเดรต	6.6	5.5	8.3	6.2

* N × 5.30

ที่มา: (ทศพรพรรณ รัตนภักดี, 2546)

คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ที่พบในน้ำกะทิ คือน้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลซูโครส (sucrose) และมีสตาร์ช (starch) อยู่บ้าง ส่วนเกลือแร่ที่พบคือ ฟอสฟอรัส (phosphorus) แคลเซียม (calcium) และโพแทสเซียม น้ำกะทิที่สกัดได้ใหม่ๆ จะมีวิตามินบีและกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) อยู่ด้วยเล็กน้อย

น้ำกะทิที่ได้จากการบีบโดยไม่เติมน้ำมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 5-10% (โดยน้ำหนักแห้ง) โปรตีนละลายอยู่ในส่วนน้ำ (aqueous phase) เพียง 30% เท่านั้น ที่เหลือเป็นโปรตีนที่ทำ หน้าที่เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) โดยดูดซับอยู่บริเวณพื้นผิวระหว่างน้ำมันและน้ำเป็นการช่วยลดแรงตึงผิว (interfacial tension) ทำให้อนุภาคขนาดเล็กกระจายตัวอยู่เป็นเฟสกระจาย (dispersed phase) ได้ นอกจากนั้นในน้ำกะทิยังมีสารพวกฟอสฟอลิปิดซึ่งทำให้อิมัลชันมีความคงตัวเพิ่มขึ้นด้วย แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามอิมัลชันของน้ำกะทิจะคงตัวอยู่ได้ไม่นาน เนื่องจากน้ำกะทิมีสัดส่วนของโปรตีนต่อไขมันประมาณ 1 ต่อ 10 แสดงให้เห็นว่าโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบอยู่นั้นมีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับไขมันจึงไม่เพียงพอที่จะทำให้เม็ดไขมันกระจายตัวอย่างอิสระในน้ำได้ เม็ดไขมันซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจะลอยตัวสูงขึ้น และเกิดการรวมตัวกัน (coalescence) เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างเม็ดไขมัน น้ำกะทิจึงเกิดการแยกชั้นขึ้น โดยชั้นบนเป็นหัวกะทิ (coconut cream) และชั้นล่างเป็นหางกะทิ (coconut skim milk)

น้ำกะทิมีส่วนประกอบหลักคือน้ำมันมะพร้าว ประกอบด้วย triacylglycerol 84-93.1%, 1,2-diacylglycerol 1.5-5.1%, 1,3-diacylglycerol 1.2-2.1%, monoglyceride 1-7%, free fatty acid 1-1.26%, phospholipid 0.03-0.4%, glycolipid 0.2-0.35% และ sterol 0.1% ซึ่งทั้ง glycolipid และ phospholipid จะพบมากในกรดไขมันไม่อิ่มตัว ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันกะทิแสดงได้ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณของกรดไขมัน, %
กรดคาร์โปรอิก (caproic acid, C6)	0.4-0.6
กรดคาร์ปริลิก (caprylic acid, C8)	6.9-9.4
กรดคาร์ปริก (capric acid, C10)	6.2-7.8
กรดลอริก (lauric acid, C12)	45.9-50.3
กรดไมริสติก (myristic acid, C14)	16.8-19.2
กรดปาล์มมิติก (palmitic acid, C16)	7.7-9.7
กรดสเตียริก (stearic acid, C18)	2.3-3.2
กรดโอเลอิก (oleic acid, C18:1)	5.4-7.4
กรดลิโนเลอิก (linoleic acid, C18:2)	1.3-2.1
กรดอะราคิดิก (arachidic acid, C20)	Trace-0.2
กรดกาโดเลอิก (gadoleic acid, C20:1)	Trace-0.2

ที่มา: (ทศพรพรรณ รัตนภักดี,2546)

กะทิประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว 90% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือกรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ประมาณ 10% โดยกรดลอริก (lauric acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุด การบริโภคกรดไขมันอิ่มตัวเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นสาเหตุให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ซึ่งปริมาณคอเลสเตอรอลที่มีสูงในเลือดมีผลทำให้เกิดภาวะไขมันในเลือดสูงกว่าปกติ และอาจทำให้เกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัว (Arterosclerosis) ซึ่งเป็นภาวะที่หลอดเลือดแดงเสื่อม ขาดความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่ม เนื่องจากเกิดการสะสมของไขมันในผนังหลอดเลือดแดงขนาดกลางและขนาดใหญ่เป็นสาเหตุสำคัญของการเป็นโรคหัวใจขาดเลือด (Ischaemic Heart Disease)

แต่ถึงอย่างไรก็ตามการที่กะทิมีไขมันอิ่มตัวที่อยู่ตัว จึงไม่เกิดการเติมออกซิเจน และไฮโดรเจน ซึ่งทำให้ไม่เกิดอนุมูลอิสระ และไขมันทรานส์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และกะทิประกอบด้วยกรดไขมันที่มีขนาดปานกลาง (medium chain fatty acids - MCFAs) ซึ่งถูกย่อยได้ง่าย และเคลื่อนย้ายได้สะดวก เมื่อบริโภคเข้าไป จะผ่านลำคอไปยังกระเพาะเข้าสู่ลำไส้ แล้วไปถูกเผาผลาญให้เป็นพลังงานในตับโดยไม่ไปสะสมเป็นไขมันเหมือนกับน้ำมันไม่อิ่มตัวที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ดังนั้น ผู้บริโภคกะทิจึงแข็งแรงเพราะได้พลังงานทันทีที่บริโภคเข้าไป อีกทั้งยังไปกระตุ้นให้ต่อมไทรอยด์ทำงานได้ดีขึ้น ก่อให้เกิดความร้อนจากผลของ thermogenesis ซึ่งช่วยในการเผาผลาญอาหารที่บริโภคเข้าไปพร้อมกัน ให้เปลี่ยนเป็นพลังงาน แทนที่จะไปสะสมเป็นไขมันในร่างกาย ยิ่งไปกว่านั้น ความร้อนที่เกิดขึ้น ยังไปช่วยสลายไขมันที่ร่างกายสะสมอยู่ก่อนหน้านั้น ให้สลายตัวไปเป็นพลังงาน จึงทำให้ผู้บริโภคผอมลง นอกจากนั้นน้ำมันมะพร้าวในกะทิยังมีกรดลอริกอยู่สูงมาก ซึ่งเป็นสารตัวเดียวกันกับกรดไขมันที่มีในนมของมารดา เมื่อบริโภคเข้าไปในร่างกาย กรดลอริกจะเปลี่ยนเป็นโมโน-ลอริน ที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน และยังมีฤทธิ์ช่วยยับยั้งเชื้อโรค ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส หรือโปรโตซัว นอกจากกรดลอริกแล้วน้ำมันมะพร้าวยังประกอบด้วยกรดไขมันที่มีขนาดปานกลางอีก 3 ชนิด คือกรดคาโปรอิก กรดคาปริลิก และกรดคาปริก กรดทุกชนิดต่างก็มีส่วนช่วยยับยั้งเชื้อโรค และเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย โดยไม่ทำให้เกิดการดื้อยา และจะฆ่าเฉพาะเชื้อโรคที่มีเกราะหุ้มเป็นไขมัน แต่ไม่ได้ทำลาย จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในร่างกายที่ไม่ได้มีไขมันเป็นเกราะหุ้ม (ณรงค์ โฉมเฉลา,2551)

น้ำกะทิที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ (untreat) จะเกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าจะเก็บรักษาในที่เย็น เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่มีความอุดมสมบูรณ์มากสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งมักปนเปื้อนมากับกะลา เครื่องมือเครื่องใช้ อุปกรณ์ในการแปรรูป การขนส่ง เป็นต้น แบคทีเรียที่พบโดยทั่วไปในน้ำกะทิคือ Bacillus, Achromobacter, Microbacterium, Micrococcus, Brevibacterium coliform บางชนิด ส่วนเชื้อราที่พบมากคือ Penicillium, Geotricum, Mucor, Fusarium และ Saccharomyces การแบ่งตัวของแบคทีเรียเป็นแบบทวีคูณ (multiplication) โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 10 ºC และ 30 ºC แบคทีเรียในน้ำกะทิมีการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า (generation time) ในเวลา 232 และ 44 นาที ตามลำดับ การยืดอายุของน้ำกะทิสามารถทำได้โดยการแปรรูปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น น้ำกะทิสเตอริไลซ์บรรจุกล่อง บรรจุกระป๋องน้ำกะทิพาสเจอไรซ์บรรจุถุงพลาสติก และกะทิผง เป็นต้น (ทศพรพรรณ รัตนภักดี, 2546)

2.3 การแปรรูปน้ำกะทิ

การผลิตผลิตภัณฑ์น้ำกะทิของไทยส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบภายในประเทศเป็นหลัก โดยปัจจุบันน้ำกะทิที่ผลิตได้มีการบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ อาทิ ถุงพลาสติก กล่อง และกระป๋อง เป็นต้น เพื่อใช้จำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูปซึ่งผู้บริโภคนิยมนำมาใช้ปรุงเป็นอาหารมากขึ้น เนื่องจากสะดวกและลดขั้นตอนในการทำอาหารลง สิ่งที่เหลือจากการผลิต อาทิ น้ำมะพร้าว กากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้น กะลา มีการนำมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งการทำเป็นน้ำส้มสายชูจากน้ำมะพร้าว อาหารสัตว์จากกากมะพร้าว ฯลฯ ผลิตภัณฑ์น้ำกะทิสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 แบบ คือ

- น้ำกะทิสด ได้จากการคั้นน้ำกะทิด้วยเครื่องแล้วเก็บรักษาด้วยความเย็นทันทีสามารถเก็บไว้ได้นาน 1-2 วัน มักบรรจุในถุงพลาสติก ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมไอศครีม

- น้ำกะทิพาสเจอร์ไรซ์ เป็นน้ำกะทิสดที่นำ มาให้ความร้อนระดับต่ำเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์บางส่วน สามารถเก็บได้นาน 4-6 วัน มักบรรจุในถุงพลาสติก ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมแกง บรรจุกระป๋อง และไอศกรีม

- น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง เป็นน้ำกะทิที่ผ่านขบวนการสเตอริไรซ์ ใช้ความร้อนสูงเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์อย่างสมบูรณ์ สามารถเก็บได้นานโดยไม่ต้องเก็บในที่เย็น ส่วนใหญ่ส่งออกไปยังต่างประเทศ

- น้ำกะทิบรรจุกล่องยูเอชที เป็นน้ำกะทิที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูงเวลาสั้น (140-145 องศาเซลเซียส นาน 10-15 วินาที) ส่วนใหญ่จำหน่ายในซุปเปอร์มาเก็ตหรือห้างสรรพสินค้า และส่งออก

- กะทิผง เป็นน้ำกะทิที่นำ มาทำ ให้แห้งเป็นผงละเอียด โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ปัจจุบันยังมีการผลิตไม่มากนัก (อรนุช เจษฎาธรรมสถิต, 23 มิถุนายน 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูป

2.4 กะทิผง

กะทิผงเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่ผลิตจากกะทิสดมาทำให้แห้งเป็นผงโดยวิธีพ่นฝอย (spray dry) แล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท กะทิผงมีลักษณะเป็นผงสีขาวมีกลิ่นและรสเหมือนกะทิสด กะทิผงมีข้อได้เปรียบกะทิน้ำ คือ ลดน้ำหนัก และปริมาตรลงมาก สามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้นาน มีสารอาหารและคุณค่าทางอาหารเท่ากับกะทิสด (ดร.ณรงค์ โฉมเฉลา,2551)

ปัจจุบันกะทิผงยังมีวางจำหน่ายในตลาดไม่มากนัก เนื่องจากกะทิผงยังไม่ค่อยเป็นที่นิยมสำหรับคนไทย จึงยังคงจะแย่งส่วนแบ่งการตลาดของกะทิน้ำสำเร็จรูปได้ไม่ง่าย ในการผลิตจะใช้กะทิสดที่คั้นจากมะพร้าว นำมาผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dry) ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จนกะทิน้ำกลายเป็นกะทิผง สามารถเก็บไว้ใช้ได้นานถึง 2 ปี

เนื่องจากน้ำกะทิโดยธรรมชาติมีปริมาณไขมันสูงกว่านมโคมาก คือเฉลี่ยประมาณร้อยละ 35 ส่วนนมโคมีเพียงประมาณร้อยละ 4 จึงไม่สามารถทำให้แห้งได้เหมือนนมผง ดังนั้นต้องเติมส่วนผสมอื่นด้วยเพื่อให้รวมกับไขมันที่มากเกินไปจึงจะเป็นผงได้

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มาตรฐานกะทิผง

2.5.1 บทนิยาม ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.5.1.1 กะทิผง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกะทิสดมาทำให้แห้งเป็นผงซึ่งเมื่อผสมน้ำแล้วสามารถนำไปใช้ได้ทันที

2.5.1.2 สิ่งแปลกปลอม (foreign matter) หมายถึง วัตถุอื่นใดที่ปนเข้ามาในผลิตภัณฑ์ เช่น เส้นผม เศษดิน กรวดทราย ชิ้นส่วนของแมลง เป็นต้น

2.5.2 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.5.2.1 ต้องมีลักษณะเป็นผงร่วน ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ

2.5.2.2 สี กลิ่นรส และการละลาย กะทิผงต้องมีกลิ่นรสตามธรรมชาติของกะทิผง และละลายได้ดีในน้ำ

2.5.2.3 คุณลักษณะทางเคมี เป็นไปดังตารางที่ 2.4

2.5.2.4 เครื่องหมายและฉลาก

1. ที่ภาชนะบรรจุกะทิผงทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือ เครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) คำว่า “กะทิผง”

(2) ชนิดและปริมาณวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ (ถ้ามี)

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางเคมีของกะทิผง

รายการที่	คุณลักษณะที่ต้องการ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ไขมัน ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	60
2	โปรตีนร้อยละ ไม่น้อยกว่า (ไนโตรเจนทั้งหมด x 6.25)	9
3	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	2
4	กรดไขมันอิสระ (คำนวณเป็นกรดลอริก) ร้อยละ ไม่เกิน	0.9

ที่มา: สมอ. (2528)

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม

(4) วัน เดือน ปีที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) วิธีใช้

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

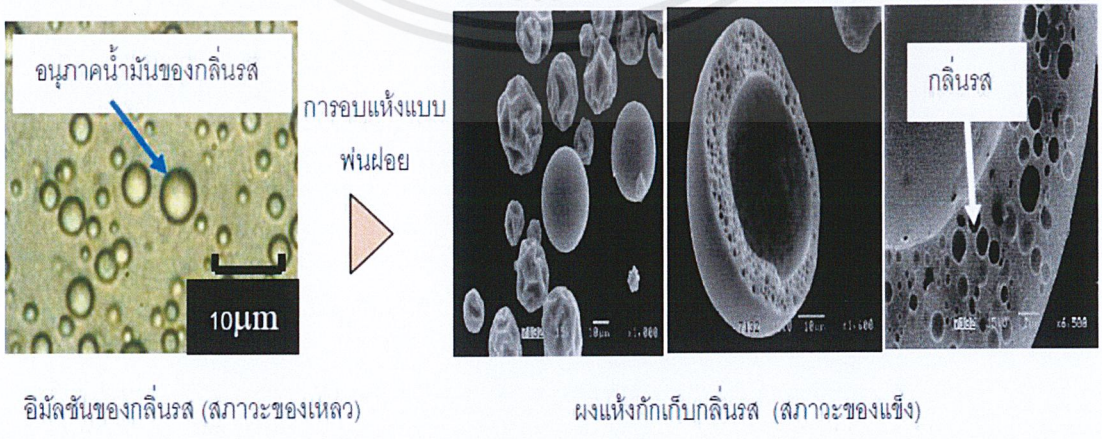
2. ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว (สมอ., 2528)

2.6 Encapsulation

เอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกห่อหุ้มด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกห่อหุ้ม(coated) หรือ ถูกยึดจับไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็น ของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาห่อหุ้มจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating

การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสสามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสที่อาจทำปฏิกิริยากับส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร ลดการเกิดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากสารให้กลิ่นรสทำปฏิกิริยากัน ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากแสงและ/หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยืดอายุการเก็บ รักษาสารให้กลิ่นรส หรือควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหาร (Nedovic et al., 2011)

โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 3 ขั้นตอน (รูปที่ 2.3) โดยขั้นตอนแรกเป็นการเลือกสารที่ใช้เป็นตัวห่อหุ้มขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการเตรียมอิมัลชันของกลิ่นรสในสารละลายของตัวห่อหุ้มนั้น และขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง (อภินันท์ สุทธิธารธวัช, 2552)



รูปที่ 2.4 แนวคิดการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส

ที่มา : อภินันท์ สุทธิธารธวัช , 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการเอนแคปซูเลชันที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรส และความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา

2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลท

1. คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรสได้แก่ โครงสร้างทางเคมี (chemical structure), ความมีขั้ว (polarity) และ ความสามารถในการระเหย (volatility)

2. คุณสมบัติของสารห่อหุ้ม

3. สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลท

2.6.2 ชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลท

สารห่อหุ้มที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่นรส มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง ละลายน้ำได้ดี ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อม เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร มีความสามารถในการสร้างฟิล์ม ถูกทำให้แห้งได้และควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ ชนิดของสารห่อหุ้มอาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภทหลัก คือ (อภินันท์ สุทธิธารธวัช , 2552)

1. สารประเภทคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ sucrose, maltodextrins, modified starch, cyclodextrins เป็นต้น

2. สารประเภทเอสเทอร์หรืออีเทอร์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส เอทิล เซลลูโลส

3. สารประเภทยางหรือกัม (Gum) มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสามารถกักเก็บสารให้ กลิ่นรสได้ดี ได้แก่ acacia, alginate เป็นต้น (Fuchs et al., 2006)

4. สารประเภทไขมัน เช่น waxes, glycerides and phospholipids เป็นต้น

5 . สารประเภทโปรตีน (Protein) จัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (solubility), ความหนืด (viscosity), emulsification และคุณสมบัติของการทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน ระหว่างการเกิดอิมัลชันโมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด stericstabilizing layer ขึ้นทันที จึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน (oil droplets) จากการกลับมารวมตัวอีกครั้ง (recoalescence) ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ได้แก่ milk , gelatine, Whey protein, caseins,gluten เป็นต้น

2.6.3 ขั้นตอนในการทำให้เกิดอิมัลชันของกลิ่นรส

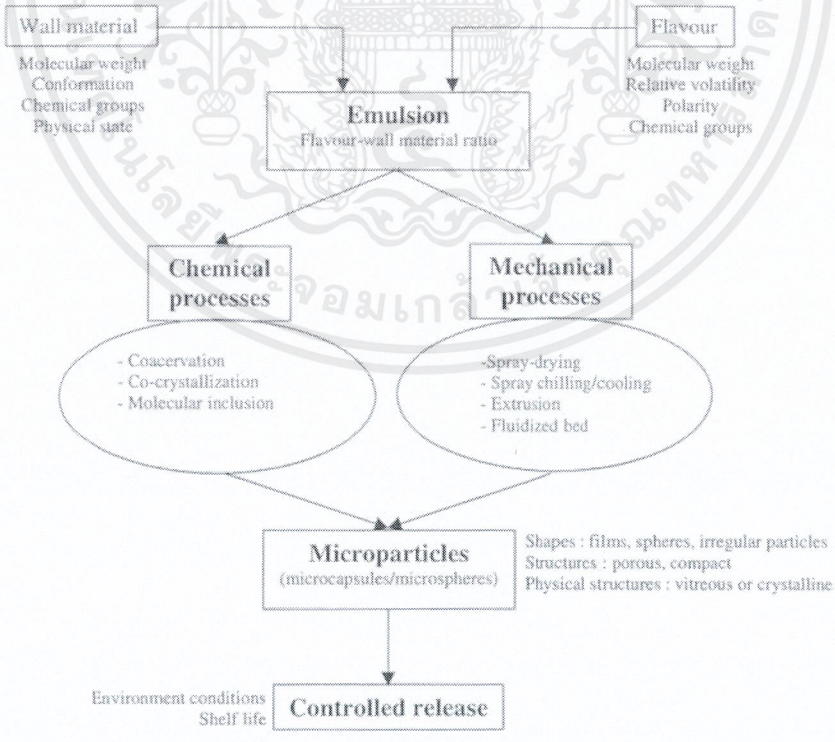
การกระจายอนุภาคของกลิ่นรสให้อยู่ในรูปของอนุภาคขนาดเล็กในสารละลายของสารห่อหุ้มที่ถูกเลือกซึ่งเรียกว่าเป็นสารอิมัลชันของกลิ่นรส ซึ่งเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W อิมัลชัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเป็นสารป้อนสำหรับขั้นตอนของการทำแห้งต่อไป โดยในการทำอิมัลชันกลิ่นและรสจะถูกเติมลงไปในสารละลายของสารห่อหุ้ม และถูกทำให้เป็นอนุภาคขนาดเล็กโดยผ่านการปั่นกวนอย่างรุนแรงโดยเครื่องโฮโมจิไน-เซอร์ ซึ่งขนาดของอนุภาคของกลิ่นรสสามารถควบคุมด้วยสภาวะของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการโฮโมจีไนซ์ โดยคุณสมบัติของอิมัลชันเช่น ขนาดของอนุภาคและความเสถียรของอิมัลชัน จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการกักเก็บกลิ่นรสของผงแห้งเป็นอย่างมาก (อภินันท์ สุทธิธารธวัช, 2552)

2.6.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)

การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสสามารถทำได้หลายวิธี ดังแสดงในตารางที่ 2.5 วิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายใน ระดับอุตสาหกรรมได้แก่ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ เทคนิคอื่นๆเช่น สเปรย์ชิลลิงและคูลลิง (spray chilling and cooling), coacervation, การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟูลอิดไดส์เบด (fluidized bed coating), การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (liposome entrapment), inclusion complexation และเทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) (http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf, 20 มีนาคม 2555)



รูปที่ 2.5 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท

ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf , 20 มีนาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
129285

2.6.4.1 การเอนแคปซูเลทโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical process)

2.6.4.1.1 Coacervation

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้ใช้ปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ซึ่งไปด้วย เฟส 3 เฟส ซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกันได้แก่เฟสต่อเนื่อง (continuous phase) สารที่จะนำมาเอนแคปซูเลท (core material) และเฟสของสารเคลือบ (coating material phase) ดังรูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค coacervation ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่

1. การเกิดอนุภาคหรือหยดของเหลวที่มีขนาดเล็ก
2. การเกิด coacervative wall
3. การแยกไมโครแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย

การเกิด coacervation ทำได้โดย

1. การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ
2. การปรับเปลี่ยน pH

ตารางที่ 2.5 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท

	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 : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf , 20 มีนาคม 2555

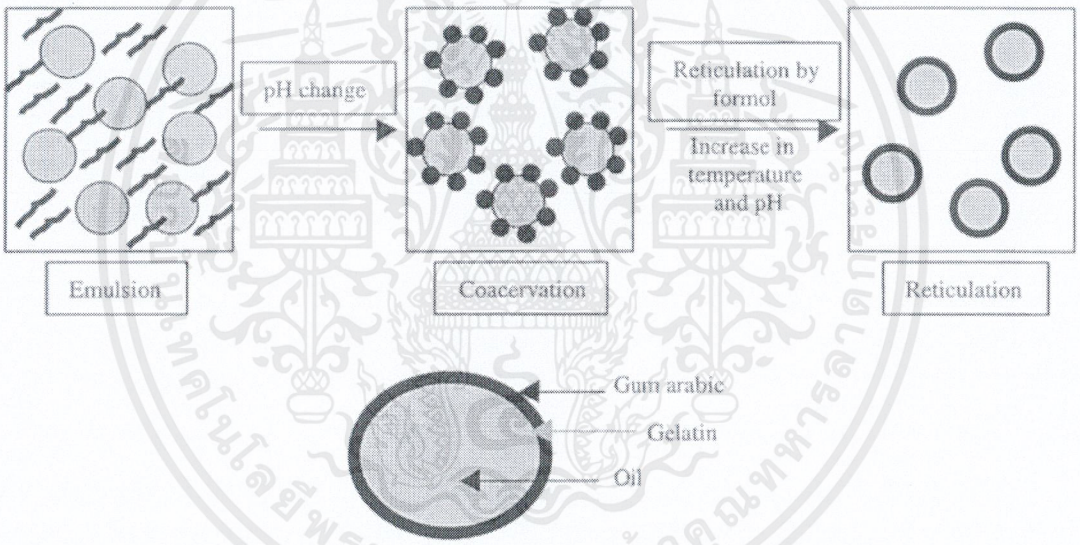
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเติม ionic salt

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้จะต้องทำการควบคุมการผสมเพื่อทำให้สารเคลือบบนผิวของสารแกนกลางสม่ำเสมอ สารเคลือบที่ใช้ได้แก่ เจลาติน

2.6.4.1.2 Co-crystallization

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค co-crystallization เกิดระหว่างการตกผลึกของ ซูโครสไซรัปในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (95-97 °Brix) ที่อุณหภูมิสูง (>120 °C) โดยเติมสารให้กลิ่นรสลงไประหว่างการเกิดผลึก (spontaneous crystallization) ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่มีขนาดเล็กล้อมรอบสารให้กลิ่นรสอยู่ภายในโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้จะมี low hygroscopicity, good flowability และ dispersion properties



รูปที่ 2.6 หลักการของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค complex coacervation

ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf , 20 มีนาคม 2555

2.6.4.1.3 การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (Liposome entrapment)

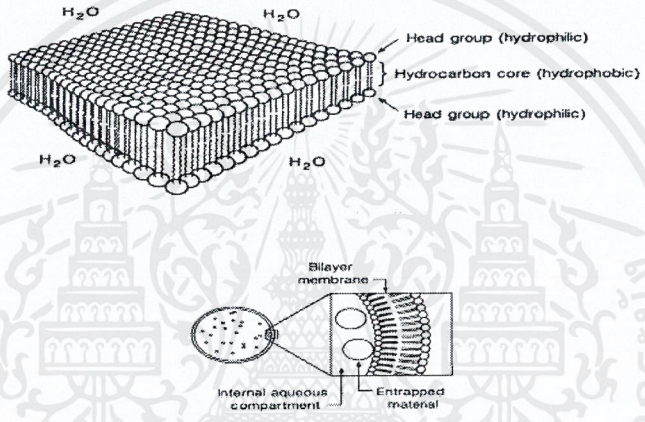
วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตยา (pharmaceutical industry) ปัจจุบันได้ มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ (aqueous phase) ล้อมรอบโดยเมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (phospholipid – base membrane) เมื่อฟอสโฟไลปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำจะเกิดการ form เป็นไลโปโซมโดยอัตโนมัติ ไลโปโซมสามารถใช้ในการหุ้มสารที่ละลายได้ในน้ำหรือในไขมันไว้ภายใน มีลักษณะดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4.2 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical processes)

2.6.4.2.1 การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด (Fluidized bed coating หรือ Air suspension coating)

เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็งโดยอนุภาคที่ต้องการเคลือบผิวจะ เคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ภายในห้องอบแห้งด้วย ความเร็วสูง ในขณะเดียวกันตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะถูกฟีดผ่านหัวฉีดและพ่นเป็นละอองฝอยไปยังกระแสของอนุภาค (particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาค ดังรูปที่ 2.7 ความหนาของสารเคลือบผิวควบคุมได้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ lipid bilayer matrix

ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf , 20 มีนาคม 2555

โดยควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่ อยู่ภายในห้องอบแห้ง โดยการเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด ประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน

1. อนุภาคที่ต้องการเคลือบจะถูกทำให้ลอยตัว (fluidized) อยู่ในกระแสอากาศร้อน ภายในห้องอบแห้ง

2. สารเคลือบจะถูกพ่นฝอยผ่านหัวฉีดไปยังอนุภาคที่ต้องการเคลือบซึ่งจะทำให้เกิด ฟิล์มรอบๆอนุภาค

3. หยดเล็กๆของสารเคลือบจะกระจายและสะสมอยู่บนผิวของอนุภาคจากนั้นตัวทำละลายหรือส่วนผสมของตัวทำละลายจะระเหยออกจากผิวของอนุภาคโดยอากาศ ร้อนและสารเคลือบจะเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาค

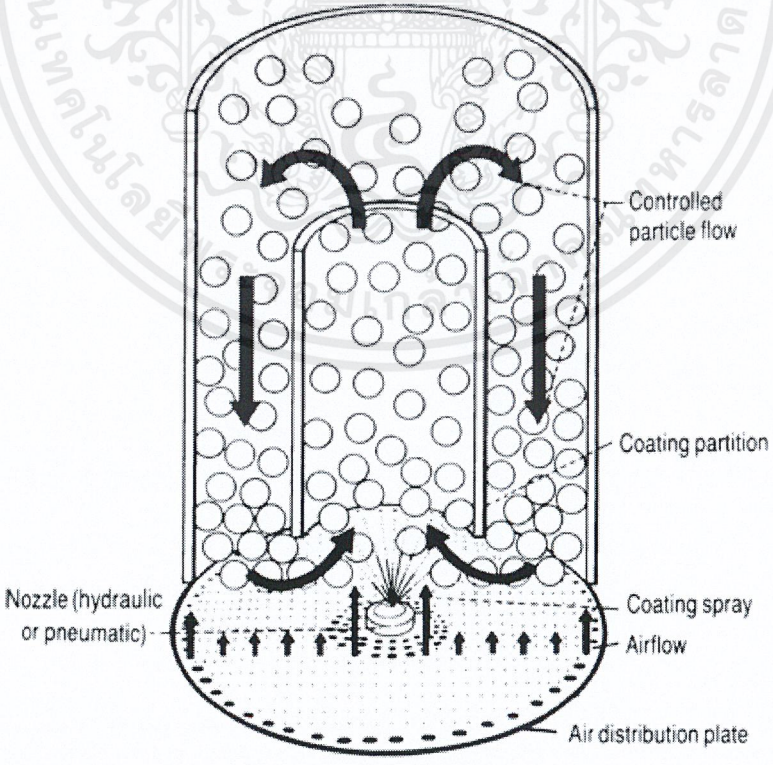
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคนี้จะขึ้นกับหัวฉีดที่ใช้ในการสเปรย์สารเคลือบไปยังอนุภาคของสารให้กลิ่นรสที่เคลื่อนที่อยู่ในกระแสอากาศร้อนระหว่างกระบวนการฟูลอิดไดส์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วง 0.3-10 มิลลิเมตร

2.6.4.2.2 เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถประยุกต์ใช้ ในการเอน-แคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่ไวต่อความร้อน การเอนแคปซูเลทจะเกิดระหว่าง ขั้นตอนการแช่เยือกแข็งโดยขณะที่น้ำในสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็ง สารละลายในส่วนที่น้ำยังไม่แข็งตัว (non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยชะลอการแพร่ของสารให้กลิ่นรส เมื่อปริมาณผลึกน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้นสารละลายที่มีสารให้กลิ่นรสละลายอยู่จะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดและเริ่มตกผลึกโดยจับสารให้กลิ่นรสไว้ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูป amorphous solid

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง ซึ่งพบว่าสูงกว่าเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประมาณ 50 เท่า เนื่องจากค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ ค่อนข้างสูง รวมถึงระยะเวลาการผลิตจะนานกว่าการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคอื่น



รูปที่ 2.8 การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด

ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf , 20 มีนาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4.2.3 สเปรย์ชิลลิง (Spray chilling)

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิง จะมีสารแกนกลางจะกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ และทำการฟีดของ ผสมที่ได้ผ่านหัวฉีด (atomizer) เพื่อพ่นให้เป็นละอองฝอย วิธีการนี้จะทำให้สารเคลือบเกิดการแข็งตัวรอบๆ ผิวของสารแกนกลางเนื่องของผสมระหว่างสารแกนกลางและสารเคลือบจะถูกฉีดพ่นไปยังอากาศเย็น (cool or chill air) โดยสารที่ใช้ในการเคลือบจะเป็นสารพวก fractionated หรือ hydrogenated vegetable oil ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32 – 42 °C สำหรับเทคนิคนี้จะนิยมใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส วิตามิน เกลือแร่ (mineral) เนื่องจากสามารถเลือกจุดหลอมเหลวของสารเคลือบทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อย (control release) สารแกนกลางได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery products), ซุปผง (dry soup mixes) และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของไขมันสูง

2.6.4.2.4 เอกซ์ทรูชัน (Extrusion)

การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคเอกซ์ทรูชันสามารถใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ง่าย สารเคลือบที่ใช้จะอยู่ในรูปของมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว ส่วนตัวของสารให้กลิ่นรสจะการกระจายอยู่ในมวลของคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว โดยส่วนผสมจะถูกบังคับให้เคลื่อนผ่านหัวไดล์ (die) ไปยังของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออก (dehydrating liquid) ซึ่งจะทำให้สารเคลือบเกิดการแข็งตัวและจับสารแกนกลางไว้ภายใน ของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ isopropyl alcohol ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นซึ่งมีความแข็ง ต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แตกเป็น ชิ้นเล็กๆ และทำให้แห้งข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคเอกซ์ทรูชัน คือ สามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสให้มี

2.7 การทำแห้ง (Drying)

การทำแห้ง (Drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพื่อรักษาผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้ง ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity, a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บได้ที่ความชื้น 15-20 % แต่ถ้าเป็นเมล็ดธัญพืชเก็บที่ความชื้นนี้จะเกิดราได้ วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งคือ การลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยให้การขนส่งและเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวัตถุประสงค์สุดท้ายของการทำแห้งเพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้บริโภค (รุ่งนภา, 2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งเป็นกระบวนการไล่ความชื้นออกจากวัสดุโดยการระเหย โดยทั่วไปจะอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและความชื้น การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุและการถ่ายเทความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศจะเกิดขึ้นพร้อมๆกัน ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนและความชื้นจะช้าหรือเร็วเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของกระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง การอบแห้งจะช่วยให้เก็บรักษาวัสดุได้นานและเป็นการป้องกันการเสียหายของวัสดุ เนื่องจากการทำลายของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปมักจะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็ว และได้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำตามต้องการ (อิทธิพล และคณะ, 2550)

1. อัตราการทำแห้ง (Drying Rate)

ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา) ถ้าอาหารมีเนื้อโปร่ง การเคลื่อนที่เป็นการไหลแบบผ่านช่องแคบ (Capillary Flow) น้ำเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้ที่ผิวอาหารเปียกชุ่มไปด้วยน้ำ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ จึงเรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ต่อมาเมื่อการไหลผ่านช่องแคบหมดไป น้ำต้องแพร่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนน้ำที่ผิวไม่เพียงพอผิวอาหารจึงแห้ง การระเหยเกิดขึ้นช้าลงอัตราการทำแห้งจึงลดลง เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง อาหารที่มีเนื้อแน่นน้ำภายในอาหารจะเคลื่อนที่ได้ช้าจึงมีเฉพาะช่วงอัตราการทำแห้งลดลง การทำแห้งจะสิ้นสุดเมื่อความชื้นอากาศในเตาสมดุลกับความชื้นของอาหารหรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของอาหารคูณ 100 และเรียกความชื้นของอาหารขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล

การอบแห้ง เป็นการวัดความสามารถในการระเหยน้ำต่อเวลาหรือพื้นที่โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

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

2.ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

การทำแห้งคือ การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่อการทำแห้ง ได้แก่

2.1 ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่ง การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารจะเป็นแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลกับพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่นอาหารที่มีรูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมาทับถมกันการระเหยจะเกิดขึ้นได้ที่ผิวสัมผัสกับอากาศ ซึ่งทำให้เกิดขึ้นได้ช้าๆทั้งๆที่พื้นที่ต่อน้ำหนักมาก

2.3 ตำแหน่งของอาหารในเตา

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำสามารถระเหยได้ดีกว่า

2.4 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity , RH)

ความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนกับอาหารมีผลต่อแรงขับดันความชื้นออกจากอาหาร ในการอบแห้งด้วยลมร้อนยิ่งมีความชื้นต่ำ อัตราการทำแห้งยิ่งสูง แต่ถ้าลมร้อนมีความชื้นเข้าใกล้จุดอิ่มตัวจะรับไอน้ำได้น้อย อัตราการทำแห้งจะต่ำ ความชื้นของอากาศจะเป็นตัวกำหนดว่าสามารถลดความชื้นของอาหารในกระบวนการอบแห้งให้ต่ำลงได้เท่าไหร่ อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อย

2.5 อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นซึ่งมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง

2.6 ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปจากอาหาร เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจะเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น นอกจากความเร็วลมยังทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสกับอาหารได้ดีขึ้น

3. ประโยชน์ของการทำแห้ง

- ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมี และเอนไซม์
- เป็นการถนอมอาหารทำให้เก็บได้นานขึ้น และมีใช้ในยามขาดแคลน
- สามารถลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษา และขนส่ง
- เปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นของกระบวนการแปรรูปอื่นๆต่อไป
- ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความหลากหลาย
- เพิ่มความสะดวกในการใช้ให้แก่ผู้บริโภค

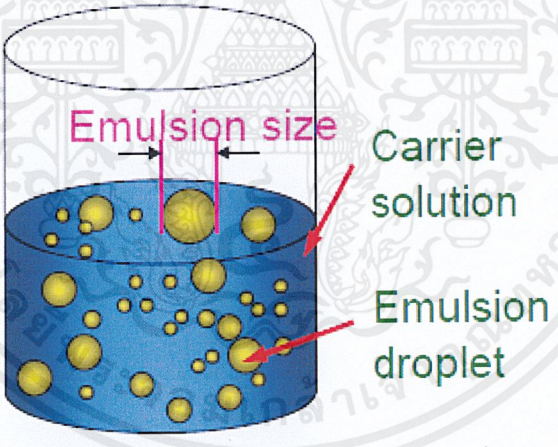
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลทที่ใช้กันอย่างแพร่หลายใน อุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส โดย 80 - 90 % ของการเอนแคปซูเลทจะใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Nedovic et al.,2011) เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่าย และ ต้นทุนการผลิตโดยวิธีการนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย

1. การนำตัวกลางที่ใช้ในการห่อหุ้ม (carrier หรือ wall material) เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), สตาร์ชดัดแปร (modified starch) กัม หรือ ส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ

2. จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูเลทมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการห่อหุ้ม (carrier solution) โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารห่อหุ้มและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ ไปผ่านกระบวนการ โฮโมจิไนซ์ (homogenize) เพื่อให้เกิดหยดของสารให้กลิ่นรสในสารละลาย ในขั้นตอนนี้เป็นการทำให้เกิดอิมัลชันระหว่างสารให้กลิ่นรสและสารห่อหุ้ม



รูปที่ 2.9 การเกิดอิมัลชันของสารละลายระหว่างสารให้กลิ่นรสและสารห่อหุ้ม

ที่ ม า : http://www.nanotec.or.th/fckeditor/FCKeditor/UserFiles/Encapsulation%20technology%20in%20Food%20Industry%20new.pdf , 20 มีนาคม 2555

3. ป้อนอิมัลชันของกลิ่นรสผ่านเครื่องกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยคือการเปลี่ยนแปลงของเหลวซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสารละลายหรืออิมัลชันหรือของผสมระหว่างของเหลวกับของแข็งกลายเป็นผงอนุภาคแห้ง ของเหลวที่ป้อนเข้าจะถูกทำให้เป็นละอองกลายเป็นหยดเล็กๆซึ่งมีขนาดตั้งแต่ระดับสิบไมโครเมตรถึงระดับหลายร้อยไมโครเมตรโดยถูกทำให้แห้งเป็นผงโดยสัมผัสกับอากาศร้อน ทำให้แห้งอย่างรวดเร็วหยดละอองของเหลวสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้แห้งได้ในเวลาอันสั้นประมาณ 5 ถึง 30 วินาที โดยสามารถทำให้เกิดผงอนุภาคทรงกลมได้โดยตรงจากสารละลายหรือสารผสมของเหลวที่เตรียมไว้ ดังนั้นการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะถูกประยุกต์กับอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นผง และใช้ร่วมกับกระบวนการขนส่งอาศัยอากาศจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เครื่องพ่นฝอยแบบแห้งโดยทั่วไปประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ป้อนสาร อุปกรณ์ที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นละอองหรือหัวฉีด เครื่องให้ความร้อนกับอากาศ เครื่องป้อนอากาศ หออบแห้ง ระบบฟอกอากาศให้สะอาด และอุปกรณ์เก็บผงอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งหัวฉีดที่ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

- หัวฉีดแบบหมุน (Rotary Atomizer) ของเหลวที่สามารถใช้ได้อาจเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่ก็ได้ ลักษณะหัวฉีดคล้ายจานหมุน อาหารจะถูกส่งไปยังศูนย์กลางของวงล้อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้อาหารเหลวกระจายเป็นแผ่นบางๆบนผิวของวงล้อแล้วถูกเหวี่ยงออกจากจานหมุนเป็นละอองฝอยขนาดเล็กมากตั้งแต่ 30-120 μm ประสิทธิภาพหัวฉีดแบบนี้จะขึ้นอยู่กับของเหลวที่นำมาอบแห้ง เช่น ความเข้มข้น ความหนืด อุณหภูมิของของเหลว เป็นต้น

- หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure Nozzle) เป็นหัวฉีดที่ใช้สำหรับการอบแห้งที่มีกำลังการผลิตมากๆ จะให้ละอองของเหลวที่มีรูปร่างสม่ำเสมอกว่าหัวฉีดแบบ Two-Fluid Nozzle ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูงมากภายใต้ความดัน ขนาดของอนุภาคที่ได้มีตั้งแต่ 120-250 μm ขึ้นกับความดันและขนาดของหัวฉีด เหมาะสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง

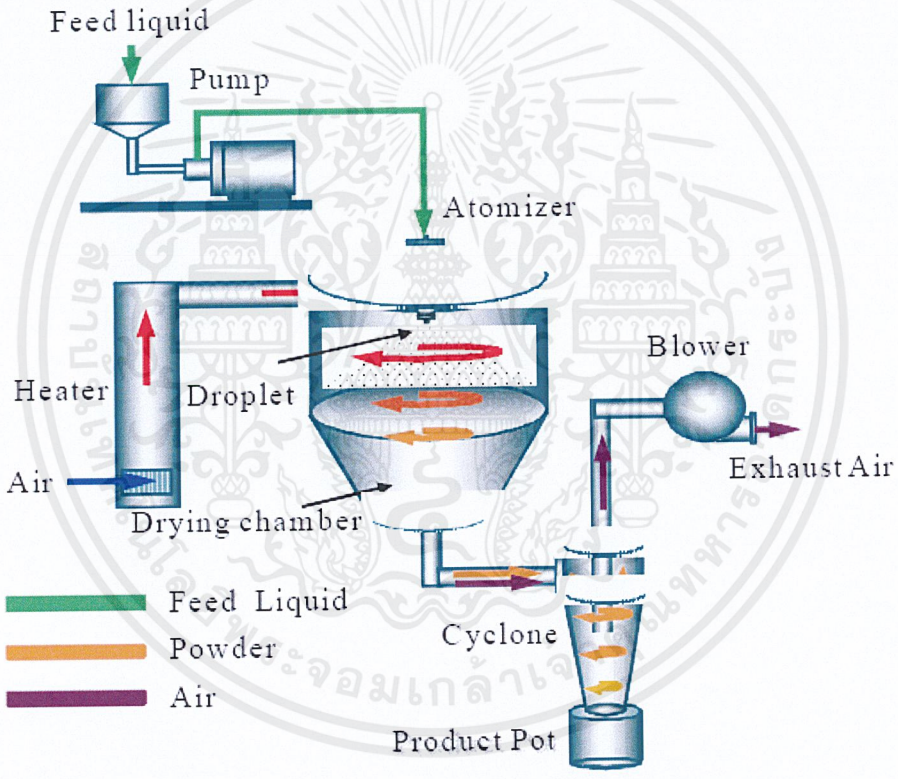
- หัวฉีดแบบ (Two-Fluid Nozzle) เป็นหัวฉีดที่ใช้สำหรับการอบแห้งที่ต้องการอัตราอบแห้งต่ำๆ ของเหลวจะกลายเป็นละอองฝอยเนื่องจากถูกอัดด้วยอากาศภายใต้ความดัน หัวฉีดแบบนี้ประกอบด้วยทางเข้าของอากาศและทางเข้าของของเหลว ของเหลวจะถูกพ่นออกมาเป็นลำเล็กๆ เมื่อกระทบกับอากาศที่มีความดันสูงจะทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละออง ความดันที่ใช้ประมาณ 5-60 lb/in^2

2.8.1 ทฤษฎีและกลไกการกักเก็บกลิ่นรสโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย

สำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอยของเหลวที่เป็นอิมัลชันกลิ่นรส ปริมาณของกลิ่นรสที่กักเก็บอยู่ในผงอนุภาคเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตผงอนุภาคควบคู่กับปริมาณน้ำที่ลดลงอย่างมาก ระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งถูกคาดว่าน่าจะทำให้ปริมาณกลิ่นรส ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของน้ำมันหอมระเหยหายไปเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่หายไป ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าของการกลายเป็นไอสูงกว่าน้ำมาก แต่อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยนี้สามารถกักเก็บปริมาณกลิ่นรส (น้ำมันหอมระเหย) ได้เป็นสัดส่วนปริมาณมากเมื่อเทียบกับน้ำซึ่งจะเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของผงแห้งกักเก็บกลิ่นทั้งหมดเท่านั้น การที่กลิ่นรสถูกกักเก็บในอนุภาคในสัดส่วนที่มากกว่าน้ำเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น สามารถอธิบายได้โดย “ทฤษฎีการแพร่แบบเลือกผ่าน” (Selective Diffusion Theory) คือ ปริมาณของน้ำที่ลดลงบริเวณพื้นผิวของละอองอนุภาคระหว่างการอบแห้งนั้นจะทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของน้ำมันหอมระเหยลดลงหลายเท่าตัวเมื่อเทียบกับตอนที่เริ่มต้นก่อนการอบแห้ง และมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับน้ำในสภาวะเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ระหว่างการอบแห้งนั้น ปริมาณน้ำจะแพร่ผ่านและระเหยไปด้วยอัตราและปริมาณที่มากกว่าน้ำมันหอมระเหย โดยเฉพาะในสภาวะที่น้ำหายไปเป็นจำนวนมากและอย่างรวดเร็ว ดังนั้นพื้นผิวที่แห้งของละออง อนุภาคทำหน้าที่คล้ายกับเป็นตัวแยกการแพร่ผ่านที่ยอมให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่าน แต่ไม่ยอมให้



รูปที่ 2.10 ระบบการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : อภินันท์ สุทธิธารธวัช, 2552

น้ำมันหอมระเหยแพร่ผ่านออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.10 กล่าวคือสารห่อหุ้มที่อยู่ในเฟสน้ำในอิมัลชันของสายป้อน เมื่อปริมาณน้ำลดลงจะทำให้อุณหภูมิของสภาวะที่คล้ายแก้วเพิ่มขึ้น และทำให้ได้โครงสร้างอสัณฐานซึ่งไม่ยอมให้สารอินทรีย์ (กลิ่นรส) ซึมผ่านไปได้ แต่ยอมให้น้ำซึมผ่านไปได้ และปริมาณน้ำที่ผิวของละอองอนุภาคลดลงระหว่างอบแห้งแบบพ่นฝอย ปริมาณของกลิ่นรสก็มีแนวโน้มลดลงตามด้วย การกักเก็บกลิ่นรสระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม

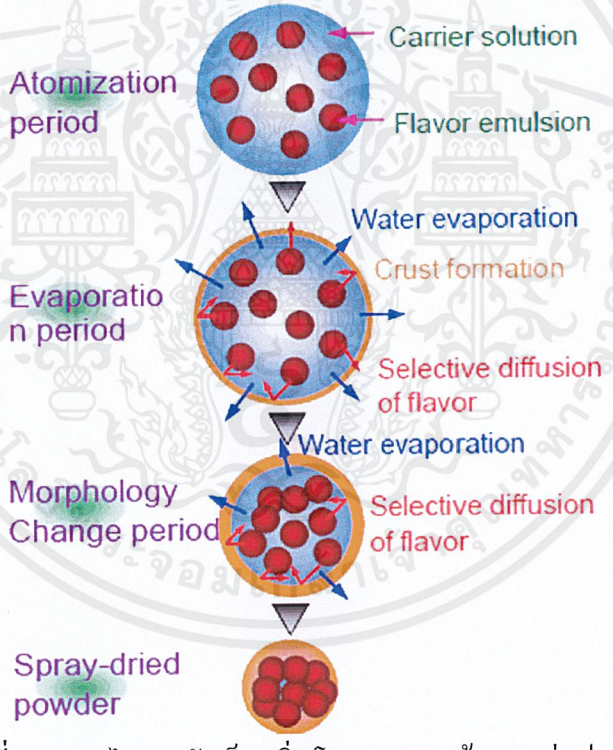
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแข็งในสารที่ป้อนเข้า อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า อัตราการไหลของอากาศร้อน และลดปริมาณความชื้นของอากาศ ซึ่งเงื่อนไขทั้งหมดจะทำให้เกิดผิวแห้งที่ผิวของละอองอนุภาคมีประสิทธิภาพดีขึ้น (อภินันท์ สุทธิธารธวัช, 2552)

2.8.2 การสูญเสียกลิ่นรสระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอย

- ช่วงระหว่างการพ่นฝอย

การสูญเสียช่วงแรกเกิดขึ้นในระหว่างการพ่นฝอย เนื่องจากมีแรงเฉือนจากการทำให้เป็นละอองเล็กๆมากระทำกับอิมัลชันกลิ่นรส ทำให้อนุภาคนั้นถูกทำลายไป และนอกจากแรงเฉือนแล้วยังมีการปั่นป่วนอย่างรุนแรงเกิดขึ้นภายในละอองทำให้กลิ่นรสสูญเสียไปกับน้ำปริมาณมาก เนื่องจากผิวภายนอกของอิมัลชันยังไม่กลายเป็นเยื่อหุ้มที่ทำหน้าที่เลือกผ่านของกลิ่นรส



รูปที่ 2.11 กลไกการกักเก็บกลิ่นโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่ ม า : http://www.nanotec.or.th/fckeditor/FCKeditor/UserFiles/Encapsulation%20technology%20in%20Food%20Industry%20new.pdf , 20 มีนาคม 2555

- ช่วงของการเป็นรูปร่างของผงอนุภาค ก่อนที่อุณหภูมิของละอองจะถึงจุดเดือดของน้ำ

ในช่วงนี้เป็นช่วงที่สารห่อหุ้มรอบๆกลิ่นรสเริ่มแห้ง ซึ่งสารห่อหุ้มนี้จะทำหน้าที่ยับยั้งการแพร่ผ่านของกลิ่นรสตามทฤษฎีการแพร่แบบเลือกผ่าน ในขณะที่สารห่อหุ้มยังไม่แห้งหรือยังไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเยื่อเลือกผ่านที่สมบูรณ์จะทำให้เกิดการสูญเสียของกลิ่นรส เนื่องจากยังไม่มีตัวยับยั้งการแพร่ผ่านของกลิ่นรส แต่หากเยื่อเลือกผ่านมีรูปร่างที่สมบูรณ์ อัตราของการสูญเสียก็จะลดลง

- ช่วงของการเปลี่ยนรูปร่างของอนุภาคที่เริ่มแห้ง

การสูญเสียในช่วงนี้เกิดจาก อุณหภูมิภายในของละอองอนุภาคสูงขึ้นและสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ ทำให้น้ำที่อยู่ภายในเกิดการกลายเป็นไอแต่ไม่สามารถผ่านหนี ออกจากละอองอนุภาคได้เนื่องจากผิวของอนุภาคที่เริ่มแห้งทำให้ไอน้ำระเหยออกได้ลดลง ไอของไอน้ำจึงรวมตัวกันกลายเป็นฟองอากาศภายในอนุภาคและมีแรงดันทำให้อนุภาคมีการขยายตัวมีผลให้อนุภาคมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งแรงดันนี้จะทำให้อนุภาคมีการพองตัวและแตกในที่สุดอาจทำให้อนุภาคมีการบิดเบี้ยวขึ้น และทำให้ปริมาณของกลิ่นรสที่อยู่ข้างในสูญเสียตามไปด้วย โดยลักษณะของการขยายตัวและแตกออกของอนุภาคนี้ไม่ได้เกิดขึ้นเพียงรอบเดียวแต่สามารถเกิดซ้ำไปซ้ำมาจนกระทั่งผิวของอนุภาคแห้งและไม่สามารถขยายตัวออกไปได้

2.8.3 ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. ต้นทุนการผลิตต่ำ

2. เครื่องมือที่ใช้สามารถหาได้ง่าย

3. สามารถปกป้องสารแกนกลาง ได้เป็นอย่างดี และ สามารถเลือกใช้ตัวกลางในการ เคลือบได้หลายชนิด

2.8.4 ข้อด้อยของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. อาจเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

2. อาจมีสารแกนกลางติดที่ผิวของไมโครแคปซูลซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ที่ได้

3. การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่ละเอียดมากโดยทั่วไปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ในช่วง 10-100 ไมครอน ซึ่งอาจจะต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการ agglomeration โดยใช้ fluidized bed process เพื่อทำให้อนุภาคที่ผ่านการเอนแคปซูเลทสามารถละลายได้ทันที หรือ ละลายได้ง่ายขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในรูปของเหลว (Fuchs et al.,2006)

2.8.5 ปัจจัยที่สำคัญในการกักเก็บสารให้กลิ่นรส โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ ของ สารแกนกลางและสารเคลือบ

2. อุณหภูมิที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง

3. คุณสมบัติของสารเคลือบเช่น คุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียร ความสามารถในการ ทำให้เกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวของสารแกนกลาง และมีความ หนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 วัตถุเจือปนที่เลือกใช้

2.9.1 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

ทำหน้าที่รักษาส่วนผสมของสารที่รวมตัวกัน เช่น น้ำและน้ำมันในอาหาร ให้มีความสม่ำเสมอ เช่น ความหนืด ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏให้มีคุณภาพคงที่ อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งรวมถึงสารประกอบฟอสฟอลิปิด (phospholipids) ที่ได้จากถั่วเหลือง และไข่แดง และกัมชนิดต่างๆ เป็นต้น

- อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งมักจะเตรียมจากโพลีออล (polyols) และกรดไขมัน เป็นต้น

2.9.2 สารช่วยทำแห้ง

สารช่วยทำแห้ง เป็นสารที่ถูกใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อลดการเหนียวติดผนังของห้องอบแห้ง และมีการไหลของอนุภาคผงได้อย่างอิสระมากขึ้น สามารถแบ่งตามลักษณะหน้าที่ออกเป็น 4 แบบ คือ สารช่วยดูดซับความชื้น สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มปริมาณ ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง ที่เติมลงไปในสารป้อนก่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมอาหารมักใช้มอลโตเด็กซ์ตริน (จีระนันท์, 2552)

ตารางที่ 2.6 ชนิดและตัวอย่างของสารช่วยทำแห้ง

ชนิดสารช่วยทำแห้ง	ตัวอย่าง
สารช่วยดูดซับ	Aerosol, avicel, Ph102
สารเพิ่มความยืดหยุ่น	Polyethylene glycol 400(PEG400)
สารเพิ่มความคงตัว	Polyvinylpyrrolidone (PVP K30) Polyvinyl (PVA), Arabic gum, Pectin
สารเพิ่มปริมาณ	Lactose, maltodextrin, Magnesium stearate

2.10 อิมัลชัน (Emulsion)

ระบบอิมัลชันของ ของเหลว-ของเหลว แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังรูปที่ 2.11 คือ อิมัลชันน้ำมันในน้ำ (O/W) เช่น นม น้ำกะทิ และอิมัลชันน้ำในน้ำมัน (W/O) เช่น มาร์การีน อิมัลชันที่กล่าวมานี้ยังเป็นอิมัลชันแบบง่าย ส่วนอิมัลชันที่มีการซับซ้อนมักพบในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม ไส้กรอก และเค้ก เป็นต้น การเรียกชื่ออิมัลชันจะเรียกเฟสที่มีน้อยก่อนแล้วตามด้วยเฟสที่มีมาก เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นมมีปริมาณน้ำมากกว่าน้ำมัน จึงเรียกว่าเป็นอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดของอิมัลชัน ได้แก่ ชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์ สัดส่วนของสารทั้งสองชนิด และวิธีการเตรียม (ปรัชญา, 2543)

2.10.1 ความคงตัวของอิมัลชัน

การจะทำให้อิมัลชันอยู่ตัวนั้นต้องเติมสารบางอย่างลงไป เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคของน้ำมันมาจับตัวกัน สารประเภทนี้เรียกว่า อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) โดยสารชนิดนี้จะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของสารอิมัลชัน และเป็นเปลือกหุ้มรอบๆอนุภาคน้ำมันเพื่อป้องกันการรวมตัวกัน สารอิมัลซิไฟเออร์มีอยู่หลายชนิดแบ่งออกเป็นที่ได้จากธรรมชาติ เช่น โปรตีน ฟอสโฟลิปิด และสเตอรอล สำหรับสารที่ได้จากการสังเคราะห์ได้แก่ เอสเทอร์ของกลีเซอรอล โพรพิลีนไกลคอลเซลลูโลส อีเทอร์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น การทำให้อิมัลชันอยู่ตัวได้นานมักเติมสารที่มีความหนืดสูงลงไป โดยสารพวกนี้เรียกว่าสารช่วยให้คงตัว (Stabilizer)

รูปที่ 2.12 ประเภทของอิมัลชัน

2.10.2 สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารซึ่งมีทั้งกลุ่มที่มีขั้ว (polar group) และไม่มีขั้ว (nonpolar group) อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน กลุ่มที่มีขั้วได้แก่ -COOH, -CHO, -OH กลุ่มเหล่านี้รวมกับน้ำได้ดีเรียกว่า hydrophilic มีสัญลักษณ์เป็นหัววงกลม กลุ่มที่ไม่มีขั้วได้แก่กลุ่มที่เป็นสายของอะตอมไฮโดรเจนและคาร์บอน (hydrocarbon chain) มีสัญลักษณ์เป็นหางหยัก ๆ ส่วนนี้รวมกับน้ำมันได้ดี แต่ไม่รวมกับน้ำ เรียกว่า lipophilic หรือ hydrophobic (ปิติกานต์, 2548) ทำหน้าที่รักษาส่วนผสมของสารที่รวมตัวกัน เช่น น้ำและน้ำมันในอาหาร ให้มีความสม่ำเสมอ เช่น ความหนืด ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏให้มีคุณภาพคงที่ อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งรวมถึงสารประกอบฟอสฟอลิปิด (phospholipids) ที่ได้จากถั่วเหลือง และไข่แดง และกัมชนิดต่างๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งมักจะเตรียมจากโพลีออล (polyols) และกรดไขมัน เป็นต้น (Codex General Standard for Food Additives: Codex stand 192-1995)

การใช้ส่วนผสมของสารอิมัลซิไฟเออร์ เช่น ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ 2 ตัวผสมกัน โดยอิมัลซิไฟเออร์ตัวหนึ่งละลายได้ดีในน้ำและอีกตัวหนึ่งละลายได้ดีในน้ำมัน มักทำ ให้อิมัลชันมีความคงตัวดีกว่าการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ตัวเดียวที่ความเข้มข้นเท่ากัน

2.11 Glass Transition

ผลิตภัณฑ์ผงในสถานะของแข็งประกอบด้วยบริเวณที่เป็นผลึก หรืออสัณฐาน ซึ่งปริมาณของทั้งสองบริเวณนี้ขึ้นกับความสามารถในการจัดเรียงตัวของว่าเป็นระเบียบหรือไม่ สมบัติทางความร้อนของอาหารผงที่สำคัญ คือ อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (melting point temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ส่วนที่เป็นผลึกเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว คล้ายกับการหลอมเหลวของผลึกของแข็งโมดลกุลเล็กชนิดอื่น สมบัติทางความร้อนที่สำคัญละเป็นเอกลักษณ์ของวัสดุอาหาร คือ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับอาหารผงโดยไม่เปลี่ยนสถานะ (ยังคงอยู่ในสถานะของแข็ง) แต่เกี่ยวข้องกับการได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า อาหารผงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ยากมาก (เปรียบเหมือนถูกแช่แข็งไว้) จึงจัดเป็นของแข็งในสถานะคล้ายแก้ว (glassy state) ซึ่งค่อนข้างแข็งแต่เปราะ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นโมเลกุลจะได้รับพลังงานมากขึ้น จนถึงอุณหภูมิเฉพาะของอาหารผงแต่ละชนิด จะรับพลังงานมากพอที่จะทำให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น จัดเป็นของแข็งสถานะคล้ายยาง (rubbery state)

Glass Transition temperature (T_g) เป็นลักษณะคุณสมบัติของวัสดุอสัณฐาน (amorphous) สำหรับอาหารจะสามารถอธิบายได้จากความเหนียว ความเปราะของผลิตภัณฑ์ผงระหว่างเก็บรักษาหรือระหว่างกระบวนการผลิต อาหารผงส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอสัณฐานของน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ตัวอย่างเช่น นมผงที่มีแลกโตสร่วมกับโปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ วัสดุอสัณฐานจะพิจารณาจากหลักทางความร้อน (Xiao, 2008)

2.12 โฮโมจีไนเซชัน (Homogenization)

หลักการคือ การให้ของไหลผ่านช่องแคบที่บางมากด้วยความดันและความเร็วสูง ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างผิวหน้าต่างๆ ของวาล์วขณะที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านช่องเล็กๆด้วยความเร็วสูง สำหรับขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์จะเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเร็วของอนุภาคในแต่ละจุดซึ่งมีความเร็วไม่เท่ากัน โดยความแตกต่างของความเร็วนี้ทำให้ของแข็งมีการบดซึ่งกันและกันด้วยแรงเฉือน จึงทำให้อนุภาคมีขนาดเล็ก (ปรัชญา, 2543)

กลไกการแตกหรือปรากฏการณ์กาทำให้อนุภาคแตก (Disruption Phenomena) มีดังนี้

1. กลไกการเฉือนในการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลนท์

การไหลทุกชนิดจะมีแรงเสียดทานเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงเฉือน (Shearing Stress) ต่ออนุภาค โดยในการไหลแบบลามินาร์แรงเฉือนนี้จะทำให้ของไหลมีลักษณะหนืด แต่สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนท์พบว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นนี้เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดการแตกของอนุภาค

2. Cavitation

เมื่อความดันในระบบต่ำกว่าความดันไอของของเหลวจะเกิดฟองของไอ (Vapor Bubble) ซึ่งฟองไอเหล่านี้จะแตกในบริเวณที่มีความดัน ณ ตำแหน่งใกล้เคียงที่สูงกว่า ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Cavitation การเกิด Cavitation มีผลทำให้อนุภาคแตกมากขึ้น และทำให้กระบวนการโฮโมจีไนเซชันมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.13.1 คุณสมบัติของกะทิ

Ampawan Tansakul และ **Pawinee Chaisawang (2006)** ได้ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำกะทิ โดยความสามารถในการนำความร้อน และความร้อนจำเพาะของน้ำกะทิ วัดโดย Thermal Conductivity Probe Apparatus และ Differential Scanning Calorimeter (DSC) ตามลำดับ ความสามารถในการแพร่ความร้อนของน้ำกะทิจะคำนวณจากผลการทดลองของความสามารถในการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ และความหนาแน่น ค่าความสามารถในการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น และค่าความสามารถในการแพร่กระจายความร้อนของน้ำกะทิตัวอย่าง โดยน้ำกะทิตัวอย่างมีปริมาณไขมัน 20-30% ที่ 60-80 ºC โดยจะได้ค่าต่างๆอยู่ในช่วง 0.425-0.590 W/m ºC, 3.277-3.711 kJ/kg ºC , 969.00-983.05 kg/m^3 และ 1.325-1.634×10^{-7} m^2/s ตามลำดับ Empirical model ของแต่ละคุณสมบัติจะเป็นฟังก์ชันของปริมาณไขมันและอุณหภูมิของน้ำกะทิที่ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 Encapsulation

Nedovic et al.(2011) ได้ศึกษา encapsulation techniques สำหรับงานอาหาร ซึ่งเอนแคปซูเล-ชันเป็นกระบวนการที่จะดักจับสารที่ใช้งานภายในวัสดุและเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงการถ่ายโอนของโมเลกุลทางชีวภาพและเซลล์ที่มีชีวิตไปยังอาหาร วัสดุที่ใช้สำหรับการออกแบบปกป้องเปลือกของสารห่อหุ้มจะต้องเป็น food-grade ย่อยสลายได้และสามารถที่เป็นตัวกั้นระหว่างด้านภายในและสภาพแวดล้อม ในบรรดาวัสดุทั้งหมดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการเอนแคปซูเลชันใช้ในอาหารจะเป็นโพลีแซคคไรด์ โปรตีนและไขมันที่เหมาะสมสำหรับการห่อหุ้ม การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการห่อหุ้มที่นำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารเพราะมันมีความยืดหยุ่นอย่างต่อเนื่อง การห่อหุ้มที่นิยมมากที่สุดคือการทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนที่เหลือเป็นพวกสเปรย์เย็น, แช่แข็งอบแห้ง, เอ๊กทรูชันและอินเจคชัน รวมถึงโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ทรินและถุงไลโปโซมคือเทคโนโลยีราคาแพง ดังนั้นจึงใช้ประโยชน์ได้น้อย สาเหตุที่ใช้เทคโนโลยีการห่อหุ้ม ตัวอย่างเช่นเทคโนโลยีนี้อาจให้อุปสรรคระหว่างวัสดุที่อ่อนไหวทางชีวภาพและสภาพแวดล้อม ดังนั้นต้องยอมรับรสชาติและกลิ่นหอมที่แตกต่างไป, รสชาติไม่ดีหรือกลิ่น, ความคงที่ของส่วนผสมอาหารหรือเพิ่มการดูดซึม หนึ่งในเหตุผลที่สำคัญที่สุดสำหรับการห่อหุ้มของส่วนผสมที่ใช้งานคือการให้ความคงที่ดีขึ้นในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายและในระหว่างกระบวนการผลิต ประโยชน์ของการห่อหุ้มอีกประการหนึ่งคือการระเหยน้อยลงและการเสื่อมสภาพของสารระเหย เช่นกลิ่น นอกจากนี้การห่อหุ้มจะถูกใช้เพื่อปกปิดความรู้สึกไม่พอใจในระหว่างการรับประทานอาหารเช่นรสขมและการหดตัวของโพลีฟีนอล เช่นเดียวกันที่อีกเป้าหมายการใช้งานการห่อหุ้มก็คือการป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารเช่นออกซิเจนหรือน้ำ นอกจากข้างต้นเอนแคปซูเล-ชันอาจถูกใช้เพื่อทำให้เซลล์หยุดนิ่งหรือเอนไซม์ในการใช้งานการแปรรูปอาหาร เช่นกระบวนการหมักและผลิตภัณฑ์ในกระบวนการเผาผลาญอาหารนั่นเป็นความต้องการที่เพิ่มขึ้นเพื่อค้นหาวิธีการที่เหมาะสมที่ให้ผลผลิตสูงและในเวลาเดียวกัน, ความพึงพอใจที่มีคุณภาพ ผลิตภัณฑ์อาหารขั้นสุดท้าย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เห็นภาพรวมระยะสั้นของกระบวนการที่ใช้กันทั่วไปเพื่อ encapsulate ในอาหาร

2.13.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

MOHD ALI HASSAN (1985) ได้ศึกษาการผลิตกะทิผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยกะทิที่ใช้มีไขมันมากกว่า 30% ในกระบวนการ Spray Dry ใช้ T_{in} = 190 ºC T_{out} = 90 ºC โดยใช้ Skim milk และ Dextrin ในการ Encapsulation อยู่ในช่วง 10-15 % w/w และ 5-7 % w/w ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะคล้ายกับนมวัวผงซึ่งสามารถผสมกับน้ำได้ง่ายที่ 30 ºC หรือ 100 ºC ให้คุณสมบัติในการละลายที่คล้ายกัน มีความเสถียรคงที่เป็นแบบผงโดยเก็บใน polyethylen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

package ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ซึ่งเก็บได้ถึง 3 เดือน ให้ผลเป็นที่น่าพอใจสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผสมน้ำแล้ว

ปรัชญา (2543) ได้ศึกษาผลของปัจจัยการแปรรูปต่อคุณภาพของน้ำกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยจะศึกษาผลของปริมาณมอลโตเด็กตรินและโซเดียมเคซีเนต ความเร็วรอบของโฮโมจีไนเซอร์ และอุณหภูมิของสารป้อนต่อคุณภาพของกะทิผง เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณการใช้วัตถุเจือปนอาหาร จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันอิสระ และขนาดอนุภาคปรากฏมีค่าอยู่ในช่วง 0.37-1.13 %w/w 66.31-76.94 %/%total fat และ 247-649 μm ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณการใช้วัตถุเจือปนอาหารต่ำสุดที่ยังอบแห้งกะทิให้เป็นผงได้อยู่ที่ระดับปริมาณมอลโตเด็กตรินและโซเดียมเคซีเนต 3:1 %/% โดยใช้ความเร็วรอบของโฮโมจีไนเซอร์ เท่ากับ 13500 rpm และอุณหภูมิสารป้อน 60°C และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณไขมันที่ได้เป็นไปตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด

Jaya and Das (2004) ได้ศึกษาผลกระทบของมอลโตเดกซ์ทริน กลีเซอริลโมโนสเตียเรตและไตรแคลเซียมฟอสเฟตต่อคุณสมบัติของมะม่วงผงโดยการทำแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้มอลโตเดกซ์ทริน กลีเซอริลโมโนสเตียเรตและไตรแคลเซียมฟอสเฟตเป็นตัวห่อหุ้ม โดยมีตัวแปรอิสระดังต่อไปนี้ ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (0.25-0.65 kg/kg solid) ปริมาณกลีเซอริลโมโนสเตียเรตและไตรแคลเซียมฟอสเฟต (0.01-0.02 kg/kg solid) ซึ่งสรุปผลได้คือ มอลโตเดกซ์ทรินสามารถนำมาลดความเหนียวของมะม่วงผงและทำให้ความสามารถดูดซับความชื้นลดลง กลีเซอริลโมโนสเตียเรตใช้เป็นสารคงตัวและไตรแคลเซียมฟอสเฟตใช้เป็นสารป้องกันการจับตัวของผง โดยได้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมอิมัลชันคือ ใช้มอลโตเดกซ์ทริน 0.43-0.57 kg/kg solid ส่วนกลีเซอริลโมโนสเตียเรตและไตรแคลเซียมฟอสเฟตใช้ 0.015 kg/kg solid

Tonon et al. (2011) ได้ศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบในสารละลายอิมัลชันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อกระบวนการเอนแคปซูเลชันของเมล็ดฝ้ายโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งในการศึกษานี้ใช้กัมอะ-ราบิกเป็นตัวห่อหุ้มในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน และมีการวางแผนการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพซิทมีทั้งหมด 17 การทดลอง มีตัวแปรอิสระดังนี้ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (138-202 °C) ปริมาณของแข็ง (10–30% w/w) และความเข้มข้นของน้ำมัน (10–30% w/w) และมีตัวแปรควบคุมดังนี้ อัตราการไหล 12 g/min อัตรา-การไหลของลม 73 m^3/h และความดันลม 0.06 MPa ซึ่งสรุปผลที่ได้คือความเข้มข้นของน้ำมันและปริมาณของแข็งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการเอนแคปซูชัน เพราะหากความเข้มข้นของน้ำมันสูงและปริมาณของแข็งต่ำจะส่งผลให้ละอองอิมัลชันมีขนาดใหญ่ ความหนืดลดลง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเอนแคปซูเลชันแย่ลง และยังทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมัลชันได้ง่าย ส่วนความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะสูงเมื่อปริมาณของแข็งในสารละลายอิมัลชันสูง และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้น

Wei et al. (2012) ได้ศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงจากกระบวนการเอนแคปซูเลชันของซอสถั่วเหลืองด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม โดยในการทดลองจะใช้มอลโตเดกซ์ทรินค่า DE5, DE10, DE15 ที่ความเข้มข้น 20%, 40% (w/v) ซึ่งในการทดลองจะมีตัวแปรควบคุมดังนี้ อุณหภูมิขาเข้า 185 $^{\circ}$C อุณหภูมิขาออก 85 $^{\circ}$C ความดันที่หัวฉีด 2 bars และอัตราไหลลม 4 m^3/hr ซึ่งสรุปผลที่ได้คือ ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทรินและปริมาณค่า DE มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพกระบวนการเอนแคปซูเลชัน เพราะหากความความเข้มข้นและค่า DE ของมอลโตเดกซ์ทรินสูงจะส่งผลให้ ขนาดอิมัลชันใหญ่ ค่าความสามารถดูดซับความชื้นมีค่าลดลง และค่า T_g มีค่าสูง จะส่งผลให้ความเหนียวของผงแห้งน้อยลง และความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทรินและค่า DE จะมีอิทธิพลกับลักษณะการจับตัวเป็นก้อนของผง แต่ก็ขึ้นอยู่กับกลไกและการจัดเก็บที่แตกต่างกันด้วย

Frascareli et al. (2012) ได้ศึกษาผลกระทบจากสภาวะของกระบวนการผลิตต่อกระบวนการเอนแคปซูเลชันของน้ำมันกาแฟโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ในการศึกษานี้ใช้กัมอะราบิกเป็นตัวห่อหุ้มในกระบวนการเอนแคปซูเลชันซึ่งมีตัวแปรอิสระดังนี้ ปริมาณของแข็ง (10–30%) ความเข้มข้นของน้ำมัน (10–30%) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (150–190 ºC) ผลสรุปที่ได้จากการศึกษาเมื่อปริมาณของแข็งมีผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเอนแคปซูเลชันและการเก็บรักษาน้ำมันเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำมันส่งผลกระทบให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเอนแคปซูเลชันและการเก็บรักษาน้ำมันลดลง ซึ่งผลที่ได้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของอิมัลชันคือ ขนาดละอองอิมัลชัน และความหนืด แต่เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นทำให้ทั้งประสิทธิภาพของกระบวนการเอนแคปซูเลชันและการเก็บรักษาน้ำมันลดลง สำหรับปริมาณความชื้นและความสามารถในการดูดซับความชื้นจะได้รับผลกระทบจากตัวแปรอิสระทั้งหมด กระบวนการเอนแคปซูเลชันมีสภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่ ปริมาณของแข็ง 30% ความเข้มข้นของน้ำมัน 15% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 ºC เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่สภาวะที่เหมาะสมไปประเมินค่าเสถียรภาพออกซิเดชันพบว่าสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิห้อง และจากการทดลองยังยืนยันได้ว่ากระบวนการเอนแคปซูเลชันสามารถป้องการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ ทั้งยังยืดระยะเวลาการเก็บของน้ำมันได้อีกด้วย

Hilal et al (2013) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมขาเข้าและสารห่อหุ้มต่อกระบวนการเอนแคปซูเลชันของ S. fruticosa.โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งในการศึกษานี้ใช้บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน กัมอะราบิกและมอลโตเดกซ์ทรินเป็นตัวห่อหุ้มในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน โดยมีตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระดังนี้ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (145-165°C) อัตราการป้อน (240-640 mL/hr) ความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม (0-5 g/100 g) และมีตัวแปรควบคุมคือ อุณหภูมิลมร้อนขาออก (75°C) และอัตราไหลลม (500 L/hr) ผลสรุปที่ได้จากการศึกษาคือ ผลิตภัณฑ์ผงพร้อมดื่มจะลักษณะคุณภาพที่ดีขึ้นได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือค่าการละลายและความขุ่นของตัวอย่าง โดยในการทดลองจะพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 145 °C และใช้บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มที่ความเข้มข้น 3 g/100g จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ออกมามากที่สุดและสีจะดีกว่าตัวอย่างอื่นๆ ซึ่งในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 145°Cและหรือ 155°C จะสามารถกักเก็บสารระเหยของS. Fruticosa ได้มากที่สุด

2.14.5 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

Bakar et al.(2006) ได้ศึกษาการเก็บรักษากะทิผง โดยเตรียมกะทิผงจะใช้ skim milk และ dextrin โดยจะเก็บได้นาน 6 เดือน ที่ อุณหภูมิ 30ºC 80 %RH วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์จะใช้ Aluminum laminate และ Polypropylene การดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงพบว่าจากโมเลกุลของน้ำชั้นเดียวจะสมบูรณ์เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 27% ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้น 5% ในการวัดจะวัดค่า water activity ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และดัชนีการละลาย พบว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเป็นปัจจัยจำกัดในการรักษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ผง จากการทดลองพบว่ามีอายุการเก็บรักษาสูงสุด 4 เดือน เมื่อบรรจุใน aluminum laminate ทั้งสุญญากาศและมีอากาศ และ 1 1/2 เดือนเมื่อบรรจุในโพรพิลีน

Bae and Lee (2008) ได้ประเมินค่าเสถียรภาพออกซิเดชันของน้ำมันอะโวคาโดจากกระบวนการเอนแคปซูเลชันด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ใช้มอลโตเด็กซ์ทรินและเวย์โปรตีนเป็นสารห่อหุ้ม โดยได้ทดลองเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 60 ºC ซึ่งจากการทดลองพบว่าทั้งน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลทและไม่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลทมีเสถียรภาพขณะที่เก็บในห้องเย็นและที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามหากเก็บที่อุณหภูมิ 60 ºC พบว่าดัชนีชี้วัดปริมาณออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งน้ำมันที่ไม่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลทจะมีค่านี้สูงกว่าน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลท

Jena and Das (2012) ได้ศึกษาการทำนายการเก็บรักษากะทิผงที่บรรจุแบบสุญญากาศใน aluminum foil laminated polyethylene โดยระยะเวลาในการเก็บกะทิผงใน Aluminum foil laminate polyethylene จะทำนายโดยการใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีข้อจำกัด 2 ตัวเป็นตัวชี้วัด คือการรวมตัวเป็นก้อนและการเหม็นหืน ในการศึกษาจะเร่งการเก็บรักษากะทิผงที่เก็บในpouches ที่ 90±1 %RH และ 38±2 ºC ค่าเกณฑ์สำหรับการทำนายอายุการเก็บรักษาโดยมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเป็นพื้นฐานถูกนำมาเป็นค่าความชื้นวิกฤตของการรวมตัวเป็นก้อน การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนายอายุการเก็บรักษาจะพิจารณาจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยเกี่ยวข้องกับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมออกซิเจน บรรจุภัณฑ์ออกซิเจนเข้มข้น ปริมาณที่ดูดซึม ปริมาณไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ผง และเวลาในการเก็บรักษา สำหรับค่าที่ได้ Peroxide Value 10 mEq. ของ O_2/kg fat พิจารณาใช้เป็นเกณฑ์กำหนดสำหรับการเหม็นหืน แบบที่ดีระหว่างการทดลองและการทำนายข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 10% ที่พบในระหว่างการศึกษาการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทดลอง

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตครีมเทียมด้วยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ มีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ (1:1, 1.5:1, 2:1) และปริมาณสารละลายแป้ง (5%, 10%, 15%) 2) ศึกษาการทำแห้งกะทิผง มีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิลมร้อน (170, 190, 210 °C) โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อก-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

1. น้ำกะทิสด (Coconut milk) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอเชียติค อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด
2. สารอิมัลซิไฟเออร์
3. มอลโตเด็กซ์ตริน
4. สารละลายแป้ง

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1) ขั้นตอนการทำสารละลายอิมัลชัน

1. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer)
2. เครื่องชั่ง
3. เครื่องวัด pH
4. เครื่องวัดความหนืด
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
7. ทัพพี
8. กระทะไฟฟ้า

2) ขั้นตอนการทำแห้ง

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปั๊มลม

3. เทอร์โมมิเตอร์

4. เครื่องชั่งน้ำหนัก

5. แผ่นทำความร้อน (Hot plate)

6. หม้อ

7. กะละมังสแตนเลส

8. ขวดแก้ว

9. ถุงฟอล์ย

3.3 การเตรียมอุปกรณ์

- เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

Spray Dryer ประกอบด้วยภาชนะทำแห้ง (Drying Chamber) และหัวฉีด (Atomizer, Nozzle) ซึ่งภาชนะทำแห้ง มีลักษณะเป็นกระบอกสูงและเป็นส่วนที่มีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลาย ส่วนหัวฉีด ทำหน้าที่ฉีดสารละลายให้เป็นละอองฝอย โดยเลือกหัวฉีดแบบ Two Fluid Nozzle ที่อัตราการป้อน 2.45 l/hr ในการเตรียม Spray Dryer ก่อนที่จะทำการป้อนสารละลายมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิซึ่งอุ่นไว้ที่อุณหภูมิ 40 °C

2. ประกอบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยให้เรียบร้อยดังรูปที่ 3.1 ก่อนเปิดเมนสวิตซ์และปั๊มลม

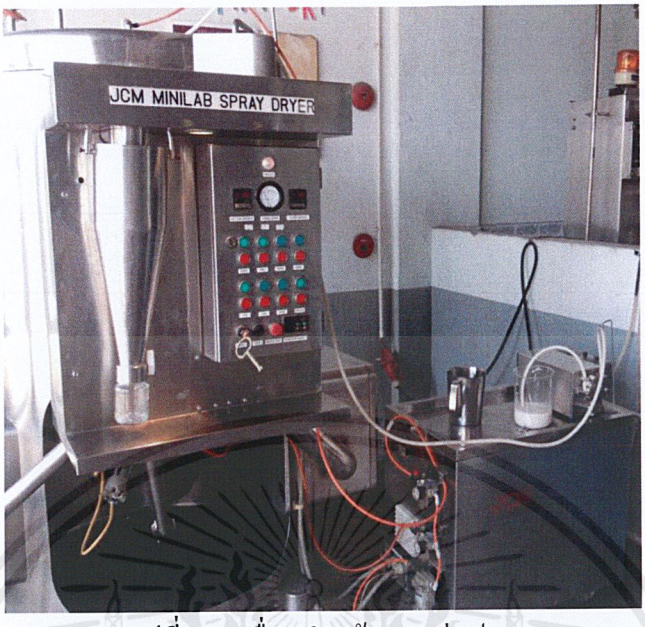
3. ปรับอัตราการไหลและอุณหภูมิลมร้อน รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่

4. เริ่มทำการเปิดปั๊มป้อนของเหลว โดยเริ่มต้นให้ทดลองป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่อง ใช้หัวฉีดที่ความดันลม 0.2 bar

5. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทำแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิที่เตรียมไว้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

6. ในขณะทำแห้ง สังเกตการทำงานของปั๊มลมที่ส่งไปกระแทกผนังของห้องอบแห้งซึ่งต้องเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมผลิตภัณฑ์ผงที่บริเวณผนังห้องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ และการทำแห้งกะทิ ซึ่งการเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ และปริมาณสารละลายแป้ง ส่วนการทำแห้งมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้ง

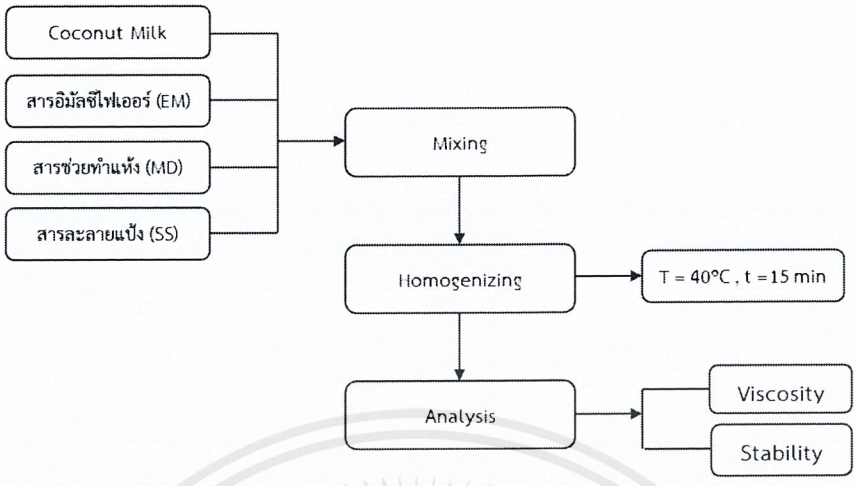
นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ในสารละลายอิมัลชัน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิที่มีความเหมาะสมในการเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิต โดยมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด (Viscosity) และความคงตัวของสารละลายอิมัลชัน (Stability)

ตอนที่ 1

การเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ

1. เตรียมน้ำกะทิที่ผ่านการคั้นแบบไม่เติมน้ำ
2. นำสารอิมัลซิไฟเออร์ สารมอลโตเด็กซ์ตริน และสารละลายแป้งมาผสมให้เข้ากัน
3. นำส่วนผสมข้อ 1 และ 2 ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C
4. นำส่วนผสมที่ได้เข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ความเร็ว 13500 rpm เป็นเวลานาน 15 นาที
5. นำสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติของการเป็นอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

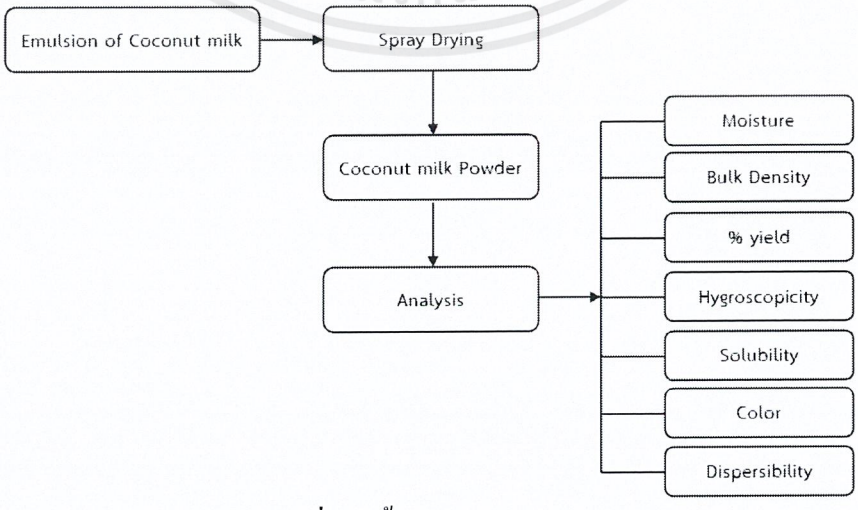


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ

ตอนที่ 2

การทำแห้งกะทิโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. ชั่งน้ำหนักสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ
2. ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายอิมัลชันให้คงที่ที่ 40 °C ตลอดการป้อนวัตถุดิบ
3. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ปรับค่าอุณหภูมิลมขาเข้าตามแผนการทดลอง
4. เมื่ออุณหภูมิของสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนสารละลายอิมัลชัน โดยให้อัตราไหลเป็นไปตามที่กำหนด
5. นำผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้ทั้งหมดไปชั่งน้ำหนักและบรรจุใส่ถุงฟอล์ย เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวางแผนการทดลอง

3.5.1. การทดลองเบื้องต้น

- เพื่อหาอัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์

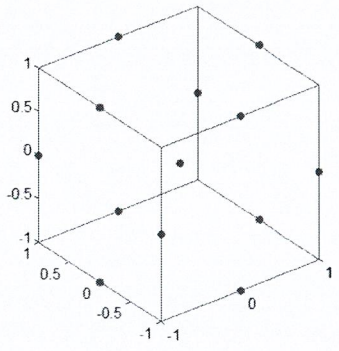
เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบ โดยจะทำการปรับอัตราส่วนของสารทั้ง 2 ชนิด ทั้งหมด 5 อัตราส่วน โดยการศึกษาแต่ละครั้งจะใช้ความเร็วรอบในการโฮโมจิไนซ์ 13500 rpm เป็นเวลา 15 นาที (ปรัชญา , 2543) โดยอัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ที่นำมาใช้นั้นจะเทียบกับปริมาณของน้ำกะทิ 1000 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์

ครั้งที่	สารมอลโตเด็กซ์ตริน (MD)	สารอิมัลซิไฟเออร์ (EM)
1	1	0
2	0	1
3	1	1
4	2	1
5	1	2

3.5.2. การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองใช้แบบบอกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) ซึ่งเป็นการออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เป็นการทำงานร่วมกันที่มีเป้าหมายเป็นจุดกึ่งกลางของขอบเขตพื้นที่ว่างกระบวนการ และที่ศูนย์กลาง จำเป็นต้องมีปัจจัยอย่างน้อย 3 ปัจจัยดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.4 Box-Behnken Design สำหรับ 3 factors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและระดับตัวแปรที่จะศึกษา

ตัวแปรอิสระ (Variable)	สัญลักษณ์	ระดับ		
		-1	0	+1
MD : EM	X_1	1 : 1	1.5 : 1	2 : 1
สารละลายแป้ง (SS) %	X_2	5	10	15
อุณหภูมิลมร้อน (°C)	X_3	170	190	210

จากตารางที่ 3.2 เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ ปริมาณการใช้สารมอลโตเด็กซ์ตริน : อิมัลซิไฟเออร์ที่ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ปริมาณสารละลายแป้งที่ 5%, 10% และ15% และอุณหภูมิลมร้อนที่ 170°C 190°C และ 210°C เพื่อหาอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผง

3.5.3. การทำแห้งด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) JCM รุ่น minilab SDE-10 มีการควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นดังตารางที่ 3.3 ออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัวแปร แบ่งระดับตัวแปรออกเป็น 3 ระดับ ที่สภาวะต่างกัน ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 สภาวะของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	สภาวะของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย		ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรปรับแต่ง
1	อุณหภูมิลมร้อน	- ขาเข้า	-	170-210 °C
		- ขาออก	90 °C	-
2	เครื่องเป่าลม	ความเร็ว	175.2 kg air/hr หรือ 2.52 m^3/min	-
3	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ		2.45 l/hr	-
4	หัวฉีดวัตถุดิบ	- ชนิด	Two Fluid Nozzle	-
		- ทิศทางการทำแห้ง	Parallel	-
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	Auto 1 ชุด (3 kW)	ใช้ 3 ชุด (1.5, 3, 3 kW)
6	ปั๊มลม	ความดันที่หัวฉีด	0.2 MPa	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ของการผลิตกะทิผง

การทดลองครั้งที่	ระดับตัวแปร		
	MD : EM X_1	สารละลายแป้ง (SS) % X_2	อุณหภูมิลมร้อน (°C) X_3
1	1 : 1	5	190
2	1 : 1	15	190
3	2 : 1	5	190
4	2 : 1	15	190
5	1 : 1	10	170
6	1 : 1	10	210
7	2 : 1	10	170
8	2 : 1	10	210
9	1.5 : 1	5	170
10	1.5 : 1	5	210
11	1.5 : 1	15	170
12	1.5 : 1	15	210
13	1.5 : 1	10	190
14	1.5 : 1	10	190
15	1.5 : 1	10	190

หลังจากทำการทดลองครบทั้ง 15 การทดลอง นำผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทำแห้งไปวิเคราะห์คุณลักษณะของกะทิผงต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ผล

จะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติ 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ วิเคราะห์คุณสมบัติของอิมัลชันของน้ำกะทิ วิเคราะห์คุณลักษณะของกะทิผง และวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

3.6.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของอิมัลชันของน้ำกะทิ

นำน้ำกะทิที่ได้ในแต่ละสภาวะการทดลอง มาวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

3.6.1.1 ความหนืดของอิมัลชัน (นิศราและเอกพันธ์, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield, DVL VII+, USA) ที่อุณหภูมิ 25°C ด้วยหัววัดเบอร์ 2 ที่ความเร็วรอบ 100 rpm เพื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดของตัวอย่างกะทิ

3.6.1.2 วัดความคงตัวของอิมัลชัน (ปรัชญา, 2543)

โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์แล้ว ใส่ลงในกระบอกตวงตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ปริมาณ 10 ml จากนั้นวัดไขมันที่แยกชั้นออกมาคำนวณเป็น % stability จากสมการที่ 1

$$\%stability = 1 - \frac{\text{ความสูงไขมันที่แยกชั้น}}{\text{ความสูงตัวอย่าง}} \quad (1)$$

3.6.2 วิเคราะห์คุณลักษณะความเป็นกะทิผง

3.6.2.1 ความชื้น (moisture) (ปรัชญา,2543)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยนำตัวอย่างมาประมาณ 2-3 กรัม ในถ้วยอลูมิเนียมจากนั้นนำไปอบในตู้อบความร้อนแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ โดยใช้ความดันอย่างน้อย -86 kPa จากนั้นนำออกไปใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและนำไปชั่งคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังสมการที่ 2

$$\%M = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (2)$$

w_1 และ w_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้นและตัวอย่างหลังการอบแห้งตามลำดับปริมาณไขมันตามวิธี

3.6.2.2 การหาค่า water activity (a_w)

วัดด้วยเครื่องวัดค่า water activity (a_w) อัตโนมัติ ยี่ห้อ AQUALAB model series 3 TE

Water Activity หมายถึง อัตราส่วนความดันไอน้ำของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน (P_0) ซึ่งสามารถวัดค่านี้ได้โดยใช้เครื่องวัด water activity (a_w) ของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.6.2.3 ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk Density)

วัดโดยทำการชั่งน้ำหนักถ้วยหรือถาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน นำตัวอย่างใส่ให้เต็มภาชนะ แล้วนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่ของตัวอย่างที่ใส่เข้าไป จากนั้นนำน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ไปคำนวณหาความหนาแน่น จากสมการที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

โดย ρ = ความหนาแน่น (Density , g/ml

m = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

v = ปริมาตรภาชนะ (ml)

3.6.2.4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ (% coconut milk powder yield) (คมสิทธิ์ & อรรถพล , 2546)

หาโดยนำผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มาชั่งน้ำหนัก และหาปริมาณของแข็งในน้ำกะทิเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างน้ำกะทิมาหาความชื้นและนำมาคำนวณโดยอาศัยสมการที่ 4

$$\%\ yield = \frac{W_{cwp}}{SS_{cwf}} \times 100 \quad (4)$$

โดย W_{cwp} = อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง

SS_{cwf} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน

3.6.2.5 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) (Jaya & Das, 2004)

วิเคราะห์โดยนำกะทิผง 1 กรัม ใส่ในขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว (NaCl) ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) 75.3 %RH ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำผงตัวอย่างออกมาชั่ง แล้วนำมาคำนวณดังสมการที่ 5

$$hygroscopicity = \frac{(b/a)+W_i}{1+(b/a)} \quad (5)$$

โดย b = น้ำหนักของผงที่เพิ่มขึ้น (g)

a = น้ำหนักของผงก่อนนำไปวัด (g)

w_i = ปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด (% wb)

3.6.2.6 ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility) (Jaya & Das, 2004)

นำผงตัวอย่าง 15 กรัม ผสมกับน้ำที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาตร 100 ml คนกลับไปมา 15 วินาที จากนั้นเทลงใน sieve ขนาด 200 ไมครอน แล้วนำมาคำนวณจากสมการที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Dispersibility = \frac{(w+a)S_p}{a \times S_j} \quad (6)$$

โดย w = น้ำหนักของน้ำ (g)

a = ผงที่ใช้ทั้งหมด (g)

S_p = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)

S_j = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดที่ค้างบน sieve (%)

3.6.2.7 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (กมลกาญจน์, 2544)

หาโดยชั่งน้ำหนักผงตัวอย่าง 40 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 200 ml กวนของผสมทั้งหมดด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วคงที่ วัดเวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างสมบูรณ์ ตามสมการที่ 7

Solubility = เวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างจนสมบูรณ์ (7)

3.6.2.8 วัดค่าสี (สุคนธ์ชื่น & วรรณวิบูลย์, 2546)

ทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดสี รุ่น MiniScan XE plus และ รุ่น Color Flex เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ระบบ Hunter system ซึ่งเป็น CIE system มีค่าคือค่า L (lightness) , a และ b

L* เป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า L เท่ากับ 0 เป็นสีที่มืดที่สุด ค่า L เท่ากับ 100 เป็นสีสว่างมากที่สุด

a* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว โดยที่ค่า a เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีแดง แต่หากเป็นลบจะแสดงความเป็นสีเขียว

b* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน โดยที่ค่า b เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลือง แต่หากเป็นลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

สามารถหาค่าความแตกต่างของสีได้จากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (8)$$

3.6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงที่ได้ผลผลิตที่ดีที่สุด โดยรูปแบบพหุนามอันดับที่ 2 ดังสมการที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 \quad (9)$$

เมื่อ β_n เป็นค่าคงที่ y คือค่าการตอบสนองซึ่งได้แก่ Moisture content, Water activity, %Yield, Bulk density, Hygroscopicity, Solubility, Dispersibility และ Color ส่วน x_1, x_2 และ x_3 เป็นตัวแปรต้น ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์, ปริมาณสารละลายแป้ง และอุณหภูมิลมร้อน ตามลำดับ

3.5.4 ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory test) (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545)

โดยทำการเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดมา 4 ตัวอย่างจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกทั้ง 4 ตัวอย่าง จากนั้นนำไปทดสอบโดยนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ จำนวนทั้งหมด 20 คน ซึ่งใช้แบบทดสอบแบบ Hedonic scaling test

วิธีวิเคราะห์

1. ตั้งวัตถุประสงค์ในการทดสอบ

2. เตรียมตัวอย่างที่จะทดสอบ ตัวอย่างจะถูกนำเสนอพร้อมกัน และแต่ละตัวอย่างที่นำเสนอจะมีตัวอย่างควบคุม 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างทดสอบ 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างดังกล่าวจะถูกนำมาใส่รหัสสุ่มซึ่งเป็นจำนวนเลข 3 ตัวก่อน

3. เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้ว นำผลที่ได้มาเปลี่ยนเป็นคะแนนโดย 9 คือ ชอบมากที่สุด, 8 คือ ชอบมาก, 7 คือ ชอบปานกลาง, 6 คือ ชอบเล็กน้อย, 5 คือ เฉยๆ, 4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย, 3 คือ ไม่ชอบปานกลาง, 2 คือ ไม่ชอบมาก, และ 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด

4. วิเคราะห์คะแนนการยอมรับ เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการทำแห้ง

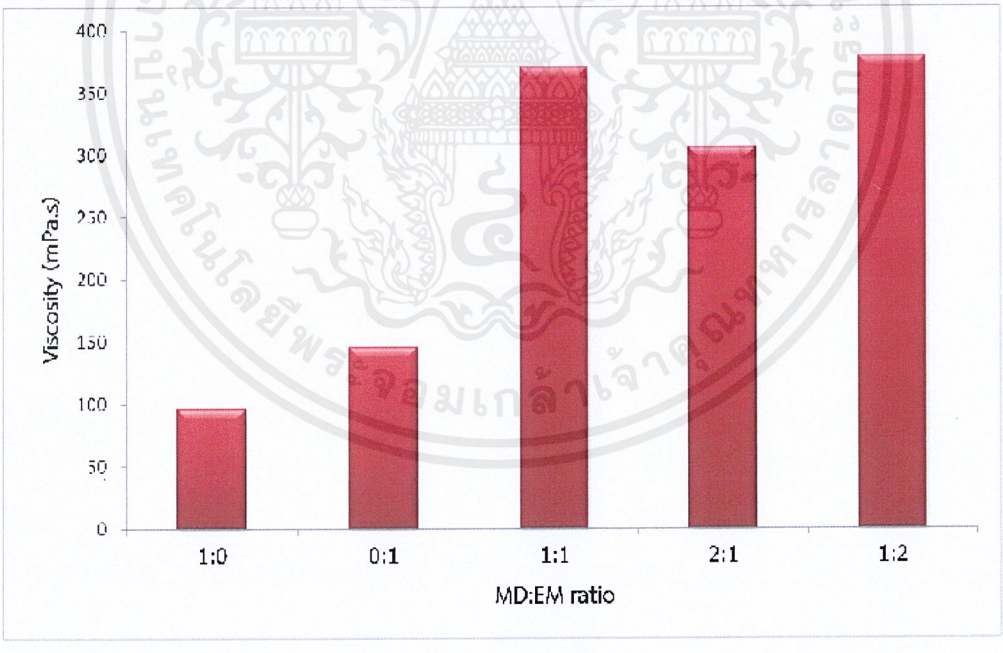
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ

การผลิตกะทิผงมีปัจจัยหลายประการ ทั้งปัจจัยที่อยู่ในกระบวนการทำสารละลาย และปัจจัยที่อยู่ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นเพื่อหาการผลิตกะทิผงที่ดีที่สุดด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงได้วิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิที่เหมาะสมก่อนนำไปศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกะทิผงในขั้นตอนต่อไป โดยมีการวิเคราะห์ค่าความหนืดและค่าคงตัว สำหรับความหนืดจะหาโดยนำไปวัดด้วยเครื่องวัดความหนืด ส่วนค่าความคงตัวหาได้โดยนำตัวอย่างน้ำกะทิที่ได้จากการทำอิมัลชัน ตั้งทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง และปริมาณการแยกชั้น



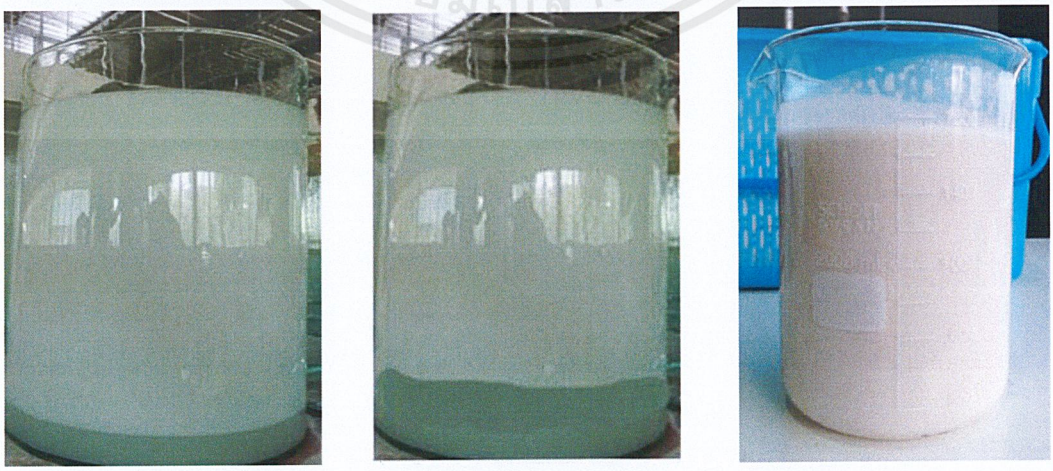
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความหนืดที่อัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 ความหนืดของสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิที่อัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์-ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างกัน พบว่าหากเติมสารมอลโตเด็กซ์ตรินเพียงอย่างเดียว (MD) ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

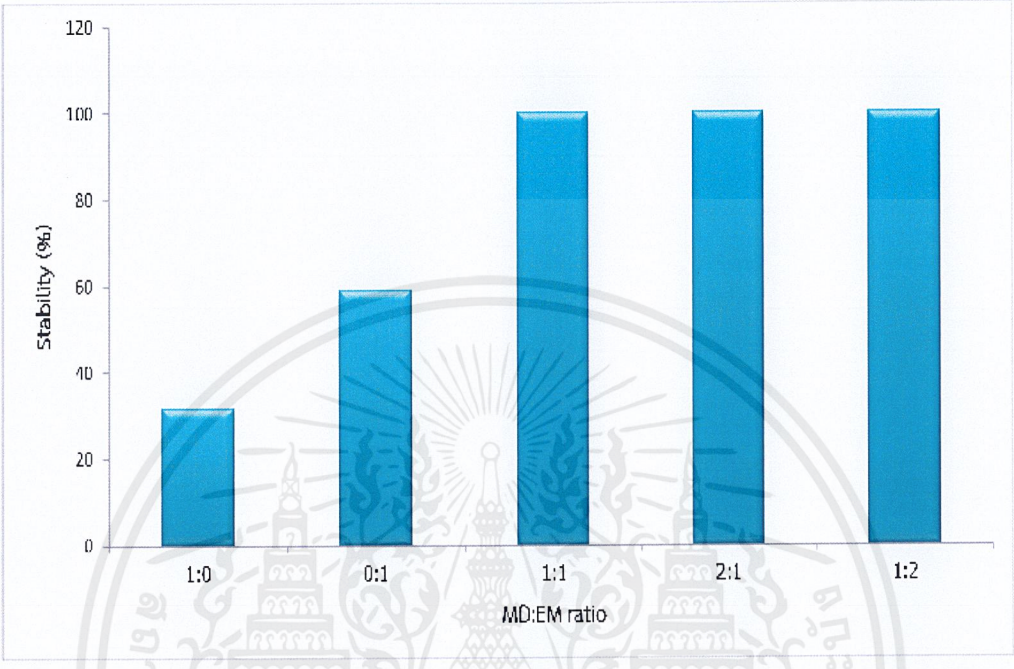
มีความหนืดต่ำมาก ซึ่งเมื่อความหนืดต่ำเกินไปจะส่งผลให้สารละลายกะทิขาดความเป็นอิมัลชันจึงไม่เหมาะที่จะเติมลงไปเพียงชนิดเดียว และหากเติมสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อัตราส่วน 1:2 (MD:EM (1:2)) จะทำให้มีความหนืดสูงเกินไป ซึ่งจากงานวิจัยของ อภินันท์ (2552) พบว่าหากสารละลายมีความหนืดต่ำส่งผลให้กระบวนการเอนแคปซูเลชันซึ่งเป็นกระบวนการห่อหุ้มกลิ่นรสไว้นั้นเกิดขึ้นช้าเมื่อนำไปทำแห้งจะสูญเสียกลิ่นรสมากขึ้น และหากความหนืดของสารละลายสูงเกินไปจะส่งผลต่อการเกิดละอองอิมัลชันจากหัวฉีดขณะทำแห้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสเนื่องจากมีแรงเฉือนภายนอกมากระทำกับละอองอิมัลชันขณะพ่นออกมาจากหัวฉีด นอกจากนั้นยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงลดลงเพราะสารละลายที่พ่นออกมาจากหัวฉีดไม่เป็นละอองที่ต้องการจึงเกิดการติดตามผนังห้องอบแห้ง (อภินันท์, 2552) ดังนั้นสามารถเลือกอัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์คือ EM, MD:EM(1:1), MD:EM(2:1)

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 สังเกตได้ว่าหากเติมมอลโตเด็กซ์ตรินหรือสารอิมัลซิไฟเออร์เพียงอย่างเดียวเมื่อตั้งทิ้งไว้ 5 ชั่วโมงจะมีค่าความคงตัวอยู่ระหว่าง 30-60 % นั่นแสดงว่าสารละลายอิมัลชันที่อัตราส่วนนั้นยังมีการแยกชั้นอยู่ แต่หากเติมสารทั้งสองชนิดลงไปไม่ว่าที่อัตราส่วนใดก็ตามทำให้มีความคงตัว 100% แสดงว่าไม่มีการแยกชั้นเลย สำหรับความคงตัวของอิมัลชันนั้นมีผลต่อการกักเก็บกลิ่นรสในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน เพราะหากสารละลายอิมัลชันเกิดการแยกชั้น น้ำกับน้ำมันไม่สามารถรวมตัวกันได้ ทำให้น้ำมันกลับมารวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น มีผลให้สารห่อหุ้มที่ใส่เข้าไปเพื่อทำการกักเก็บกลิ่นรสในกระบวนการเอนแคปซูเลชันไม่สามารถห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสไว้ได้หมดจึงทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรส (อภินันท์, 2552) ดังนั้นจากการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอัตราส่วนของสารช่วยทำแห้งและสารอิมัลซิไฟเออร์สามารถเลือกอัตราส่วน MD:EM(1:1) และ MD:EM(2:1)



รูปที่ 4.2 ความคงตัวของกะทิที่ระดับ 31.4%, 59% และ 100% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความคงตัวที่อัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างกัน

4.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

No.	MC (%)	HG (%)	DP (%)	SB (sec)
A	2.274	0.0502	13.197	626
B	1.020	0.0785	13.836	186
C	1.573	0.0723	9.687	976

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิที่ทดลอง

เมื่อดำเนินการทดลองการทำแห้งครบทุกสภาวะแล้ว นำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่างๆ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

No.	X_1	X_2	X_3	MC	aw	BD	YD	HG	DP	SB	CL			
											L*	a*	b*	ΔE
1	1	5	190	0.523	0.148	0.353	65.17	0.1045	14.099	953	71.999	3.781	8.898	28.194
2	1	15	190	0.388	0.156	0.335	68.59	0.1181	15.74	725	81.43	2.811	10.562	19.579
3	2	5	190	0.199	0.144	0.387	32.39	0.0947	15.552	841	79.455	2.677	13.519	22.116
4	2	15	190	1.261	0.25	0.452	50.72	0.1115	10.175	274	79.239	2.278	9.747	21.129
5	1	10	170	0.531	0.141	0.357	64.86	0.1128	12.219	646	79.881	2.631	10.91	20.949
6	1	10	210	0.808	0.178	0.366	70.34	0.1108	11.396	483	79.846	3.816	10.441	21.353
7	2	10	170	0.586	0.147	0.419	48.06	0.0609	14.393	378	79.55	4.679	9.02	21.745
8	2	10	210	1.769	0.269	0.443	39.84	0.102	9.44	238	81.368	2.78	8.336	19.162
9	1.5	5	170	0.455	0.222	0.333	27.51	0.0856	15.236	634	79.504	2.933	14.594	22.589
10	1.5	5	210	0.558	0.189	0.342	66.42	0.0921	12.166	232	80.409	2.98	9.795	20.351
11	1.5	15	170	1.01	0.331	0.4	45.89	0.1023	11.532	315	78.869	3.135	12.656	22.519
12	1.5	15	210	1.125	0.332	0.362	60.78	0.1022	9.528	253	79.777	4.226	9.078	21.313
13	1.5	10	190	0.541	0.241	0.354	54.02	0.1068	11.155	227	80.416	3.534	9.531	20.558
14	1.5	10	190	0.555	0.247	0.384	44.38	0.1036	10.587	250	79.133	2.822	11.616	21.860
15	1.5	10	190	1.863	0.414	0.408	49.21	0.0816	9.856	247	78.073	3.624	10.312	22.804

หมายเหตุ : X_1 = อัตราส่วนของสารช่วยทำแห้ง, X_2 = ปริมาณอนุพันธ์ของแป้ง (%), X_3 = อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (ºC), MC = Moisture content (%), aw = Water activity, BD = Bulk density (g/cm^3), YD = Yield (%), HG = Hygroscopicity (%), DP = Dispersibility (%), SB = Solubility (sec), CL = Color

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์กะทิผงที่สภาวะต่างๆแล้ว นำผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพต่างๆที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งได้แก่ Moisture content, Water activity, %Yield, Bulk density, Hygroscopicity, Solubility, Dispersibility และ Color โดยอาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลอันดับที่สองดังนี้ เพื่ออธิบายผลกระทบของตัวแปรที่ศึกษา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3$$

เมื่อ β_n เป็นค่าคงที่ y คือค่าการตอบสนองซึ่งได้แก่ Moisture content, Water activity, %Yield, Bulk density, Hygroscopicity, Solubility, Dispersibility และ Color ส่วน x_1, x_2 และ x_3 เป็นตัวแปรต้น ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์, ปริมาณสารละลายแป้ง และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่สองของคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ

สัมประสิทธิ์	MC,%	a_w	BD, g/cm^3	YD,%	HG,%	DP,%	SB,sec	ΔE
β_0	32.1061	1.0216	0.61984	-11.7122	-0.5506	-23.5782	-13.4950	-31.0893
β_1	-6.1968	0.5515	-0.38025	-38.1525	-0.2456	9.0600	-50.7725	1.1510
β_2	-0.2944	-0.0129	-0.00162	0.2304	0.0084	0.4333	-4.7998	0.7485
β_3	-0.0973	-0.0224	0.02292	10.2758	0.0037	-1.0152	0.9756	-2.8267
β_{11}	0.3625	-0.3355	0.09950	21.2350	0.0062	5.5340	17.7600	1.3095
β_{22}	0.0007	2.53E-05	5.94E-06	0.0032	-2.53E-05	-0.00098	0.1265	-0.0018
β_{33}	-0.0018	3.50E-05	-0.00049	-0.0126	1.85E-05	0.0655	-0.0031	0.0487
β_{12}	0.0227	0.0021	0.00038	-0.3425	0.0011	-0.1033	-0.6190	-0.0747
β_{13}	0.1197	0.0098	0.00830	1.5010	0.00032	-0.7018	-0.0043	0.7628
β_{23}	3.00E-05	8.50E-05	-0.00012	-0.0601	-1.65E-05	0.0027	0.0145	0.0026
R^2	0.9011	0.8764	0.9402	0.8153	0.8548	0.9472	0.9570	0.7284
S.E.	0.2371	0.0433	0.0169	10.6996	0.0098	0.9240	1.4460	2.0025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Moisture content)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่ามีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 0.199% - 1.863% เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนพบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น โดยเมื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผง อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\%MC = 32.10609 - 6.19675X_1 - 0.29442X_2 - 0.09733X_3 + 0.3625X_1^2 + 0.000712X_2^2 - 0.00183X_3^2 + 0.02265X_1X_2 + 0.1197X_1X_3 + 3.00E\text{-}05X_2X_3 \quad (4.1)$$

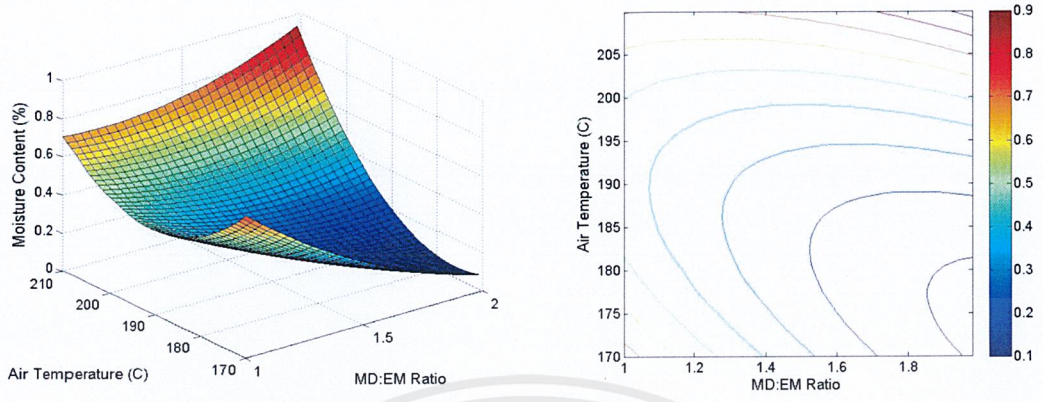
$R^2 = 0.9011$, S.E. = 0.2371, $p < 0.1$

X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

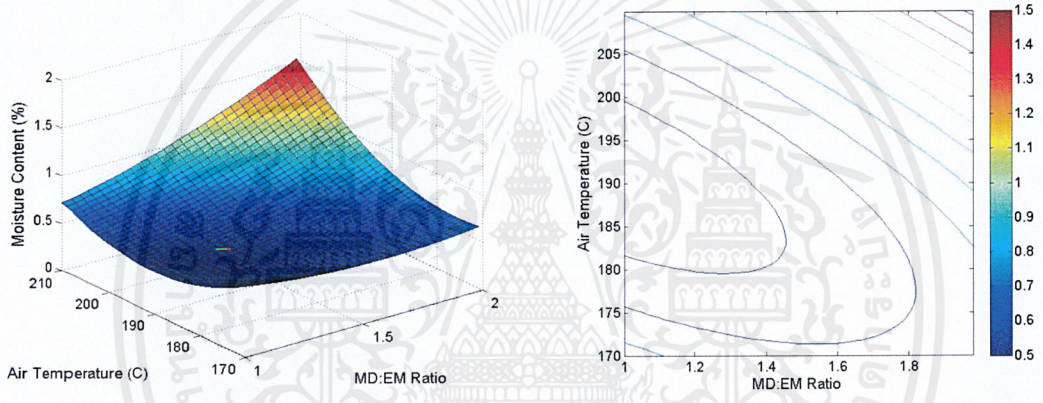
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

กะทิผงได้มีการกำหนดความชื้นไว้โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม "กะทิผง" ซึ่งกำหนดให้มีความชื้นได้ไม่เกินร้อยละ 2 ดังนั้นจากรูปที่ 4.4 (a) พบว่าที่อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์-ตรินสูงและอุณหภูมิลมร้อนต่ำค่าความชื้นที่ได้จะมีค่าต่ำ แต่จากรูป (b) และ (c) ซึ่งอยู่ในระดับที่มีปริมาณสารละลายแป้งสูงขึ้น พบว่าความชื้นมีค่าต่ำที่อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่ำและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าประมาณ 190-194 °C ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเติมสารละลายแป้งทำให้ให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความชื้นของผงแห้งจึงมีค่าสูงขึ้น

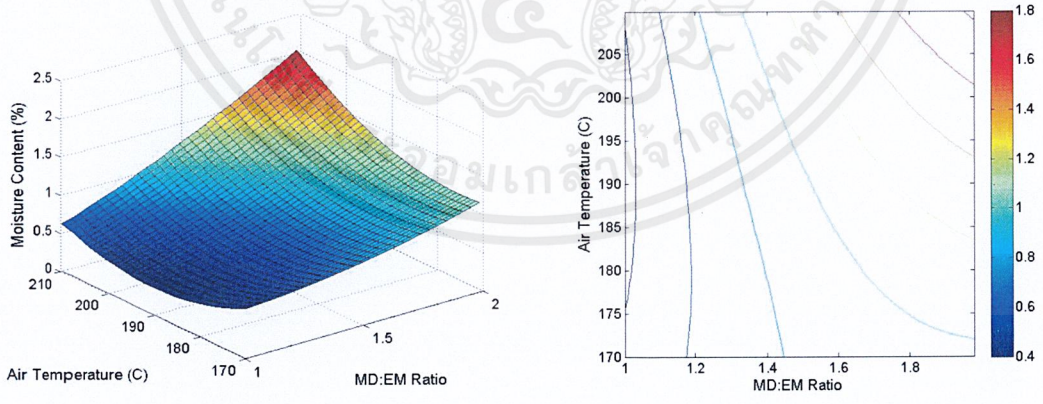
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และค่าความชื้นของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Water Activity)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.141 - 0.414 เมื่อปริมาณอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินอยู่ในระดับกลางทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณน้ำอิสระสูงสุด โดยเมื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์กะทิผง อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$aw = 1.021594 + 0.5515X_1 - 0.01286X_2 - 0.0224X_3 - 0.3355X_1^2 + 2.53E\text{-}05X_2^2 + 3.50E\text{-}05X_3^2 + 0.002125X_1X_2 + 0.0098X_1X_3 + 8.50E\text{-}05X_2X_3 \quad (4.2)$$

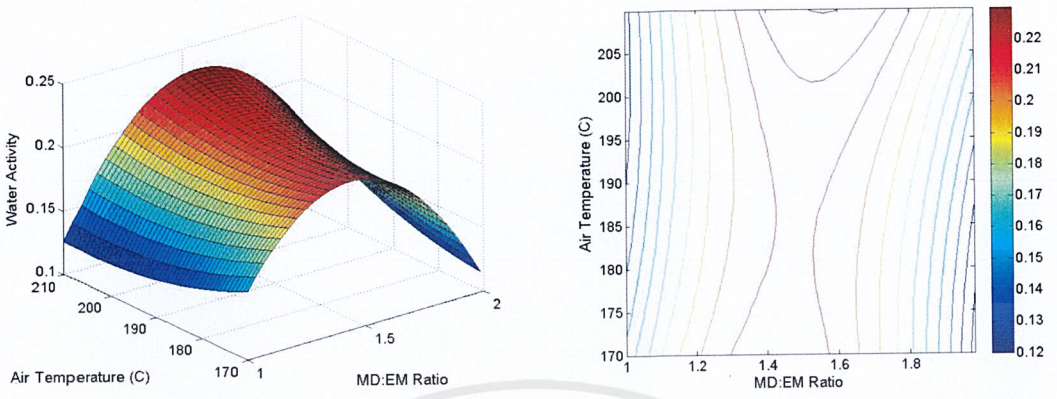
$R^2 = 08764$, S.E. = 0.0433

X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

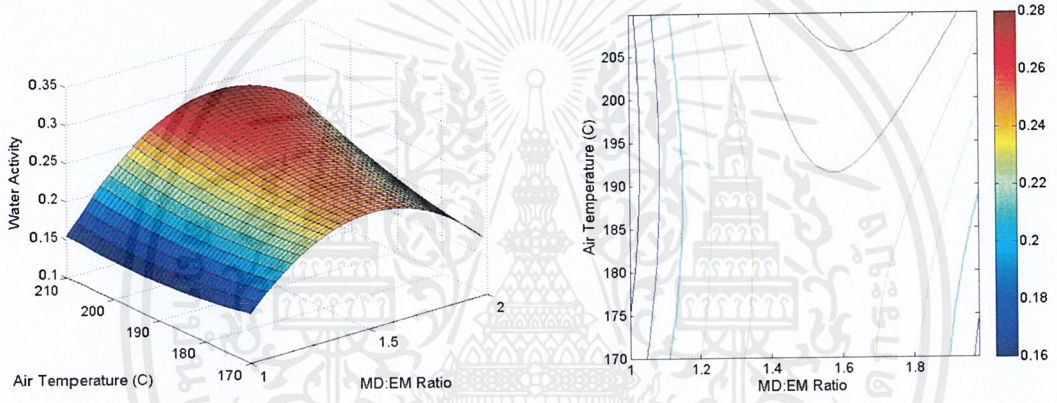
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ไม่มีนัยสำคัญทางคณิตศาสตร์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากรูปที่ 4.5 เมื่อมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำอิสระในกะทิผงจะเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นเมื่อสังเกตโดยรวมทั้ง 3 รูป (a, b, c) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายแป้งมากขึ้น ปริมาณน้ำอิสระในกะทิผงจะเพิ่มขึ้น และหากเพิ่มอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินเข้าไปจะทำให้ปริมาณน้ำอิสระในกะทิผงยิ่งเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางกลับกันพบว่าอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ทำแห้งมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระค่อนข้างน้อย ยกเว้นเมื่อมีการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในช่วง 1.4 - 2 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าจะมีปริมาณน้ำอิสระที่สูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ

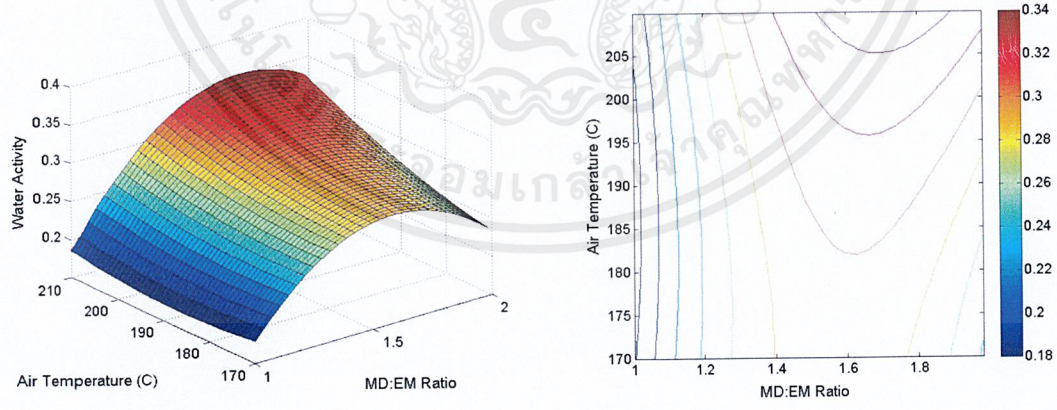
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณน้ำอิสระของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield)

จากการวิเคราะห์พบว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณอยู่ในช่วง 27.51% - 70.34% เมื่อเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงปริมาณน้อย แต่หากเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงมากขึ้น โดยเมื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์กะทิผง อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

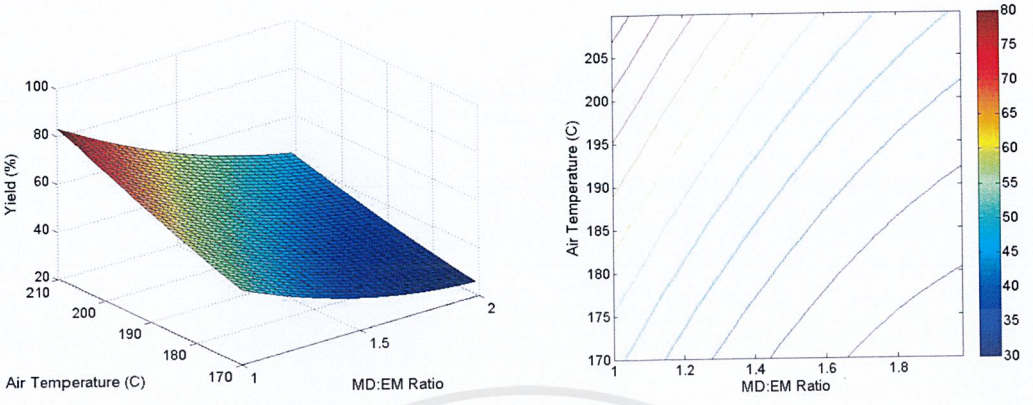
$$\%YD = -19.4122 - 40.8825X_1 + 0.350771X_2 + 10.00208X_3 + 21.7283X_1^2 + 0.002849X_2^2 - 0.00772X_3^2 - 0.3425X_1X_2 + 1.601X_1X_3 - 0.06005X_2X_3 \quad (4.4)$$

$R^2 = 0.8162$, S.E. = 9.5670

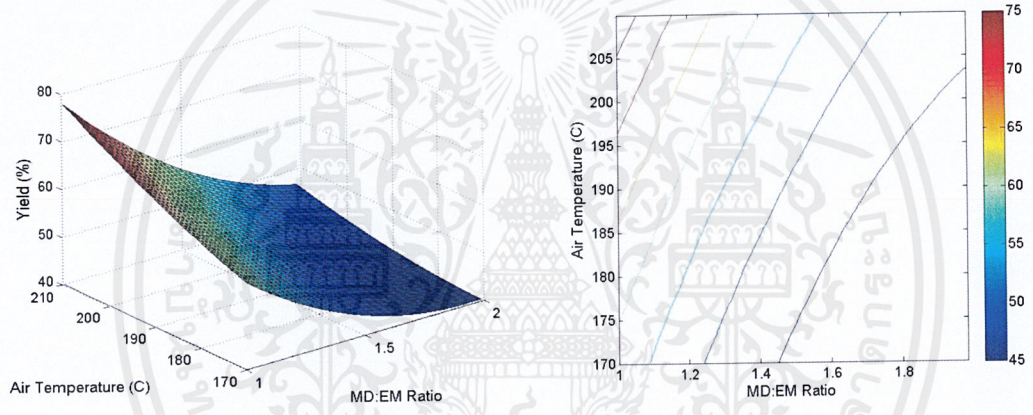
X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

จากรูปที่ 4.6 เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 209.9 ºC และที่อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่ำสุดส่งผลให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงมากที่สุด 83.53% ในทางกลับกันหากอุณหภูมิลมร้อนต่ำลงจะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงมีค่าลดลงเรื่อยๆ เนื่องกะทิมีไขมันมากในการทำแห้งหากใช้อุณหภูมิต่ำจะมีผลทำให้ผงที่ได้ไม่แห้งและเหนียวเกาะติดผนังห้องอบแห้ง สำหรับอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์-ตรินหากเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงมีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนืดลดลงจึงเกิดการสูญเสียขณะทำแห้งมากขึ้น เนื่องจากการห่อหุ้มกลิ่นรสในกระบวนการเอนแคปซูเลชันเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ (อภินันท์, 2009) ส่วนเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายแป้งพร้อม อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิด้วยจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงลดลง

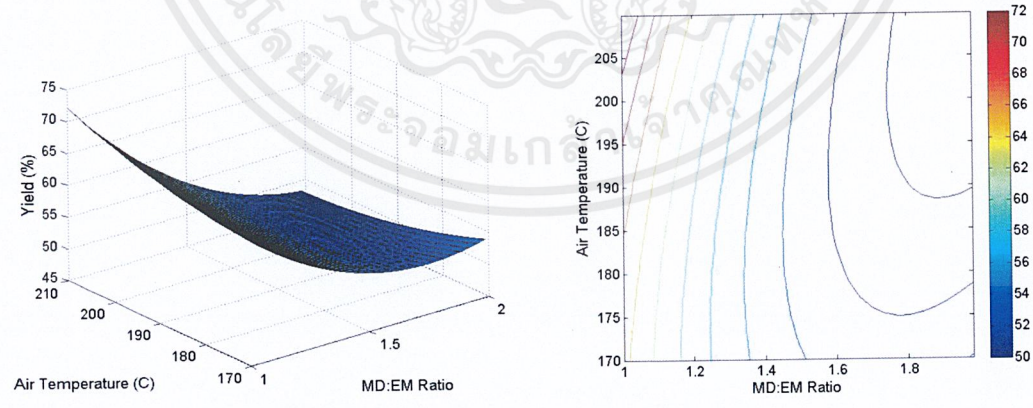
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Bulk Density)

เนื่องเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์จึงทำให้ค่าความหนาแน่นมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ผง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูงจะเป็นที่น่าพอใจมากกว่าเนื่องจากสามารถลดราคาในการบรรจุและการขนส่งลงได้ (Barbosa Cánovas & Juliano, 2005) โดยจากการวิเคราะห์พบว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.333 - 0.452 g/cm^3 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นสูง โดยเมื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์กะทิผง อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$BD = 0.619844 - 0.38025X_1 - 0.00162X_2 + 0.022925X_3 + 0.0995X_1^2 + 5.94E\text{-}06X_2^2 - 0.00049X_3^2 + 0.000375X_1X_2 + 0.0083X_1X_3 - 0.00012X_2X_3 \quad (4.3)$$

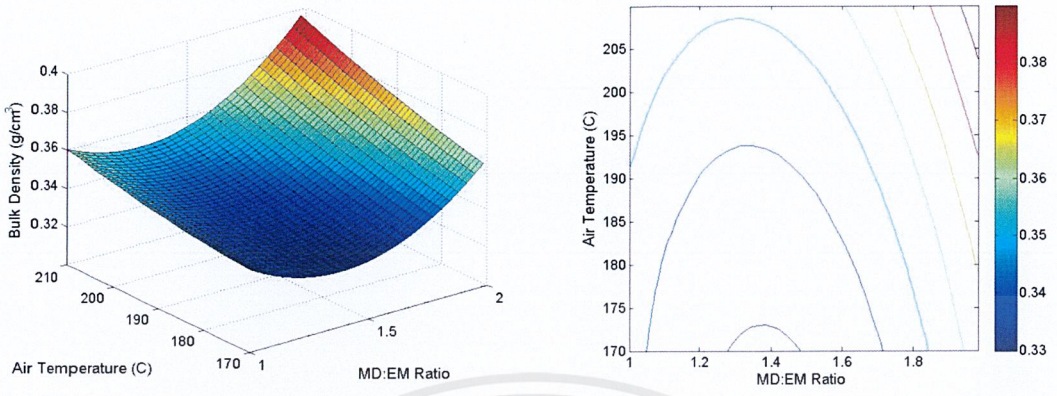
$R^2 = 0.9402$, S.E. = 0.0169 , $p < 0.1$

X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

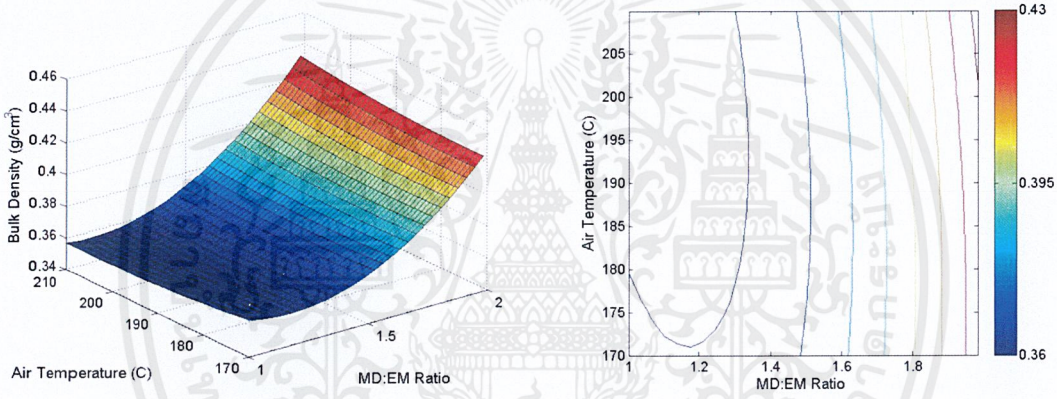
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

จากรูปที่ 4.7 แสดงว่าการเพิ่มอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินมีผลให้ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งไม่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเพิ่มปริมาณสารละลายแป้งพบว่ามีผลให้ค่าความหนาแน่นของกะทิผงมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารละลายแป้งมีผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ Cai and Corke (2000) เมื่อผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำจึงทำให้มีอากาศส่วนมากอยู่ภายในผลิตภัณฑ์ผง ซึ่งเป็นการเพิ่มความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาลดลง

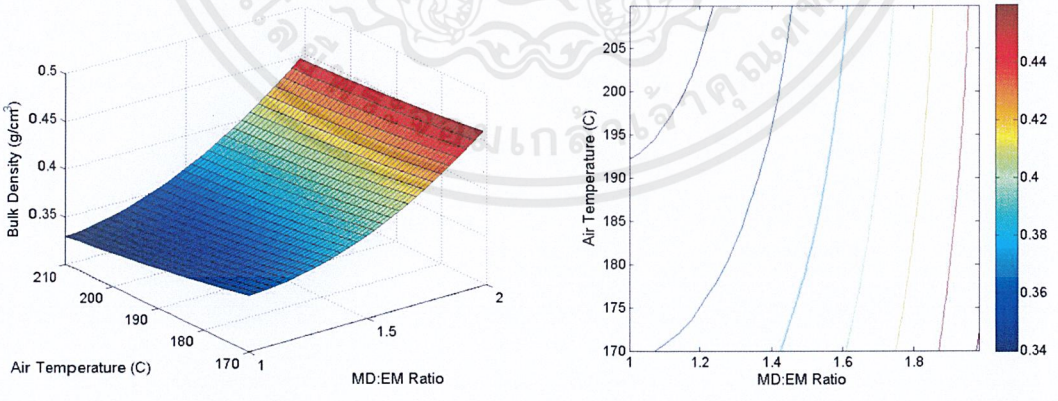
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และความหนาแน่นของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Hygroscopicity)

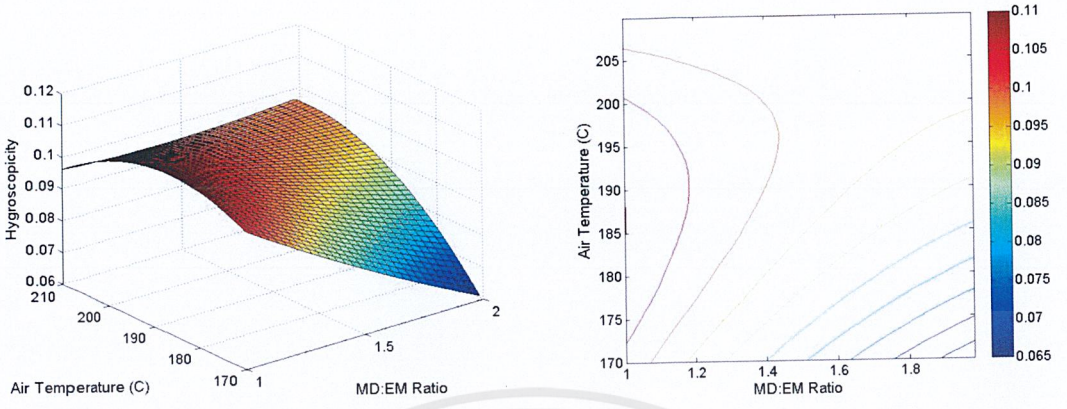
ค่าการดูดซับความชื้นถือเป็นค่าวิกฤตสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากน้ำเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการไหลของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Frascareli et al., 2012) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์พบว่าความสามารถในการดูดซับความชื้นอยู่ในช่วง 0.0609% - 0.1181% ซึ่งที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75.3 %RH หากค่าการดูดซับความชื้นต่ำกว่า 10% จะถือว่าไม่มีการดูดซับความชื้น (Schuck et al., 2012) ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีการดูดซับความชื้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการดูดซับความชื้นต่ำลง และในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้นกลับทำให้มีการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น แต่หากเพิ่มทั้งอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนพบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น เมื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผง อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\%HG = -0.55065-0.24565X_1 + 0.00844X_2 +0.003715X_3 + 0.00615 X_1^2 -2.53E-05X_2^2 + 1.85E-05X_3^2 + 0.001078X_1X_2 + 0.00032X_1X_3 - 1.65E-05X_2X_3 \quad (4.5)$$

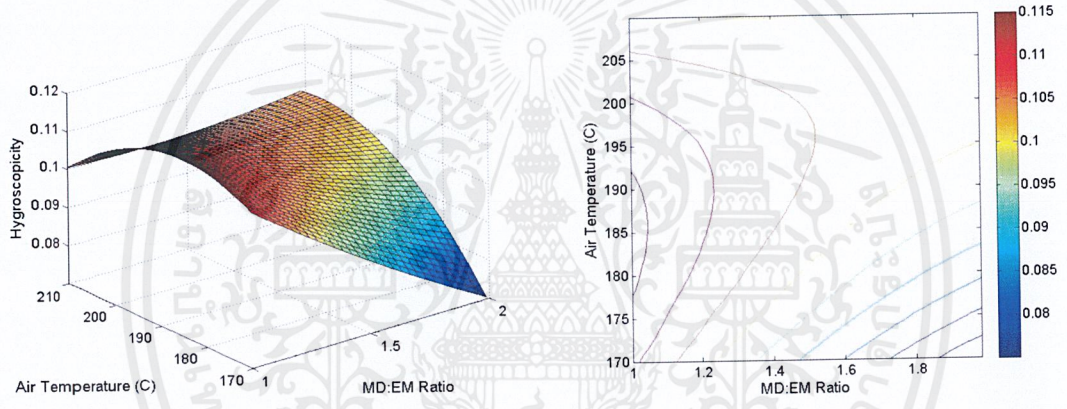
$$R^2 = 0.8548 \text{ , } S.E. = 0.0098$$

จากการทดลองพบว่าในการเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินมีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการดูดซับความชื้นต่ำลง แต่ถ้าอุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้นทำให้มีการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.8 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากกะทิผงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง มีรูปร่างของอนุภาคผงมีรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากการทำแห้งอย่างรวดเร็ว น้ำจึงระเหยออกอย่างรวดเร็วแบบไร้ทิศทาง ทำให้อนุภาคเสียรูปทรงได้ และเกิดการดูดซับความชื้นกลับได้ง่ายโดยผลที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shyam S. Sablani (2008) ซึ่งมีการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผงอินทผลัม ที่มีการเติมมอลโต-เด็กซ์ตรินในอัตราส่วน 35% - 50% ซึ่งมอลโตเด็กซ์ตรินสามารถช่วยลดการดูดซับความชื้นได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wei Wang and Weibiao Zhou (2012) ซึ่งศึกษาการทำแห้งซอสถั่วเหลืองด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นตัวห่อหุ้ม ซึ่งพบว่าเมื่อมีการเติมมอลโต-เด็กซ์ตรินมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการป้องกันการดูดซับความชื้นกลับได้มากขึ้น และในส่วนของการเพิ่มปริมาณสารละลายแป้งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงดูดความชื้นกลับได้มากขึ้น

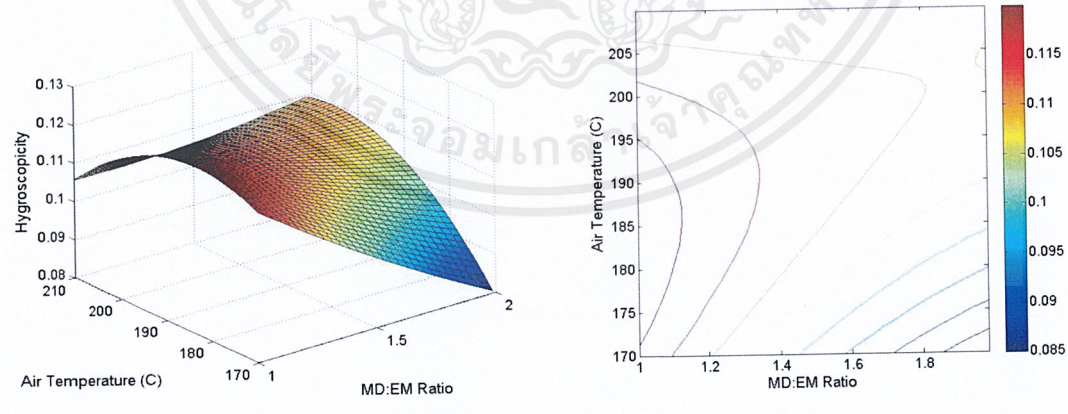
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และความสามารถในการดูดซับความชื้นของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Solubility)

ค่าคุณสมบัติการละลายมีความสำคัญต่อลักษณะคุณภาพของอาหารผงซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของอาหาร (Barbosa-Cánovas & Juliano, 2005) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่าเวลาที่ใช้ในการละลายแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 227 - 953 sec หรือ 3.47 - 15.53 min เมื่อเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้เวลาในการละลายต่ำลง เช่นเดียวกับเมื่ออุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น โดยเมื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการละลายผลิตภัณฑ์กะทิผง อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$SB = -13.495 - 50.7725X_1 + 0.9755625X_2 - 4.79975X_3 + 17.76\,X_1^2 - 0.00314375X_2^2 + 0.1265X_3^2 - 0.00425X_1X_2 - 0.619X_1X_3 + 0.0145X_2X_3 \quad (4.6)$$

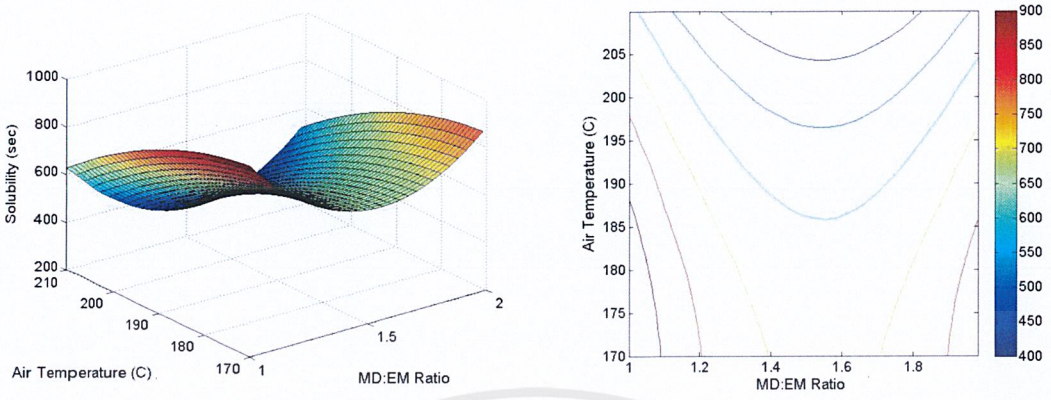
$R^2 = 0.9570$, S.E. = 1.4458 , $p < 0.01$

X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

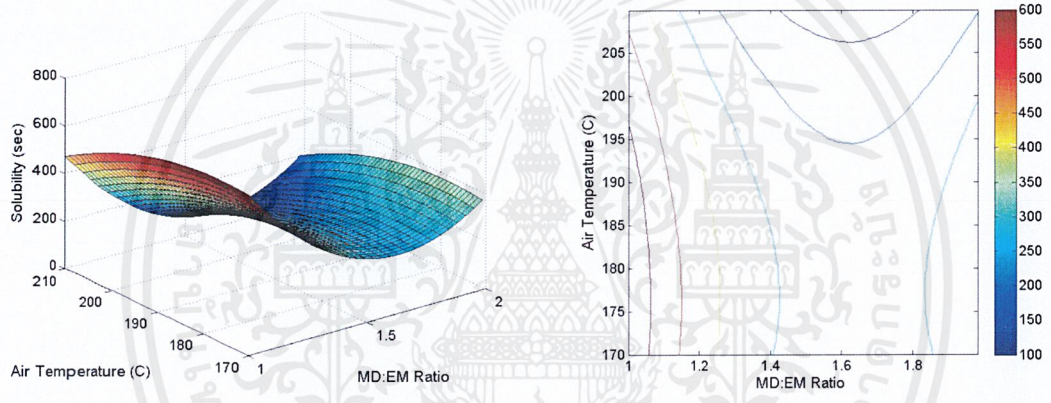
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการละลายกะทิผงจะลดลงนั่นแสดงว่าความสามารถในการละลายของกะทิผงเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายลดลงเมื่อเติมมอลโตเด็กซ์ตรินอัตราส่วนในช่วง 1.4 - 1.8 ซึ่งจากรูปที่ 4.9 จะสังเกตได้ว่าใช้เวลาในการละลายมาก ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองที่ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมและสารห่อหุ้มในการผลิตเครื่องเทศ (Sage) ผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งผลที่ได้เมื่อความเข้มข้นของสารห่อหุ้มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายลดลง (Şahin-Nadeem et al., 2013) นอกจากนั้นจากรูปหากเพิ่มทั้งอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณสารละลายแป้ง มีผลทำให้ใช้เวลาในการละลายต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจมีเป็นผลมาจากเมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณสารละลายแป้งที่สูงทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความหนาแน่นสูง ซึ่งเมื่อความหนาแน่นสูงแสดงว่ามีน้ำหนักมากทำให้สามารถละลายน้ำได้ดี

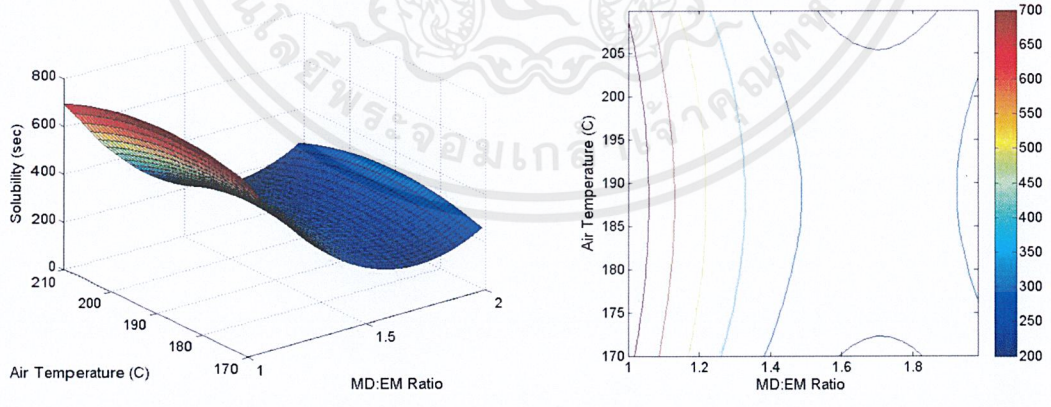
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และความสามารถในการละลายของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจายของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Dispersibility)

จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการกระจายตัว พบว่าเมื่อนำกะทิผงไปละลายน้ำ ส่วนของอนุภาคที่ตกค้างบนตะแกรงขนาด 200 ไมครอนมีน้อยมาก ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 84.26% - 90.56% โดยทั่วไปแล้วค่าการกระจายตัวของอาหารผงมีค่าอยู่ในช่วง 67.05% - 99.98% (Jaya and Das, 2004) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถแตกตัวกระจายออกในน้ำได้ดี มีปริมาณอนุภาคของแข็งที่ไม่ละลายเหลือค้างบนตะแกรงเพียงเล็กน้อย

$$\%DP = -23.5782 + 9.06X_1 + 0.433287X_2 - 1.0152X_3 + 5.534\,X_1^2 - 0.00098X_2^2 + 0.06548X_3^2 - 0.10325X_1X_2 - 0.7018X_1X_3 + 0.002665X_2X_3 \quad (4.7)$$

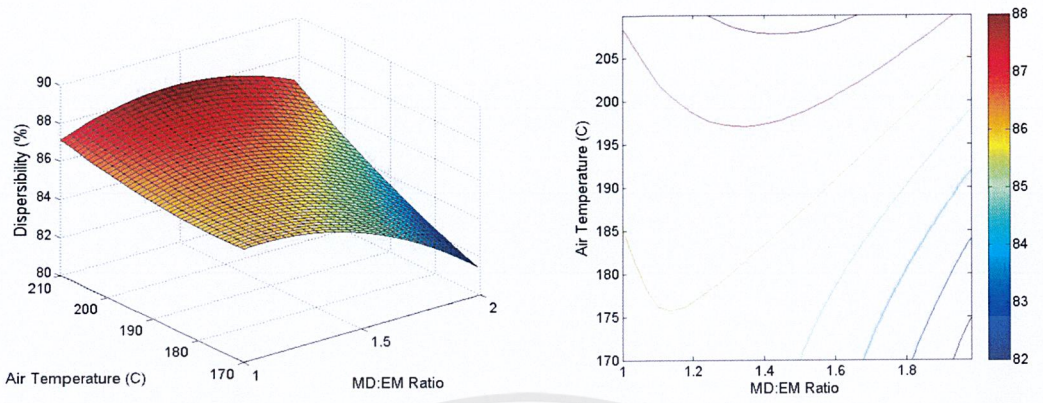
$R^2 = 0.9472$, S.E. = 0.9240, $p < 0.05$

X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

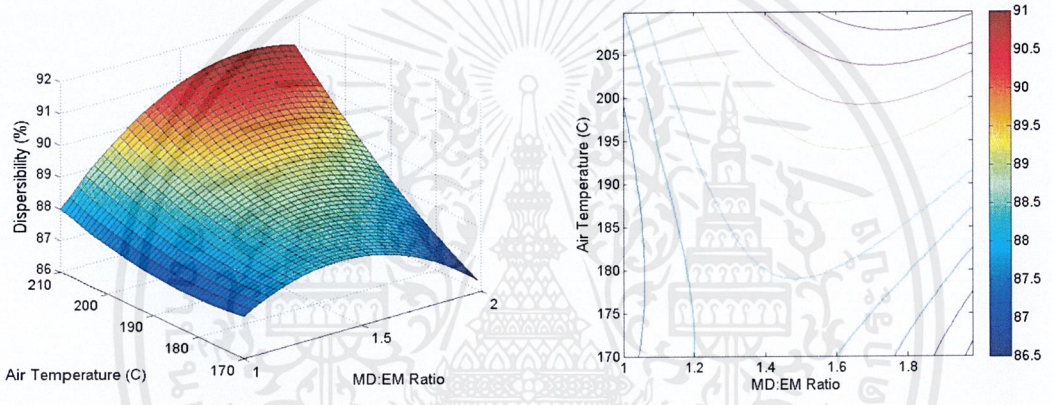
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

จากรูป 4.10 (a) และ 4.10 (b) เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินพบว่าทำให้ค่าความสามารถในการกระจายตัวต่ำลง ร่วมกับเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีค่าต่ำ แต่หากเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลให้ความสามารถในการกระจายเพิ่มขึ้น ในรูป 4.10 (c) มีผลตรงข้ามกับสองรูปที่กล่าวข้างต้น คือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตริน พบว่าความสามารถในการกระจายมีค่าสูงขึ้น แต่อุณหภูมิกลับไม่มีผลต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์ผง ส่วนการเติมสารละลายแป้งมีผลให้ความสามารถในการกระจายตัวสูงขึ้น

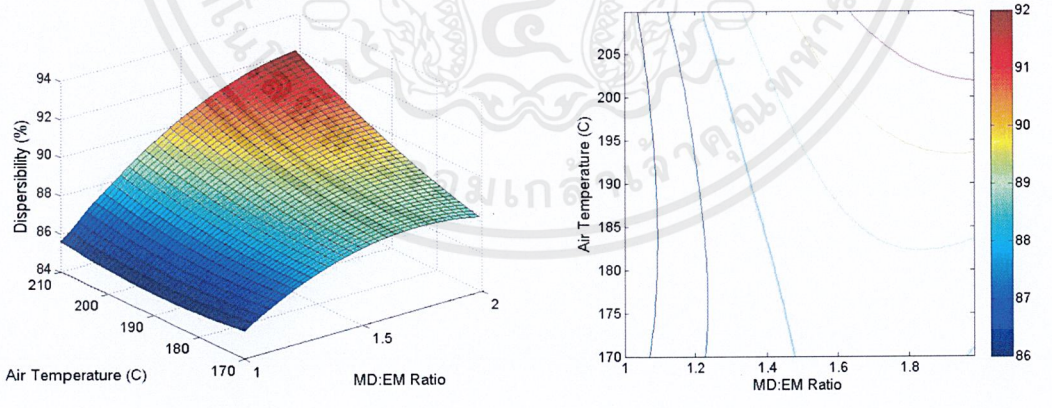
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และความสามารถในการกระจายของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความสว่าง (L*) ของสีผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

จากการวิเคราะห์ค่าสีผลิตภัณฑ์กะทิผง โดยตรวจสอบจากตัวอย่างกะทิผงทั้ง 15 การทดลอง พบว่ากะทิผงที่ได้มีค่าความสว่าง(L*) อยู่ระหว่าง 78.073 ถึง 81.43 เมื่อเพิ่มมอลโตเด็กซ์ตรินมีผลให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างน้อยมาก

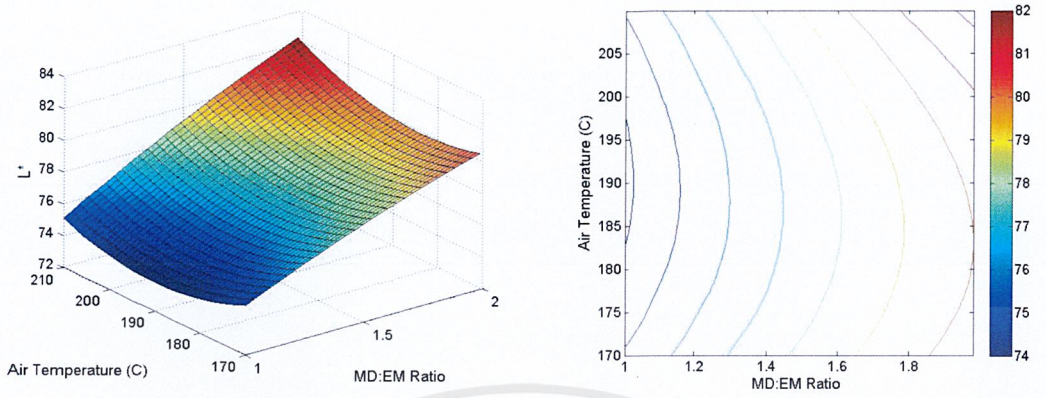
$$L = 147.8702 + 9.79275X_1 + 2.550425X_2 - 0.99507X_3 - 2.4445\ X_1^2 - 0.0453X_2^2 + 0.002495X_3^2 - 0.9647X_1X_2 + 0.046325X_1X_3 + 7.5E\text{-}06X_2X_3 \quad (4.8)$$

$R^2 = 0.7471$, S.E. = 2.0391

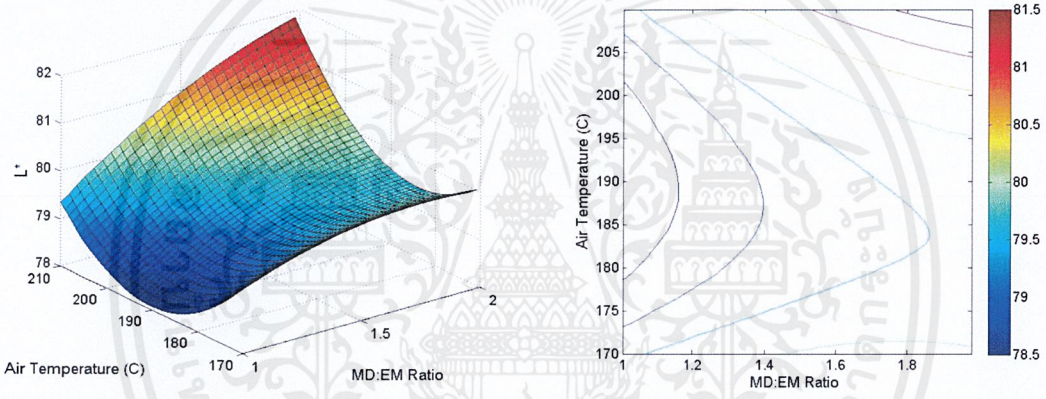
X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

ในรูปที่ 4.11(a) และ 4.11(b) พบว่าหากอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินสูงขึ้น ค่าความสว่างของกะทิผงจะสูงขึ้นด้วย แต่หากเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นพบว่ามีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างน้อยมาก ในทางกลับกัน จากรูปที่ 4.11(c) เมื่อปริมาณสารละลายแป้งสูงขึ้น พบว่าการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินมากขึ้นมีผลให้ค่าความสว่างของกะทิผงมีค่าลดลง แต่การเพิ่มอุณหภูมิยังคงมีผลกระทบต่อค่าความสว่างน้อยมากเช่นเดียวกับสองรูปแรก

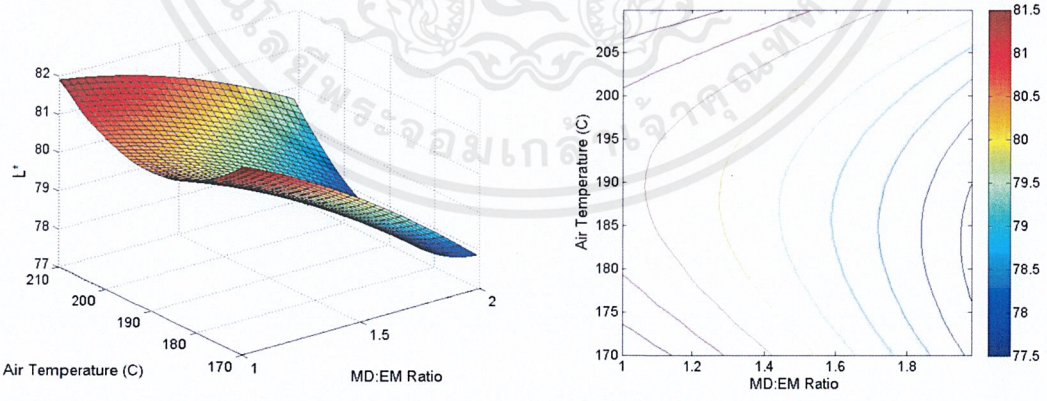
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และค่าความสว่างของสีกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.9 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

จากการวิเคราะห์ค่าสีผลิตภัณฑ์กะทิผง โดยตรวจสอบจากตัวอย่างกะทิผงทั้ง 15 การทดลอง พบว่ากะทิผงที่ได้มีค่าที่ออกไปทางสีเหลือง(b*) มีค่าระหว่าง 8.336 ถึง 14.594

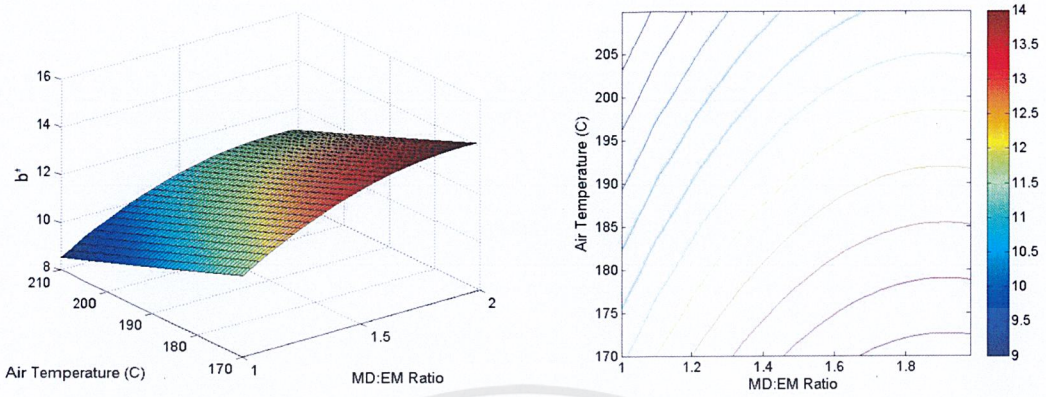
$$b = 13.18944 + 16.886X_1 - 0.66845X_2 - 0.05946X_3 - 3.492\,X_1^2 + 0.03924X_2^2 - 5.9E\text{-}05X_3^2 - 0.5436X_1X_2 - 0.00538X_1X_3 + 0.003053X_2X_3 \quad (4.8)$$

$R^2 = 0.6385$, S.E. = 2.0212

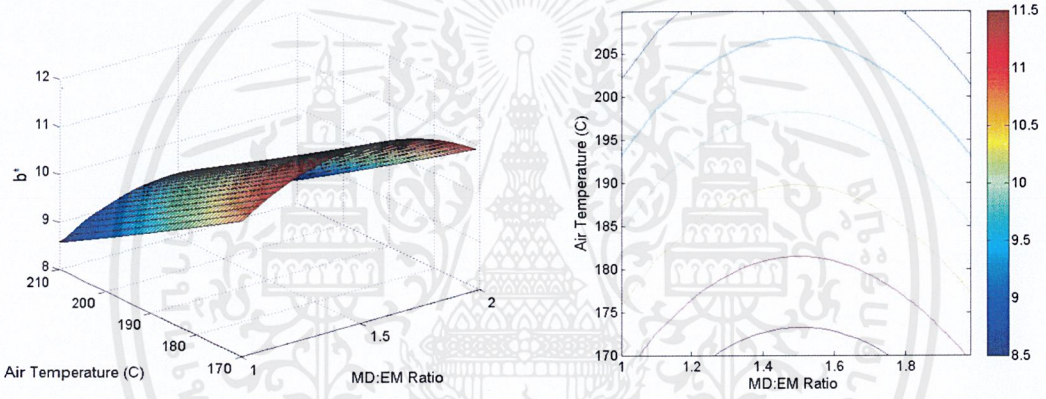
X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

ในรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งสูงขึ้นมีผลให้กะทิผงที่ได้มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงขึ้น แต่หากอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินสูงขึ้นกลับมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีเหลืองน้อยมาก ทั้งนี้เป็นเพราะการที่กะทิได้รับความร้อนสูงจึงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองมากขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณสารละลายแป้งพบว่า ค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าลดลง

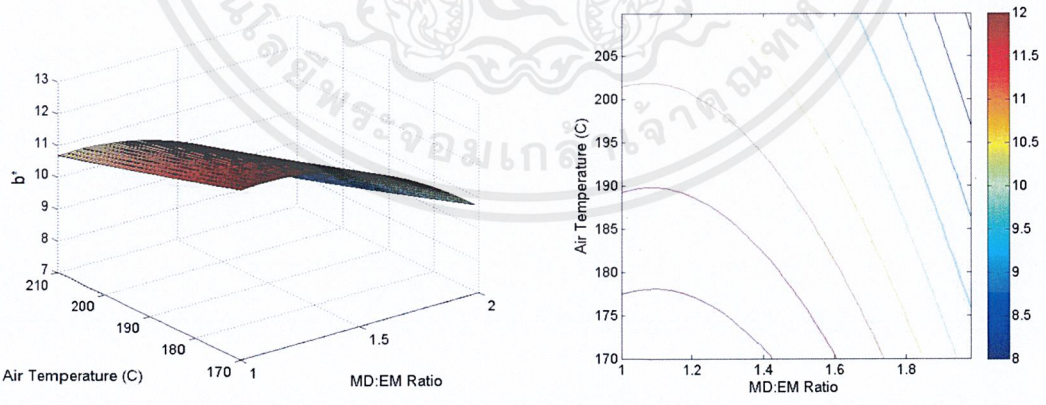
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และค่าความเป็นสีเหลืองของกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.10 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความแตกต่าง (dE) ของสีผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

จากการวิเคราะห์ค่าสีผลิตภัณฑ์กะทิผง โดยตรวจสอบจากตัวอย่างกะทิผงทั้ง 15 การทดลอง พบว่ากะทิผงที่ได้มีค่าความแตกต่างโดยรวมประมาณ 19.162 - 28.194

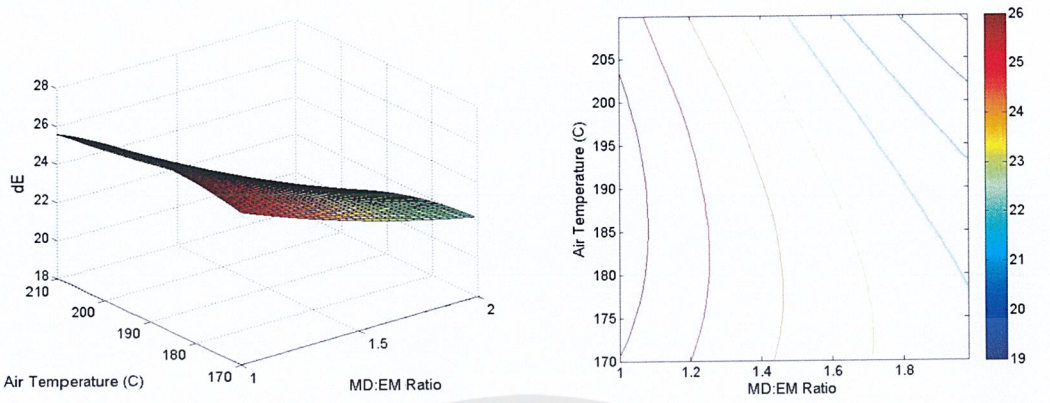
$$dE = -31.0893 + 1.151X_1 + 0.748488X_2 - 2.82665X_3 + 1.3095\,X_1^2 - 0.00184X_2^2 + 0.048725X_3^2 - 0.07468X_1X_2 + 0.7628X_1X_3 + 0.00258X_2X_3 \quad (4.8)$$

$R^2 = 0.7284$, S.E. = 2.0025

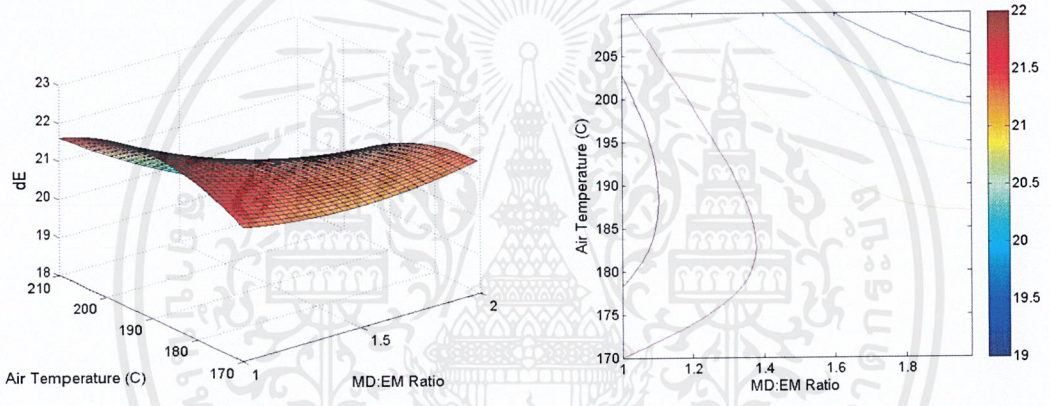
X_1 คือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินและสารอิมัลซิไฟเออร์ X_2 คือ ปริมาณสารละลายแป้ง และ X_3 คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

ในรูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE) จะเห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์-ตริน มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณสารละลายแป้งพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีมากนัก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมอาจเกิดจากการออกซิเดชันของไขมันที่อุณหภูมิสูง

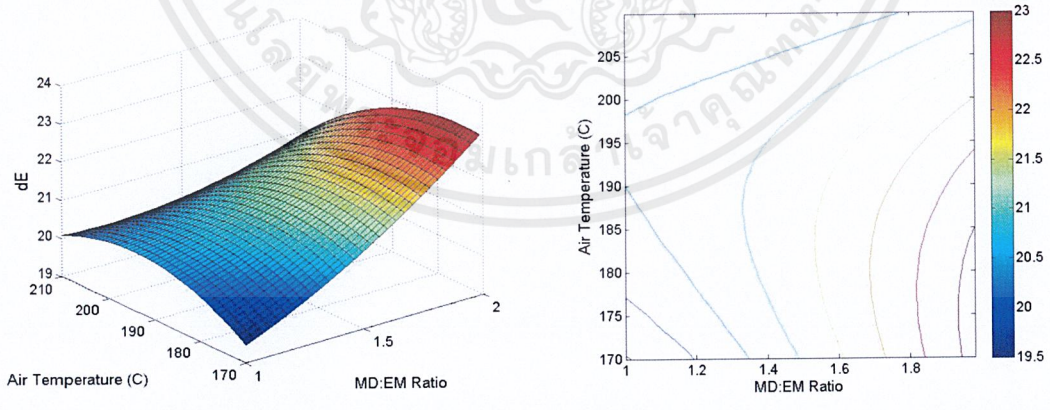
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soluble Starch 5% (a)



Soluble Starch 10% (b)



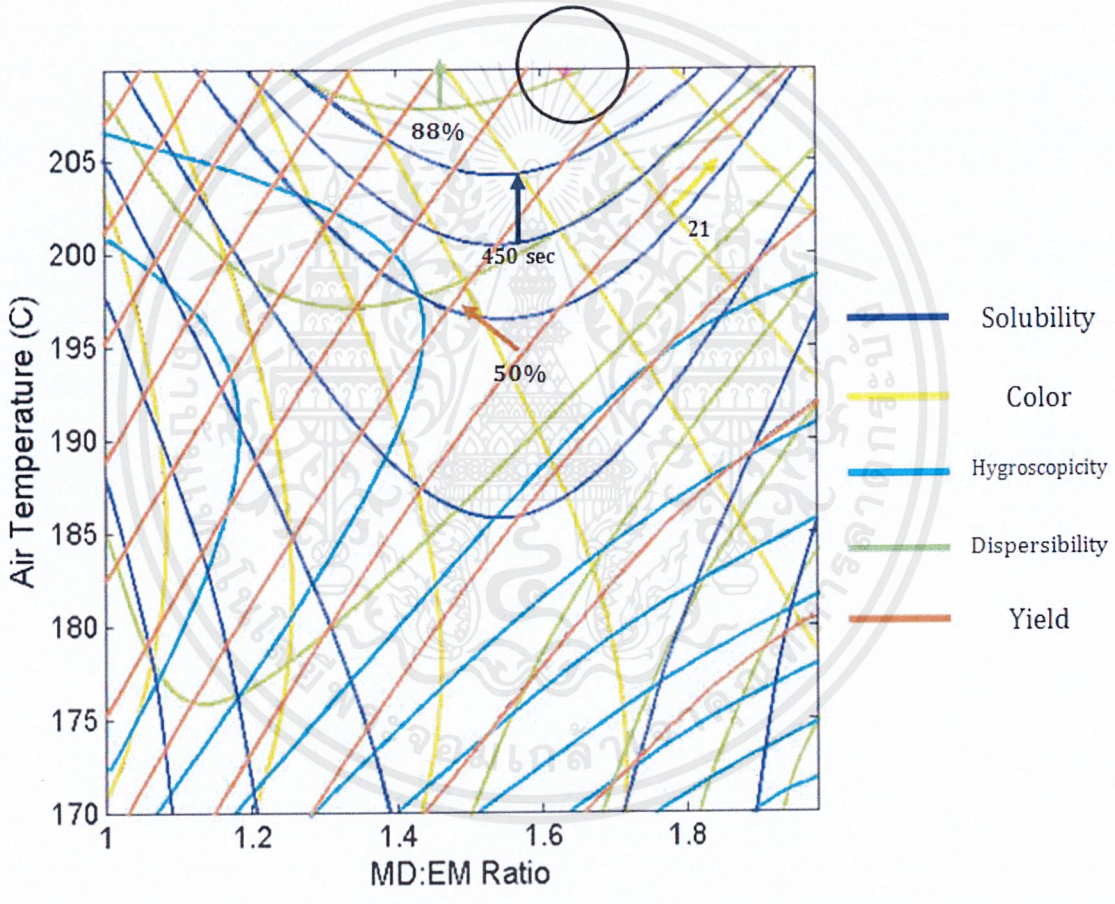
Soluble Starch 15% (c)

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน และค่าความแตกต่างของสีกะทิผงที่ปริมาณสารละลายแป้งต่างๆ (a) 5% (b) 10% (c) 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

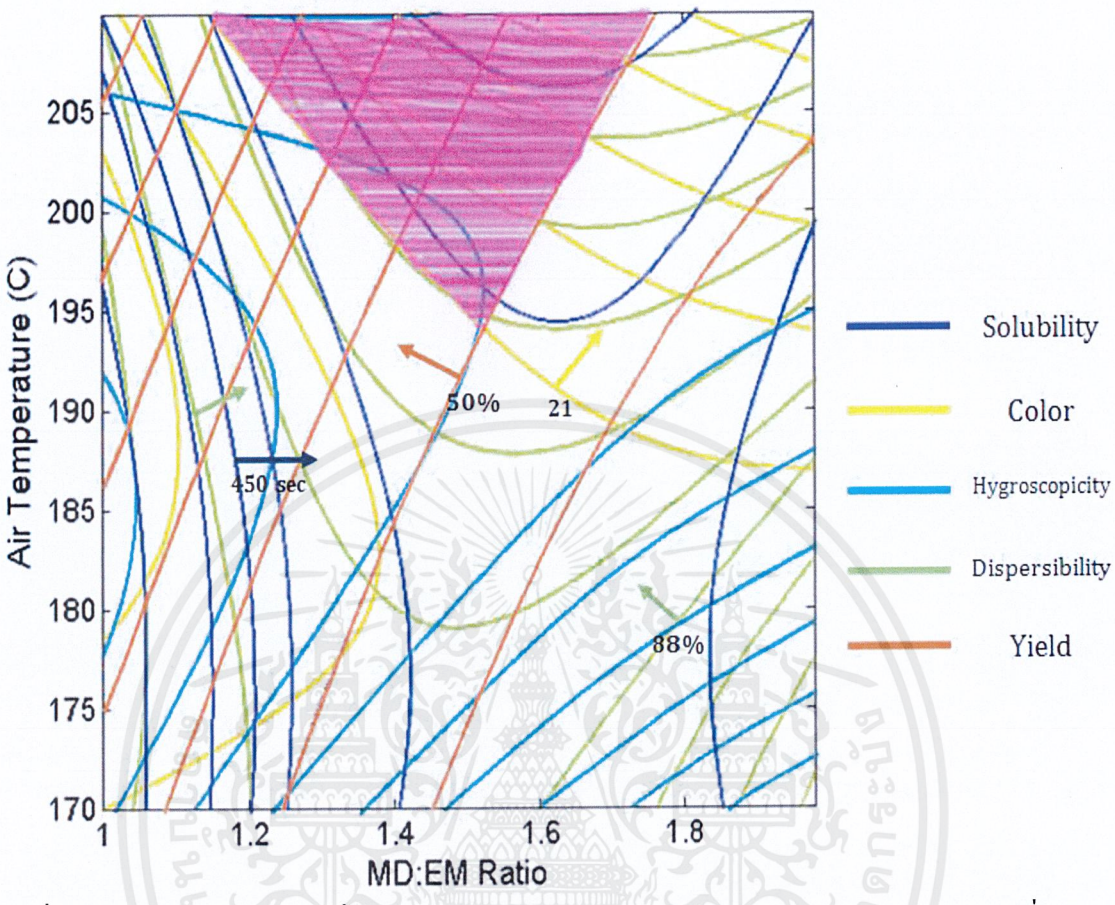
4.4 สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ (Process Optimization)

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทั้งหมด นำค่าที่ได้มาพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสม โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมดังนี้ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ 50% ขึ้นไป ความสามารถในการดูดซับความชื้น ต่ำกว่า 0.11% ความสามารถในการกระจายตัวสูงกว่า 88% ความสามารถในการละลายต่ำกว่า 7:30 นาที หรือ 450 วินาที และค่าสีเหลืองต่ำกว่า 10 จากรูปที่ 4.14 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1.63 - 1.66 และอุณหภูมิลมร้อน 209 - 210 °C



รูปที่ 4.14 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อเติมสารละลายแป้ง 5%

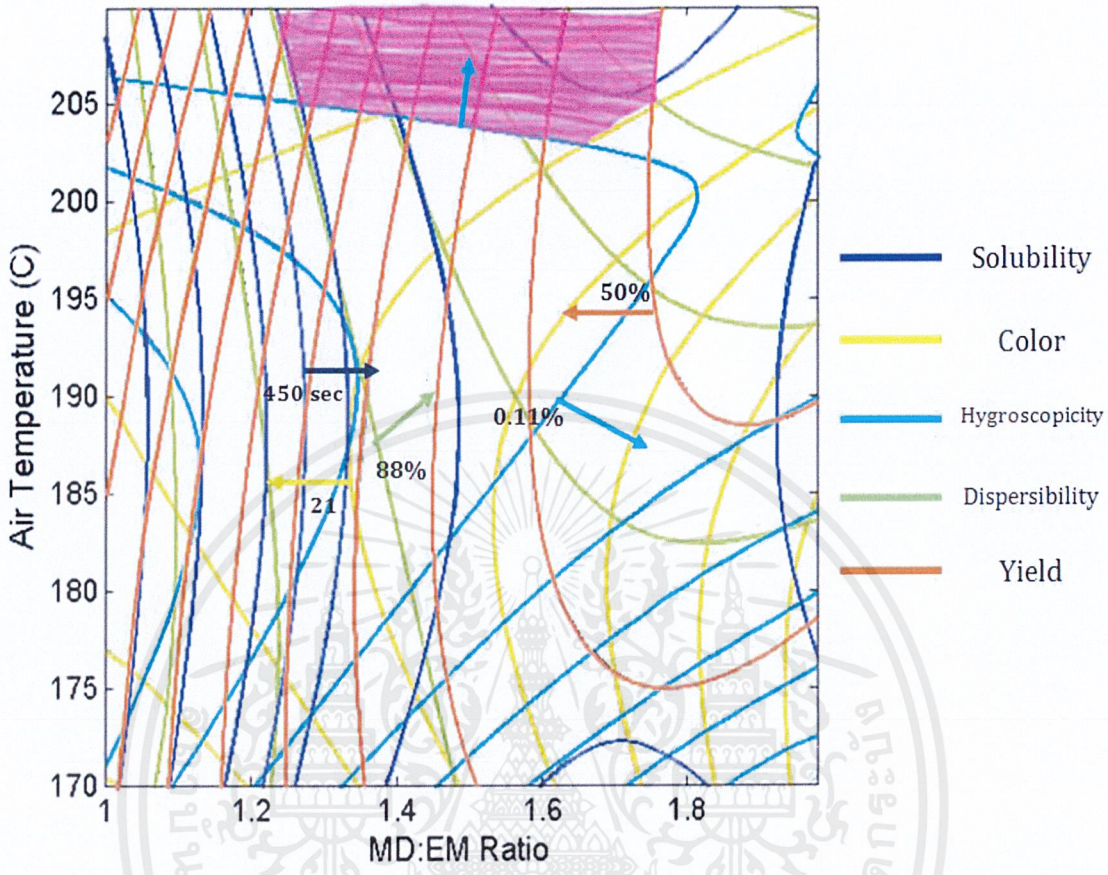
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อเติมสารละลายแป้ง 10%

จากรูปที่ 4.15 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงเมื่อเติมสารละลายแป้ง 10% มีปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1.18 - 1.76 และอุณหภูมิลมร้อน 193 - 210 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อเติมสารละลายแป้ง 15%

จากรูปที่ 4.16 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงเมื่อเติมสารละลายแป้ง 15% มีปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 1.25 – 1.75 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 203 - 210 °C

จากการวิเคราะห์เบื้องต้นทำให้ทราบว่าสภาวะที่เหมาะสมอยู่ในช่วงไหนบ้าง ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้สามารถเลือกสภาวะที่ดีที่สุดได้ 4 สภาวะ ดังนี้

- สภาวะที่ 1 ที่อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ 1.5:1 ปริมาณสารละลายแป้ง 15% และอุณหภูมิลมร้อน 210 °C
- สภาวะที่ 2 ที่อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ 2:1 ปริมาณสารละลายแป้ง 15% และอุณหภูมิลมร้อน 190 °C
- สภาวะที่ 3 ที่อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ 1.5:1 ปริมาณสารละลายแป้ง 5% และอุณหภูมิลมร้อน 210 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สภาวะที่ 4 ที่อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ 1:1 ปริมาณสารละลายแป้ง 10% และอุณหภูมิลมร้อน 210 ºC

4.5 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำสภาวะที่ดีที่สุด 4 ตัวอย่าง มาทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสกับบุคคล 20 คน โดยได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 20 คน

NO. ตัวอย่าง	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
#4	6.80^{a}	6.70^{a}	6.05^{b}	6.15^{a}	6.70^{a}
#6	5.70^{b}	6.95^{a}	6.90^{a}	6.20^{a}	6.90^{a}
#10	6.50^{ab}	6.45^{a}	5.90^{b}	6.30^{a}	6.45^{a}
#12	6.10^{ab}	6.40^{a}	6.35^{ab}	6.30^{a}	6.45^{a}
กะทิสด	6.90^{a}	5.05^{b}	7.00^{a}	6.45^{a}	6.80^{a}

จากการทดสอบ พบว่า ผู้ทดสอบชอบสีของตัวอย่างกะทิสดมากที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างแบบนัยสำคัญกับตัวอย่างหมายเลข 4, 10, 12 แต่มีความแตกต่างแบบนัยสำคัญกับตัวอย่างหมายเลข 6 สำหรับกลิ่น ตัวอย่างหมายเลข 6 เป็นตัวอย่างที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างแบบนัยสำคัญกับตัวอย่างหมายเลข 4, 10, 12 แต่มีความแตกต่างแบบนัยสำคัญกับตัวอย่างกะทิสด รสชาติ ตัวอย่างกะทิสดเป็นตัวอย่างที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างแบบนัยสำคัญกับตัวอย่างหมายเลข 6, 12 แต่มีความแตกต่างแบบนัยสำคัญกับตัวอย่างหมายเลข 4, 10 เนื้อสัมผัสของกะทิ ตัวอย่างที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุดคือ ตัวอย่างกะทิสด ซึ่งไม่มีความแตกต่างแบบนัยสำคัญกับตัวอย่างอื่นๆ ส่วนความชอบโดยรวมของกะทิ ตัวอย่างหมายเลข 6 เป็นตัวอย่างที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุด และไม่มีความแตกต่างแบบนัยสำคัญกับตัวอย่างอื่นๆ ค่าเฉลี่ยจากคะแนนทั้งหมด พบว่าตัวอย่างหมายเลข 6 เป็นตัวอย่างที่ผู้ทดสอบมากที่สุด สำหรับตัวอย่างนี้สภาวะที่ใช้ในการทำแห้งคือ อัตราส่วนระหว่างสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ 1:1 ปริมาณสารละลายแป้ง 10% และอุณหภูมิลมร้อน 210 ºC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ และการวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัส ทำให้สามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยควรใช้อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินอยู่ในช่วง 1.28 - 1.76 ปริมาณสารละลายแป้ง 10% และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง 210 ºC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทดลองการผลิตกะทิผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งดังนี้ อุณหภูมิลมร้อนขาออก 90 ºC ปริมาณลมร้อนที่ใช้ 175.2 kg/hr อัตราการป้อนวัตถุดิบ 2.45 l/hr และความดันลมที่ใช้ 0.2 MPa โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตริน (1, 1.5, 2) ปริมาณสารละลายแป้ง(5%, 10%, 15%) และอุณหภูมิลมร้อน (170, 190, 210 ºC)

จากการทดลองพบว่า

- การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ช่วยทำให้สารละลายอิมัลชันของกะทิมีความคงตัวดี ซึ่งคุณสมบัตินี้จำเป็นต่อการทำสารละลายอิมัลชัน

- ปัจจัยสำคัญต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำกะทิเพื่อให้ได้คุณสมบัติของกะทิผงตรงตามความต้องการคือมอลโตเด็กซ์ตริน รองลงมาคือสารละลายแป้ง และอุณหภูมิลมร้อน

- เมื่ออัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (%Yield) ลดลง ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่น (Bulk density) เพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) ลดลง และค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) เพิ่มขึ้น

- เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความชื้น (Moisture content) เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่น (Bulk density) ลดลง ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (%Yield) เพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) เพิ่มขึ้น และค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) ลดลง

- เมื่อปริมาณสารละลายแป้งเพิ่มขึ้น มีผลให้ความชื้น (Moisture content) เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่น (Bulk density) เพิ่มขึ้น ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (%Yield) ลดลง ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) เพิ่มขึ้น และสำหรับค่าความสามารถในการละลายสามารถละลายได้ดีที่ปริมาณสารละลายแป้ง 10%

- ความสามารถในการกระจาย (Dispersibility) ของกะทิผงทุกสภาวะการทดลองมีการกระจายตัวดีมาก มีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำค้างอยู่บนตะแกรงน้อยมากถึงไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด มีสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งคือ อัตราส่วนสารทำแห้งต่อสารอิมัลซิไฟเออร์ (MD:AG) 1:1 ปริมาณสารละลายแป้ง 10 % และอุณหภูมิลมร้อน 210 ºC

- จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ และการวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัส ทำให้สามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยควรใช้อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินอยู่ในช่วง 1.28 - 1.76 ปริมาณสารละลายแป้ง 10% และอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง 210 ºC

5.2 ปัญหาที่พบ

- สำหรับขั้นตอนการทำแห้งกะทิผง จำเป็นต้องมีการอุ่นและรักษาอุณหภูมิของสารละลายให้คงที่ เนื่องจากหากสารละลายอิมัลชันมีอุณหภูมิต่ำลงไขมันที่มีอยู่ในสารละลายจะทำให้เกิดความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อป้อนเข้าไปอาจทำให้หัวฉีดอุดตันได้

- สภาพแวดล้อมขณะทำการทดลองบางวันมีความชื้นสัมพันธ์ไม่เท่ากันจึงทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ไม่เท่ากันและอาจเกิดการคลาดเคลื่อนได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาการเติมสีสังเคราะห์ เพื่อให้กะทิผงมีสีที่สวย น่ารับประทานมากขึ้น

- การเก็บรักษา ไม่ควรเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากกะทิผงมีส่วนประกอบของไขมันเป็นหลัก หากเก็บในที่อุณหภูมิสูงเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิจัยเศรษฐกิจการค้าการลงทุน,สำนักงานยุทธศาสตร์การพาณิชย์ (2553).มะพร้าว.

กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ยืนต้น. การปลูกดูแลรักษามะพร้าว. สืบค้นวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2556

คมสิทธิ์ และ อรรถพล (2546). ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในนมและอุณหภูมิในกระบวนการที่มีต่อความชื้นและความสามารถในการละลายของนมผงสเปรย์ดราย. วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จีระนันท์ และคณะ (2552). การหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟ. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต.สาขาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพ

ณรงค์ โฉมเฉลา (2551). มาใช้กะทิแทนนมกันเถอะ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2551.

ทศพรพรรณ รัตนภักดี (2546).การผลิตและอายุการเก็บรักษาน้ำกะทิดัดแปลงไขมันพาสเจอไรซ์. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล มานิพพาน (2548). การเพราะปลูกและขยายพันธุ์มะพร้าว. สำนักพิมพ์เพชรกะรัต, กรุงเทพ. หน้า 77-78.

นิศรา ฮะเจริญ และ เอกพันธ์ แก้วมณีชัย (2553). การเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนในการแปรรูปและความคงตัวต่อความเย็นในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กะทิสเตอริไรส์. การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ/นานาชาติ ครั้งที่ 2.

ปรัชญา วงศ์ธนบัตร (2543).ผลของปัจจัยการแปรรูปต่อคุณภาพของกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ , วิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปิติกานต์ ตติยพันธุ์ (2548). บทบาทของอิมัลซิไฟเออร์ สเตบิไลเซอร์และโปรตีนต่อลักษณคุณภาพของน้ำกะทิสเตอริไลซ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพโรจน์ วิริยจารี (2545). การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation). พิมพ์ครั้งที่ 1. คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิด (2535). วิศวกรรมการแปรรูปอาหาร(การถนอมอาหาร).พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:โอเอสพริ้นติ้งเฮาส์.

ศศิธร จารุสมบัติ (2545). พืชน้ำมัน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 118-126.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2528). มอก. 583-2528, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิผง. 11 หน้า.

สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การปลูกมะพร้าว. สืบค้นวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2556

สุคนธ์ชื่น และ วรรณวิบูลย์ (2546). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อภินันท์ สุทธิธารธวัช (2552). การกักเก็บกลิ่นและรสชาติที่ ไม่ละลายน้ำ โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย.วารสารวิศวกรรม-ศาสตร์ เล่ม 1 ฉบับที่ 3,43-62.

อภินันท์ สุทธิธารธวัช. http://www.nanotec.or.th/fckeditor/FCKeditor/UserFiles/Encapsulation%20technology%20in%20Food%20Industry%20new.pdf , สืบค้นวันที่ 20 มีนาคม 2555. การปรับปรุงคุณภาพกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยนาโนแคปซูล.

อรนุช เจษฎาธรรมสถิต, http://www.krungsri.com/inc/download.aspx?file=../download/MediaFile_482Ind40.pdf, สืบค้นวันที่ 23 มิถุนายน 2555. ผลิตภัณฑ์กะทิ.

อิทธิพล แก่งสันเทียะ อำนาจ บุญลอย ประสิทธิ์ คำพันยิ้ม และพงษ์เจต พรหมวงศ์ (2550). การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพ

http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf , สืบค้นวันที่ 20 มีนาคม 2555. เอนแคปซูเลชันและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส.

http://fic.nfi.or.th/food/upload/pdf/17_1585.pdf, สืบค้นวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2556. ประเทศคู่ค้ากะทิสำเร็จรูปที่สำคัญของไทย.

http://www.kmutt.ac.th/titec/gtz/coconut-detail-upload5.html, สืบค้นวันที่ 2 มีนาคม 2556. การแปรรูปมะพร้าวและผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว.

Bae, E. K., & Lee, S. J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. Journal of Microencapsulation. 25: Pp. 549-560.

Bakar, J., Hassan, M.A. and Ahmad, A. (2006). Storage stability of coconut milk powder. Journal of the Science of Food and Agriculture. 43: Pp. 95–100.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Barbosa-Cánovas, G. V., and Juliano, P. (2005). Physical and chemical properties of food powders. In C. Onwulata (Ed.), Encapsulated and powdered foods (Pp. 40-66). CRC Press, Taylor & Francis Group.

Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried Amaranthus betacyanin pigments. Journal of Food Science. 65: Pp. 1248−1252.

Chen, X.D. and Mujumdar, A.S. (2008). Drying Technologies in Food Processing. United Kingdom. Blackwell. Pp 144-146.

Frascareli, E.C., Silva, V.M., Tonon, R.V., and Hubinger, M.D. (2012). Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. food and bioproducts processing. 90: Pp. 413–424.

Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M.E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M.N., and Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. Journal of Food Engineering. 75: Pp. 27–35.

Hassan (1985). Production of Spray-Dried Coconut Milk Powder. Pertanika 8(1), 127 -130.

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: Pp. 125–134.

Jena, S. and Das, H. (2012). Shelf life prediction of aluminum foil laminated polyethylene packed vacuum dried coconut milk powder. Journal of Food Engineering. 108: Pp. 135–142.

Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., and Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. Procedia Food Science. 1: Pp. 1806 – 1815.

Sablani, S. S., Shrestha, A. K., and Bhandari, B. R. (2008). A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder. Journal of Food Engineering. 87: Pp. 416- 421

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schuck, P., Jeantet, R., and Dolivet, A. (2012). Dehydration Processes and Powder Properties. In Analytical Methods for Food and Dairy Powders (P. 186). John Wiley & Sons.

Tansakul, A. and Chaisawang, P. (2006). Thermophysical properties of coconut milk. Journal of Food Engineering. 73: Pp. 276–280.

Tonon, R.V., Grosso, C.R.F., Hubinger, M.D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. Food Research International. 44: Pp. 282–289.

Wang, W., and Zhou, W. (2012). Characterization of spray-dried soy sauce powders using maltodextrins as carrier. Journal of Food Engineering. 109: Pp. 399–405.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. การเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติต่างๆของสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ

MD : EM ratio	Viscosity (mPa.s)	Stability (%)
1:0	95.6	31.39
0:1	145.2	59
1:1	370.4	100
2:1	306	100
1:2	378.8	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผง

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content)

No.	MD:EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	นน.ถ้วย+ฝา	นน.กะทิก่อนอบ	นน.กะทิหลังอบ	%ความชื้นเฉลี่ย
1	1 : 1	5	190	17.7368	3.0483	3.0329	0.523
				17.9574	3.0784	3.0621	
				17.4304	3.0555	3.0392	
2	1 : 1	15	190	17.4558	3.0525	3.0395	0.388
				17.8386	3.0522	3.0420	
				17.5219	3.0418	3.0295	
3	2 : 1	5	190	17.7069	3.0303	3.0239	0.199
				17.6983	3.0529	3.0466	
				17.9041	3.0636	3.0581	
4	2 : 1	15	190	17.7438	3.0464	3.0088	1.261
				17.6061	3.0477	3.0102	
				17.7240	3.0602	3.0199	
5	1 : 1	10	170	17.6874	3.0653	3.0506	0.531
				17.7274	3.0614	3.0453	
				17.8205	3.0527	3.0348	
6	1 : 1	10	210	17.7453	3.0500	3.0220	0.808
				17.6379	3.0603	3.0372	
				17.4118	3.0510	3.0281	
7	2 : 1	10	170	17.7471	3.0655	3.0479	0.586
				18.1022	3.0379	3.0200	
				17.6830	3.0392	3.0211	
8	2 : 1	10	210	17.9169	3.0858	3.0344	1.769
				17.8954	3.0773	3.0248	
				17.8818	3.0704	3.0110	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	MD:EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	นน.ถ้วย+ฝา	นน.กะทิก่อนอบ	นน.กะทิหลังอบ	%ความชื้นเฉลี่ย
9	1.5 : 1	5	170	17.8796	3.0613	3.0439	0.455
				17.3746	3.0347	3.0196	
				17.8259	3.0448	3.0357	
10	1.5 : 1	5	210	17.6980	3.0582	3.0399	0.558
				17.5117	3.0650	3.0462	
				17.8792	3.0500	3.0359	
11	1.5 : 1	15	170	17.3807	3.0533	3.0233	1.010
				17.8312	3.0642	3.0328	
				17.5939	3.0716	3.0402	
12	1.5 : 1	15	210	17.4933	3.0517	3.0192	1.125
				17.9117	3.0709	3.0312	
				17.7235	3.0541	3.0230	
13	1.5 : 1	10	190	17.7108	3.0676	3.0508	0.541
				17.8585	3.0451	3.0288	
				17.8942	3.0544	3.0379	
14	1.5 : 1	10	190	17.9944	3.0654	3.0482	0.555
				17.5048	3.0677	3.0495	
				17.8154	3.0585	3.0429	
15	1.5 : 1	10	190	17.5794	3.0657	3.0078	1.863
				17.2519	3.0491	2.9941	
				17.8844	3.0759	3.0176	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

No.	MD:EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	a_w	a_w เฉลี่ย
1	1 : 1	5	190	0.167	0.148
				0.130	
				0.148	
2	1 : 1	15	190	0.143	0.156
				0.174	
				0.150	
3	2 : 1	5	190	0.154	0.144
				0.140	
				0.139	
4	2 : 1	15	190	0.253	0.250
				0.243	
				0.254	
5	1 : 1	10	170	0.142	0.141
				0.137	
				0.144	
6	1 : 1	10	210	0.175	0.178
				0.168	
				0.192	
7	2 : 1	10	170	0.157	0.147
				0.134	
				0.151	
8	2 : 1	10	210	0.247	0.269
				0.265	
				0.294	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	MD:EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	a_w	a_w เฉลี่ย
9	1.5 : 1	5	170	0.245	0.222
				0.215	
				0.206	
10	1.5 : 1	5	210	0.184	0.189
				0.194	
				0.190	
11	1.5 : 1	15	170	0.328	0.331
				0.332	
				0.334	
12	1.5 : 1	15	210	0.339	0.332
				0.335	
				0.323	
13	1.5 : 1	10	190	0.246	0.241
				0.242	
				0.235	
14	1.5 : 1	10	190	0.261	0.274
				0.271	
				0.289	
15	1.5 : 1	10	190	0.409	0.414
				0.424	
				0.409	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%Yield)

No.	MD : EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	Solid ที่ได้ทั้งหมด (g)	Solid น้ำกะทิก่อน spray (g)	%yield
1	1 : 1	5	190	692.89	1063.22	65.17
2	1 : 1	15	190	735.43	1072.28	68.59
3	2 : 1	5	190	409.27	1267.62	32.29
4	2 : 1	15	190	616.37	1215.32	50.72
5	1 : 1	10	170	695.82	1072.84	64.86
6	1 : 1	10	210	754.67	1072.84	70.34
7	2 : 1	10	170	599.43	1247.22	48.06
8	2 : 1	10	210	496.93	1247.22	39.84
9	1.5 : 1	5	170	161.38	586.72	27.51
10	1.5 : 1	5	210	779.42	1173.44	66.42
11	1.5 : 1	15	170	266.14	579.95	45.89
12	1.5 : 1	15	210	704.96	1159.90	60.78
13	1.5 : 1	10	190	604.84	1119.70	54.02
14	1.5 : 1	10	190	496.92	1119.70	44.38
15	1.5 : 1	10	190	578.79	1176.06	49.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น (Bulk Density)

No.	MD:EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	ปริมาตรภาชนะ	นน. ภาชนะ	นน.กะทิผง	Density (g/cm^3)	Density เฉลี่ย
1	1 : 1	5	190	62.832	12.91	22.67	0.360	0.353
				62.832	12.91	22.93	0.365	
				62.832	12.91	20.95	0.333	
2	1 : 1	15	190	62.832	12.91	21.67	0.345	0.335
				62.832	12.91	22.20	0.353	
				62.832	12.91	19.34	0.308	
3	2 : 1	5	190	62.832	12.91	24.16	0.384	0.387
				62.832	12.91	24.36	0.388	
				62.832	12.91	24.46	0.389	
4	2 : 1	15	190	62.832	12.91	28.40	0.452	0.452
				62.832	12.91	28.19	0.449	
				62.832	12.91	28.57	0.455	
5	1 : 1	10	170	62.832	12.91	22.46	0.357	0.357
				62.832	12.91	22.78	0.363	
				62.832	12.91	22.08	0.351	
6	1 : 1	10	210	62.832	12.91	23.57	0.375	0.366
				62.832	12.91	23.31	0.371	
				62.832	12.91	22.18	0.353	
7	2 : 1	10	170	62.832	12.91	26.35	0.419	0.419
				62.832	12.91	26.42	0.420	
				62.832	12.91	26.23	0.417	
8	2 : 1	10	210	62.832	12.91	27.77	0.442	0.443
				62.832	12.91	27.55	0.438	
				62.832	12.91	28.14	0.448	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	MD:EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	ปริมาตรภาชนะ	นน. ภาชนะ	นน. กะทิผง	Density (g/cm^3)	Density เฉลี่ย
9	1.5 : 1	5	170	62.832	12.91	20.73	0.330	0.333
				62.832	12.91	21.33	0.339	
				62.832	12.91	20.65	0.329	
10	1.5 : 1	5	210	62.832	12.91	21.87	0.348	0.342
				62.832	12.91	21.39	0.340	
				62.832	12.91	21.19	0.337	
11	1.5 : 1	15	170	62.832	12.91	25.02	0.398	0.400
				62.832	12.91	25.80	0.411	
				62.832	12.91	24.54	0.391	
12	1.5 : 1	15	210	62.832	12.91	23.17	0.369	0.362
				62.832	12.91	22.22	0.354	
				62.832	12.91	22.79	0.363	
13	1.5 : 1	10	190	62.832	12.91	22.40	0.357	0.354
				62.832	12.91	22.06	0.3515	
				62.832	12.91	22.35	0.356	
14	1.5 : 1	10	190	62.832	12.91	23.87	0.380	0.384
				62.832	12.91	24.21	0.385	
				62.832	12.91	24.32	0.387	
15	1.5 : 1	10	190	62.832	12.91	25.02	0.398	0.408
				62.832	12.91	26.62	0.424	
				62.832	12.91	25.20	0.401	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

No.	MD:EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	นน.ถ้วยฟอล์ย	นน.กะทิก่อนแช่	นน.กะทิหลังแช่	% ความชื้น	%Hygroscopicity
1	1 : 1	5	190	0.1331	1.0044	1.1144	0.523	0.104
				0.1572	1.0051	1.1167		
				0.1388	1.0027	1.1149		
2	1 : 1	15	190	0.3060	1.0066	1.1360	0.388	0.118
				0.1837	1.0034	1.1336		
				0.3843	1.0030	1.1338		
3	2 : 1	5	190	0.0970	1.0033	1.1047	0.199	0.095
				0.4596	1.0055	1.1090		
				0.3560	1.0035	1.1072		
4	2 : 1	15	190	0.3816	1.0049	1.1084	1.261	0.112
				0.3319	1.0048	1.1118		
				0.1232	1.0076	1.1132		
5	1 : 1	10	170	0.3392	1.0060	1.1271	0.531	0.113
				0.3463	1.0046	1.1238		
				0.5204	1.0031	1.1281		
6	1 : 1	10	210	0.2219	1.0067	1.1221	0.808	0.111
				0.1678	1.0068	1.1245		
				0.327	1.0040	1.1196		
7	2 : 1	10	170	0.3047	1.0057	1.0999	0.586	0.061
				0.3080	1.0038	1.0376		
				0.3566	1.0059	1.0566		
8	2 : 1	10	210	0.3446	1.0038	1.0970	1.769	0.102
				0.5246	1.0055	1.0981		
				0.3287	1.0057	1.1029		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	MD:EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	นน.ถ้วยฟอล์ย	นน.กะทิก่อนแช่	นน.กะทิหลังแช่	% ความชื้น	%Hygroscopicity
9	1.5 : 1	5	170	0.3366	1.0094	1.0843	0.455	0.091
				0.3428	1.0092	1.1027		
				0.3217	1.0066	1.1044		
10	1.5 : 1	5	210	0.2683	1.0026	1.0994	0.558	0.092
				0.3207	1.0026	1.1031		
				0.3845	1.0068	1.0991		
11	1.5 : 1	15	170	0.3262	1.0037	1.1142	1.010	0.107
				0.1789	1.0067	1.1159		
				0.1151	1.0066	1.2281		
12	1.5 : 1	15	210	0.3372	1.0069	1.1166	1.125	0.108
				0.3352	1.0038	1.1117		
				0.4111	1.0038	1.1117		
13	1.5 : 1	10	190	0.2459	1.0029	1.1166	0.541	0.107
				0.1044	1.0005	1.1141		
				0.3809	1.0051	1.1199		
14	1.5 : 1	10	190	0.4828	1.0086	1.1203	0.555	0.104
				0.3460	1.0048	1.1148		
				0.3980	1.0062	1.1161		
15	1.5 : 1	10	190	0.4621	1.0073	1.0898	1.863	0.094
				0.3436	1.0036	1.0875		
				1.1806	1.0054	1.0897		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถการกระจาย

No.	MD : EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	นน. ถ้วย+ฝา	นน.กะทิ ก่อนอบ	นน.กะทิ หลังอบ	% ความชื้นเฉลี่ย	%Dispersibility
1	1 : 1	5	190	17.8786	0.3309	0.1790	45.905	85.901
2	1 : 1	15	190	17.6964	0.7566	0.3671	51.480	84.260
3	2 : 1	5	190	17.1818	3.9399	1.9384	50.801	84.448
4	2 : 1	15	190	17.4203	1.9396	1.4431	25.598	89.825
5	1 : 1	10	170	17.3794	0.5198	0.3244	37.591	87.781
6	1 : 1	10	210	17.4820	2.1803	1.4549	33.271	88.604
7	2 : 1	10	170	17.4331	0.1709	0.0905	47.045	85.607
8	2 : 1	10	210	17.8232	3.2508	2.5933	20.226	90.560
9	1.5 : 1	5	170	17.8404	1.7171	0.8601	49.910	84.764
10	1.5 : 1	5	210	17.8410	1.7256	1.0814	37.332	87.834
11	1.5 : 1	15	170	17.6203	3.3702	2.2180	34.188	88.648
12	1.5 : 1	15	210	17.8228	2.1551	1.7146	20.440	90.472
13	1.5 : 1	10	190	17.6415	0.3802	0.2599	31.641	88.845
14	1.5 : 1	10	190	17.5449	2.6854	1.9338	27.988	89.413
15	1.5 : 1	10	190	17.7670	6.5617	5.0093	23.659	90.144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย

No.	MD : EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	เวลา (นาที)
1	1 : 1	5	190	15.53
2	1 : 1	15	190	12.05
3	2 : 1	5	190	14.01
4	2 : 1	15	190	4.34
5	1 : 1	10	170	10.46
6	1 : 1	10	210	8.03
7	2 : 1	10	170	6.18
8	2 : 1	10	210	3.58
9	1.5 : 1	5	170	10.34
10	1.5 : 1	5	210	3.52
11	1.5 : 1	15	170	5.15
12	1.5 : 1	15	210	4.13
13	1.5 : 1	10	190	3.47
14	1.5 : 1	10	190	4.10
15	1.5 : 1	10	190	4.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

No.	MD : EM X_1	SS (%) X_2	T_{air} (°C) X_3	L*	a*	b*	ΔE
1	1 : 1	5	190	71.999	3.781	8.898	28.194
2	1 : 1	15	190	81.430	2.811	10.562	19.579
3	2 : 1	5	190	79.455	2.677	13.519	22.116
4	2 : 1	15	190	79.239	2.278	9.747	21.129
5	1 : 1	10	170	79.881	2.631	10.910	20.949
6	1 : 1	10	210	79.846	3.816	10.441	21.353
7	2 : 1	10	170	79.550	4.679	9.020	21.745
8	2 : 1	10	210	81.368	2.780	8.336	19.162
9	1.5 : 1	5	170	79.504	2.933	14.594	22.589
10	1.5 : 1	5	210	80.409	2.980	9.795	20.351
11	1.5 : 1	15	170	78.869	3.135	12.656	22.519
12	1.5 : 1	15	210	79.777	4.226	9.078	21.313
13	1.5 : 1	10	190	80.416	3.534	9.531	20.558
14	1.5 : 1	10	190	79.133	2.822	11.616	21.860
15	1.5 : 1	10	190	78.073	3.624	10.312	22.804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์กะทิผง

ชื่อผู้ทดสอบ.....เพศ.....อายุ

.....

รหัสตัวอย่าง .....

ข้อแนะนำ 1. กรุณาชิมผลิตภัณฑ์ต่อไปนี้จาก ซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

1 = ไม่ชอบที่สุด	2 = ไม่ชอบมาก	3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	5 = เฉยๆ	6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง	8 = ชอบมาก	9 = ชอบมากที่สุด

2. กรุณาดื่มน้ำระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

คุณลักษณะ	รหัส			
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. ตาราง ANOVA

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.1 Moisture Content

Regression Statistics	
Multiple R	0.949279951
R Square	0.901132426
Adjusted R Square	0.678680383
Standard Error	0.237135378
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	2.050158464	0.227795	4.050907	0.095543266
Residual	4	0.22493275	0.056233		
Total	13	2.275091214			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	32.10609375	12.96871362	2.475658	0.068529	-3.9008277	68.11302	-3.9008277	68.1130152
X Variable 1	-6.19675	2.803317312	-2.21051	0.091575	-13.98000663	1.586507	-13.980007	1.586506629
X Variable 2	-0.097325	0.259498058	-0.37505	0.726662	-0.817807113	0.623157	-0.8178071	0.623157113
X Variable 3	-0.29441875	0.127804474	-2.30367	0.082605	-0.649260857	0.060423	-0.6492609	0.060423357
X Variable 4	0.3625	0.530250825	0.683639	0.531751	-1.109712308	1.834712	-1.1097123	1.834712308
X Variable 5	-0.001835	0.005302508	-0.34606	0.746731	-0.016557123	0.012887	-0.0165571	0.012887123
X Variable 6	0.000712187	0.000331407	2.148983	0.098093	-0.000207945	0.001632	-0.0002079	0.00163232
X Variable 7	0.1197	0.047427076	2.523875	0.065088	-0.011978672	0.251379	-0.0119787	0.251378672
X Variable 8	0.02265	0.011856769	1.910301	0.128701	-0.010269668	0.05557	-0.0102697	0.055569668
X Variable 9	3E-05	0.001185677	0.025302	0.981026	-0.003261967	0.003322	-0.003262	0.003321967

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.2 Water Activity

Regression Statistics	
Multiple R	0.936194
R Square	0.876459
Adjusted R Square	0.598491
Standard Error	0.043276
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	0.053146	0.005905	3.153099	0.140426
Residual	4	0.007491	0.001873		
Total	13	0.060638			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	1.021594	2.366724	0.431649	0.688244	-5.54949	7.592674	-5.54949	7.592674
X Variable 1	0.5515	0.511591	1.078009	0.341701	-0.8689	1.971905	-0.8689	1.971905
X Variable 2	-0.0224	0.047357	-0.473	0.660867	-0.15388	0.109084	-0.15388	0.109084
X Variable 3	-0.01286	0.023324	-0.55148	0.610663	-0.07762	0.051894	-0.07762	0.051894
X Variable 4	-0.3355	0.096768	-3.46705	0.025652	-0.60417	-0.06683	-0.60417	-0.06683
X Variable 5	3.5E-05	0.000968	0.036169	0.972881	-0.00265	0.002722	-0.00265	0.002722
X Variable 6	2.53E-05	6.05E-05	0.418526	0.697057	-0.00014	0.000193	-0.00014	0.000193
X Variable 7	0.0098	0.008655	1.132267	0.320796	-0.01423	0.033831	-0.01423	0.033831
X Variable 8	0.002125	0.002164	0.982068	0.381669	-0.00388	0.008133	-0.00388	0.008133
X Variable 9	8.5E-05	0.000216	0.392827	0.714483	-0.00052	0.000686	-0.00052	0.000686

ตารางที่ ง.3 % Yield

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.902959
R Square	0.815335
Adjusted R Square	0.399838
Standard Error	10.69957
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	2021.823	224.647	1.962312	0.269368
Residual	4	457.9231	114.4808		
Total	13	2479.746			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-11.7122	585.1495	-0.02002	0.984989	-1636.35	1612.923	-1636.35	1612.923
X Variable 1	-38.1525	126.4859	-0.30163	0.777962	-389.334	313.0287	-389.334	313.0287
X Variable 2	0.230438	5.766549	0.039961	0.970039	-15.7801	16.24094	-15.7801	16.24094
X Variable 3	10.27575	11.70857	0.877626	0.429699	-22.2325	42.78396	-22.2325	42.78396
X Variable 4	21.235	23.92496	0.887567	0.424921	-45.1913	87.66135	-45.1913	87.66135
X Variable 5	-0.01265	0.23925	-0.05287	0.960368	-0.67691	0.651613	-0.67691	0.651613
X Variable 6	0.003166	0.014953	0.211704	0.842688	-0.03835	0.044682	-0.03835	0.044682
X Variable 7	1.501	2.139914	0.70143	0.521697	-4.44035	7.442353	-4.44035	7.442353
X Variable 8	-0.3425	0.534978	-0.64021	0.556866	-1.82784	1.142838	-1.82784	1.142838
X Variable 9	-0.06005	0.053498	-1.12248	0.32448	-0.20858	0.088484	-0.20858	0.088484

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.4 Bulk Density

Regression Statistics	
Multiple R	0.969619
R Square	0.940161
Adjusted R Square	0.805524
Standard Error	0.016945
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	0.018045	0.002005	6.982911	0.038463
Residual	4	0.001149	0.000287		
Total	13	0.019193			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	0.619844	0.926693	0.668877	0.540197	-1.95307	3.192757	-1.95307	3.192757
X Variable 1	-0.38025	0.200314	-1.89827	0.130499	-0.93641	0.175911	-0.93641	0.175911
X Variable 2	0.022925	0.018543	1.236335	0.283968	-0.02856	0.074408	-0.02856	0.074408
X Variable 3	-0.00162	0.009132	-0.17725	0.867923	-0.02697	0.023737	-0.02697	0.023737
X Variable 4	0.0995	0.03789	2.626047	0.058428	-0.0057	0.204699	-0.0057	0.204699
X Variable 5	-0.00048	0.000379	-1.28003	0.269728	-0.00154	0.000567	-0.00154	0.000567
X Variable 6	5.94E-06	2.37E-05	0.250728	0.814377	-6E-05	7.17E-05	-6E-05	7.17E-05
X Variable 7	0.0083	0.003389	2.449134	0.070511	-0.00111	0.017709	-0.00111	0.017709
X Variable 8	0.000375	0.000847	0.442615	0.680926	-0.00198	0.002727	-0.00198	0.002727
X Variable 9	-0.00012	8.47E-05	-1.38686	0.237766	-0.00035	0.000118	-0.00035	0.000118

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.5 Hygroscopicity

Regression Statistics	
Multiple R	0.924545
R Square	0.854784
Adjusted R Square	0.528048
Standard Error	0.00982
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	0.00227	0.000252	2.616134	0.183886
Residual	4	0.000386	9.64E-05		
Total	13	0.002656			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-0.55065	0.537035	-1.02535	0.363156	-2.04169	0.940401	-2.04169	0.940401
X Variable 1	-0.24565	0.116085	-2.11611	0.101787	-0.56795	0.076655	-0.56795	0.076655
X Variable 2	0.003715	0.010746	0.345716	0.746973	-0.02612	0.03355	-0.02612	0.03355
X Variable 3	0.00844	0.005292	1.594744	0.185997	-0.00625	0.023134	-0.00625	0.023134
X Variable 4	0.00615	0.021958	0.280084	0.793301	-0.05481	0.067114	-0.05481	0.067114
X Variable 5	1.85E-05	0.00022	0.084253	0.936904	-0.00059	0.000628	-0.00059	0.000628
X Variable 6	-2.5E-05	1.37E-05	-1.84218	0.139246	-6.3E-05	1.28E-05	-6.3E-05	1.28E-05
X Variable 7	0.00032	0.001964	0.162936	0.878469	-0.00513	0.005773	-0.00513	0.005773
X Variable 8	0.001078	0.000491	2.19455	0.093218	-0.00029	0.002441	-0.00029	0.002441
X Variable 9	-1.6E-05	4.91E-05	-0.33606	0.753717	-0.00015	0.00012	-0.00015	0.00012

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.6 Dispersibility

Regression Statistics	
Multiple R	0.973218
R Square	0.947153
Adjusted R Square	0.828247
Standard Error	0.924044
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	61.21296	6.80144	7.965545	0.030506
Residual	4	3.41543	0.853857		
Total	13	64.62839			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-23.5782	50.53511	-0.46657	0.665084	-163.886	116.7297	-163.886	116.7297
X Variable 1	9.06	10.92367	0.829392	0.45351	-21.269	39.38897	-21.269	39.38897
X Variable 2	-1.0152	1.011185	-1.00397	0.372199	-3.8227	1.792298	-3.8227	1.792298
X Variable 3	0.433288	0.498015	0.870029	0.43338	-0.94942	1.815999	-0.94942	1.815999
X Variable 4	5.534	2.066225	2.678314	0.055325	-0.20276	11.27076	-0.20276	11.27076
X Variable 5	0.06548	0.020662	3.169064	0.033888	0.008112	0.122848	0.008112	0.122848
X Variable 6	-0.00098	0.001291	-0.75984	0.48967	-0.00457	0.002604	-0.00457	0.002604
X Variable 7	-0.7018	0.184809	-3.79744	0.019146	-1.21491	-0.18869	-1.21491	-0.18869
X Variable 8	-0.10325	0.046202	-2.23474	0.08914	-0.23153	0.025028	-0.23153	0.025028
X Variable 9	0.002665	0.00462	0.576812	0.594973	-0.01016	0.015493	-0.01016	0.015493

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.7 Solubility

Regression Statistics	
Multiple R	0.9782781
R Square	0.95702804
Adjusted R Square	0.879678513
Standard Error	1.445785254
Observations	15

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	232.764685	25.86274	12.37277	0.006395251
Residual	5	10.451475	2.090295		
Total	14	243.21616			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-13.495	73.205093	-0.18435	0.860986	-201.6746823	174.6846823	-201.6746823	174.684682
X Variable 1	-50.7725	16.7205549	-3.03653	0.028865	-93.7540547	-7.7909453	-93.7540547	-7.7909453
X Variable 2	-4.79975	1.564412689	-3.06808	0.027844	-8.821200841	-0.77829916	-8.821200841	-0.77829916
X Variable 3	0.9755625	0.727022403	1.34186	0.237353	-0.893308082	2.844433082	-0.893308082	2.84443308
X Variable 4	17.76	3.009642005	5.901034	0.001989	10.02346893	25.49653107	10.02346893	25.4965311
X Variable 5	0.1265	0.03009642	4.203158	0.008464	0.049134689	0.203865311	0.049134689	0.20386531
X Variable 6	-0.00314375	0.001881026	-1.6713	0.155527	-0.007979082	0.001691582	-0.007979082	0.00169158
X Variable 7	-0.619	0.289157051	-2.14071	0.085241	-1.362301862	0.124301862	-1.362301862	0.12430186
X Variable 8	-0.00425	0.072289263	-0.05879	0.955395	-0.190075466	0.181575466	-0.190075466	0.18157547
X Variable 9	0.0145	0.007228926	2.00583	0.101183	-0.004082547	0.033082547	-0.004082547	0.03308255

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.8 L* of color

Regression Statistics	
Multiple R	0.86436
R Square	0.747119
Adjusted R Square	0.178136
Standard Error	2.03911
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	49.13766	5.45974	1.313078	0.424223
Residual	4	16.63188	4.157971		
Total	13	65.76954			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	149.8702	111.517	1.343922	0.25014	-159.751	459.4912	-159.751	459.4912
X Variable 1	9.79275	24.10553	0.406245	0.705357	-57.1349	76.72042	-57.1349	76.72042
X Variable 2	2.550425	2.231405	1.142968	0.316814	-3.64495	8.745799	-3.64495	8.745799
X Variable 3	-0.99507	1.098982	-0.90545	0.416436	-4.04633	2.056193	-4.04633	2.056193
X Variable 4	-2.4445	4.559589	-0.53612	0.620299	-15.1039	10.21495	-15.1039	10.21495
X Variable 5	-0.0453	0.045596	-0.99362	0.376649	-0.1719	0.081289	-0.1719	0.081289
X Variable 6	0.002495	0.00285	0.875408	0.430771	-0.00542	0.010407	-0.00542	0.010407
X Variable 7	-0.9647	0.407822	-2.36549	0.077199	-2.097	0.167596	-2.097	0.167596
X Variable 8	0.046325	0.101956	0.454365	0.67313	-0.23675	0.329399	-0.23675	0.329399
X Variable 9	7.5E-06	0.010196	0.000736	0.999448	-0.0283	0.028315	-0.0283	0.028315

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.9 b* of color

Regression Statistics	
Multiple R	0.799052
R Square	0.638485
Adjusted R Square	-0.17493
Standard Error	2.021215
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	28.8608	3.206755	0.784948	0.651176
Residual	4	16.34124	4.085309		
Total	13	45.20204			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	13.18944	110.5384	0.11932	0.910774	-293.714	320.0931	-293.714	320.0931
X Variable 1	16.886	23.89397	0.706705	0.518743	-49.4543	83.2263	-49.4543	83.2263
X Variable 2	-0.66845	2.211822	-0.30222	0.777549	-6.80945	5.472553	-6.80945	5.472553
X Variable 3	-0.05946	1.089337	-0.05459	0.959086	-3.08395	2.965021	-3.08395	2.965021
X Variable 4	-3.492	4.519574	-0.77264	0.482853	-16.0403	9.056348	-16.0403	9.056348
X Variable 5	0.03924	0.045196	0.868224	0.434259	-0.08624	0.164723	-0.08624	0.164723
X Variable 6	-5.9E-05	0.002825	-0.02102	0.984237	-0.0079	0.007783	-0.0079	0.007783
X Variable 7	-0.5436	0.404243	-1.34474	0.2499	-1.66596	0.578758	-1.66596	0.578758
X Variable 8	-0.00538	0.101061	-0.05319	0.960134	-0.28596	0.275215	-0.28596	0.275215
X Variable 9	0.003053	0.010106	0.302046	0.77767	-0.02501	0.031111	-0.02501	0.031111

SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ ง.10 dE of color

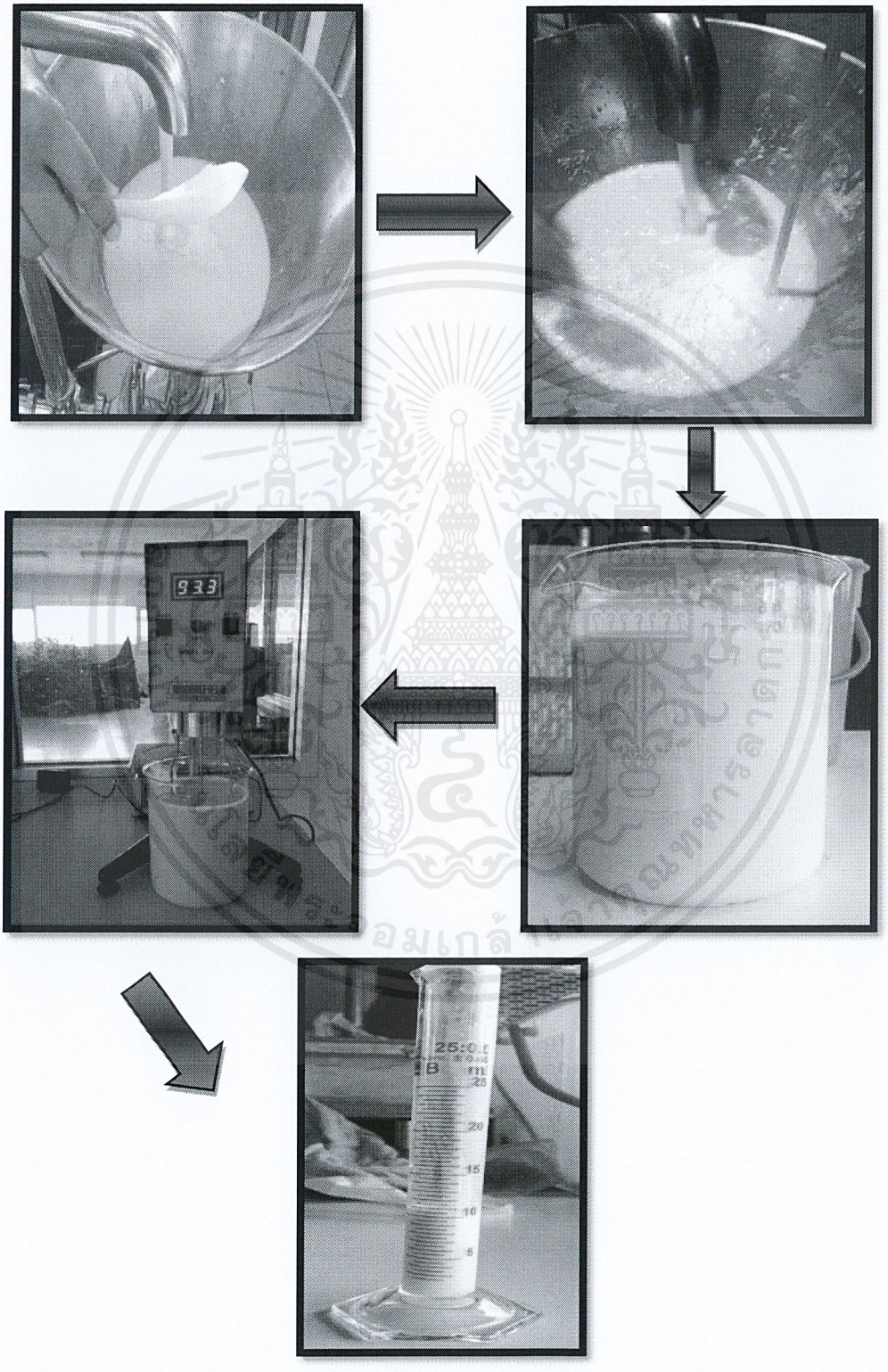
Regression Statistics	
Multiple R	0.853436
R Square	0.728353
Adjusted R Square	0.117148
Standard Error	2.002504
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	43.0075	4.778611	1.191666	0.466219
Residual	4	16.0401	4.010024		
Total	13	59.04759			

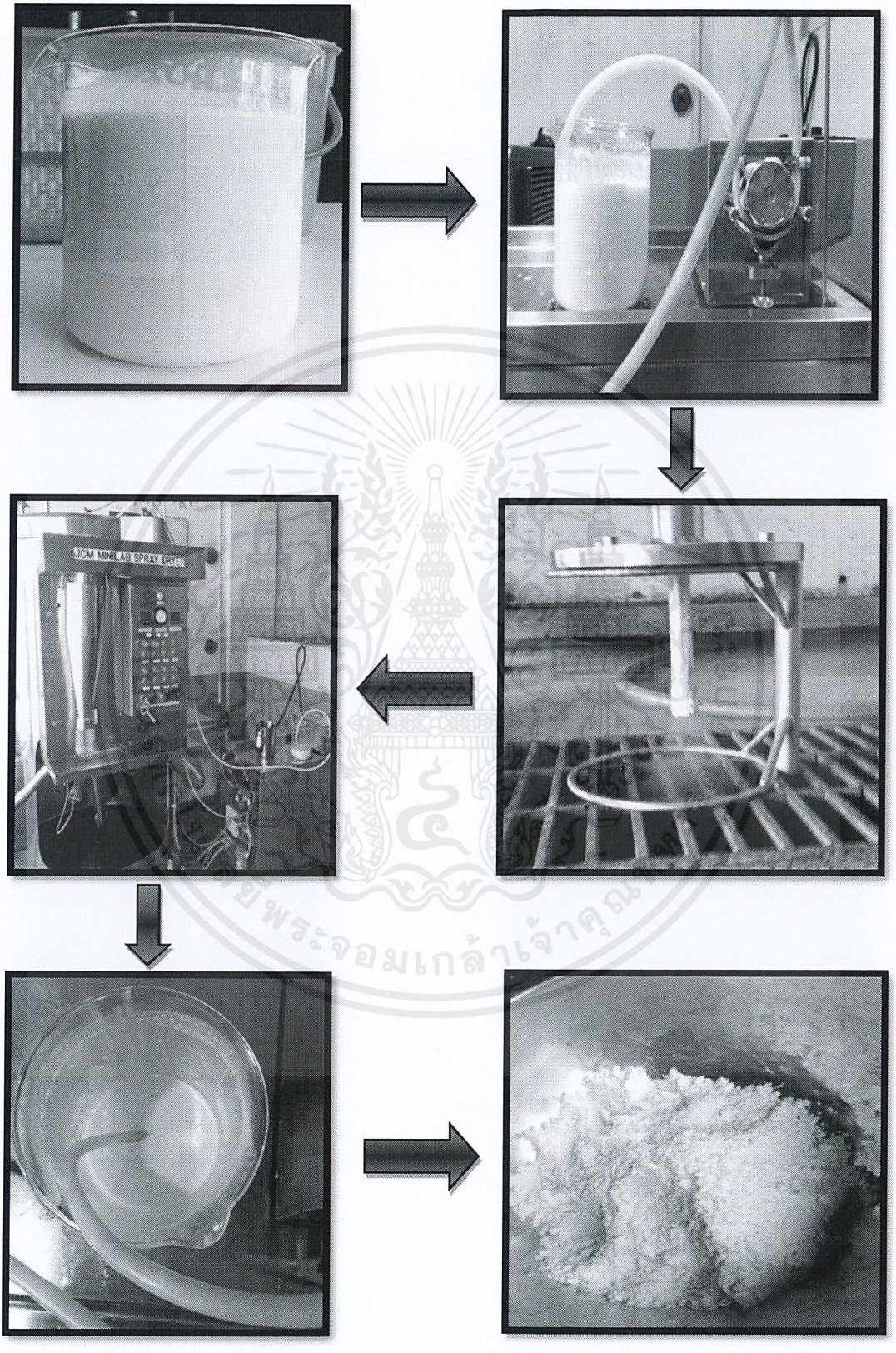
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-31.0893	109.5151	-0.28388	0.790589	-335.152	272.9733	-335.152	272.9733
X Variable 1	1.151	23.67279	0.048621	0.963552	-64.5752	66.87719	-64.5752	66.87719
X Variable 2	-2.82665	2.191347	-1.28991	0.266604	-8.91081	3.257506	-8.91081	3.257506
X Variable 3	0.748487	1.079253	0.693524	0.526148	-2.248	3.744974	-2.248	3.744974
X Variable 4	1.3095	4.477736	0.292447	0.784487	-11.1227	13.74169	-11.1227	13.74169
X Variable 5	0.048725	0.044777	1.088162	0.337698	-0.0756	0.173047	-0.0756	0.173047
X Variable 6	-0.00184	0.002799	-0.6558	0.547758	-0.00961	0.005935	-0.00961	0.005935
X Variable 7	0.7628	0.400501	1.904615	0.129548	-0.34917	1.874769	-0.34917	1.874769
X Variable 8	-0.07468	0.100125	-0.74582	0.497222	-0.35267	0.203317	-0.35267	0.203317
X Variable 9	0.00258	0.010013	0.257677	0.80937	-0.02522	0.030379	-0.02522	0.030379

ภาคผนวก จ. รูปภาพเกี่ยวกับโครงงาน



รูปที่ จ.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ

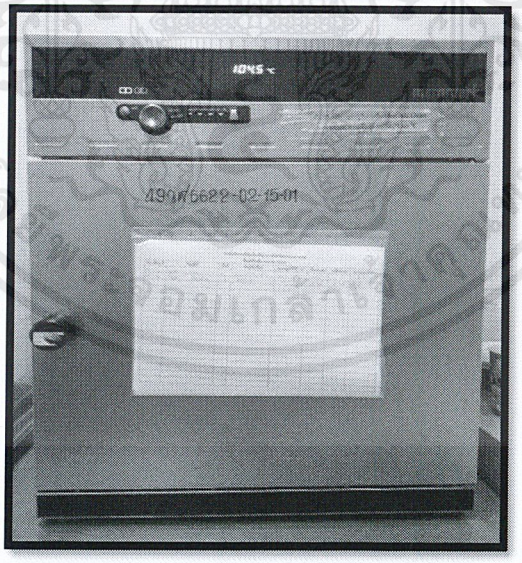
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.2 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

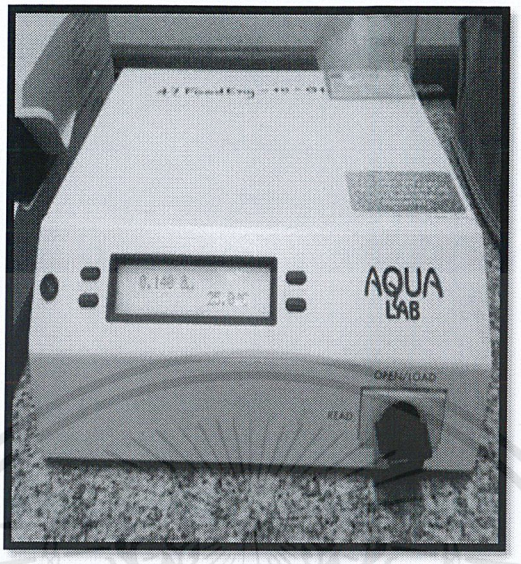
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.3 ตู้อบความร้อนแบบสุญญากาศ

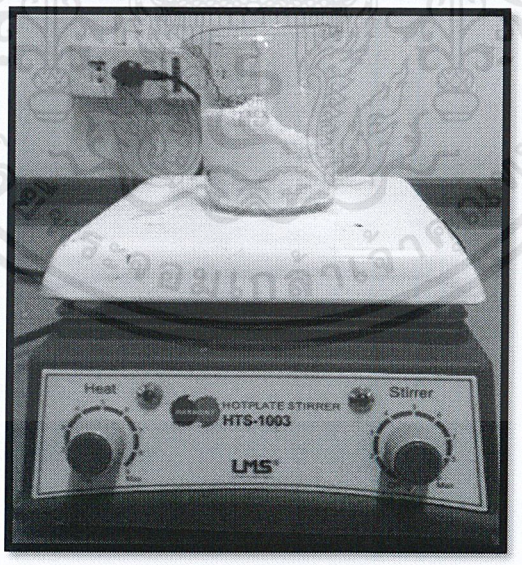


รูปที่ จ.4 ตู้อบความร้อนแบบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

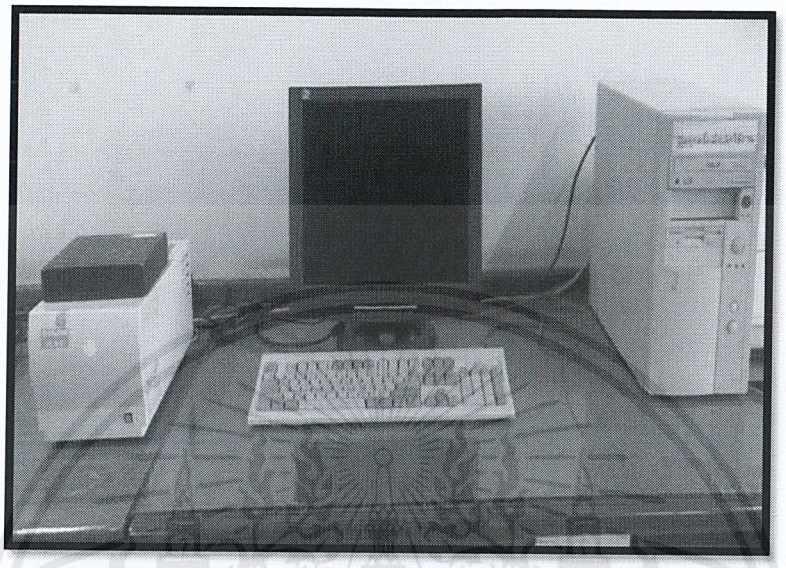


รูปที่ จ.5 เครื่องวัดค่า a_w

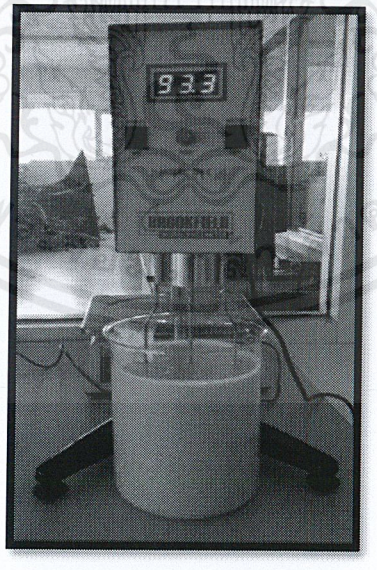


รูปที่ จ.6 Magnetic stirrer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

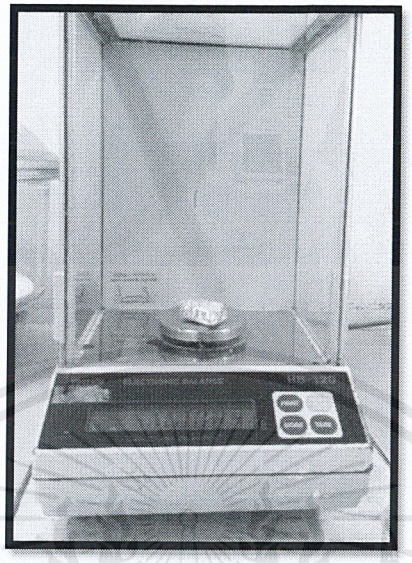


รูปที่ จ.7 ชุดเครื่องวัดสี



รูปที่ จ.8 เครื่องวัดความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

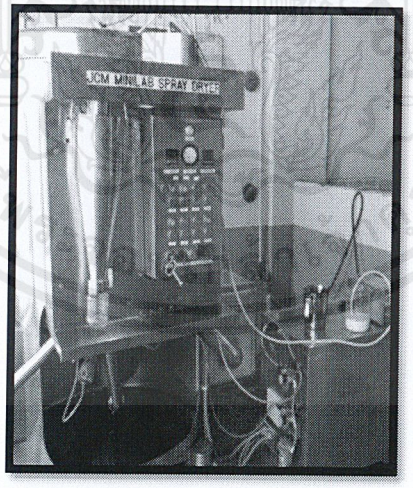


รูปที่ จ.9 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

รูปที่ จ.10 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.11 เครื่องผสม colloid mill



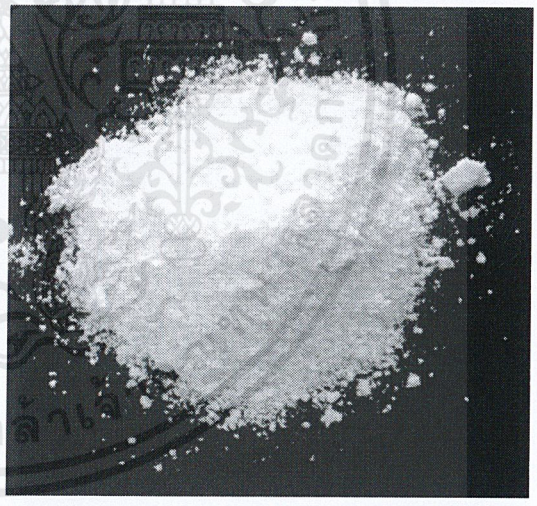
รูปที่ จ.12 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.13 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 1

รูปที่ จ.14 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 2

รูปที่ จ.15 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 3

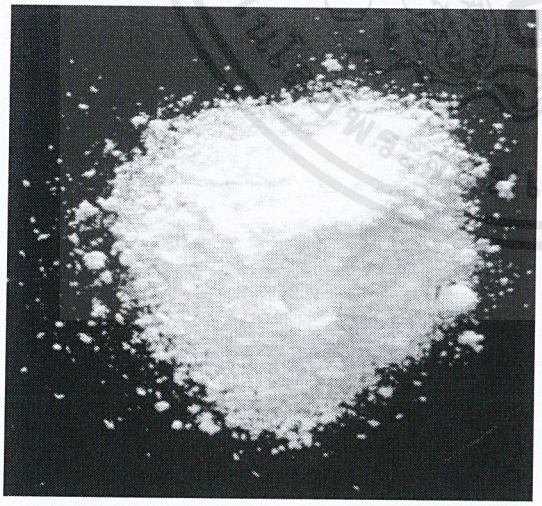


รูปที่ จ.16 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 4

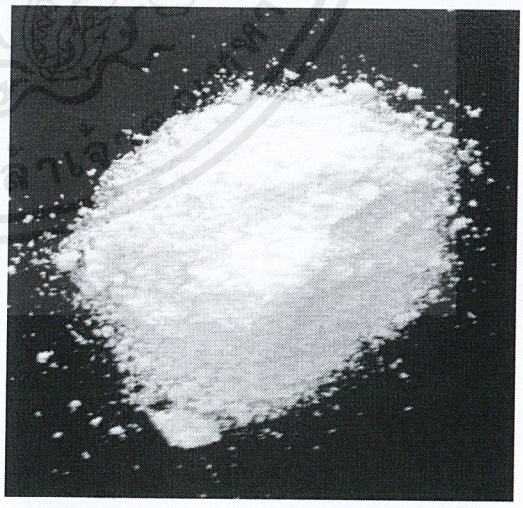
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.17 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 5

รูปที่ จ.18 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 6

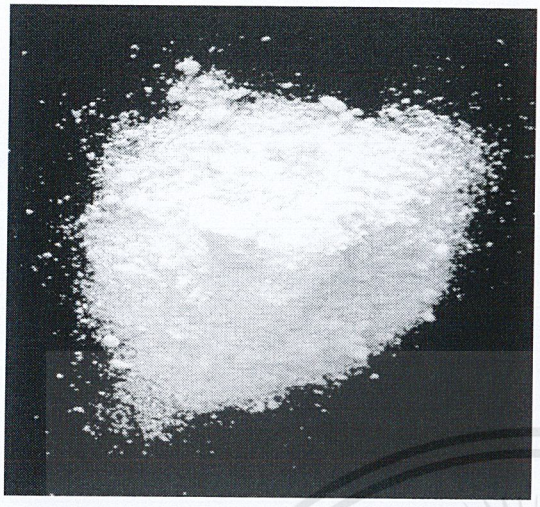


รูปที่ จ.19 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 7



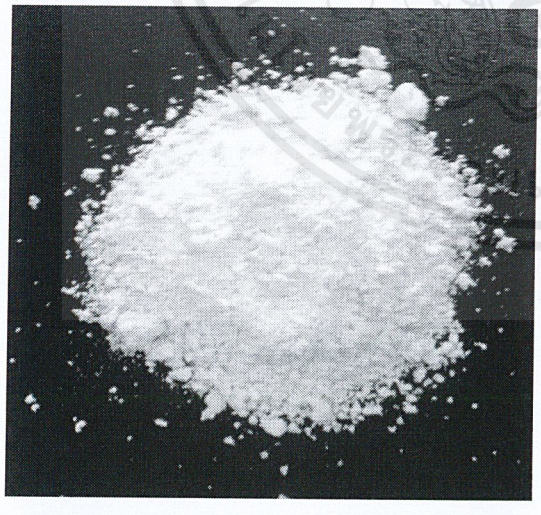
รูปที่ จ.20 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.21 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 9

รูปที่ จ.22 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 10



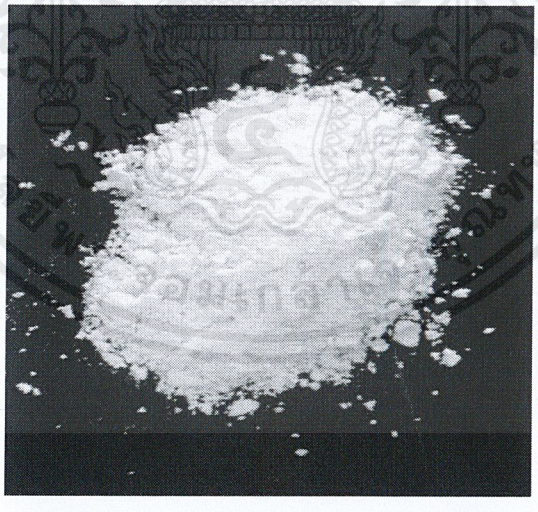
รูปที่ จ.23 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 11

รูปที่ จ.24 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.25 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 13

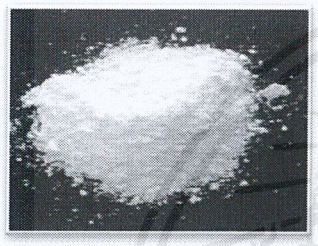
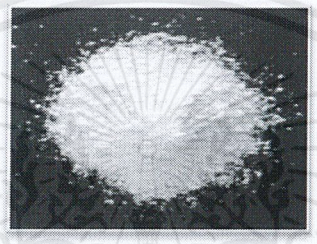
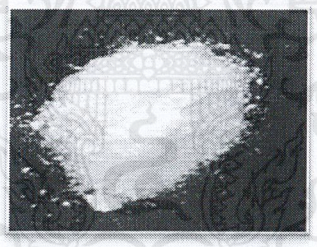
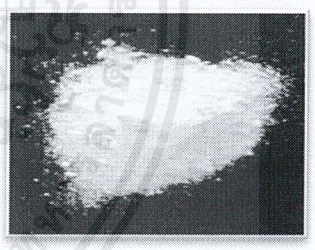
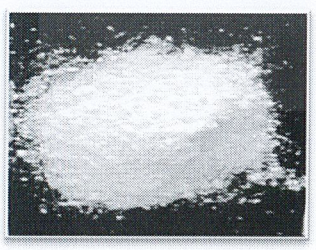
รูปที่ จ.26 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 14



รูปที่ จ.27 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ที่สภาวะที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ผลิตภัณฑ์กะทิผงทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง

#1 1:1, 5%, 190 ºC	#2 1:1, 15%, 190 ºC	#3 2:1, 5%, 190 ºC
		
#4 2:1, 15%, 190 ºC	#5 1:1, 10%, 170 ºC	#6 1:1, 10%, 210 ºC
		
#7 2:1, 10%, 170 ºC	#8 2:1, 10%, 210 ºC	#9 1.5:1, 5%, 170 ºC
		
#10 1.5:1, 5%, 210 ºC	#11 1.5:1, 15%, 170 ºC	#12 1.5:1, 15%, 210 ºC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#13 1.5:1, 10%, 190 ºC	#14 1.5:1, 10%, 190 ºC	#15 1.5:1, 10%, 190 ºC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้