สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการผลิตครีมเทียมผง

A STUDY ON PRODUCTION OF NON-DAIRY CREAMER POWDER

นายธนกฤต จันทร์คำ
นางสาวพรทิพย์ ถวิลประภา
นางสาวสุทธิรัตน์ บุญทะจิตร์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119398
วัน,เดือน,ปี - 7 S.A. 2554

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON PRODUCTION OF NON-DAIRY CREAMER POWDER

MR.THANAKRIT CHANKHAM

MISS.PORNTHIP THAWINPRAPA

MISS.SUTTIRAT BOONTAJIT

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการผลิตครีมเทียมผง

A study on production of non-dairy creamer powder

ผู้จัดทำ

1. นายธนกฤต	จันทร์คำ	รหัสนักศึกษา 48012178
2. นางสาวพรทิพย์	ถวิลประภา	รหัสนักศึกษา 50011041
3. นางสาวสุทธิรัตน์	บุญทะจิตร์	รหัสนักศึกษา 50011716

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการผลิตครีมเทียมผง

โดย นายธนกฤต จันทร์คำ

นางสาวพรทิพย์ ถวิลประภา

นางสาวสุทธิรัตน์ บุญทะจิตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตครีมเทียมผง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาการเตรียมสารละลายอิมัลชันของครีมเทียม โดยศึกษาถึงอัตราส่วนผสมของEmulsifierที่ใช้ 2 ชนิด (สาร A : สาร B) ต่อคุณสมบัติของครีมเทียม ทำการศึกษาอัตราส่วนของสาร A:B ที่ 5 ระดับ คือ 0:1, 1:0, 1:1, 1:2 และ 2:1 และวิเคราะห์คุณสมบัติของครีมเทียมที่ได้ประกอบด้วย pH ความหนืด และการแยกชั้น ในส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเป็นครีมเทียมผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย อาศัยการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (0%,5%,10%) อัตราส่วนของสารคงตัว (0%,50%,100%) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่ได้นำมาวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าปัจจัยกับคุณสมบัติของครีมเทียมผง เช่น ค่าความชื้น ปริมาณผลผลิตที่ได้ ความหนาแน่น ความสามารถการละลาย และความสามารถการดูดซับความชื้น ด้วยวิธี Response Surface Method (RSM) จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงมากกว่า 70% นั้น ต้องใช้อัตราส่วนของสารคงตัวมากกว่า 70%, ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินมากกว่า 5%, และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส และเป็นสภาวะที่ได้รับความนิยมจากการทดลองทางประสาทสัมผัส

คำสำคัญ : การอบแห้งแบบพ่นฝอย; ครีมเทียม; สารคงตัว; อิมัลซิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	A study on Production of Non-Dairy Creamer Powder
By	Thanakrit Chankham
	Pornthip Thawinprapa
	Suttirat Boontajit
Advisor	Asst.Prof. Dr Maradee Phongpipatpong
Report	Bachelor's Degree in Food Engineering
	Department of Food Engineering
	Faculty of Engineering
	King Mongkut's Instiute of Technology Ladkrabang

Abstract

The aim of this project was to study the production of non dairy creamer. The study was divided into 2 parts. The first part was to study on the preparation and formulation of non dairy creamer emulsion by varying the two types of emulsifier ratios for 5 levels (A: B ratio - 0:1, 1:0, 1:1, 1:2 and 2:1). The emulsion properties (pH, degree of separation and viscosity) were investigated. The second part was to study the effects of stabilizer ratio (0%, 50%, 100%), maltodextrin (DE10) content (0%, 5% and 10% by wt) and inlet-air temperature (180, 200 and 220°C) on spray drying process. Drying test was carried out based on Box-Behnken design. The non dairy creamer powder was collected and analyzed for its properties such as moisture content, recovery yield, bulk density, solubility and hygroscopicity. The study indicated that to obtain high recovery yield more that 70%, could be accomplished when using stabilizer and maltodextrin more than 70%, and 5% respectively and drying air temperature at 220°C, and these operating conditions also provided a high score of sensory test.

Keyword: non dairy creamer; Spray Drying; Stabilizer; Emulsifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแนวทางปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ และช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยให้คำแนะนำในการทำโคราง่านวิจัย วิธีการดำเนินชีวิต ประสิทประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีตลอดจนให้ความเป็นห่วงเป็นใย เป็นกำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของคณะวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยเอื้อเฟื้อ สละเวลา ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ในเกี่ยวกับการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัท กรีนวันฟู้ด อินดัสเตรียล จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องของวัตถุดิบช่วยเหลือด้านข้อมูล และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน

ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาทุกคน สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือในการตรวจสอบข้อผิดพลาดและกำลังใจที่ดีเสมอมา จนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิด เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้ทำโครงงานตลอดมาเป็นอย่างสูง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้ทำโครงงานขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายธนกฤต จันทร์คำ
นางสาวพรทิพย์ ถวิลประภา
นางสาวสุทธิรัตน์ บุญทะจิตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ปกใน(ภาษาไทย)	I
ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XII
สารบัญรูปภาพ	XIII
สัญลักษณ์และคำย่อ	XV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของครีมเทียม	4
2.1.1 ครีมแท้	4
2.1.2 ครีมผสม	6
2.1.3 ครีมเทียม	7
2.2 การจัดประเภทของครีม	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.2.1 ครีมพร่องมันเนย 9

2.2.2 ครีมธรรมดา 9

2.2.3 วิปปิ้งครีม 9

2.3 วิธีการถนอมครีม 11

2.3.1 การใช้ความร้อน 11

2.3.2 การใช้วิธีอื่นๆ 12

2.4 องค์ประกอบในครีมเทียม 12

2.5 คุณสมบัติของสารองค์ประกอบในครีมเทียม 13

2.5.1 ไขมัน 13

2.5.2 โปรตีน 14

2.5.3 กลูโคสไซรัป 14

2.5.4 สารคงตัว 17

2.5.5 อิมัลซิไฟเออร์ 17

2.6 กระบวนการเตรียมสารละลาย 20

2.6.1 ระบบอิมัลชัน 20

2.6.2 กระบวนการเกิดอิมัลชัน 21

2.6.3 ทฤษฎีของโฮโมจีไนเซชัน 22

2.7 สารช่วยทำแห้ง 28

2.7.1 Dextrose Equivalent 29

2.7.2 มอลโตเดกซ์ตริน 30

2.7.3 โครงสร้างมอลโตเดกซ์ตริน 31

2.7.4 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด 31

2.7.5 Glass Transition 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.8 กระบวนการทำแห้ง 35
2.8.1 อัตราการทำแห้ง 35
2.8.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง 36
2.8.3 ประโยชน์ของการทำแห้ง 37
2.8.4 การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร 38
2.8.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้ง 38
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42

บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา 44
3.2 อุปกรณ์การทดลอง 44
3.3 การเตรียมวัตถุดิบ 45
3.4 การเตรียมอุปกรณ์ 45
3.4.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) 45
3.4.2 เครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์ (Homogenizer) 45
3.4.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) 46
3.5 วิธีการทดลอง 46
3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของครีมเทียมผง 48
3.6.1 ความชื้น (Moisture) 48
3.6.2 การหาค่า water activity 49
3.6.3 ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) 50
3.6.4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่ผลิตได้ 50
3.6.5 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น 50
3.6.6 ความสามารถในการกระจายตัว 51
3.6.7 ความสามารถในการละลาย 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.6.8 ความสามารถในการจม 52
3.6.9 ความสามารถในการไหล 52
3.6.10 วัดค่าสี 52
3.6.11 ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส 53
3.7 การวางแผนการทดลอง 53
3.7.1 การทดลองเบื้องต้น 53
3.7.2 การออกแบบการทดลอง 54
3.7.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย 55

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมสารละลายครีมเทียม 56
4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย 59
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม 59
4.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมที่สภาวะต่างๆ 60
- ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield) 61
- ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility) 63
- ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น Bulk density 65
- ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง (%Moisture content) 67
- ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการไหล (Flowability) 69
- ผลการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) 71
- ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง (Water activity) 73
- ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจม (Sinkability) 75
- ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจาย (Dispersilibility) 75
- ผลการทดสอบการวัดค่าสี 76
- ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (Sensory Test) 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 79

5.1 สรุปผลการทดลอง 79

5.2 ปัญหาที่พบ 80

5.3 ข้อเสนอแนะ 80

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตารางการเตรียมสารละลายครีมเทียม

ภาคผนวก ข. ครีมเทียมผง

ภาคผนวก ค. การทดสอบทางประสาทสัมผัส(Sensory test)

ภาคผนวก ง. ANOVA Table (การทำแห้งครีมเทียม)

ภาคผนวก จ. รูปภาพเกี่ยวกับโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบครีมเทียม 13
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของกลูโคสไซรัปที่ค่า D.E.สูงและต่ำ 15
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของ Distilled Monoglycerides (DMG) 18
ตารางที่ 2.4 ชนิดและตัวอย่างของสารช่วยทำแห้ง 28
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของมอลโตเด็กซ์ตริน(10 DE) 30
ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้วภายใน เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 34
ตารางที่ 3.1 การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ 54
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรที่จะศึกษา 54
ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน(Box-Behnken Design) 55
ตารางที่ 4.1 ค่า pH ของสารละลายครีมเทียมที่อัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ 57
ตารางที่ 4.2 สภาวะของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง 59
ตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์ครีมเทียมด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย 60
ตารางที่ 4.4 ค่าการวัดสี 76
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชำนาญ 77
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 10 คน 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 จานของเครื่องแยกครีมและทิศทางการแยกครีม 5
รูปที่ 2.2 กระบวนการกระจายตัวของของเหลว 2 ชนิดที่เข้ากันไม่ได้ 21
รูปที่ 2.3 กระบวนการโฮโมจีไนเซชัน 23
รูปที่ 2.4 โมเลกุลของโซเดียมพาล์มมิเตท 27
รูปที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อยู่ระหว่างผิวร่วม 28
รูปที่ 2.6 โครงสร้างมอลโคเด็กซ์ตริน 31
รูปที่ 2.7 การเกิดโครงสร้างอสัณฐานและความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยา สมดุลและไม่สมดุล 34
รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 40
รูปที่ 3.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) 45
รูปที่ 3.2 เครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์ (Homogenizer) 45
รูปที่ 3.3 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 46
รูปที่ 3.4 ภาพขั้นตอนการเตรียมสารละลายครีมเทียม 47
รูปที่ 3.5 ภาพขั้นตอนการทำแห้ง 48
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดค่า a_w 49
รูปที่ 3.7 Box-Behnken Design สำหรับ 3 factors 54
รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนืดที่ปริมาณน้ำแตกต่างกัน 56
รูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน 57
รูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์การแยกชั้นที่ปริมาณอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์แตกต่างกัน 58
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ของครีมเทียมที่อุณหภูมิ 180, 200, 220 °C ตามลำดับ 62
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และความสามารถในการละลาย ของครีมเทียมที่อุณหภูมิ 180, 200, 220 °C ตามลำดับ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าความหนาแน่นรวม ของครีมเทียมที่อุณหภูมิ 180, 200, 220 °C ตามลำดับ 66

รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าความชื้น ของครีมเทียมที่อุณหภูมิ 180, 200, 220 °C ตามลำดับ 68

รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าความสามารถในการไหล ของครีมเทียมที่อุณหภูมิ 180, 200, 220 °C ตามลำดับ 70

รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น ของครีมเทียมที่อุณหภูมิ 180, 200, 220 °C ตามลำดับ 72

รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง ของครีมเทียมที่อุณหภูมิ 180, 200, 220 °C ตามลำดับ 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

a_w = ปริมาณน้ำอิสระ (water activity)

bd = ค่าความหนาแน่น (Bulk density,g/cm^3)

D.E. = Dextrose Equivalent

fa = ความสามารถในการไหล (flowability,Angle)

hg = การดูดซับความชื้น (hygroscopicity,%)

mc = ความชื้น (moisture,%)

MD = มอลโตเด็กตรินซ์ (Maltodextrin)

sb = solubility(s)

X_1 = สารคงตัว (Stabilizer, %)

X_2 = มอลโตเด็กตรินซ์ (Maltodextrin,%)

X_3 = อุณภูมิลมร้อนขาเข้า (Air temperature,°c)

yd = ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (Yield, %)

S_p = ของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)

SS_{CF} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน (g)

T_g = Glass Transition temperature

W_{CP} = อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง

W_i = ปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด (%wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความนิยมดื่มกาแฟกันอย่างแพร่หลาย ในกลุ่มวัยทำงาน มีอายุระหว่าง 25 -50 ปีผู้บริโภคนิยมดื่มกาแฟร่วมกับน้ำตาล และครีมเทียม (Coffee whitener) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้กาแฟมีรสชาติกลมกล่อม การเติมครีมเทียมลงไปในการปรับปรุงรสชาติของกาแฟให้ดีขึ้น โดยทำให้กาแฟมีสีขาวขึ้น กลิ่นหอมขึ้นและมีรสชาติความมันแฝงอยู่ด้วย ซึ่งเมื่อก่อนมักใช้ผลิตภัณฑ์นมหรือครีม แต่ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์นมมีราคาแพงขึ้น ดั้งนั้นจงได้มีการทำการวิจัยและพัฒนาองค์ประกอบและสภาวะในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ครีมเทียมให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ มีคุณค่าทางอาหารสูง และให้แคลอรีต่ำ (ไพโรจน์, 2535)

จากข้อมูลที่พบในปัจจุบันครีมเทียมถูกจัดเป็นอาหารประเภทควบคุมเฉพาะในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 และกฎหมายได้ระบุคำจำกัดความของครีมเทียมไว้ดังนี้ “ผลิตภัณฑ์ที่มิได้ทำจากนม (Non dairy product) และมีไขมันอื่นนอกจากมันเนยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญหรือครีมที่มีมันเนยผสมอยู่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของไขมันทั้งหมด ครีมเทียมถูกคิดค้นขึ้นมาให้พวกคอกาแฟทั้งหลาย ก็เพื่อความสะดวกเป็นหลัก เนื่องจากผู้บริโภคนิยมเติมครีมลงในเครื่องดื่มพวกกาแฟและโกโก้ อย่างไรก็ตาม ครีมชนิดพาสเจอไรซ์จำเป็นต้องเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น ส่วนครีมกระป๋องก็มีใช้บ้าง แต่กลิ่นรสสู้ครีมพาสเจอไรซ์ไม่ได้ แถมสียังออกเหลืองหรือน้ำตาลอ่อนๆ อีกด้วย ครีมเทียมผงจึงเกิดขึ้นเพื่อความสะดวกและประหยัด เนื่องจากวัตถุดิบมีราคาถูกกว่า นอกจากนี้การขนย้ายในรูปผงแห้งทำให้ประหยัดค่าขนส่งได้เป็นอันมาก วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตครีมเทียมได้แก่ น้ำมันพืช (Vegetable fat),น้ำตาลจากข้าวโพด (Corn syrup), Starch soy protein, Sodium caseinate, Vitamin, Minerals, Stabilizer, Emulsifier และน้ำ เป็นต้น การเลือกใช้วัตถุดิบถือเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่ดี ซึ่งวัตถุดิบแต่ละชนิดมีหน้าที่ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน โดยวัตถุดิบที่ดีนั้นจะต้องมีคุณสมบัติและความสามารถที่จะทำให้สารละลายเข้ากันได้เป็นอย่างดี ลักษณะของครีมเทียมที่ดี คือ ต้องไม่ฟุ้งกระจายและหลีกเลี่ยงการเกิด Clumping และ Caking ได้ง่าย ต้องมีการละลายที่ดีในสารละลายร้อน ไม่ดูดความชื้นได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีในการผลิตครีมเทียมประกอบด้วย 3 ขั้นตอนสำคัญ คือ การผสมวัตถุดิบ การโฮโมจิไนส์เซอร์ (Homogenizer) และการทำแห้ง ในแต่ละขั้นตอนการผลิตมีความสำคัญต่อคุณภาพของครีมเทียมโดยเฉพาะในขั้นตอนการทำแห้งเนื่องจากกระบวนการนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีอีกทั้งยังช่วยป้องกันการเชื่อมสภาพทางจุลชีววิทยา กระบวนการทำแห้งนี้เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนกับวัตถุดิบที่มีความชื้นเพื่อระเหยน้ำออกไปจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งซึ่งเป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทมวลสารและความร้อนในเวลาเดียวกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงเฟสจากการระเหยน้ำออกไปด้วยการให้ความร้อน (Hajime , 2548) เครื่องทำแห้งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด เช่น Spray dryer, Drum dryer, Tray dryer, และ Freeze dryer เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมใช้มากในกระบวนการผลิตอาหารผงสำเร็จรูป(Instant food) คือ Spray dryer ซึ่งเป็นการทำแห้งโดยการฉีดพ่นของเหลวให้กระจายเป็นละอองขนาดเล็ก จากนั้นอนุภาคของสารละลายจะสัมผัสกับลมร้อนและน้ำภายในอนุภาคเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วภายในเวลา 1 – 10 วินาที โดยวิธีนี้เป็นการให้ความร้อนแบบ HTST (High Temperature Short Times) การทำแห้งโดยวิธีนี้จะทำให้ได้ขนาดของผลิตภัณฑ์ผงที่สม่ำเสมอและเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อย ในกระบวนการป้อนและการทำแห้งสารละลายครีม ซึ่งเป็นอาหารเหลวที่มีความหนืดสูงทำให้การแตกกระจายเป็นละอองฝอยกระทำได้ยากและมีลักษณะเหนียวติดกับผนังของห้องอบแห้งแบบพ่นฝอย อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการกระจายตัวของน้ำและน้ำมัน ช่วยลดแรงตึงผิว โดยปกติจะเป็นสารพวกโมโนและไดกลีเซอไรด์ สามารถนำมาใช้เพื่อลดปัญหาดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์อย่างเหมาะสมนับเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อให้ได้ครีมเทียมผงที่มีคุณภาพ ขณะที่การทำแห้งซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง เช่น อัตราการป้อน อุณหภูมิสารละลายเริ่มต้น อุณหภูมิการทำแห้ง รวมทั้งปริมาณมอลโตเด็กตรินที่เป็นสารช่วยทำแห้ง ในโครงงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาพัฒนาองค์ประกอบและสภาวะในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ครีมเทียมให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพ ดังนั้นการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตครีมเทียมผงย่อมเป็นสิ่งสำคัญ

1.2 วัตถุประสงค์

- ศึกษาและพัฒนาส่วนผสมของอิมัลซิไฟเออร์ในการผลิตครีมเทียม
- ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อน ปริมาณมอลโตเด็กตริน และปริมาณอัตราส่วนของสารคงตัวต่อทำแห้งแบบพ่นฝอยของครีมเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ข้อมูลและแนวทางพัฒนาการผลิตครีมเทียมผง
- ได้ศึกษาเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย(Spray dryer)

1.4 ขอบเขตการศึกษา

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตครีมเทียมโดยใช้วัตถุดิบ ประกอบด้วย ไขมันพืช (Vegetable fat) โปรตีนนม(Sodium caseinate) อิมัลซิไฟเออร์(Emulsifier) สารคงตัว(Stabilizer) กลูโคสไซรับ(Glucose Syrup) และเกลือ(Salt) ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย

- ชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์
- อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส
- ปริมาณมอลโดเด็กตริน 3 ระดับ (0%,5%,10% % by wt) เพื่อศึกษาผลกระทบของสารช่วยทำแห้ง
- ศึกษาอัตราส่วนของสารคงตัว 3 ระดับ (0%,50%,100% %by wt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของครีมเทียม

ครีมเทียมเป็นผลิตขึ้นเพื่อใช้เติมในเครื่องดื่มประเภทชา โกโก้ หรือกาแฟ เพื่อปรับปรุงด้านสี กลิ่น และรสชาติของเครื่องดื่ม ให้กลมกล่อมและน่ารับประทานมากยิ่งขึ้น ครีมเทียมถูกจัดเป็นอาหารประเภทควบคุมเฉพาะในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 และกฎหมายได้ระบุคำจำกัดความของครีมเทียมไว้ดังนี้ "ผลิตภัณฑ์ที่มิได้ทำจากนมและมีไขมันอื่นนอกจากมันเนยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญหรือครีมที่มีมันเนยผสมอยู่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของไขมันทั้งหมด" จากประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 208 พ.ศ.2543 ได้แบ่งผลิตภัณฑ์ครีมเป็น 3 ประเภท คือ ครีมแท้ ครีมผสม และครีมเทียม ซึ่งครีมแต่ละชนิดจะมีกรรมวิธีการผลิตแตกต่างกันไปดังนี้

2.1.1 ครีมแท้

คือ ไขมันในนม เมื่อตั้งทิ้งไว้ไขมันที่เบากว่า จะลอยตัวขึ้นไปข้างบนและสามารถตักครีมออกมาได้ ครีมที่จำหน่ายจะมีปริมาณไขมันและองค์ประกอบแตกต่างกัน การแบ่งประเภทของครีมจะแบ่งออกตามเปอร์เซ็นต์ของไขมัน โดยมาตรฐานของ WHO โดยแบ่งประเภทตามเปอร์เซ็นต์ของไขมัน เช่น ไลท์ครีม (light cream) มีปริมาณไขมันร้อยละ 18 เหมาะสำหรับผสมเครื่องดื่ม เช่นชา หรือกาแฟ ส่วนที่ใช้ในการประกอบอาหาร เฮพวี่ครีม (Heavy cream) มีปริมาณไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 และเหมาะสำหรับใช้ตีให้ขึ้นฟู (Whipping) กินกับผลไม้ หรือไอศกรีมแต่งหน้าของหวาน เช่น ใช้แต่งหน้าเค้ก เป็นต้น (อรวินท์, 2518) ดังนั้นครีมที่เหมาะสมในการเติมในชา กาแฟ จึงควรใช้ไลท์ครีม โดยจะนำครีมที่ได้มาทำแห้งแบบวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) จะได้ครีมมีสีขาวนวล โดยในระหว่างการผลิตครีมผงจะเย็นลงโดยรวดเร็วเพื่อให้ไขมันนมแข็งตัว

กรรมวิธีการแยกครีมออกจากนม ทำได้ 2 วิธีคือ

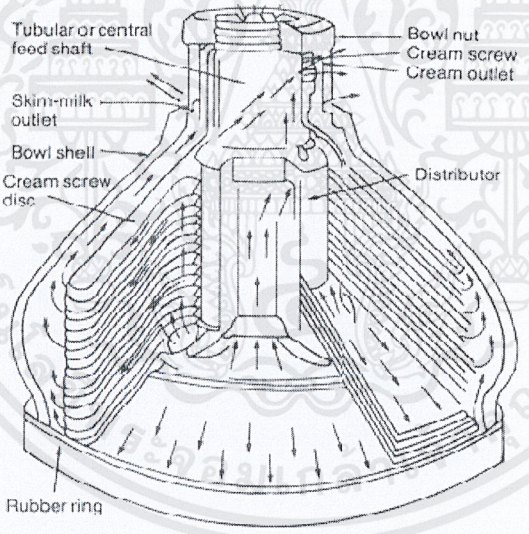
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 การแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity separated cream)

กรรมวิธีการแยกครีมวิธีนี้ ทำได้โดยการนำนมมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องหรือในที่เย็น เม็ดไขมันจะลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของน้ำนมรวมตัวกันเป็นชั้นครีม ยิ่งอุณหภูมิต่ำมาก การเกิดชั้นครีมก็จะเร็วขึ้น ครีมที่แยกในชั้นนี้จะมีปริมาณไขมันอยู่ในร้อยละ 10-28 หรือเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20-22

2.1.2.2 การแยกครีมโดยใช้เครื่องแยกครีม (Cream separator)

การแยกครีมโดยวิธีนี้อาศัยแรงเหวี่ยงของเครื่องแยกครีม (Centrifugal separator) โดยใช้หลักการความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะระหว่างไขมันและนม ไขมันมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.93 หางนมมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.60 น้ำนมมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.03 ไขมันซึ่งมีความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าจะไหลออกทางด้านบนของส่วนหางนมซึ่งมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าจะถูกเหวี่ยงไปไกลกว่า และไหลออกทางด้านล่าง ดังรูปที่ 2.1วิธีนี้นิยมใช้มากในอุตสาหกรรม ครีมที่ได้จะมีไขมันอยู่ร้อยละ 15-85 ครีมชนิดนี้เรียกว่าพลาสติกครีม (plastic cream) นิยมใช้ในการทำไอศกรีม (สุวรรณ, 2525)



รูปที่ 2.1 จานของเครื่องแยกครีมและทิศทางการแยกครีม

ข้อบกพร่องของครีมแท้ (สุวรรณา, 2525) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆที่มีผลทำให้ครีมแท้ผิดปกติ

- การตกตะกอนของโปรตีน (Feathering)

หมายถึง การเกิดลักษณะที่เป็นคล้ายขนนก หรือเกล็ดสีขาวลอยเป็นแพอยู่บนผิวหน้าขอกาแฟที่ร้อน เมื่อใส่ครีมลงไป สาเหตุเนื่องจากความไม่สมดุลของเกลือแร่ในนมที่ใช้ทำครีมหรือจากกาแฟ การเกิดขึ้นลักษณะนี้จะมากขึ้นเมื่อใช้ครีมที่มีความเข้มข้นสูง หรือครีมที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้น้ำกระด้างในการลงกาแฟ หรือครีมเริ่มมีรสเปรี้ยว การป้องกันการเกิด Feathering ทำโดยการเติมโซเดียมซิเตรต (Sodium citrate) ในอัตรา 2-5 ออนด์ต่อครีม 1000 ปอนด์ เพื่อปรับเกลือแร่ให้สมดุล

- การแยกตัวของไขมัน (Oiling off)

หมายถึง ลักษณะที่เม็ดไขมันลอยอยู่บนผิวกาแฟ สาเหตุเนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงเกิน 35 องศาเซลเซียส ในการแยกครีมหรือคนครีมแรงและนานเกินไป หรือพาสเจอร์ไรซ์ครีมที่อุณหภูมิสูงเกินไป วิธีการป้องกันการเกิดลักษณะเช่นนี้ทำได้โดย นำครีมไปโฮโมจิไนซ์ที่ความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถึงแม้ว่าครีมจะเคยผ่านการโฮโมจีไนซ์มารอบนึงแล้วที่ความดันไม่เกิน 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

- การเกาะตัวของครีม (Cream plug)

คือ ลักษณะที่ผิวครีมจับตัวกันเป็นแผ่น สาเหตุมาจากเม็ดไขมัน ขนาดใหญ่ลอยขึ้นมา และครีมนั้นมีเม็ดไขมันเนยสูงถึงร้อยละ 60-80 ข้อบกพร่องนี้จะเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ในน้ำนมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แบบใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST) และโฮโมจิไนซีที่อุณหภมิต่ำกว่าที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์

2.1.2 ครีมผสม

คือ ครีมแท้ที่มีไขมันอื่นเป็นส่วนผสมอยู่ไม่เกินร้อยละ 70 ของไขมันทั้งหมด (นิรนาม, 2538) อาจเป็นไขมันจากพืชหรือสัตว์ก็ได้นอกจากนี้ยังเอาส่วนต่างๆของนมมาผสมกัน การผลิตครีมผสมมักจะเป็นกรนำส่วนประกอบของนมมาผสมรวมกัน หรืออาจเติมน้ำตาลหรือไขมันชนิดอื่นลงไปเพื่อเพิ่มรสชาติหรือลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นครีมผสมจึงต้องมีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ และสารคงตัวเพื่อช่วยให้ไขมันและน้ำรวมตัวกัน เป็นเนื้อเดียวกันตลอดเวลา (นราธิป,2539) Downer และ peloter (1968) ได้ผลิตครีมเทียมผสม โดยใช้ไขมันปาล์มแทนการใช้ไขมันนม ร้อยละ 25.14 นมผงขาดมันเนยร้อยละ 61.79 สารอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (Gleceral monostearate) ร้อยละ 0.5 สารกันหืน วิตามิน และโพแทสเซียมฟอสเฟต เป็นสารคงตัว และนำไปโฮโมจิไนซ์ ที่ความดัน 2 ขั้นตอน คือ 500 และ 2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วทำแห้ง พบว่าครีมผสมมีการละลายได้เร็ว รสชาติดี และไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (Feathering)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ครีมเทียม

คือ ผลิตภัณฑ์ที่มิได้ทำจากนม ซึ่งได้ทำการดัดแปลงมาจากครีมแท้ โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ ไขมัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต โดยสามารถเรียกครีมชนิดนี้ว่า นอนเดรี ครีมเมอร์ (Nomdairy creamer) ครีมเทียมนิยมเติมในเครื่องดื่มประเภท ชา กาแฟ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความขาว ให้ความข้นมัน ช่วยให้รสชาติกลมกล่อม และยังให้กลิ่นรสคล้ายครีมในเครื่องดื่ม ในการผลิตครีมเทียมนี้สามารถผลิตไว้ 3 รูปแบบ คือ ชนิดผง ชนิดเหลว และชนิดแช่แข็ง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วครีมเทียมผงจะมีความนิยมในการบริโภค เนื่องจากมีราคาถูกอีกทั้งยังสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานแม้อยู่ในอุณหภูมิปกติ จึงทำให้ผู้บริโภคมีความชอบมากกว่าชนิดอื่น (Gardiner, 1977)

2.1.3.1 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 208) ปี 2543 ครีมเทียม ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานดังต่อไปนี้

(1) มีไขมัน ดังต่อไปนี้

(1.1) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 และไม่ถึงร้อยละ 18 ของน้ำหนัก สำหรับครีมเทียมชนิดพร่องไขมัน

(1.2) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 18 ของน้ำหนัก สำหรับครีมเทียมชนิดธรรมดา

(1.3) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 28 ของน้ำหนัก สำหรับครีมเทียมชนิดวิปปิ้งครีม

(1.4) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 36 ของน้ำหนัก สำหรับครีมเทียมชนิดดับเบิ้ลครีม

(2) มีความเป็นกรดคำนวณเป็นกรดแลคติคได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

(3) ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli*) ในอาหาร 0.01 กรัม

(4) ไม่มีกลิ่นหืน

(5) ไม่มีวัตถุกันเสีย

(6) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(7) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

(8) ใช้ก๊าซที่ไม่เป็นพิษหรืออันตรายต่อสุขภาพในกรรมวิธีการผลิตครีมเทียมชนิดวิปปิ้งครีม

ครีมเทียมที่ทำให้แห้ง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีลักษณะเป็นผง ไม่เกาะเป็นก้อน หรือมีลักษณะตามรูปลักษณะนั้น

(2) มีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนัก

(3) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(4) ตรวจพบแบคทีเรียไม่เกิน 100,000 ในอาหาร 1 กรัม

(5) ไม่มีกลิ่นหืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) ไม่มีวัตถุกันเสีย

(7) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(8) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

2.1.3.2 ชนิดของครีมเทียม (ไพโรจน์, 2535) สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ

(1) Liquid coffee whitener มีจำหน่ายในรูปของของเหลว มักมีปัญหาในการขนส่ง สิ่งที่ต้องคำนึงในการผลิต คือ

(1.1) ความคงตัว ในระหว่างการขนส่งจะมีแรงกระแทกเกิดขึ้น ถ้าผลิตภัณฑ์ไม่มีความคงตัวที่ดีแล้วจะทำให้ครีมเทียมมีการแยกตัว การผลิตจึงต้องคำนึงมากเพื่อป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันพืชกับองค์ประกอบอื่นๆ

(1.2) ความหนืด จะต้องมีความหนืดที่เหมาะสมจะทำให้การละลายตัวในกาแฟร้อนเป็นไปได้ดี ถ้าความหนืดสูงจะละลายได้ยากและเกิดการไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ได้

(1.3) ความสามารถในการทำให้ขาวขึ้นของผลิตภัณฑ์ ความสามารถนี้ต้องสม่ำเสมอซึ่งสามารถควบคุมที่จำนวนของแข็งทั้งหมด และความละเอียดของชั้น dispersed phase

(1.4) กลิ่น จะต้องมีกลิ่นนุ่มนวล ไม่มีกลิ่นผิดปกติเกิดขึ้น เมื่อละลายในตัวกาแฟร้อน

(2) Frozen coffee whitener ลักษณะผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เป็นแบบแช่แข็ง สิ่งที่ควรคำนึงอย่างมากในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้คือ ความคงตัว เมื่อมีการทำให้ละลาย (Thaw) ต้องไม่เกิดการแยกชั้นขึ้น ซึ่งลักษณะนี้แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการผลิตก่อนแช่แข็งว่าดีเพียงไรด้วย

(3) Spray dried coffee whitener ลักษณะผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เป็นแบบผง เป็นที่นิยมแพร่หลายมาก เนื่องจากมีการเก็บรักษาง่ายไม่ต้องแช่ในตู้เย็นเหมือน 2 แบบแรก การใช้สะดวกมากเพียงแต่ชงร่วมกับกาแฟโดยตรงทันที ลักษณะของ coffee whitener แบบผงนี้ควรมีลักษณะ ดังนี้

(1.1) ต้องไม่ฟุ้งกระจายและหลีกเลี่ยงมิให้เป็น Clumping และ caking ได้ง่าย

(1.2) ต้องมีการละลายที่ดีในสารละลายร้อน

(1.3) ต้องไม่มีลักษณะที่ดูดความชื้นได้ง่าย

(1.4) มีการบรรจุในภาชนะที่เหมาะสมแก่การใช้งาน การเก็บรักษาต้องป้องกันการเข้าออกของความชื้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การจัดประเภทของครีม

การจัดประเภทของครีมแตกต่างกันไปตามลักษณะ องค์ประกอบ และการใช้ประโยชน์ แต่ที่เป็นที่นิยมคือ การแบ่งชนิดของครีมตามปริมาณไขมัน เพราะเนื่องจากไขมันในครีมเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะต่างๆ ของครีมตามการใช้งานโดยเฉพาะลักษณะทางกายภาพ นอกจากนี้ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์นมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ในการกำหนดราคา และยังเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับผู้ที่ต้องการดูแลสุขภาพ โดยเฉพาะผู้ที่สูงอายุ มีโรคอ้วนและมีปัญหาเกี่ยวกับเส้นเลือดอุดตัน และเบาหวาน

มาตรฐานการแบ่งชนิดของไขมันมีความแตกต่างกันบ้าง สำหรับแต่ละประเทศ อย่างไรก็ตามมาตรฐานที่ประเทศไทยกำหนดขึ้นใช้ตามที่ประกาศในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2543 มีความคล้ายคลึงกับมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก หรือ World Health Organization (WHO) จึงได้ประมวลจากมาตรฐานของไทยเป็นหลัก และเพิ่มเติมจากมาตรฐานอื่นบ้าง ไว้เป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

2.2.1 ครีมพร่องมันเนย (Half cream)

ปกติผลิตโดยการผสมนมกับครีมในอัตราส่วนที่เมาะสมมาตรฐานกำหนดให้มีไขมันร้อยละ 10-18 ครีมชนิดนี้ต้องผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียน ครีมตามาตรฐานสหรัฐอเมริกาที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับครีมชนิดนี้คือครีมชนิด Half and half ซึ่งกำหนดว่ามีปริมาณไขมันร้อยละ 10-12

2.2.2 ครีมธรรมดา (Cream หรือ Single cream)

มาตรฐานกำหนดให้มีไขมัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 18 ชนิดของครีมตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ที่มีปริมาณไขมันไกลเคียงกับครีมชนิดนี้เรียกว่า Light cream ซึ่งมีปริมาณไขมันร้อยละ 18-20 ครีมชนิดนี้ต้องผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย

2.2.3 วิปปิ้งครีม (Whipping cream)

มาตรฐานกำหนดให้มีไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 28 ครีมชนิดนี้ใช้สำหรับตีให้ขึ้นฟูจึงเรียกว่า Whipping cream โดยการฟูจะเกิดฟองอากาศที่เข้าไปในระหว่างการตี เมื่อเริ่มตีเยื่อโปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมัน ทำหน้าที่เป็นตัวเสริมให้ฟองอากาศคงอยู่ได้ในครีมและเมื่อถึงขั้นสุดท้ายไขมันมักรวมตัวกันให้แข็งแรง และทำหน้าที่จับฟองอากาศไว้ วิปปิ้งครีมที่มีปริมาณไขมันมากกว่าย่อมมีความคงตัวของฟองอากาศมากขึ้น ครีมที่จำหน่ายในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีมาตรฐานคล้ายครีมชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ Light Whipping cream ซึ่งกำหนดปริมาณไขมันร้อยละ 30-36 นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์วิปปิ้งครีมอีกรูปแบบหนึ่งที่เรียกว่า วิปปิ้งครีมอัดความดัน (Pressurized whipping cream) ซึ่งหมายถึง ครีมบรรจุในกระป๋องที่อัดภาพใต้ความดันต่ำ (Aerosol-packed) ครีมที่ใช้มักมีปริมาณไขมันต่ำกว่าวิปปิ้งครีมชนิดปกติคือปริมาณไขมันร้อยละ 20-25 ครีมจะถูกฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการ ยูเอชที บรรจุภายใต้สภาวะปลอดเชื้อด้วย และอัดความดันโดยใช้ก๊าซไนตรัสออกไซด์ หรือ Octafluorocyclobutane ก๊าซที่อัดนี้จะขยายตัวและให้ครีมฟูเมื่อถูกกดออกมาจากกระป๋อง

2.2.3.1 ดับเบิ้ลครีม (Double cream หรือ Heavy cream หรือ Thick cream) มาตรฐานของครีมชนิดนี้ในประเทศไทยกำหนดให้มีปริมาณไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 36 ส่วนของ WHO กำหนดว่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 ส่วนมาตรฐานของสหรัฐอเมริกากำหนดให้ครีมมีไขมันร้อยละ 36-40 ให้เรียกว่า Heavy cream หรือHeavy Whipping cream ของ WHO ที่กำหนดให้มีไขมันประมาณร้อยละ 35 เช่นกัน วิปปิ้งครีมมีปริมาณไขมันมากเกินกว่าร้อยละ 40 มักมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กระด้างและไม่เป็นที่ยอมรับ

2.2.3.2 ครีมเปรี้ยว (Sour Cream) มาจาฐานของปริมาณไขมันในครีมเปรี้ยวกำหนดว่าให้มีไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยทั่วไปมีประมาณร้อยละ 12-30 ครีมเปรี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักครีมด้วยเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียชนิด Streptococcus lactic ในกระบวนการนี้ทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้นประมาณร้อยละ 0.6 และลดค่า พีเอช ของครีมลง ทำให้ครีมสามารถเก็บได้นานขึ้นที่อุณหภูมิตู้เย็น

2.2.3.3 ครีมเทียม (Substitute or Imitation cream) ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ผลิตขึ้นเพื่อเลียนแบบครีมแทบทุกชนิดที่กล่าวมาข้างต้น ปริมาณไขมันส่วนมากใกล้เคียงกับชนิดดั้งเดิม โดยใช้ไขมันจากพืช น้ำตาลและโปรตีนจากน้ำนมหรือพืช สารช่วยในการผลิตอื่น เช่น อิมัลซิไฟเออร์ สเตบิไลเซอร์ เดิมครีมเทียมผลิตขึ้นเพื่อการลดต้นทุนการผลิตแต่ปัจจุบันก็มีเหตุผลในทางสุขภาพเข้ามาเกี่ยวด้วย โดยเฉพาะในแง่การลดปริมาณไขมันและพลังงานาการเปลี่ยนชนิดไขมันจึงได้มีการนำสารที่ไม่มีพลังงาน และสารทดแทนไขมันชนิดต่างๆ เข้ามาใช้ในสูตรด้วยเช่น เพคติน (pectin) คาร์บอกซีเมททิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) โมดิฟายด์สตาร์ช (modified starch) ในกรณีเช่นนี้ปริมาณไขมันก็ลดลงกว่าชนิดดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีการถนอมครีม

2.3.1 การใช้ความร้อน

กระบวนการให้ความร้อนในครีมนิยมใช้ เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและการขยายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ในบางส่วนของโลกยังมีการบริโภคครีมที่มิได้ผ่านความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อโรค อย่างไรก็ตาม ประเทศส่วนใหญ่มีกฎเกณฑ์บังคับให้ผ่านกระบวนการดังกล่าวแล้ว

การให้ความร้อนในครีมแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

1. พาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) กระบวนการพลาสเจอไรด์ครีมอาศัยหลักการเดียวกับนมสดพร้อมดื่มดังที่กล่าวมาแล้ว ทั้งอุณหภูมิและเวลา อย่างไรก็ตามอาจต้องใช้อุปกรณ์บางอย่างที่ทนต่อปริมาณไขมันที่สูงขึ้น และขั้นตอนการทำให้เย็นที่เร็วอาจมีความจำเป็นมากขึ้น เพราะมีผลต่อความหนืดของครีม กระบวนการนี้ทำให้ครีมมีอายุการเก็บในตู้เย็นราว 1-2 สัปดาห์

2. ความร้อนระดับสูง พาสเจอร์ไรซ์ (Extended heat treatment) กระบวนการนี้ใช้ความร้อนเพิ่มกว่าพาสเจอร์ไรซ์ เพื่อทำลายเชื้อแบคทีเรียให้ได้มากขึ้น แล้วจึงบรรจุครีมลงในบรรจุภัณฑ์ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ รังสีอุลตร้าไวโอเลต การให้ความร้อนกระทำได้ 2 วิธี คือ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-60 วินาที หรือ ความร้อนสองจังหวะโดยให้ที่ 95-102 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15-30 วินาทีแล้วทิ้งไว้ 24 ซ.ม. ที่องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจงให้ความร้อนที่ 120-127 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 วินาที การให้ความร้อนสองจังหวะสามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียที่งอกออกมาในช่วงเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ได้ วิธีการนี้นิยมทำในประเทศเยอรมนีซึ่งทำให้ครีมมีอายุการเก็บในตู้เย็นนานถึง 4 สัปดาห์

3. ยู เอช ทู (Ultra heat treatment) กระบวนการฆ่าเชื้อระบบ ยูเอชที ของครีมก็อาศัยหลักการและภาชนะบรรจุประเภทเดียวกับนมสดพร้อมดื่ม อย่างไรก็ตาม ต้องระมัดระวังการเปลี่ยนแปลงลักษณะทากกายภาพที่เกิดขึ้นได้ง่ายกว่า สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ เช่น การแยกชั้นไขมันและการตกตะกอน

4. สเตอริไรซ์ (In-container sterilization) การสเตอริไรซ์ครีมนิยมทำเฉพาะครีมที่มีปริมาณไขมันต่ำ เพราะไขมันเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีในกระบวนการนี้ครีมมักบรรจุอยู่ในกระป๋องโลหะ หรือขวดแก้วก่อนนำเข้าฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-20 นาที ผลิตภัณฑ์ประเภทมนี้มักมีปัญหาสีคล้ำขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนและไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การใช้วิธีอื่น ๆ

ครีมอาจมีการถนอมอาหารในรูปแบบอื่น นอกจากที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม สามารถใช้ได้กับครีมบางชนิดเท่านั้น ชนิดของครีมที่ผ่านการถนอมด้วยวิธีอื่นได้แก่

1. การทำเป็นผง เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนการทำครีมผง (dried cream) คือ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ซึ่งเป็นชนิดเดียงกับการผลิตนมผง อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบมักมีการเติมสารที่ไม่ใช่ไขมันลงไปด้วย เช่น โซเดียมเคซีเนต น้ำตาลชนิดต่างๆ เพื่อป้องกันมิให้เม็ดไขมันแตก แล้วเกิดปัญหาการหืนง่ายและผงจับตัวกันเป็นก้อน (Caking) กระบวนการนี้ใช้ผลิตทั้งครีมแท้และครีมเทียม อย่างไรก็ตาม ครีมผงที่รู้จักดีในประเทศไทยคือ ครีมเทียมที่ใช้เติมกาแฟ
2. การแช่แข็ง การแช่แข็งครีมมักทำในกรณีที่คุณสมบัติทางกายภาพไม่มีความสำคัญต่อผลิตภัฑ์สุดท้าย อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการผลิตครีมแช่แข็ง (Frozen cream) ที่มีคุณภาพดีต้องผ่านการทำให้แช่แข็งอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันมิให้เม็ดไขมันแตก ผลิตภัณฑ์แช่แข็งมักเกิดการหืนได้ จึงต้องพาสเจอร์ไรด์ก่อนเพื่อทำลายเอ็นไซม์ไลเปส

2.4 องค์ประกอบในครีมเทียม

ส่วนผสมในการผลิตสารละลายครีมเทียม ประกอบด้วย 6 ชนิด

1. น้ำมันปาล์ม
2. กลูโคสไซรับ
3. โปรตีนนม
4. อิมัลซิไฟเออร์ (DATEM, DMG)
5. สารคงตัว (Dipotassium phosphate (DKP), Sodium acetate)
6. น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบครีมเทียม

INGREDIENT	**% by Wt**
Vegetable Fat	20.7
Hydrogenated palm oil	
Carbohydrate	35.6
Glucose syrup	
Protein	1.8
Sodium caseinate	
Emulsifier	1.2
Diacetyl tartaric ester of mono- and diglycerides	
monoglycerides from glycerolysis of edible fats	
Stabilizing/Buffering Salt	1.2
Sodium acetate	
K_2HPo_4	
Water	39.5
total	**100**

ที่มา : George, 1977

2.5 คุณสมบัติของสารองค์ประกอบในครีมเทียม

2.5.1. ไขมัน

ไขมันเป็นองค์ประกอบสำคัญ ทำให้สารละลายครีมมีลักษณะข้นหนืด (Malundo,1992) ให้ความข้นมัน และช่วยให้กาแฟเกิดความขาวคล้ายนมสด ไขมันที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตครีมเทียมควรเป็นไขมันชนิดไม่เกิดกลิ่นหืนง่าย จึงมักใช้ไขมันที่มีความอิ่มตัวสูง และเป็นลักษณะของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งนิยมใช้ไขมันที่ประกอบด้วย กรดคลอริด (Laulic acid) มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid) สูง และผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชั่น (Hydrogenation) ไขมันประเภทนี้ ได้แก่ ไขมันมะพร้าว และไขมันปาล์ม ซึ่งไขมันเหล่านี้จะมีสายคาร์บอน(Carbon-chain) สั้น มีจำนวนคาร์บอน 16-18 ตัวและโครงสร้างเป็นแบบบีต้า ฟอร์ม (β - form) ซึ่งจะมีผลทำให้ไม่เกิดการรวมตัวกันหลังการละลาย และไม่รู้สึกว่ามีไขมันติดค้างในปาก (Baker,1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดรองลงมาจากน้ำในร่างกายของคน เป็นสารที่มีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของร่างกายเรา ซึ่งถ้าเราขาดหรือได้รับไม่เพียงพอจะทำให้ร่างกายมีความต้านทานโรคน้อยลง การเจริญเติบโตลดลง โปรตีนประกอบขึ้นด้วยกรดอะมิโนหลายๆ ชนิดรวมกัน ในวันหนึ่งๆ เราควรได้รับประมาณ2กรัมต่อ1กก. ของน้ำหนักร่างกาย เราอาจจะได้จากอาหารประเภทที่มีโปรตีนสูงคือเนื้อสัตว์ต่างๆ หางนม เนยแข็ง น้ำนม และไข่

เคซีน (casein) เป็นโปรตีนหลักและมีมากที่สุดในนม สามารถแยกออกมาได้โดยการตกตะกอนนมโดยการเติมกรดจน pH ของนมเป็น 4.6-4.7 เคซีนในนมมีประมาณ 80% ของโปรตีนทั้งหมดและปริมาณนี้แตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์ของสัตว์ เคซีนยังประกอบด้วยโปรตีนย่อยๆอีกอย่างน้อย 3 ชนิด ที่รู้จักกันคือ α-,β- และ k-casein ซึ่งมักจะรวมตัวกันธาตุแคลเซียและฟอสฟอรัสเกิดเป็นสารคอลลอยด์ที่ทำให้นมมีลักษณะขุ่นขาว นอกจาการตกตะกอนด้วยกรดแล้ว เรายังสามารถแยกเคซีนโดยการใส่เอนไซม์บางอย่างเช่น เรนนิน (renin) ทำให้ได้โปรตีนที่ออกมามีคุณสมบัติเท่าเดิมและกลายเป็นอาหารชนิดใหม่คือ เนยแข็ง ในทางอุตสาหกรรมการผลิตเคซีนจะใช้การตกตะกอนหางนมด้วยกรดเจือจางหลายอย่างเช่นกรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดแล็กทิก หลังจากการล้างกรดออกนำมาป่นและทำให้แห้งหรืออาจจะตกตะกอนด้วนเรนินก็ได้ โดยทั่วไปแล้ว เคซีนผงใช้เป็นอาหาร ทำกาว (ศิวาพร, 2546)

2.5.3. กลูโคสไซรัป

กลูโคสไซรัปเป็นสารให้ความหวานอยู่ในรูปของของเหลวมีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20 – 30 กลูโคสไซรัปมีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด ใส ไม่มีสีเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสตาร์ช โดยเป็นสวนผสมของพอลิเมอร์ของกลูโคส มีค่า Dextrose Equivalent (D.E.) อยู่ระหว่าง 20 – 80 ซึ่งคุณสมบัติของกลูโคสไซรัปขึ้นอยู่กับค่า D.E. หรือน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 2 (Howling 1973 อ้างโดย Schenck and Hebeda, 1992) Howling และคณะ (1979 ; 1990 อ้างโดย Schenck and Hebeda, 1992) รายงานว่า คุณสมบัติในการควบคุมการดูดความชื้นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากของกลูโคสไซรัปซึ่งกลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. สูง (น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่ำ) จะสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibium relative humidity, ERH) และลดการเกิดลักษณะแห้งของผลิตภัณฑ์ ขณะที่กลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. ต่ำจะเพิ่มค่า ERH และลดการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์ และพบว่าเมื่อเติมกลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลซูโครสจะส่งเสริมรสหวาน (Synergistic) โดยค่า D.E. เพิ่มขึ้นความหวานก็จะเพิ่มขึ้นด้วยส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีในการผลิตและการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการนำกลูโคสไซรัปไปใช้งานนั้นส่วนใหญ่นำไปใช้ในส่วนผสมต่างๆและใช้ในกรรมวิธีการผลิตที่ต้องการผลของการเกิดสีน้ำตาล

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของกลูโคสไซรัปที่ค่า D.E.สูงและต่ำ

Property	Low D.E. , High Average Molecular Weight	High D.E. , Low Average Molecular Weight
Body agent	←	
Browning reaction	→	
Cohesiveness	←	
Color formation	→	
Crystallization control	→	
Emulsion stabilizer	←	
Fermentability	→	
Flavor enhancement	→	
Form stabilizer	←	
Freezing point depression	→	
Hygroscopicity	→	
Nutritive value	→	
Osmotic pressure	→	
Preservation	→	
Preservation of coarse ice crystals	←	
Preservation of sucrose crystallization	←	
Sheen producer	→	
Sweetness	→	
Thickening agent	←	
Viscosity	←	

ที่มา : Schenck and Hebeda, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่ากลูโคสไซรัปมีลักษณะใส ไม่มีสี แต่จะเกิดสีได้เมื่อได้รับความร้อนในขณะผ่านกรรมวิธีการผลิตอาหารทั้งนี้เนื่องจากความร้อนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีของส่วนประกอบต่างๆ ในกลูโคสไซรัป (Birch, 1977) โดยมีสารประกอบ hydroxymethyl furfural (HAF) เกิดขึ้นและเพิ่มปริมาณขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของสีในกลูโคสไซรัปในปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Ramchander and Feather, 1975)

Palmer (1970) กล่าวว่ากลูโคสไซรัปสามารถนำมาใช้ในสูตรอาหาร เพื่อทำให้อาหารมีความหนืดหรือความคงตัว ช่วยในการดูดความชื้น ช่วยเพิ่มกลิ่นรส ยับยั้งการตกผลึก หรือควบคุมขนาดของผลึก ทำให้เกิดแรงดันออสโมติก และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะดีเป็นมันเงา ซึ่งตรงกับที่

Birch (1977) ได้กล่าวไว้ว่าคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุด อย่างหนึ่งของกลูโคสไซรัป คือความสามารถในการดูดความชื้น แต่พบว่าการใช้กลูโคสไซรัป จะทำให้เกิดปัญหาการตกผลึกได้ถ้าหากมีเดกซ์โตสความเข้มขนสูง

Nicol (1971) กล่าวว่าการลดปัญหาการตกผลึกของเดกซ์โตสในกลูโคสไซรัปที่ผลิตโดยการใช้เอนไซม์ไฮโดรไลซ์นั้นจะต้องมีอัตราส่วนของปริมาณเดกซ์โตสต่อมอลโตสสมดุลกัน

Eapen และคณะ (1981) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำตาลในรูปแบบต่างๆเพื่อใช้เป็นสารลดค่าวอเตอร์แอกติวิตีในผลิตภัณฑ์เนื้อพบว่าน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้แก่ เดกซ์โตส ฟรุกโตส คอร์นไซรัป และกลูโคสไซรัป มีผลในการเพิ่มความดันออสโมติกในสารละลายของเนื้อกึ่งแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.5.4. สารตัว (Stabilizer)

เป็นสารประเภทละลายน้ำ ทำหน้าที่ช่วยให้โปรตีนกระจายตัวได้ดีในน้ำ เพิ่มเนื้อสัมผัส และเพิ่มความหนืดให้กับครีม อีกทั้งยังทำให้อาหารมีลักษณะข้นหรือมีส่วนประกอบกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีการตกตะกอนนอนก้น (ศิวาพร, 2546) ได้แก่ คาร์ราจีแนน กัม (Carrageenan gum) คาร์บอกซิล เมทธิล เซลลูโลส (carboxyl Methyl cellulose) อัลจิเนต (Alginate) และแป้งดัดแปลง (Modifi starch) ต่างๆ (Gardiner, 1977)

2.5.5 อิมัลซิไฟเออร์

เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ทำหน้าที่ช่วยให้ส่วนประกอบของอาหารที่เป็นน้ำและน้ำมันผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน หรือเกิดเป็นอิมัลชัน (Emulsion) ตัวอย่างเช่นผลิตภัณฑ์น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์พวกไอศกรีมต่างๆ เป็นต้น ชนิดของอิมัลซไฟเออร์ที่นิยมใช้ในอาหารได้แก่ เลซิทิน โมโนและไดกลีเซอร์ไรด์ของกรดไขมันที่รับประทานได้เป็นต้น (ศิวาพร, 2546)

2.5.5.1 คุณสมบัติ Distilled Monoglycerides (DMG)

DMG เป็นสารเจือปนอาหารที่สำคัญและมีประสิทธิภาพดี เพราะ DMG เป็นสารที่มีความเป็น emulsification, dispersibility, stabilization, frothing, antiaging. สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางในอาหาร ทางการแพทย์ เภสัชกรรม พลาสติก อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เครื่องสำอาง และอื่นๆ ซึ่งมีความปลอดภัย

(1) หน้าที่

ในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารเกิดปัญหาน้ำและน้ำมันไม่สามารถละลายเข้ากันได้ DMG เป็นสารที่ช่วยให้เสถียรภาพของอิมัลชั่นดีขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการรวมตัวกัน มีความปลอดภัยต่ออาหารและเครื่องดื่มเมื่อเติมสารอิมัลซิไฟเออร์นี้ และสามารถเพิ่มคุณภาพ อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น

(2) Antiaging of starch

DMG สามารถก่อตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนและแป้ง ป้องกันเม็ดแป้งเกิด recrystallizing หลังการให้ความเย็น เพราะจะเกิด infusible complex กับสายโซ่ตรงของแป้ง และยังสามารถป้องกันไม่ให้เม็ดแป้งเสื่อมสภาพอาหารที่มีส่วนประกอบของแป้งเยอะ เช่น ขนมปัง เค้ก ซึ่งคงความนุ่มเป็นเวลานานขึ้น เนื่องมาจากผลของสายโซ่ตรงของแป้ง

(3) การปรับปรุงกระบวนการเกิดผลึกของไข

119398

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DMG สามารถถูกจัดให้เป็นระเบียบได้บนผิวของไข ซึ่งเป็นการช่วยในการควบคุมและเพิ่มความเสถียรในกระบวนการตกผลึกของไข โดยเฉพาะในขบวนการผลิตเนย มันจะช่วยปรับปรุงความเป็นพลาสติกและ malleability ของผลิตภัณฑ์เพื่อหลีกเลี่ยงการแยกชั้นของน้ำมันและน้ำ

(4) การประยุกต์และผลของการใช้

การประยุกต์ใช้ในเครื่องดื่มและอาหารสำเร็จรูป DMG จะถูกใส่ลงในเครื่องดื่มที่มีรน้ำมันและโปรตีนเยอะเพื่อช่วยปรับปรุงการละลายและความเสถียร และเพื่อหลีกเลี่ยงการแยกชั้นและ deposit ยังสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมและมีสีสัน ความเสถียรของสารนี้เป็นสิ่งที่ดีซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการผลิตเครื่องดื่ม

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของ Distilled Monoglycerides (DMG)

Type	**SS ***	**S**	**P (V) ***
Fat source	fully hydrogenated vegetable oil	fully hydrogenated animal fat	fully hydrogenated vegetable oil
Physical form	small beads		
Monoglycerides content % (min.)	95		
Acid value (max.)	3		
Iodine value	3 max.	2 max.	
Melting Point (°C)	65 - 70	63 - 68	
HLB (calculated)	4.3		
Applications	versatile use for baked goods, confectionery products, dehydrated potatoes. starch products, ice cream, dairy products, margarine & shortening, peanut butter, whipped desserts, whipped toppings. (cosmetics, plastics). kosher grade avalable		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type	**OL**	**PM ***	**OM**	**SF ***
Fat source	oleic acid	refined vegetable oil		
Physical form	soft plastic	semi liquid	plastic	soft plastic
Monoglycerides content % (min.)	90		93	93
Acid value (max.)	3			
Iodine value	64 - 70	37 - 47	80 - 90	95min
Melting Point (°C)	37 - 43	55 - 60	45 - 55	40 ~ 45
HLB (calculated)	4.3			4.2
Applications	margarine & shortening, various kinds of cream.	whipping cream, margarine & shortening, chocolate. kosher grade avalable	baked goods, icing shortening. whipped toppings, shortening.	low fat margarine, icing and cream filling, shortening. kosher grade avalable

2.5.5.2 คุณสมบัติ Diacetyl Tartaric Acid Esters of Monoglycerides (DATEM)

Diacetyl tartaric acid ester of monoglyceride หรือเรียกว่า DATEM เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่มี diacetyl tartaric acid เกิดพันธะอยู่กับ monoglyceride มันสามารถกระจายตัวได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน และละลายได้ในไขมันและน้ำมัน ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ชอบน้ำและเป็นสารลดความเป็นกรด ใช้ในการ emulsification and foaming ของมาการีน มายองเนส และน้ำสลัด ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับแป้งและโปรตีน และใช้เป็นสาร used as a dough modifier (Stanley,2006)

(1) General Description

ADMUL DATEM 1916 is a kosher and halal diacetyl-tartaric acid ester of mono- and diglycerides.

Physical Form : liquid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appearance : light brown

Feedstock : palm

EC nr : E 472e

(2) Application

Recommended as a volume improver in bread shortenings.

(3) Typical Product Data

Acid Value : 90 - 120 mg KOH/g

Iodine Value : 21 g I/100g

(Kerry Bio-Science, 2005)

2.6 กระบวนการเตรียมสารละลาย

2.6.1 ระบบอิมัลชัน

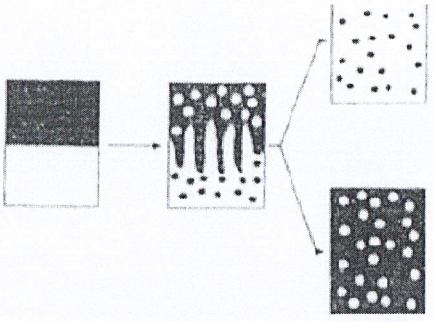
คำว่า อิมัลชัน มาจากคำกริยาว่า emulgeo แปลว่า ทำให้เกิดเป็นนม อิมัลชัน (Emulsions) เป็นระบบที่ประกอบด้วยของเหลว 2 ชนิดที่เข้ากันไม่ได้ โดยมีของเหลวหนึ่งกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ เรียกว่า วัตภาคใน (disperse phase, internal phase) อยู่ในอีกของเหลวหนึ่งเรียกว่าวัตภาคนอก (continuous phase, external phase) เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลวจะอยู่ระหว่าง 0.5-100 μm เป็นระบบที่มีความคงตัวทางเทอร์โมไดนามิคต่ำ เว้นเสียแต่ว่าจะใส่สารตัวที่ 3 ลงไปด้วย สารช่วยเพิ่มความคงตัวนี้เรียกว่าสารก่ออิมัลชัน (Emulsifying agent, emulsifier, emergent)

2.6.2 กระบวนการเกิดอิมัลชัน

2.6.2.1 กระบวนการทำให้ของเหลวหนึ่งกระจายตัวเป็นหยดอยู่ในอีกของเหลวหนึ่ง

ถ้านำของเหลว 2 ชนิดที่เข้ากันไม่ได้ เช่น น้ำและน้ำมันใส่ลงในหลอดทดลอง การที่จะให้ของเหลวชนิดหนึ่งจะกระจายตัวอยู่ในอีกของเหลวชนิดหนึ่งนั้น รอยต่อระหว่างผิวของของเหลวทั้งสองจะต้องถูกรบกวนมากพอที่จะทำให้ของเหลวตรงรอยต่อยืดตัวเป็นเส้นเข้าไปในกันและกัน ส่วนปลายของเส้นของเหลวจะมีลักษณะโป่งพองและไม่คงตัว พร้อมที่จะหลุดออกมาเป็นหยดอนุภาครูปทรงกลมขนาดใหญ่ และถ้ายังไม่หยุดรบกวนหยดใหญ่ที่หลุดออกมานี้จะยืดเป็นเส้น ตรงปลายโป่งพองพร้อมที่จะหลุดออกมาเป็นหยดของเหลวรูปทรงกลมขนาดเล็กกว่า กระบวนการจะเกิดขึ้นซ้ำๆและหยดอนุภาคจะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆจนกระทั่งถึงจุดๆหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กระบวนการกระจายตัวของของเหลว 2 ชนิดที่เข้ากันไม่ได้

2.6.2.2 กระบวนการหลอมรวมกันของหยดอนุภาค

หมายถึงการที่หยดอนุภาค 2 หยดหรือมากกว่าเข้ามาหลอมรวมกันเป็นหยดที่โตขึ้น เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองและเกิดขึ้นเร็วมาก ถ้าไม่มีกำแพงพลังงาน (energy barrier) มาช่วยป้องกัน ดังสมการพลังงานอิสระ

$$\Delta F = \gamma_{W/O} \Delta A \qquad (2.1)$$

เมื่อ ΔF = พลังงานอิสระที่ผิวที่เพิ่มขึ้น

$\gamma_{W/O}$ = แรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน

ΔA = พื้นที่ผิวทีเพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดขนาดอนุภาค

เนื่องจากระบบมีความต้องการการลดพลังงานอิสระที่ผิว ตามสมการของพลังงานอิสระข้างบน อิมัลชันจึงแยกชั้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการเตรียมอิมัลชันจึงต้องใส่สารก่ออิมัลชันลงไปด้วย เพื่อทำหน้าที่เป็นเกราะให้กับหยดอนุภาค ต้านการหลอมรวมกันของหยดอนุภาค ดังนั้นในการเตรียมอิมัลชัน นอกจากจะต้องเตรียมให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กแล้ว จะต้องใช้สารก่ออิมัลชันเพื่อทำให้คงตัวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.3 อัตราเร็วในการหลอมรวมกันของหยดอนุภาค (Coalescence Rate)

ชนิดของอิมัลชันจะถูกควบคุมโดยอัตราเร็วในการหลอมรวมกันของหยดอนุภาคของของเหลวทั้งสอง (ภาพที่1) โดยที่ในตอนเริ่มต้นจะมีหยดน้ำมันกระจายอยู่ในน้ำ และมีหยดน้ำกระจายอยู่ในน้ำมัน อิมัลชันสุดท้ายจะเป็นชนิดใด ขึ้นอยู่กับว่าระหว่างหยดน้ำและหยดน้ำมันอะไรจะเข้ามาหลอมรวมตัวกันได้เร็วกว่า ถ้าของเหลวชนิดใดรวมตัวกันได้เร็วก็จะทำให้ของเหลวชนิดนั้นเป็นวัตภาคนอก

2.6.2.4 HLB (Hydrophilic-Lipophilic Balance)

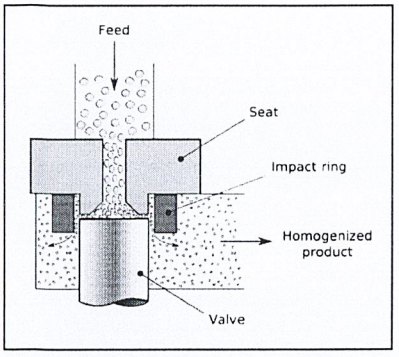
HLB คือคุณสมบัติที่ชอบน้ำและชอบน้ำมันในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว ตามทฤษฎีสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูงระหว่าง 8-18 จะให้อิมัลชันชนิด O/W และที่มีค่า HLB ต่ำระหว่าง 3-6 จะให้อิมัลชันชนิด W/O (Tharwat, 2009)

2.6.3 ทฤษฎีของโฮโมจีไนเซชัน (Theory of homogenization)

หลักการของโฮโมจีไนเซชันคือ การให้ของไหลผ่านช่องแคบออริฟิซ (orifice) ที่บางมากด้วยความดันสูงและความเร็วสูงมาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านช่องแคบดังกล่าวอย่างเห็นได้ชัด โดยลักษณะการแยกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลจากแรงเฉือนระหว่างผิวหน้าต่างๆ ของวาล์วขณะที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านช่องเล็กๆ ด้วยความเร็วสูง อนุภาคของของแข็งหรือหยดของเหลวที่อยู่ใกล้กับผนังหรือขอบ (edge) ของกระแสมากที่สุดจะมีแรงต้านทานจากแรงเสียดทานของของไหลในกระแสและกระแสที่อยู่ตรงศูนย์กลางของทางไหลหรือส่วนที่วิ่งเร็วที่สุดของกระแสจะพาอนุภาคต่างๆ ที่อยู่ตรงกลางเคลื่อนไปได้เร็วมากกว่าอนุภาคที่อยู่ใกล้กับขอบของกระแสได้ ความแตกต่างในเรื่องความเร็วนี้ทำให้อนุภาคของของแข็งมีการบดซึ่งกันและกันด้วยแรงเฉือน ทำให้มีขนาดเล็กลง ยิ่งการไหลมีความเร็วมากขึ้น และกระแสแคบขึ้น แรงเฉือนก็จะมากขึ้นด้วย

ลักษณะของโฮโมจีไนเซชันกับการไหลของแม่น้ำที่ไหลเชี่ยวมีความคล้ายกันคือ การทำให้ของแข็งหรือหยดของเหลวแตกออกจากกันเป็นผลมาจากแรงอิมแพคท์ที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสความเร็วสูงชกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการโฮโมจีไนเซชัน

ผิวของของแข็งดังรูปที่ 2.3 เช่น breaker ring ในเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ซึ่งมีการใช้ในวาล์วบางชนิด หรือผลของการทำให้แตกอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วขณะที่ของไหลออกจากวาล์ว นอกจากนี้แรงที่เกิดขึ้นจากการแตกออก (collapse) ของฟองต่างๆ เนื่องจากคาวิเตชันอาจเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการโฮโมจีไนเซชันด้วย ในทางปฏิบัติวาล์วส่วนใหญ่มักใช้หลักการทั้งสาม ขนาดและรูปร่างของช่องแคบออริฟิซกำหนดจากปริมาตรที่ต้องการแปรรูปในเวลาหนึ่งๆ และกำหนดจากความหนืดของผลิตภัณฑ์ด้วย

จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดซึ่งได้จากวาล์วของโฮโมจีไนเซอร์เมื่อของไหลถูกบังคับให้ผ่านวาล์วภายใต้ความดันที่คงที่และสม่ำเสมอ เนื่องจากผลของแรงเฉือนของวาล์วเปลี่ยนแปลงไปตามความหนืดของของไหลที่ไหลผ่านวาล์ว เราสามารถแก้ไขได้โดยใช้ความเร็วค่าหนึ่งความดันที่ขึ้นๆ ลงๆ ทำให้ความเร็วแปรเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ไม่ดีนัก

2.6.3.1 ปรากฏการณ์การทำให้อนุภาคแตกตัว (disruption phenomena)

ขณะที่อนุภาคที่แขวนลอยหรือหยดของเหลวที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่องผ่านบริเวณที่ทำให้แตกกลไกการแตกต่างๆ อาจเกิดขึ้น ดังนี้

(1) กลไกการเฉือนในการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลนท์ (shear mechanisms in laminar and turbulent flow)

การไหลทุกชนิด เช่น การไหลที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน (friction) ก่อให้เกิดแรงเฉือน (shearing stress) ต่ออนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในกระแส ในการไหลแบบลามินาร์ ความเครียดเหล่านี้เป็นสิ่งปกติและมีลักษณะหนืด แต่ในการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ ความเครียดดังกล่าว เป็นสิ่งที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติ ได้มีการพิสูจน์ด้วยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พบว่า เทอร์บูเลนท์เป็นกลไกที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการแตกขึ้น

(2) คาวิเตชัน (cavitation)

เมื่อความดันในระบบถูกลดลงต่ำกว่าความดันไอของของเหลว จะเกิดฟองของไอ(vapor bubbles) ซึ่งฟองของไอเหล่านี้จะแตก(collapse) ในบริเวณที่มีความดัน ณ ตำแหน่งใกล้เคียง(local pressure)ที่สูงกว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่าคาวิเตชัน (cavitation) โดยการใช้ความดันประมาณ $5x10^6 - 5x10^7$ Pa ในวาล์วของการโฮโมจีไนเซชันความดันสูง คาวิเตชันจะเกิดขึ้นเสมอซึ่งพิสูจน์ได้จากการเสื่อมเสียของผิววาล์วของการโฮโมจีไนเซชันซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากคาวิเตชัน การมีคาวิเตชันเป็นผลทำให้การแตกมากขึ้นเมื่อพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากัน และทำให้กระบวนการโฮโมจีไนเซชันมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในเครื่องโฮโมจีไนเซชันทุกชนิด จะมีแรงเฉือน ความเค้นเนื่องจากคาวิเตชัน และแรงที่เกิดจากความเร่งหรือความถ่วงเกิดขึ้นพร้อมกัน

2.6.3.2 ความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion stability)

ความคงตัวของอิมัลชันหาได้จาก

1.ชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟอิง

2.ขนาดของโกลบูลในเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง

3.แรงระหว่างผิวร่วม (interfacial forces) ที่กระทำที่ผิวของโกลบูล

4.ความหนืดของเฟสต่อเนื่อง

5.ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของเฟสที่ต่อเนื่องและเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง

ยิ่งแรงตึงผิว (interfacial tension) ระหว่างเฟสที่ต่อเนื่องและเฟสที่ไม่ต่อเนื่องมีมากเท่าไร การเกิดและรักษาความคงตัวของอิมัลชันยิ่งยากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลทำให้อิมัลชันมีความเสถียรเกี่ยวข้องกับกฎของสโต๊คส์ ดังนี้

$$v = D^2 g(\rho_p - \rho_f)/18\mu \tag{2.2}$$

เมื่อ v = ความเร็วของการแยกเฟส (m/s)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคในเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง (m)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

ρ_p = ความหนาแน่นของเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ_p = ความหนาแน่นของเฟสที่ต่อเนื่อง (kg/m^3)

μ = ความหนืดของเฟสต่อเนื่อง ($N.s/m^2$)

สมการที่ 2.2 ชี้ให้เห็นว่าอิมัลชันที่มีความคงตัว (มีความเร็วในการแยกต่ำ) จะเกิดเมื่ออนุภาคทรงกลมดังกล่าวมีขนาดเล็ก (ในทางปฏิบัติอยู่ระหว่าง 1 μm ถึง 10 μm) ความหนาแน่นของทั้งสองเฟสใกล้เคียงกันและความหนืดของเฟสที่ต่อเนื่องมีค่าสูง

2.6.3.3 แรงตึงผิว (interfacial tension)

ผิวร่วมระหว่างของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถผสมกันได้เป็นส่วนของพลังงานอิสระที่เกิดขึ้นจากความไม่สมดุลระหว่างแรงยึดเกาะ (cohesive) ของของเหลวสองชนิด ซึ่งเรียกว่า แรงตึงผิว (interfacial tension)

พลังงานนี้ทำให้ผิวหดตัวเพื่อให้เกิดพื้นที่ระหว่างผิวของทั้งสองเฟสให้เล็กที่สุดที่เป็นไปได้ในอิมัลชันนั้น เฟสไม่ต่อเนื่องมีแนวโน้มที่จะเกิดหยดของเหลว (droplet) หรืออนุภาคทรงกลมที่แสดงพื้นที่ระหว่างผิวร่วมต่อหน่วยปริมาตรของของเหลวที่เล็กที่สุด ดังนั้นอนุภาคของของเหลวเหล่านี้จึงมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเพื่อเกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้พื้นที่ระหว่างผิวร่วมต่อหน่วยปริมาตรลดน้อยลง ในอิมัลชันที่หยาบ ลักษณะเช่นนี้สามารถดำเนินต่อไปได้จนเฟสต่างๆ นี้แยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์

ในทางตรงกันข้าม การเกิดอิมัลชันเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดผิวหน้า (interface) ใหม่เป็นจำนวนมากซึ่งตรงกันข้ามกับแนวโน้มที่จะหดตัวซึ่งเกิดจากแรงตึงระหว่างผิวหน้า ยิ่งแรงตึงระหว่างผิวหน้ามีมาก การทำให้อิมัลชันเกิดขึ้นยิ่งยาก และอิมัลชันมีแนวโน้มที่จะมีความคงตัวลดน้อยลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดแรงตึงระหว่างผิวหน้าเพื่อให้เกิดอิมัลชันที่มีความคงตัว วิธีหนึ่งที่นิยมคือการใช้สารอิมัลซิไฟอิ้งต่างๆ

2.6.3.4 สารอิมัลซิไฟเออร์

สารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่สองชนิดในการทำให้เกิดอิมัลชัน (ที่เรียกว่า อิมัลซิฟิเคชัน) คือ 1) ช่วยลดแรงตึงระหว่างผิวหน้าของของเหลวต่างๆ ที่จะเกิดเป็นอิมัลชันและ 2) ป้องกันการรวมตัวของอนุภาคต่างๆ ของเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง ในอิมัลชันที่เกิดขึ้นแล้ว สารที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์มีอยู่เป็นจำนวนมากและมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีน ฟอสโฟไลปิด และสเตอรอล ส่วนสารที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ เอสเทอร์ของกลีเซอรอล โพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รพีลีนไกลคอล เซลลูโลสอีเทอร์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และอื่นๆ ส่วนของแข็งอาจได้แก่ เบนโตไนท์ เป็นต้น

สารอิมัลซิไฟเออร์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโมเลกุลซึ่งมีทั้งกลุ่มมีขั้วและไม่มีขั้ว เช่น เมื่อพิจารณาโมเลกุลของโซเดียมพาล์มมิเตท (sodium palmitate) ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2.4 ส่วนของไฮโดรคาร์บอนของโมเลกุลเป็นกลุ่มที่ไม่มีขั้ว และกลุ่ม –COONa เป็นกลุ่มที่มีขั้ว เพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจ กลุ่มที่ทำหน้าที่ไม่มีขั้วจะแสดงด้วยสี่เหลี่ยมผืนผ้า และกลุ่มที่มีขั้วแสดงด้วยวงกลม ในอิมัลชันใดๆ สารอิมัลซิไฟเออร์จะถูกดูดซับ ณ ตำแหน่งที่อยู่ระหว่างผิวร่วมของเฟสต่างๆ เพื่อลดแรงตึงระหว่างผิว โดยโมเลกุลของสารอิมัลซิไฟเออร์จัดตัวให้กลุ่มที่ไม่มีขั้วชี้ไปยังเฟสของน้ำมัน ขณะที่กลุ่มมีขั้วจะชี้ไปที่เฟสของน้ำที่ยึดอยู่ด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.5 ดังนั้นชั้นหรือฟิล์มของสารอิมัลซิไฟเออร์จะเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวหน้าของน้ำและน้ำมัน ฟิล์มระหว่างผิวหน้านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันอนุภาคของของเหลวต่างๆ ที่เป็นเฟสไม่ต่อเนื่องเหล่านี้มารวมตัวกันอันเนื่องมาจากแรงตึงระหว่างผิว

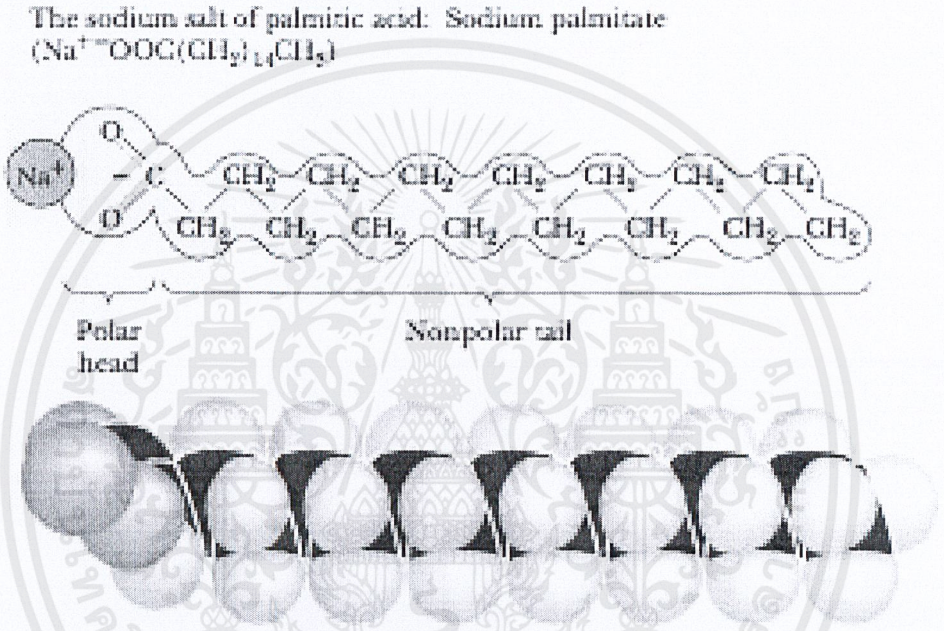
สารอิมัลซิไฟเออร์อาจเลือกใช้โดยอาศัยสมดุลระหว่างค่าไฮโดรไฟล-ไลโพไฟล (hydrophile-lypophile balance: HLB) ซึ่งนิยามว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของกลุ่มไฮโดรฟิลิคต่อเปอร์เซ็นน้ำหนักของกลุ่มไฮโดรโฟบิคในโมเลกุล ค่า HLB สามารถหาได้จากการทดลองค่า HLB ของสารอิมัลซิไฟอิ้งอยู่ในช่วงระหว่าง 1-20 สารที่มีค่านี้ต่ำประมาณ 3-6 ทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) ส่วนสารที่ให้ค่านี้สูงประมาณ 8-18 มักทำให้เกิดน้ำมันในน้ำ (o/w)

ของแข็งที่ละเอียดมากๆ มักจะถูกดูดซับที่ระหว่างผิวหน้าในอิมัลชันและกระทำตัวเป็นสารอิมัลซิไฟอิ้ง แม้ว่าจะไม่ค่อยมีประสิทธิภาพมากนัก และของแข็งซึ่งมักจะทำให้เปียกได้ง่ายด้วยเฟสของน้ำทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ

สารอิมัลซิไฟเออร์ควรจะระบุในรูปชนิดของอิมัลชันที่เกิด ถ้าใช้ในอาหารสารอิมัลซิไฟเออร์ควรจะไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี และต้องไม่เป็นพิษ ในหลายประเทศก็มีการควบคุมการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร สารอิมัลซิไฟเออร์ควรมีความคงตัวทั้งทางเคมีและทางกายภาพภายใต้สภาวะต่างๆของการแปรรูป การจัดการและการเก็บ และควรมีราคาถูก

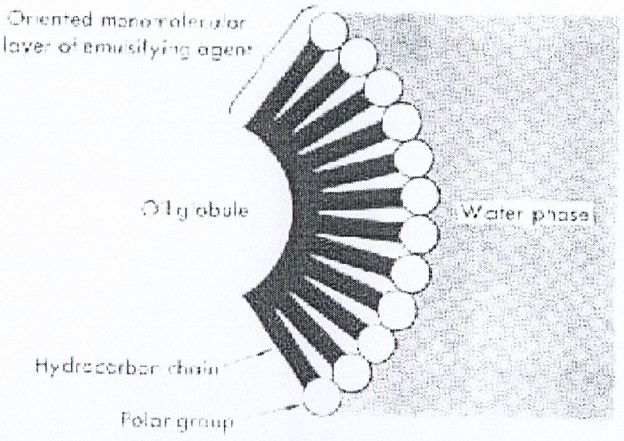
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารทำให้คงตัวเป็นพอลิแซกคาไรด์หรือไฮโดรคอลลอยด์ที่ละลายได้ในน้ำเพื่อให้เกิดสารละลายที่มีความหนืดหรือเป็นเจล ความหนืดที่เพิ่มขึ้นและอันตรกิริยา (interaction) ที่ซับซ้อนซึ่งเกิดขึ้นในอิมัลชันประเภท o/w ทำให้เกิดตาข่าย 3 มิติที่ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวและป้องกันการรวมตัวกันของเฟสไม่ต่อเนื่อง เซลลูโลสที่เป็นผลึกเล็กๆ และผงเซลลูโลสเท่านั้นที่ใช้ในการทำให้เกิดอิมัลชันชนิด w/o



รูปที่ 2.4 โมเลกุลของโซเดียมพาล์มมิเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อยู่ระหว่างผิวร่วม

2.7 สารช่วยทำแห้ง

สารช่วยทำแห้ง เป็นสารที่ถูกใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อลดการเหนียวติดบนผนังของห้องอบแห้ง และมีการไหลของอนุภาคผงได้อย่างอิสระมากขึ้น สามารถแบ่งตามลักษณะหน้าที่ออกเป็น 4 แบบ คือ สารช่วยดูดซับความชื้น สารเพิ่มความยืดหยุ่น สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มปริมาณ ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำแห้ง ที่เติมลงไปในสารป้อนก่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมอาหารมักใช้มอลโตเด็กซ์ตริน (จีระนันท์, 2552)

ตารางที่ 2.4 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

สารช่วยทำแห้งที่ใช้ในอาหาร จะมีอยู่หลายชนิด ในที่นี้จะพูดถึงมอลโตเด็กซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 Dextrose Equivalent

สมมูลเดกซ์โทรส DE ย่อมาจาก Dextrose Equivalent หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในตัวอย่าง เมื่อใช้วิธีตรวจวัดโดยวิธีรีดักชัน (reduction) ในการบัญญัติศัพท์ภาษาไทยกำหนดให้เรียก DE ว่า สมมูลเดกซ์โทรส คือ ปริมาณร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) คิดเป็นปริมาณน้ำตาลเด็กซ์โตรส (dextrose) ที่มีอยู่ในคาร์โบไฮเดรททั้งหมด

การคำนวณค่าDE (Kearsley, 1995)

$$D.E. = \frac{Reducing\ Value\ of\ Hydrolysate\ Material}{Reducing\ Value\ of\ Dextrose} \times 100 \qquad (2.3)$$

ในอุตสาหกรรมอาหาร ข้อกำหนดคุณลักษณะของคาร์โบไฮเดรท ที่ใช้เป็นสารให้ความหวาน (sweetener) จะไม่นิยมกำหนดค่าความหวาน (relative sweetness) แต่จะกำหนดเป็นค่า Dextrose equivalent (DE) แทน ซึ่งค่า DE แสดงถึงระดับการย่อยแป้ง (flour) หรือ สตาร์ช (starch)ให้เป็นน้ำตาลกลูโคสหรือเด็กซ์โตรส โดยสตาร์ช (starch) มีค่า DE เท่ากับ 0 ขณะที่น้ำตาลกลูโคสหรือเด็กซ์โตรสมีค่า DE เท่ากับ 100 ตัวอย่างค่า DE ของคาร์โบไฮเดรตบางชนิด เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) มีค่า DE น้อยกว่า 20 เป็นต้น (Harry, 1996)

น้ำเชื่อมกลูโคส (glucose syrup) ค่า DE คิดเป็นปริมาณน้ำตาลเด็กซ์โตรส (dextrose ,ซึ่งคือ D-glucose) ที่มีอยู่ในน้ำเชื่อมกลูโคสทั้งหมด โดยน้ำหนักแห้ง หากสตาร์ช (starch) ถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลกลูโคสมาก จะทำให้ได้น้ำเชื่อมกลูโคส ที่มีค่าDE สูง

การใช้สารให้ความหวาน (sweetener) ชนิดคาร์โบไฮเดรท ที่ไม่ใช่น้ำตาล ในนมสำหรับทารก สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาใช้ค่าความหวาน (relative sweetness) ของน้ำตาลแลคโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลในนมไว้ที่ 40 (Food Theory เอกสารดังกล่าวมีข้อมูลแสดงว่า corn syrup ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้งจากข้าวโพด ที่ค่า DE เท่ากับ 36 และได้อนุญาติให้ใช้ คาร์โบไฮเดรทที่มิใช่น้ำตาลในผลิตภัณฑ์นมสำหรับทารก จะต้องเป็นคาร์โบไฮเดรทที่มีค่า DE ไม่เกิน 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 มอลโตเด็กซ์ทริน

มอลโตเด็กซ์ทริน หมายถึง กลุ่มโมเลกุลใหญ่ๆ ที่สามารถถูกน้ำย่อยกลุ่มอะมิเลสย่อยแล้วให้น้ำตาลมอลโทสได้ เช่น มอลโทไตรโอส(maltotriose), มอลโทเทตราโอส(maltotetraose), มอลโทเพนทาโอส(maltopentaose) เป็นต้น

Maltodextrin (มอลโตเด็กซ์ตริน) โดยทั่วไปใช้เป็นสารเติมแต่งรสชาติและกลิ่นของอาหาร นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งพลังงานในเครื่องดื่มเสริมสุขภาพ เครื่องดื่มให้พลังงานสำหรับนักกีฬา มอลโตเด็กซ์ตรินมักอยู่ในรูปแบบผง ละลายน้ำได้ดี มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงไม่มีผลข้างเคียงกับระบบประสาทสัมผัส รสชาติหวานเล็กน้อย จึงมีการพัฒนานำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เช่น เป็นสารทดแทนไขมันในครีม สลัดครีม เนยแข็งและไอศครีม, สารทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต, เพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่างๆ เป็นต้น

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของมอลโตเด็กซ์ตริน (10 DE)

Maltodextrin (10 DE) – Specification

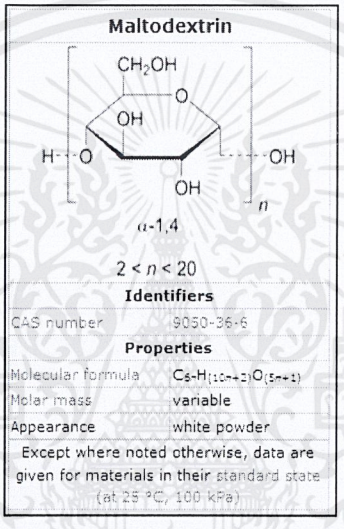
		MIN.	MAX.
Moisture, %		--	6.0
Dextrose Equivalent (D.E.)		9.0	13.0
SO (2), ppm			less than 10.0
Conductivity (mmhos @ 30% d.s.)		--	50
Ash, %			trace
Clarity (24 hours @ 600 nm) --		80.0	--
N.S.R.			standard
Screen Test (typical)-	% on 60 mesh U.S.S.		1
	% on 100 mesh U.S.S.		25
	% on 325 mesh U.S.S.		58
	% thru 325 mesh U.S.S.		16
Average Bulk Density	-lbs/cu ft	28	38
Sensory	Odour/Flavour		standard
Microbiological – typically will not exceed:			
Standard Plate Count/g			100
Yeasts/g			20
Moulds/g			20
Coliforms/g			10
E.Coli/30g			negative
Salmonella/100g			negative
Heavy Metals (as Pb) – will not exceed 500 ppb.			
Typical Carbohydrate Profile - % db			
Dextrose			1
Maltose			2
Maltotriose			3
Tetrasaccharides			2
Higher saccharides			92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 โครงสร้างมอลโตเด็กซ์ตริน

มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นโพลีแซคคาไรด์ ถูกใช้เพื่อเป็น Food Additive ได้จากการไฮโดรไลซิสแป้ง ประกอบด้วย D-glucose (dextrin) หนึ่งหน่วยต่อกันเป็นลักษณะโซ่ยาวดังรูปที่ 2.4 โดยความยาวสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ หน่วยของกลูโคสจะเชื่อต่อกันแบบพันธะ α(1,4) มอลโตเด็กซ์ตรินมีส่วนประกอบที่เป็นต้นแบบที่เกิดจากการรวมกันของสายโซ่ที่เปลี่ยนกลูโคสจากสามไปยังสิบเก้าหน่วย

ความยาว (วิกกีพิเดียน)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างมอลโคเด็กซ์ตริน

2.7.4 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด

การที่อาหารมีสีน้ำตาลหรือสีคล้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต หรือขณะการ เก็บรักษานั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงที่พบได้บ่อยๆ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลอย่าง มากต่อลักษณะปรากฏโดยเฉพาะด้านสีของอาหาร

ในอุตสาหกรรมอาหารทั่ว ๆ ไป การเกิดสีน้ำตาลกับผลิตภัณฑ์อาหาร จะเป็น สิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เพราะว่าสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากจะดูไม่สวยแล้ว ยังเป็นเครื่อง บ่งชี้ว่าอาหารนั้นเสื่อมคุณภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารพวกน้ำผลไม้ , แป้ง, นมผง, ไข่ผง, แยม และเยลลี่ รวมทั้งสีน้ำตาลของผักผลไม้ที่เกิดขึ้นภายหลังจากปอกเปลือกทิ้งเอาไว้ แต่ การเกิดสีน้ำตาลก็ไม่ได้เลวร้ายกับอาหารเสียทุกอย่าง เพราะอุตสาหกรรมอาหารบางอย่าง ก็ต้องการให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ของตน เช่น การผลิตขนมปัง, ชา , กาแฟ , โกโก้ และอาหารอบย่างต่าง ๆ สีน้ำตาลที่เกิดในอาหาร อาจจะเป็นผลมาจากปฏิกิริยาอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

2.7.4.1 ปฏิกริยาจากการกระทำของเอนไซม์ (enzymatic browning) ปฏิกริยา ชนิดนี้ พบได้ในผัก ผลไม้หลายชนิด เช่น กล้วยอุ่น เห็ด มันฝรั่ง แอปเปิล เมื่อเราปอกเปลือก ผัก ผลไม้นี้ทิ้งไว้จะเกิดสีน้ำตาลขึ้นที่ผิวนอก อันเป็นผลมาจากเอนไซม์ภายในเซลล์ของ ผลไม้ มีโอกาสสัมผัสและย่อยสารประกอบพวกฟีนอลิก (phenolic compound) เกิดเป็น สารประกอบพวกเมลานิน (melanin) ซึ่งมีสีน้ำตาล เอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกริยาสีน้ำตาล มีอยู่หลายตัว เช่น ฟีนอเลส (phenolase) , โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ฯลฯ

2.7.4.2 ปฏิกริยาที่ไม่ได้มาจากการกระทำของเอนไซม์ (non-enzymatic browning) ปฏิกริยาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบของอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อสี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้นๆ ปฏิกริยาสำคัญก็มี ได้แก่

(1) ปฏิกริยาเมลลาร์ด เกิดจากสารพวกเอมีน (amine) , กรดอะมิโน หรือ โปรตีน ทำปฏิกริยากับสารพวกน้ำตาล , อัลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโตน (ketone) ในขณะ ที่อาหารผ่านความร้อนหรือเก็บเอาไว้นานๆ ทำให้ได้สารเมลานอยดิน (melanoidin) ที่ให้ สีน้ำตาล

(2) ปฏิกริยาของวิตามินอันเนื่องมาจากออกซิเจน ทำให้เกิดสารที่มีชื่อว่า เฟอร์ฟิวราล (furfilral) ที่ให้สีน้ำตาล พบมากในน้ำผลไม้และน้ำผลไม้เข้มข้น

(3) ปฏิกริยาการเกิดสีคาราเมล (caramel) เกิดจากการ เปลี่ยนแปลงของ น้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนในสภาพที่ไม่มีน้ำหรือน้ำน้อยๆ ที่เราเรียกว่าน้ำตาลไหม้ เกิด เป็นสารเฟอร์ฟิวราลที่มีสีน้ำตาลเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

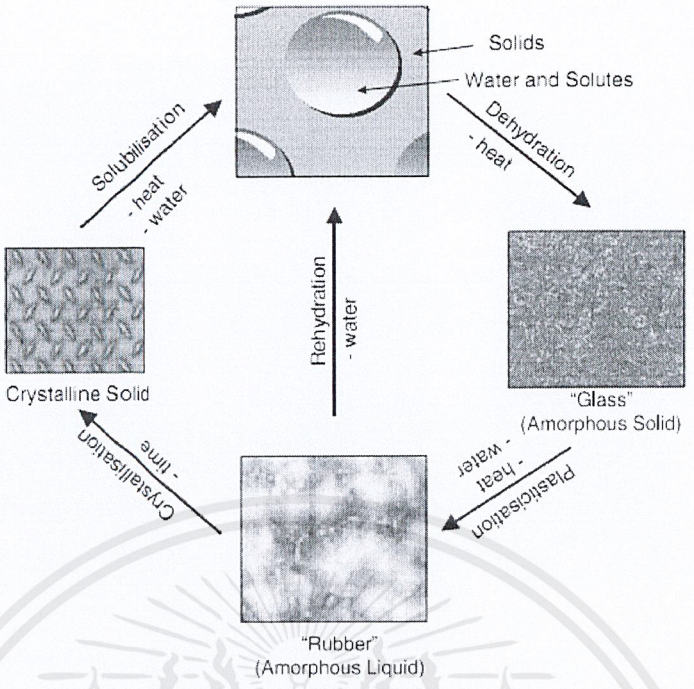
2.7.4 Glass Transition

ผลิตภัณฑ์ผงในสถานะของแข็งประกอบด้วยบริเวณที่เป็นผลึก หรืออสัณฐาน ซึ่งปริมาณของทั้งสองบริเวณนี้ขึ้นกับความสามารถในการจัดเรียงตัวของว่าเป็นระเบียบหรือไม่ สมบัติทางความร้อนของอาหารผงที่สำคัญ คือ อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (melting point temperature,) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ส่วนที่เป็นผลึกเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว คล้ายกับการหลอมเหลวของผลึกของแข็งโมเลกุลเล็กชนิดอื่น สมบัติทางความร้อนที่สำคัญและเป็นเอกลักษณ์ของวัสดุอาหาร คือ อุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับอาหารผงโดยไม่เปลี่ยนสถานะ (ยังคงอยู่ในสถานะของแข็ง) แต่เกี่ยวข้องกับการได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า อาหารผงจะเกิดการเปลี่ยนแปลได้ยากมาก (เปรียบเหมือนถูกแช่แข็งไว้) จึงจัดเป็นของแข็งในสถานะคล้ายแก้ว (glassy state) ซึ่งค่อนข้างแข็งแต่เปราะ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นโมเลกุลจะได้รับพลังงานมากขึ้น จนถึงอุณหภูมิเฉพาะของอาหารผงแต่ละชนิด จะรับพลังงานมากพอที่จะทำให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น จัดเป็นของแข็งสถานะคล้ายยาง (rubbery state)

Glass Transition temperature (T_g) เป็นลักษณะคุณสมบัติของวัสดุอสัณฐาน (amorphous) สำหรับอาหาร และสามารถอธิบายได้จากความเหนียว ความเปราะของผลิตภัณฑ์ผงระหว่างการเก็บรักษาหรือระหว่างกระบวนการผลิต อาหารผงส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอสัณฐาน (amorphous) ของน้ำตาล เป็นส่วนประกอบ ตัวอย่างเช่น นมผงที่มีแลกโตส ร่วมกับโปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ วัสดุอสัณฐานจะพิจารณาจากหลักทางเทอร์ อุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้วของวัสดุอาหารเป็นไปดังตารางที่ 2.7 (Xiao, 2008)

การเกิดบริเวณที่เป็นผลึก หรืออสัณฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นการของเหลวให้เป็นละอองฝอย โดยภายหลังการระเหยน้ำออกจะเป็นของแข็งเกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง อย่างไรก็ตาม จะสอดคล้องตามหลักการดังรูปที่ 2.6 (Roos, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การเกิดโครงสร้างอสัณฐานและความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาสมดุลและไม่สมดุล

Material (moisture free)	Glass transition temperature (°C)	Constant (k_g)
Fructose	5	3.18
Glucose	31	4.07
Galactose	32	
Skim milk with hydrolyzed lactose	49	8.00
Sucrose	62	
Maltose	87	
Low-fat milk (10.7% fat)	88	
Skim milk (0% fat)	92	
Whole milk (32.4% fat)	92	
Amorphous lactose	97	6.70
Medium-fat milk (18.6% fat)	98	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 36)	100	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 25)	121	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 20)	141	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 10)	160	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 5)	188	

ที่มา : (Roos, 2001)

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้วภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 กระบวนการทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้ง ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญ (รุ่งนภา,2535) คือมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บได้ที่ความชื้น 15 – 20% แต่ถ้าเป็นเมล็ดธัญพืชเก็บที่ความชื้นนี้จะเกิดราได้ วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่ง คือ การลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยในการขนส่งและการเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวัตถุประสงค์สุดท้ายของการทำแห้งเพื่อผลิตภัณฑ์ซึ่งสะดวกต่อการใช้งานของผู้บริโภค (รุ่งนภา, 2535)

การอบแห้งเป็นกระบวนการไล่ความชื้นออกจากวัสดุโดยการระเหย โดยทั่วไปจะอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและความชื้น การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุ และการถ่ายเทความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน และความชื้นจะช้าหรือเร็วเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของกระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง การอบแห้งจะช่วยให้เก็บรักษาวัสดุไว้ได้นาน และเป็นการป้องกันการเสียหายของวัสดุ เนื่องจากการทำลายของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปเรามักจะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็ว และได้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำตามที่ต้องการ (อิทธิพล และคณะ, 2550)

2.8.1 อัตราการทำแห้ง (Drying Rate)

ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา) ถ้าอาหารมีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่เป็นการไหลแบบผ่านช่องแคบ (capillary flow) น้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้ที่ผิวอาหารเปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ จึงเรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ต่อมาเมื่อการไหลผ่านช่องแคบหมดไป น้ำต้องแพร่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนมาที่ผิวไม่เพียงพอ ผิวอาหารจึงแห้ง การระเหยเกิดขึ้นได้อย่าช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่าช่วงอัตราการทำแห้งลดลง อาหารที่มีเนื้อแน่นน้ำเคลื่อนที่จากภายในชิ้นอาหารได้ช้าจึงมีเฉพาะช่วงอัตราการทำแห้งลดลงการทำแห้งสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นในอากาศในเตาสมดุลกับความชื้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารหรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของอาหารคูณ 100 และเรียกความชื้นของอาหารขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล

การอบแห้ง เป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อเวลาหรือพื้นที่โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยไป}}{\text{ระยะเวลาหรือพื้นที่}} \qquad (2.4)$$

(ชมภู่, 2550)

2.8.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

การทำแห้งคือ การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยใดๆที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่อการทำแห้งได้แก่

1.ธรรมชาติของอาหาร

อาหารเนื้อโปร่ง การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็ว

2.ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิว ต่อน้ำหนัก เช่นรูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้คำนึงถึงพื้นผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมาทับถมกันการระเหยเกิดขึ้นได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3.ตำแหน่งของอาหารในเตา

น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4.ปริมาณอาหารต่อพื้นที่

ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การจัดเรียงอาหารเพื่อนำไปอบแห้ง มีผลต่อการอบแห้ง การจัดเรียงอาหารให้แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่ทับซ้อนกัน อาหารจะสัมผัสกับลมร้อนได้อย่างถั่วถึงและสม่ำเสมอ

5.ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity,RH)

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

6.อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

7.ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงมีการสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.8.3 ประโยชน์ของการทำแห้ง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร

ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร แสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนจากธรรมชาติและกระแสลมที่พัดผ่านอาหารทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำ เนื่องจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิไม่ได้สูงนักและกระแสลมธรรมชาติไม่สูงพอ ทำให้การตากแห้งต้องใช้เวลานาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องอบที่มีการให้พลังงานความร้อนในปริมาณที่ควบคุมได้และมีอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากผิวอาหาร การถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดได้เร็วอาหารจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2.8.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้ง

2.8.5.1 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) (วิไล รังสาดทอง, 2546)

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเตี้ยๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวน ในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบางๆ อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ มีระบบท่อหรือแบฟเฟิลเพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนแผ่นแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำแต่ควบคุมยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ

2.8.5.2 เครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์ (Pneumatic)

อาหารที่เป็นชิ้นหรือผงจะถูกอบแห้งอย่างต่อเนื่องในท่อโลหะแนวนอนหรือแนวตั้งในเครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์ และใช้ไซโคลนเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วออกมา ชิ้นอาหารซึ่งโดยทั่วไปจะมีความชื้นน้อยกว่า 40% จะถูกส่งเข้าไปในท่อและแขวนลอยอยู่ในอากาศร้อน มีการปรับความเร็วลมในเครื่องอบแห้งแบบตั้งเพื่อให้ชิ้นอาหารอยู่แยกกัน อาหารที่เบากว่าหรือเล็กกว่าจะแห้งเร็วกว่าและเคลื่อนที่ไปยังไซโคลนเร็วกว่าชิ้นอาหารที่หนักกว่า เครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์ใช้เงินลงทุนต่ำแต่ให้อัตราการทำแห้งและประสิทธิภาพของความร้อนสูง ควบคุมสภาวะการอบแห้งได้ดี นิยมใช้วิธีนี้หลังการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าปกติ

2.8.5.2 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)

มีการให้ความร้อนลูกกลิ้งที่ทำจากโลหะเหล็กทรงกระบอกกลวงซึ่งหมุนอย่างช้าๆ โดยใช้ไอน้ำที่ความดันสูงที่อุณหภูมิ 120 – 170 องศาเซลเซียส อาหารจะแผ่เป็นชิ้นบางๆ อย่างสม่ำเสมอบนผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

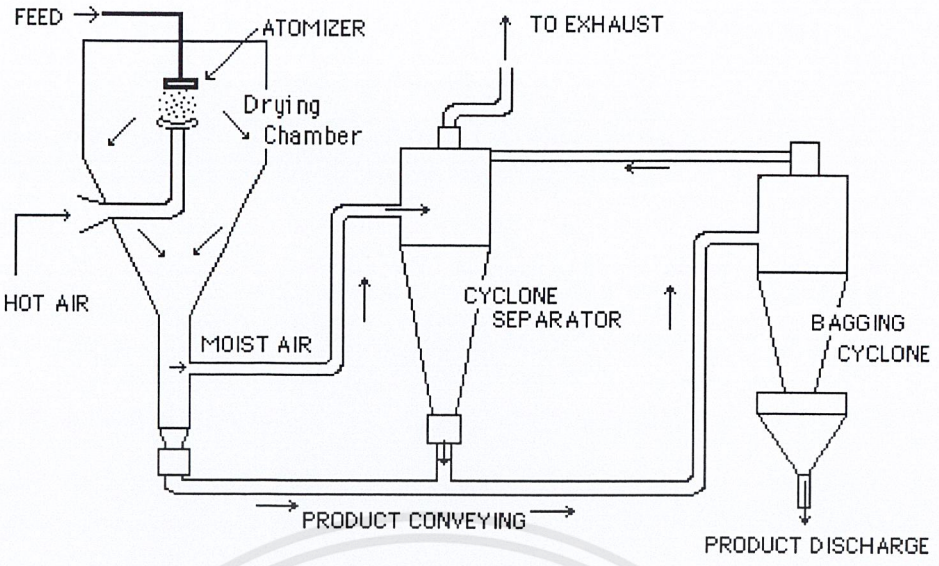
ของลูกกลิ้งโดยการจุ่ม การฉีดพ่นหรือการแผ่บางๆ อาหารแห้งจะถูกขูดออกโดยใบมีดซึ่งจะสัมผัสกับผิวของลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอก่อนที่ลูกกลิ้งจะหมุนครบ 1 รอบ เครื่องอบแห้งแบบนี้อาจประกอบด้วยลูกกลิ้ง 1 หรือ 2 ลูกก็ได้ นิยมใช้ลูกกลิ้งเดี่ยวมากกว่าเพราะมีความยืดหยุ่นในการใช้มากกว่าลูกกลิ้งคู่ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการอบแห้งสูงกว่า ดูแลรักษาง่าย ไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากวัตถุโลหะหล่นลงมาระหว่างลูกกลิ้ง เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งให้อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง เหมาะกับอาหารเหลวที่มีขนากอนุภาคใหญ่เกินกว่าจะใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย อย่างไรก็ตามต้องใช้เงินลงทุนสูงและอาหารที่มีความไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้

2.8.5.4 เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย (Spray dryer)

กระบวนการอบแห้งที่ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ทีความชื้นเริ่มต้นสูง และอยู่ในสภาพเริ่มต้นเป็นของเหลวได้ดีที่สุด คือการอบแห้งแบบพ่นฝอย กระบวนการนี้ใช้ครั้งแรกกับการอบแห้งนมในเวลาสั้นๆ หลังปี 1900 และใช้กับไข่และกาแฟในช่วงปี 1930 วิธีนี้จะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ในตอนต้นและไม่ทนต่อความร้อนและไวต่อความร้อนนั่นเอง ลักษณะเฉพาะของการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นคือ วงจรการอบแห้งจะเร็ว เวลาที่ผลิตอยู่ในห้องอบแห้งจะสั้น และผลิตภัณฑ์สุดท้ายพร้อมที่จะบรรจุทันทีขณะออกจากเครื่องอบแห้ง ความจริงแล้วเวลาที่อยู่ในเครื่อง อาจจะเป็น 3 ถึง 10 วินาที และอนุภาคของผลิตภัณฑ์ไม่เคยมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเลย

นอกจากนี้ ยังสามารถใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงที่จุดเข้าห้องอบแห้งโดยมิได้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีหลายแบบ โดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งได้ 4 แบบ แบบแรกได้แก่ ชนิดกระแสสวนทางกัน (Counter-current) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระสวนทางกันของเหลวจะถูกพ่น (atomized) ใกล้กับส่วนบนของห้องอบแห้ง และตกลงมา ขณะที่อากาศจะถูกนำเข้าสู่เครื่องใกล้กับด้านล่างของห้องอบแห้ง และเคลื่อนสู่ด้านบนผ่านหยดของเหลว (liquid droplets) ผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะออกทางด้านล่างของห้อง ขณะที่อากาศจะถูกกำจัดใกล้ส่วนบนของห้องอบแห้ง อากาศที่เข้าซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง จะสัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ซึ่งอบแห้งหรือเกือบแห้ง แต่ข้อเสียของเรื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดนี้คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากความร้อนมีผลต่อผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ อัตราการไหลของอากาศต้องค่อนข้างต่ำ เพื่อหลีเลี่ยงผลิตภัณฑ์ไปติดกับอาหารในปริมาณมาก เมื่ออากาศถูกกำจัดออกไปที่ด้านบนของห้องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน (co-current spray dryer) จะมีการผสมอากาศที่เข้ากับหยดของเหลวที่เกิดขึ้นใหม่ที่เครื่องอะตอมไมเซอร์ (atomizer) หลังจากการผสมตอนต้นแล้ว ผลิตภัณฑ์และอากาศจะเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันขณะที่กระบวนการทำแห้งดำเนินต่อไป ผลิตภัณฑ์และอากาศส่วนใหญ่จะออกจากห้องอบแห้งที่ทางออกด้นล่างและเคลื่อนไปยังระบบแยก (Separation system) การจัดตัวเช่นนี้อาจจะดีที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน เนื่องจากผลิตภัณฑ์เหลวจะสัมผัสกับอากาศเข้าอุณหภูมิสูงและผลิตภัณฑ์แห้งจะสัมผัสกับอากาศหลังจากอุณหภูมิลดลงอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดมีการไหลแบบผสมกัน (Mixed flow pattern) จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์เข้าสู่เครื่องด้วยตัวอะตอมไมเซอร์ที่อยู่ใกล้กับศูนย์กลางของห้องอบแห้ง อากาศที่เข้าส่วนบนของเครื่องจะเคลื่อนที่ลงมาด้านล่างของห้องอบแห้ง ซึ่งสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนไปยังช่องอากาศออก ผลิตภัณฑ์จะออกจากเครื่องทางออกใกล้กับส่วนล่างของห้องอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องสูงอาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์นี้ลดลง แต่ระบบนี้จะมีความสามารถในการะเหยต่อหน่วยปริมาตราสูง

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกัน (parallel flow) การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศจะเป็นเส้นสม่ำเสมอ จากด้านบนสู่ด้านล่างของห้องอบแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์และอากาศจะออกจากห้ออบแห้งด้วยกัน แล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่ใช้แยกของระบบ ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบนี้จะแตกต่างจากชนิดกระแสหลตามกันคือ ความเร็วลมที่ใช้สูง ทำให้อุณหภูมิอากาศที่เข้าสูงความเร็วลมนี้โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 2-3 เมตร/วินาที

อาหารที่ผ่านการทำให้ข้นมาแล้วจะถูกทำให้กระจายและกลายเป็นอนุภาคหรือหยดน้ำเล็กๆ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 – 200 ไมโครเมตร และพ่นเข้าไปในกระแสของลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 – 300 องศาเซลเซียส ในถังอบขนาดใหญ่ มีการควบคุมอัตราการส่งวัตถุดิบเพื่อให้อุณหภูมิของอากาศที่จุดทางออกเท่ากับ 90 – 100 องศาเซลเซียสซึ่งเทียบได้กับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (และอุณหภูมิผลิตภัณฑ์) เท่ากับ 40 – 50 องศาเซลเซียส การอะตอมไมซ์หรือการพ่น (atomization) ที่สมบูรณ์และสม่ำเสมอสำคัญมากสำหรับการอบแห้งที่ดี เครื่องอะตอมไมเซอร์ (atomizer) มีหลายแบบ เช่น

(1) เซนตริฟิวกัล อะตอมไมเซอร์ (centrifugal atomizer) ซึ่งจะส่งของเหลวเข้าไปที่ตรงกลางของแกนหมุนด้วยความเร็วรอบ 90 – 200 เมตร/วินาที หยดของเหลวซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 – 60 ไมโครเมตร จะถูกพ่นจากขอบแกนเพื่อการฉีดพ่นที่สม่ำเสมอ

(2) เพรสเซอร์ นอสเซิล อะตอมไมเซอร์(pressure nozzle atomizer) ของเหลวจะถูกดันออกมาที่ความดันสูง(700 – 2,000 กิโลปาสคาล) ผ่านรูเล็กๆ ขนาดของหยด คือ 180 – 250 ไมโครเมตร รูด้านในของหัวฉีดทำให้ละอองของเหลวเป็นรูปกรวยเพื่อให้สามารถใช้ความจุของถังอบแห้งอย่างเต็มที่

(3) ทูฟลูอิด นอสเซิล อะตอมไมเซอร์(two – fluid nozzle atomizer) อากาศจะถูกอัดจนเกิดเทอร์บุเลนซ์ทำให้ของเหลวเกิดอะตอมไมซ์ ใช้ความดันต่ำกว่าเครื่องเพรสเซอร์ นอสเซิล แต่ผลิตขนาดของหยดได้ในช่วงกว้างกว่านอสเซิล อะตอมไมเซอร์ทั้ง 2 ชนิดอาจเกิดการอุดตันได้โดยอาหาร อาหารที่มีผิวขรุขระทำให้รูของหัวฉีดมีขนาดใหญ่ขึ้นและขนาดเฉลี่ยของหยดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอยสามารถทำแห้งอาหารได้หลากหลายชนิด เช่น นม ไข่ กาแฟ โกโก้ มันฝรั่ง น้ำผลไม้ สารสกัดจากเนื้อและยีสต์ กลิ่นบรรจุแคปซูล ผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวโพดและข้าวสาลี ส่วนผสมของไอศกรีม ครีม โยเกิร์ต ผงเนยแข็ง นอกจากนั้นยังมีการต่อเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยไว้กับเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เพื่อทำแห้งผงอาหารต่อไป ข้อดีของเครื่องทำแห้งชนิดนี้ คือ ใช้เวลาสั้น สามารถผลิตอาหารแบบต่อเนื่องในปริมาณมากได้ ใช้แรงงานต่ำ การใช้และดูแลรักษาง่าย แต่ข้อจำกัดคือใช้เงินลงทุนสูงและอาหารที่จะส่งเข้ามาต้องมีความชื้นสูงเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถที่จะปั๊มเข้ามาในเครื่องอะตอมไมเซอร์ได้ ทำให้ต้องใช้พลังงานเพื่อกำจัดความชื้นและเกิดการสูญเสียสารหอมระเหยสูง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เหรียญทอง(2551) ได้ทำการศึกษาการผลิตครีมเทียมผงจากน้ำมันรำข้าวพบว่าน้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันอิ่มตัวเพียง 15 – 20% ในขณะที่ครีมเทียมที่ทำจากมะพร้าวมีกรดไขมันอิ่มตัวถึง 90% สำหรับรสชาติของครีมเทียมผงจากน้ำมันรำข้าวจะมีรสชาติเหมือน ครีมเทียมผงทั่วไป แต่จะมีกลิ่นอ่อน ๆ ของรำข้าวเล็กน้อย ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคสำหรับการบริโภค

นราทิป(2537) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนถั่วเหลืองพบว่าสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิลมขาเข้า 181 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมขาออก 107 องศาเซลเซียสมีความเหมาะสมต่อการทำแห้งผลิตภัณฑ์ครีมเทียมมากที่สุด และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากถั่วเหลือง มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.47 aw 0.15 ค่าสี (L, a และ b) เท่ากับ 93.8, 8.6 และ 28.7 ตามลำดับ

Gardiner (1977) ศึกษาถึงการพัฒนาด้านองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมที่ไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีนโดยการใช้เคซีนเป็นส่วนประกอบของโปรตีนคู่กับเกลือสเตบิไลซิง ได้แก่ ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต และโซเดียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 1 ต่อ 9 ตามลำดับ พบว่าไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน

Malundo (1992) ได้ทำการศึกษาผลของโปรตีนสกัดจากถั่วลิสง และสารอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ โมโน-ไดกลีเซอไรด์ ที่มีต่อคุณภาพของครีมเทียม โดยวางแผนการทดลองดังนี้ คือ โปรตีนถั่วลิสง:น้ำ ในอัตราส่วน 1:3 1:4 และ 1:5 ตามลำดับ ในแต่ละตัวอย่างมีการเติมสารโมโนไดกลีเซอไรด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 0.6 1.2 และ 1.8 หลังจากการทดสอบ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโมโน-ไดกลีเซอไรด์ ปัจจัยด้านความขม ความขาว และความหนืด จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมควรมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของโปรตีนถั่วลิสงต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 และ 1:4 ปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมร้อยละ 0.6-1.2

Kneifel(1992) ได้กำหนดค่าสีที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมขึ้นโดยการตรวจสอบจากตัวอย่างครีมเทียมหลายๆชนิด พบว่าครีมเทียมควรมีค่าความสว่าง(L)อยู่ระหว่าง 35.8 ถึง 45.7 ค่าสีที่ออกไปทางสีแดง(a)มีค่า 6.2 ถึง 10.2 และค่าสีออกไปทางเหลือง(b)มีค่า 12.7 ถึง 19.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และการทดลอง

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตครีมเทียมด้วยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การเตรียมสารละลายอิมัลชันครีมเทียม มีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนของสารคงตัว (0%, 50%100% (%by wt)) และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (0%,5%,10% (%by wt)) 2) ศึกษาการทำแห้งครีมเทียมผง มีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส) โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

1. สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) คือ Diacetyl Tartaric Acid Esters of Monoglycerides (DATEM) และ Distilled Monoglycerides (DMG) โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท กรีนวันฟู้ด จำนวนทั้งสิ้น 1 กิโลกรัม

2. สารคงตัว (Stabilizer) คือ Dipotassium Hypophosphate (K_2HPO_4) และ Sodium acetate (CH_3COOH) โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท กรีนวันฟู้ด จำนวนทั้งสิ้น 10 กิโลกรัม

3. มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin ,DE 10) โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท กรีนวันฟู้ด จำนวนทั้งสิ้น 5 กิโลกรัม

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

ขั้นตอนการทำสารละลายอิมัลชัน

1. เครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์(Homogenizer)
2. เครื่องชั่ง
3. พีเอชมิเตอร์
4. เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Brookfield รุ่น RVTDV-I
5. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ(Water bath)
6. เครื่องผสมแป้ง
7. รีเฟคโตมิเตอร์
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
10. ทัพพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำแห้ง

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย JCM รุ่น Minilab SDE-10
2. ปั๊มลม
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. เครื่องวัดความเร็วลม
5. แผ่นทำความร้อน(Hot plate)
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก
7. หม้อ
8. ถาดสเตนเลส
9. ถุงฟอยล์

3.3 การเตรียมวัตถุดิบ

นำส่วนประกอบทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักตามสูตรส่วนผสมเพื่อเตรียมทำสารละลายครีมเทียม ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.5 ตอนที่ 1

3.4 การเตรียมอุปกรณ์

3.4.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

เตรียมอ่างควบคุมอุณหภูมิ เพื่อใช้ในการละลายไขมันผสมให้เข้ากันกับสารอิมัลซิไฟเออร์ ก่อนนำไปผสมกับน้ำ โดยตั้งค่าอุณหภูมิอ่างควบคุมที่ 60°c

รูปที่ 3.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

รูปที่ 3.2 เครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์(Homogenizer)

3.4.2 เครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์ (Homogenizer)

ประกอบด้วยถังทรงกระบอกเพื่อใส่สารละลายที่เข้าสู่กระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชั่น และฮีตเตอร์ที่เป็นส่วนทำความร้อนกับหัวโฮโมจิไนซ์ ทำหน้าที่ทำให้สารละลายสองชนิดแตกตัวเข้ากันได้เป็นอย่างดี

1. เปิดฮีตเตอร์โดยตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 60°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เทสารละลายครีมเทียมลงในถังทรงกระบอก

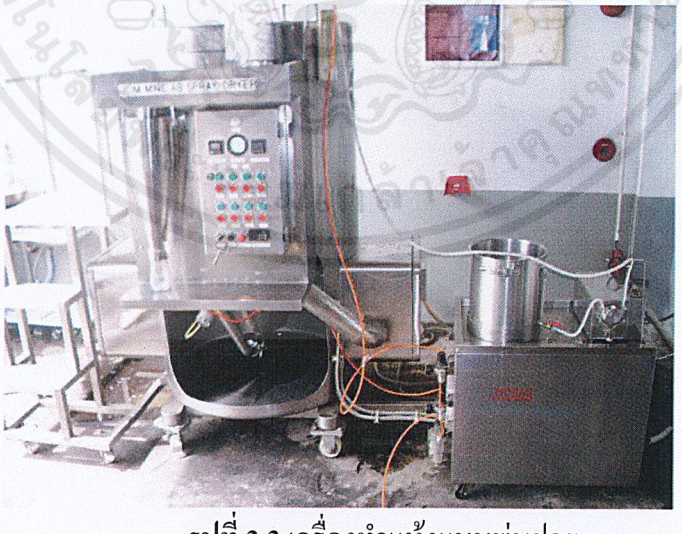
3. เปิดสวิตซ์และปรับค่าความเร็วที่อัตราสูงสุด

4. โฮโมจิไนซ์สารละลายครีมเทียมเป็นเวลา 30 นาที

3.4.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

Spray dryer ประกอบไปด้วยภาชนะทำแห้ง (Drying chamber) จะมีลักษณะเป็นกระบอกสูงและเป็นส่วนที่จะมีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลายและหัวฉีด (Atomizer, Nozzle) ทำหน้าที่ฉีดสารละลายให้เป็นละอองฝอย โดยเลือกใช้หัวฉีดแบบ Two fluid nozzle ที่อัตราการป้อน-3.2 ลิตรต่อชั่วโมง

1. เตรียมสารละลายอิมัลชันครีมเทียมซึ่งถูกอุ่นไว้ที่อุณหภูมิ 60°c
2. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำแห้งให้เรียบร้อยก่อนเปิดเมนสวิตซ์
3. ปรับอัตราการไหลและอุณหภูมิลมร้อน รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่
4. เริ่มทำการเปิดปั๊มป้อนอาหารเหลว เริ่มต้นให้ทดลองป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่อง โดยค่อยๆ เพิ่มอัตราการไหลของน้ำจนกระทั่งได้ค่าอัตราการไหลตามต้อง ใช้หัวฉีดที่ความดันลม 0.3 MPa
5. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทำแห้งมีค่าคงที่ จากนั้นจึงเริ่มป้อนสารละลายอิมัลชันครีมเทียมที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
6. ในขณะทำแห้ง สังเกตการณ์ทำงานของปั๊มลมที่ส่งไปกระแทกผนังของห้องอบแห้งเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมผลิตภัณฑ์ผงที่บริเวณผนังห้องอบแห้ง



รูปที่ 3.3 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.5 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้มีการแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมสารละลายอิมัลชันครีมเทียมและการทำแห้งครีมเทียม ซึ่งการเตรียมสารละลายอิมัลชันมีตัวแปรต้นที่ทำการศึกษา คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

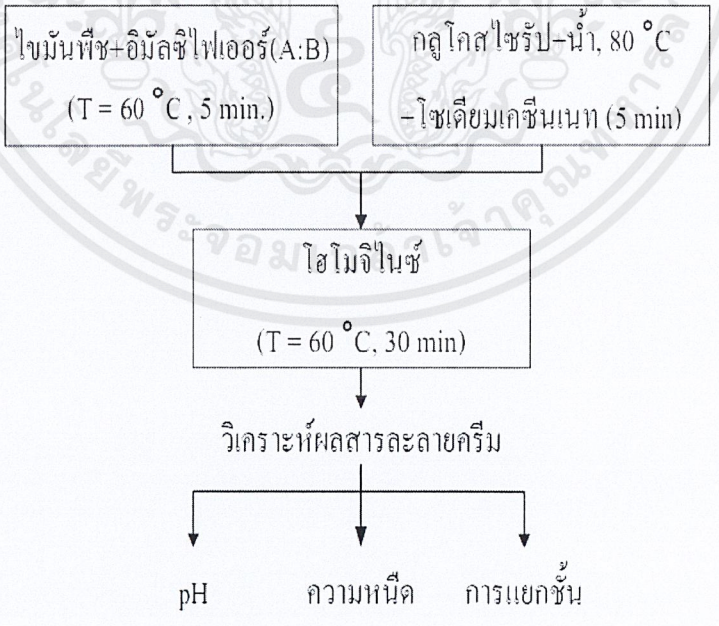
อัตราส่วนของสารคงตัว และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ส่วนการทำแห้งตัวแปรต้นที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้ง

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอัตราส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ในสารละลายอิมัลชัน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของสารละลายครีมเทียมที่มีความเหมาะสมกับการเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิต โดยมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด(Viscosity) และค่า pH

ตอนที่ 1

การเตรียมสารละลายอิมัลชันครีมเทียม

1. เตรียมไขมันปาล์มโดยอุ่นที่อุณหภูมิ 60°C แล้วผสมกับอิมัลซิไฟเออร์ คนให้เข้ากัน
2. นำกลูโคสไซรับป่นผสมกับโซเดียมแคลซิเนทโดยใช้เครื่องผสมแป้ง
3. จากนั้นเติมน้ำที่อุณหภูมิ 80°C
4. นำส่วนผสมข้อ 2 และ 3 มาผสมกันด้วยเครื่องผสมแป้ง เป็นเวลา 5 นาที
5. นำส่วนผสมข้อ 4 ผสมกับส่วนผสมข้อ 1 ที่เตรียมไว้ โดยผสมกันด้วยเครื่องปั่น เป็นเวลา 5 นาที
6. นำส่วนผสมที่ได้เข้าเครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์ เป็นเวลา 30 นาที
7. ชั่งน้ำหนักสารละลายครีมเทียม
8. นำส่วนผสมเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) มีอุณหภูมิลมขาเข้าตามแผนการทดลอง



รูปที่ 3.4 ภาพขั้นตอนการเตรียมสารละลายครีมเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

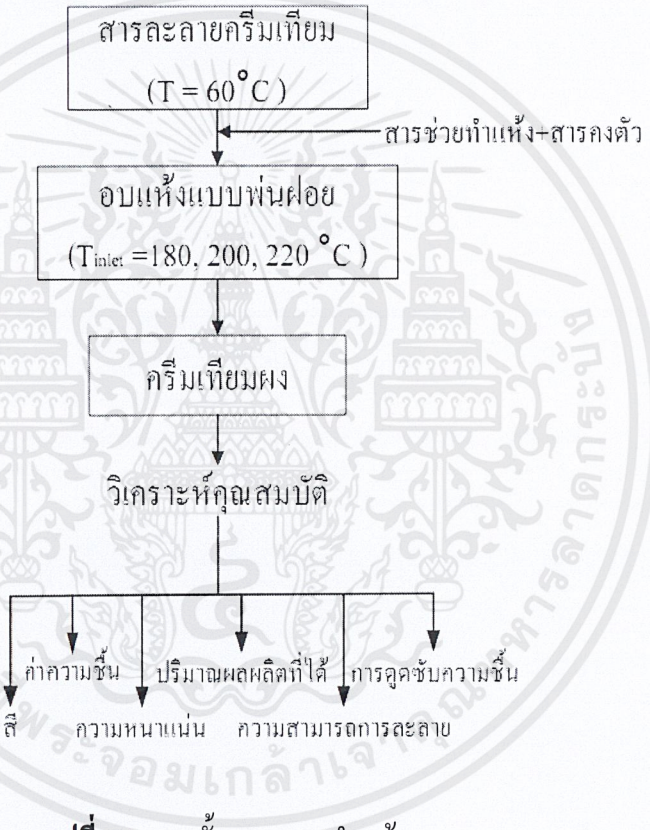
การทำแห้งครีมเทียมโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. ควบคุมอุณหภูมิสารละลายครีมเทียมที่ผสมสารช่วยทำแห้งและสารคงตัวแล้ว ที่อุณหภูมิ 60°C ให้คงที่ตลอดการป้อนวัตถุดิบ

2. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ปรับค่าอุณหภูมิตามตารางแผนการทดลอง

3. เมื่ออุณหภูมิของสารละลายครีมเทียมและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนสารละลายครีมเทียมโดยให้อัตราการไหลเป็นไปตามที่กำหนด

4. นำผงผลิตภัณฑ์แห้งทั้งหมดชั่งน้ำหนักและบรรจุใส่ถุงฟอยล์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.5 ภาพขั้นตอนการทำแห้ง

3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของครีมเทียมผง

3.6.1 ความชื้น (Moisture) (AOAC, 1995)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้อบไฟฟ้า(Hot oven)
2. ถ้วยอลูมิเนียม
3. เดซิเคเตอร์(Desiccator)หรือโถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องชั่งน้ำหนัก

วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วยอลูมิเนียม ในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมคงที่ คือมีน้ำหนักต่างกันน้อยกว่า 2%
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัม เกลี่ยวัตถุดิบให้มีระดับสม่ำเสมอ
5. นำไปอบใน Hot oven ที่อุณหภูมิ 105 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ± 0.5 ชั่วโมง
6. ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
7. อบซ้ำอีกประมาณครึ่งชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง(dry basis)

$$\%moisture = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 - m_0} \times 100$$

โดย m_0 = น้ำหนักถ้วยและฝา

m_1 = น้ำหนักถ้วย ฝา และตัวอย่างก่อนอบ

m_2 = น้ำหนักถ้วย ฝา และตัวอย่างหลังอบ

3.6.2 การหาค่า water activity (a_w)

เครื่องมือ

เครื่องวัดค่า a_w อัตโนมัติยี่ห้อ AQUA LAB model series 3 TE ดังรูปที่ 3.6

วิธีวิเคราะห์

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

รูปที่ 3.6 เครื่องวัดค่า a_w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ถ้วยหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน
2. ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะแล้วปาดออก
3. คำนวณค่าเพื่อหาความหนาแน่น จากสมการ

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

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (Density, g/ml)

m = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

v = ปริมาตรภาชนะ (ml)

3.6.4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่ผลิตได้ (%coffee whitener yield) (คมสิทธิ์ และ อรรถพ, 2546)

เปอร์เซ็นผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างน้ำกาแฟมาหาความชื้นและนำมาคำนวณ โดย

$$\%yield = \frac{W_{cwp}}{SS_{cwf}} \times 100$$

เมื่อ W_{cwp} = อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง

SS_{cwf} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน

3.6.5 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) (Jaya.s and Das.H, 2004)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง
2. ขวดโหล

วิธีวิเคราะห์

นำครีมเทียมผง 1 กรัม ใส่ในขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว (NaCl) ทิ้งไว้จนน้ำหนักคงที่หลังจากนั้นนำผงตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณตามสมการ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ b = น้ำหนักของผงที่เพิ่มขึ้น (g)

a = น้ำหนักของผงก่อนนำไปวัด (g)

w_i = ปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด(%wb)

3.6.6 ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility)

เครื่องมือ

1. ตะแกรงที่มีรูขนาด 200 ไมครอน
2. บีกเกอร์
3. แท่งแก้ว
4. เครื่องชั่ง
5. Hot oven
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่องวัดอุณหภูมิ

การวิเคราะห์

ใช้ผงตัวอย่าง 15 กรัม เทลงในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คนกลับไปมา 15 วินาที เทผงลงใน sieve ขนาด 200 ไมครอน แล้วนำมาคำนวณจากสมการ

$$Dispersibility = \frac{(w+a)s_p}{a \times s_j}$$

เมื่อ w = น้ำหนักของน้ำ (g)

a = ผงที่ใช้ทั้งหมด (g)

Sp = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)

Sj = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดที่ค้างบน sieve (%)

3.6.7 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (กมลกาญจน์, 2544)

เครื่องมือ

1. Magnetic stirrer
2. บีกเกอร์
3. เครื่องชั่ง

วิธีการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน 3 กรัม ละลายน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 150 มิลลิลิตร กวนของผสมทั้งหมดด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วคงที่ วัดเวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างสมบูรณ์

Solubility = เวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างจนสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.8 ความสามารถในการจม (Sinkability) (D.H.BULLOCK, 1975)

เครื่องมือ

1. กระบอกตวง
2. นาฬิกาจับเวลา
3. เทอร์โมมิเตอร์แบบเสียบ

การวิเคราะห์

เตรียมครีมเทียมผง 2 กรัม ผสมกับน้ำตาลบด 6 กรัม จากนั้นเติมน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในกระบอกตวง 350 ml จากนั้นใส่ครีมเทียมผงที่ผสมกับน้ำตาลไว้ แล้วจับเวลาจนกระทั่งครีมเทียมผงจมถึงก้นกระบอกตวง

Sinkability = เวลาที่ครีมเทียมผงจมถึงก้นกระบอกตวง

3.6.9 ความสามารถในการไหล (Flowability) (Food Properties, 2008)

เครื่องมือ

1. แผ่นสแตนเลส
2. ไม้ครึ่งวงกลม
3. เชือก

การวิเคราะห์

การหา Flowability โดยยึดหลักการไหลอย่างอิสระของครีมเทียมผงบนแผ่นสแตนเลส โดยนำครีมเทียมผงใส่บนตำแหน่งที่กำหนดไว้ จากนั้นอ่านค่าของมุมที่ครีมเทียมผงเริ่มมีการไหลลงจากพื้นเอียงแล้วบันทึกผล

Flowability = ค่าของมุมที่ครีมเทียมผงเริ่มมีการไหลลงจากพื้นเอียง

3.6.10 วัดค่าสี (สุคนธ์ชื่น และ วรรณวิบูลย์, 2546)

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดสี รุ่น MiniScan XE plus และรุ่น Color Flex

การวิเคราะห์

Hunter system เป็น Trichromatric system โดยมี Tristimulus values คือ ค่า L (lightness), a, b ค่า Hunter values และค่าทั้ง 3 ใน CIE system สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้โดยใช้สมการทางคณิตศาตร์ช่วยคำนวณ

L เป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 ค่า L เท่ากับ 0 เป็นสีที่มืดที่สุด ค่า L เท่ากับ 100 เป็นสีสว่างมากที่สุด

a เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว โดยที่ค่า a เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดง ค่า a เป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ค่า b เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง ค่า b เป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

3.6.11 ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory test) (Luciane C., 2001)

โดยให้ผู้ชำนาญของบริษัท กรีนวันฟู้ด เป็นผู้ทดสอบแล้วเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดมา 3 ตัวอย่าง เพื่อนำไปให้ผู้ที่ชื่นชอบในการดื่มกาแฟซึ่งเป็นนักศึกษาของคณะวิศวกรรมศาสตร์เป็นผู้ประเมิน ซึ่งจะใช้แบบทดสอบแบบ Hedonic scaling test

เครื่องมือ

1. ใบประเมิน 9 – Point hedonic
2. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

โดยกำหนดตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ครีมเทียมผงที่มีอัตราส่วนสารคงตัว 100% มอลโตเด็กซ์ตริน 5% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 2 ครีมเทียมผงที่มีอัตราส่วนสารคงตัว 50% มอลโตเด็กซ์ตริน 0% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 3 ครีมเทียมผงที่มีอัตราส่วนสารคงตัว 50% มอลโตเด็กซ์ตริน 10% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

1. ตั้งวัตถุประสงค์ในการทดสอบ
2. เตรียมตัวอย่างที่จะทดสอบ ตัวอย่างจะถูกนำเสนอพร้อมกัน และแต่ละตัวอย่างที่นำเสนอจะมีตัวอย่างควบคุม 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างทดสอบ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างดังกล่าวจะถูกนำมาใส่รหัสสุ่มซึ่งเป็นจำนวนเลข 3 ตัวก่อน
3. เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้ว จะนำผลที่ได้มาเปลี่ยนเป็นคะแนน โดย 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

3.7 การวางแผนการทดลอง

3.7.1 การทดลองเบื้องต้น

- **เพื่อหาอัตราส่วนของอิมัลซิไฟเออร์**

เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในส่วนประกอบ โดยจะทำการปรับอัตราส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ทั้ง 2 ชนิด ทั้งหมด 5 อัตราส่วน โดยศึกษาแต่ละครั้งใช้เวลาในการโฮโมจิไนซ์เซชั่น 30 นาที ปริมาณของสารละลายครีมเทียม 1000 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

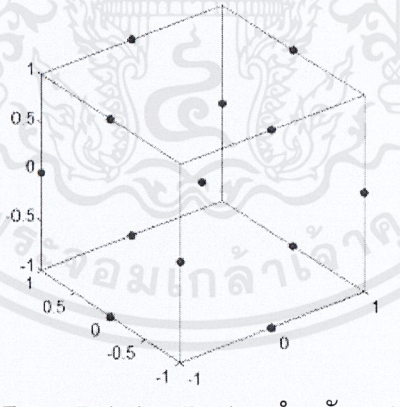
ตารางที่ 3.1 การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์

ครั้งที่	อิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ A	อิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ B
1	0	1
2	1	0
3	1	1
4	1	2
5	2	1

* หมายเหตุ อิมมัลซิไฟเออร์ชนิด A คือ Diacetyl Tartaric Acid Esters of Monoglycerides (DATEM) และชนิด B คือ Distilled Monoglycerides (DMG)

3.7.2 การออกแบบการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน(Box-Behnken Design) เป็นการออกแบบรูปทรงลูกบาศก์จัตุรัสอิสระ เป็นการทำงานรวมกันที่มีเป้าหมายเป็นจุดกึ่งกลางของขอบเขตพื้นที่ว่างกระบวนการ และที่ศูนย์กลางจำเป็นต้องมีปัจจัยอย่างน้อย 3 ปัจจัยซึ่งมีประโยชน์เมื่อผู้ทดลองหลีกเลี่ยงการทำงานร่วมกันของตัวแปรที่ห่างกัน คุณสมบัตินี้ทำให้ข้อเสียลดลง สมรรถภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่เป็น Sequential experiment หมายความว่า ถ้าทำ DOE แล้วพบ Curverture ต้องเริ่มต้นทำการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนใหม่



รูปที่ 3.7 Box-Behnken Design สำหรับ 3 factors

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรที่จะศึกษา

ค่าตัวแปรอิสระ(Variable)	สัญลักษณ์	ระดับ		
		-1	0	1
อัตราส่วนสารคงตัว(%)	X_1	0	50	100
ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน(%)	X_2	0	5	10
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(°C)	X_3	180	200	220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.2 เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ อัตราส่วนสารคงตัวคือ Dipotassium Hypophosphate (K_2HPO_4) และ Sodium acetate (CH_3COOH) ที่ 0%, 50% และ 100% ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน(DE10)ที่ 0%, 5% และ 10% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 180 ˚C, 200 ˚C และ 220 ˚C

3.7.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย(Spray Dryer) JCM รุ่น minilab SDE-10 ออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) ประกอบด้วย 3 ตัวแปร แบ่งระดับตัวแปรเป็น 3 ระดับ ที่สภาวะต่างกัน ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การทดลอง	ค่าระดับตัวแปร		
	อัตราส่วนสารคงตัว(%) X1	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน(%) X2	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(˚C) X3
1	0%	0%	200
2	0%	10%	200
3	100%	0%	200
4	100%	10%	200
5	0%	5%	180
6	0%	5%	220
7	100%	5%	180
8	100%	5%	220
9	50%	0%	180
10	50%	0%	220
11	50%	10%	180
12	50%	10%	220
13	50%	5%	200
14	50%	5%	200
15	50%	5%	200

* หมายเหตุ ปริมาณสารคงตัวที่ใช้เป็นส่วนผสมของ $NaC_2H_3O_2$ กับ K_2HPO_4 ค่าอัตราส่วนที่แสดงเป็นปริมาณของ K_2HPO_4 ที่ผสมในสารคงตัวทั้งหมดที่ใช้ ซึ่งมีปริมาณรวมเท่ากับ 1.2 กรัมในครีมเทียม 100 กรัม และมอลโตเด็กตรินซ์ DE 10

หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นทั้ง 15 การทดลอง จะนำผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่ได้ไปวิเคราะห์หาคุณลักษณะของครีมเทียมผงต่อไป

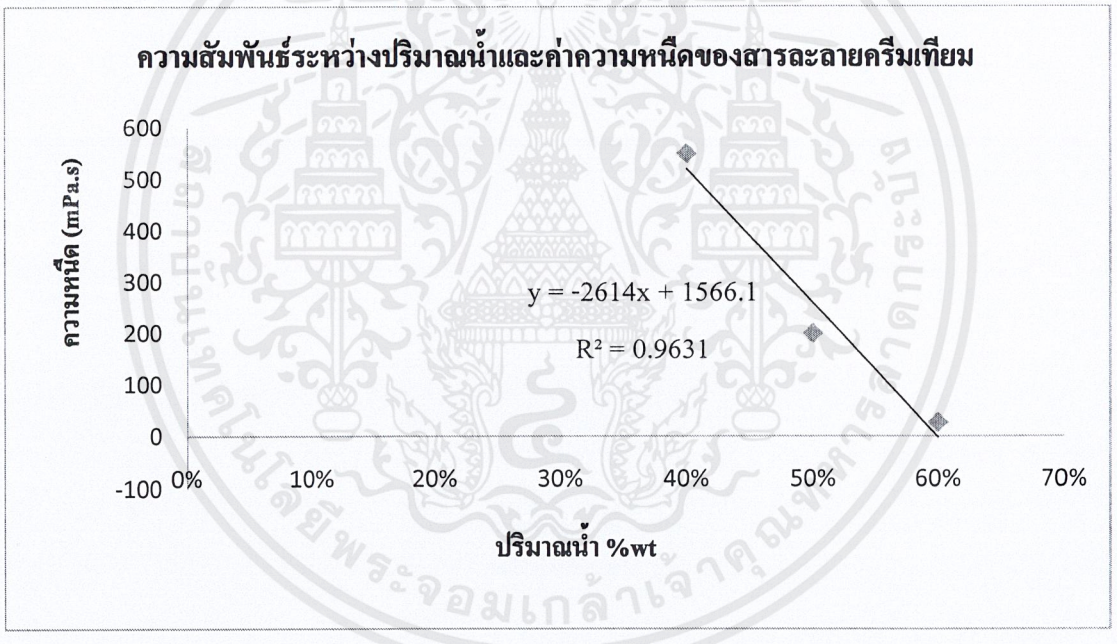
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมสารละลายครีมเทียม

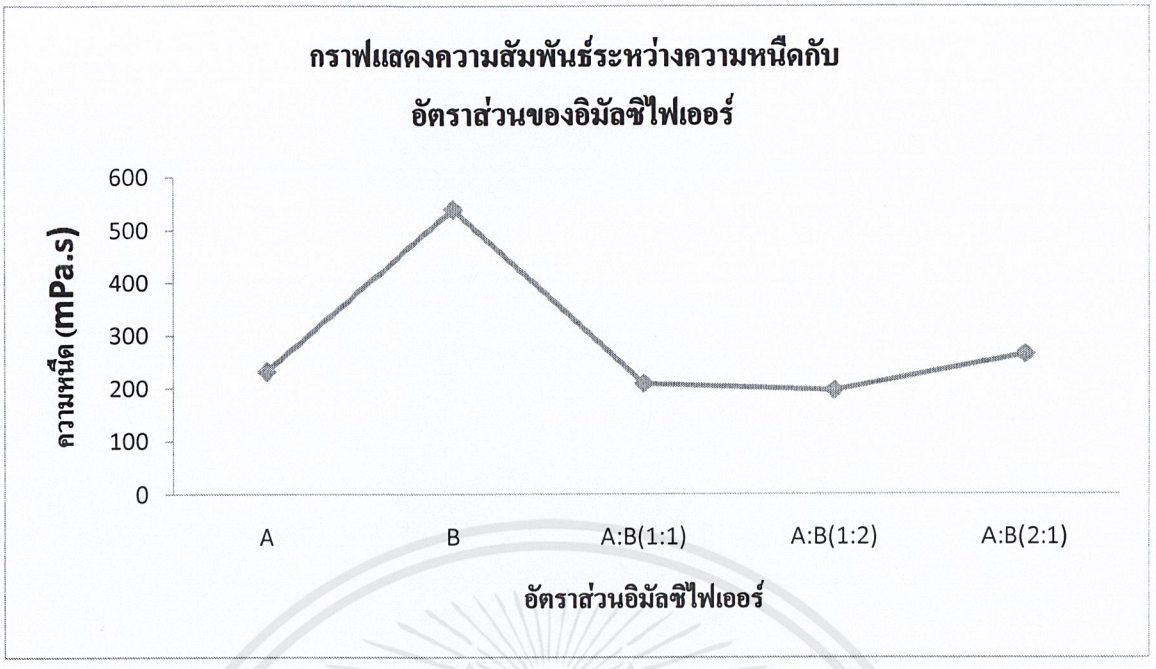
การผลิตครีมเทียมมีปัจจัยหลายประการ ทั้งปัจจัยที่อยู่ในกระบวนการทำสารละลาย และปัจจัยที่อยู่ในกระบวนการทำแห้ง การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นเพื่อหาวิธีการผลิตครีมเทียมที่ดีที่สุดด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสารละลายครีมที่เหมาะสมก่อนนำไปศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของครีมเทียมในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนืดที่ปริมาณน้ำแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นความหนืดของสารละลายครีมเทียมจะลดน้อยลง แต่ความหนืดที่น้อยลงจะส่งผลต่อการเป็นอิมัลชันของครีมเทียม พบว่าที่ปริมาณน้ำ 60 % นั้นสารละลายครีมขาดความเป็นอิมัลชัน เกิดการแยกชั้น และสิ้นเปลืองพลังงานในการทำแห้งเนื่องจากมีปริมาณน้ำมาก และที่ปริมาณน้ำ 40% สารละลายครีมมีความหนืดสูงเกินไป ทำให้กระบวนการทำแห้งไม่สามารถดำเนินไปได้ ดังนั้นปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสารละลายครีมเทียมจึงอยู่ที่ระดับ 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน

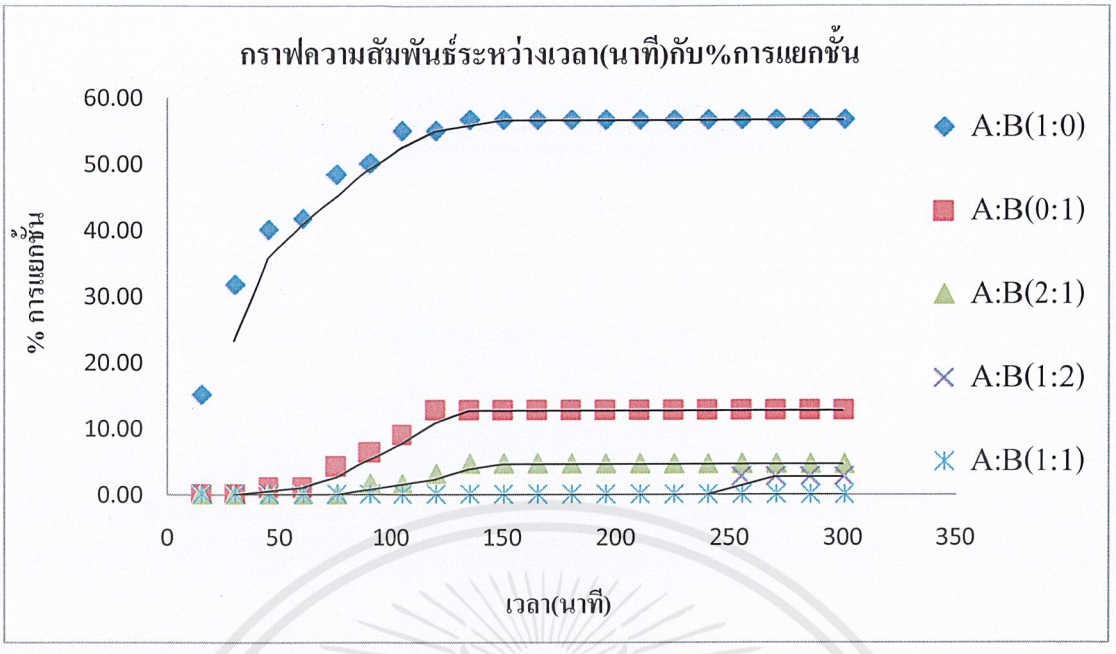
จากรูปที่ 4.2 ความหนืดจะอยู่ระหว่าง 100-200 mPa.s ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่ 50% ในรูปที่ 4.1แต่จากกราฟสังเกตได้ว่าสารละลายครีมเทียมที่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ชนิด B เพียงชนิดเดียวนั้นทำให้ค่าความหนืดสูงมากกว่าปกติทั้งนี้อาจเป็นเพราะอิมัลซิไฟเออร์ชนิด B ไม่เหมาะที่จะเติมลงไปเพียงชนิดเดียวต้องมีการปรับอัตราส่วนเพื่อให้อิมัลชันมีความคงตัว ดังนั้นสามารถเลือกอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ คือ A, A:B(1:1), A:B(1:2), A:B(2:1) ได้เนื่องจากค่าความหนืดที่ได้ยังอยู่ในช่วงปริมาณน้ำที่ 50%

Emulsifier (A:B)	pH
0:1	5.45
1:0	5.23
1:2	5.39
2:1	5.32
1:1	5.33

ตารางที่ 4.1 ค่า pH ของสารละลายครีมเทียมที่อัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ

จากการทดลองพบว่าค่า pH ของสารละลายครีมเทียม มีค่าอยู่ในช่วง 5.23-5.45 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Gardiner มีค่าpHอยู่ที่ 5.1 (Gardiner, 1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์การแยกชั้นที่ปริมาณอัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์แตกต่างกัน

ทำการจับเวลาแล้วคำนวณหาอัตราส่วนการแยกชั้น จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแยกชั้น} = \frac{H_i}{H_a}$$

; H_i = ระยะของการแยกชั้น (เซนติเมตร)

H_a = ระยะความสูงทั้งหมด (เซนติเมตร)

จากรูปที่ 4.3 พบว่าจากการทดลองการแยกชั้นพบว่าการเพิ่มปริมาณสาร B ช่วยทำให้การแยกชั้นลดลง และที่อัตราส่วนอิมัลซิไฟเออร์ A : B (1:1) เมื่อตั้งสารละลายครีมเทียมทิ้งไว้ 5 ชั่วโมงไม่เกิดการแยกชั้น จึงเลือกอัตราส่วนนี้เพื่อศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอย เริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายครีมเทียม ตามตารางการทดลองและควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นดังตาราง

ตารางที่ 4.2 สภาวะของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	สภาวะของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย		ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อน	-ทางเข้า	180-220 °C	-
		-ทางออก	-	90 °C
2	เครื่องดูดลม	ความเร็ว	-	950kg dry air/hr
3	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	การปรับค่าการป้อน	-	3.2 L/hr
4	หัวฉีดวัตถุดิบ	- ชนิด	-	Two Fluid nozzle
		- ทิศทางการทำแห้ง	-	Parallel
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 3 ชุด(1.5,3,3 kW)	Auto 1 ชุด
6	ปั๊มลม	ความดันที่ป้อนวัตถุดิบ	-	0.3 MPa

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม

จากการดำเนินการทดลองการทำแห้งครบทุกสภาวะแล้ว เมื่อนำผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์ครีมเทียมด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

No.	X_1	X_2	X_3	yd	sb	bd	mc	fa	hg	a_w
1	0	0	200	7.82	24.33	0.2385	2.4829	38.33	0.2628	0.297
2	0	10	200	18.44	26.00	0.2669	2.0313	30.67	0.1916	0.35
3	100	0	200	67.3	47.33	0.2412	1.2100	34.67	0.1729	0.291
4	100	10	200	71.93	50.00	0.2109	1.3170	39.33	0.1735	0.29
5	0	5	180	28.71	20.33	0.2678	4.5620	35.33	0.2464	0.378
6	0	5	220	15.21	45.33	0.2537	1.5171	36.67	0.2456	0.318
7	100	5	180	84.57	46.67	0.2361	2.2010	39.00	0.1766	0.333
8	100	5	220	78.35	47.67	0.2475	1.4033	40.33	0.1726	0.261
9	50	0	180	87.42	47.67	0.3025	1.5817	36.33	0.1774	0.244
10	50	0	220	80.58	76.33	0.2809	1.7717	37.67	0.1730	0.143
11	50	10	180	79.2	35.00	0.3148	1.8094	39.67	0.1696	0.122
12	50	10	220	90.7	65.00	0.3026	1.4877	42.67	0.1439	0.247
13	50	5	200	76.47	61.33	0.2887	1.2632	43.33	0.1614	0.172
14	50	5	200	75.32	63.00	0.3173	0.9713	43.67	0.1708	0.127
15	50	5	200	67.73	66.67	0.2697	0.9133	43.33	0.1628	0.134

หมายเหตุ : X1 = Stabilizer (%), X2 = Maltodextrin (%), X3 = Air temperature (°c), yd = Yield (%) ,sb = solubility(s), bd = Bulk density(g/cm^3), mc = moisture(%),fa = flowability(Angle), hg = hygroscopicity, a_w = water activity

4.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมที่สภาวะต่างๆ

เมื่อทำการนำผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ มาวิเคราะห์ผล นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆที่ได้ทำการศึกษา ประกอบไปด้วย %Yield, Solubility, Bulk density, Moisture content, Flowability, Hygroscopicity โดยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง ดังนี้

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ a_0 = จุดตัด (Intercept) หรือ Gran mean

a_i = เป็นผลเชิงเส้นตรง(Linear effect) ของ X_i

a_{ii} = เป็นผลเชิงเส้นโค้ง(Quadratic effect) ของ X_i

a_{ij} = เป็นผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์(Interaction effect)ของ X_i และ X_j

❖ **ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield)**

ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 7.82%-90.7% พบว่าเมื่ออัตราส่วนของสารคงตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงปริมาณมอลโตเด็กตรินไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณผงผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้กับอัตราส่วนของสารคงตัว(x_1) ปริมาณมอลโตเด็กตริน(x_2) และค่าคงที่อุณหภูมิลมร้อน(x_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

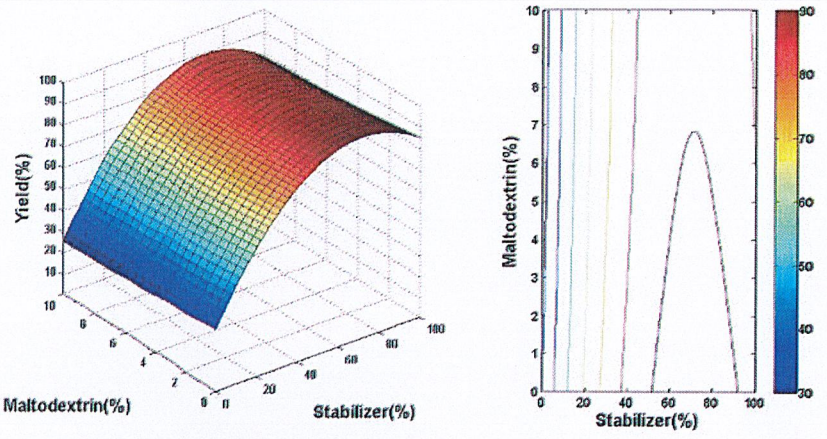
$$\%Yield = 1.491441667x_1-9.092083333x_2-10.77645833x_3-0.012730167x_1^2+0.037583333x_2^2$$
$$+0.025905208\,x_3^2-0.00233x_1x_2+0.00182x_3x_1+0.04585\,x_3x_2+1130.563333 \quad (4.1)$$

$R^2 = 0.9449$, S.E. = 5.9766, $p < 0.01$

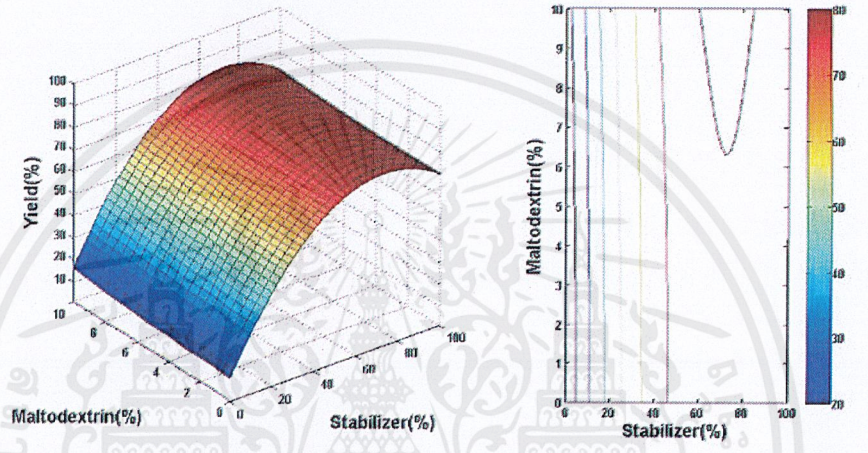
จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ดี

เมื่ออัตราส่วนของสารคงตัวอยู่ในระดับ70% ส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าสูงสุด90.7% ในทางกลับกันถ้าอัตราส่วนของสารคงตัวมีปริมาณสูงหรือต่ำกว่าระดับนี้ จะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าลดลงเรื่อยๆ โดยปริมาณมอลโตเด็กตรินไม่ส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ เนื่องจากเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในปริมาณที่น้อย จากรูปที่ 4.4 (a), (b) พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนที่สูงทำให้อุณหภูมิอาหารเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิ glass transition ส่งผลให้เกิดการเกาะติดตามผนังเครื่องอบแห้งมากขึ้น (Bhandari และคณะ, 1997) แต่ในรูปที่ 4.4 (c) พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้น

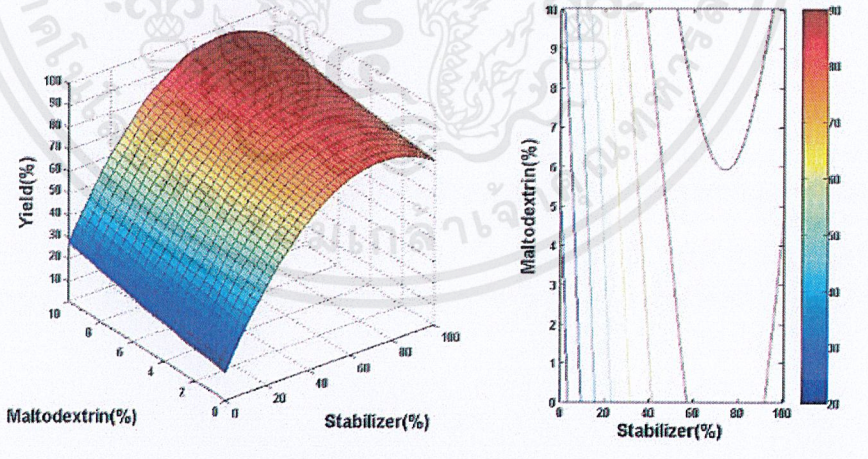
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hot Air Temperature 180 °C (a)



Hot Air Temperature 200 °C (b)



Hot Air Temperature 220 °C (c)

รูปที่ 4.4 (a) (b) และ(c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ของครีมเทียมที่อุณหภูมิลมร้อน 180, 200, 220 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความสามารถในการละลายที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 20.33 – 76.33 วินาที โดยอัตราส่วนของสารคงตัวเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายลดลง ในทางกลับกันการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กตรินส่งผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นเนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินมีสมบัติการละลายน้ำได้ดี ซึ่งดีกว่าของแข็งที่อยู่ในสารละลาย โดยมอลโดเด็กซ์ตรินมีส่วนช่วยในการละลาย (Schenck, 1992) โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการละลายกับอัตราส่วนของสารคงตัว(x_1) ปริมาณมอลโตเด็กตริน($x_{2)}$ และค่าคงที่อุณหภูมิลมร้อน(x_3) สามารถแสดงได้ดังนี้

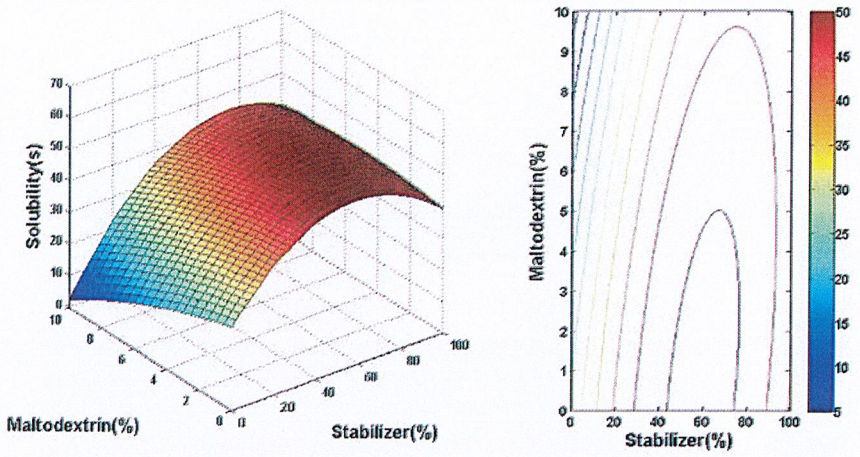
$$\text{Solubility} = 1.9475x_1 - 1.975x_2 + 6.02083333x_3 - 0.007383333x_1^2 - 0.098333333x_2^2 - 0.013020833x_3^2 + 0.024333333x_1x_2 - 0.006x_3x_1 + 0.003333333x_3x_2 - 635.6666667 \quad (4.2)$$

$R^2 = 0.8443$, S.E. = 6.2154, $p < 0.05$

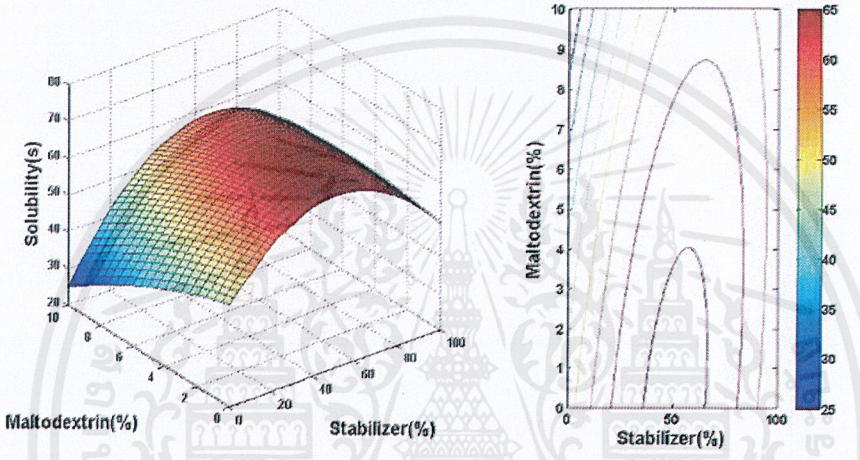
จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ดี

ปริมาณอัตราส่วนของสารคงตัวที่มีอัตราส่วนอยู่ในช่วง 40%, 50% และ 60% ของอุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ความสามารถในการละลายลดลง ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลของ Athanasia และคณะ (2004) อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูง ทำให้ผงผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นต่ำจนผงเริ่มแข็งและดูดซับน้ำได้ยาก แต่การเติมสารคงตัวเพียงชนิดเดียวทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณมอลโตเด็กตรินมีผลต่อความสามารถในการละลายเพียงเล็กน้อย

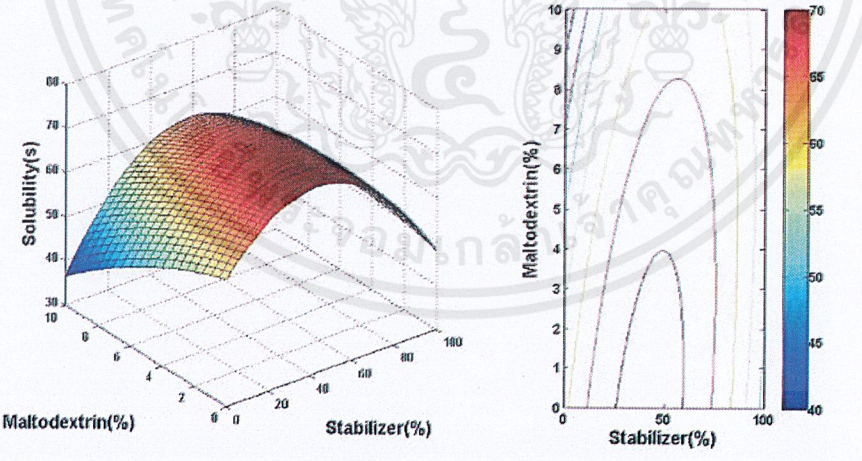
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hot Air Temperature 180 °C (a)



Hot Air Temperature 200 °C (b)



Hot Air Temperature 220 °C (c)

รูปที่ 4.5 (a) (b) และ(c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และความสามารถในการละลาย ของครีมเทียมที่อุณหภูมิลมร้อน 180, 200, 220 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Bulk density)

ค่าความหนาแน่นที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.211 – 0.317 g/ml เมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวและปริมาณมอลโตเด็กตรินทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาลักษณะทางกายภาพของผงอินทผลัม (Shyam, 2008) ซึ่งมีการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในอัตราส่วน 35% - 50% โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วนของสารคงตัว(x1) ปริมาณมอลโตเด็กตริน(x2) และค่าคงที่อุณหภูมิลมร้อน(x3) สามารถแสดงได้ดังนี้

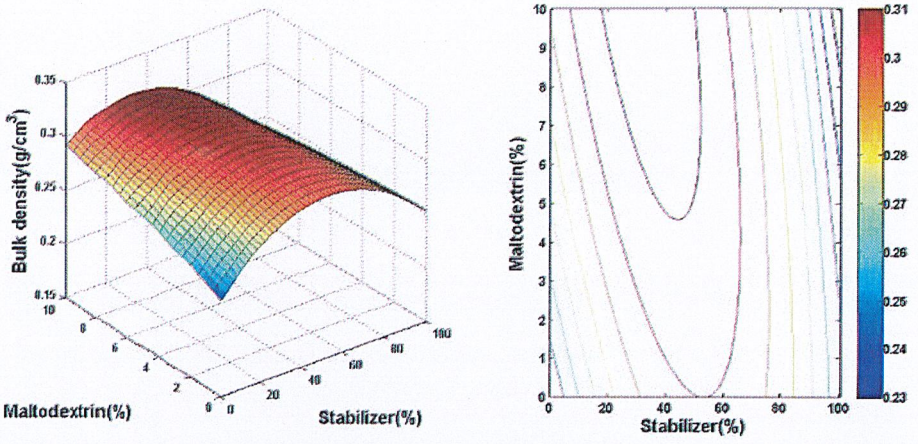
$$\text{Bulk density} = 0.001137997x_1+0.002988452x_2-0.01395175x_3-2.15621E\text{-}05x_1^2-0.000200403x_2^2 + 3.32202E\text{-}05x_3^2-8.43194E\text{-}05x_1x_2+6.37941E\text{-}06x_3x_1+2.33788E\text{-}05x_3x_2 +1.674410641 \quad (4.3)$$

$R^2 = 0.9006$, S.E. = 0.0180, $p < 0.1$

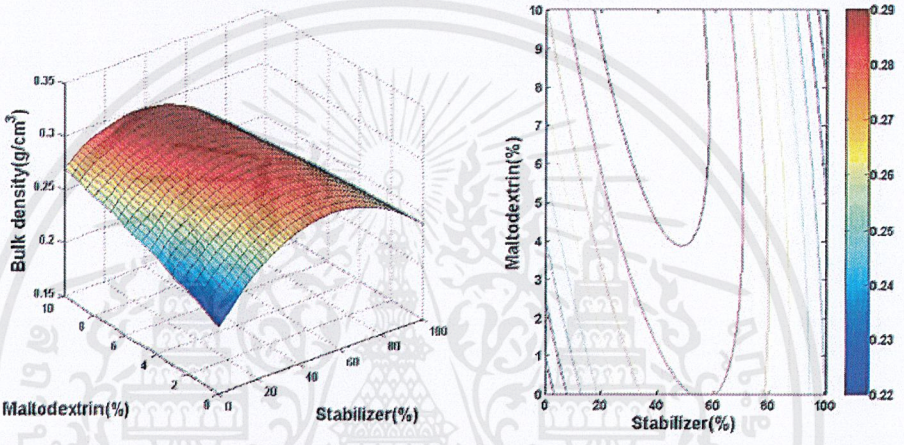
จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ดี

ปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวที่อยู่ในระดับ 40% และปริมาณมอลโตเด็กตรินในระดับสูงสุด (10% solid) ทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าสูงสุด ในทางกลับกันหากมีการเพิ่มอัตราส่วนสารคงตัวมากกว่าระดับ 40%ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง ซึ่งอาจมีผลจากขนาดของอนุภาคและความพรุนสูงขึ้น (Walton และ Mumfood, 1999b, Abadio และคณะ, 2004)

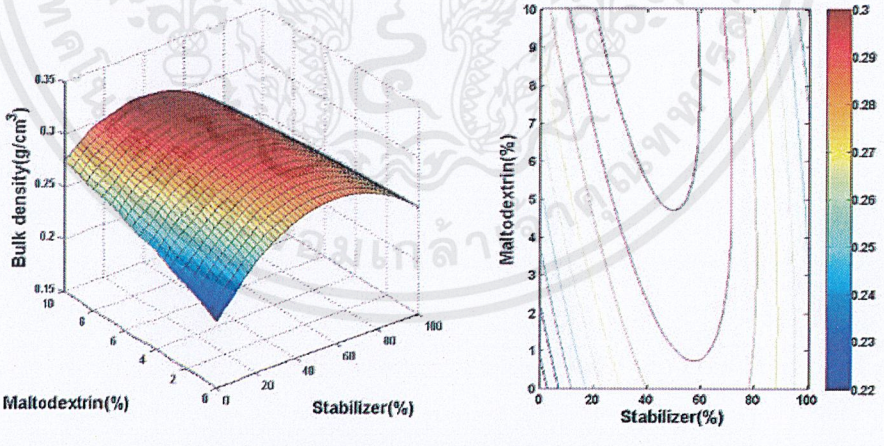
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hot Air Temperature 180 °C (a)



Hot Air Temperature 200 °C (b)



Hot Air Temperature 220 °C (c)

รูปที่ 4.6 (a) (b) และ(c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าความหนาแน่นรวม ของครีมเทียมที่อุณหภูมิลมร้อน 180, 200, 220 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง (%Moisture content)

ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.9133% - 4.5620% เมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวและปริมาณมอลโตเด็กตรินทำค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงมีค่าลดลง โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงกับอัตราส่วนของสารคงตัว(x1) ปริมาณมอลโตเด็กตริน(x2) และค่าคงที่อุณหภูมิลมร้อน(x3) สามารถแสดงได้ดังนี้

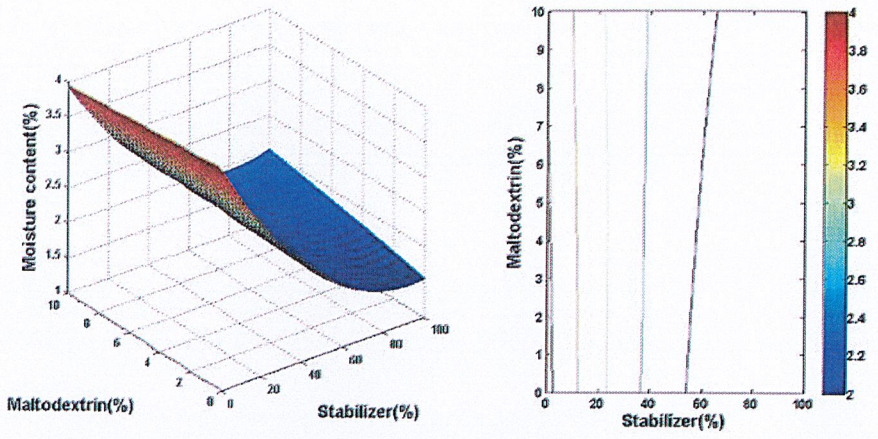
$$\%\text{Moisture content} = -0.156936039x_1+0.2149142x_2-0.671015087x_3+0.000298821x_1^2-0.000445272 x_2^2+0.001561209x_3^2+0.000658214x_1x_2+0.000561793x_3x_1-0.00127943x_3 x_2 +74.33718519 \quad (4.4)$$

$R^2 = 0.8253$, S.E. = 0.6762, $p < 0.1$

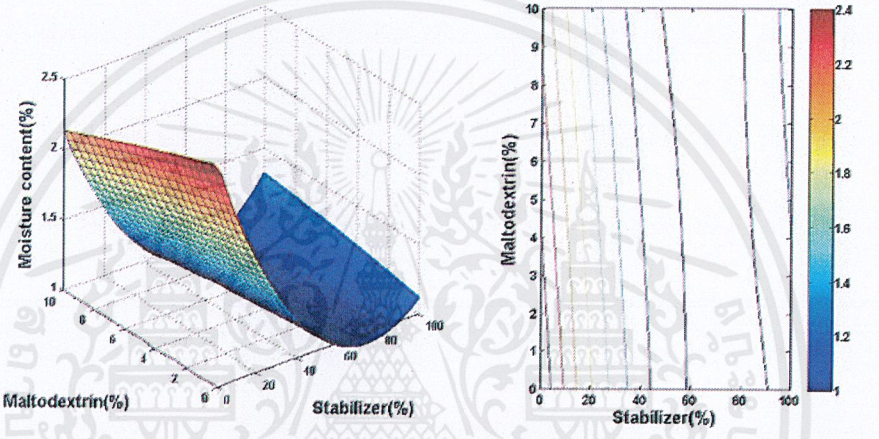
จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ดี

จากรูป 4.7(a) และ (b) พบว่าอัตราส่วนของสารคงตัวที่ระดับสูงสุดและปริมาณมอลโตเด็กตรินที่ระดับต่ำสุดส่งผลให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์น้อยสุด แต่จากรูปที่ 4.7(c) ซึ่งอยู่ในระดับอุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวที่อยู่ระหว่าง 40% - 45% ทำให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยสุด โดยที่ปริมาณมอลโตเด็กตรินที่ระดับสูงสุดทำให้ค่าความชื้นมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินช่วยลดการเกาะติดกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ผง ทำให้มีความชื้นต่ำและความชื้นของทุกผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยกว่าความชื้นที่กำหนดเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมร้อยละ 5 (ดารณี, 2538) ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้นนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกไปอย่ารวดเร็ว และมากกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำกว่า นอกจากนี้สภาวะดังกล่าวยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนอยู่ภายในมากขึ้นทำให้มีความหนาแน่นปรากฏลดลง (Master, 1991)

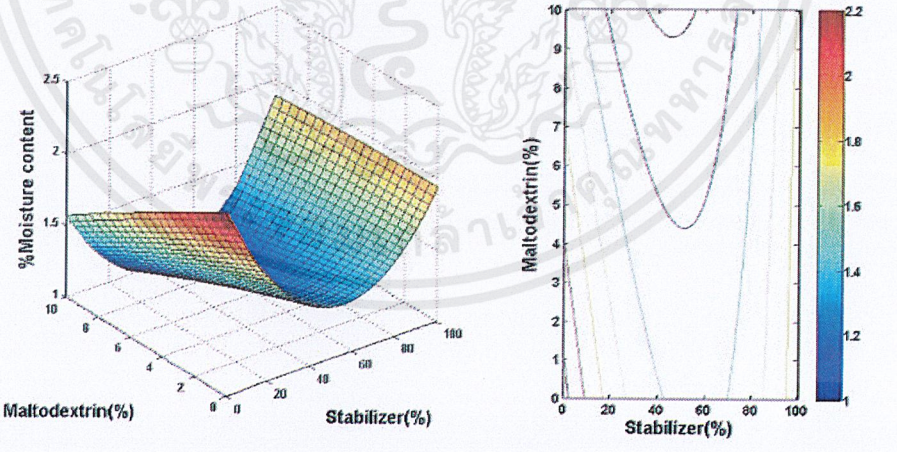
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hot Air Temperature 180 °C (a)



Hot Air Temperature 200 °C (b)



Hot Air Temperature 220 °C (c)

รูปที่ 4.7 (a) (b) และ(c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าความชื้น ของครีมเทียมที่อุณหภูมิลมร้อน 180, 200, 220 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการไหล (Flowability)

ค่าความสามารถในการไหลจากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 30.67° - 43.67° เมื่อปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวและปริมาณมอลโตเด็กตรินอยู่ที่ระดับกลางทำให้ค่าความสามารถในการไหลมีค่าต่ำสุด โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการไหลกับอัตราส่วนของสารคงตัว(x1) ปริมาณมอลโตเด็กตริน(x2) และค่าคงที่อุณหภูมิลมร้อน(x3) สามารถแสดงได้ดังนี้

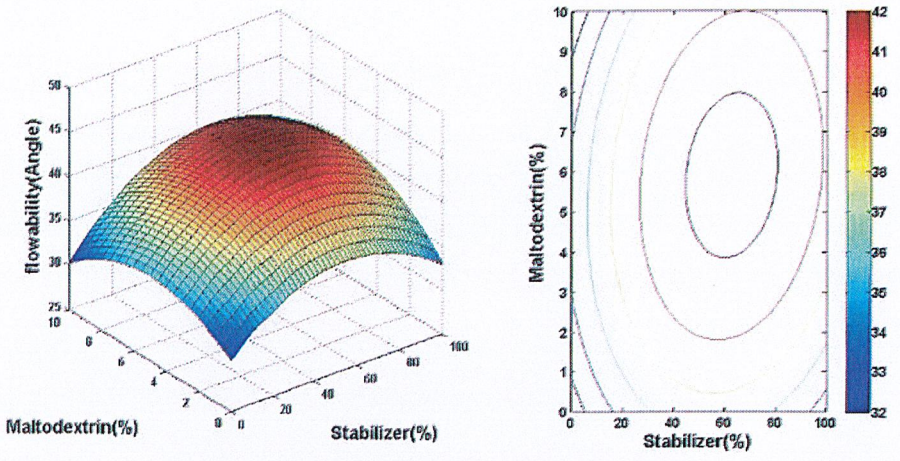
$$\text{Flowability} = 0.233472222x_1+0.826388889x_2+0.307638889x_3-0.002130556\,x_1^{2}-0.163055556x_2^{2}-0.000711806x_3^{2}+0.0055x_1\,x_2+0x_3x_1+0.004166667x_3x_2-1.555555556 \quad (4.5)$$

$R^2 = 0.9712$, S.E. = 1.1709, $p < 0.01$

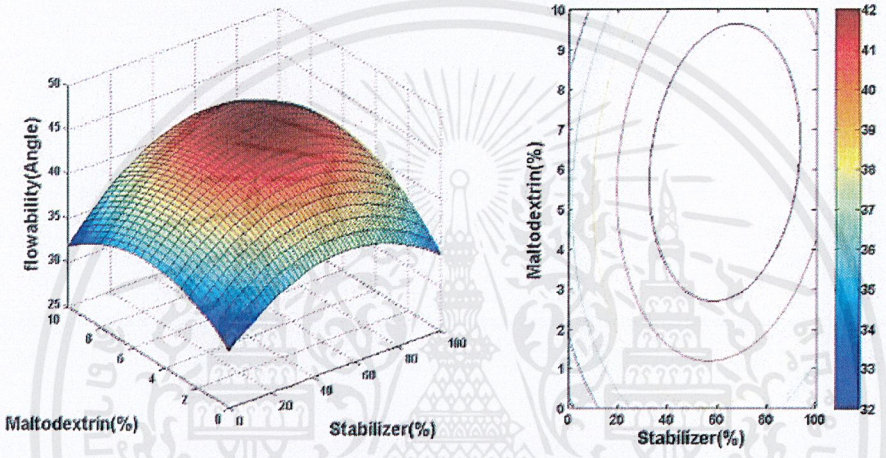
จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ดี

ปริมาณอัตราส่วนของสารคงตัวที่ระดับ 60% และปริมาณมอลโตเด็กตริน 6% พบว่ามุมที่ครีมเทียมผงเริ่มเกิดการไถลบนแผ่นสแตนเลสมีค่าสูงสุด ซึ่งหมายถึงค่าความสามารถในการไหลมีค่าต่ำสุด จากรูปเป็นกราฟรูประฆังคว่ำ ค่าที่อยู่บริเวณรอบของจุดกลางนี้ทำให้ค่าความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสามารถในการไหลลดลง

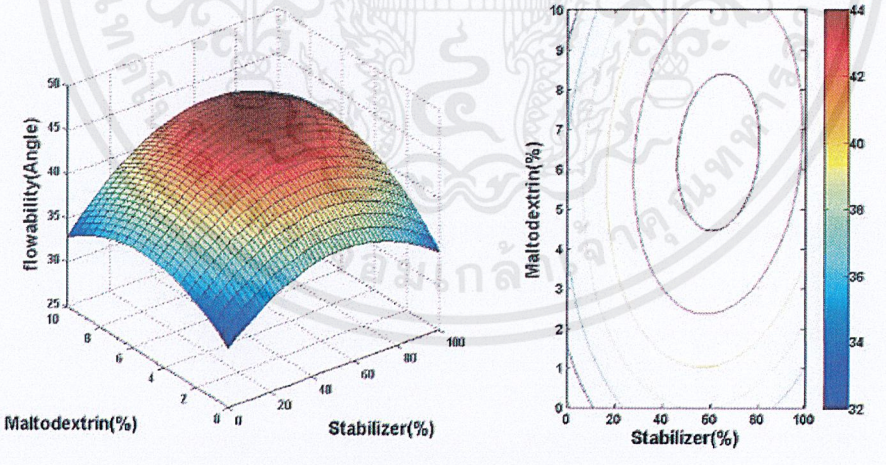
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hot Air Temperature 180 °C (a)



Hot Air Temperature 200 °C (b)



Hot Air Temperature 220 °C (c)

รูปที่ 4.8 (a) (b) และ(c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าความสามารถในการไหล ของครีมเทียมที่อุณหภูมิลมร้อน 180, 200, 220 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ผลการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

ค่าคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นจากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.1439 - 0.2628 gH_2o/g d.s. เมื่อปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวเพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นมีค่าลดลง ในทางกลับกันถ้ามีการลดปริมาณมอลโตเด็กตรินค่าความสามารถในการดูดความชื้นจะเพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำผลมาสร้างวามสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นกับอัตราส่วนของสารคงตัว(x1) ปริมาณมอลโตเด็กตริน(x2) และค่าคงที่อุณหภูมิลมร้อน(x3) สามารถแสดงได้ดังนี้

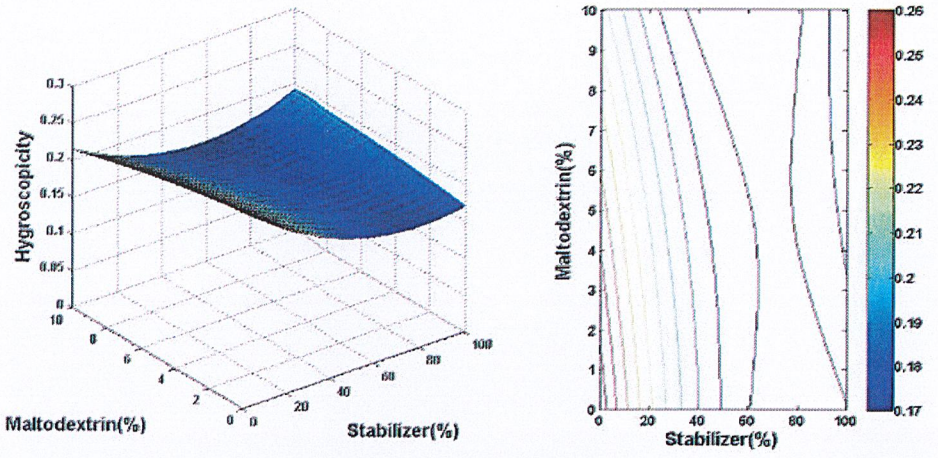
$$\text{Hygroscopicity} = -0.0024226x_1+0.006091x_2-0.005339x_3+1.59245e\text{-}05x_1^2-0.00017895x_2^2 +1.35656e\text{-}05x_3^2+7.243e\text{-}05x_1x_2-8.025e\text{-}07x_3x_1-5.3125e\text{-}05x_3x_2+0.788575 \quad (4.6)$$

$R^2 = 0.9621$, S.E. = 0.0103, $p < 0.05$

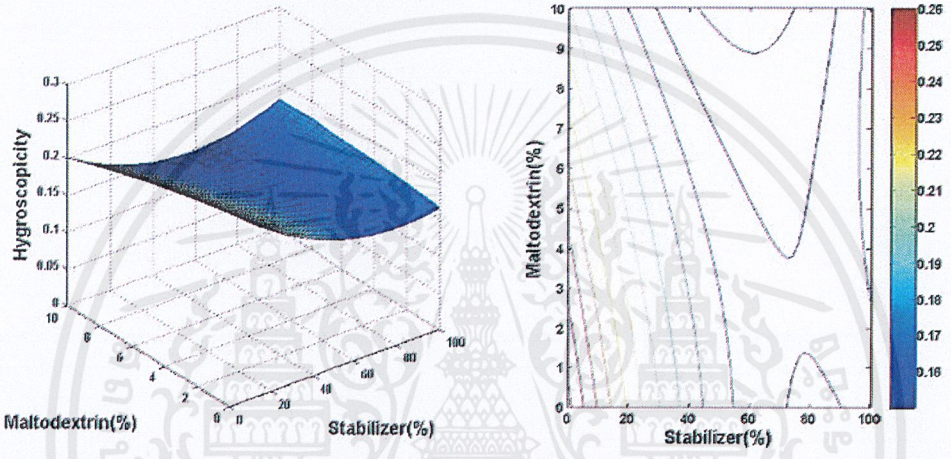
จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ดี

จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนสารคงตัวมีค่า 70 % และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 7โดยผลมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาลักษณะทางกายภาพของผงอินทผลัม ที่มีการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในอัตราส่วน 35% - 50% ซึ่งมอลโตเด็กซ์ตรินสามารถช่วยลดการดูดความชื้นได้ (Shyam, 2008) และสอดคล้องกับการผลิตน้ำอ้อยผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยที่เติมมอลโตเด็กซ์ตรินช่วยลดการดูดความชื้นกลับ (เบ็ญจรักษ์, 2542) ส่วนการเพิ่มของอุณหภูมิลมร้อนเข้าเข้านั้นส่งผลให้ผงผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นกลับมากขึ้น เนื่องจากความชื้นของผงลดต่ำลงทำให้ดูดความชื้นกลับได้ง่าย

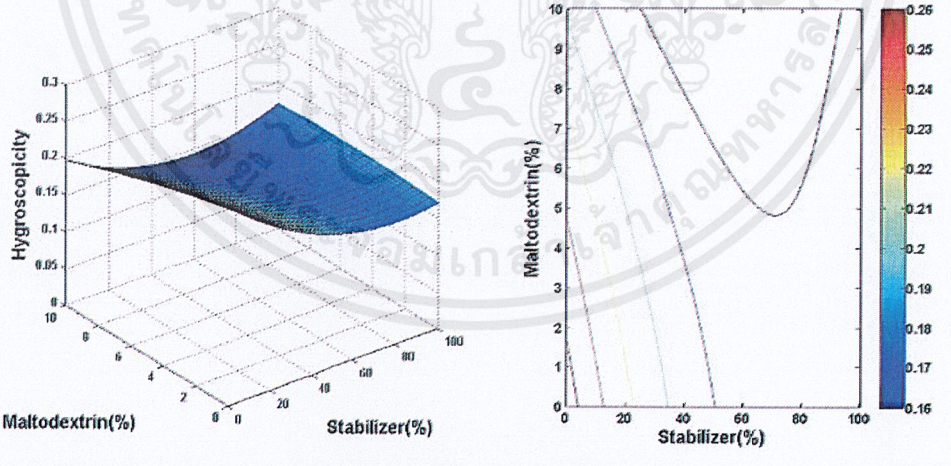
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hot Air Temperature 180 °C (a)



Hot Air Temperature 200 °C (b)



Hot Air Temperature 220 °C (c)

รูปที่ 4.9 (a) (b) และ(c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น ของครีมเทียมที่อุณหภูมิลมร้อน 180, 200, 220 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง (Water activity)

ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผงจากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.122 - 0.378 เมื่อปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวอยู่ในระดับกลางทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผงมีค่าต่ำสุด โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผงกับอัตราส่วนของสารคงตัว(x1) ปริมาณมอลโตเด็กตริน(x2) และค่าคงที่อุณหภูมิลมร้อน(x3) สามารถแสดงได้ดังนี้

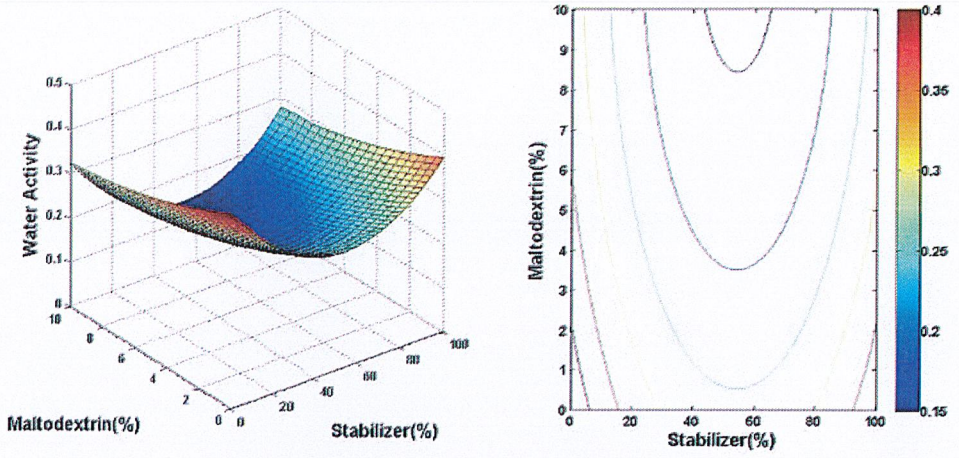
$$\text{Water activity} = -0.006135833x_1 - 0.121908333x_2 - 0.026808333x_3 + 6.18833e\text{-}05\, x_1^2 + 0.000848333x_2^2 + 5.86458e\text{-}05x_3^2 - 1e\text{-}06x_1x_2 - 3e\text{-}06x_3x_1 + 0.000565x_3x_2 + 3.365833333 \quad (4.7)$$

$R^2 = 0.9585$, S.E. = 0.0327, $p < 0.05$

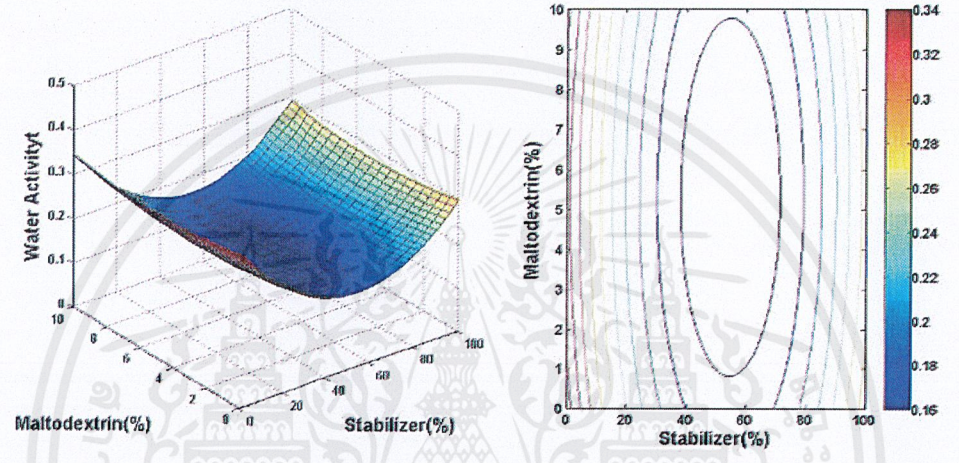
จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ดี

จากรูปที่ 4.10(a) พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กตรินลดลงทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น ในรูปที่ 4.10(b) การเพิ่มหรือลดปริมาณมอลโตเด็กตรินส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น และรูปที่ 4.10(c) พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กตรินเพิ่มขึ้นทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น

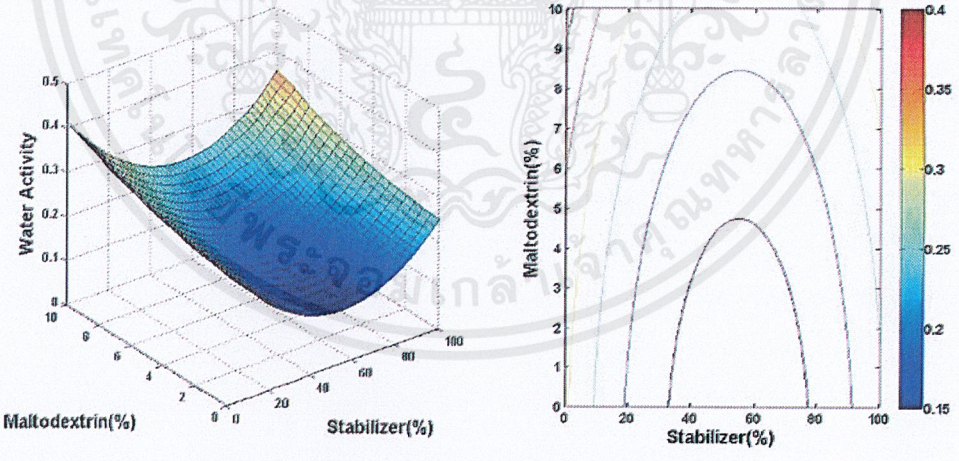
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hot Air Temperature 180 °C (a)



Hot Air Temperature 200 °C (b)



Hot Air Temperature 220 °C (c)

รูปที่ 4.10 (a) (b) และ(c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสารคงตัว ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง ของครีมเทียมที่อุณหภูมิลมร้อน 180, 200, 220 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจม (Sinkability)

เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการจมของครีมเทียมผงทุกระดับการทดลอง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปครีมเทียมไม่จมลงสู่ก้นกระบอกตวง โดยในส่วนที่มีการสัมผัสกับผิวน้ำเกิดการละลายและเกาะตัวกันอยู่บริเวณผิวน้ำด้านบน เนื่องจากครีมเทียมผงที่ได้จากการผลิตมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าความหนาแน่นน้ำมากจึงทำให้ผงไม่สามารถจมลงสู่ก้นกระบอกตวงได้

❖ ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจาย (Dispersilibility)

จากการทดสอบความสามารถในการกระจายของครีมเทียมผงทุกระดับการทดลอง พบว่าเมื่อนำครีมเทียมผงละลายในน้ำไม่มีผงตกค้างบน Sieve ขนาด 200 ไมครอน ซึ่งไม่สัมพันธ์กับค่าการกระจายของอาหารผงทั่วไป ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าการกระจายตัวของอาหารผงทั่วไปคือ 67.05-99.98 (Jaya และ Das, 2004b) เนื่องจากส่วนประกอบหลักของครีมเทียมประกอบไปด้วยไขมันกลูโคสไซรับ ซึ่งมีคุณสมบัติในการกระจายในน้ำได้ดีจึงไม่มีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำตกค้างบน sieve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **ผลการทดสอบการวัดค่าสี**

ตารางที่ 4.4 ค่าการวัดสี

No.	ค่าระดับปัจจัย	L*	a*	b*
1	0%-0%-200	83.81	7.41	-0.8
2	0%-10%-200	82.62	7.77	4.64
3	100%-0%-200	84.3	7.63	1.44
4	100%-10%-200	84.53	7.67	2.44
5	0%-5%-180	84.82	7.53	0.04
6	0%-5%-220	85.17	7.51	0.38
7	100%-5%-180	84.36	7.98	3.3
8	100%-5%-220	84.82	7.75	2.31
9	50%-0%-180	84.25	7.68	2.96
10	50%-0%-220	84.58	7.69	3.13
11	50%-10%-180	84.95	7.44	1.39
12	50%-10%-220	84.07	7.87	4.18
13	50%-5%-200	84.11	7.74	3.72
14	50%-5%-200	84.74	7.56	2.33
15	50%-5%-200	83.93	7.69	5.01

จากการวิเคราะห์ค่าสีผลิตภัณฑ์ครีมเทียม โดยการตรวจสอบจากตัวอย่างครีมเทียมทั้ง 15 สูตร พบว่าครีมเทียมมีค่าความสว่าง (L) อยู่ระหว่าง 82.62 ถึง 85.17 ค่าสีที่ออกไปทางสีแดง (a) มีค่า 7.41 ถึง 7.98 และค่าสีออกไปทางเหลือง (b) มีค่า -0.8 ถึง 5.01 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมอาจเกิดจากการ Oxidation ของไขมันที่อุณหภูมิสูงหรือเกิดปฏิกิริยา Maillard เนื่องจากครีมเทียมมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบมากกว่า 0.4-0.6% (Salvi และ Rajput, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (Sensory Test)**

ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของ *3* สภาวะที่ดีที่สุด โดยให้ผู้ชำนาญของบริษัท กรีนวันฟู้ด มาทำการทดสอบเพื่อเลือกสภาวะที่ดีที่สุด ตารางแสดงผลการทดสอบผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชำนาญ

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชำนาญ

คุณลักษณะ	**รหัส**				
	07	**08**	**09**	**10**	**12**
สี	4	7	3	7	6
กลิ่น	6	6	5	5	6
ความมัน	5	8	5	7	6
ความหวาน	7	6	5	4	4
รสชาติ	4	7	6	5	5
ความชอบโดยรวม	5	7	5	6	6
เฉลี่ย	**5.1**	**6.8**	**4.8**	**5.7**	**5.5**

จากตารางที่ 4.5 เป็นการทดสอบโดยผู้ชำนาญพบว่ารหัสที่ 08 10 และ 12 มีคะแนนสูงสุดใน 3 ลำดับ ซึ่งสภาวะนี้คือ อัตราส่วนสารคงตัวที่ 100% ปริมาณมอลโตเด็กตริน 5% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส อัตราส่วนสารคงตัวที่ 50% ปริมาณมอลโตเด็กตริน 0% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส อัตราส่วนสารคงตัวที่ 50% ปริมาณมอลโตเด็กตริน 10% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสกับบุคคล 10 คน ที่มีความชื่นชอบในการเติมครีมเทียมผสมกับกาแฟ โดยมี 3 สภาวะที่ได้จากการทดสอบจากผู้ชำนาญ ได้ผลตัวอย่างดังตาราง

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 10 คน

คุณลักษณะ	รหัส		
	834	**741**	**135**
สี	76	75	69
กลิ่น	56	60	45
ความมัน	80	72	68
ความหวาน	66	59	70
รสชาติ	58	55	51
ความชอบโดยรวม	65	60	61
เฉลี่ย	**66.83**	**63.50**	**60.67**

จากผลการทดสอบพบว่ารหัส 834 มีคะแนนสูงสุด รหัส 741 รองลงมา และรหัส 135 มีคะแนนต่ำสุด สำหรับรหัส 834 และ 741 คือ อัตราส่วนสารคงตัวที่ 100% ปริมาณมอลโตเด็กตริน 5% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนสารคงตัวที่ 50% ปริมาณมอลโตเด็กตริน 0% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า สภาวะที่มีอัตราส่วนสารคงตัวที่ 100% ปริมาณมอลโตเด็กตริน 5% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่มีรสชาติที่คนโดยรวมชอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทดลองการผลิตครีมเทียมโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สภาวะของเครื่องดังนี้ อุณหภูมิลมร้อนทางออก 90 °C ปริมาณลมร้อนที่ใช้ 950 Kg dry air /hr อัตราการป้อนวัตถุดิบ 3.2 L/hr และความดันลมที่ใช้ 0.3 MPa โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (0%, 5%, 10%) อัตราส่วนของสารคงตัว (0%, 50%, 100%) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส)

จากการทดลองพบว่า

- เมื่อปริมาณอัตราส่วนของสารคงตัวเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (%yield) เพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลาย (solubility) มีค่าลดลง ค่าความหนาแน่นรวม (bulk density)สูงขึ้น ค่าความชื้น (Moisture content) ลดลง คุณสมบัติในการดูดความชื้นกลับ (hygroscropicity) ลดลง เมื่อปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวอยู่ในระดับกลางทำให้ค่าความสามารถในการไหล (flow ability) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) มีค่าต่ำสุด
- เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น มีผลให้ความสามารถในการละลาย (solubility) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นรวม (bulk density)สูงขึ้น ค่าความชื้น (Moisture content)ลดลง คุณสมบัติในการดูดความชื้นกลับ (hygroscropicity) ลดลง เมื่อปริมาณอัตราส่วนสารคงตัวอยู่ในระดับกลางทำให้ค่าความสามารถในการไหล(flow ability) มีค่าองศาต่ำสุด
- เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น มีผลให้ค่าปริมาณน้ำอิสระ(water activity) และความสามารถในการละลาย (solubility) เพิ่มสูงขึ้น ค่าความสามารถในการไหล(flow ability) มีค่าองศาเพิ่มสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ค่าความชื้น (Moisture content)ลดลง
- ความสามารถในการกระจาย(Dispersilibility) ของครีมเทียมผงทุกระดับการทดลอง มีการกระจายตัวดีมาก ไม่มีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำตกค้างบน sieve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการจม(Sinkability)ของครีมเทียมผงทุกระดับการทดลอง ไม่จมลงสู่ก้นกระบอกตวง เนื่องจากครีมเทียมผงที่ได้จากการผลิตมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าความหนาแน่นน้ำมากจึงทำให้ผงไม่สามารถจมลงสู่ก้นกระบอกตวงได้
- จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนสารคงตัวที่ 100% ปริมาณมอลโตเด็กตริน 5% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส
- จากกราฟการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงมากกว่า 70% นั้น ต้องใช้อัตราส่วนของสารคงตัว มากกว่า 70%, ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินมากกว่า 5%, และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 องศาเซลเซียส

5.2 ปัญหาที่พบ

- ขั้นตอนการทำแห้งของสารละลายครีมเทียม ต้องมีการอุ่นและรักษาอุณหภูมิของสารละลายให้คงที่เสมอ เนื่องจากไขมันที่อยู่ในสารละลายจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และอาจทำให้หัวพ่นเกิดการอุดตัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาการทำ Agglomeration ของครีมเทียมผง เพื่อทำให้ความสามารถในการละลายดีขึ้น
- ควรศึกษาการเติมกลิ่น และสีสังเคราะห์เพื่อให้ครีมเทียมที่ผลิตได้มีกลิ่นและสีสวย น่ารับประทานมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กมลกาญจน์. 2544. **การผลิตมิลค์เชครสสมุนไพรและผลิตภัณฑ์**. ปัญหาพิเศษ. อุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คมสิทธิ์ และ อรรถพล 2546**. ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในนมและอุณหภูมิในกระบวนการที่มีต่อความชื้นและความสามารถในการละลายของนมผงสเปรย์ดราย.** วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จีระนันท์ และคณะ. 2552. **การหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟ. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**. สาขาวิชาวิศวกรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ

ชมพู่ ยิ้มโต. 2550. **การถนอมอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์

ดารณี ชุมนุมศิริวัฒน์, สมทรง เลขะกุล, บรรณาธิการ. 2536. **ชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล.**เล่ม 1. กรุงเทพฯ : บริษัท พรประเสริฐพริ้นติ้ง จำกัด

นราธิป เตียวนิช. 2539. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนถั่วเหลือง.**วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

นิรนาม. 2538. **เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารเบื้องต้น**. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

เนสท์เล่. 2545. **ใบแสดงรายการข้อมูลการเสนอขายหลักทรัพย์**. บริษัท เนสท์เล่ (ไทย) จำกัด กรุงเทพฯ. ส่วนที่ 2 หน้าที่ 3

เบ็ญจรักษ์ วายุภพา. 2542. **การผลิตน้ำอ้อยผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย**. วรสารอาหาร. ปีที่ 29. ฉบับที่ 1. หน้า 283-291

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข .2543. **ครีม**. ฉบับที่ 208

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. **เครื่องดื่ม BEVERAGES**. ภาควิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิด. 2535. **วิศวกรรมการแปรรูปอาหาร(การถนอมอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:โอเอสพริ้นติ้ง เฮ้าส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิไล รังสาดทอง. 2543. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร (Food processing technology)**. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร. คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. 2519**. หลักการประกอบอาหาร.** ทฤษฎีอาหารเล่ม 1. คณะคหกรรมศาสตร์. วิทยาลัยเทคนิคกรุงเทพ. กรุงเทพฯ. 247น.

ศิวาพร ศิวาเวชช. 2546. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร**.พิมพ์ครั้งที่ 4. คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

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

สุวรรณ กิจภากรณ์. 2525. **ผลิตภัณฑ์นมผง.** ผลิตภัณฑ์จากน้ำนม. ภาควิชาสัตวบาล. คณะสัตวแพทย์ศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 285น.

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์. 2551. **การศึกษากระบวนการผลิตครีมเทียมผงจากน้ำมันรำข้าว.** ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร

อรวินท์ โทรกี. 2518. **โภชนาการสำหรับพ่อบ้านแม่เรือน**. สมาคมคหเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ

อิทธิพล แก่งสันเทียะ อำนาจ บุญลอย ประสิทธิ์ คำพันยิ้ม และพงษ์เจต พรหมวงศ์. 2550. **การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย**. ครั้งที่ 21. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ

AOAC. (1995). **Official Method of Analysis**. 16th Edn. Arlington. Verginia. USA. The Association of Official Analytical Chemists. Inc.

Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V. and Oliveira, V. M., 2004. **Physical properties of powdered pineapple (Ananas comosus) juice-effect of maltodextrin concentration and atomization speed**. Journal of Food Engineering, 64. Pp. 285-287.

Athanasia, M. G. and Konstantios, G. A., 2004, **Spray drying of tomato pulp.** effect of feed concentration, drying technology, 22(10). Pp. 2309-2330.

Anonymous. 2008. **Kirk-Othmer food and feed technology vol.1.** Wiley**.** Pp.330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baker,D.B. and V. Hulett. 1988. **Low fat coffee whitener.** United states patent. 4784865. Pp25.

Bhandari, B. R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., and Rigby, S., 1997. **A semi-empirical approach to optimize the quantity of drying aids required to spray dry sugar-rich foods**. Drying Technology, 15(10). Pp. 2509-2525.

Birch, G.G. 1977. **The General Chemistry and Properties of Glucose Syrups**. In Developments in Food Carbohydrate – 1 (Birch, G.G. and Shallenberger, R.S., eds.) Pp. 1–17. Applied Science Publisher Ltd. London.

Eapen, K.E., Kahn, M.L. and Williamsville, N.Y. 1981. **Intermediate moisture meat products**. U.S. Patent No. 4,248,902.

Food Theory and Application 2nd ed., 1992, Pp.151

Gardiner. D.S. 1977. **Improvements in relating to nondairy creamer composition**. United States patent. 3935325. Pp.10

George F. Tonner. 1977. **Non-Daiy coffee whitener containing acetate salt**. United States patent. 4092438. Pp.4

Harry G. Brittain**.** 1996. **Analytical Profiles of Drug Substances and Excipients**. Academic press. California

Kerry Bio-Science. 2005. [Online]. Available: http://www.kerrygroup.com

Kneifel, W.,F. Ulberth and E. Schaffer. 1992. **Evaluation of Coffee whitener**. Bibriographic Cituation of Milchwissenchaft. 47(9). Pp.567-569

Kearsley M. W, Dziedzic. S. Z. 1995. **Handbook of starch hydrolysis products and their derivatives.** London : Blackie Academic & Professional

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.

Malundo, T.M.M., A.V.A. Resurrecion and P.E. Kochler. 1992**. Peanut extract and emulsifier concentrations affect sensory of liquid whitener.** Food Sci. 59(2). Pp.349-399

Master, K., 1991**. Spraying handbook**. 5th ED. The Bath press Avon. London. Pp 620-629

Nicol, W.M. 1971. **Sweeteners in foods**. Process Biochem.**6**. Pp.17 – 19.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Palmer, T.J. 1970. **Glucose syrups in food. Process Biochem**. **5.** Pp.23 – 24.

Ramchander, S. and M.S. Feather. 1975. **Studies on the mechanism of color formation in glucose syrup**. Cereal Chem.**52.** Pp.166 – 173.

Roos,Y.H. (2001).**Importance of glass transition and water activity to spray drying and stability of dairy powders**. Department of Food Science. Food Technology and Nutrition. University.Cork.Ireland

Salvi, M. J. and Rajput, J. C., 1995, "Pineapple", **In Handbook of Fruit Science and Technology:** Production Composition, Storage, and Processing, New York. Pp. 171-182.

Shyam S. Sablani. 2008. **A new method of producing date powder granules : Physicochemical characteristics of Powder**. Journal of Food Engineering. P.416-421

Schenck, F.W. and Hebeda, R.E. 1992. **Starch Hydrolysis Products**. VCH Publishers, Inc. New York.

Stanley P. Cauvain,Linda S. Young. 2006. **Baked products.** science, technology and practice. Blackwell publishing.UK

Tharwat F. Tadros. 2009. **Emulsion Science and Technology.** United kingdom. Wiley-vch. Pp 25

Walton, D. E. and Mumford, C. J., 1999. **The Morphology of spray dried particle-the effect of process variables upon the morphology of spray-dried particles**. Technology Institute Chemistry, England-London, 77(A). Pp.442-460.

Xiao Dong Chen,Arun S. Mujumdar. 2008. **Drying Technologies in Food Processing**. United kingdom. Blackwell. Pp.144-146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ตารางการเตรียมสารละลายครีมเทียม

% Water	40%	50%	60%
Viscosity m Pas	500	200	27.2

Emulsifier (A:B)	pH	Viscosity (mPa.s)	Phase separation (%/5hr)
0:1	5.45	540	12.77
1:0	5.23	232	56.67
2:1	5.32	266	4.69
1:2	5.39	197	2.74
1:1	5.33	210	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการแยกชั้นของสารละลายครีมเทียม

เวลา (นาที)	A:B (1:0) %การแยกชั้น	A:B (0:1) %การแยกชั้น	A:B(2:1) %การแยกชั้น	A:B(1:2) %การแยกชั้น	A:B(1:1) %การแยกชั้น
15	15.00	0.00	0.00	0.00	0
30	31.67	0.00	0.00	0.00	0
45	40.00	1.06	0.00	0.00	0
60	41.67	1.06	0.00	0.00	0
75	48.33	4.26	0.00	0.00	0
90	50.00	6.38	1.56	0.00	0
105	55.00	9.04	1.56	0.00	0
120	55.00	12.77	3.13	0.00	0
135	56.67	12.77	4.69	0.00	0
150	56.67	12.77	4.69	0.00	0
165	56.67	12.77	4.69	0.00	0
180	56.67	12.77	4.69	0.00	0
195	56.67	12.77	4.69	0.00	0
210	56.67	12.77	4.69	0.00	0
225	56.67	12.77	4.69	0.00	0
240	56.67	12.77	4.69	0.00	0
255	56.67	12.77	4.69	2.74	0
270	56.67	12.77	4.69	2.74	0
285	56.67	12.77	4.69	2.74	0
300	56.67	12.77	4.69	2.74	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ครีมเทียมผง

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content)

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ถ้วย+ฝา	นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	%ความชื้น	%ความชื้นเฉลี่ย
1	0%-0%-200	18.2587	2.7769	2.7065	2.5352	2.4829
		17.8121	2.3228	2.2678	2.3678	
		18.0045	2.6123	2.5458	2.5456	
2	0%-10%-200	17.7844	3.3323	3.2656	2.0016	2.0313
		17.7073	2.7559	2.7004	2.0139	
		17.8797	3.0985	3.0341	2.0784	
3	100%-0%-200	18.3030	2.5851	2.5524	1.2649	1.2100
		17.8265	2.6874	2.6523	1.3061	
		17.6692	2.5308	2.5040	1.0590	
4	100%-10%-200	17.6801	2.3052	2.2788	1.1452	1.3170
		17.8821	2.2699	2.2410	1.2732	
		17.7241	2.3230	2.2874	1.5325	
5	0%-5%-180	17.7961	2.8332	2.7056	4.5037	4.5620
		18.0046	2.8777	2.7454	4.5974	
		17.7561	2.8704	2.7388	4.5847	
6	0%-5%-220	18.0427	2.5018	2.4593	1.6988	1.5171
		18.1761	2.6795	2.6403	1.4630	
		17.8968	2.5548	2.5193	1.3895	
7	100%-5%-180	18.2790	2.5965	2.5407	2.1490	2.2010
		17.8027	2.6471	2.5902	2.1495	
		17.9038	2.6125	2.5523	2.3043	
8	100%-5%-220	17.9412	2.6154	2.5812	1.3076	1.4033
		17.8711	2.7946	2.7508	1.5673	
		17.3300	2.6670	2.6314	1.3348	
9	50%-0%-180	17.7520	2.5019	2.4671	1.3909	1.5817
		18.0081	2.6663	2.6233	1.6127	
		17.7686	2.8148	2.7709	1.5596	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ถ้วย+ฝา	นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	%ความชื้น	%ความชื้นเฉลี่ย
10	50%-0%-220	18.3622	2.9517	2.9003	1.7414	1.7717
		17.6522	2.9051	2.8536	1.7727	
		17.7524	2.9704	2.9169	1.8011	
11	50%-10%-180	17.8091	2.6946	2.6354	2.1970	1.8094
		17.9663	2.5448	2.5028	1.6504	
		18.0574	2.5303	2.4903	1.5808	
12	50%-10%-220	18.0988	2.5879	2.5487	1.5147	1.4877
		17.8720	2.5909	2.5527	1.4744	
		18.1172	2.5102	2.4732	1.4740	
13	50%-5%-200	17.9310	2.8626	2.8249	1.3170	1.2632
		17.6224	2.7461	2.7131	1.2017	
		17.8924	2.8089	2.7732	1.2710	
14	50%-5%-200	17.7118	2.6961	2.6670	1.0793	0.9713
		17.7504	2.6482	2.6224	0.9742	
		17.8145	2.5571	2.5351	0.8603	
15	50%-5%-200	17.8232	2.5561	2.5320	0.9428	0.9133
		17.8141	2.6178	2.5940	0.9092	
		17.8617	2.5001	2.4779	0.8880	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น(Bulk density)

No.	ค่าระดับปัจจัย	ปริมาตรภาชนะ	นน.ภาชนะ	นน.ภาชนะ+นน.ผงครีมเทียม	นน.ผงครีมเทียม	bd	bd เฉลี่ย
1	0%-0%-200	67.40438	12.79	29.044	16.25	0.2411	0.2384
		67.40438	12.79	29.001	16.21	0.2405	
		67.40438	12.79	28.544	15.75	0.2337	
2	0%-10%-200	67.40438	12.79	30.455	17.67	0.2620	0.2669
		67.40438	12.79	30.678	17.89	0.2653	
		67.40438	12.79	31.212	18.42	0.2733	
3	100%-0%-200	67.40438	12.79	29.200	16.41	0.2434	0.2411
		67.40438	12.79	28.860	16.07	0.2384	
		67.40438	12.79	29.080	16.29	0.2416	
4	100%-10%-200	67.40438	12.79	27.090	14.30	0.2121	0.2109
		67.40438	12.79	26.850	14.06	0.2085	
		67.40438	12.79	27.080	14.29	0.2120	
5	0%-5%-180	67.40438	12.79	30.370	17.58	0.2608	0.2677
		67.40438	12.79	31.000	18.21	0.2701	
		67.40438	12.79	31.150	18.36	0.2723	
6	0%-5%-220	67.40438	12.79	29.882	17.09	0.2535	0.2536
		67.40438	12.79	29.677	16.89	0.2505	
		67.40438	12.79	30.111	17.32	0.2569	
7	100%-5%-180	67.40438	12.79	28.590	15.80	0.2344	0.2360
		67.40438	12.79	28.540	15.75	0.2336	
		67.40438	12.79	28.980	16.19	0.2401	
8	100%-5%-220	67.40438	12.79	29.580	16.79	0.2490	0.2475
		67.40438	12.79	29.430	16.64	0.2468	
		67.40438	12.79	29.410	16.62	0.2465	
9	50%-0%-180	67.40438	12.79	33.500	20.71	0.3072	0.3024
		67.40438	12.79	33.070	20.28	0.3008	
		67.40438	12.79	32.960	20.17	0.2992	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค่าระดับปัจจัย	ปริมาตรภาชนะ	นน.ภาชนะ	นน.ภาชนะ+นน.ผงครีมเทียม	นน.ผงครีมเทียม	bd	bd เฉลี่ย
10	50%-0%-220	67.40438	12.79	31.068	18.28	0.2711	0.2808
		67.40438	12.79	32.111	19.32	0.2866	
		67.40438	12.79	31.990	19.20	0.2848	
11	50%-10%-180	67.40438	12.79	34.020	21.23	0.3149	0.3147
		67.40438	12.79	34.570	21.78	0.3231	
		67.40438	12.79	33.430	20.64	0.3062	
12	50%-10%-220	67.40438	12.79	33.090	20.30	0.3011	0.3025
		67.40438	12.79	33.140	20.35	0.3019	
		67.40438	12.79	33.320	20.53	0.3045	
13	50%-5%-200	67.40438	12.79	32.650	19.86	0.2946	0.2887
		67.40438	12.79	31.750	18.96	0.2812	
		67.40438	12.79	32.350	19.56	0.2901	
14	50%-5%-200	67.40438	12.79	34.990	22.20	0.3293	0.3172
		67.40438	12.79	33.850	21.06	0.3124	
		67.40438	12.79	33.690	20.90	0.3100	
15	50%-5%-200	67.40438	12.79	30.820	18.03	0.2674	0.2696
		67.40438	12.79	30.810	18.02	0.2673	
		67.40438	12.79	31.270	18.48	0.2741	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวัดค่า Aw ครีมเทียมผง

No.	ค่าระดับปัจจัย	Temp	Aw
1	0%-0%-200	25	0.297
2	0%-10%-200	25	0.350
3	100%-0%-200	25	0.291
4	100%-10%-200	25	0.290
5	0%-5%-180	25	0.378
6	0%-5%-220	25	0.318
7	100%-5%-180	24.9	0.333
8	100%-5%-220	24.9	0.261
9	50%-0%-180	24.9	0.244
10	50%-0%-220	25	0.143
11	50%-10%-180	24.9	0.122
12	50%-10%-220	24.9	0.247
13	50%-5%-200	24.8	0.172
14	50%-5%-200	24.7	0.127
15	50%-5%-200	24.9	0.134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการวิเคราะห์ %yield ของครีมเทียมผง

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ครีมเทียมเหลว(g)	ค่าความชื้นของครีมเทียมเหลว	นน.ของครีมเทียมผงที่ได้(g)	%yield
1	0%-0%-200	1621.0	2.4829	43.72	7.82
2	0%-10%-200	1000.0	2.0313	70.09	18.44
3	100%-0%-200	1710.0	1.2100	494.86	67.3
4	100%-10%-200	1524.02	1.3170	482.31	71.93
5	0%-5%-180	1100.0	4.5620	120.01	28.71
6	0%-5%-220	1615.0	1.5171	85.97	15.21
7	100%-5%-180	1600.0	2.2010	581.87	84.57
8	100%-5%-220	1745.05	1.4033	546.94	78.35
9	50%-0%-180	1690.2	1.5817	516.50	87.42
10	50%-0%-220	1697.01	1.7717	505.99	80.58
11	50%-10%-180	1798.02	1.8094	534.04	79.2
12	50%-10%-220	1673.19	1.4877	531.17	90.7
13	50%-5%-200	1676.26	1.2632	493.51	76.47
14	50%-5%-200	1664.0	0.9713	470.01	75.32
15	50%-5%-200	1679.0	0.9133	426.43	67.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการวิเคราะห์ค่าระดับสี

No.	ค่าระดับปัจจัย	L*	a*	b*
1	0%-0%-200	83.81	7.41	-0.8
2	0%-10%-200	82.62	7.77	4.64
3	100%-0%-200	84.3	7.63	1.44
4	100%-10%-200	84.53	7.67	2.44
5	0%-5%-180	84.82	7.53	0.04
6	0%-5%-220	85.17	7.51	0.38
7	100%-5%-180	84.36	7.98	3.3
8	100%-5%-220	84.82	7.75	2.31
9	50%-0%-180	84.25	7.68	2.96
10	50%-0%-220	84.58	7.69	3.13
11	50%-10%-180	84.95	7.44	1.39
12	50%-10%-220	84.07	7.87	4.18
13	50%-5%-200	84.11	7.74	3.72
14	50%-5%-200	84.74	7.56	2.33
15	50%-5%-200	83.93	7.69	5.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย(Solubility)

No.	ค่าระดับปัจจัย	เวลา(วินาที)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	0%-0%-200	26	25	22	24.33
2	0%-10%-200	24	26	28	26.00
3	100%-0%-200	45	48	49	47.33
4	100%-10%-200	49	53	48	50.00
5	0%-5%-180	20	23	18	20.33
6	0%-5%-220	44	47	45	45.33
7	100%-5%-180	43	49	48	46.67
8	100%-5%-180	45	50	48	47.67
9	50%-0%-180	50	48	45	47.67
10	50%-0%-220	80	78	71	76.33
11	50%-10%-180	47	30	28	35.00
12	50%-10%-220	76	58	61	65.00
13	50%-5%-200	67	53	64	61.33
14	50%-5%-200	71	62	56	63.00
15	50%-5%-200	89	56	55	66.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการไหล(Flowability)

No.	ค่าระดับปัจจัย	มุม(องศา)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	0%-0%-200	37	41	37	38.33
2	0%-10%-200	29	32	31	30.67
3	100%-0%-200	32	34	38	34.67
4	100%-10%-200	39	39	40	39.33
5	0%-5%-180	34	36	36	35.33
6	0%-5%-220	35	37	38	36.67
7	100%-5%-180	38	39	40	39.00
8	100%-5%-180	39	41	41	40.33
9	50%-0%-180	35	37	37	36.33
10	50%-0%-220	39	37	37	37.67
11	50%-10%-180	39	41	39	39.67
12	50%-10%-220	42	42	44	42.67
13	50%-5%-200	42	44	44	43.33
14	50%-5%-200	45	44	42	43.67
15	50%-5%-200	43	44	43	43.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับความชื้น(Hygroscopicity)

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ถ้วยฟอยด์	นน.ก่อนแช่	นน.หลังแช่	%ความชื้น	hg
1	0%-0%-200	0.2067	1.3146	1.7389	2.4829	0.26278
2	0%-10%-200	0.172	1.3841	1.6774	2.0313	0.19162
3	100%-0%-200	0.2008	1.4142	1.6891	1.2100	0.17288
4	100%-10%-200	0.2063	1.3405	1.6006	1.3170	0.17353
5	0%-5%-180	0.2108	1.2768	1.6169	4.5620	0.24636
6	0%-5%-220	0.2096	1.3522	1.7651	1.5171	0.24555
7	100%-5%-180	0.2081	1.1465	1.3617	2.2010	0.17657
8	100%-5%-180	0.2069	1.2455	1.4841	1.4033	0.17255
9	50%-0%-180	0.2086	1.3676	1.6363	1.5817	0.17743
10	50%-0%-220	0.207	1.2756	1.5151	1.7717	0.17299
11	50%-10%-180	0.2072	1.3337	1.577	1.8094	0.16958
12	50%-10%-220	0.2061	1.3929	1.6028	1.4877	0.14389
13	50%-5%-200	0.2091	1.1709	1.3886	1.2632	0.16743
14	50%-5%-200	0.2129	1.2661	1.5121	0.9713	0.17082
15	50%-5%-200	0.2104	1.229	1.4546	0.9133	0.16281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory test)

แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง

ชื่อ ผู้ทดสอบ.....เพศ.....อายุ.....วันที่.....

คำแนะนำ กรุณาชิมผลิตภัณฑ์ต่อไปนี้จาก ซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบต่างๆ ดังนี้ (ควรกลั้วน้ำเปล่าก่อนทดสอบตัวอย่างต่อไป)

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส			
สี				
กลิ่น				
ความมัน				
ความหวาน				
รสชาติ				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส(Sensory Test: ความชอบโดยรวม)

ตัวอย่าง	834	741	135
ผู้ทดสอบ	คะแนน		
1	8	7	5
2	7	5	6
3	6	8	7
4	7	4	7
5	6	5	8
6	4	6	6
7	5	7	5
8	8	5	7
9	7	6	6
10	7	7	4
รวม	65	60	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. ANOVA Table

%Yield

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.991481
R Square	0.983034
Adjusted R Square	0.944859
Standard Error	5.976582
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	8278.359	919.8177	25.75111	0.003423
Residual	4	142.8781	35.71954		
Total	13	8421.237			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	1130.563	343.2678	3.293531	0.030116	177.4991	2083.628	177.4991	2083.628
X Variable 1	1.491442	0.632737	2.357126	0.077907	-0.26532	3.248202	-0.26532	3.248202
X Variable 2	-9.09208	6.327373	-1.43694	0.224095	-26.6597	8.47552	-26.6597	8.47552
X Variable 3	-10.7765	3.458659	-3.11579	0.035671	-20.3792	-1.17368	-20.3792	-1.17368
X Variable 4	-0.01273	0.00138	-9.2232	0.000768	-0.01656	-0.0089	-0.01656	-0.0089
X Variable 5	0.037583	0.138023	0.272297	0.798872	-0.34563	0.420797	-0.34563	0.420797
X Variable 6	0.025905	0.008626	3.002996	0.039824	0.001954	0.049856	0.001954	0.049856
X Variable 7	-0.00233	0.016904	-0.13783	0.897031	-0.04926	0.044604	-0.04926	0.044604
X Variable 8	0.00182	0.002988	0.609044	0.57539	-0.00648	0.010117	-0.00648	0.010117
X Variable 9	0.04585	0.029883	1.534322	0.199737	-0.03712	0.128818	-0.03712	0.128818

Solubility

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.975751693
R Square	0.952091366
Adjusted R Square	0.84429694
Standard Error	6.215460115
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	3070.94	341.2156	8.832473058	0.025368307
Residual	4	154.5278	38.63194		
Total	13	3225.468			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-635.6666667	356.9879	-1.78064	0.149572793	-1626.823917	355.4906	-1626.82	355.4906
X Variable 1	1.9475	0.658027	2.959604	0.041570759	0.120523782	3.774476	0.120524	3.774476
X Variable 2	-1.975	6.580271	-0.30014	0.779022397	-20.24476218	16.29476	-20.2448	16.29476
X Variable 3	6.020833333	3.596898	1.673896	0.169464429	-3.965757286	16.00742	-3.96576	16.00742
X Variable 4	-0.007383333	0.001435	-5.14375	0.006773678	-0.01136864	-0.0034	-0.01137	-0.0034
X Variable 5	-0.098333333	0.14354	-0.68506	0.530942957	-0.496863994	0.300197	-0.49686	0.300197
X Variable 6	-0.013020833	0.008971	-1.4514	0.220298828	-0.037929	0.011887	-0.03793	0.011887
X Variable 7	0.024333333	0.01758	1.384151	0.238528072	-0.024476505	0.073143	-0.02448	0.073143
X Variable 8	-0.006	0.003108	-1.93067	0.125718539	-0.014628442	0.002628	-0.01463	0.002628
X Variable 9	0.003333333	0.031077	0.107259	0.919747661	-0.082951086	0.089618	-0.08295	0.089618

Bulk Density

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.949040468
R Square	0.90067781
Adjusted R Square	0.677202882
Standard Error	0.018000701
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	0.011753	0.001306	4.03033	0.096317
Residual	4	0.001296	0.000324		
Total	13	0.013049			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	1.674410641	1.033879	1.619543	0.180644	-1.196097	4.544918199	-1.19609691	4.544918199
X Variable 1	0.001137997	0.001906	0.597147	0.582568	-0.004153	0.006429134	-0.00415314	0.006429134
X Variable 2	0.002988452	0.019057	0.156815	0.882988	-0.049923	0.055899824	-0.04992292	0.055899824
X Variable 3	-0.01395175	0.010417	-1.33932	0.251504	-0.042874	0.014970587	-0.04287408	0.014970587
X Variable 4	-2.15621E-05	4.16E-06	-5.186835	0.006575	-3.31E-05	-1.00202E-05	-3.3104E-05	-1.00202E-05
X Variable 5	-0.000200403	0.000416	-0.482076	0.654943	-0.001355	0.000953788	-0.00135459	0.000953788
X Variable 6	3.32202E-05	2.6E-05	1.278595	0.270185	-3.89E-05	0.000105357	-3.89168E-05	0.000105357
X Variable 7	-8.43194E-05	5.09E-05	-1.656126	0.173038	-0.000226	5.70396E-05	-0.00022567	5.70396E-05
X Variable 8	6.37941E-06	9E-06	0.708795	0.517576	-1.86E-05	3.13684E-05	-1.86096E-05	3.13684E-05
X Variable 9	2.33788E-05	9E-05	0.259754	0.807875	-0.000227	0.000273269	-0.00022651	0.000273269

Moisture Content

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.908472
R Square	0.825322
Adjusted R Square	0.432297
Standard Error	0.676263
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	8.643253	0.960361	2.099923	0.247165
Residual	4	1.829327	0.457332		
Total	13	10.47258			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	74.33719	38.84149	1.91386	0.128175	-33.5041	182.1784	-33.5041	182.1784
X Variable 1	-0.15694	0.071596	-2.19198	0.093485	-0.35572	0.041845	-0.35572	0.041845
X Variable 2	0.214914	0.715956	0.300178	0.778995	-1.7729	2.202726	-1.7729	2.202726
X Variable 3	-0.67102	0.391355	-1.7146	0.161569	-1.75759	0.41556	-1.75759	0.41556
X Variable 4	0.000299	0.000156	1.913355	0.128249	-0.00013	0.000732	-0.00013	0.000732
X Variable 5	-0.00045	0.015618	-0.02851	0.97862	-0.04381	0.042916	-0.04381	0.042916
X Variable 6	0.001561	0.000976	1.599433	0.184973	-0.00115	0.004271	-0.00115	0.004271
X Variable 7	0.000658	0.001913	0.344117	0.748087	-0.00465	0.005969	-0.00465	0.005969
X Variable 8	0.000562	0.000338	1.661463	0.171956	-0.00038	0.001501	-0.00038	0.001501
X Variable 9	-0.00128	0.003381	-0.37838	0.724372	-0.01067	0.008109	-0.01067	0.008109

Flowability

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics

Multiple R	0.985487726
R Square	0.971186058
Adjusted R Square	0.906354688
Standard Error	1.170875345
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	184.833664	20.53707378	14.98019	0.009601941
Residual	4	5.483796296	1.370949074		
Total	13	190.3174603			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-1.555555556	67.24977698	-0.023131014	0.982654	-188.2708697	185.1598	-188.271	185.1598
X Variable 1	0.233472222	0.12395989	1.883449745	0.132751	-0.110695606	0.57764	-0.1107	0.57764
X Variable 2	0.826388889	1.239598895	0.666658297	0.541475	-2.615289395	4.268067	-2.61529	4.268067
X Variable 3	0.307638889	0.677587731	0.454020749	0.673358	-1.573646249	2.188924	-1.57365	2.188924
X Variable 4	-0.002130556	0.000270402	-7.879212944	0.001403	-0.002881312	-0.00138	-0.00288	-0.00138
X Variable 5	-0.163055556	0.027040208	-6.030114731	0.003812	-0.238131208	-0.08798	-0.23813	-0.08798
X Variable 6	-0.000711806	0.001690013	-0.421183482	0.695268	-0.005404034	0.00398	-0.0054	0.00398
X Variable 7	0.0055	0.003311736	1.660760606	0.172098	-0.003694852	0.014695	-0.00369	0.014695
X Variable 8	0	0.000585438	0	1	-0.001625436	0.001625	-0.00163	0.001625
X Variable 9	0.004166667	0.005854377	0.711718234	0.515947	-0.012087689	0.020421	-0.01209	0.020421

Hygroscopicity

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.980851525
R Square	0.962069714
Adjusted R Square	0.87672657
Standard Error	0.010289455
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	0.010742	0.001193501	11.27295847	0.016283455
Residual	4	0.000423	0.000105873		
Total	13	0.011165			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	0.788575	0.59098	1.334352085	0.252983673	-0.85224771	2.429398	-0.85225	2.429398
X Variable 1	-0.0024226	0.001089	-2.22391823	0.090218421	-0.00544709	0.000602	-0.00545	0.000602
X Variable 2	0.006091	0.010893	0.559146617	0.605886322	-0.02415389	0.036336	-0.02415	0.036336
X Variable 3	-0.005339	0.005955	-0.89662877	0.42060258	-0.02187142	0.011193	-0.02187	0.011193
X Variable 4	1.59245E-05	2.38E-06	6.701531484	0.002579811	9.32698E-06	2.25E-05	9.33E-06	2.25E-05
X Variable 5	-0.00017895	0.000238	-0.75307799	0.493300142	-0.0008387	0.000481	-0.00084	0.000481
X Variable 6	1.35656E-05	1.49E-05	0.913414807	0.412700279	-2.7669E-05	5.48E-05	-2.8E-05	5.48E-05
X Variable 7	7.243E-05	2.91E-05	2.488749082	0.067574846	-8.3728E-06	0.000153	-8.4E-06	0.000153
X Variable 8	-8.025E-07	5.14E-06	-0.15598493	0.883600553	-1.5087E-05	1.35E-05	-1.5E-05	1.35E-05
X Variable 9	-5.3125E-05	5.14E-05	-1.03261055	0.360127695	-0.00019597	8.97E-05	-0.0002	8.97E-05

Water Activity

SUMMARY OUTPUT

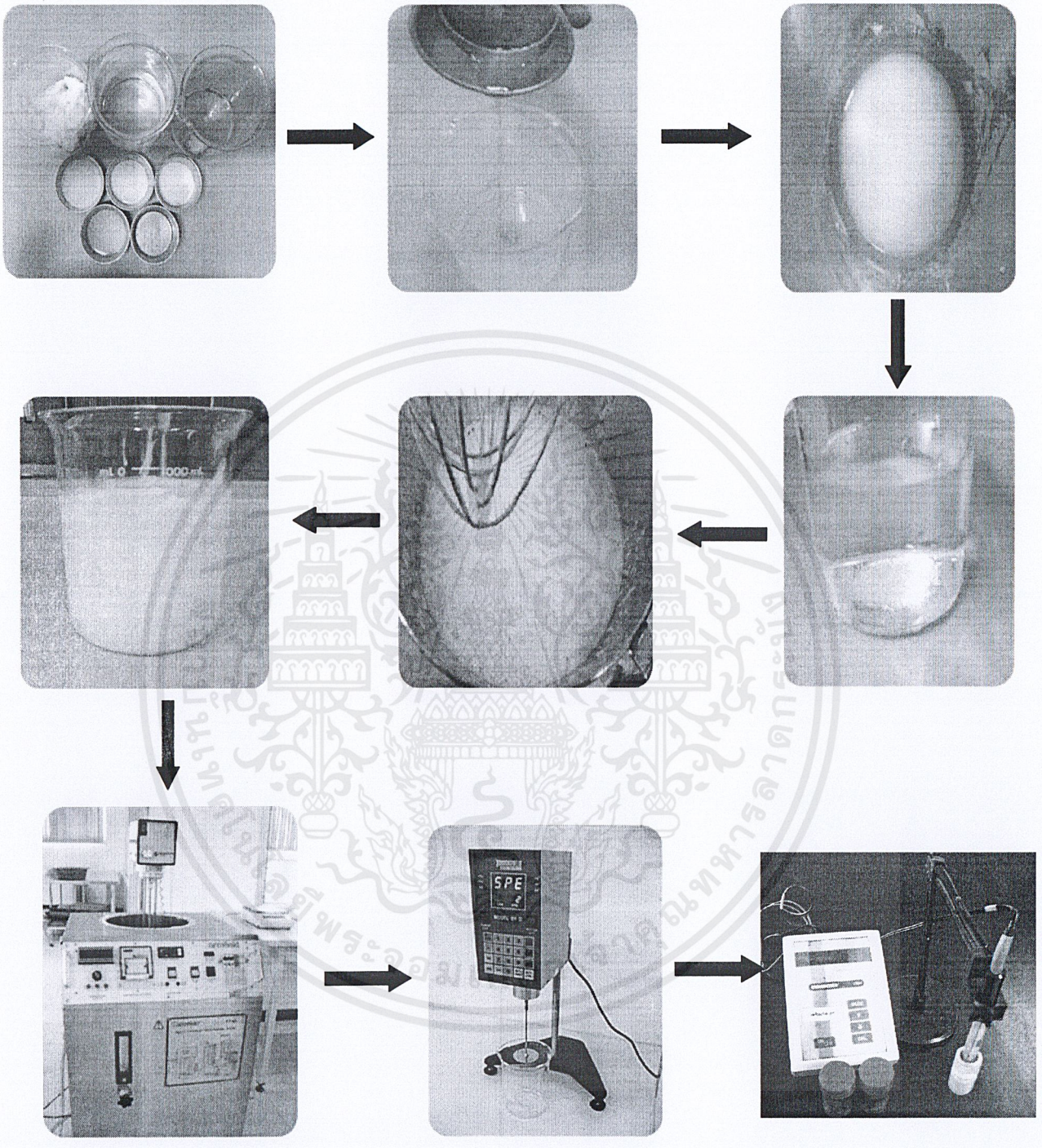
Regression Statistics	
Multiple R	0.979024
R Square	0.958487
Adjusted R Square	0.865084
Standard Error	0.032737
Observations	14

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	0.098981	0.010998	10.26177	0.019339
Residual	4	0.004287	0.001072		
Total	13	0.103267			

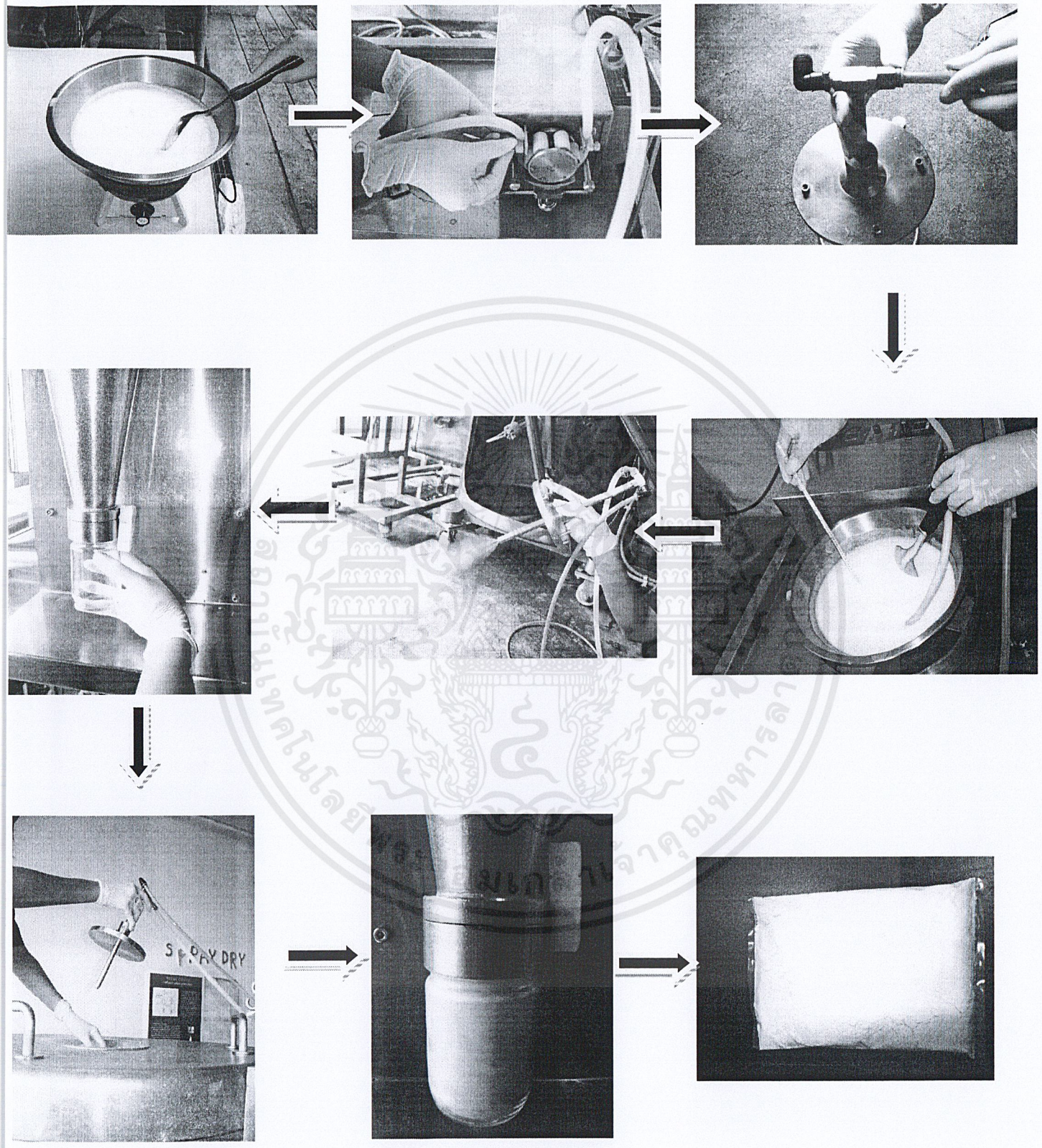
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	3.365833	1.880281	1.79007	0.147939	-1.85466	8.58633	-1.85466	8.58633
X Variable 1	-0.00614	0.003466	-1.77036	0.151377	-0.01576	0.003487	-0.01576	0.003487
X Variable 2	-0.12191	0.034659	-3.51739	0.024508	-0.21814	-0.02568	-0.21814	-0.02568
X Variable 3	-0.02681	0.018945	-1.41505	0.229972	-0.07941	0.025792	-0.07941	0.025792
X Variable 4	6.19E-05	7.56E-06	8.185247	0.001213	4.09E-05	8.29E-05	4.09E-05	8.29E-05
X Variable 5	0.000848	0.000756	1.122082	0.324629	-0.00125	0.002947	-0.00125	0.002947
X Variable 6	5.86E-05	4.73E-05	1.241124	0.282373	-7.3E-05	0.00019	-7.3E-05	0.00019
X Variable 7	-1E-06	9.26E-05	-0.0108	0.9919	-0.00026	0.000256	-0.00026	0.000256
X Variable 8	-3E-06	1.64E-05	-0.18328	0.863496	-4.8E-05	4.24E-05	-4.8E-05	4.24E-05
X Variable 9	0.000565	0.000164	3.451723	0.026014	0.000111	0.001019	0.000111	0.001019

ภาคผนวก จ. รูปภาพเกี่ยวกับโครงงาน



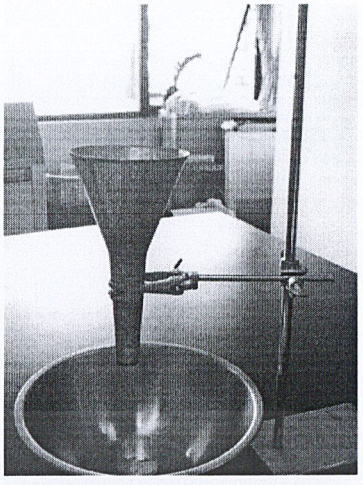
รูปที่ จ.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันครีมเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



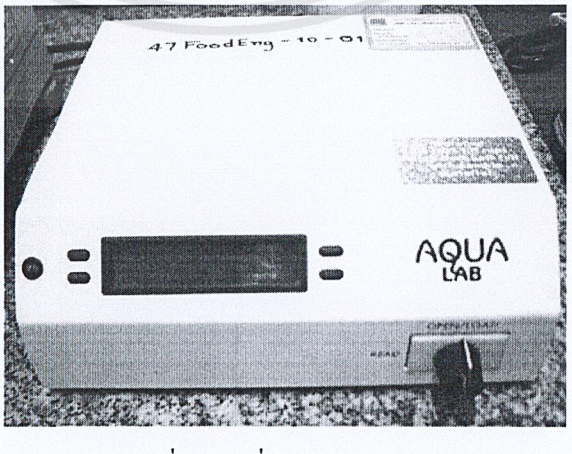
รูปที่ จ.2 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.3 อุปกรณ์วัดค่าความหนาแน่น

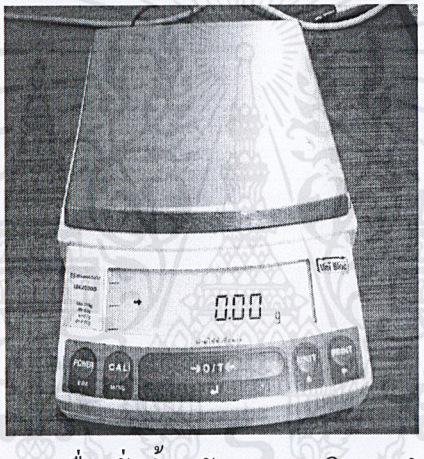
รูปที่ จ.4 Magnetic stirrer



รูปที่ จ.5 เครื่องวัดค่า Aw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

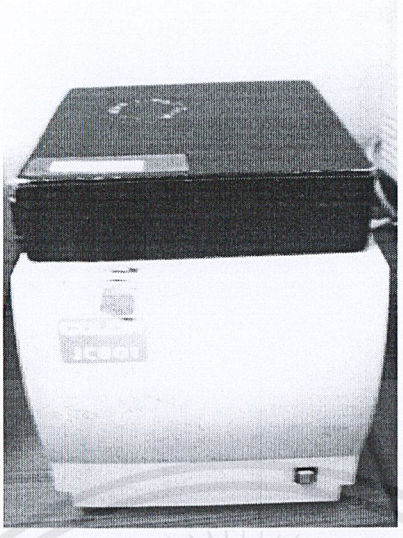
รูปที่ จ.6 เครื่องอบลมร้อน



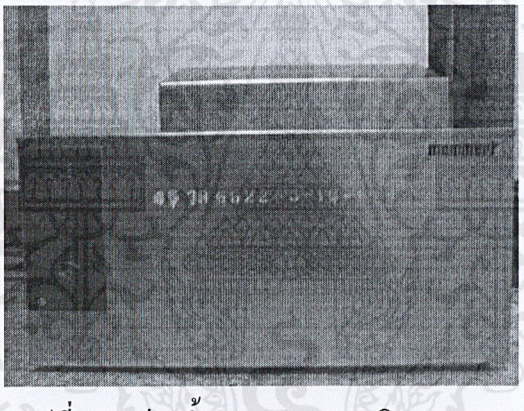
รูปที่ จ.7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง

รูปที่ จ.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



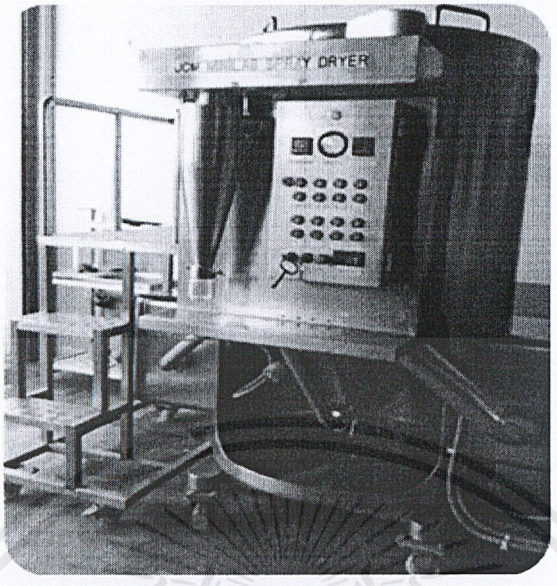
รูปที่ จ.9 เครื่องวัดค่าสี



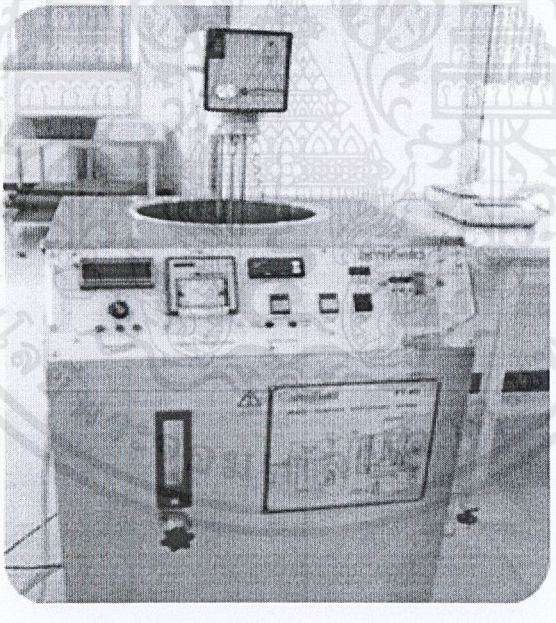
รูปที่ จ.10 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ(Water bath)

รูปที่ จ.11 รีแฟคโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

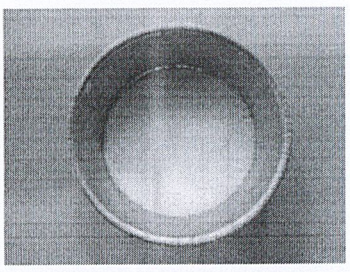
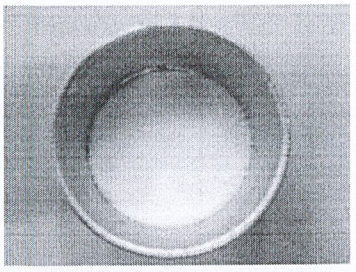
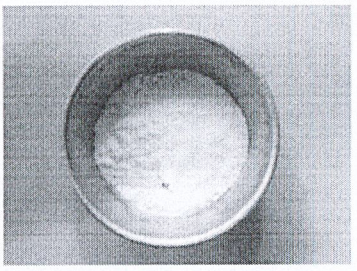


รูปที่ จ.12 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



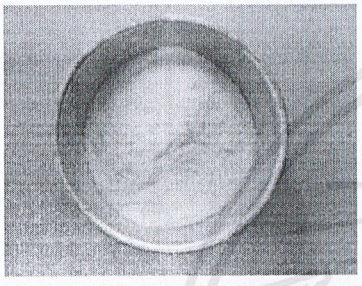
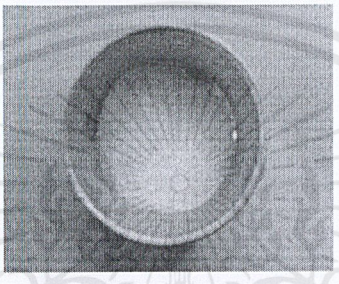
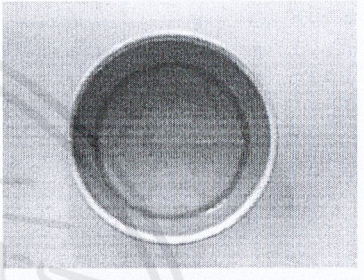
รูปที่ จ.13 เครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์(Homogenizer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

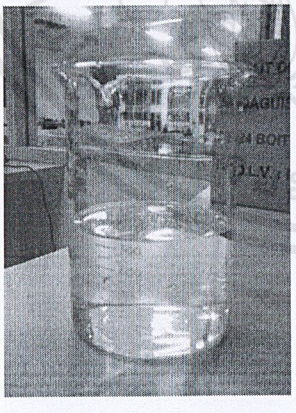
(a) (b) (c)

(a) Dipotassium Hypophosphate (K_2HPO_4), (b) Sodium acetate และ(c) (Maltodextrin) DE 10 ตามลำดับ

(d) (e) (f)

(d) Soduim casinate, (e) Distilled Monoglycerides (DMG), (f) Diacetyl Tartaric Acid Esters of Monoglycerides (DATEM) ตามลำดับ



(g) (h)

(g) กลูโคสไซรัป และ (h) ไขมันพืช

รูปที่ จ.14 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตครีมเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้