

การศึกษาการผลิตและคุณลักษณะของผลึกโพแทสเซียมลอเรตสำหรับผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Study the production and crystal properties of Potassium laurate for facial cleansing
cosmetic products



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการผลิตและคุณลักษณะของผลึกโพลีเอทิลีน ลอเรตสำหรับผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้า
โดย	น.ส.จิตาภา เฟื่องฟู
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สุทธิธรรวัช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สุทธิธรรวัช)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชุตินันท์ สิริพิพัฒน์กุล)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สุวิมล สุรัสโม่)	

จิตาภา เฟื่องฟู : การศึกษาการผลิตและคุณลักษณะของผลึกโพแทสเซียมลอเรตสำหรับ
ผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้า. (Study the production and crystal properties of
Potassium laurate for facial cleansing cosmetic products) อ.ที่ปรึกษาหลัก :
ผศ. ดร.อภิวัฒน์ สุทธิธารวัช

ผลิตภัณฑ์ประเภทโฟมล้างหน้า ผลิตผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริก
และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลึกโพแทสเซียมลอเรต โดยทำปฏิกิริยาที่
อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 60 นาทีและเก็บตัวอย่างตามเวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที
พบว่าค่าการเปลี่ยนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 60 นาที ค่าการเปลี่ยนอยู่ที่
94.77% โดยเวลาไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา สำหรับการศึกษผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มี
ผลต่อการเกิดผลึกของโพแทสเซียมลอเรตพบว่าการผลิตโฟมล้างหน้าควรใช้อัตราทำให้เย็นตัวลงที่
1-2 °C/นาที เพื่อให้ได้ผลึกที่เรียงตัวอย่างสวยงาม เนื้อผลิตภัณฑ์มีความมันวาว และเป็นอัตราการ
ควบคุมที่เหมาะสมในการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงและเกิดการตกผลึกที่สมบูรณ์ การศึกษาการ
เปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์
และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์พบว่า KOH 7%, KOH 15% ได้ลักษณะเนื้อที่แข็งร่วน
เป็นเจลทึบแสง เกิดประกายมุกชัดเจนในทันที ดังนั้นการลดปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อาจ
ทำให้เหลือปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในปฏิกิริยามากขึ้น และศึกษาการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อ
สังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential
Scanning Calorimetry (DSC) พบว่าอุณหภูมิในการตกผลึกมีความใกล้เคียงกันซึ่งเห็นได้ชัดจาก
เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ประกายมุกนั้นเกิดขึ้นคล้ายคลึงกัน โดยผลึกเกิดขึ้นทันทีหลังจากทำการลดอุณหภูมิ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170352121 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD: Fatty acid Saponification reaction Cooling rate

Jidapha Fuengfu : Study the production and crystal properties of Potassium laurate for facial cleansing cosmetic products. Advisor: Asst. Prof. Dr. APINAN SOOTTITANTAWAT, Ph.D.

Foaming products are produced through a saponification reaction between lauric acid and potassium hydroxide. To obtain potassium laurate crystalline product, by reacting at 90°C for 60 min and collecting samples at 0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 min, it was found that the conversion value increased rapidly at 60 min. The conversion value was at 94.77% with no effect on the reaction time. For the study of the effect of cooling rate on the crystallization of potassium laurate, it was found that the cooling rate of 1-2 °C/min was the suitable cooling rate for cleansing foam production. The texture of the product is shiny and beautifully arranged crystals. It is the optimum controlled rate of product cooling and complete crystallization. Study on changes in potassium hydroxide content to observe the change of product texture and pearlescent effect in the product texture. It was found that KOH 7%, KOH 15% had a hard, crumbly texture, opaque gel, and clear pearlescent effect in the product. Therefore, reducing the amount of potassium hydroxide may increase the amount of reactants used in the reaction. Increasing the amount of lauric acid to observe the change in product texture. By studying the phase transition by Differential Scanning Calorimetry (DSC), it was found that the crystallization temperature was similar and consistent with the pearlescent texture of the product. The crystals formed immediately after the temperature was lowered.

Field of Study: Chemical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สุทธิธาร
ธวัช อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการค้นคว้าวิจัย เอื้อเพื่ออุปกรณ์
และให้คำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้ และยังคงยกแก้ไขข้อบกพร่อง
ต่างๆ ด้วยความใส่ใจเสมอมา จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร และ อาจารย์ชุติมณฑต์ สิริพิพัฒน์กุล ซึ่ง
เป็นกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำที่ดีเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์
นี้ดำเนินไปได้ด้วยดีตลอดมา จึงขอขอบคุณ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคุณนุชจริย์ แสงจันทร์ ที่ให้ความกรุณา ชี้แนะและให้ความรู้ ข้อมูลที่เป็น
ประโยชน์ รวมไปถึงคำปรึกษาในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยศาสตร์ด้านความงามและสุขภาพจำกัด ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์และให้
โอกาสที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณที่สำคัญยิ่งคือ บิดามารดาที่ให้โอกาสและสนับสนุน ให้
กำลังใจในการศึกษาแก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิทยานิพนธ์นี้ล้วน
เป็นผลมาจากพระคุณทุกท่านจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จิตาภา เฟื่องฟู

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 แผนการดำเนินการศึกษา.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.1.1 กรดไขมัน.....	4
2.1.2 การประยุกต์ใช้กรดไขมันในอุตสาหกรรมต่างๆ.....	6
2.1.3 กรดลอริก (Lauric acid).....	7
2.1.4 ความรู้พื้นฐานของสบู่.....	8
2.1.5 โฟมล้างหน้า.....	9

2.2 การเกิดประกายมุกในผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการตกผลึกของกรดไขมัน	10
2.2.1 การตกผลึกของไขมันหรือน้ำมัน	11
2.2.2 กระบวนการตกผลึก.....	11
2.2.3 ประเภทและคุณสมบัติของผลึก	12
2.2.4 เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์การตกผลึก	13
2.3 การทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง (Stability of a cosmetic product) ...	17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	26
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	26
3.2 วิธีการทดลอง.....	26
3.2.1 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	26
3.2.2 ศึกษาผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อเนื้อผลิตภัณฑ์.....	27
3.2.3 ศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอเรตโดยการควบคุมอัตรา การทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์.....	28
3.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ เนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์.....	28
3.2.5 ศึกษาการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการ เกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์.....	29
3.2.6 การศึกษาและสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์	30
3.2.7 ศึกษาความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ (Stability)	30
3.2.8 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	31
3.2.9 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วย กล้อง Polarized Light Microscope (PLM) รุ่น Olympus Model: BX53	31

บทที่ 4	32
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	32
4.1 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	32
4.1.1 การวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนของกรดลอริกจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	32
4.1.2. การวิเคราะห์ผลได้ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	33
4.2 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อเนื้อผลิตภัณฑ์.....	35
4.2.1 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์และการเกิดผลึกของการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	35
4.2.2 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR)	36
4.2.3 วิเคราะห์โครงสร้างของผลึกที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD).....	37
4.3 การศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของโพแทสเซียมลอเรตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่.....	38
4.3.1 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่	40
4.3.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	42
4.3.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วย กล้อง Polarized Light Microscopy ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่	44
4.3.4 การศึกษาการทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึกโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C	47
4.4. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์	50

4.4.1 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ KOH 7%, 10%, 12% และ 15%.....	51
4.4.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	53
4.4.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วย กล้อง Polarized Light Microscopy โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์	54
4.4.4 ทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึกโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	55
4.5 ศึกษาการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์.....	58
4.5.1 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเพิ่มปริมาณของกรดลอริก จะศึกษาที่ Lauric acid 5%, 10%, 15% และ 20%.....	59
4.5.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	60
4.5.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วย กล้อง Polarized Light Microscopy โดยการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์	61
4.5.4 ทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึกโดยการเพิ่มปริมาณของกรดลอริก ที่ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	62
4.6 แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อสำรวจการขึ้นมุกของเนื้อผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีแลมด้านา	64
4.6.1 ศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอเรตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์	64
4.6.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์.....	65
4.6.3 ศึกษาการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์.....	66

บทที่ 5	68
สรุปผลการทดลองและอภิปรายผล	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	72
ประวัติผู้เขียน	84



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แผนการดำเนินการศึกษา.....	3
ตารางที่ 2 กรดไขมันอิ่มตัวชนิดต่าง ๆ (อาภัสสรา ชมิดท์, 2543)	4
ตารางที่ 3 ตัวอย่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบในธรรมชาติ [5].....	5
ตารางที่ 4 ตัวอย่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบในธรรมชาติ [5].....	5
ตารางที่ 5 จุดหลอมเหลวของผลึกรูปแบบต่างๆ	13
ตารางที่ 6 ศึกษาการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์.....	28
ตารางที่ 7 ปริมาณของสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%weight) ที่เวลาต่างๆ ของการทำปฏิกิริยา สะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	34
ตารางที่ 8 ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏที่เวลาต่างๆ ของการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	35
ตารางที่ 9 แสดงปริมาณของสารเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%weight) ที่เวลา 60 นาที ของการทำ ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	38
ตารางที่ 10 สภาวะในการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์	38
ตารางที่ 11 การทดลองในการหาค่าเฉลี่ยของการควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เพื่อนำมาใช้ในการ ควบคุมอัตราทำให้เย็นตัวลงที่ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที.....	39
ตารางที่ 12 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการควบคุมอัตราการทำให้ เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที.....	41
ตารางที่ 13 ปริมาณของสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกร ดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	50
ตารางที่ 14 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ของ KOH 7%, 10%, 12% และ 15%.....	51
ตารางที่ 15 ปริมาณของสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันโดยการ เพิ่มปริมาณของกรดลอริก	58

ตารางที่ 16 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์การเพิ่มปริมาณของกรดลอริก จะศึกษาที่ Lauric acid 5%, 10%, 15% และ 20%.....59

ตารางที่ 17 สรุปผลการนำเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ ไปพัฒนาต่อ.....65

ตารางที่ 18 สรุปผลการนำเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ไปพัฒนาต่อ.....66

ตารางที่ 19 สรุปผลการนำเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกไปพัฒนาต่อ.....67



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 การเกิดสบู่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) [2].....	1
รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างของกรดลอริก [9].....	7
รูปที่ 3 ผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้าในท้องตลาด [11].....	9
รูปที่ 4 Alpha 1-1 Acid sodium stearate 10x [12].....	10
รูปที่ 5 กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarized Light Microscope) [17].....	14
รูปที่ 6 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากกระนาบของอะตอม[18].....	15
รูปที่ 7 Polarized light micrographs ของตัวอย่างที่ทำการเก็บที่อุณหภูมิห้องเวลาผ่านไป	22
รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	27
รูปที่ 9 แสดงการปาดเนื้อลงบนเพลทขาวดำเพื่อทำการสังเกตเบื้องต้น.....	30
รูปที่ 10 ค่าการเปลี่ยนของกรดลอริกจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	32
รูปที่ 11 ผลได้ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดร อกไซด์.....	33
รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความหนืดของโพแทสเซียมลอเรต.....	36
รูปที่ 13 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของโพแทสเซียมลอเรต.....	37
รูปที่ 14 กราฟแสดงจุดหลอมเหลวของกรดลอริกบริสุทธิ์.....	42
รูปที่ 15 กราฟแสดงการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงโดยควบคุมที่ a.1°C/นาที, b.2°C/นาที และ c.3°C/นาที.....	43
รูปที่ 16 ลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ของเนื้อผลิตภัณฑ์วันที่ 1	45
รูปที่ 17 ลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ของเนื้อผลิตภัณฑ์ครบวันที่ 14	46
รูปที่ 18 วันที่ 1 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	48

รูปที่ 19 วันที่ 2 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	49
รูปที่ 20 วันที่ 14 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่.....	49
รูปที่ 21 กราฟแสดงการตกผลึกของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของเนื้อ ผลิตภัณฑ์ที่ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่ cooling rate 2°C/นาที่.....	53
รูปที่ 22 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ระหว่างเนื้อ ผลิตภัณฑ์วันที่ 1 และวันที่ 14 ของ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15%.....	54
รูปที่ 23 วันที่ 1 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	56
รูปที่ 24 วันที่ 2 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	57
รูปที่ 25 วันที่ 14 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	57
รูปที่ 26 กราฟแสดงการเพิ่มปริมาณของกรดลอริก Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่ cooling rate 2°C/นาที่.....	60
รูปที่ 27 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ระหว่างเนื้อ ผลิตภัณฑ์วันที่ 1 และวันที่ 14 ของ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20%.....	61
รูปที่ 28 วันที่ 1 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	62
รูปที่ 29 วันที่ 2 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C.....	63
รูปที่ 30 วันที่ 14 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°.....	63
รูปที่ 31 กราฟแสดงผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์เรื่องการควบคุม อัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีแลมด้านา.....	64
รูปที่ 32 กราฟแสดงผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์เรื่องการ เปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีแลม ด้านา.....	65
รูปที่ 33 กราฟแสดงผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเพิ่ม ปริมาณของกรดลอริกที่มีผลต่อการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีแลมด้านา.....	66

รูปที่ 34 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วัน75

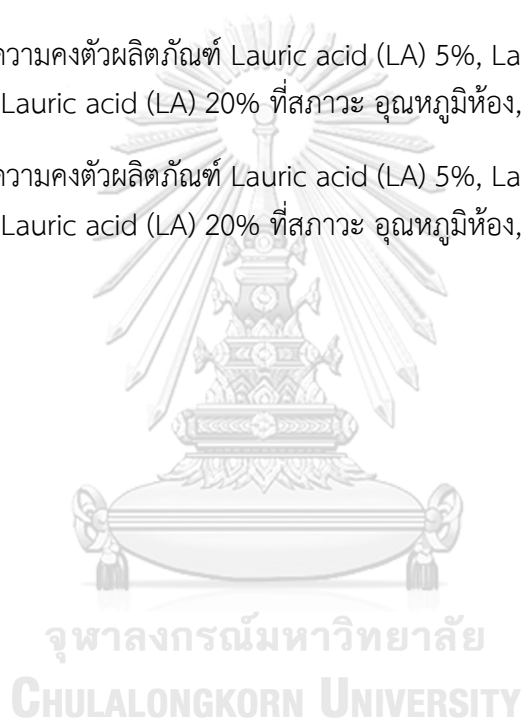
รูปที่ 35 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 1 เดือน76

รูปที่ 36 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ KOH7%, KOH10%, KOH12% และKOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วัน77

รูปที่ 37 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ KOH7%, KOH10%, KOH12% และKOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 1 เดือน78

รูปที่ 38 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วัน79

รูปที่ 39 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 1 เดือน80



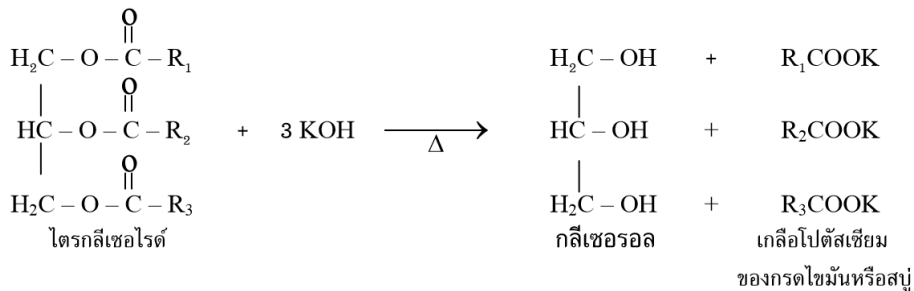
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้า (Facial foam) จัดอยู่ในเครื่องสำอางเพื่อการทำมาความสะอาด (Cleansing cosmetic) ได้แก่ สบู่ แชมพู ครีมอาบน้ำ และในปัจจุบันสินค้าประเภทเครื่องสำอางเพื่อการทำมาความสะอาดเป็นเครื่องสำอางที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวันประเภทหนึ่งที่มีมูลค่าทางการตลาดที่เติบโตขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้าเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์สำหรับชำระล้างที่นิยมมากที่สุดในการดูแลความสะอาดส่วนบุคคลและกระบวนการผลิตมีความซับซ้อน น่าสนใจ

โดยองค์ประกอบของตำรับสูตรของโฟมล้างหน้าประกอบไปด้วยกรดไขมัน, ด่าง สารชำระล้างและสารออกฤทธิ์ต่างๆ ซึ่งกระบวนการผลิตโฟมล้างหน้าจะอาศัยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันเพื่อให้เกิดสบู่ของไตรกลีเซอไรด์หรือกรดไขมัน ถูกสลายพันธะเอสเทอร์ (Ester) ด้วยด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดเป็นสบู่ (เกลือโพแทสเซียมหรือเกลือโซเดียมของกรดไขมัน) และกลีเซอรอลหรือน้ำ [1]



รูปที่ 1 การเกิดสบู่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) [2]

ลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้าจะมีลักษณะขุ่นหนืดสีขาวมีความมันวาวของมูก โดยมูกที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เกิดจากผลึกเกลือโพแทสเซียมหรือเกลือโซเดียมของกรดไขมันที่เกิดปฏิกิริยาตกผลึก (Recrystallization) ปกติแล้วการขึ้นมูกหรือการตกผลึกของผลิตภัณฑ์จะเกิดจากการทำให้ผลิตภัณฑ์ค่อยๆ เย็นตัวลงเนื่องจากการลดอุณหภูมิ โดยอัตราในการทำให้เย็นตัวลงนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนในการขึ้นมูกหรือการตกผลึก ซึ่งการกำหนดอัตราการทำความเย็น ความร้อนจากการตกผลึกและระดับของการกวนผสมมีผลต่อจำนวนและชนิดของผลึกที่เกิดขึ้น [3] เป็นสาเหตุของการศึกษาและวิจัยผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้าโดยผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน โดยใช้สารตั้งต้นที่เป็นกรดไขมันคือกรดลอริก (Lauric acid: $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$) ทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide: KOH) เพื่อศึกษาปัจจัยในการเกิดมูกหรือการตกผลึก โดยทำการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงและศึกษาคุณลักษณะที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.2.1 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

1.2.2 ศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอเรตเพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการของคณะวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1.3.1 ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 60 นาทีและเก็บตัวอย่างตามเวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที

1.3.2 ศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอเรตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่ $1^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$, $2^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ และ $3^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$

1.3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์

1.3.4 ศึกษาการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์

1.3.5 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

1.3.5.1 วิเคราะห์คุณลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

1.3.5.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

1.3.5.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วยกล้อง Polarized Light Microscopy

1.3.5.4 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR)

1.3.5.5 ทดสอบและติดตามความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (Stability test)

1.4 แผนการดำเนินการศึกษา

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินการศึกษา

การดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัย	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
2. เตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง							■	■					
3. ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification)							■	■	■				
4. คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น							■	■	■	■			
5. รวบรวมผลและจัดทำรูปเล่มงานวิจัย							■	■	■	■	■	■	■

บทที่ 2 เอกสารและงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 กรดไขมัน

กรดไขมัน (Fatty acid) กรดไขมันจัดเป็นกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) ที่มีหมู่ -COOH เพียงหมู่เดียวต่อกับ ไฮโดรคาร์บอนสายยาวเส้นตรง กรดไขมันที่พบในธรรมชาติมักมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนคู่ ระหว่าง 4 - 24 อะตอม และพบในรูปกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) เล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่พบในรูปที่ละลายใน ไขมัน (Saponifiable lipid) [4]

ตารางที่ 2 กรดไขมันอิ่มตัวชนิดต่าง ๆ (อาภัสสรฯ สมิตต์, 2543)

ชื่อสามัญ	สูตร	สัญลักษณ์ย่อ	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดบิวไทริก (Butyric)	$C_4H_8O_2$	4:0	- 7.9
กรดคาโพรอิก (Caproic)	$C_6H_{12}O_2$	6:0	- 3.4
กรดคาไพริก (Caprylic)	$C_8H_{16}O_2$	8:0	16
กรดคาพริก (Capric)	$C_{10}H_{20}O_2$	10:0	31
กรดลอริก (Lauric)	$C_{12}H_{24}O_2$	12:0	44
กรดไมริสติก (Myristic)	$C_{14}H_{28}O_2$	14:0	54
กรดปาล์มิติก (Palmitic)	$C_{16}H_{32}O_2$	16:0	63
กรดสเตียริก (Stearic)	$C_{18}H_{36}O_2$	18:0	70
กรดอะราซิดิก (Arachidic)	$C_{20}H_{40}O_2$	20:0	76

โดยสามารถแบ่งกรดไขมันออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ กรดไขมันชนิดอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

2.1.1.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนที่เป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสมบัติแข็งตัวง่าย มีจุดหลอมเหลวสูง ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จึงไม่เหม็นหืนง่าย

ตารางที่ 3 ตัวอย่างกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่พบในธรรมชาติ [5]

กรดไขมัน	ชื่อสามัญ	แหล่งที่พบ
C4:0	Butyric acid	นม เนย
C6:0	Caproic acid	น้ำมันและไขมันสัตว์
C8:0	Caprylic acid	นม น้ำมันมะพร้าว
C10:0	Capric acid	นม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันในเมล็ดปาล์ม
C12:0	Lauric acid	นม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันในเมล็ดปาล์ม
C14:0	Myristic acid	เนย ไขสัตว์ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันในเมล็ดปาล์ม
C16:0	Palmitic acid	ไขสัตว์ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันในเมล็ดปาล์ม

2.1.1.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบในธรรมชาติ (Unsaturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนบางพันธะเป็นพันธะคู่ ส่งผลให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวต่ำ แข็งตัวยากและเนื่องจากพันธะคู่มีความว่องไวจึงสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดการเหม็นหืนได้ง่าย ตัวอย่างของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังตารางดังนี้

ตารางที่ 4 ตัวอย่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบในธรรมชาติ [5]

กรดไขมัน	ชื่อสามัญ	แหล่งที่พบ
C12:4	Arachidonic acid	น้ำมันถั่วลิสง
C16:1	Palmitoleic acid	น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์
C18:1	Oleic acid	น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันมะกอก น้ำมันปาล์ม
C18:2	Linoleic acid	น้ำมันงา น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน
C18:3	Linolenic acid	น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลือง

เนื่องด้วยกรดไขมันมีมากมายหลายชนิดแต่ละชนิดมีชื่อและสูตรโครงสร้างที่ซับซ้อนเพื่อความสะดวกในการเรียกชื่อ จึงมีระบบสัญลักษณ์ซึ่งแสดงจำนวนอะตอมคาร์บอนต่อจำนวนพันธะคู่ในโครงสร้างของกรดไขมัน ตัวอย่างเช่น C12:0 ใช้เรียกชื่อกรดลอริก ซึ่งหมายถึงกรดไขมันที่มีคาร์บอนจำนวนทั้งหมด 12 อะตอม โดยที่ทุกจำนวนของคาร์บอนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด

2.1.2 การประยุกต์ใช้กรดไขมันในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.1.2.1 อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

กรดไขมันและอนุพันธ์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล การทำงานของกรดไขมันครอบคลุมทุกแง่มุมของการรักษาเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์และความงาม กรดไขมันและเกลือของกรดไขมันถูกนำมาใช้ในด้านสารทำความสะอาดและรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกายในปัจจุบันส่วนประกอบที่ได้มาจากกรดไขมันที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น เอสเทอร์ (Esters) แอลกอฮอล์ (Alcohols) สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) [6]

กรดลิโนเลอิก แอลฟาไลโนเลนิก ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ในส่วนของผิวและเส้นผม เนื่องจากสามารถช่วยให้ผิวมีความชุ่มชื้นไม่แห้งตึง ลดเลือนริ้วรอยใบบนใบหน้า ทั้งยังสามารถรักษาอาการทางผิวหนังบางชนิดได้ เช่น ผดผื่นหุดร่วน รังแค กรดโอเลอิกถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวหนัง สบู่ และ ยาสีฟัน เพื่อขจัดคราบสกปรกและคราบแข็งด้วยการเกาะรอบๆ อนุภาคคราบสกปรกเหล่านั้นเพื่อให้หลุดออกจากพื้นผิวที่ยึดติด ดังนั้นจึงสามารถล้างคราบออกได้ด้วยน้ำ ในผลิตภัณฑ์บางชนิด [7] และกรดลอริกช่วยลดแรงตึงผิวของสารทำให้เกิดการกระจายตัวและรวมเข้ากันได้ดีของสารต่างชนิดกันเพื่อไม่ให้เกิดการกระจุกตัวหรือลอยตัวเป็นชั้น ทำงานร่วมกับกรดไขมันตัวอื่น ๆ ช่วยเพิ่มความหล่อลื่น ข่าเชื้อโรค แบคทีเรีย เชื้อรา ยีสต์ ไวรัส

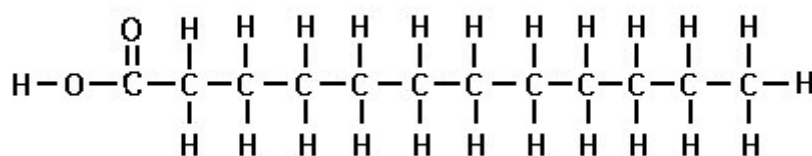
2.1.2.2 อุตสาหกรรมทางการแพทย์

กรดลอริกมีฤทธิ์ต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (Antimicrobial) เมื่อรับประทานเข้าไป ร่างกายจะเปลี่ยน “กรดลอริก” ให้เป็น “โมนอลอริน” ที่มีคุณสมบัติเหมือนยาปฏิชีวนะ คือ ต้านทานได้ทั้งเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา เชื้อยีสต์ เชื้อโปรโตซัว และเชื้อไวรัส และยังช่วย ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน ลดการอักเสบ ทำลายเชื้อโรค ฯลฯ กรดลอริก มักถูกใช้ในการรักษาโรคและบรรเทาหลายอาการ ทั้งโรคหลอดลมอักเสบ โรคหนองในแท้ โรคเชื้อรา การติดเชื้อในลำไส้ที่เกิดจากปรสิต โรคกลากเกลื้อน ใช้หัดทั่วไป ใช้หัดใหญ่ โรคเริมริมฝีปาก อาการติดเชื้อ HSV ฯลฯ ที่สำคัญ “กรดลอริก” ยังสามารถป้องกันเชื้อเอชไอวีจากแม่สู่ลูกได้ด้วย [8]

กรดลอริกซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของน้ำมันมะพร้าวในรูปแบบเจล ต่อเชื้อสเตรปโตค็อกคัส มีวแทนส์ ในห้องปฏิบัติการ โดยการวิเคราะห์เชิงเคมีด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟีพบว่าในน้ำมันมะพร้าว สกัดเย็นบริสุทธิ์มีองค์ประกอบหลักของกรดลอริกสูงมาก ผลทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อสเตรปโตค็อกคัส มีวแทนส์ พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายกรดลอริกในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ คือ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งเชื้อได้ตั้งแต่วเวลา 6 ชั่วโมง เป็นต้นไป เชื้อสเตรปโตค็อกคัส มีวแทนส์เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่สำคัญในการก่อโรคฟันผุได้ [9]

2.1.3 กรดลอริก (Lauric acid)

กรดลอริกเป็นไขมันอิ่มตัว สามารถใช้ในงานทำความสะอาด เครื่องสำอาง ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทดแทนน้ำมันธรรมชาติ (sebum) ที่ร่างกายผลิตได้น้อยลงเมื่ออายุมากขึ้นได้ดีที่สุด ช่วยลดการเสื่อมสภาพของผิว หนึ่งในผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่ไม่ทิ้งสาร เคมีตกค้างในร่างกาย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรมถุงมือยาง และอื่นๆ ได้ [10]



Lauric Acid



รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างของกรดลอริก [9]

ข้อมูลสารเคมี

- ชื่อสารเคมี : กรดลอริก
- ชื่อภาษาอังกฤษ : Lauric Acid
- สูตรโครงสร้าง : $C_{12}H_{24}O_2$
- คุณสมบัติทางเคมี : เป็นไขมันอิ่มตัว ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ
- จุดเดือด : $9\text{ }^{\circ}\text{C}$
- จุดหลอมเหลว : $43\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ความหนาแน่น : 880 กก./ลบ.ม
- ปริมาณเชิงโมล : 200.3178 ก./โมล

2.1.4 ความรู้พื้นฐานของสบู่

ปฏิกิริยาทางเคมีพื้นฐานของสบู่

โฟมล้างหน้าที่เราใช้กันอย่างแพร่หลายทุกวันนี้ เรียกว่า Soap Based หรือเบสสบู่ ซึ่งเกิดจากกรรมวิธีการผลิตโดยปฏิกิริยา Saponification คล้ายๆกับการผลิตสบู่ก้อนแบบธรรมชาติ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาของลิพิด (lipid) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ถูกสลายด้วยพันธะเอสเทอร์ด้วยด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะได้กลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมัน หรือสบู่ (soap)

ค่าสะaponนิฟิเคชัน (Saponification number หรือ Saponification Value S.V) คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม ค่า SV มีความสัมพันธ์กับความยาวของสายโมเลกุลของกรดไขมันที่มีองค์ประกอบน้ำมันหรือไขมัน ถ้าค่า SV สูง เป็นไปได้ว่ากรดไขมันมีจำนวนอะตอมคาร์บอนน้อยกว่าหรือสายคาร์บอนสั้นกว่าน้ำมันหรือไขมันที่มีค่า SV ต่ำ

ค่าของกรด (Acid Value) คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นกลางกับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน 1 กรัมซึ่งค่าของกรดเป็นค่าที่ชี้บอกถึงความเป็นกรดของน้ำมัน หากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์นั้นมีคุณภาพดีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ไม่หลุดออกเป็นกรดไขมันอิสระ น้ำมันนั้น ๆ จะมีค่าของกรดต่ำ แต่หากน้ำมันถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลสน้ำมันนั้น ๆ จะมีกรดไขมันอิสระสูงขึ้นและมีค่าของกรดสูงขึ้นด้วย

ค่าไอโอดีน (Iodine value, IV.) หรือ (Iodine number, I.N.) คือจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาแฮโลจีเนชัน (Halogenation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดกับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม

ค่า I.N. เป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อย ถ้ามีค่า I.N. สูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมากและจะเกิดการหืน (Rancidity) แบบ lipid oxidation ได้ง่าย

2.1.5 โฟมล้างหน้า

โฟมล้างหน้าหรือเบสสบู่ที่เราใช้กันอย่างแพร่หลายทุกวันนี้ เกิดจากกรรมวิธีการผลิตโดยผ่านปฏิกิริยา สะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งกรรมวิธีการผลิตคล้ายกับการผลิตสบู่ก้อน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาของลิพิด (lipid) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ถูกสลายด้วยพันธะเอสเทอร์ด้วยด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะได้กลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมัน หรือสบู่ (Soap) โดยนำมาผสมให้เข้ากันเพื่อให้เกิดเนื้อโฟม โดยโฟมล้างหน้าจะมีค่า pH มากกว่า 7 อยู่ที่ประมาณ 9-11

-ข้อดีของการใช้งานโฟมล้างหน้า คือบรรจุในบรรจุภัณฑ์ สามารถพกพาสะดวก ใช้งานง่าย สามารถเติมสารออกฤทธิ์ต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อผิวได้

-ข้อเสียของการใช้โฟมล้างหน้า คืออาจจะทำให้ผิวแห้งตึงเนื่องด้วยมาจากค่าความเป็นกรดต่ำกว่าที่สูงและกระบวนการผลิตที่ยุ้งยากกว่าสบู่ก้อน ราคาสูง [11]



รูปที่ 3 ผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้าในท้องตลาด [11]

2.1.5.1 สารเคมีที่ผสมในโฟมล้างหน้า

โฟมล้างหน้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีจุดประสงค์เพื่อการชำระล้าง จึงจำเป็นต้องใส่สารเคมีที่สามารถจัดสิ่งสกปรกบนผิวหนังได้ อย่างไรก็ตามสารเคมีเหล่านั้นสามารถส่งผลกระทบต่อความระคายเคืองผิวได้เช่นกัน จึงจำเป็นต้องตรวจสอบส่วนผสมหลักในโฟมล้างหน้าของแต่ละยี่ห้อก่อนใช้งาน เพื่อป้องกันอาการไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้นกับผิวหนังซึ่งมีดังนี้

2.1.5.1.1 กลุ่มสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารสำคัญในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทุกชนิด เพราะมีคุณสมบัติในการนำพาสิ่งสกปรกและไขมันให้หลุดออกได้ง่ายขึ้น ซึ่ง สารลดแรงตึงผิวที่สามารถสร้างความระคายเคืองให้กับผิวหนังได้มากที่สุดคือ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ อย่าง Sodium lauryl sulfate (SLS) เพราะนอกจากจะทำให้ปริมาณฟองจำนวนมากแล้ว ยังมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดได้รุนแรง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอาการแพ้ได้ในบางคน ดังนั้นหากมีผิวบอบบางแพ้ง่ายควรหลีกเลี่ยง

สารลดแรงตึงผิวอีกประเภทหนึ่งนิยมนำมาใช้ในโฟมล้างหน้าคือ Cocamidopropyl Betaine ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวสองประจุ นั่นพบว่าทำให้เกิดการระคายเคืองน้อยที่สุดและทำให้เกิดฟองน้อย แต่หากใช้ในปริมาณมากเกินไปอาจก่อให้เกิดอาการแพ้ได้ เพราะความรุนแรงจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารในผลิตภัณฑ์และระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์สัมผัสร่างกาย

2.1.5.1.2 กลุ่มสารที่เป็นส่วนประกอบของสบู่

การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ล้างหน้า ควรเลือกให้มีความเป็นกรด – ต่างใกล้เคียงกับผิวหน้า ซึ่งโฟมล้างหน้ามีความเป็นต่างมากเกินไป ซึ่งกลุ่มสารที่เป็นส่วนประกอบของสบู่ ได้แก่ Potassium Hydroxide และ Sodium Hydroxide รวมถึงเบสอื่นๆ ได้แก่ Myristate, Palmitate, Laurate, Oleate, Stearate

การใช้โฟมล้างหน้าที่มีส่วนผสมของกรดไขมัน ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนกับสารในกลุ่มสบู่ ได้แก่ Stearic acid, Palmitic acid, Lauric acid, Myristic acid อาจทำให้เกิดอาการแพ้ได้เล็กน้อยในกลุ่มคนที่ไวต่อสารเคมี รวมทั้งสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดสิวอุดตันได้ด้วย เพราะมีการตกค้างของคราบโคลสบู่ในรูขุมขนได้

2.1.5.1.3 สารในกลุ่มแอลกอฮอล์และน้ำหอม

แอลกอฮอล์ในเครื่องสำอางสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กลุ่มที่ติดผิวและกลุ่มที่สร้างความระคายเคือง หลีกเลี่ยงกลุ่มสารที่สร้างความระคายเคืองหรือกลุ่มที่ใช้ฆ่าเชื้อ ได้แก่ Alcohol Denat, Benzyl Alcohol เพราะสามารถทำให้เกิดการผิวยระคายเคืองผิว รวมทั้งทำให้ผิวสูญเสียน้ำและแห้งขึ้น ซึ่งนำไปสู่อาการแพ้หรือระคายเคืองได้ ส่วนคนที่มีแนวโน้มแพ้ น้ำหอมในเครื่องสำอาง ควรหลีกเลี่ยง โฟมล้างหน้าที่มีส่วนผสมของ Perfume, Fragrance เพราะอาจก่อให้เกิดอาการแพ้หรือระคายเคืองได้

2.2 การเกิดประกายมุกในผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการตกผลึกของกรดไขมัน

เนื้อของผลิตภัณฑ์โฟมล้างหน้าที่ได้หลังจากทำปฏิกิริยานั้นจะมีความมันเงา เนื้อวาว ซึ่งเกิดระหว่างการเย็นตัวของผลิตภัณฑ์และสามารถเกิดได้ภายในข้ามคืน โดยการเกิดประกายมุกเกิดจากการก่อตัวของผลึกเกลือของกรดไขมัน เกิดการสะท้อนและหักเหของแสง [12] จึงทำให้เกิดความเงา นี้เรียกว่าเป็นกระบวนการตกผลึกของกรดไขมัน ตัวอย่างดังรูปที่ 4 แสดงลักษณะของผลึกโซเดียมสเตียเรท ชนิด Alpha 1-1



รูปที่ 4 Alpha 1-1 Acid sodium stearate 10x [12]

2.2.1 การตกผลึกของไขมันหรือน้ำมัน

การตกผลึกมีความสำคัญทางอุตสาหกรรม เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่จัดจำหน่ายในรูปของผลึก ซึ่งกระบวนการตกผลึกเป็นกระบวนการเกิดของแข็งภายใต้วัฏภาคที่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดของแข็งในสภาวะไอ เช่น การเกิดหิมะ หรือเป็นอนุภาคของแข็งในสารละลายหลอมเหลว เช่น การตกผลึกของไขมัน หรือการแช่แข็งของน้ำไปเป็นของแข็งในสารละลายหลอมเหลว การตกผลึกจัดเป็นกระบวนการแยกของแข็ง-ของเหลว เช่น การตกผลึก เพื่อแยกเอาส่วนประกอบที่มีจุดหลอมเหลวสูงออกจากน้ำมันเพื่อให้ไม่แข็งเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดมีส่วนผสมของไตรกลีเซอไรด์ที่แตกต่างกันผสมอยู่หลายชนิดขึ้นกับชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในไขมันและน้ำมัน ทำให้น้ำมันและไขมัน มีจุดหลอมเหลวและจุดเยือกแข็งที่เป็นช่วงอุณหภูมิของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบ โดยการตกผลึกในลักษณะสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันจะส่งผลให้การพัฒนาสภาพของนิวเคลียสแตกต่างกันทำให้ได้ผลึกที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันด้วย เช่น ขนาดผลึกที่เกิดขึ้นและอุณหภูมิของการหลอมเหลวซึ่งคุณสมบัติทั้งสองนี้มีผลอย่างมากต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏในผลิตภัณฑ์ [13]

เมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical) ของไขมันและน้ำมัน ก็จะต้องกล่าวถึงพฤติกรรมตกผลึก การตกผลึกจะเกิดในสภาวะที่ไขมันหรือผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของไขมันชนิดนั้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว โดยสามารถแบ่งเหตุการณ์ออกเป็นสามส่วนคือ การเกิดนิวเคลียส การโตของผลึก และการเปลี่ยนรูปร่างของผลึก [15]

2.2.2 กระบวนการตกผลึก

กระบวนการตกผลึกมีขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.2.1 การเกิดนิวเคลียส (Nucleation)

กระบวนการตกผลึกทั้งหมดเริ่มโดยโมเลกุลแต่ละโมเลกุลมารวมตัวกันเกิดเป็นโมเลกุลที่เป็นกลุ่มก้อน (Molecular clusters) ซึ่งในกรณีของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในรูปของเหลวจะมีการตกผลึกโดยโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จำนวนมากรวมตัวกันเป็นกลุ่มหรือที่เรียกว่า คลัสเตอร์ (Cluster) ถ้าองค์ประกอบมีความเสถียรหรือเมื่อคลัสเตอร์มีการโตถึงขนาดวิกฤต นิวเคลียสของผลึกก็จะมีการสร้างรูปแบบขึ้น ทำให้มีนิวเคลียสของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้นจำนวนมากและจะเข้าสู่กระบวนการต่อไปคือการโตของผลึก[14]

2.2.2.2 การโตของผลึก (Crystal growth)

การโตของผลึกเป็นกระบวนการแพร่ที่เกิดขึ้นบนผิวของของแข็งที่กำลังมีการโตเป็นผลึก โมเลกุลจะแพร่ผ่านวัฏภาคที่เป็นของเหลวไปยังผิวหน้าของผลึกที่กำลังโต อัตราการเกิดของผลึกหนึ่งๆ ในสารละลายขึ้นกับการถ่ายเทของโมเลกุลของตัวถูกละลายไปยังผิวของผลึกและกลไกการเกาะติดที่ผิว การคนสารละลายระหว่างการตกผลึกจะช่วยลดอิทธิพลของการถ่ายเทของสารไปยังผิวของผลึก แต่ถึงแม้ว่าไม่มีการกวนระหว่างการตกผลึก การถ่ายเทสารไปที่ผิวก็มีไม่เพียงพอที่เป็นตัวกำหนดอัตราการโตของผลึกในขั้นตอนการโตของผลึกจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบโครงสร้างของผลึก โดยถ้าน้ำมันถูกลดอุณหภูมิลง โดยที่อัตราการโตของผลึกช้ากว่าอัตราการเกิดนิวเคลียส จะทำให้ได้ผลึกจำนวนมากและมีขนาดเล็ก ในทางกลับกัน ถ้าน้ำมันถูกทำให้เย็นด้วยอัตราการลดลงของอุณหภูมิ

สูง โดยที่อัตราการเกิดนิวเคลียสช้ากว่าอัตราการโตของผลึก จะทำให้ได้ผลึกจำนวนน้อยและมีขนาดใหญ่

2.2.2.3 การเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างของผลึก (Transformation)

กระบวนการสุดท้ายของการตกผลึกคือ การเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างของผลึก ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นช้ากว่าการเกิดนิวเคลียสของผลึกและการโตของผลึกปัจจัยที่มีความสำคัญ 2 ประการ ที่ใช้ในการพิจารณาแบบของผลึก คือ สภาวะการเกิดรูปแบบโครงสร้างของผลึก (Polymorphism) และองค์ประกอบของผลึกภายใต้สภาวะในอุดมคติการโตของผลึกของไตรกลีเซอไรด์แต่ละโมเลกุลจะเกิดขึ้นภายในโครงสร้างผลึก อย่างไรก็ตามภายใต้สภาวะปกติไม่ค่อยพบการโตของผลึกไตรกลีเซอไรด์ภายในโครงสร้างผลึก แต่การโตของผลึกจะพบมากบริเวณผิวหน้าของโครงสร้างผลึก หากการโตของผลึกเกิดขึ้นเพียงบางส่วน จะทำให้เกิดรูปแบบโครงสร้างของผลึกที่ไม่เสถียร ต่อมาภายหลังผลึกอาจจะเกิดการละลายและเกิดการตกผลึกอีกครั้ง (recrystallization) ในรูปแบบโครงสร้างผลึกที่เสถียรกว่า ถ้ารูปแบบและองค์ประกอบของผลึกไม่เสถียร ผลึกจะถูกละลายอย่างสมบูรณ์และมีการโตของผลึกเริ่มขึ้นอีกครั้ง การเปลี่ยนรูปร่างจะหยุดเมื่อผลึกทั้งหมดมีรูปแบบโครงสร้างและองค์ประกอบที่เสถียรทั้งคู่ [14]

2.2.3 ประเภทและคุณสมบัติของผลึก

คำว่า Polymorphism มาจากภาษากรีกแปลว่า “many form” คือ การเกิดผลึกหลายรูปแบบ การเกิดสภาวะโครงสร้างของผลึกที่มีหลายรูปแบบโครงสร้างนี้เกิดจากการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ไขมันเกาะตัวกันอย่างรวดเร็วเป็นผลทำให้ผลึกที่เกิดขึ้นมีพลังงานสูง แต่มีความคงตัวต่ำ จึงสามารถที่จะมีโอกาสเกิดการจัดเรียงตัวใหม่กลายเป็นผลึกรูปแบบโครงสร้างต่างๆ ที่มีพลังงานต่ำและมีความคงตัวสูงกว่าเพื่อความเสถียรของผลึก

โดยทั่วไปผลึกของไขมันมี 3 รูปแบบโครงสร้างหลัก คือ เอลฟา (α) เบต้า-ไพรมท(β') และเบต้า (β) โดยรูปแบบ α มีพื้นฐานเป็นรูปทรงหกเหลี่ยม (Hexagonal) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำและมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิสูง รูปแบบโครงสร้างผลึกแบบ α นี้ มีจุดหลอมเหลวต่ำสุดทำให้ไม่เสถียรที่อุณหภูมิห้อง โดยส่วนใหญ่รูปแบบโครงสร้าง α มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างหลวมๆ ทำให้มีความหนาแน่นน้อย รูปแบบโครงสร้างผลึกแบบที่ 2 คือ รูปแบบโครงสร้าง β' ซึ่งมีพื้นฐานเป็นรูปทรงมุมฉาก (Orthorhombic) โดยอาจเกิดจากการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วหรืออาจเกิดจากการที่รูปแบบโครงสร้าง α หลอมเหลวที่อุณหภูมิห้องแล้วเปลี่ยนมาเป็นรูปแบบ β' ส่วนรูปแบบผลึกแบบที่ 3 คือ รูปแบบโครงสร้าง β ซึ่งมีพื้นฐานเป็น Triclinic เกิดจากการลดลงของอุณหภูมิที่ช้ามาก หรืออาจเกิดจากการที่รูปแบบโครงสร้าง β' หลอมเหลวแล้วเปลี่ยนมาเป็นรูปแบบโครงสร้าง β ซึ่งรูปแบบผลึกแบบโครงสร้าง β นี้ มีขนาดของผลึกใหญ่และผลึกมีความคงตัวมาก โดยมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกันอย่างใกล้ชิด ทำให้มีความหนาแน่นมาก และมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ารูปแบบโครงสร้าง α และรูปแบบโครงสร้าง β' [15] โดยผลึกแต่ละรูปแบบโครงสร้างนั้นก็จะมีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จุดหลอมเหลวของผลึกรูปแบบต่างๆ

Polymorphic forms	Melting Point (°C)
Delta	86.7-88.3
Alpha	90.0-91.7
Beta	94.4-95.0
Gamma	98.9-101.7

2.2.4 เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์การตกผลึก

สำหรับการศึกษานี้พฤติกรรมการตกผลึกของไขมันและน้ำมันสามารถทำได้หลายวิธีด้วย ซึ่งเทคนิคการวิเคราะห์ที่นิยมใช้กัน เช่น การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC), การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) และการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของผลึกโดยการใช้ภาพถ่ายจาก Polarized Light Microscopy (PLM) สำหรับในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ดังนี้

2.2.4.1 การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงทิศทางเดียว (Polarized Light Microscope) เป็นการประยุกต์ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบให้ภาพพื้นดำ (Dark field microscopy) โดยการตัดแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้ลำแสงที่ส่องผ่านวัตถุมีเพียงทิศทางเดียว ซึ่งจะให้ภาพของวัตถุบนพื้นสีดำ เป็นเทคนิคที่เพิ่มความคมชัดของการแสดงภาพ สามารถแยกความแตกต่างของภาพได้ดีกว่า และมีต้นทุนในการวิเคราะห์ต่ำ โดยการแสดงภาพวัตถุด้วยแสงซึ่งไม่ถูกรวบรวมโดยเลนส์วัตถุ ทำให้เห็นวัตถุที่มีความสว่างบนพื้นสีดำ ซึ่งภาพพื้นสีดำจะปรากฏในทิศทางตรงข้ามกับภาพพื้นขาว โดยภาพพื้นขาวแสงจากภายนอกที่เกี่ยวข้องจะทำให้เห็นเงาทอดลงบนผิวของวัตถุ หรือหากบางส่วนของพื้นผิวมีหลุมหรือรอยขีดข่วนจะทำให้การสะท้อนกลับของแสงต่ำลง ดังนั้นการที่ลักษณะพื้นผิวของวัตถุราบเรียบมากขึ้นจะทำให้เกิดเงาบนภาพพื้นขาว ในขณะที่ในภาพพื้นดำแสงจะสะท้อนออกจากด้านข้างของวัตถุที่มีความสว่าง โดยประกอบไปด้วยส่วนของ Polarizer ที่ทำหน้าที่ในการทำให้แสงที่ทิศทางเดียว โดยแสงเมื่อออกจากแหล่งกำเนิดแสงจะเดินทางผ่านแผ่นตัดแสงซึ่งจะตัดแสงบางส่วนออก จากนั้นเลนส์รวมแสงจะรวบรวมแสงที่เหลือส่องผ่านวัตถุ โดยแสงเกือบทั้งหมดทะลุวัตถุ มีบางส่วนที่เกิดการสะท้อนของจากวัตถุ แสงที่สะท้อนจะผ่านเลนส์วัตถุ ขณะที่แสงส่องผ่านโดยตรงจะไม่ผ่านเลนส์วัตถุ และไม่รวบรวม จึงมีเฉพาะแสงสะท้อนเท่านั้นที่ทำให้เกิดภาพ เพื่อแสดงวัตถุบนพื้นดำ แผ่นทึบแสงจะถูกวางไว้ใต้เลนส์รวมแสงมีเพียงแสงที่สะท้อนเข้าตา แสงจะถูกสะท้อนโดยอนุภาคบนสไลด์แทนการส่องผ่าน ในกล้องจุลทรรศน์เชิงซ้อน แผ่นตัดแสง (Occulting disk) จะถูกวางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและเลนส์รวมแสง โดยการปรับเพิ่มแสงจะช่วยให้เกิดผลที่ดีขึ้น และการหรีช่องกั้นแสงลงช่วยให้ภาพระหว่างวัตถุและพื้นหลังคมชัดขึ้น [16]



รูปที่ 5 กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarized Light Microscope) [17]

2.2.4.2 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer)

ใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อผ่านชั้นต่างๆ ของอะตอมหรือโมเลกุลภายในวัสดุหรือสารตัวอย่างนั้นแล้วทำการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุมต่างๆ โดยนำข้อมูลที่ได้ของสารตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน จะทำให้รู้ถึงโครงสร้างผลึกของวัสดุหรือสารตัวอย่างนั้นๆ ได้ ซึ่งเทคนิคนี้ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง (Non-destructive method) โดยรังสีเอ็กซ์จะเลี้ยวเบนไปตามช่องว่างระหว่างอะตอมภายในผลึก ซึ่งวัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d (d -spacing) ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับธรรมชาติของผลึก ซึ่งในปี ค.ศ.1912 W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดที่ว่า เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบ θ รังสีเอ็กซ์บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อน θ เท่ากับมุมตกกระทบ ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆ ถูกเสนอในรูปของสมการ คือ

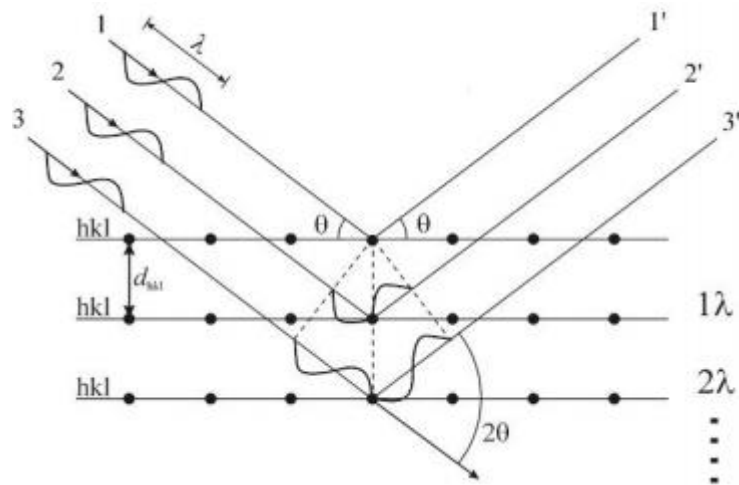
$$2 d \sin\theta = n\lambda$$

หลักการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

1. การวิเคราะห์นี้เป็นการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบของสารตัวอย่างโดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์หรือ XRD เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบบนพื้นผิวของวัสดุแล้วเกิดการกระเจิง (Scattering) และเลี้ยวเบน โดยมุมเลี้ยวเบนจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลึกและระนาบที่รังสีตกกระทบ ดังนั้นเมื่อทราบมุมที่กระเจิงออกมาสามารถตรวจสอบได้ว่าเป็นเฟสของผลึกชนิดใดโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่ามุมแบรกก์ (Bragg's angle) [18]

2. หลักการของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (Principle of x-ray diffraction)

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง สามารถเลี้ยวเบนได้เช่นเดียวกับคลื่นทั่วไป เมื่อรังสีเอ็กซ์ขนานตกกระทบลงบนระนาบผลึก การเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นเมื่อเส้นทางเดินของรังสีทั้งสองต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น จากรูปที่ จะเห็นว่าเมื่อรังสีเอ็กซ์ขนาน 1 และ 2 ตกกระทบทำมุม θ กับระนาบขนานของผลึกซึ่งมีระยะห่างระหว่างระนาบเท่ากับ d



รูปที่ 6 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากระนาบของอะตอม[18]

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

“Bragg’s law” เป็นเงื่อนไขในการเลี้ยวเบนของรังสี

เมื่อ	d	คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ, อังสตรอม (Interplanar, spacing, Å)
	λ	คือ ความยาวคลื่น, อังสตรอม (Wavelength, Å)
	θ	คือ มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์กับระนาบ, องศา
	n	คือ จำนวนเต็ม

ค.2 การหาขนาดของผลึก (Crystallite size)

จากพีครูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์สามารถนำมาคำนวณหาขนาด ของผลึกได้ โดยใช้ Scherrer’s equation

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

เมื่อ	D	คือ ขนาดเฉลี่ยของผลึก
	k	คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.94
	λ	คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์มีค่าเท่ากับ 1.5406 Å
	β	คือ ความกว้างของพีคที่ครึ่งของความเข้มของการสะท้อน (FWHM)

2.2.4.3 เทคนิคการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุ (Differential Scanning Calorimetry : DSC)

วิธีดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) เป็นวิธีวิเคราะห์เชิงความร้อนซึ่งวัดการไหลของความร้อน (heat flow) ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้แก่ จุด หลอมเหลว (melting point) จุดเดือด (boiling point) อุณหภูมิตกผลึก (crystallization temperature) อุณหภูมิสภาพแก้ว (glass transition temperature) อุณหภูมิที่สารสลายตัว (degradation temperature) และค่าความจุความร้อนจำเพาะ (heat capacity) นอกจากนี้ยังใช้ในการระบุปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบดูดความร้อน (endothermic) หรือคายความร้อน (exothermic) วิธีนี้ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย 2 - 10 มิลลิกรัม และใช้ช่วงอุณหภูมิได้ตั้งแต่อุณหภูมิตั้งแต่ 600 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเริ่มต้นอาจเป็น -120 องศาเซลเซียส แล้วแต่อุปกรณ์ทำความเย็น

เครื่อง DSC มีสองประเภท คือ heat flux และ power compensation ชนิด heat flux มีเตาเผาเดียวสำหรับบรรจุภาชนะใส่สารตัวอย่างและ ภาชนะอ้างอิงไว้ด้วยกันซึ่งทำให้ค่าของเส้นพื้น (baseline) ที่เรียบและสม่ำเสมอกว่าชนิด power compensation สำหรับชนิด power compensation มีเตาเผาที่แยกกัน สำหรับภาชนะตัวอย่างและภาชนะอ้างอิงทำให้ได้ อัตราการให้ความร้อนและความเย็นที่มีประสิทธิภาพที่ ดีกว่า เครื่อง DSC ทั้งสองชนิดนี้มีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบที่แตกต่างกันแต่ความถูกต้องในการวัดและ ความไวนั้นไม่แตกต่างกัน

ค่าที่วัดได้จะแสดงเป็น thermogram โดยแกนตั้ง เป็นค่าการไหลของความร้อนและแกนนอนเป็นอุณหภูมิหรือ เวลา ค่าการไหลของความร้อนไม่สามารถวัดได้โดยตรง เหมือนการวัดอุณหภูมิ โดยการวัดค่าการไหลของความร้อน จะใช้เทอร์มอคัปเปิล (thermal couple) วัดอุณหภูมิของตัวอย่างที่อยู่ในภาชนะเปรียบเทียบกับภาชนะอ้างอิงโดย เป็นอัตราส่วนกับค่าต้านทางความร้อน (thermal resistant) การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เครื่องตรวจวัดได้ คือ การหลอมเหลว การตกผลึก การสลายตัว การระเหิด การคลายตัวของพอลิเมอร์การสูญเสียผลึกของตัวทำละลาย การระเหยของสารละลายที่ตกค้าง (น้ำหรือสารละลายอินทรีย์) การเปลี่ยนรูปของพหุสัณฐาน และอุณหภูมิสภาพแก้วซึ่งสารเปลี่ยนจากสภาพของแข็ง เพราะคล้ายแก้วไปเป็นสภาพนุ่มคล้ายยาง แสดง ถึงอุณหภูมิสภาพแก้ว การตกผลึก

การวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยเครื่อง DSC มีปัจจัย ที่เกี่ยวข้องดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. อัตราการให้ความร้อนและการทำความเย็น อัตรา การให้ความร้อนสูงสุดที่นิยมคือ 20 องศาเซลเซียส/นาที ในกรณีเครื่อง hyper-DSC หรือ high speed DSC เป็นเครื่องแบบพิเศษที่มีอัตราการให้ความร้อนได้สูงถึง 500 องศาเซลเซียสต่อนาที สำหรับอัตราการทำความเย็นจะ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ทำความเย็นซึ่งโดยปกติจะมากกว่า 40 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียสแต่เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจะศึกษาใกล้อุณหภูมิต่ำสุดของ อุปกรณ์ทำความเย็น อัตราการหล่อเย็นจะช้าอยู่ที่ประมาณ 5 - 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขีด ความสามารถของอุปกรณ์ดังนั้น ควรศึกษาขีดจำกัด ด้านการให้ความร้อนและทำความเย็นเพราะแต่ละเครื่อง มีขีดความสามารถที่แตกต่างกัน อัตราการให้ความร้อนที่ช้าจะเพิ่มความละเอียด การวิเคราะห์ แต่จะใช้เวลานานขึ้น ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับที่ไม่คงตัวต่อความร้อน

2. น้ำหนักตัวอย่าง การวิเคราะห์ในทางเภสัชกรรม ทัวไป5 จะใช้ตัวอย่าง 3 - 5 มิลลิกรัมที่บดเป็นผงละเอียด เพื่อเพิ่มผิวสัมผัสกับภาชนะบรรจุตัวอย่างในกรณีที่ การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนวิเคราะห์ได้ยาก เช่น การหาอุณหภูมิสภาพแก้วของพอลิเมอร์บางชนิด การเพิ่ม ปริมาณตัวอย่างจะ ช่วยเพิ่มความไวสำหรับการวิเคราะห์ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความจุและชนิดของภาชนะบรรจุควบคู่ ไป ด้วย

3. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง วัสดุที่นำมาใช้เป็นภาชนะ บรรจุตัวอย่าง ได้แก่ ทองคำ ควอทซ์ อะลูมิเนียม วัสดุ เหล่านี้มีสมบัติในการนำความร้อนที่ดีและไม่เกิดปฏิกิริยา กับตัวอย่าง ภาชนะบรรจุ ตัวอย่างประกอบด้วยฝาปิดและ ตัวภาชนะ ภาชนะบรรจุตัวอย่างมีหลายแบบ เช่น ภาชนะ บรรจุ ตัวอย่างแบบฝาเปิด (opened pan) แบบมาตรฐาน (standard pan) และแบบปิดสนิท (hermetic pan) ใน การวิเคราะห์ภาชนะอ้างอิง (reference pan) และภาชนะ บรรจุตัวอย่างควรให้มีน้ำหนัก ไกล่เคียงกันมากที่สุดหรือ ควรมีน้ำหนักที่เท่ากัน

4. ชนิดและอัตราเร็วของก๊าซเฉื่อยเครื่องมือทำงาน ภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจนหรือ ฮีเลียม ก๊าซฮีเลียมมี การนำความร้อนที่ดีกว่าไนโตรเจน ทำให้ได้ผลการ วิเคราะห์ที่ละเอียดกว่า แต่ ข้อเสียคือจะมีสภาวะสมดุลช้ากว่าระบบที่ใช้ก๊าซไนโตรเจนหลังจากเปิดเตาสู่บรรยากาศ ปกติเพื่อ บรรจุตัวอย่าง เนื่องจากความต่างของการนำ ความร้อนของบรรยากาศปกติและฮีเลียมในระหว่างการ วิเคราะห์ การให้ก๊าซเฉื่อยเข้าในระบบในอัตราที่เหมาะสม จะสามารถช่วยไล่สารระเหยที่เกิดจาก กระบวนการให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างไม่ให้ไปเกาะกับเซ็นเซอร์วัด อุณหภูมิ นอกจากนี้ยังป้องกันการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน โดยทั่วไปอัตราเร็วของก๊าซเฉื่อยขึ้นอยู่กับ ลักษณะการใช้งานและรุ่นของเครื่อง โดยทั่วไปใช้ประมาณ 15 - 50 มิลลิลิตรต่ออนาที

5. ความละเอียดของการเก็บข้อมูลความละเอียด ของ thermogram ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ เครื่องบันทึก โดยเฉพาะเมื่ออัตราการให้ความร้อนที่สูงอุณหภูมิจะ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงควรเพิ่มความละเอียดในการเก็บ ข้อมูลให้ถี่มากขึ้น เช่น 10 จุดต่อ 1 วินาทีสำหรับอัตรา การให้ความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียสต่ออนาที หรือเก็บ ข้อมูล 1 จุดต่อ 1 วินาทีสำหรับอัตราการให้ความร้อนต่ำ เช่น 1 องศาเซลเซียสต่ออนาที [19]

2.3 การทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง (Stability of a cosmetic product)

การทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาจริงหรือภายใต้สภาวะเร่ง ผู้ผลิตจำเป็นต้อง ทำการทดสอบเพื่อให้มั่นใจว่า

- ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมีความคงตัวและความสมบูรณ์ทางกายภาพ เมื่อจัดเก็บภายใต้สภาวะ ที่เหมาะสมทั้งระหว่างการขนส่งและตลอดช่วงอายุการใช้งาน
- มีความคงตัวทางเคมี
- มีความคงตัวทางจุลชีววิทยา
- มีความเข้ากันได้ระหว่างเนื้อผลิตภัณฑ์กับบรรจุภัณฑ์

นอกจากนี้ผู้ผลิตควรคำนึงถึงวิธีการผลิตให้เหมาะสมกับสูตรแต่ละประเภท เลือกเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องในการประเมิน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะประเมินตามประสบการณ์หรือใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นมาใช้ร่วมกับการพิจารณา เนื่องจากเครื่องสำอางค่อนข้างมีความหลากหลายและซับซ้อน จึงไม่สามารถกำหนดมาตรฐานของการทดสอบความคงตัว ผู้ผลิตควรมีความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่แม่นยำ สามารถปรับเปลี่ยนการทดสอบให้เหมาะสมโดยใช้หลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์มาเกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้วิธีประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ ดังนั้นอาจจะต้องมีการพัฒนาวิธีการทดสอบโดยใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ มาเกี่ยวข้องเพื่อทำนายอายุผลิตภัณฑ์ และกำหนดสถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมีอายุการจัดเก็บที่นานขึ้น

2.3.1 ความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางภายใต้สภาวะเร่ง

การทดสอบภายใต้สภาวะเร่งพัฒนาขึ้นเนื่องจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางนั้นเป็นวงจรที่ค่อนข้างสั้น แต่จะต้องสามารถทำนายความคงตัวของผลิตภัณฑ์ได้ วิธีการที่เป็นที่ยอมรับคือ การคาดการณ์โดยการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่สภาวะเร่งเทียบกับที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงสูตรผลิตภัณฑ์และวิธีการผลิตให้เหมาะสมกับสูตรนั้นๆ ได้เร็วขึ้น เพื่อให้ได้มาของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการ

2.3.2 ความคงตัวของสูตรและการทดสอบ

เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางแต่ละประเภท ผู้ทดสอบหรือผู้ที่ทำหน้าที่ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ต้องมีความเข้าใจผลิตภัณฑ์และวิธีการใช้งานที่ถูกต้อง โดยขั้นตอนแรกผู้ทดสอบจะต้องมีการสังเกตว่าลักษณะทางกายภาพหรือคุณสมบัติทางเคมีของเนื้อผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี : เกิดการแยกชั้น, การตกตะกอน, การรวมตัว, การขยายตัว, การเกิดเหม็น, การก่อตัวเป็นเนื้อเจล, เนื้อไม่เนียนสม่ำเสมอ, เนื้อเกิดการแข็งตัว, เกิดการแตกร้าว เป็นต้น
- การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ : มีการเปลี่ยนสี, สีซีดจาง, สีเปลี่ยน, กลิ่นเปลี่ยน, การตกผลึก เป็นต้น

ปรากฏการณ์เหล่านี้นอกจากกระทบต่อการใช้งานแล้ว ยังทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์ไม่สวย อีกทั้งยังทำให้ภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์เสียหายได้ โดยปกติแล้วทางผู้ผลิตจะต้องรับประกันคุณภาพของเครื่องสำอางตลอดอายุการใช้งานจนกว่าผู้บริโภคจะใช้หมด เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการใช้ผลิตภัณฑ์

2.3.3 การทดสอบโดยทั่วไป (General preservation tests)

2.3.3.1 Temperature stability test

วิธีการนี้เป็นการนำเครื่องสำอางไปทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป

- การทดสอบอุณหภูมิ (Test temperature) : -10°C , -5°C , 0°C , 25°C , อุณหภูมิห้อง, 30°C , 37°C , 40°C , 50°C , 60°C เป็นต้น การเลือกอุณหภูมิที่จัดเก็บตัวอย่างจะพิจารณาจากลักษณะและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ต้องเลือกให้เหมาะสมที่สุด

- ระยะเวลาการเก็บรักษา (Preservation period) : 1 วันถึง 1 เดือน, 2 เดือน, 6 เดือน, 1-3 ปี เป็นต้น การเลือกช่วงเวลาจะเลือกตามวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบผลิตภัณฑ์และต้องเหมาะสมต่อลักษณะการใช้งานมากที่สุด

- รายการที่สังเกต (Observed items) : การเปลี่ยนแปลงรูปลักษณ์ภายนอก (การเปลี่ยนสี, สีซีดจาง, ความไม่สม่ำเสมอของสี, สารแปลกปลอม, รอยขีดข่วน (Scratching), วัสดุแขวนลอย (Suspended materials), การแยก (Separation), การตกตะกอน (Sedimentation), เหงื่อออก (Sweating), การบวมตัวตลก, การตกผลึก (Crystallization), การแตก (Cracking), การเกิดเจล (Gelling), การโปร่งแสง (Transparency), ความมันวาว (Luster), Caking, การหดตัวลง (Subsiding), Capping, Pin holing, การเติมอากาศ (Aeration), การเจริญเติบโตของเชื้อรา (Mold growth) เป็นต้น; การเปลี่ยนแปลงของน้ำหอม : การสังเกตโดยตรง, การถ่ายโอนของกลิ่นผ่านภาชนะ, การใช้งาน

- การตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือวัดทั่วไป

- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) : pH meter
- ความแข็ง (Hardness) : Olsen hardness meter, Rheometer เป็นต้น
- ความหนืด (Viscosity) : Viscometer
- ความขุ่น (Transparency) : Integrated spherical turbidity meter, Concentrated light source method
- ขนาดอนุภาค (Particle diameter) : Microscope, Colter counter, Grind meter
- จุดอ่อนตัว (Softening point) : Web rode method, Boiling method
- การระเหยของน้ำ (Water evaporation) : Desiccation method, Karl Fisher method, Evaporation method

- การประเมินผล (Evaluation) : ข้อมูลสำหรับรายการข้างต้นจะถูกบันทึกในเวลาที่เกิดความผิดปกติขณะทำการสังเกตตัวอย่าง สามารถใช้เป็นข้อเสนอแนะในการออกแบบสูตรผลิตภัณฑ์ได้โดยทั่วไปแล้วการสังเกตสภาพความคงตัวของผลิตภัณฑ์ถูกกำหนดให้มีวิธีการประเมินที่เป็นมาตรฐานแล้ว เช่น Five point และวิธีการบ่งชี้ในแบบประเมิน O (Good), X (Bad) เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อเวลาและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปบ่งบอกถึงการเกิดเจลของอิมัลชัน ในขณะที่การ

เปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคจะบ่งบอกถึงสถานะของการรวมกัน (Coalescence), การเกิดครีม (Creaming), และการแข็งตัว (Coagulation) ข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้ผู้คิดค้นผลิตภัณฑ์ขึ้นมาใหม่สามารถสร้างสมดุลในสูตร ทำให้สูตรผลิตภัณฑ์นั้นมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น จุดสังเกตที่สำคัญที่ใช้ในการตรวจติดตามความคงตัวของผลิตภัณฑ์รวมถึงการทดสอบ การเก็บที่สภาวะเร่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างมากในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพ วัสดุ และภาชนะที่ใช้ในการทดสอบการเก็บรักษาจะต้องมีการใช้ภาชนะบรรจุที่เหมือนกันกับที่จะวางขาย ในห้องตลาดด้วย จุดสำคัญอีกประการหนึ่งคือการพิจารณาจากปริมาณการใช้งานเครื่องสำอางจริง และเพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและมีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดอายุการใช้งาน

2.3.3.2 การทดสอบโดยใช้แสง Photo-stability tests (Light resistance)

เครื่องสำอางเมื่อนำไปวางจำหน่ายในร้านค้ามักจะสัมผัสกับแสงที่แตกต่างกันตามการจัดวาง อาจถูกแสงแดดโดยตรงหรือแสงประดิษฐ์ที่เป็นระยะเวลาต่างๆ ยกเว้นในบางกรณีเครื่องสำอาง อาจจะไม่ถูกแสงโดยตรง ดังนั้นการถ่ายภาพความคงตัวของผลิตภัณฑ์จึงเป็นการทดสอบที่สำคัญมาก อีกหัวข้อหนึ่งสำหรับการทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์และในปัจจุบันมีการใช้วิธีการต่อไปนี้เพื่อทดสอบและรับประกันความคงตัวของผลิตภัณฑ์โดยใช้แสงร่วมด้วย

- การทดสอบการรับแสงกลางแจ้ง (Outdoor sunlight exposure test) แม้ว่าจะไม่มีการทดสอบแบบมาตรฐานแต่มีการสังเกตความเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เป็นเวลาหลายวัน หลาย สัปดาห์และหลายเดือน การกำหนดระยะเวลาจะขึ้นกับความเหมาะสม
- การทดสอบการรับแสงในร่ม (Indoor artificial light exposure test) เนื่องจากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะกลางแจ้งยากต่อการควบคุม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล การเกิดฝน การเกิดฝนหิมะและหมอกหรืออีกหลายกรณี จึง ต้องมีการทดสอบโดยใช้แสงประดิษฐ์ที่มีสเปกตรัมใกล้เคียงกับแสงแดดธรรมชาติวิธีการทั่วไปจะใช้ เครื่องวัด Xenon fade meter
- การทดสอบการรับแสงฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent light exposure test) การทดสอบนี้การกำหนดระยะเวลาขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานเครื่องสำอางมักจะสัมผัสกับแสงจาก หลอดฟลูออเรสเซนต์อย่างน้อยเพียงใด หรือคำนวณจากจำนวนชั่วโมงของแสงใน 1 วันและสังเกตการ เปลี่ยนสีตามจำนวนวันที่ติดตาม[20]

2.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพและประสิทธิผล (General performance and effectiveness tests)

- สำหรับเครื่องสำอางบำรุงผิว (Skin care) การเปลี่ยนแปลงผิวสัมผัส (Texture) เช่น ความสามารถในการขยาย (Extensibility) และความเหนียว (Stickiness), ความเงาวาว, ความสามารถในการทำความสะอาด, ความสามารถในการเกิดฟอง เป็นสิ่งสำคัญ
- สำหรับเครื่องสำอางประเภทแป้ง (Powder-type make up) ในเรื่องคุณภาพการ ติดทน (Lasting quality), การปกปิด, สีที่ใช้ มีความสำคัญในขณะที่เครื่องสำอางเฉพาะจุด เช่น ยา ทาเล็บ ลิปสติค ให้ความสำคัญกับคุณภาพด้านการยึดเกาะ (Adhesion peeling), ความมันวาว

(Luster), ความสามารถในการแห้ง (Drying speed), การติดทนนาน, การให้สี (Coloring ability), Water resistance, Oil resistance เป็นสิ่งสำคัญ

- ในผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม (Hair cosmetics) การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง Setting และ Waving ability จะส่งผลกระทบต่อผมมันวาว การทำสี การฟอกสี ความสามารถในการกำจัดขน มีความสำคัญเป็นอย่างมาก

การทดสอบดังกล่าวจะประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะข้างต้นของผลิตภัณฑ์แต่ละกลุ่มและผลลัพธ์จะทำให้ได้มาซึ่งสูตรที่ดีที่สุด มีการเลือกใช้วัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุด มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีความเข้มข้นที่ดีที่สุด

2.3.5 การทดสอบความคงตัวที่สภาวะเร่ง (Special accelerated Stability tests)

การทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจะต้องสามารถรับประกันความคงตัวของเครื่องสำอางจนกว่าผู้บริโภคจะหยุดใช้หรือใช้หมด ด้วยเหตุนี้จึงมีขั้นตอนการทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะเร่งต่างๆ ที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อรับประกันคุณภาพของเครื่องสำอางตลอดระยะเวลาของการใช้งาน สำหรับการประเมินไม่เพียงแค่ทดสอบเดียว แต่ประเมินผลิตภัณฑ์โดยใช้การทดสอบร่วมกันหลายแบบ วิธีการประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์นั้นนอกจากจะใช้ประเมินความคงตัวของสูตรพื้นฐานแล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้ในกลุ่มสินค้ายารักษาโรคได้อีกด้วย

จากมุมมองด้านประสิทธิภาพการวิจัย รวมถึงการประกันคุณภาพสำหรับการใช้งานในฟังก์ชันต่างๆ และการทดสอบความคงตัวของเครื่องสำอางต่างๆ ได้รับการพัฒนาและดำเนินการดังนี้

2.3.5.1 การทดสอบโดยใช้อุณหภูมิและความชื้น (Temperature and humidity combination test) การทดสอบความคงตัวที่สภาวะเร่งจะดำเนินการโดยใช้อุณหภูมิและความชื้นต่างๆ เช่น อุณหภูมิ 37°C – 50°C และความชื้น 75-98%

2.3.5.2 การทดสอบอุณหภูมิตามวัฏจักร (Cyclical temperature tests) การทดสอบนี้ไม่ได้ดำเนินการที่อุณหภูมิและความชื้นคงที่ เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแบบรายวันและทั้งปี อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละวันจะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ หลายครั้ง[21]

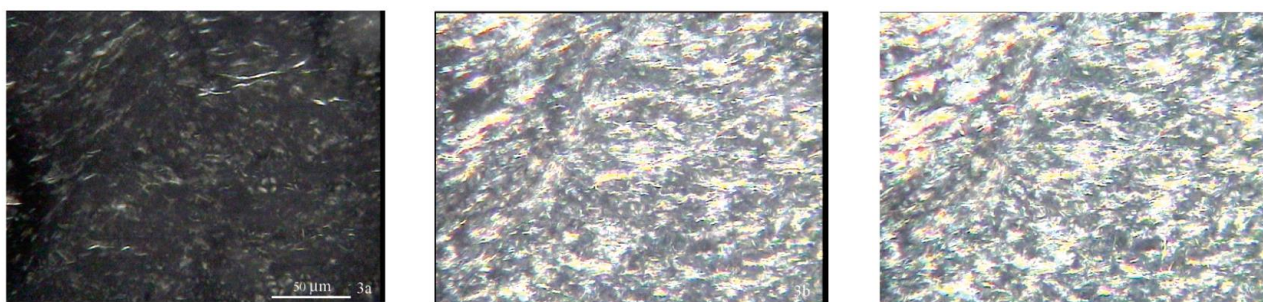
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. Zhu และคณะศึกษาผลึกของกรดสเตียริกที่ถูกทำให้เป็นกลางบางส่วนกับไตรเอทานอลามีน (TEA) ถูกเตรียมโดยการผสมวัสดุทั้งสองนี้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C แล้วทำให้เย็นลง โดยมีระดับการทำให้เป็นกลาง ที่ 5, 13, 20, 25, 33, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90, และ 100% โดยโครงสร้างองค์ประกอบผลึกและพฤติกรรมการหลอมละลายของผลิตภัณฑ์ถูกวิเคราะห์โดยใช้ Wide-angle X-ray diffraction, Thermal analysis, Microscopy และ Infrared spectroscopy พบว่าที่อัตราส่วน 2: 1 คงที่ Stoichiometric ratio ทำให้เกิด Acid-soap complex พบโครงสร้างผลึก Lamellar สองชั้นที่ระยะทางทำซ้ำ 52.2-\AA จากตารางผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสำหรับกรดสเตียริกที่ความเป็นกลางที่แตกต่างกัน พบว่าที่ระดับการทำให้เป็นกลางที่ 70%, 100% เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิพบโครงสร้างผลึกเกิดขึ้น [22]

TABLE 1: Crystal Structural Changes with Increasing Temperature for Stearic Acid at Different Neutralizations^a

neutralization temperature	0%	20%	33%	70%	100%
High	isotropic liquid	isotropic liquid	isotropic liquid	isotropic liquid	isotropic liquid
↑				lamellar liquid crystal	lamellar liquid crystal
				soap(s) + acid soap(s) + lamellar liquid crystal	soap(s) + lamellar liquid crystal
Low	acid(s)	acid(s) + acid soap(s)	acid soap(s)	acid soap(s) + soap(s)	soap(s)

S. Zhu และคณะศึกษาการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดสเตียริกและไตรเอทานอลามีน (TEA) ในอัตราส่วน 2: 1 โดยเตรียมไตรเอทานอลามีน (TEA) กับน้ำที่อุณหภูมิ 80°C จากนั้นนำไปทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นวิเคราะห์โครงสร้างของตัวอย่างระหว่างการเก็บเป็นเวลา 3 เดือน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แสง, Cryo-SEM, DSC, pH, FTIR, การวิเคราะห์องค์ประกอบและการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เรย์ (XRD) แบบมุมกว้างและเล็ก พบว่าภาพลักษณ์โดยรวมของกลุ่มตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เริ่มต้นเนื้อจะมีลักษณะเป็นเจลโปร่งแสงในเวลาไม่กี่ชั่วโมงมันก็กลายเป็นสีขาว ผลึกแข็งที่มีลักษณะของไข่มุกปรากฏชัดเจนจากผ่านไป 5 ชั่วโมง



รูปที่ 7 Polarized light micrographs ของตัวอย่างที่ทำการเก็บที่อุณหภูมิห้องเวลาผ่านไป

(a) 0, (b) 3, (c) 24h [23]

จากนั้นตัวอย่างค่อย ๆ แยกออกเป็นสองชั้นตอนและหลังจากนั้นสองสามสัปดาห์จะมีการแยกวัฏภาคของเหลวอย่างชัดเจนและวัฏภาคผลึกแข็งไข่มุก ในส่วนการทำความเย็นสบู่มีการเปลี่ยนโครงสร้างจาก Lamellar เปลี่ยนเป็น Lamellar gel และกลายเป็นอนุภาคทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่กี่ไมครอน โดยผลึกกรดสเตียริกที่เป็นผลิตภัณฑ์นั้นมีลักษณะเป็นประกายมุกที่ชัดเจน [23]

Simona Bernecke และคณะ ได้มีการอธิบายวิธีการใหม่ที่มีความถูกต้องและสามารถเชื่อถือได้ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดองค์ประกอบเชิงปริมาณและคุณภาพของกรดไขมันอิสระในตัวอย่างของสบู่ซักผ้าและสบู่ในห้องน้ำ โดยการทำให้ Silylation เป็นวิธีการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระในสบู่โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟีโดยใช้แอมโมเนียมซิลิเพตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวแทนตัวเร่งปฏิกิริยา Silylating Hexamethyldisilazane (HMDS) และใช้ตัวทำละลายเป็นคลอโรฟอร์ม และวิธีการตรวจสอบความถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างสบู่ที่มีคุณภาพแตกต่างกันสี่ตัวอย่าง ปริมาณกรดไขมันอิสระในสบู่มีค่าอยู่ระหว่าง 1.24 ถึง 5.09% วิธีนี้สามารถนำไปใช้กับการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันอิสระในตัวอย่างสบู่ที่แตกต่างกันได้ [24]

Matthew และคณะได้ทำการศึกษาคาร์บอกซิลิกแอซิด Palmitic acid ความบริสุทธิ์ 98% ในการเตรียม Acids soap โดยกรดไขมันถูกสะเทินด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1M จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่ 90°C และทำให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้ XRD พบระยะห่างสั้น ๆ ของพีคที่สังเกตมีความคล้ายคลึงกับผลึก β ของไขมันและน้ำมัน ภายในบรรจุด้วยสายโซ่เป็น Orthorhombic, FTIR-ATR ซึ่งให้เห็นว่ามีกลุ่มที่มีกรดเหมือนกรดคาร์บอกซิลิกอยู่ที่ 1760 cm^{-1} จากกราฟแสดงให้เห็นว่าสายโซ่มีการจัดเรียงแบบตั้งฉากสอดคล้องกับข้อมูล X-ray DSC พบว่าผลึกทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นของเหลวไอโซโทรปิกที่อุณหภูมิ 85°C [25]

Wenlong Xu และคณะ ศึกษาโครงสร้างแบบ Bilayer ของ Fatty acid soap ซึ่ง pH มีบทบาทสำคัญในการก่อตัวของ Bilayers ในระบบกรดไขมัน ส่วนใหญ่ Fatty acid soap มีค่าความเป็นกรด - ต่างสูง ได้ทำการศึกษากรดไขมันที่มีความยาวโซ่แตกต่างกัน ($n = 10, 12, 14, 16$ และ 18) โดยศึกษาทั้ง 4 ระบบ ประกอบไปด้วย PA/KOH/H₂O, SA/KOH/H₂O, PA/CsOH/H₂O, และ SA/CsOH/H₂O พบว่าสามารถสร้าง Bilayers ที่ pH สูงได้ และทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการเกิดฟองและการผสมอิมัลชันระหว่าง bilayers และ micelles ของกรดไขมัน [26]

Gaëlle Poulenat และคณะ มีจุดประสงค์ของการศึกษาลักษณะของสบู่ Na, Li, Ca และประเมินจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน โดยการเตรียมปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน ของ High-oleic sunflower oil ถูกเตรียมโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 1-L ภายใต้บรรยากาศที่เป็นแก๊สไนโตรเจน กวนผสมที่ความเร็วรอบ 700 rpm. ใช้ด่างคือ NaOH, LiOH อุณหภูมิของปฏิกิริยา 100°C และ Ca(OH)₂ อุณหภูมิของปฏิกิริยา 115°C โดยข้อมูลจากการวิเคราะห์ FTIR spectroscopy ทำให้สามารถจำแนกลักษณะโครงสร้างของพันธะ Metal-oxygen เพื่อกำหนดความเร็วของการเปลี่ยนแปลงพันธะ Ester กับพันธะ Carboxylate และเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยากับ

กลไกการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน จากการศึกษาจลนพลศาสตร์โดยใช้ FTIR แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน โดยใช้ Ca Yield ต่ำกว่า 95% ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า Ca ไม่เหมาะสมกับการนำมาทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน[27]

S.Yoshikawa และคณะได้มีการค้นพบสารเติมแต่งชนิดใหม่ที่ช่วยในการตกผลึกของ Triacylglycerols (TAGS) โดยปัจจัยที่ทำให้มีอิทธิพลต่อการตกผลึกได้ เช่น ปริมาณของสารเติมแต่ง อัตราการทำความเย็น ในการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่สารเติมแต่ง แต่มีการตรวจสอบอิทธิพลของอัตราการทำความเย็นและการรวมกันของ talc-TAG ต่อการตกผลึกของ TAGS ที่แตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขของอัตราการทำความเย็นหลายระดับ พฤติกรรมการตกผลึกถูกสังเกตได้จากการใช้ XRD, DSC และกล้องจุลทรรศน์แสงแบบโพลาไรซ์ (POM) จากผลพบว่าอัตรา Nucleation ขึ้นอยู่กับรูปแบบผลึก polymorph ของ Talc ในกรณีของ Trilaurin (LLL) การทำความเย็น 1°C / นาทีทำให้เกิดการตกผลึกเริ่มต้นที่ 26.4°C (β' -From) โดยไม่เติม Talc และ 29.9°C (β -From) กับการเติม Talc ในขณะที่การทำความเย็น 5°C/นาที เกิดผลึกที่ 24.8°C (β' -From) และ 25.4 °C (β' -From) ตามลำดับ ผลลัพธ์ทั้งหมดของการศึกษาปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าอัตราการเย็นตัวที่เหมาะสมถูกปรับให้เข้ากับการเติมสารเติมแต่ง ช่วยให้ได้ผลึกของไขมันของ Polymorphs ที่ต้องการและอุณหภูมิการตกผลึกสามารถควบคุมได้ดี[28]

Sumaiya Zainal Abidin และคณะได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและการเย็นตัวลงโดยศึกษาสองแบบได้แก่ การควบคุมและการเย็นตัวลงโดยธรรมชาติที่มีผลต่อการตกผลึกของกรด Dihydroxystearic (DHSA) ซึ่งเป็นกรดไขมันจากพืชที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการตกผลึกและ อัตราการเย็นตัวเริ่มต้นต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์, ความบริสุทธิ์ และการกระจายขนาดของผลึก DHSA พบว่าความบริสุทธิ์ของผลึกและขนาดอนุภาคคริสตัลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่ผลได้ของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการเย็นตัวเริ่มต้นได้ศึกษาอุณหภูมิในการใช้งานทั้งสามเพื่อการตกผลึกของ DHSA ได้แก่ 24, 26 และ 28°C ซึ่งผลของการควบคุมการเย็นตัวได้ส่งผลให้คุณสมบัติของผลึกดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การตกผลึกแบบธรรมชาติ และผลได้ของผลิตภัณฑ์สำหรับการทำความเย็นตามธรรมชาติจะต่ำกว่าการทำความเย็นแบบควบคุมมาก แต่ปริมาณของผลึกสำหรับโหมดการทำความเย็นแบบธรรมชาติเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในตอนที่ท้ายของกระบวนการตกผลึกพบความแตกต่างเพียงเล็กน้อยในแง่ของคุณสมบัติผลึกที่มีคุณภาพและปริมาณใกล้เคียง [29]

Dandan Huang และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์สบู่กรดที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจน ประกอบไปด้วยสารไพโรไรดีน (Pyrrolidine) และกรดไมริสติก (Myristic acid) เกิดเป็น Pyrrolidinium myristate โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบที่ซับซ้อนผ่านเทคนิคของสนามแม่เหล็กนิวเคลียร์ (NMR), การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD), FTIR, DSC และกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (POM) และสามารถสังเคราะห์สบู่กรดได้อัตราส่วนโมลาร์ระหว่างสบู่ (Pyrrolidinium myristate, PM) และกรด (MA) ที่ 1:1 โดย acid-soap complex (PM – MA) แสดงความเป็น Amphiphilicity คือสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ผลจากการวิเคราะห์ FTIR พบพันธะของหมู่คาร์บอกซิลิกในสบู่กรดและข้อมูลจาก DSC แสดงให้เห็นว่าสบู่กรดมีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่ากรดไมริสติกเล็กน้อย จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (POM) พบการก่อตัวของ Lyotropic liquid crystal มีลักษณะคล้าย Thread หรือ Maltese crosses [30]

Heliang Du และคณะ ได้ตรวจสอบโครงสร้างผลึกและกลไกการผสมของเจลที่ประกอบไปด้วยโพแทสเซียมสเตียเรต (KS) กรดสเตียริก (SA) และน้ำ ที่ระดับการทำให้เป็นกลาง 80% โดยพบว่าเส้นใยผลึกของตัวอย่าง (KS-SA-water) บนกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ การวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แสดงให้เห็นว่ามีผลึกแผ่นเคลือบสองประเภทแบบแยกเดี่ยวของสารเชิงซ้อน KS และ KS-SA แทนที่จะเป็นผลึกแบบผสมในตัวอย่าง KS-SA-water แม้ว่าผลึกของ KS จะมีระยะห่าง Bragg และมุมเอียงที่สั้นกว่าผลึกของสารเชิงซ้อน KS-SA แต่ก็พบว่าตัวทำละลายของน้ำไม่แทรกซึมเข้าไปในชั้นของผลึกสองชนิด การวัดการไหลแบบไดนามิกแสดงให้เห็นความยืดหยุ่นที่แข็งแกร่งของตัวอย่าง KS-SA-water ซึ่งบ่งบอกถึงโครงสร้างเครือข่าย เกิดจากเส้นใยผลึกลาเมลลาร์ที่กักเก็บน้ำ พบว่าการเติมกลีเซอรอลไม่ส่งผลต่อโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง KS-SA-water แต่สามารถเพิ่มค่าโมดูลัสการจับเก็บและเอนทัลปีหลอมละลายอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่ากลีเซอรอลที่เติมสามารถส่งเสริมความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยตัวทำละลายและเส้นใยผลึกในโครงสร้างเครือข่ายของตัวอย่าง KS-SA-water การค้นพบนี้ทำให้เกิดมุมมองใหม่เกี่ยวกับคุณสมบัติโครงสร้างของวัสดุภาคเหมือนเจลของสารประกอบกรดไขมัน ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการควบคุมโครงสร้าง [31]

บทที่ 3

อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- 3.1.1.1 ปีกเกอร์ขนาด 250, 500 mL
- 3.1.1.2 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
- 3.1.1.3 ปีเปต
- 3.1.1.4 กระบอกตวง
- 3.1.1.5 บิวเรต
- 3.1.1.6 เครื่องชั่ง
- 3.1.1.7 Hotplate & Magnetic Stirrer
- 3.1.1.8 ซ้อนตักสารและแท่งแก้วคนสาร
- 3.1.1.9 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
- 3.1.1.10 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 กรดลอริก
- 3.1.2.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
- 3.1.2.3 ไอโซโพรพานอล (Isopropanol)
- 3.1.2.4 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3.2.1.1 ชั่งกรดลอริกที่ใช้ลงในปีกเกอร์ตามตำรับสูตร

Phase A กรดลอริก	45.0 กรัม
Phase B DI	43.54 กรัม
KOH	11.46 กรัม

โดยละลาย Phase B ให้เป็นสารละลายใส

3.2.1.2 จากนั้นให้ความร้อน Phase A กรดลอริกมาที่ 90°C

3.2.1.3 เติมสารละลาย KOH อย่างช้าลงในปีกเกอร์จากนั้นให้สารทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที และเก็บตัวอย่างตามเวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที



รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3.2.1.4 วิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์สบู่ที่เกิดขึ้น ด้วยวิธีการไทเทรตของตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าของกรดไขมัน หลักการโดยใช้เบสทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง

3.2.1.5 ครบเวลาจากนั้นทำให้เย็นลงมาที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2 ศึกษาผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อเนื้อผลิตภัณฑ์

3.2.2.1 วิเคราะห์โครงสร้างของผลึกที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถูกทำให้เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำให้แห้งโดยการอบไล่ความชื้นด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) รุ่น Bruker AXS Model: D8 Discover ที่สภาวะ Target : Copper Voltage: 40 kV

Current: 40 mA Angle (2Th): 1-45 degree

Detector: VANTEC-1 Detector (Super Speed Detector)

3.2.2.2 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR)

รุ่น BRUKER Model: INVENIO ช่วงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดสเปกตรัมที่ 4000-400 cm^{-1} โดยใช้วิธีโพแทสเซียมโบรไมด์ดิสก์

3.2.3 ศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอรเตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 6 ศึกษาการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์

การทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)/ นาที	อุณหภูมิน้ำ หล่อเย็น (°C)	หมายเหตุ
1	1°C/นาที	50°C	สังเกตลักษณะความวาวของมุกหรือผลึกที่เกิดขึ้นโดยการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้น
2	2°C/นาที	25°C	
3	3°C/นาที	20°C	

3.2.3.1 นำตัวอย่างที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาสะaponification ของกรดลอรริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มาทำให้เย็นตัวลงในบีกเกอร์

3.2.3.2 นำตัวอย่างแช่ลงในอ่างน้ำที่มีน้ำหล่อเย็นเพื่อทำการลดอุณหภูมิตามการทดลองในตารางที่ 6 พร้อมกวนผสม

3.2.3.3 ทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มิเตอร์แบบแท่งในการอ่านค่าอุณหภูมิขณะที่ทำการลดอุณหภูมิ

3.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์

ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในสูตรจากเดิมที่ได้จากการคำนวณปริมาณ KOH 11.46% ดังการทดลองข้อที่ 3.2.1 ดังนี้

ศึกษาเพิ่มที่ KOH 7%, KOH 10%, KOH 12%, KOH 15%

3.2.4.1 ชั่งสารเคมีที่ใช้ลงในบีกเกอร์ตามตำรับสูตร

การทดลอง	Phase A	Phase B	
	กรดลอรริก (กรัม)	KOH (กรัม)	DI (กรัม)
1	45.0	7	48
2	45.0	10	45
3	45.0	12	43
4	45.0	15	40

3.2.4.2 จากนั้นให้ความร้อน Phase A กรดลอริกมาที่ 90°C

3.2.4.3 เติมสารละลาย KOH อย่างช้าลงในปิกเกอร์จากนั้นให้สารทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที โดยใช้สภาวะเดียวกันทุกการทดลอง

3.2.4.4 เมื่อครบเวลา 60 นาทีนำตัวอย่างแช่ลงในอ่างน้ำที่มีน้ำหล่อเย็นเพื่อทำการลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้อง โดยควบคุมอัตราทำให้เย็นตัวลงที่ 2°C/นาที พร้อมกวนผสม

3.2.5 ศึกษาการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์

3.2.5.1 ทำการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกลงในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่ดังนี้ Lauric acid 5%, 10%, 15% และ 20% โดยทำการชั่งสารเคมีที่ใช้ลงในปิกเกอร์ตามตารางสูตร

การทดลอง	Phase A	Phase B		Phase C
	กรดลอริก (กรัม)	KOH (กรัม)	DI (กรัม)	กรดลอริกที่เพิ่ม (กรัม)
1	45.0	11.46	43.54	+5
2	45.0	11.46	43.54	+10
3	45.0	11.46	43.54	+15
4	45.0	11.46	43.54	+20

3.2.5.2 ทำการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มาที่ 90°C

3.2.5.3 ทำการให้ความร้อน Phase C กรดลอริกที่จะทำการเพิ่มมาที่ 90°C จนละลายละลายดี จากนั้นเติมกรดลอริกที่ละลายดีแล้วลงในปิกเกอร์ข้อ 3.2.4.2 จากนั้นให้สารทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที โดยใช้สภาวะเดียวกันในทุกการทดลอง

3.2.5.4 เมื่อครบเวลา 60 นาทีนำตัวอย่างแช่ลงในอ่างน้ำที่มีน้ำหล่อเย็นเพื่อทำการลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้อง โดยควบคุมอัตราทำให้เย็นตัวลงที่ 2°C/นาที พร้อมกวนผสม

3.2.6 การศึกษาและสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์

เป็นการสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์เบื้องต้น โดยการประเมินด้วยสายตา

3.2.6.1 อุปกรณ์

- เพลทขาวดำ (Plate)
- Spatula

3.2.6.2 นำเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสังเกต ปาดลงบนเพลทขาวดำ เนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นสีขาว ให้ปาดเนื้อโดยใช้ Spatula เกลี่ยให้เรียบเสมอกัน



รูปที่ 9 แสดงการปาดเนื้อลงบนเพลทขาวดำเพื่อทำการสังเกตเบื้องต้น

3.2.6.3 จากนั้นสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์เบื้องต้นหรือสามารถปาดเนื้อเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ

3.2.7 ศึกษาความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ (Stability)

3.2.7.1 อุปกรณ์

- ขวดแก้ว ขนาด 50 ml.
- ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ที่ 4°C รุ่น Binder Model KB 720

3.2.7.2 นำเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษาความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ ใส่ลงในขวดขวดแก้ว ขนาด 50 ml. 2 ขวด เนื่องจากมี 2 สภาวะในการจัดเก็บ RT, 4°C

3.2.7.3 โดยที่สภาวะ RT จัดเก็บที่ตู้ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนที่สภาวะ 4°C จัดเก็บที่ Incubator เป็นเวลา 1 เดือน

3.2.7.4 สำหรับการตรวจเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการทดสอบจะนำขวดที่ทำการทดสอบออกมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนการตรวจสอบเนื้อ โดยนำออกทุก 7, 14 วัน และที่ 1 เดือน

3.2.8 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น DSC3+ ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ทางความร้อน สำหรับปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบปริมาณ 15–25 มก. ถูกใส่ลงในกระชาะอะลูมิเนียมขนาด 40 ไมโครลิตร กระชาะถูกปิดผนึกด้วยเครื่องซีลเซิงกลและวางใน DSC ที่อุณหภูมิห้อง โปรแกรมให้ร้อนและเย็นในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 70°C ด้วยอัตราการทำความร้อนและความเย็นที่ 2°C/นาที

3.2.9 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วย กล้อง Polarized Light Microscope (PLM) รุ่น Olympus Model: BX53

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบถูกทำให้เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างที่ปริมาณเล็กน้อยไปดลงบนสไลด์แก้ว (Glass slide) จากนั้นทำการสังเกตลักษณะของผลึกในผลิตภัณฑ์ โดยใช้ Compensator รุ่น U-TP530 ช่วงความยาวคลื่น (λ) = 530 nm



บทที่ 4

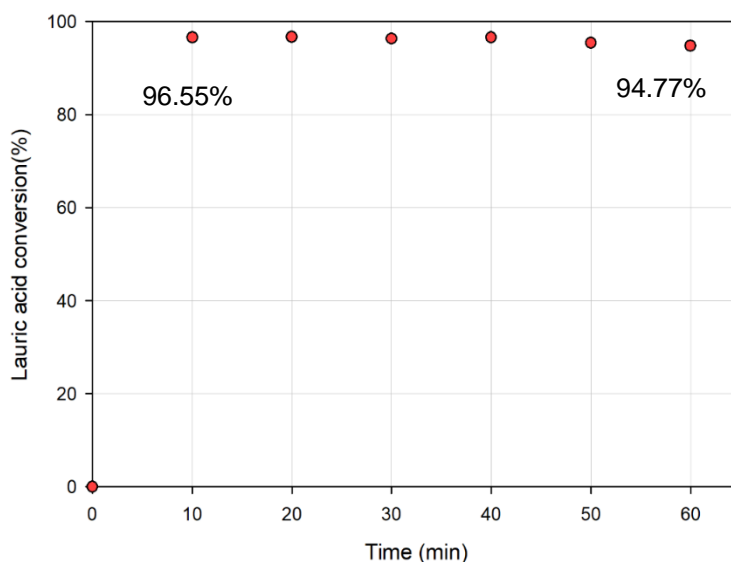
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลของการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ และผลของวิเคราะห์คุณลักษณะในการศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอรเรตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์

4.1 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.1.1 การวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนของกรดลอริกจากปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ศึกษาปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยมีสารตั้งต้นกรดลอริกที่ 45%w/w และ KOH ที่ 11.46%w/w, โดยปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลานาน 60 นาที ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ได้ดังรูปที่ 10 แสดงค่าการเปลี่ยนของกรดลอริกจากปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะพบว่าค่าการเปลี่ยนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากที่เวลา 0 นาทีและที่เวลา 10 นาทีพบค่าการเปลี่ยนอยู่ที่ 96.55% และที่เวลา 60 นาที ค่าการเปลี่ยนอยู่ที่ 94.77% โดยพบว่าค่าการเปลี่ยนมีค่าใกล้เคียงกันและเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น โดยเวลาไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา



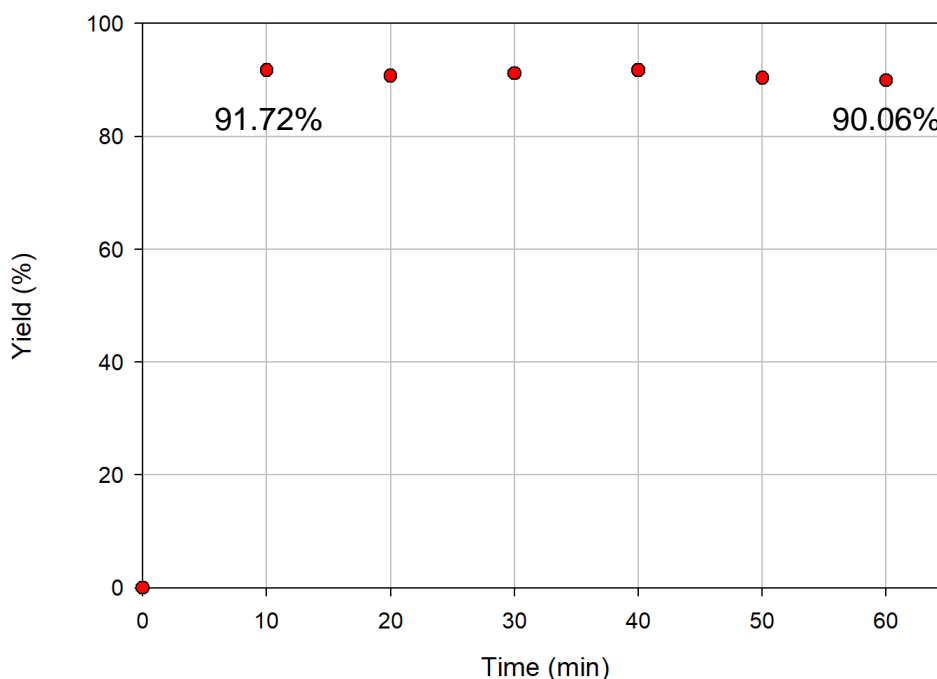
รูปที่ 10 ค่าการเปลี่ยนของกรดลอริกจากปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.1.2. การวิเคราะห์ผลได้ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

สูตรการคำนวณหาค่า % yield ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ทราบถึงผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างๆ

$$\%Yield = (\text{น้ำหนักที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยา}) / \text{น้ำหนักเริ่มต้น} \times 100$$

จากรูปที่ 11 แสดงผลได้ของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้คือโพแทสเซียมลอเรต ที่เวลา 10 นาที มีค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 91.72% ที่เวลา 20 นาทีผลได้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90.77%, ที่เวลา 30 นาทีผลได้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 91.19%, ที่เวลา 40 นาทีผลได้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 91.72%, ที่เวลา 50 นาทีผลได้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90.34% และที่ 60 นาทีผลได้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90.06% ซึ่งค่าผลได้ของการเกิดผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง โดยเวลาที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเนื่องจากปฏิกิริยาถึงจุดที่สมดุลแล้ว ค่าที่ได้จึงคงที่



รูปที่ 11 ผลได้ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 7 ปริมาณของสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%weight) ที่เวลาต่างๆ ของการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

โดยตารางที่ 7 แสดงปริมาณของสารเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%weight) ที่เวลาต่างๆ ของการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าที่เวลาเพิ่มมากขึ้น องค์ประกอบทางเคมีของสารที่ใช้ไป สารที่เหลืออยู่และสารที่เกิดขึ้นไม่ได้แตกต่างกัน โดยค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งบ่งบอกได้ว่าปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เกิดขึ้นและเสร็จสิ้นที่เวลา 10 นาที และโดยที่เวลาเพิ่มมากขึ้นนั้นหวังผลในเรื่องของความสม่ำเสมอของเนื้อผลิตภัณฑ์







Time (Min)	Lauric acid (ใช้ไป) กรัม (g)	Potassium Hydroxide (KOH) (เหลืออยู่) กรัม (g)	Potassium Laurate (เกิดขึ้น) กรัม (g)	H ₂ O กรัม (g)	Lauric acid (เหลืออยู่) กรัม (g)
0	45	11.46	-	43.54	0
10	39	0.504	46.5	47.05	5.91
20	37.4	0.952	44.6	46.9	7.47
30	38	0.784	45.3	46.96	6.87
40	38.6	0.616	42.9	47.01	6.30
50	37.2	1.008	44.3	46.88	7.73
60	36	1.34	42.9	46.78	8.99

4.2 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อเนื้อผลิตภัณฑ์

4.2.1 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์และการเกิดผลึกของการทำปฏิกิริยาปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 8 แสดงลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏที่เวลาต่างๆ ของการทำปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยการสุ่มหลังจากช่วงเวลาการเกิดปฏิกิริยา 10, 20, 30, 40, 50 นาที ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนั้นถูกทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องที่อัตราการทำความเย็น 2°C/นาที จากผลของปฏิกิริยาพบว่าองค์ประกอบและลักษณะทางกายภาพในผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อทำการลดอุณหภูมิจะได้เนื้อที่เป็นสีขาวทึบ เนื้อชั้น มีความมันวาวของประกายมุกเกิดขึ้นเล็กน้อย และองค์ประกอบทางเคมีก็ไม่มี ความแตกต่างสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนสารตั้งต้นเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ค่านั้นใกล้เคียงกัน

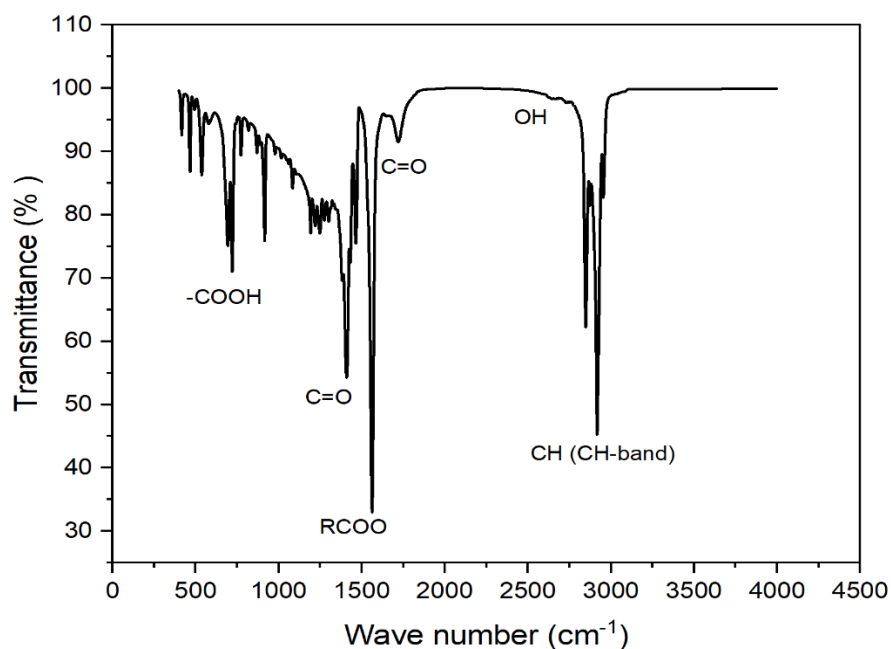
ตารางที่ 8 ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏที่เวลาต่างๆ ของการทำปฏิกิริยาปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เวลา (นาที)	รูปภาพ	ข้อสังเกต	เวลา (นาที)	รูปภาพ	ข้อสังเกต
10		เนื้อ มีลักษณะสีขาวทึบ เนื้อชั้น มีความมันวาว	40		เนื้อ มีลักษณะสีขาวทึบ เนื้อชั้น มีความมันวาว
20		เนื้อ มีลักษณะสีขาวทึบ เนื้อชั้น มีความมันวาว	50		เนื้อ มีลักษณะสีขาวทึบ เนื้อชั้น มีความมันวาว
30		เนื้อ มีลักษณะสีขาวทึบ เนื้อชั้น มีความมันวาว	60		เนื้อ มีลักษณะสีขาวทึบ เนื้อชั้น มีความมันวาว

4.2.2 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR)

การตรวจสอบโดยเทคนิค FT-IR เพื่อหาหมู่ฟังก์ชัน โดย FT-IR การวิเคราะห์สารจะอาศัยการดูดกลืนแสงของแต่ละโมเลกุลซึ่งโมเลกุลแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดที่แตกต่างกัน โดยช่วงความยาวคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$

รูปที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบการยืดของพันธะ C-H (C-H band) ที่ตำแหน่งของพีคเท่ากับ $2950, 2920, 2850\text{ cm}^{-1}$ ความถี่ที่เป็นลักษณะเฉพาะในสเปกตรัมของโพแทสเซียมลอเรตและที่ตำแหน่งของพีคเท่ากับ 1380 cm^{-1} และ 1440 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่ามีโมเลกุลของสบู่เกิดขึ้น และพบการสั่นของพันธะ O-H ที่ตำแหน่งของพีคเท่ากับ 2640 cm^{-1} (O-H stretching vibrations), พบการสั่นของพันธะ C=O ที่ตำแหน่งของพีคเท่ากับ 1700 cm^{-1} (C=O stretching vibrations) ที่ตำแหน่งของพีคเท่ากับ 1450 cm^{-1} พบการสั่นของพันธะ C=O และการยืดของพันธะ (O-H in plane bending + C-O stretching) และที่ตำแหน่งของพีคเท่ากับ 950 cm^{-1} (นอกระนาบของกลุ่ม O-H) บ่งชี้ว่ามีกลุ่มคาร์บอกซิลอยู่ในรูปของโครงสร้างโดเมอร์ และยืนยันการมีอยู่ของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของกรดไขมัน [32] และยังพบกลุ่มของคาร์บอกซิเลต (RCOO^-) โดยมีจุดสูงสุดเพียงจุดเดียวที่ตำแหน่งของพีคเท่ากับ $1,560\text{ cm}^{-1}$

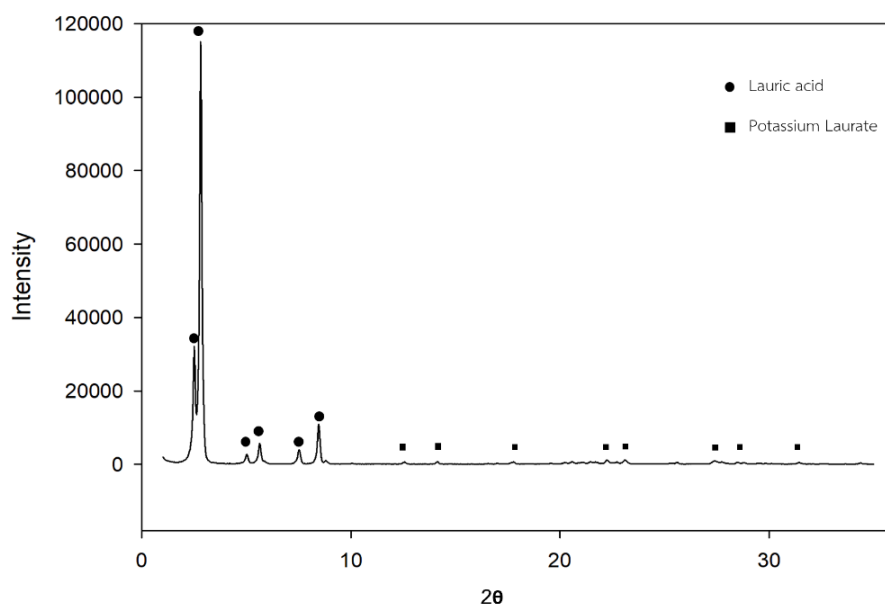


รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโพแทสเซียมลอเรต

4.2.3 วิเคราะห์โครงสร้างของผลึกที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติโดยใช้เทคนิค XRD เพื่อศึกษาความเป็นผลึกของโพแทสเซียมลอเรต โดยอาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ ที่ทราบความยาวคลื่นที่แน่นอน ไปกระทบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุมต่างๆ

ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เพื่อศึกษาความเป็นผลึกของโพแทสเซียมลอเรต โดยกราฟแสดงพีคการเลี้ยวเบนหลายครั้ง ซึ่งสะท้อนถึงโครงสร้างที่เรียงลำดับของผลึก พบพีคแหลมที่แสดงความเป็นผลึกของกรดลอริกอย่างชัดเจนอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 2.51° , 2.81° , 7.52° , และ 8.46° [33] ตามลำดับ และพบพีคขนาดเล็กของโพแทสเซียมลอเรตอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 14.2° , 17° , 22° , 23° , 25° , 27° , 28° และ 31° ตามลำดับ [33] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างนั้นมีความเป็นผลึกเกิดขึ้นจริง โดยความมันวาวที่แสดงในเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้น อาจเป็นไปได้ว่าเกิดจากแสงที่กระจัดกระจายโดยผลึกขนาดเล็กที่เกิดจากผลึกโพแทสเซียมลอเรตหรือผลึกของกรดไขมันที่เหลืออยู่ ซึ่งอาจรวมไปถึงผลึกของสารเชิงซ้อนของกรด-เกลือก็สามารถเกิดขึ้นได้โดยการรวมกรดไขมันและเกลือของกรดไขมันเข้าด้วยกันโดยผ่านพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีคุณสมบัติทางโครงสร้างและทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกันไปจากกรดไขมันและเกลือตามลำดับ ในขณะที่สารเชิงซ้อนของเกลือกรดมีปริมาณสัมพันธ์ของกรดไขมัน 1:1, ต่อเกลือของกรดไขมัน โดยมีงานวิจัยจำนวนมากได้ยืนยันการมีอยู่ของคอมเพล็กซ์ เกลือ:กรดเกลือ 1:1 ในระบบที่มีไขมันกรดและเกลือโพแทสเซียม [31]



รูปที่ 13 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของโพแทสเซียมลอเรต

4.3 การศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของโพแทสเซียมลอเรตโดย การควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที

ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 60 นาที โดยตารางที่ 9 แสดงปริมาณของสารเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%weight) ที่เวลา 60 นาที ของการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันจากนั้นทำการลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้องโดยการ ควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลง

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณของสารเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%weight) ที่เวลา 60 นาที ของการทำ ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

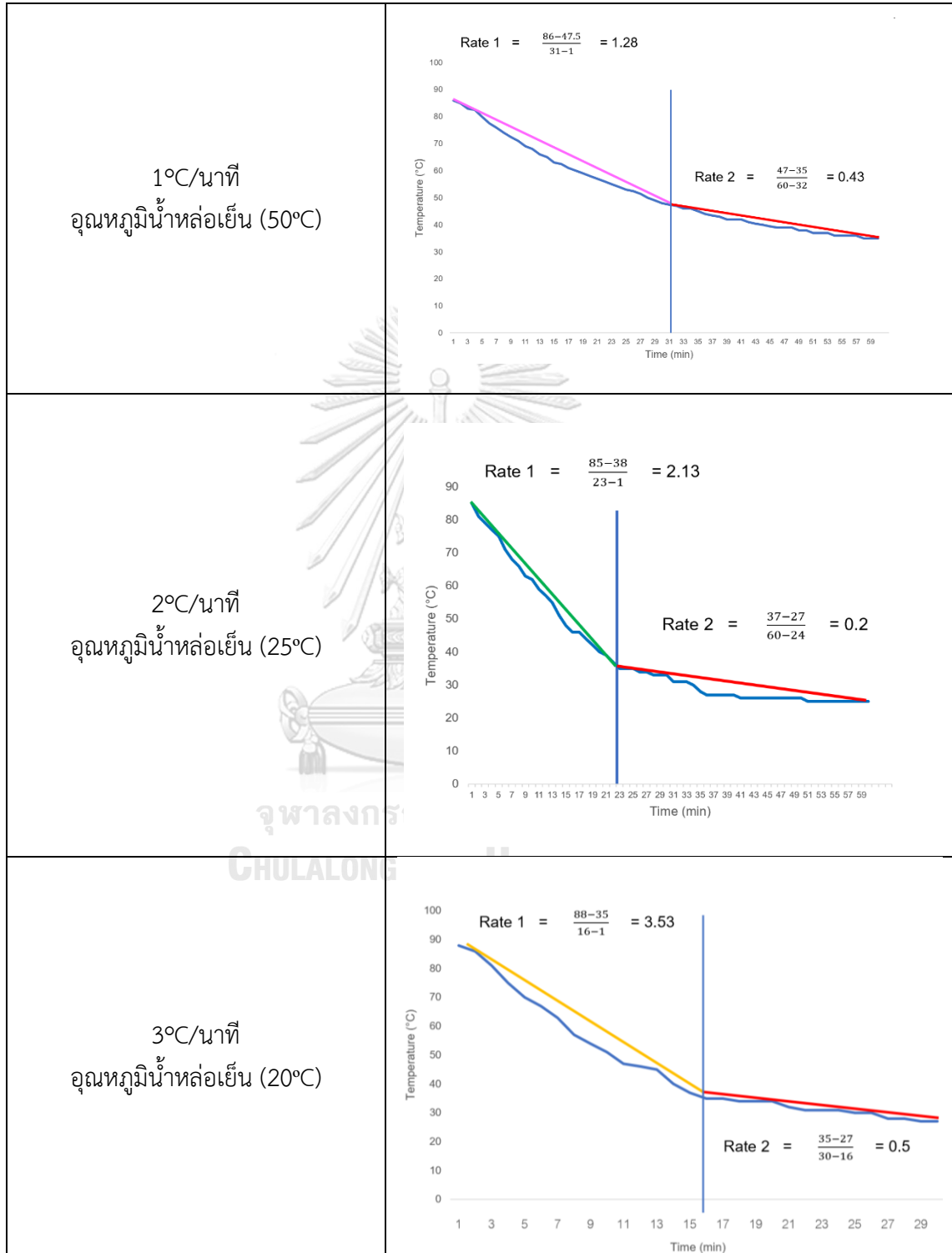
Time (Min)	Lauric acid (ใช้ไป) กรัม (g)	Potassium Hydroxide (KOH) (เหลืออยู่) กรัม (g)	Potassium Laurate (เกิดขึ้น) กรัม (g)	H ₂ O กรัม (g)	Lauric acid (เหลืออยู่) กรัม (g)
0	45	11.46	-	43.54	0
60	36	1.34	42.9	3.24	8.99

โดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที ดำเนินการที่ ห้องปฏิบัติการ โดยใช้ น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้ ในการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ ตารางที่ 10 สภาวะในการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์

การทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)/ นาที	อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C)
1	1°C/นาที	50°C
2	2°C/นาที	25°C
3	3°C/นาที	20°C

สำหรับอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (°C) ได้มีการทดลองหาค่าเฉลี่ยในช่วงการทำให้เย็นตัวลงที่ กำหนด โดยใช้อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C) ดังนี้ เป็นไปตามตารางที่ 11




ตารางที่ 11 การทดลองในการหาค่าเฉลี่ยของการควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมอัตราทำให้เย็นตัวลงที่ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที



4.3.1 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่

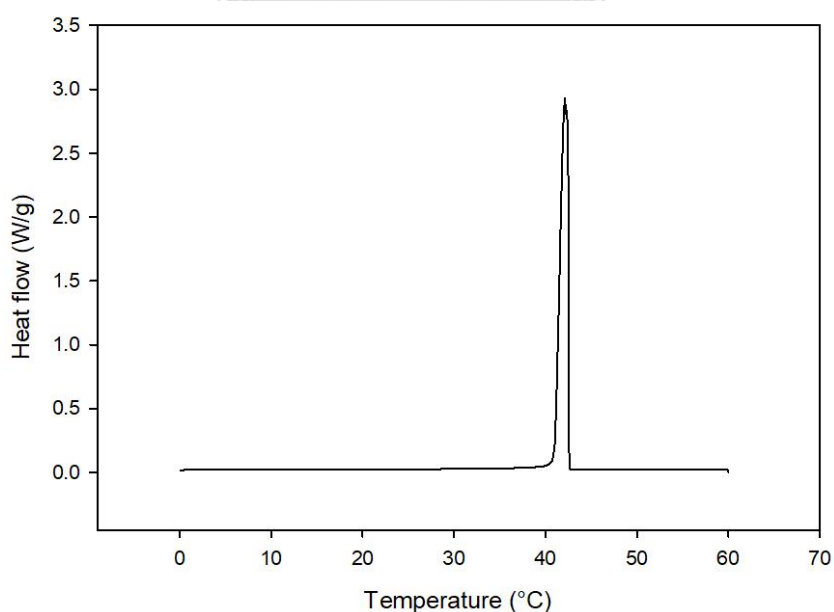
อัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอเรตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ เพื่อให้ได้คุณสมบัติของผลึกที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาเนื้อเปรียบเทียบกันผ่านวิธีการทำ Spread test โดยการปาดเนื้อลงบนเพลท (Plate) ขาวดำ โดยแสดงในตารางที่ 12 พบว่าเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม Cooling rate ที่ 1°C/นาที่ เนื้อมีลักษณะเป็นเจลทึบแสง สีขาว ปรากฏมุกยังไม่ชัดเจน เช่นเดียวกับเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ควบคุม Cooling rate ที่ 2°C/นาที่ เนื้อมีลักษณะเป็น เจลทึบแสงแต่มีความทึบมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ 1°C/นาที่, 3°C/นาที่ อาจเป็นไปได้ว่าการควบคุม Cooling rate ที่ 2°C/นาที่ นั้นมีการจัดเรียงตัวของผลึกที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า Cooling rate ที่ 1°C/นาที่, 3°C/นาที่ ในส่วนของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการควบคุม Cooling rate ที่ 3°C/นาที่ เกิดประกายมุกเกิดขึ้นแต่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการตกผลึกเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ด้วยการก่อตัวของนิวเคลียสจำนวนมากในทันที โดยการตกผลึกอย่างรวดเร็วนี้อาจมาพร้อมกับความหนืดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงอาจไปจำกัดการแพร่กระจายของโมเลกุลและการเติบโตของผลึกได้ [30] ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกันแล้วเนื้อผลิตภัณฑ์และความหนืดแล้วทั้งสามตัวอย่าง ที่ Cooling rate ที่ 3°C/นาที่ เนื้อข้นที่สุด แต่ไม่สามารถวัดค่าได้ด้วยเครื่องวัดความหนืด เนื่องจากเนื้อที่ได้อยู่ในระดับที่ข้นทั้งสามตัวอย่างซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาวัดค่า

ตารางที่ 12 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที

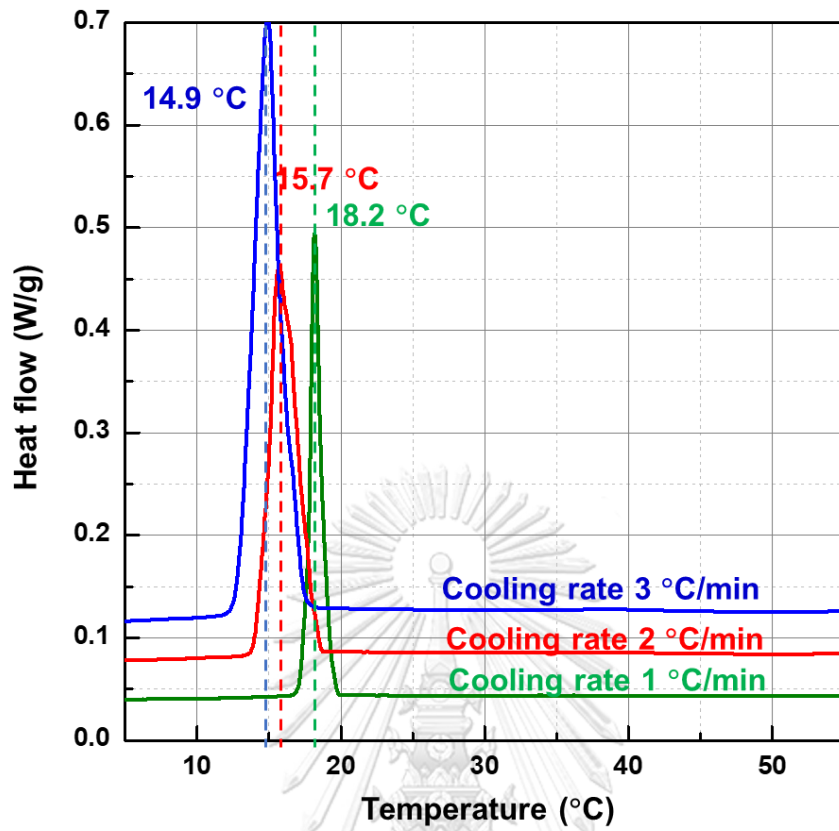
Cooling rate	รูปภาพ (Image)
1°C/นาที	
2°C/นาที	
3°C/นาที	

4.3.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ 45%w/w (Lauric acid), 11.46%ww KOH โดยจากกราฟรูปที่ 14 แสดงการวิเคราะห์การหาจุดหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อนของกรด ลอริกบริสุทธิ์ พบพีคของการเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกเหลว (Lamellar liquid crystal) หรืออุณหภูมิในการหลอมเหลว (Melting point) อยู่ที่ 42.13°C ซึ่งดูดซับความร้อนและผ่านการเปลี่ยนวัฏภาคทางความร้อนจากของแข็งเป็นของเหลว จากนั้นวัฏภาคจะถูกถ่ายโอนไปยังอีกสถานะซึ่งเป็นผลึกเหลวแบบแอนไอโซโทรปิก (Anisotropic) [34] และทำการศึกษาการเปลี่ยนวัฏภาคจากวัฏภาคของเหลวไปเป็นวัฏภาคของแข็ง โดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงอยู่ที่ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที พบว่าจากกราฟที่ 15a, 15b และ 15c ของโพแทสเซียมลอเรตที่อัตราการทำให้เย็น 1°C/นาที เกิดการตกผลึกเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 20°C ที่อัตราการทำให้เย็น 2°C/นาที เกิดการตกผลึกเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 19°C และที่อัตราการทำให้เย็นตัวลง 3°C/นาที เกิดการตกผลึกเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 18°C ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่อัตราการทำให้เย็นต่ำ มีโอกาสเกิดการตกผลึกที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทันทีที่ทำให้ผลึกเหลวลามลาร์เย็นลงจะเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกเจลลามลาร์ การเกิดขึ้นของผลึกนั้นส่งผลโดยตรงต่อการเกิดความมันวาวของเนื้อผลิตภัณฑ์



รูปที่ 14 กราฟแสดงจุดหลอมเหลวของกรดลอริกบริสุทธิ์



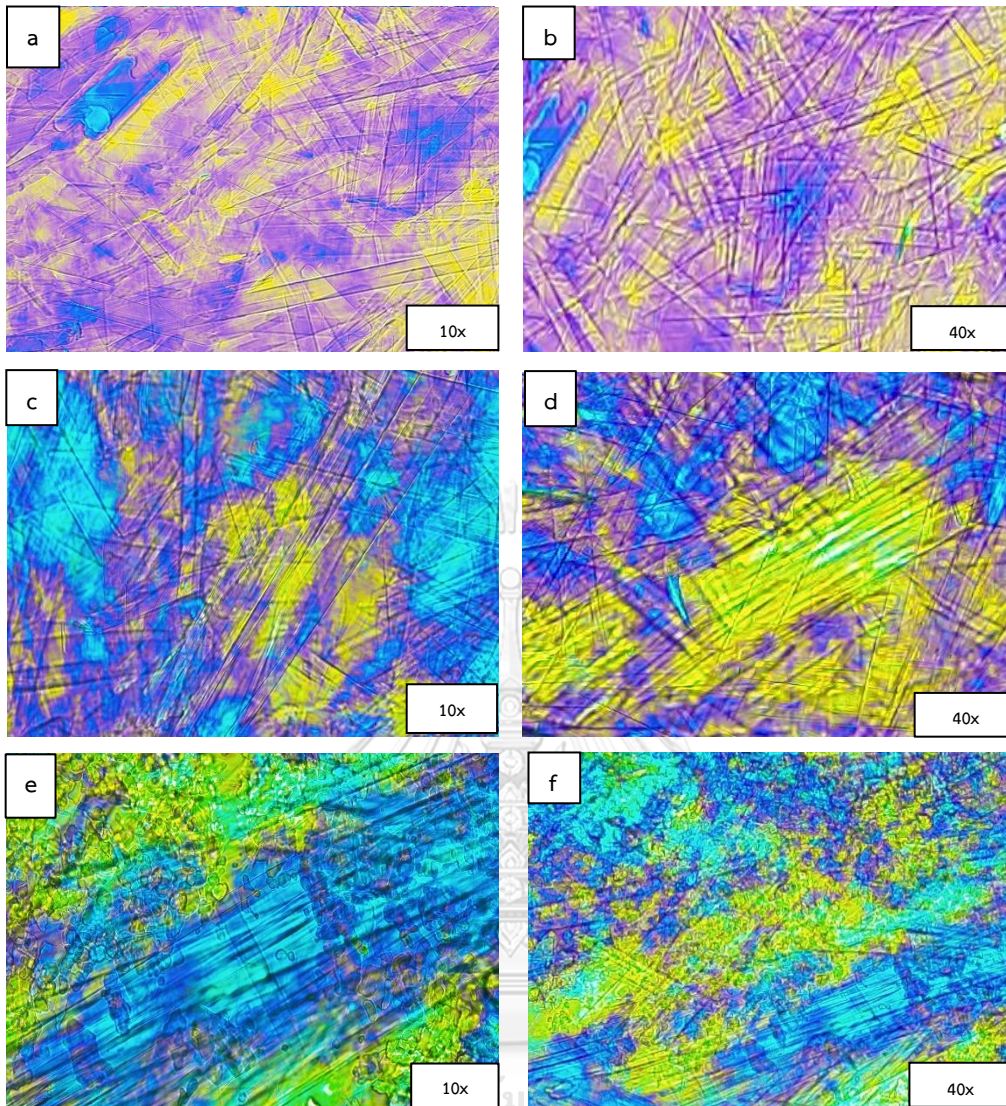
รูปที่ 15 กราฟแสดงการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงโดยควบคุมที่ a.1°C/นาที, b.2°C/นาที และ c.3°C/นาที

4.3.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วย กล้อง Polarized Light Microscopy ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่

การควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ เริ่มจากอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่ 90°C ทำให้เย็นลงมาที่อุณหภูมิที่ 25°C จากนั้นนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วยกล้อง Polarized Light Microscopy พบว่าที่อัตราการทำให้เย็นตัวลง 1°C/นาที่ มีการจัดเรียงตัวของผลึกอย่างอย่างเป็นระเบียบและมีความมันวาวของเนื้อผลิตภัณฑ์ โดยที่อัตราการทำให้เย็นตัวลง 2°C/นาที่ จะเห็นได้ว่าผลึกมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น มีลักษณะของผลึกเป็นแท่งๆ ชัดเจนและสำหรับอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่ 3°C/นาที่ จากรูปที่ 16e, f จะเห็นได้ว่ามีผลึกเกิดขึ้นแต่ลักษณะของผลึกที่ได้อาจยังไม่เป็นรูปทรง โดยอุณหภูมิในการตกผลึกและอัตราการทำให้เย็นตัวส่งผลต่อคุณสมบัติของผลึกโดยตรง [30] ซึ่งอัตราการทำให้เย็นตัวลงอาจจะรวดเร็วเกินไป ไม่เพียงพอให้ผลึกจัดเรียงตัวได้อย่างสมบูรณ์ โดยการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วผลึกจะจัดเรียงตัวอย่างสะเปะสะปะ เกิดการเกาะกัน ไม่แน่นและไม่คงตัว เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราการทำให้เย็นตัวลง 1 และ 2°C/นาที่ บ่งบอกว่าการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ โครงสร้างของผลึกจะเป็นปึกแผ่น มีความคงตัวสูง [35]

โดยการทำให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของผลึกที่แตกต่างกัน การทำให้ผลึกเย็นตัวลงช้าๆ จะทำให้ผลึกเรียงตัวเป็นชั้นๆ และเมื่อทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดผลึกอย่างรวดเร็วแต่จะเป็นผลึกเรียงเป็นชั้นบางๆ หรือเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ

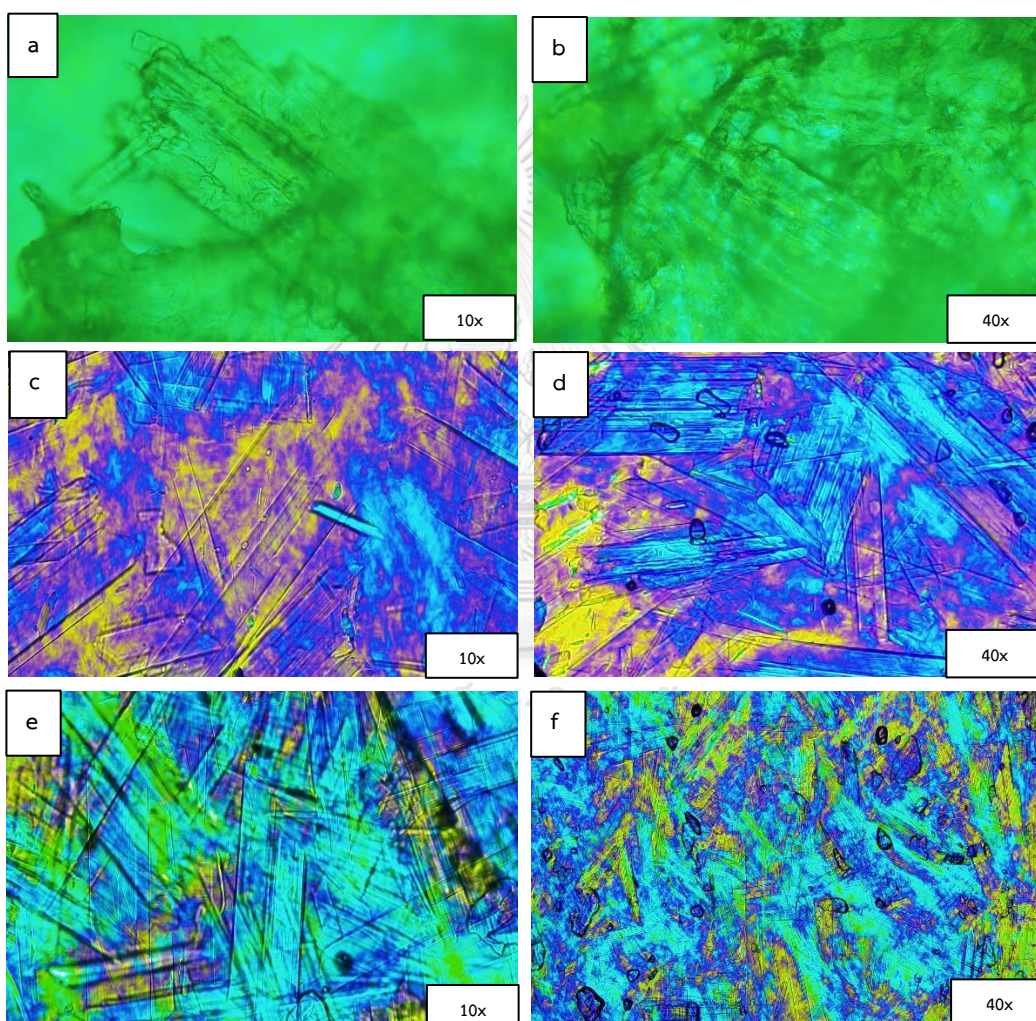
การเกิดผลึกขึ้นนั้นสอดคล้องกับความมันวาวโดยตรงเนื่องจากผลึกที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบก็จะส่งผลให้เกิดความมันวาวบนเนื้อผลิตภัณฑ์มาก โดยการสังเกตความมันวาวของผลึกที่เกิดขึ้นยังไม่มีเครื่องมือในการทดสอบแต่เราสามารถทำได้โดยการประเมินด้วยตาเปล่าและสำหรับอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการผลิตโพลีแลมหน้าควรเลือกที่ 1-2 °C/นาที่ เพื่อให้ได้ผลึกที่เรียงตัวอย่างสวยงาม เนื้อผลิตภัณฑ์มีความมันวาว



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 16 ลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ของเนื้อผลิตภัณฑ์วันที่ 1
1°C/นาที (a, b), 2°C/นาที (c, d), 3°C/นาที (e, f)

จากภาพของลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ของเนื้อผลิตภัณฑ์ครบวันที่ 14 โดยการติดตาม Stability นั้นพบว่ารูปร่างของผลึกมีความชัดเจนมากขึ้น เป็นแท่งขนาดใหญ่เรียงตัวกัน ซึ่งผลึกมีโครงสร้างที่เสถียรและมีความคงตัว ซึ่งสอดคล้องกับผลจากกล้องจุลทรรศน์ที่เนื้อของผลิตภัณฑ์มีความมันวาวที่มากขึ้นและมีประกายมุกสวยงามเมื่อครบ 14 วัน



รูปที่ 17 ลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ของเนื้อผลิตภัณฑ์ครบวันที่ 14 1°C/นาที (a, b), 2°C/นาที (c, d), 3°C/นาที (e, f)

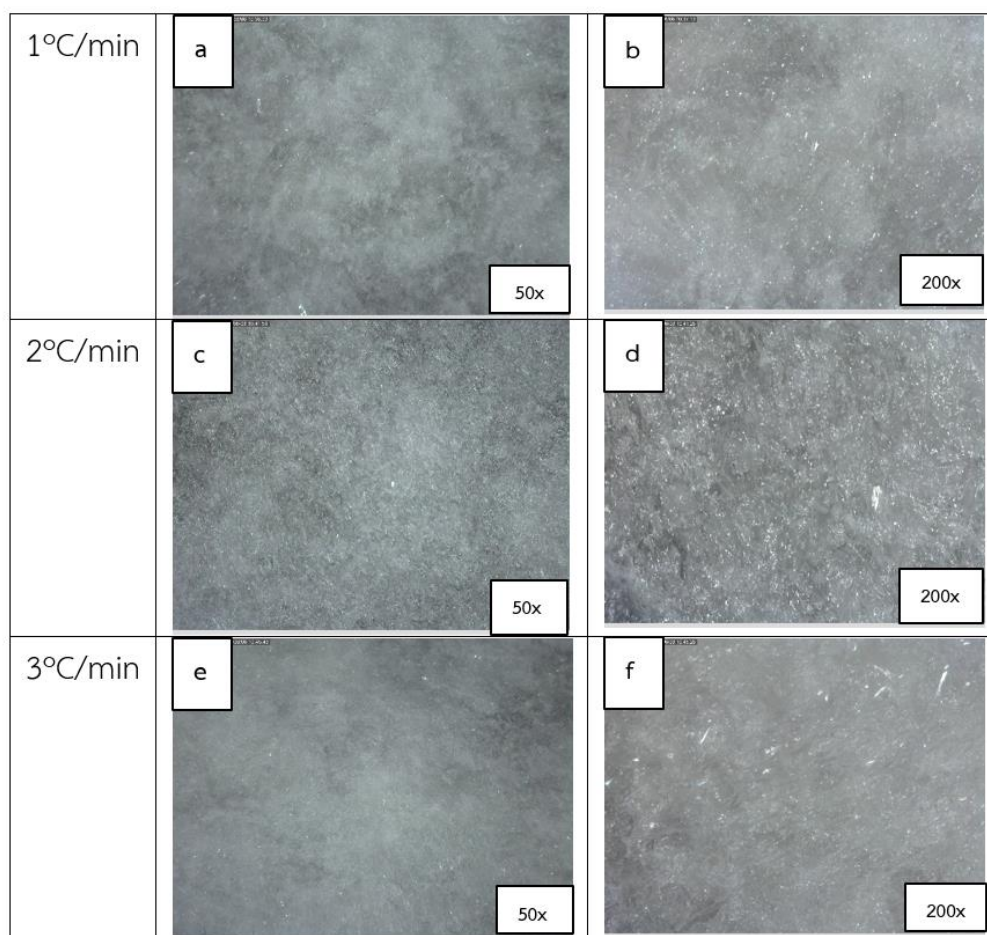
4.3.4 การศึกษาการทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

การทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ (Stability) เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเนื้อผลิตภัณฑ์ เช่น เนื้อผลิตภัณฑ์ สี และกลิ่น โดยการสังเกตความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการทดสอบ โดยผลิตภัณฑ์ประเภทโฟมล้างหน้าจะทำการทดสอบความคงตัวโดยการสังเกตลักษณะทางกายภาพคือ เนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดความมันวาวของประกายมุกของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยการจัดเก็บและทำการควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิห้องและตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิที่ 4°C เป็นเวลา 1 เดือน จากนั้นทำการบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ขนาดเล็กทุก 1 วัน, 2 วัน, 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน

โดยผลจากการทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C โดยทำการติดตามทำการถ่ายภาพที่ 1 วัน, 2 วัน, 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน โดยวันที่ 1 ของการทดสอบพบว่าที่ เนื้อผลิตภัณฑ์ของการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลง ที่ 2°C/นาที่ ประกายมุกเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แสดงในรูปที่ 18c และ 18d โดยที่กำลังขยาย 40x แสดงผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กที่เกิดขึ้นกระจายตัวสม่ำเสมอในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน โดยที่เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่ และ 3°C/นาที่พบว่าเนื้อผลิตภัณฑ์นั้นมีผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กเกิดขึ้น แต่ยังไม่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ 2°C/นาที่













โดยผลวันที่ 2 ของการติดตามทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์ทุกสภาวะที่อุณหภูมิห้อง และ 4°C มีการตกผลึกที่เพิ่มขึ้น ยังไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน แต่ที่สภาวะ 4°C จะเห็นได้ว่าการตกผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะอุณหภูมิห้อง เนื่องจากเป็นการลดอุณหภูมิเพื่อเร่งให้เกิดการตกผลึกมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลเมื่อครบวันที่ 14 พบว่าผลิตภัณฑ์เติบโตได้เต็มที่สำหรับเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ 2°C/นาที่ เห็นผลึกหรือประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจนและสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กกระจายตัวสม่ำเสมอ โดยที่เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่ผลึกเติบโตขึ้น กระจายตัวในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ 3°C/นาที่ ผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กยังกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ จะเห็นได้ว่าประกายมุกค่อนข้างน้อยกว่าเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่ และ 2°C/นาที่

ดังนั้นจากผลการทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ข้างต้นพบว่าการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 2°C/นาที เป็นอัตราการควบคุมที่เหมาะสมในการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงและเกิดการตกผลึกที่สมบูรณ์สอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์กล้อง PLM และผลจากการสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ ที่ผลึกจัดเรียงตัวเป็นระเบียบและเนื้อผลิตภัณฑ์แสดงความมันวาวและประกายมุกชัดเจน โดยที่อัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที และ 3°C/นาที อาจเป็นอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่ยังไม่เหมาะสมเนื่องจากมีผลกับการเกิดขึ้นของผลึก การแสดงความมันวาวและประกายมุกโดยตรง








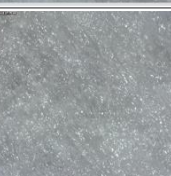
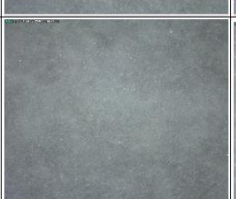
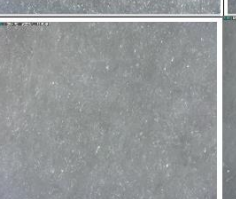




รูปที่ 18 วันที่ 1 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

1°C/นาที (a, b), 2°C/นาที (c, d), 3°C/นาที (e, f)

	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
1°C/min				
2°C/min				
3°C/min				

รูปที่ 19 วันที่ 2 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
1°C/min				
2°C/min				
3°C/min				

รูปที่ 20 วันที่ 14 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

4.4. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์


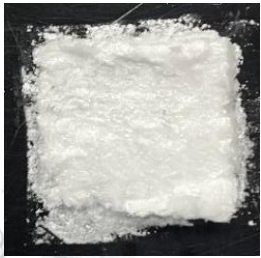

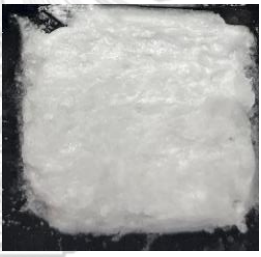

โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะศึกษาที่ KOH 7%, 10%, 12% และ 15% ในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน โดยเติม KOH ที่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มต้นในการทำปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการลดอุณหภูมิลงทันที จากตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่าที่ KOH 7% หลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วนั้น เหลือปริมาณของกรดลอริกสูงที่สุด และที่ KOH 15% แสดงให้เห็นว่าหลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วนั้น ปริมาณโพแทสเซียมลอเรตเกิดขึ้นเยอะที่สุด

ตารางที่ 13 ปริมาณของสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

Potassium Hydroxide (KOH) (เริ่มต้น) (%)	Potassium Hydroxide (KOH) (เหลืออยู่) (%)	Potassium Laurate (เกิดขึ้น) (%)	H ₂ O (%)	Lauric acid (เหลืออยู่) (%)	Conversion%
7	3.36	15.5	49.17	32.21	82.33
10	2.80	30.56	47.30	19.22	88.11
11.46	1.34	42.9	46.78	8.99	94.77
12	2.40	40.76	46.07	10.78	93.88
15	2.63	52.46	43.96	0.522	99.66

4.4.1 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ KOH 7%, 10%, 12% และ 15%

ตารางที่ 14 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ KOH 7%, 10%, 12% และ 15%

ปริมาณของ KOH (%)	รูปภาพ (Image)	ปริมาณของ KOH (%)	รูปภาพ (Image)	ปริมาณของ KOH (%)	รูปภาพ (Image)
11.46% STD Formula		7%		12%	
		10%		15%	

จากการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ KOH 7%, 10%, 12% และ 15% โดยการสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้ผ่านวิธีการทำ Spread test โดยการปาดเนื้อลงบนเพลท (Plate) ขาวดำ จากนั้นสังเกตเนื้อเบื้องต้นพบว่าที่ KOH 7% ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะเนื้อที่แข็ง ร่วน เจลทึบแสง ซึ่งเกิดประกายมุกชัดเจนในทันทีที่ทำให้สปูกรตเย็นลง ผลึกเหลวจะกลายเป็นผลึกสปูกรต เกิดการหักเหของแสงสูง ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นผลึกสูง สอดคล้องกับผลจากตารางที่ 13 ซึ่งพบว่าภายหลังจากการทำปฏิกิริยานั่นองค์ประกอบทางเคมี เหลือกรดลอริกในผลิตภัณฑ์ปริมาณเยอะที่สุด โดยกรดลอริกเป็นกรดไขมัน เมื่อนำมาหลอมเหลวและลดอุณหภูมิก็จะทำให้เกิดผลึกได้ ที่ตำรับสูตรในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันจะใช้ KOH อยู่ที่ 11.46% ซึ่งเป็นไปตามการคำนวณอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นเนื้อผลิตภัณฑ์ เมื่อสังเกตและเปรียบเทียบกับ KOH 10% และ KOH 12% มีลักษณะเนื้อค่อนข้างเหลว เนื้อค่อนข้างทึบแสงใกล้เคียงกับเนื้อของอัตราส่วนที่มีการคำนวณ แต่เนื้อยังไม่เกิดประกายมุกในทันที สำหรับที่ KOH 15% พบว่าเนื้อค่อนข้างมีความแข็งโดยทันทีซึ่งอาจจะเป็นอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมในการขึ้นเนื้อผลิตภัณฑ์ เนื้อค่อนข้างโปร่งแสง เนื้อใส เกิดประกายมุกทันทีเมื่อทำการลดอุณหภูมิลง เนื่องจากอาจเกิดผลิตภัณฑ์ที่มากเกินไป

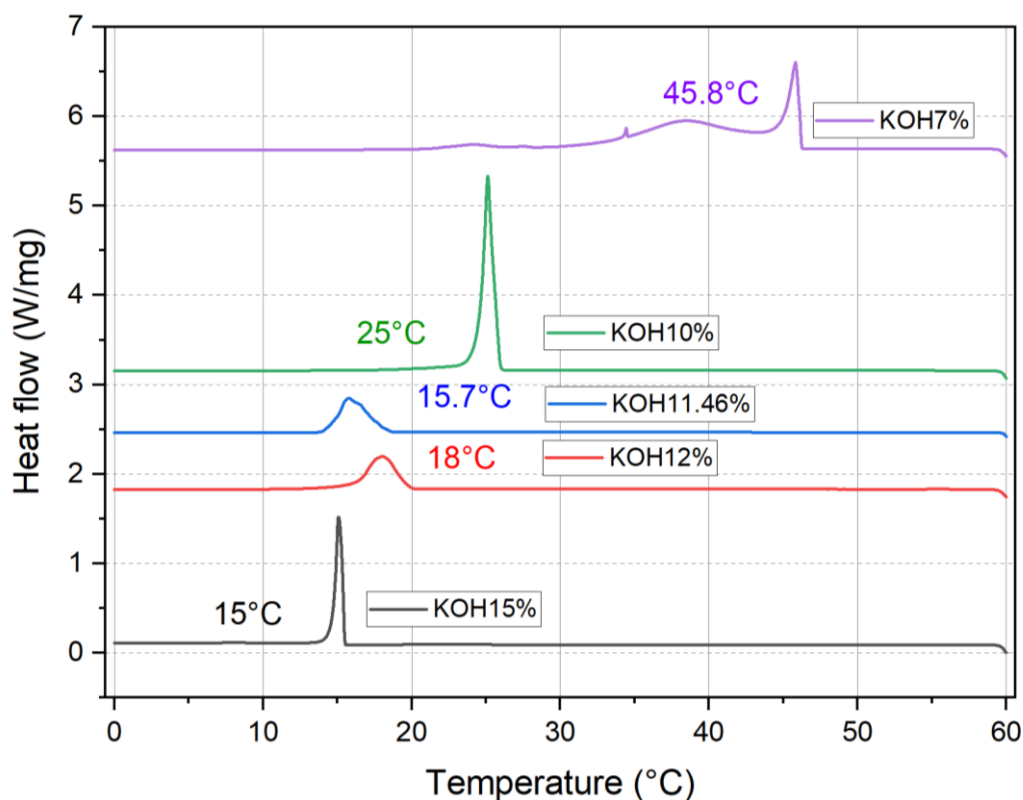
โดยการลดและเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์เกิดประกายมุกในทันทีเนื่องจากการเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากขึ้นอาจจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์คือโพแทสเซียมลอเรตหรือเกลือของกรดไขมันที่มากขึ้น ซึ่งยืนยันได้จากค่าการเปลี่ยนที่ได้จากการคำนวณที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติการเป็นผลึกอยู่แล้วจึงทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีประกายมุกเกิดขึ้น ในส่วนของการลดปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อาจทำให้เหลือปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในปฏิกิริยามากขึ้นและการจะเพิ่มหรือลดปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะต้องคำนึงถึงเนื้อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นไปตามที่ต้องการและต้องอาศัยการคำนวณเพื่อให้อัตราส่วนและเนื้อที่ได้ออกมาเหมาะสมที่สุด



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

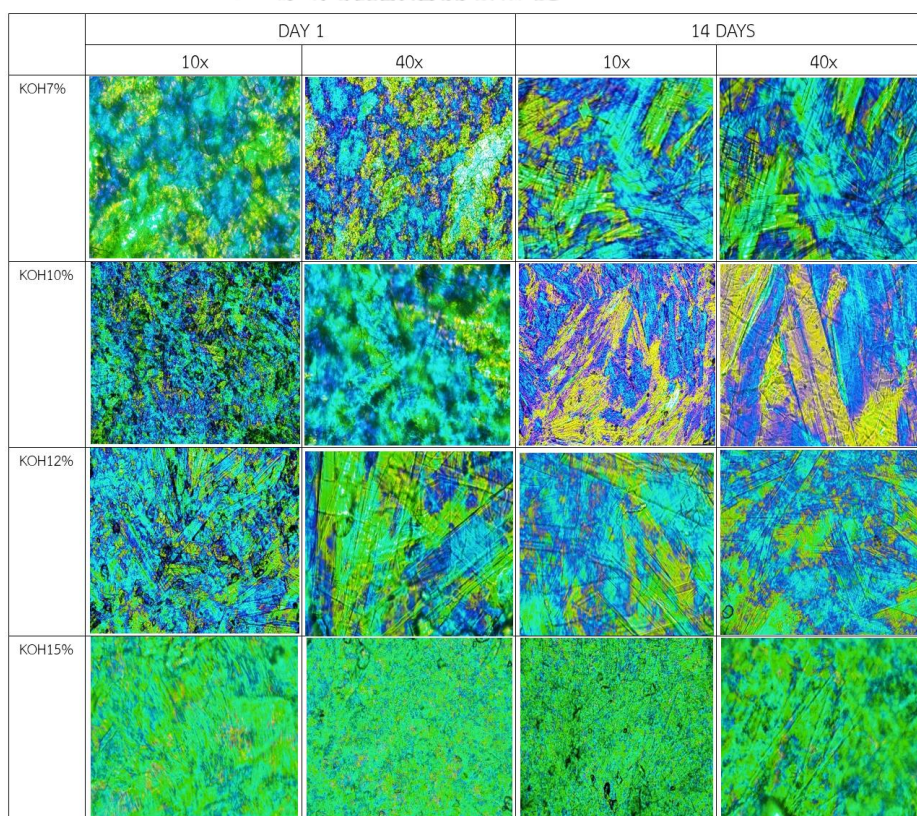
แผนภาพเชิงความร้อนแสดงการตกผลึกของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC แสดงดังภาพที่ 21 การให้ความร้อนอาจทำให้ตัวอย่าง เปลี่ยนจากสถานะคล้ายเจลไปเป็นวัฏภาคของเหลว จากนั้นจะเปลี่ยนวัฏภาคไปเป็นของแข็งอีกครั้งโดยจากแผนภาพเชิงความร้อนแสดงการตกผลึกพบว่าเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ KOH7% จะมีพีคขนาดเล็กมากเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 34°C และเริ่มต้นการตกผลึกที่อุณหภูมิ 46.3 °C ซึ่งอุณหภูมิมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิหลอมเหลวของกรดลอริกที่ประมาณ 43°C ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาระหว่างกรดลอริกกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อาจจะไม่พอดีกัน ทำให้กรดลอริกที่เป็นสารตั้งต้นยังคงเหลืออยู่ ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดสอดคล้องกับผลจากตารางที่ 13 และ KOH10% พบการเริ่มต้นการตกผลึกที่อุณหภูมิ 26°C และ KOH12% มีการเริ่มต้นการตกผลึกที่อุณหภูมิ 20°C และ พฤติกรรมทางความร้อนสำหรับ KOH15% แสดงการเริ่มต้นการตกผลึกที่อุณหภูมิ 15.5°C โดยพบว่าที่การใช้ KOH ปริมาณน้อยจะเริ่มเกิดการตกผลึกก่อนที่อุณหภูมิสูงส่วนปริมาณของ KOH ที่เพิ่มสูงขึ้นก็จะเริ่มตกผลึกที่อุณหภูมิลดลงตามลำดับ



รูปที่ 21 กราฟแสดงการตกผลึกของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่ cooling rate 2°C/นาที

4.4.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วย กล้อง Polarized Light Microscopy โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์

จากภาพของลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ของ KOH7%, KOH10%, และ KOH15% วันที่ 1 และวันที่ 14 โดยการติดตาม Stability พบว่าในวันที่ 1 ของทุกๆ ตัวอย่าง ผลึกที่เกิดขึ้นเป็นผลึกแบบบอสเนียน โดยการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระบบ ทำให้มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนในทุกๆ ตัวอย่าง โดยเมื่อเปรียบเทียบวันที่ 1 และวันที่ 14 จะพบว่าผลึกมีรูปร่างที่เห็นได้ชัดเจน มีลักษณะผลึกเป็นแท่งๆ จัดเรียงตัวกันได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลจากกล้องจุลทรรศน์ที่เนื้อของผลิตภัณฑ์มีความมันวาวที่มากขึ้นและมีประกายมุกสวยงามเมื่อครบ 14 วัน โดยผลึกจะมีโครงสร้างที่สเถียรขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ในส่วนของตัวอย่างที่ KOH12% แสดงลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับที่อัตราส่วนมาตรฐาน โดยมีลักษณะของผลึกเป็นแบบแท่งชัดเจน เมื่อครบ 14 วัน ลักษณะของผลึกเกิดเป็นรูปร่างชัดเจนมากขึ้น



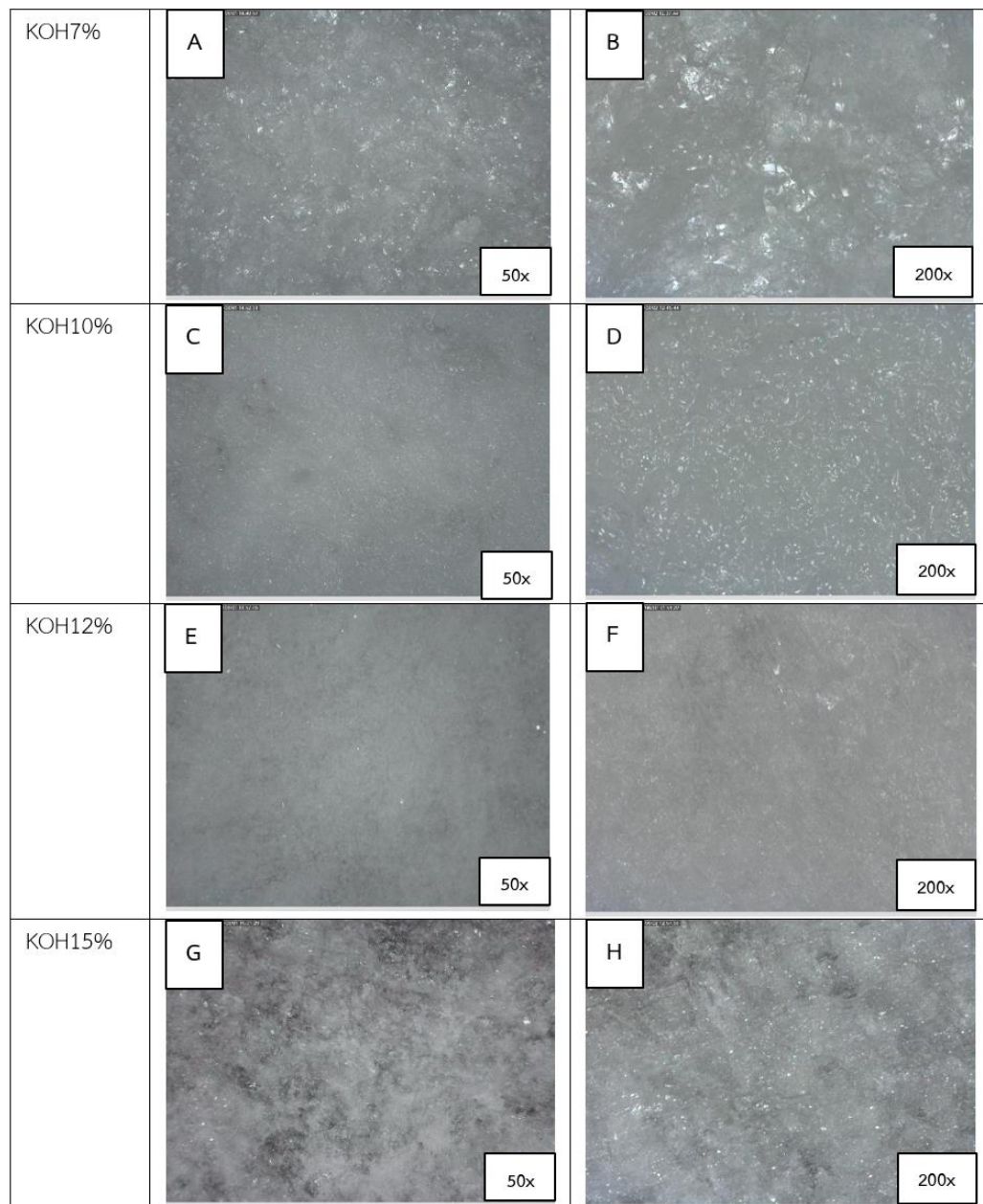
รูปที่ 22 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ระหว่างเนื้อผลิตภัณฑ์วันที่ 1 และวันที่ 14 ของ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15%

4.4.4 ทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึกโดยการการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

จากการทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึกโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากรูปที่ 23 แสดงวันที่ 1 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่สภาวะอุณหภูมิห้องและ 4°C พบว่า ที่ KOH7%, และ KOH15% เนื้อผลิตภัณฑ์ขึ้นประกายมุกสวยงาม เห็นผลึกที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนและเห็นได้ทันทีหลังจากอุณหภูมิลดลงมาที่อุณหภูมิห้อง แต่เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสแบบเนื้อทราย เนื้อแข็ง ซึ่งไม่ใช่เนื้อผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับสินค้าประเภทโฟมล้างหน้า อาจเป็นไปได้ว่าผลึกที่ได้ อาจจะมีอนุภาคขนาดใหญ่และเป็นอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสม


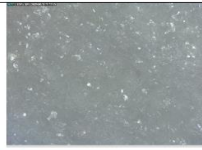

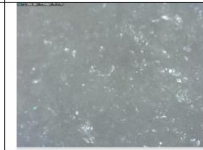





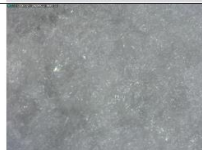
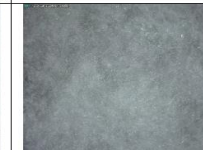
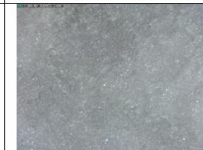
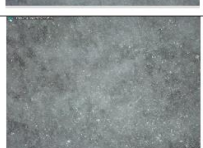
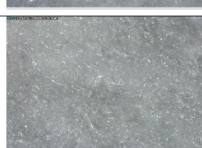
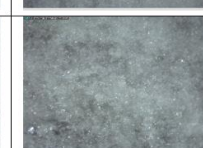

สำหรับเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ KOH10%, KOH12% เป็นอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคล้ายคลึงกันในเรื่องของการเกิดประกายมุกซึ่งจากการติดตามความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์พบว่าในวันที่ 1 เนื้อผลิตภัณฑ์มีความขาวทึบแต่ประกายมุกยังไม่ชัดเจน มีผลึกเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลึกมีขนาดเล็กจำนวนมากจะทำให้ลักษณะของเนื้อที่ได้มีความเรียบเนียน

ในส่วนของผลวันที่ 2 และครบ 14 วัน ในการทดสอบความคงตัว ซึ่งระยะเวลาและอุณหภูมิที่จัดเก็บมีผลต่อการเกิดขึ้นของผลึกและการเติบโตของผลึก เนื่องจากที่ 4°C ผลึกเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี เนื้อผลิตภัณฑ์แสดงความเป็นประกายมุกชัดเจน โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อเนื้อผลิตภัณฑ์โดยตรงและมีผลต่อการเกิดขึ้นของผลึก


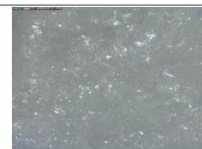

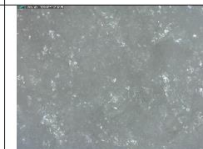




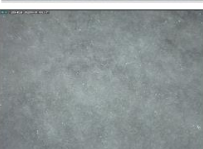
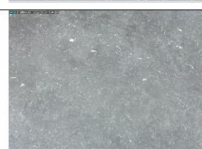
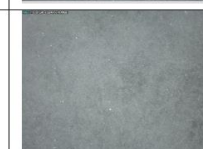
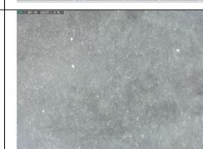
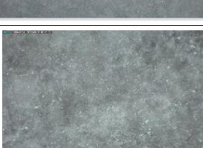





รูปที่ 23 วันที่ 1 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

KOH7%, (A, B), KOH10%, (C, D), KOH12%, (E, F), KOH15%, (G, H)

	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
KOH7%				
KOH10%				
KOH12%				
KOH15%				

รูปที่ 24 วันที่ 2 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
KOH7%				
KOH10%				
KOH12%				
KOH15%				

รูปที่ 25 วันที่ 14 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

4.5 ศึกษาการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์






ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 60 นาที โดยการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกจะเติมหลังจากการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน เติมลงในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ทำการศึกษาที่การเติม Lauric acid 5%, 10%, 15% และ 20% เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการลดอุณหภูมิลงทันที

ตารางที่ 15 ปริมาณของสารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันโดยการเพิ่มปริมาณของกรดลอริก

Lauric acid (เริ่มต้น) (%)	Potassium Hydroxide (KOH) (เริ่มต้น) (%)	Lauric acid (ที่เพิ่มในผลิตภัณฑ์) (%)	Lauric acid (ใช้ไป) (%)	Potassium Hydroxide (KOH) (เหลืออยู่) (%)	Potassium Laurate (เกิดขึ้น) (%)	H ₂ O (%)	Lauric acid (เหลืออยู่) (%)
45	11.46	-	36	1.34	42.9	46.78	8.99
45	11.46	5	36	1.34	42.9	46.78	15.6
45	11.46	10	36	1.34	42.9	46.78	20.16
45	11.46	15	36	1.34	42.9	46.78	23.63
45	11.46	20	36	1.34	42.9	46.78	27.70

4.5.1 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกจะศึกษาที่ Lauric acid 5%, 10%, 15% และ 20%

ตารางที่ 16 การสังเกตความมันวาว (Spread test) ของเนื้อผลิตภัณฑ์การเพิ่มปริมาณของกรดลอริกจะศึกษาที่ Lauric acid 5%, 10%, 15% และ 20%

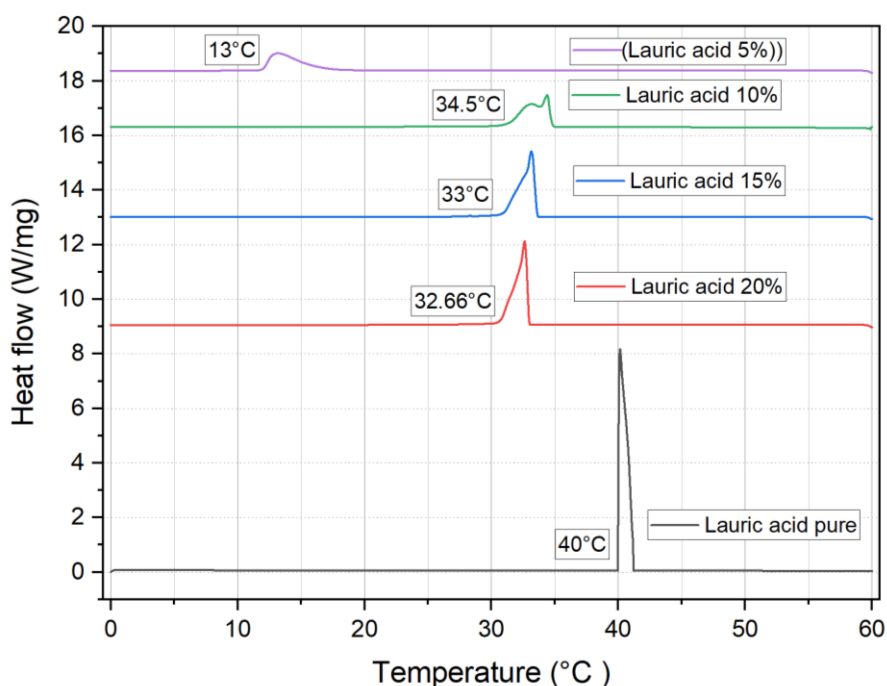
ปริมาณของ Lauric acid (%)	รูปภาพ (Image)	ปริมาณของ Lauric acid (%)	รูปภาพ (Image)	ปริมาณของ Lauric acid (%)	รูปภาพ (Image)
STD Formula		5%		15%	
		10%		20%	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดสอบ Spread test โดยการปาดเนื้อลงบนเพลท (Plate) ขาวดำเพื่อศึกษาและสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์ ที่มีการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกที่ Lauric acid 5%, 10%, 15% และ 20% พบว่าที่ Lauric acid 5% เนื้อที่ได้มีความทึบแสง เนื้อนุ่มเป็นเนื้อโฟม ปรากฏมุกเกิดขึ้นเล็กน้อย ยังไม่ชัดเจน ส่วนที่ Lauric acid 10% เนื้อผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เนื้อที่ได้สีขาวทึบมีความมันวาว เกิดประมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับ Lauric acid 15% และ 20% พบว่าเนื้อมีความทึบแสงแต่ลักษณะเนื้อค่อนข้างร่วน แข็ง ปรากฏมุกเกิดขึ้นชัดเจน เนื้อมันวาว ซึ่งเป็นลักษณะเนื้อที่ไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาสูตรและการนำไปใช้งานเนื่องจากปฏิกิริยาอาจจะเหลือสารตั้งต้นหรือกรดลอริกในปริมาณมาก อาจจะเป็นไปได้ว่าทำปฏิกิริยาไม่พอดีกัน โดยประมุกที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาจเนื่องมาจากกรดลอริกเป็นกรดไขมัน เมื่อนำมาหลอมเหลวและลดอุณหภูมิก็จะทำให้เกิดผลึกได้เช่นกัน

4.5.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

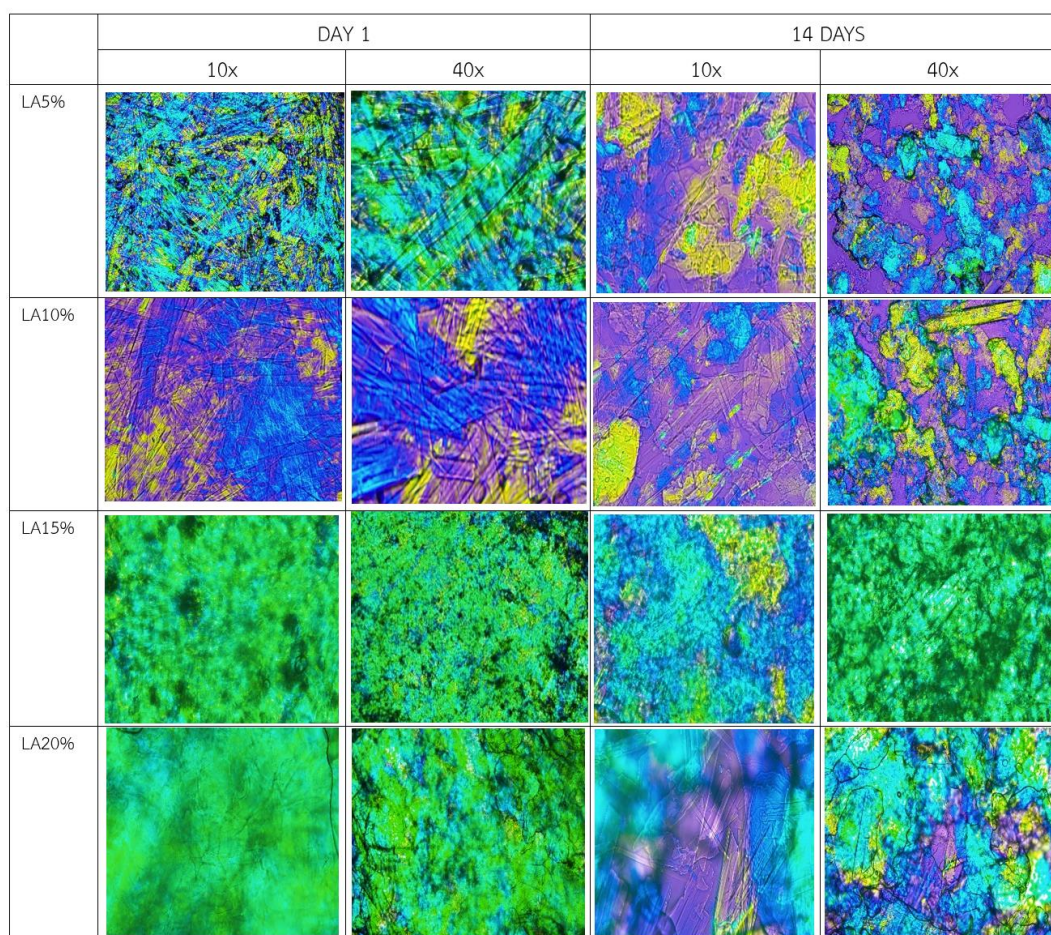
จากรูปที่ 26 แสดงการวิเคราะห์คุณลักษณะของการเปลี่ยนวัฏภาคด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry ของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกดังนี้ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% พบว่าที่ Lauric acid (LA) 5% การเปลี่ยนแปลงของวัฏภาคของเหลว-ของแข็งแสดงการเริ่มต้นตกผลึกที่อุณหภูมิ 15.6°C และพีคการตกผลึกของเนื้อผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 10% แสดงการเริ่มต้นตกผลึกที่อุณหภูมิ 34.9°C , Lauric acid (LA) 15% มีการเริ่มต้นตกผลึกที่อุณหภูมิ 33.8°C และ Lauric acid (LA) 20% แสดงการเริ่มต้นตกผลึกที่อุณหภูมิ 33°C ซึ่งบ่งบอกในเรื่องของการตกผลึกที่มีความใกล้เคียงกันและมีความใกล้เคียงกับการเริ่มต้นตกผลึกของกรดลอริกที่อุณหภูมิ 41.2°C เห็นได้ชัดจากเนื้อผลิตภัณฑ์ ที่ประกายมุกนั้นเกิดขึ้นคล้ายคลึงกันสอดคล้องกับผลจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ในการติดตามความคงตัว และจะเห็นได้ชัดว่าพีคของอุณหภูมิในการตกผลึกหรือการเปลี่ยนวัฏภาคมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของกรดลอริกที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณของกรดลอริกที่เพิ่มขึ้นและปริมาณของกรดไขมันในตัวอย่าง มีผลต่ออุณหภูมิของการเปลี่ยนวัฏภาค



รูปที่ 26 กราฟแสดงการเพิ่มปริมาณของกรดลอริก Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่ cooling rate $2^{\circ}\text{C}/\text{นาที่}$

4.5.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วย กล้อง Polarized Light Microscopy โดยการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลึกภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลึกภัณฑ์

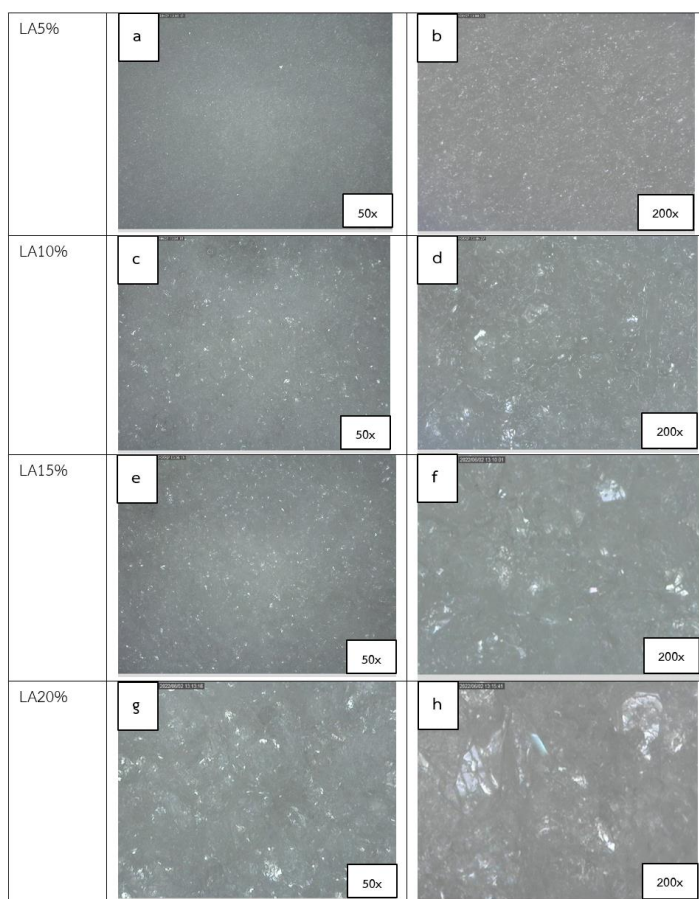
จากภาพที่ 27 แสดงลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ของ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% วันที่ 1 และวันที่ 14 โดยการติดตาม Stability พบว่าผลึกที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแท่งคล้ายเข็มที่บ่งบอกว่า เป็นผลึกของกรดไขมันและเกลือของกรดไขมัน เบื้องต้นยังพบการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยเมื่อครบ 14 วันจะพบว่าผลึกแสดงรูปร่างที่เห็นได้ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งบ่งบอกได้ว่าการเกิดผลึกที่สมบูรณ์และการเติบโตของผลึกขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งต้องใช้เวลาเพื่อให้ผลึกนั้นเติบโตได้อย่างเต็มที่



รูปที่ 27 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้อง PLM ระหว่างเนื้อผลึกภัณฑ์วันที่ 1 และวันที่ 14 ของ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20%








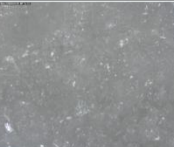
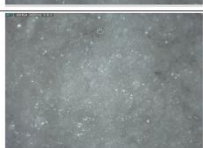
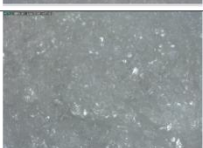
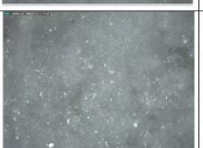
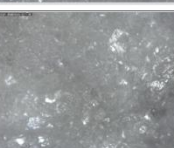




4.5.4 ทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึกโดยการเพิ่มปริมาณของกรดลอริก ที่ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

จากการทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึกโดยการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกแสดงผลในรูปที่ 28a,b พบว่าการเพิ่ม Lauric acid (LA) 5% เนื้อผลิตภัณฑ์ในวันที่ 1 มีความมันวาว ประกายมุกเล็กน้อยมาก สำหรับเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเพิ่ม Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% พบว่าประกายมุกเกิดขึ้นทันทีหลังจากการลดอุณหภูมิมาที่อุณหภูมิห้อง ประกายมุกสวยงาม เห็นได้ชัดเจน โดยผลึกที่แสดงในภาพมีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างใหญ่ ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อรวน เนื้อแข็งไม่เหมาะสมที่จะนำอัตราส่วนเหล่านี้มาพัฒนาต่อ โดยการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกมีผลต่อเนื้อผลิตภัณฑ์โดยตรงและมีผลต่อการเกิดขึ้นของผลึก








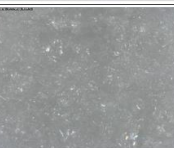
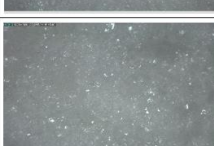
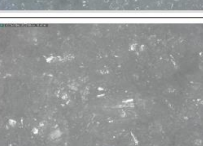
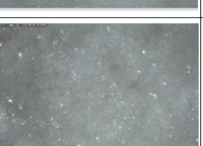

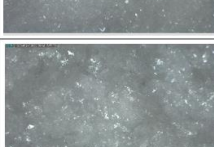
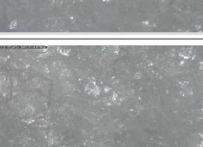
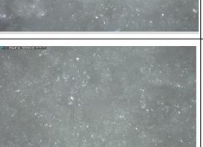
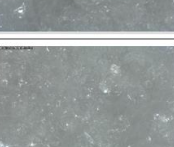


รูปที่ 28 วันที่ 1 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

Lauric acid (LA) 5%, (a, b), Lauric acid (LA) 10%, (c, d), Lauric acid (LA) 15%, (e, f), Lauric acid (LA) 20%, (g, h)

	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
LA5%				
LA10%				
LA15%				
LA20%				

รูปที่ 29 วันที่ 2 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
LA5%				
LA10%				
LA15%				
LA20%				

รูปที่ 30 วันที่ 14 ของการทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C

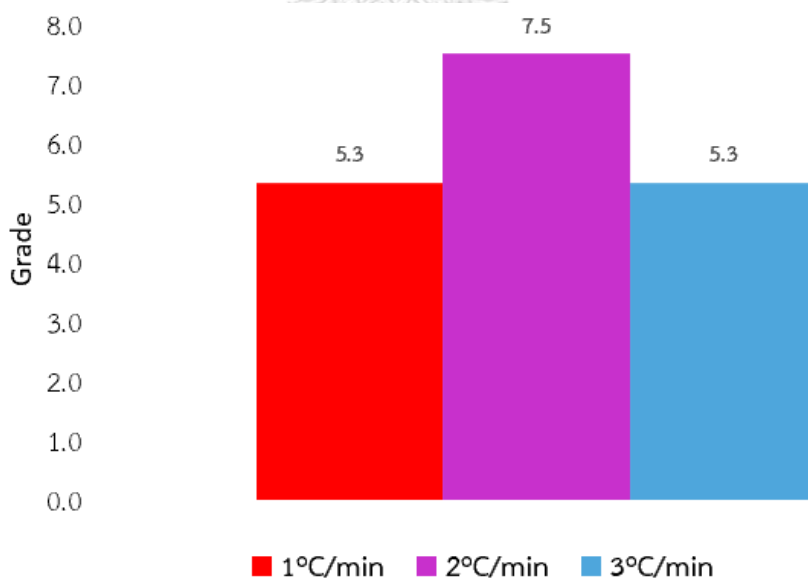
4.6 แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อสำรวจการขึ้นมุกของเนื้อผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีโพรไพลีน

วิธีทดสอบ : ให้อาสาสมัครสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีโพรไพลีนจากนั้นวิเคราะห์ว่าเนื้อผลิตภัณฑ์ขึ้นมุกหรือไม่แล้วทำการเกรดคะแนน คะแนนเต็ม 1-10

- 0-5 มุกขึ้นประมาณ 30-50%
- 5-9 มุกขึ้นประมาณ 60-70%
- 10 มุกขึ้นชัดเจน

4.6.1 ศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอเรตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์

สรุปผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์เรื่องการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีโพรไพลีน ในอาสาสมัครทั้งหมด 6 คน เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบเป็นเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากการลดอุณหภูมิลงทันทีหรือวันที่ 1 พบว่าที่ Cooling rate 2°C/นาที ปรากฏมุกที่เกิดขึ้นประมาณ 60-70% ในส่วนของที่ Cooling rate 1°C/นาที, Cooling rate 3°C/นาที ผลการเกรดคะแนนแสดง คะแนน 0-5 ซึ่งหมายความว่า มุกขึ้นประมาณ 30-50% ยังไม่สามารถปล่อยผ่านได้ โดยผลการเกรดคะแนนสอดคล้องกับผลจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีการติดตามทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึก



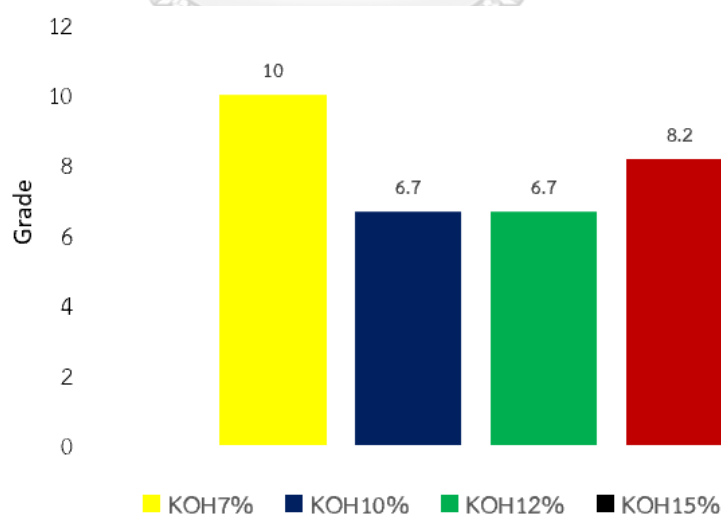
รูปที่ 31 กราฟแสดงผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์เรื่องการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีโพรไพลีน

ตารางที่ 17 สรุปผลการนำเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวของผลิตภัณฑ์ไปพัฒนาต่อ

Cooling rate 1°C/นาที	มุกขึ้นประมาณ 30-50%	สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อได้ อาจต้องใช้เวลาเพื่อให้มุกขึ้นสมบูรณ์
Cooling rate 2°C/นาที	มุกขึ้นประมาณ 60-70%	สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อได้ อาจต้องใช้เวลาเพื่อให้มุกขึ้นสมบูรณ์
Cooling rate 3°C/นาที	มุกขึ้นประมาณ 30-50%	สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อได้ อาจต้องใช้เวลาเพื่อให้มุกขึ้นสมบูรณ์

4.6.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์

สรุปผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์เรื่องการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีแลมด้าน ในอาสาสมัครทั้งหมด 6 คน เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบเป็นเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากการลดอุณหภูมิลงทันทีหรือวันที่ 1 พบว่าที่ KOH 7% เกิดมุกขึ้นชัดเจน รองลงมาที่ตัวอย่าง KOH15% มุกขึ้นประมาณ 60-70% แสดงคะแนนเฉลี่ยที่ 8.2 คะแนน ส่วนของที่ KOH10% และ KOH12 มุกขึ้นประมาณ 60-70% แสดงคะแนนเฉลี่ยที่ 6.7 คะแนน โดยผลการเกรดคะแนนสอดคล้องกับผลจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีการติดตามทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึก



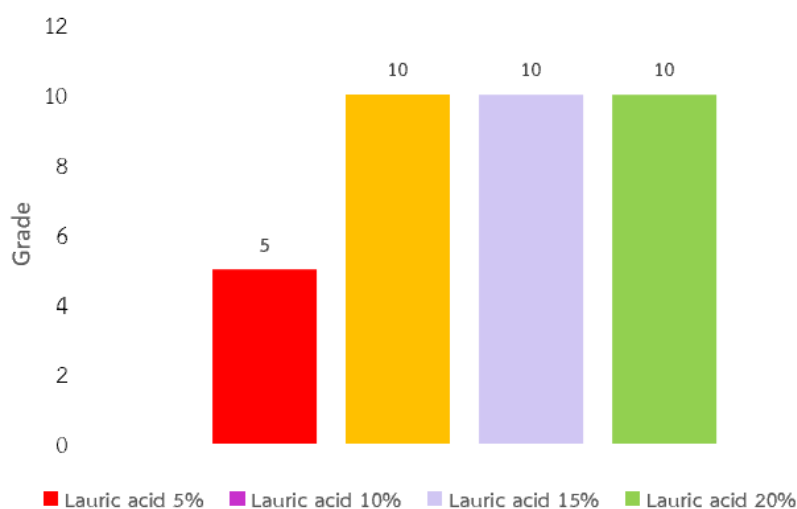
รูปที่ 32 กราฟแสดงผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์เรื่องการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโพลีแลมด้าน

ตารางที่ 18 สรุปผลการนำเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ไปพัฒนาต่อ

KOH7%	มุกขึ้นชัดเจน	ไม่สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะ ร่วน แข็ง
KOH10%	มุกขึ้นประมาณ 60-70%	สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อได้ อาจต้องใช้เวลาเพื่อให้มุกขึ้นสมบูรณ์
KOH12%	มุกขึ้นประมาณ 60-70%	สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อได้ อาจต้องใช้เวลาเพื่อให้มุกขึ้นสมบูรณ์
KOH15%	มุกขึ้นประมาณ 60-70%	ไม่สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะ ร่วน แข็ง

4.6.3 ศึกษาการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์

สรุปผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์เรื่องการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโฟมล้างหน้า ในอาสาสมัครทั้งหมด 6 คน เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบเป็นเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากการลดอุณหภูมิลงทันทีหรือวันที่ 1 พบว่าที่ Lauric acid (LA) 5% แสดงคะแนนเฉลี่ยที่ 5 คะแนน มุกขึ้นประมาณ 30-50% สำหรับ Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% มุกขึ้นชัดเจน แสดงคะแนนเฉลี่ยที่ 10 คะแนน โดยผลการเกรดคะแนนสอดคล้องกับผลจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีการติดตามทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ และศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลึก



รูปที่ 33 กราฟแสดงผลการเกรดคะแนนจากอาสาสมัครในการสังเกตเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกที่มีผลต่อการขึ้นมุกในผลิตภัณฑ์ประเภทโฟมล้างหน้า

ตารางที่ 19 สรุปผลการนำเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกไปพัฒนาต่อ

Lauric acid (LA) 5%	มุกขึ้นประมาณ 30-50%	สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อได้ อาจต้องใช้เวลาเพื่อให้มุกขึ้นสมบูรณ์
Lauric acid (LA) 10%	มุกขึ้นชัดเจน	ไม่สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะ ร่วน แข็ง
Lauric acid (LA) 15%	มุกขึ้นชัดเจน	ไม่สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะ ร่วน แข็ง
Lauric acid (LA) 20%	มุกขึ้นชัดเจน	ไม่สามารถนำเนื้อผลิตภัณฑ์นี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื่องจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะ ร่วน แข็ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและอภิปรายผล

อัตราการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอเรตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาทีก, 2°C/นาทีก และ 3°C/นาทีก

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษานี้พบว่าค่าการเปลี่ยนของปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดลอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยคงที่อยู่ประมาณ 96.55% แสดงให้เห็นว่าเวลาไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา สำหรับผลของอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่มีผลต่อการเกิดผลึกของลอเรตโดยการควบคุมอัตราการทำให้เย็นตัวลงของผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาทีก, 2°C/นาทีก และ 3°C/นาทีก พบว่าผลึกที่เกิดขึ้นระหว่างการทำให้เย็นตัวลงและอัตราการทำให้เย็นตัวลงที่ 1-2°C/นาทีก ให้ผลึกที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ สอดคล้องลักษณะทางกายภาพกับเนื้อที่ได้มีความมันวาว และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และการเพิ่มปริมาณของกรดลอริกเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลิตภัณฑ์และการเกิดประกายมุกในเนื้อผลิตภัณฑ์ พบว่าอัตราส่วนในสูตรผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลโดยตรงต่อการเกิดผลึกและความมันวาวของเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจไม่เหมาะสมในการนำมาพัฒนาสูตร



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ศึกษาการโตของผลึก ขนาดและรูปร่างหลังจากการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
- 5.2.2 ศึกษาอัตราการกวนผสมที่มีผลต่อการขึ้นมุกของเนื้อผลิตภัณฑ์

บรรณานุกรม

1. Zauro, S., et al., Production and analysis of soap using locally available raw-materials. Applied Chemistry, 2016. **96**(7): p. 41479-41483.
2. wamworarat, c., Lipid. 2563.
3. Swern, D., Bailey's industrial oil and fat products. 1982.
4. Department of Energy Business, M.o.E., คู่มือองค์ความรู้ เรื่องการศึกษาดูงานเกี่ยวกับการผลิตและผลผลิตจากไบโอดีเซลแผนจัดการความรู้ (KM Action Plan) ประจำปีงบประมาณ 2553. 2553.
5. รัตน์, พ.ช.ร.ณ.ฎ.ฐ.เ., ปฏิกริยา เอส เท อริ พี เค ชั้น ของ กลี เซอ รอ ลบ น ตัว เร่ง ปฏิกริยา ซีไอไลต์. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
6. Kelm, G.R. and R.R. Wickett, The role of fatty acids in cosmetic technology, in Fatty Acids. 2017, Elsevier. p. 385-404.
7. Son, S.C.J., Oleic Acid. 2022.
8. pharma, N., Lauric acid. 2563.
9. AJRITHIRONG, P., Inhibitory effects of lauric acid gel on streptococcus mutans in vitro. 2558. **20**: p. 1-26.
10. sarapatchemical, Lauric acid. 2563.
11. chaladsue, มาส์องดูสารเคมีในโฟมล้างหน้ากัน. 2560.
12. Bennett, J., Vanishing Creams. 2009-2022.
13. รัตนาพนนท์, น., วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. Vol. 1. 2548, กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
14. Gunstone, F., Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses. 2011: John Wiley & Sons.
15. รัตน์, พ.พ.ป.น.ว.ฒ., การ ศึกษา เปรียบเทียบ องค์ประกอบ กรด ไขมัน และ ไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติ ทาง เคมี และ ทาง กายภาพ และ พฤติกรรม การ ตกผลึก ของ น้ำมัน เมล็ด มะม่วง หลาย สาย พันธุ์ ที่ ปลูก ใน ประเทศไทย. 2011, มหาวิทยาลัย ศิลปากร.
16. Caprette, D.R., Introduction Laboratory-Bios. 2005.
17. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, Polarized Light Microscope.
18. Sripukdee, M., DEVELOPMENT OF GRAZING INCIDENCE X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUE USING SYNCHROTRON LIGHT in Degree of Master of Science in Physics 2018.
19. ปรัชญา ทิพยดวงตา, จ.ศ., หลักการและการประยุกต์วิธีวิเคราะห์เชิงความร้อนสำหรับยาเตรียมรูปแบบของแข็งด้วยวิธีดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี. 2018: p. 129-143.

20. AL, O., IFSCC MONOGRAPH. 1992.
21. EUROPE, C., GUIDELINES ON STABILITY TESTING OF COSMETIC PRODUCTS. 2004.
22. Zhu, S., et al., Acid soap and phase behavior of stearic acid and triethanolamine stearate. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2005. **109**(23): p. 11753-11761.
23. Zhu, S., et al., Interaction of the acid soap of triethanolamine stearate and stearic acid with water. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2007. **111**(5): p. 1016-1024.
24. Bernecké, S. and A. Maruška, Analysis of free fatty acids in soap samples by means of gas chromatography-mass spectrometry. *chemija*, 2013. **24**(4): p. 307-311.
25. Lynch, M.L., Y. Pan, and R.G. Laughlin, Spectroscopic and thermal characterization of 1: 2 sodium soap/fatty acid acid- soap crystals. *The Journal of Physical Chemistry*, 1996. **100**(1): p. 357-361.
26. Xu, W., et al., Bilayers at high pH in the fatty acid soap systems and the applications for the formation of foams and emulsions. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2015. **119**(33): p. 10760-10767.
27. Poulenat, G., S. Sentenac, and Z. Mouloungui, Fourier-transform infrared spectra of fatty acid salts—Kinetics of high-oleic sunflower oil saponification. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2003. **6**(4): p. 305-310.
28. Yoshikawa, S., Combined effects of Addition of talc and cooling rates on fat crystallization. 2014.
29. Abidin, S.Z., et al., Effects of temperature and cooling modes on yield, purity and particle size distribution of dihydroxystearic acid crystals. *Eur. J. Sci. Res*, 2009. **33**: p. 471-479.
30. Huang, D., X. Chen, and Z. Li, Formation of pyrrolidinium fatty acid soap and its lyotropic liquid crystalline phase behavior. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013. **426**: p. 55-62.
31. Du, H. and X. Wang, Lamellar crystalline networks in the gel-like phase of potassium stearate-stearic acid-water. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2021. **629**: p. 127402.
32. Rodric, D., S. Upadhyaya, and K. Kishore, Infra-Red Absorption Spectra, X-Ray Diffraction Studies and Thermal Behavior of Samarium Laurate and Myristate. *Asian J. Adv. Basic Sci*, 2015. **3**(2): p. 41-44.
33. Figueiredo Neto, A. and L. Amaral, Study of a Phase Transition in a Lyotropic Liquid Crystal of Potassium Laurate/KCl/Water by X-ray Diffraction and Optical Microscopy. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 1983. **95**(1-2): p. 129-141.

34. Li, F., M. Chen, and W. Zhang, Effect of binary/ternary fatty acids ratio and glycerin on the phase behaviors of soap solutions. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2017. **20**(2): p. 425-434.
35. ศรีไสยเพชร, ด.อ., โครงสร้างทางเคมีของไขมันและน้ำมัน สมบัติทางกายภาพและเคมีของกรดไขมัน เทคโนโลยีชีวภาพของไขมันและน้ำมันและการนำไปใช้ประโยชน์ เคมีภัณฑ์จากไขมัน.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก. วิธีการคำนวณหาปริมาณ Fatty acid ที่เหลืออยู่ จากการไทเทรตโดยทำการเก็บตัวอย่างที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60 นาที

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. บิวเรตขนาด 25 ml พร้อมขาตั้งและชุดจับบิวเรต
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml.
4. กระจกบอดวงขนาด 50 ml
5. ปีกเกอร์ ขนาด 50 ml

สารเคมี

1. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N เตรียมดังนี้
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 95% จำนวน 5.6 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 ml
2. Ethanol (Ethyl alcohol)
3. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) 0.1 เตรียมดังนี้
ฟีนอล์ฟทาลีน 5.00 กรัม ละลายในเอทานอลปริมาตร 1000 ml ควรเก็บรักษาสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ในขวดสีชาและอายุการใช้งานไม่ควรเกิน 1 ปี

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.5 กรัมปรับปริมาตรด้วยเอทานอลประมาณ 50 ml และหยดฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ 3-5 หยดเขย่ารวมกันในขวดรูปชมพู่
2. นำไปให้ความร้อนเพื่อให้ตัวอย่างละลายดีที่ 60°C
3. เตรียมสารละลายต่างความเข้มข้น 0.1 N ลงในบิวเรตพร้อมเปิดโล่อากาศออกเพื่อใหพร้อมใช้งานและจดค่าปริมาตรเริ่มต้นไว้
4. หยดสารละลายต่างจากบิวเรตลงในขวดรูปชมพู่พร้อมเขย่าให้เข้ากัน
5. หยดสารละลายจนกว่าตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือสีม่วงแล้วอ่านค่าปริมาตรสิ้นสุดที่บิวเรต

คำนวณหาปริมาณ Free Fatty acid ที่เหลืออยู่

$$\%FFA = (N \times V \times Mw \times 100) / (1000 \times W(g))$$

N = ความเข้มข้นของสารละลาย KOH ที่ใช้ในการไทเทรต (N, mol/L)

V = ปริมาตรของ KOH ที่ใช้ในการไทเทรต (mL.)

V1 = ปริมาตรของ KOH เริ่มต้นก่อนการไทเทรต (mL.)

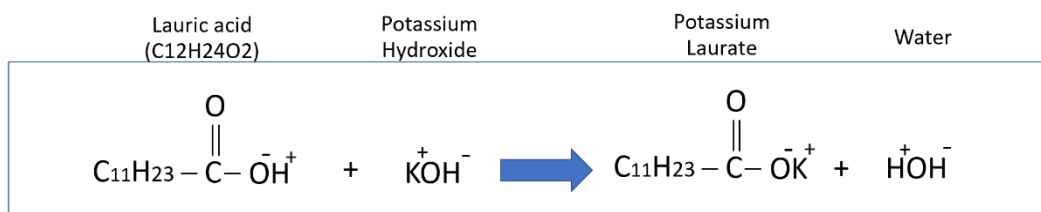
V2 = ปริมาตรของ KOH เริ่มต้นก่อนการไทเทรต (mL.)

Mw = มวลโมเลกุลของกรอลริก (200.4 g/mol)

W (g) = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (0.5 g)



ภาคผนวก ข. วิธีการคำนวณหา %Conversion



ปริมาณ \hat{a} ที่เปลี่ยนไป = ปริมาณ \hat{a} ที่เริ่มต้น - ปริมาณ \hat{a} ที่เหลือ

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าไทเทรต } 1.55 &= 45 - 1.55 \\
 &= 43.45 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{conversion} &= (\text{ปริมาณ } \hat{a} \text{ ที่เปลี่ยนไป}) / (\text{ปริมาณ } \hat{a} \text{ ที่เริ่มต้น}) \times 100 \\
 &= 43.45 / 45 \times 100 \\
 &= 96.55\%
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ค. วิธีการคำนวณหา %Yield

$$\% \text{Yield} = (\text{น้ำหนักที่ได้}) / \text{น้ำหนักเริ่มต้น} \times 100$$


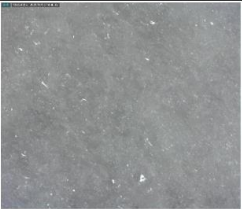






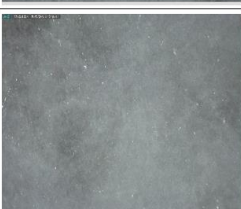



$$\begin{aligned}
 \text{ค่าไทเทรต } 1.55 & \quad 45 - 1.55 = 43.45 \\
 & \quad 43.45 / 200 = 0.215 \\
 & \quad 0.215 \times 238.41 = 51.25 \\
 & \quad 51.25 / (11.46 \times 45) \times 100 = 90.77\%
 \end{aligned}$$

$$\text{Mw} = \text{Potassium laurate} = 238.41$$









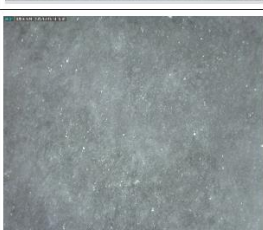

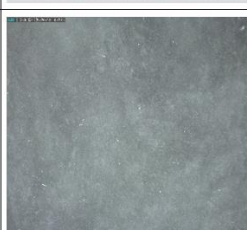
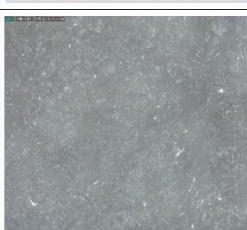
$$\text{Mw} = \text{Potassium hydroxide} = 56$$

$$\text{Mw} = \text{Lauric acid} = 200$$

ภาคผนวก ง. การทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วันและ 1 เดือน








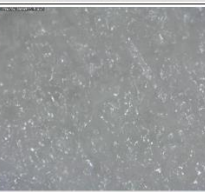

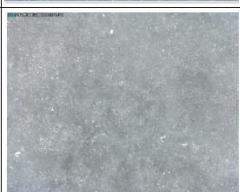






	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
1°C/min				
2°C/min				
3°C/min				

รูปที่ 34 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ 1°C/นาที่, 2°C/นาที่ และ 3°C/นาที่ ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วัน

















	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
1°C/min				
2°C/min				
3°C/min				

รูปที่ 35 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ 1°C/นาที, 2°C/นาที และ 3°C/นาที ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 1 เดือน

ภาคผนวก จ. การทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ KOH7%, KOH10%, KOH12% และ KOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วันและ 1 เดือน


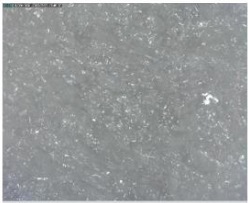



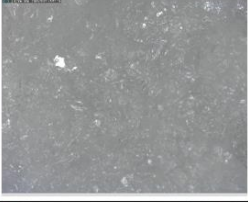





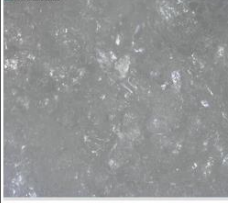




	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
KOH7%				
KOH10%				
KOH12%				
KOH15%				

รูปที่ 36 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ KOH7%, KOH10%, KOH12% และKOH15% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วัน




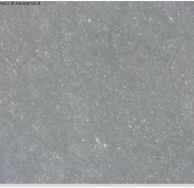

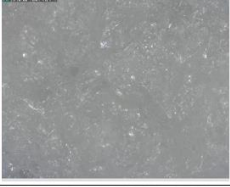

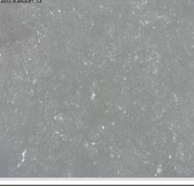

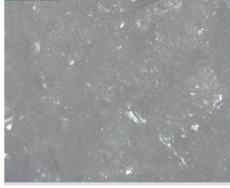

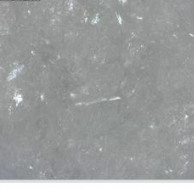

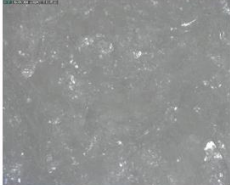

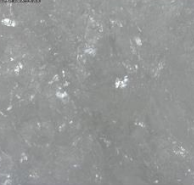
	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
KOH7%				
KOH10%				
KOH12%				
KOH15%				

รูปที่ 37 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ KOH7%, KOH10%, KOH12% และKOH15% ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 1 เดือน

ภาคผนวก ฉ. การทดสอบความคงตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วันและ 1 เดือน

	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
LA5%				
LA10%				
LA15%				
LA20%				

รูปที่ 38 การทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 7 วัน

	Room temp (RT)		4°C	
	50x	200x	50x	200x
LA5%				
LA10%				
LA15%				
LA20%				

รูปที่ 39 การทดสอบความคงตัวผลิตภัณฑ์ Lauric acid (LA) 5%, Lauric acid (LA) 10%, Lauric acid (LA) 15% และ Lauric acid (LA) 20% ที่สภาวะ อุณหภูมิห้อง, 4°C ที่ 1 เดือน

ภาคผนวก ข. แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อสำรวจการขึ้นมูกของเนื้อผลิตภัณฑ์ประเภทโฟมล้างหน้า

วิธีทดสอบ : ให้อาสาสมัครกัดเนื้อผลิตภัณฑ์ประเภทโฟมล้างหน้าจากนั้นวิเคราะห์ว่าเนื้อผลิตภัณฑ์ขึ้นมูกหรือไม่จากนั้นทำการเกรดคะแนน คะแนนเต็ม 1-10

0-5 = มูกขึ้นเล็กน้อย ประมาณ 30-50%

6-9 = มูกขึ้นประมาณ 60%

10 = มูกขึ้นชัดเจน

No.1

No.Formula	Formula	Pass	Failed	Grade
1	1°C/min		✗	6
2	2°C/min		✗	8
3	3°C/min		✗	6
4	KOH7%	✓		10
5	KOH10%		✗	7
6	KOH12%		✗	7
7	KOH15%		✗	8
8	Lauric acid 5%		✗	5
9	Lauric acid 10%	✓		10
10	Lauric acid 15%	✓		10
11	Lauric acid 20%	✓		10

No.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.Formula	Formula	Pass	Failed	Grade
1	1°C/min		✗	6
2	2°C/min		✗	8
3	3°C/min		✗	6
4	KOH7%	✓		10
5	KOH10%		✗	6
6	KOH12%		✗	6
7	KOH15%		✗	7
8	Lauric acid 5%		✗	5
9	Lauric acid 10%	✓		10
10	Lauric acid 15%	✓		10
11	Lauric acid 20%	✓		10

No.3

No.Formula	Formula	Pass	Failed	Grade
1	1°C/min		✘	5
2	2°C/min		✘	7
3	3°C/min		✘	5
4	KOH7%	✔		10
5	KOH10%	✔		7
6	KOH12%	✔		7
7	KOH15%		✘	8
8	Lauric acid 5%		✘	5
9	Lauric acid 10%	✔		10
10	Lauric acid 15%	✔		10
11	Lauric acid 20%	✔		10



No.4

No.Formula	Formula	Pass	Failed	Grade
1	1°C/min		✘	4
2	2°C/min		✘	8
3	3°C/min		✘	4
4	KOH7%	✔		10
5	KOH10%		✘	6
6	KOH12%		✘	7
7	KOH15%		✘	9
8	Lauric acid 5%		✘	5
9	Lauric acid 10%	✔		10
10	Lauric acid 15%	✔		10
11	Lauric acid 20%	✔		10

No.5

No.Formula	Formula	Pass	Failed	Grade
1	1°C/min		✘	5
2	2°C/min		✘	7
3	3°C/min		✘	5
4	KOH7%	✔		10
5	KOH10%	✔		7
6	KOH12%		✘	6
7	KOH15%		✘	8
8	Lauric acid 5%		✘	5
9	Lauric acid 10%	✔		10
10	Lauric acid 15%	✔		10
11	Lauric acid 20%	✔		10

No. 6



No.Formula	Formula	Pass	Failed	Grade
1	1°C/min		✘	6
2	2°C/min		✘	7
3	3°C/min		✘	6
4	KOH7%	✔		10
5	KOH10%		✘	7
6	KOH12%		✘	7
7	KOH15%		✘	9
8	Lauric acid 5%		✘	5
9	Lauric acid 10%	✔		10
10	Lauric acid 15%	✔		10
11	Lauric acid 20%	✔		10

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จิตาภา เฟื่องฟู
วัน เดือน ปี เกิด	29 กรกฎาคม 2537
สถานที่เกิด	อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2554 - สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนอัมพวันวิทยาลัย จังหวัดสมุทรสงคราม พ.ศ. 2559 ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY