

ผลของปริมาณกรดกำมะถันและสารละลายเอทานอลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมัน
จากน้ำมันมะพร้าว



นาย ปิตินันต์ อักษร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

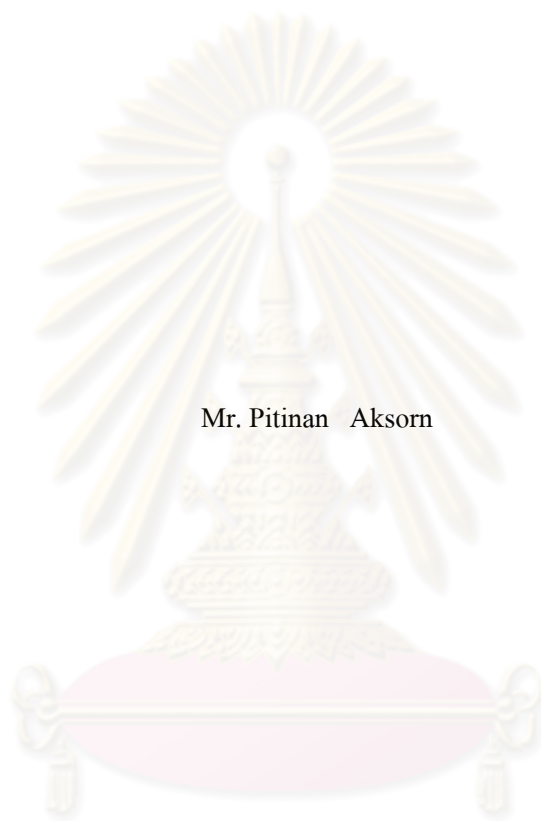
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF SULFURIC ACID AND AQUEOUS ETHANOL TO ESTERIFICATION OF
COCONUT OIL FATTY ACID



Mr. Pitinan Aksorn

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของปริมาณกรดกำมะถันและสารละลายเอทานอลต่อ
ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว

โดย

นาย ปิตินันต์ อักษร

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช)

.....
(อาจารย์ ดร.เจดศักดิ์ ไชยคุณา)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล เหล่าศิริพนธ์)

ปีคตินันต์ อักษร : ผลของปริมาณกรดกำมะถันและสารละลายเอทานอลต่อปฏิกิริยา
เอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว(EFFECT OF SULFURIC ACID
AND AQUEOUS ETHANOL TO ESTERIFICATION OF COCONUT OIL FATTY
ACID) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช, 104หน้า.

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวกับสารละลายเอทานอล
ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรในถังปฏิกรณ์แบบเบดซ์ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
ทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา สัดส่วนกรดไขมันต่อสารละลายเอทานอล และ
สัดส่วนกรดกำมะถันต่อสารละลายเอทานอลตั้งต้นตามลำดับ โดยพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลง
กรดไขมัน ไปเป็นเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ณ เวลาน้อยกว่า 2 ชั่วโมง ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันที่มีเอทานอลอย่างมากเกินพอ
สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับเวลาที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่ภายหลังเวลา 2 ชั่วโมง ค่าการ
เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ณ เวลา 2 ชั่วโมง การลดลงของค่าสัดส่วนกรดไขมันต่อ
สารละลายเอทานอล และการเพิ่มค่าสัดส่วนตัวเร่งต่อสารละลายเอทานอลทำให้ปฏิกิริยาเกิด
ได้ดีขึ้น ค่าสัดส่วนกรดไขมันต่อสารละลายเอทานอล และค่าสัดส่วนตัวเร่งต่อสารละลายเอ
ทานอลที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 2.4 และ 1 โดยน้ำหนักตามลำดับ ค่าการเปลี่ยนแปลงกรด
ไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 15.9 โดยโมล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....ป. ณ
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา2553.....

4970786021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : ESTERIFICATION / COCONUT OIL FATTY ACID / AQUEOUS ETHANOL / SULFURIC ACID

PITINAN AKSORN : EFFECT OF SULFURIC ACID AND AQUEOUS ETHANOL TO ESTERIFICATION OF COCONUT OIL FATTY ACID. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D., 104 pp.

The esterification of coconut oil fatty acid with 10% v/v ethanol solution was carried out batch wisely at 50 °C to investigate the effects of residence time, fatty acid to the ethanol solution ratio, and sulfuric acid to the ethanol solution reactant ratio, respectively, on conversion of fatty acid to fatty acid ethyl esters.

For residence time less than 2 hrs, the conversion of fatty acid with extremely excess of ethanol was improved significantly with increase in residence time. However, the conversion was slightly increased as extending residence time beyond 2 hrs. For 2 hrs residence time, the reaction could be improved by decreasing the fatty acid to the ethanol solution ratio and increasing sulfuric acid to the ethanol solution ratio. The optimum fatty acid to the ethanol solution ratio and sulfuric acid to the ethanol solution ratio were 2.4 and 1 %wt, respectively. The maximum conversion of fatty acid was 15.9 %mol.

Department : Chemical Engineering Student's Signature Pitinan
Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature Deacha
Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อรองศาสตราจารย์ ดร.เดชา นัตรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับการให้คำปรึกษา ความเอาใจใส่ และคำแนะนำที่ดีตลอดมา รวมทั้งกรุณาตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.นवल เหล่าศิริพจน์ และอาจารย์ ดร.เจดศักดิ์ ไชยคุนา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลือในการตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ๆที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 น้ำมันและไขมัน.....	7
2.2 มะพร้าว.....	8
2.3 การผลิตน้ำมันมะพร้าวดิบ.....	9
2.3.1 กระบวนการแบบแห้ง.....	9
2.3.2 กระบวนการแบบเปียก.....	10
2.4 การผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว.....	10
2.4.1 กระบวนการทางเคมี.....	12
2.4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์.....	12
2.4.3 องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวและคุณสมบัติต่างๆของกรดไขมัน	14
2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว.....	14
2.5.1 ประเภทของน้ำมันมะพร้าว.....	14
2.5.2 คุณลักษณะของน้ำมันมะพร้าวที่ต้องการ.....	15
2.6 ปฏิกิริยาของน้ำมันและไขมัน.....	17
2.6.1 ไฮโดรจิเนชัน.....	17

บทที่	หน้า
2.6.2	รีดักชัน..... 18
2.6.3	ไฮโดรไลซิส..... 18
2.6.4	ไอโซเมอไรเซชัน..... 20
2.6.5	โพลีเมอไรเซชัน..... 20
2.6.6	อ็อกซิไดซ์เอง..... 20
2.6.7	ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน..... 21
2.6.8	อินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน..... 21
2.7	เอทานอล..... 22
2.7.1	คุณลักษณะทางกายภาพ..... 22
2.7.2	ปฏิกิริยาทางเคมีของเอทานอล..... 23
2.8	การผลิตเอทานอล..... 28
2.8.1	การสังเคราะห์จากเอธิลีน..... 28
2.8.2	กระบวนการหมัก..... 29
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 34
3.	วิธีดำเนินงานวิจัย..... 39
3.1	สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้..... 40
3.2	การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว..... 41
3.2.1	การเปลี่ยนน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วเป็นเกลือกรดไขมัน..... 41
3.2.2	การกำจัดโซดาไฟที่เหลือด้วยกรดเกลือ..... 41
3.2.3	การเปลี่ยนเกลือกรดไขมันเป็นกรดไขมัน..... 42
3.2.4	การกำจัดกรดเกลือที่เหลือด้วยโซดาไฟ..... 42
3.2.5	การวิเคราะห์กลีเซอรอลและเกลือโซเดียมคลอไรด์..... 42
3.3	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล..... 43
3.3.1	ผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา ที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน..... 43
3.3.2	ผลของปริมาณกรดไขมันที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน..... 44
3.3.3	ผลของปริมาณตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน..... 44
3.3.4	การวิเคราะห์ปริมาณกรดกำมะถันที่ใช้เป็นตัวเร่งหลังจากการทำปฏิกิริยา..... 44
4.	ผลการทดลองและบทวิจารณ์..... 47
4.1	การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว..... 47
4.2	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล..... 49

บทที่	หน้า
4.2.1 ผลของเวลาทำปฏิกิริยาที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	49
4.2.2 ผลของปริมาณกรดไขมันที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	53
4.2.3 ผลของปริมาณตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	56
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	61
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	61
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
รายการอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก.....	67
ภาคผนวก ข.....	74
ภาคผนวก ค.....	95
ภาคผนวก ง.....	96
ภาคผนวก จ.....	97
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	104

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 ภาคตัดตามแนวยาวของลูกมะพร้าว.....	8
2.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันมะพร้าวดิบด้วยกระบวนการแบบแห้ง.....	11
2.3 สมดุลมวลสารของการผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วโดยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางฟิสิกส์.....	12
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน เมื่อกรดไขมันเริ่มต้นและกรดกำมะถันร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ...	51
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาและปริมาณของผสมที่ปะปนในชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ.....	52
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วน โมลเอทานอลต่อกรดไขมันและค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง และปริมาณตัวเร่งร้อยละ 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	54
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมที่ปะปนในชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	56
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งกรดกำมะถันและค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	58
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมที่ปะปนในชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อไม่เติมกรดกำมะถัน.....	59
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกำมะถันและของผสมที่ปะปนในชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 2.4 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากวิธีการผลิตแบบต่างๆ.....	1
1.2 การใช้ประโยชน์ของเอทิลเอสเทอร์ในเครื่องสำอาง.....	2
1.3 องค์ประกอบของน้ำมันพืช.....	3
1.4 ผลผลิตพืชน้ำมันที่ได้ต่อปีและราคาของน้ำมันพืชชนิดต่างๆในประเทศไทย.....	4
1.5 การนำเข้าและส่งออกน้ำมันพืชที่สำคัญของประเทศไทย.....	4
2.1 องค์ประกอบต่างๆของเนื้อมะพร้าว.....	9
2.2 ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันพารีนัง หรือน้ำมันเทศา.....	10
2.3 ค่าลักษณะเฉพาะของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว.....	16
2.4 ค่าคุณลักษณะต่างๆที่ต้องการของน้ำมันมะพร้าวทั้ง 3 ชนิด.....	17
2.5 สมบัติทางกายภาพของเอทานอลบริสุทธิ์.....	22
2.6 ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีและพลังงานเสรีกิ๊บส์ของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเมทานอลและเอทานอลกับกรดอินทรีย์ทั้ง 8 ชนิด.....	27
3.1 ปริมาณสารตั้งต้นและตัวเร่งในการศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 4.8 9 และ 13 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	45
3.2 ปริมาณสารตั้งต้นและตัวเร่งในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.53 0.75 1 และ 1.25 และกรดไขมันร้อยละ 2.48 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	45
4.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์และสิ่งเจือปนทั้งหมดที่ตรวจสอบได้.....	49
ก.1 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ.....	67
ก.2 ผลของการทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ.....	68
ก.3 ปริมาณกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้.....	69
ก.4 มวลโมเลกุลของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วที่สังเคราะห์ได้.....	70
ก.5 ปริมาณกลีเซอรอล.....	71
ก.6 ปริมาณสารตั้งต้นที่ถูกใช้และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น.....	72
ก.7 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์และสิ่งเจือปนในน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว.....	73
ข.1 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อกรด	74

ไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ.....	
ข.2 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ.....	75
ข.3 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ.....	76
ข.4 ผลการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟหลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ	76
ข.5 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ.....	77
ข.6 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ.....	77
ข.7 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ.....	78
ข.8 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ.....	78
ข.9 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	79
ข.10 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	79
ข.11 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	80
ข.12 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเค	80

ชั้นเป็น เวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	
ข.13 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	81
ข.14 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	81
ข.15 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น	82
ข.16 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	82
ข.17 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	83
ข.18 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	83
ข.19 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	84
ข.20 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	84
ข.21 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	85
ข.22 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่ง	85

- ปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....
- ข.23 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นร้อยละ 2.4 และปริมาณกรดกำมะถันร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 86
- ข.24 ปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 86
- ข.25 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 87
- ข.26 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 87
- ข.27 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 88
- ข.28 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 88
- ข.29 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 89
- ข.30 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 89
- ข.31 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น ร้อยละ 4.8 และกรดกำมะถันร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 90
- ข.32 ปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น..... 90

ข.33 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	91
ข.34 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	91
ข.35 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 9 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	92
ข.36 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	92
ข.37 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 9 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	93
ข.38 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	93
ข.39 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นร้อยละ 9 และกรดกำมะถันร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	94
ข.40 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น.....	94
จ.1 ค่าเอนทัลปีและพลังงานเสรีกิ๊บส์ก่อเกิด ณ สภาวะมาตรฐาน ของสารต่างๆ ในสถานะของเหลว	97

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

FA_1	=	ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น(ร้อยละโดยน้ำหนัก)
FA_1	=	ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น(กรัม)
FA_c	=	ปริมาณของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน(กรัม)
FA_r	=	ปริมาณกรดไขมัน(กรัม)
$\Delta_f G^0$	=	พลังงานเสรีกิบบส์ก่อเกิดที่สภาวะมาตรฐาน(กิโลจูล/โมล)
$\Delta_f H^0$	=	ค่าเอนทัลปีก่อเกิดที่สภาวะมาตรฐาน(กิโลจูล/โมล)
$K_{25^\circ C}$	=	ค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
$K_{50^\circ C}$	=	ค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
M	=	ค่าอัตราส่วน โมลระหว่างเอทานอลและกรดไขมัน
M_i	=	มวลโมเลกุลของกรดไขมันแต่ละชนิด
\bar{M}	=	มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน
N	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ(นอร์มอล)
V	=	ปริมาตรสารละลายโซดาไฟที่ถูกรู้ใช้ (มิลลิลิตร)
V_T	=	ปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด (มิลลิลิตร)
X_A	=	ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน(ร้อยละโดยโมล)
$X_{E,25^\circ C}$	=	ค่าการเปลี่ยนแปลงที่จุดสมดุล ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
$X_{E,50^\circ C}$	=	ค่าการเปลี่ยนแปลงที่จุดสมดุล ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การผลิตเอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ในอุตสาหกรรมสามารถทำได้โดยวิธีการต่างๆ ซึ่งแต่ละวิธีจะได้รับความบริสุทธิ์ของเอทานอลแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1.1 วิธีการผลิตเอทานอลแต่ละวิธีนั้นเอทานอลที่ได้จะอยู่ในรูปสารละลายระหว่างเอทานอลและน้ำทั้งสิ้น รวมทั้งสิ่งเจือปนต่างๆ ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตแต่ละวิธี เอทานอลจากการสังเคราะห์นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเช่นเป็นตัวทำละลายและเป็นสารตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมเคมีเป็นต้น ส่วนเอทานอลที่ได้จากการหมักนั้นนิยมนำไปใช้ทำเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆซึ่งจำเป็นต้องแยกสิ่งเจือปนที่เป็นพิษต่อร่างกายออกเสียก่อนเช่น เมทานอล และอะเซตัลดีไฮด์

ตารางที่ 1.1 ความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากวิธีการผลิตแบบต่างๆ

วิธีการผลิต	ความเข้มข้นของเอทานอล (ร้อยละโดยมวล)
การหมักด้วยยีสต์	น้อยกว่า10
การหมักด้วยแบคทีเรีย	น้อยกว่า10
การสังเคราะห์จากเอทิลีน ด้วยกรดกำมะถัน	น้อยกว่า30
การสังเคราะห์จากเอทิลีน ด้วยกรดฟอสฟอริก	10 ถึง 25
การสังเคราะห์จาก ก๊าซสังเคราะห์	น้อยกว่า72

การเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ให้หลากหลายขึ้นนั้นนิยมใช้วิธีการกลั่นแบบสององค์ประกอบซึ่งจะได้ เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95.6 โดยมวล หรือร้อยละ 96.5 โดยปริมาตร หากต้องการเอทานอลที่มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตรเพื่อนำไปใช้ในทางเภสัชกรรม เครื่องสำอาง หรือเป็นเชื้อเพลิงผสมร่วมกับน้ำมันแก๊สโซลีน ซึ่งเรียกว่าน้ำมันแก๊สโซลีนนั้น กระบวนการกลั่นโดยวิธีดังกล่าวไม่สามารถทำได้ สาเหตุเนื่องมาจากเอทานอลและน้ำมีคุณสมบัติเป็นของผสมจุดเดือดคงที่(azeotropic mixture) ที่อุณหภูมิ

78.15 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้นร้อยละ 95.6 โดยมวล หากจะเพิ่มความเข้มข้นเข้มข้นของเอทานอลให้บริสุทธิ์โดยปราศจากน้ำที่มีจุดเดือดเท่ากับ 78.4 องศาเซลเซียส การแยกโดยอาศัยหลักการสมคูลไอ - ของเหลว ระหว่าง เอทานอลและน้ำเช่นการกลั่นจึงไม่สามารถทำได้ ความดันบรรยากาศ ดังนั้นต้องใช้วิธีการแยกโดยอาศัยเทคนิค การดูดซับ การกลั่นด้วยเงื่อนไขพิเศษ การแพร่ผ่านเยื่อแผ่นและการสกัดด้วยของเหลวเป็นต้น เทคนิคการแยกต่างๆเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลล้วนแล้วแต่ต้องใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายที่สูงทั้งสิ้น

การเปลี่ยนสารละลายเอทานอลไปเป็นสารเคมีชนิดอื่น โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีของแอลกอฮอล์ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะลดการใช้พลังงาน และลดขั้นตอนการเพิ่มความบริสุทธิ์ รวมถึงการเพิ่มมูลค่า และการใช้ประโยชน์ของ เอทานอลให้มากขึ้นด้วยเช่น ปฏิกิริยาระหว่าง กรดอินทรีย์เช่นกรดไขมันกับเอทานอลจะได้ผลิตภัณฑ์คือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน(fatty acid ethyl ester)และน้ำ เอทิลเอสเทอร์นั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์เช่น ทำเครื่องสำอางในตารางที่ 1.2 เอทิลเอสเทอร์มีคุณสมบัติเป็นสารอิมอลเลี่ยนท์(emollient)ซึ่งทำหน้าที่หล่อลื่นผิวให้นุ่มและลดต่อการสัมผัสและรักษาความชุ่มชื้นกับเพิ่มความยืดหยุ่นแก่ผิว รวมถึงสามารถถูกดูดซึมได้ง่ายและรวดเร็วจึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการพาตัวยาหรือสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เข้าสู่ผิวหนัง[1] ประโยชน์ถัดมาคือเป็นวัตถุคิบในการผลิตสารกระทำอิมัลชัน(emulsifier agent)หรือสารน้ำมัน(oiling agent)ในอุตสาหกรรมอาหาร สิ่งทอ ใช้เป็นสารหล่อลื่นสำหรับพลาสติก สารเติมแต่งในหมึกและ สีต่างๆ เป็นสารลดแรงตึงผิว ใช้เป็นวัตถุคิบในการผลิตเครื่องสำอางและแต่งกลิ่น[2] รวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพ(biodiesel)

ตารางที่ 1.2 การใช้ประโยชน์ของเอทิลเอสเทอร์ในเครื่องสำอาง[3]

ethyl laurate	สารปรับสภาพผิว
ethyl myristate	สารปรับสภาพผิวและสารปรับสภาพเส้นผม
ethyl palmitate	สารปรับสภาพผิวและสารปรับสภาพเส้นผม
ethyl stearate	สารปรับสภาพผิวและสารปรับสภาพเส้นผม
ethyl oleate	สารปรับสภาพผิวและสารปรับสภาพเส้นผม
ethyl linoleate	สารปรับสภาพผิว

กรดไขมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้นนั้นสามารถสังเคราะห์ได้จากไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงาเป็นต้น น้ำมันพืชมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งเป็นการรวมตัวของกรดไขมัน 3 โมเลกุลเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอล

ดังนั้นน้ำมันพืชชนิดต่างๆจะมีชนิดกรดไขมันที่แตกต่างกันออกไปดังตารางที่ 1.3 เมื่อนำน้ำมันพืชไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันร่วมกับแอลกอฮอล์ปฐมภูมิหรือทุติยภูมิที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 1- 8 โดยใช้ด่าง กรด หรือเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หากใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและถ้าในน้ำมัน หรือแอลกอฮอล์โดยเฉพาะเอทานอลมีน้ำปะปนมา(ปริมาณน้ำต้องน้อยกว่า 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)[4] ส่งผลให้เป็นอุปสรรคในการเกิดปฏิกิริยาเพราะน้ำทำให้เกิดเกลือกรดไขมันซึ่งจะลดการเกิดเอสเทอร์และทำหน้าที่ขัดขวางการแยกชั้นระหว่างผลิตภัณฑ์ชั้นบนที่เป็นเอสเทอร์และชั้นล่างที่เป็นกลีเซอรอล รวมถึงความยุ่งยากในการกำจัดเกลือกรดไขมันที่เกิดขึ้นอีกด้วย หากใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่าการใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 4000 เท่า[4] ส่วนในกรณีของการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นยังประสบปัญหาในด้านการพัฒนาสายพันธุ์เชื้อจุลินทรีย์ที่จะผลิตเอนไซม์ให้มีจำนวนมากเพียงพอในการผลิตระดับอุตสาหกรรมรวมทั้งเมื่อเวลาผ่านไปความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะลดลงและเอนไซม์มีราคาแพงกว่าตัวเร่งทั้งด่างและกรดมาก

ตารางที่ 1.3 องค์ประกอบของน้ำมันพืช[5]

ชนิดน้ำมัน	ชนิดกรดไขมัน(ร้อยละ)											
	C6:0	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C20:0	C22:0	C18:1	C18:2	C18:3
มะพร้าว	-	10.4	7.6	50.2	17.3	7.1	2	-	-	4.4	1	-
ปาล์ม	-	-	-	-	1.6	42.55	3.9	-	-	38.18	12.77	-
เมล็ดในปาล์ม	0.2	4.15	3.34	42.45	17.28	9.27	1.93	0.2	-	18.27	2.91	-
งา	-	-	-	-	-	10.6	6	-	-	38.2	45.2	-
ทานตะวัน	-	-	-	-	-	6.09	3.13	-	-	30.57	60.21	-
ละหุ่ง	-	-	-	-	-	1.48	1.75	0.6	-	4.75	6.45	0.8
ถั่วเหลือง	-	-	-	-	-	10-11	3-4	-	-	20-25	55-61	6-9
ถั่วลิสง	-	-	-	-	-	17.2	4.3	1.5	2.5	44.8	29.7	-
รำข้าว	-	-	-	-	1.07	21.55	2.81	-	-	41.46	32.78	0.33
สบู่ดำ	-	-	-	-	-	16.17	5.11	-	-	48.88	33.83	-

ในประเทศไทย มะพร้าวถือเป็นพืชน้ำมันเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งมีปริมาณการผลิตเป็นอันดับสองรองจากปาล์มดังตารางที่ 1.4 มะพร้าวเป็นไม้ยืนต้นและสามารถเพาะปลูกได้ทุกภูมิภาคต่างจากปาล์มซึ่งสามารถเพาะปลูกได้ผลผลิตที่ดีในสภาพอากาศร้อนชื้นในเขตภาคใต้เท่านั้น อีกทั้ง

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่สำคัญที่ใช้ในการบริโภคและเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเช่น อาหาร เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์พลาสติก สารลดแรงตึงผิว และไบโอดีเซล ทำให้ปริมาณที่ผลิตได้ในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.4 ผลผลิตพืชน้ำมันที่ได้ต่อปีและราคาของน้ำมันพืชชนิดต่างๆในประเทศไทย

ชนิดน้ำมันพืช	ผลผลิต(1000ตัน)						ราคาขายส่ง(บาท/กิโลกรัม)						
	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550
ปาล์ม	4097	4001	4903	5182	5003	6241	19.08	25.77	28.06	30.71	27.84	25.81	35.8
มะพร้าว	1935	2037	2117	2126	1871	1561	18.24	23.4	26.26	31.28	32.42	30.82	35.14
ถั่วเหลือง	261	260	231	218	226	225	20.78	23.09	29.63	30.94	29.7	29.98	33.84
ถั่วลิสง	107	112	76	65	67	68	54.15	53.5	53.73	55.54	57.5	57.82	62.47
งา	39	40	40	41	42	41	63.44	63.44	63.44	-	-	-	-
ทานตะวัน	32	29	32	49	38	24	48.18	53.77	53.24	54.5	-	-	-
ละหุ่ง	9	10	10	10	10	11	-	-	-	-	-	-	-
รำข้าว	-	-	-	-	-	-	26.17	27.61	34.3	34.35	33.86	34.42	37.1

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและกรมการค้าภายใน

ตารางที่ 1.5 การนำเข้าและส่งออกน้ำมันพืชที่สำคัญของประเทศไทย

ปีที่	น้ำมันปาล์ม		น้ำมันมะพร้าว		น้ำมันถั่วเหลือง	
	นำเข้า(ก.ก.)	ส่งออก(ก.ก.)	นำเข้า(ก.ก.)	ส่งออก(ก.ก.)	นำเข้า(ก.ก.)	ส่งออก(ก.ก.)
2544	23,828,353	22,044,677	38,839	47,284	45,394	8,276,195
2545	24,015,909	17,901,729	67,399	620,650	432,146	5,204,269
2546	31,065,574	24,064,614	77,455	596,200	476,711	31,157,754
2547	29,532,118	32,591,054	40,045	504	546,980	38,696,498
2548	27,923,998	34,873,951	16,372	6,517	870,737	32,019,462
2549	34,363,119	27,079,706	36,660	13,966	648,720	40,845,770
2550	1,845,551	16,869,092	-	33,419	18,000	283,302

ที่มา : กรมศุลกากร

ในน้ำมันมะพร้าวดิบและน้ำมันมะพร้าวสำหรับบริโภคมีปริมาณกรดไขมันอิสระ(เทียบเท่ากรดลอริก)เท่ากับร้อยละ 5.34 และ 0.07 โดยน้ำหนักตามลำดับ [5] ซึ่งเป็นข้อเสียของน้ำมันมะพร้าวเมื่อนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันร่วมกับแอลกอฮอล์โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดเกลือกรดไขมันซึ่งเป็นอุปสรรคดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ข้อเสียนี้สามารถเป็นข้อได้เปรียบคือเมื่อนำน้ำมันมะพร้าวเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันโดยทำปฏิกิริยาสบู่(saponification)ด้วยโซดาไฟและเปลี่ยนเกลือกรดไขมันไปเป็นกรดไขมันโดยทำปฏิกิริยากับกรดเกลือตามลำดับปฏิกิริยาทั้งคู่ดำเนินการได้ที่สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิไม่เกินจุดเดือดของน้ำ[6] จากนั้นจึงเปลี่ยนกรดไขมันที่ได้ไปเป็นเอทิลเอสเทอร์โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายเอทานอลซึ่งใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของเอทานอล การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยานี้จึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการเปลี่ยนสารละลายเอทานอลไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของเวลา อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสารตั้งต้น ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 สังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วโดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ

1.3.2 สังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 8.06 โดยน้ำหนัก และกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้กรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วหาปริมาณกรดไขมันที่เหลือหลังจากทำปฏิกิริยาโดยใช้วิธี AOCS Official Method Da 14-48

ศึกษาปัจจัยที่มีต่อปฏิกิริยาดังนี้

- 1.3.2.1 เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา ตั้งแต่ 1 ชั่วโมงเป็นต้นไป
- 1.3.2.2 ปริมาณกรดไขมันต่อสารตั้งต้น
- 1.3.2.3 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสารตั้งต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถผลิตเอทิลเอสเตอร์โดยใช้สารละลายเอทานอลและกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว

1.4.2 เป็นทางเลือกหนึ่งของการนำสารละลายเอทานอลไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เพื่อลดขั้นตอนการเพิ่มความบริสุทธิ์ของสารละลายเอทานอล



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันและไขมัน

น้ำมันเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องส่วนไขมันจะเป็นของแข็ง น้ำมันและไขมันมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 97 [7] ส่วนที่เหลือเป็นสารประกอบที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งจัดเป็นสิ่งเจือปนที่ทำให้เกิด ฟอง ควัน กลิ่น สีและตะกอนที่ไม่ต้องการจึงต้องทำการกำจัดออก

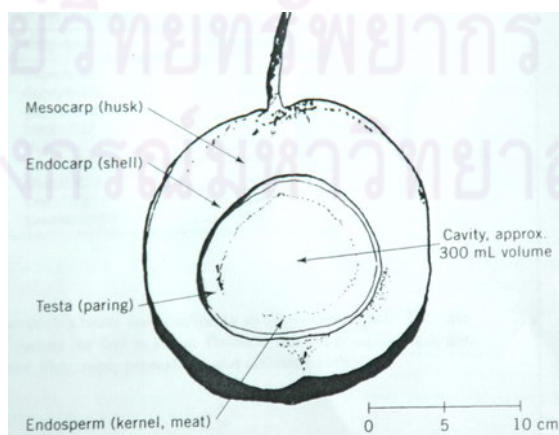
สิ่งเจือปนต่างๆที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์มีดังนี้[8]

1. กรดไขมันอิสระ(free fatty acid) ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวพืชน้ำมัน เอนไซม์ไลเปสที่อยู่ในน้ำมันพืชดิบจะย่อยไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์ม ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันระหว่างกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงกำจัดเอนไซม์ออกโดยใช้ความร้อน
2. ฟอสโฟลิปิด(phospholipid) หรือยาง(gum)ในน้ำมันมีฟอสโฟลิปิด 3 ชนิดที่สำคัญประกอบด้วย phosphatidylcholine(leccitin) phosphatidylethanolamine(cephaline) และ phosphatidy linsitol ทั้งหมดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์
3. สเตอรอล(sterol) เป็นสารประกอบจำพวกสี่วงแหวน(tetracyclic) ในสัตว์พบเป็นพวก cholesterol ส่วนในพืชพบเป็นพวก เบต้า-ซิโทสเตอรอล (β -sitosterol) หรือ สติกมาสเตอรอล (stigmasterol)
4. โทโคฟีรอล(tocopherol) และโทโคเทรียนนอล(tocotrienol) โทโคฟีรอลหรือวิตามินอีจัดเป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมันซึ่งเป็นวิตามินที่สำคัญทำหน้าที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน(antioxidation)ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถผลิตเองได้ โทโคเทรียนนอลเป็นวิตามินอีเช่นเดียวกับโทโคฟีรอลแต่ต่างกันตรงที่โทโคเทรียนนอลมีพันธะคู่ เพิ่มเข้ามาตรงบริเวณสายโซ่อัลคิลจำนวน 3 พันธะ
5. คาร์โรทีนอยด์และสารสีอื่นๆ(carotenoid and other pigment) คาร์โรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกเตตระเทอร์เพน(tetraterpenes)ทำหน้าที่ให้สีแดงและเหลืองในน้ำมันพืช เมื่อโดนความร้อน แสง และปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้คาร์โรทีนอยด์ขาดเสถียรภาพและเสื่อมสภาพ คาร์โรทีนอยด์ที่สำคัญได้แก่ เบต้า คาร์โรทีน(β -carotene) เป็นโปรวิตามินเอซึ่งร่างกายสามารถนำไปสร้างเป็นวิตามินเอได้

2.2 มะพร้าว[9]

มะพร้าวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera*, Linn อยู่ในตระกูล *Palmaceae* เช่นเดียวกับปาล์ม จาก ตาล และระกำเป็นไม้ยืนต้นสูง 7 - 10 เมตร เปลือกลำต้นแข็ง ใบมีลักษณะใบรวมโดยมีใบย่อยเป็นแผ่นแคบยาวเรียวแหลมเรียงสลับกันคล้ายขนนก ดอกออกเป็นช่อตามกาบที่หุ้มดอกย่อยขนาดเล็ก ดอกหนึ่งมีกลีบดอกประมาณ 6 กลีบ ผลเป็นรูปกลมหรือรี มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 - 23 เซนติเมตร เปลือกนอกเรียบเกลี้ยง ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่มีสีน้ำตาล เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยนุ่ม ชั้นในแข็งเป็นกะลา เนื้อผลมีสีขาวนุ่ม และมีน้ำใส รสจืดหรือหวาน[10] น้ำมันมะพร้าวสกัดจากเนื้อมะพร้าวแห้งซึ่งมีความชื้นร้อยละ 4 - 6 และน้ำมันร้อยละ 60 - 68 โดยวิธีบีบอัด น้ำมันมะพร้าวมีกรดลอริกสูง และแข็งตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำเพราะมีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่มากถึงร้อยละ 90 เมื่อผ่านกรรมวิธีกลั่นใสอย่างดีจะไม่เหม็นหืนง่ายสามารถเก็บไว้เป็นเวลานานได้ แต่น้ำมันมะพร้าวที่ไม่ได้กลั่นใสจะเหม็นหืนง่ายเพราะมีเอ็นไซม์ที่จะทำให้ น้ำมันแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็ว จึงทำให้น้ำมันมะพร้าวเสื่อมคุณภาพเร็ว น้ำมันมะพร้าวเหมาะสำหรับการทอดอาหารให้กรอบทนนาน แต่ไม่เหมาะสำหรับทำเนยเทียม ทำน้ำมันสลัดไม่ได้ ในทางอุตสาหกรรมใช้ทำสบู่ ผงซักฟอก[5]

ลูกมะพร้าวมีรูปทรงกลมคล้ายไข่ มีน้ำหนักโดยทั่วไปมากกว่า 1 กิโลกรัม มีผิวเปลือกชั้นนอกเรียบสีเหลืองหรือเขียว เปลือกมีลักษณะเป็นเส้นใยเรียกว่าฮัคซ์(husk)ทำหน้าที่ห่อหุ้มกะลา(shell)ภายในกะลามีชั้นเนื้อมะพร้าว(kernel)หนาประมาณ 1 - 2 เซนติเมตรและมีชั้นสีน้ำตาลบางๆ เรียกว่า เทสตา(testa)คั่นระหว่างเนื้อมะพร้าวและผิวชั้นในของกะลา ช่องว่างภายในเนื้อมะพร้าวมีปริมาตรเฉลี่ย 300 มิลลิลิตร และมีน้ำมะพร้าว(endosperm liquid)บรรจุอยู่ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาคตัดตามแนวยาวของลูกมะพร้าว[9]

ลูกมะพร้าวมีองค์ประกอบที่สำคัญของดังนี้

เนื้อมะพร้าว(karmel)นำไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตเป็น น้ำมัน มะพร้าวแก้ว ครีม น้ำกะทิ แป้ง ผงโปรตีน และเนื้อมะพร้าวแห้ง(copra)องค์ประกอบของเนื้อมะพร้าวแสดงในตารางที่ 2.1 เนื้อมะพร้าวสดมีความชื้นประมาณร้อยละ 50 มีหลายวิธีในการลดความชื้นลงให้เหลือประมาณ ร้อยละ 6 - 8 ซึ่งเป็นความชื้นที่เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตในเนื้อมะพร้าวแห้งได้ วิธีที่เป็นที่นิยม เช่น ตากแดด(ประมาณ 6 - 8 วัน)ให้ความร้อนโดยตรง และเป่าโดยใช้ลมร้อน

น้ำมะพร้าว(coconut water)เป็นของเหลวที่ปราศจากเชื้อ เมื่อผลแก่เต็มที่ประกอบด้วยของแข็ง ไขมัน โปรตีน เถ้าและน้ำตาลรีดิซิง ที่ร้อยละ 4.7 0.74 0.55 0.46 และ 1 ตามลำดับ มีค่ากรด ต่างเท่ากับ 5.6 ใช้ผสมร่วมกับเนื้อมะพร้าวเป็นเครื่องคั้นเพื่อสุขภาพ หากใช้ในกระบวนการหมักและอุตสาหกรรมอาหารต้องเพิ่มความเข้มข้นโดยกระบวนการรีเวอสออสโมซิส

ทดสอบ(testa)เป็นชั้นบางๆสีน้ำตาลอยู่ระหว่างเนื้อมะพร้าว และกะลา การผลิตมะพร้าวแก้วต้องลอกชั้นบางๆนี้ทิ้งเพื่อกำจัดปัญหาที่เกิดจากสี ชั้นทดสอบสามารถนำไปทำน้ำมันที่มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือ โอเลอิกและลิน โนเลอิกจำนวนครึ่งหนึ่ง ดังตารางที่ 2.2

กะลาและเปลือก(shell and husk)กะลาเป็นของแข็งทรงกลมหนา 3 - 5 มิลลิเมตรห่อหุ้มเนื้อมะพร้าว ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทำมะพร้าวแห้งหรือใช้เป็น ถ่าน ถ่านกัมมันต์ กาว สารเติมแต่งสำหรับเรซินสังเคราะห์ ยาจุดกันยุง และสิ่งของตกแต่งอื่นๆ เปลือกมะพร้าวเป็นเส้นใยหนา 5 - 10 เซนติเมตรห่อหุ้มกะลาอย่างแข็งแรง ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับกะลา หรือผลิตเป็นเชือก พรหมเช็ดรองเท้า และถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆของเนื้อมะพร้าว

องค์ประกอบ	ความชื้น	น้ำมัน	เถ้า	เส้นใย	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต
ร้อยละ	50	34	2.2	3	3.5	7.3

2.3 การผลิตน้ำมันมะพร้าวดิบ

2.3.1 กระบวนการแบบแห้ง(Dry process)วิธีนี้เป็นวิธีสกัดน้ำมันมะพร้าวแบบดั้งเดิมที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม โดยจะย่อยเนื้อมะพร้าวแห้งเป็นชิ้นเล็กแล้วทำการบีบหรืออัด(mechanical extraction)เอาน้ำมันออกมาก่อนจากนั้นอาจทำการสกัดต่อด้วยตัวทำละลาย(solvent extraction)เพื่อเอาน้ำมันที่เหลือออกมา ดังรูปที่ 2.2 เริ่มจากการลำเลียงเนื้อมะพร้าวแห้งความชื้นร้อยละ 10 - 12 ไปยังตาข่ายอัด โนมัตติ จากนั้นทำการกำจัดเหล็กที่ปะปนมาโดยใช้แม่เหล็กดูด แล้วทำการย่อยเนื้อมะพร้าวแห้งให้เล็กลงให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตรเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ชื้นเนื้อ

มะพร้าวแห้งจะถูกกำจัดความชื้นโดยใช้ความร้อนอีกครั้งจนเหลือแค่ร้อยละ 3 ทำให้มีฟอสฟาไทด์ (phosphatide) เกิดขึ้น จากนั้นจะทำการบีบเอาน้ำมันออกมาโดยใช้เครื่องอัด (expeller) ซึ่งจะมีน้ำมันเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 7 แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายเช่น เฮกเซน น้ำมันจะเหลือประมาณร้อยละ 3.5 น้ำมันที่ได้ภายหลังจากการบีบจะคัดแยกและตกตะกอนเพื่อแยกเอาชิ้นส่วนขนาดเล็กกวกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้ง สุดท้ายหลังผ่านการกรองจะได้น้ำมันดิบที่สะอาดเพื่อนำมาสู่กระบวนการอื่นหรือทำการบรรจุต่อไป เนื้อมะพร้าวแห้งหลังจากผ่านการบีบเอาน้ำมันออก (cake) จะถูกนำไปเป็นอาหารสัตว์

2.3.2 กระบวนการแบบเปียก (Wet process) ใช้เนื้อมะพร้าวสดเป็นวัตถุดิบ นอกจากน้ำมันแล้วยังได้ผลิตภัณฑ์อื่นเช่น แป้งมะพร้าว โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและวิตามิน ข้อดีของกระบวนการนี้คือ ได้น้ำมันที่มีคุณภาพสูงกว่า และไม่สูญเสียสารอาหารที่เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม มีกรรมวิธีการผลิตคือ การกะเทาะกะลาและปอกชั้นเทศตาออกไป ชั้นเทศตานี้สามารถนำไปสกัดเอาน้ำมัน พาร์ริง (paring oil) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ น้ำกะทิได้จากเนื้อมะพร้าวสดที่ถูกย่อยเป็นชิ้นละเอียดและถูกบีบด้วยลูกกลิ้งและเครื่องบีบ น้ำกะทิจะถูกกรองและแยกน้ำมันออกโดยการเหวี่ยงแยก จากนั้นจะให้ความร้อนแก่น้ำมันภายใต้ความดันบรรยากาศเพื่อลดความชื้นจนเหลือร้อยละ 0.1 - 0.2 เนื้อมะพร้าวสด 25 ตันสามารถผลิตน้ำมันมะพร้าวธรรมชาติ 6.8 ตัน ชั้นผิวหน้าของน้ำกะทิจะถูกปาดออกมานำไปอบแห้งและพ่นฝอยกลายเป็นโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เนื้อมะพร้าวที่เหลือจากการบีบด้วยสกรูจะถูกบดเพื่อผลิตแป้งและนำน้ำมันที่เหลือกลับมาใช้

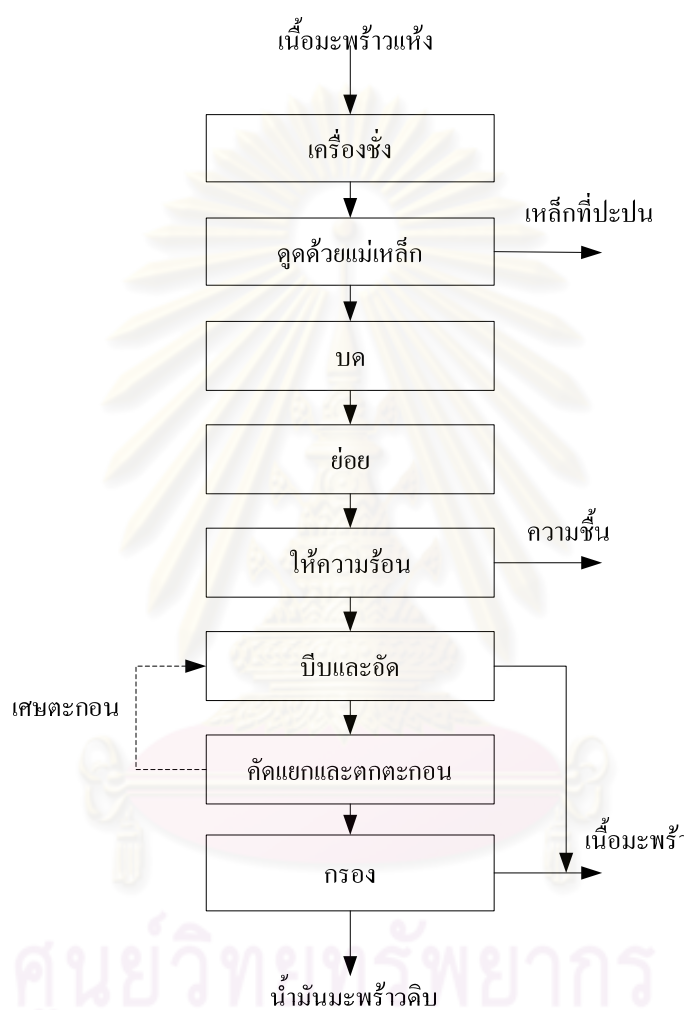
ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันพาร์ริง (paring oil) หรือน้ำมันเทศตา (testa oil) [9]

ชนิดกรดไขมัน	Caproic C6	Caprylic C8	Capric C10	Lauric C12	Myristic C14	Palmitic C16	Stearic C18	Oleic C18:1	Linoleic C18:2
ร้อยละ	0.1	0.5	1.5	22.7	15.8	17.2	1.3	25.4	15.5

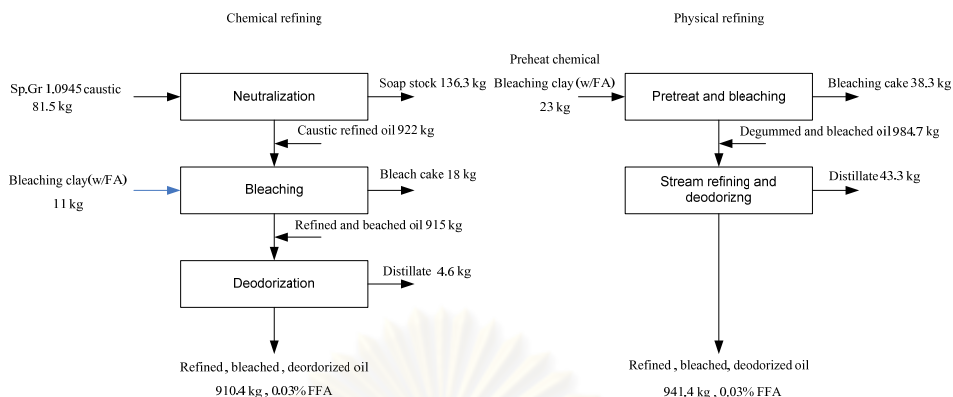
2.4 การผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว [9]

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์หรือน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว (refined coconut oil) มีวิธีการผลิต 2 แบบคือ กระบวนการทางเคมี (chemical refining) มีทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่องกับวิธีทางกายภาพ (physical refining) ซึ่งเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันเช่น กรดไขมันอิสระ ฟอสฟาไทด์แร่ธาตุต่างๆ สี สารออกซิเดชัน อนุภาคของแข็ง และกลิ่นเพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไป

บริโภคและสามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวทั้งทางเคมีและทางฟิสิกส์มีปริมาณน้ำมันมะพร้าวดิบเริ่มต้น 1000 กิโลกรัม กรดไขมันอิสระร้อยละ 3.9 และปริมาณยาง(gum)น้อยมากสามารถละทิ้งได้



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันมะพร้าวดิบด้วยกระบวนการแบบแห้ง[9]



รูปที่ 2.3 สมดุลมวลสารของการผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วโดยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางฟิสิกส์[9]

2.4.1 กระบวนการทางเคมี(chemical refining)

กำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวด้วยสารละลายโซดาไฟส่งผลให้น้ำมันมะพร้าวดิบมีสภาพเป็นกลาง(neutralize)และเกิดเกลือกรดไขมันหรือสบู่ขึ้น เกลือกรดไขมันและสิ่งเจือปนอื่นๆจะรวมกันอยู่ในชั้นของน้ำเรียกว่าสตั๊กสบู่(soap stock) ในการผลิตแบบกะ การแยกชั้นของน้ำกับน้ำมันจะอาศัยแรงโน้มถ่วง วิธีนี้เกิดการสูญเสียน้ำมันบางส่วนไปเป็นเกลือกรดไขมันด้วย ส่วนการผลิตแบบต่อเนื่องมีข้อได้เปรียบกว่าคือใช้เวลาทำปฏิกิริยาสั้นเพียง 30 - 45 วินาที และใช้เครื่องเหวี่ยงแยก(centrifugal separator)ทำการแยกชั้นของน้ำออกจากน้ำมันทำให้ใช้เวลาลดลง เกลือกรดไขมันจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันโดยการทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน หลังจากนั้นน้ำมันจะถูกฟอกสี(bleaching)โดยการดูดซับด้วยดินฟอกสี(bleaching clay)และถ่านกัมมันต์ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการกำจัดกลิ่น(deodorization)ซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้เช่นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คีโตน อัลดีไฮด์และสารที่มีกลิ่นอื่นๆโดยการให้ความร้อนภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เรียกว่าน้ำมันมะพร้าวหลังจากผ่านขั้นตอนนี้ว่า น้ำมันมะพร้าว RBD ซึ่งย่อมาจากคำว่า Refined Bleached Deodorized ส่วนน้ำมันมะพร้าวที่ไม่ผ่านการกำจัดกลิ่นเรียกว่า น้ำมัน โคชิน(cochin oil)

2.4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์(physical refining)

ถูกนำมาแทนที่กระบวนการทางเคมีเพราะมีข้อดีคือ สูญเสียน้ำมันและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า ลงทุนต่ำ ใช้พลังงานน้อย ได้กรดไขมันในสายกลั่นที่มีคุณภาพกว่า มีกระบวนการผลิตสองขั้นตอนหลักๆดังนี้

2.4.2.1 การบำบัดขั้นต้นและการฟอก(pretreat and bleaching)เป็นการกำจัด ฟอสฟอไรต์ สี แร่ธาตุต่างๆ และสิ่งสกปรกที่ไม่สามารถระเหยได้ แบ่งย่อยเป็น 2 ขั้นตอนคือ

2.4.2.1.1 การกำจัดยาง(degumming)เริ่มจากการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องแก่น้ำมันจนมีอุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียสแล้วกำจัดยางด้วยการเติมกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ประมาณ 0.05 - 0.1 โดยปริมาตรของสารป้อนในเครื่องผสม กวนประมาณ 20 - 30 นาทีเพื่อให้ยางรวมตัวกันเป็นก้อน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

2.4.2.1.2 การฟอกสี(bleaching)น้ำมันถูกอุ่นที่อุณหภูมิ 90 - 95 องศาเซลเซียสเพื่อไล่น้ำ จากนั้นน้ำมันจะถูกส่งไปฟอกสียังถังซึ่งบรรจุดินฟอกสีและถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 10:1 กวนประมาณ 20 - 30 นาที กระบวนการนี้ดำเนินการภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศ สีและสิ่งเจือปนอื่นๆที่สามารถถูกดูดซับได้จะถูกกำจัดไป ทำการกรองโดยใช้ความดันเพื่อแยกเอาน้ำมันออกแล้วนำไปกำจัดกลิ่นต่อไป

2.4.2.2 การให้ความร้อนและการกำจัดกลิ่น(stream stripping and deodorization) ให้ความร้อนแก่น้ำมันภายใต้ความดันสุญญากาศจนมีอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียสผ่านเครื่องทำความร้อนแบบใช้น้ำมัน(thermal oil heating unit)และอีโคโนไมเซอร์(economizers) น้ำมันมะพร้าวที่ร้อนถูกป้อนทางด้านบนสู่สตรipping คอลัมน์(stripping column)ภายใต้ความดันต่ำช่วง 600 - 1000 พาสกาล การกำจัดกลิ่นใช้เวลาทั้งหมด 1 - 1.5 ชั่วโมง น้ำมันถูกดึงออกมาให้ความร้อนจากภายนอกทางด้านล่างของคอลัมน์ทั้งหมด 4 ครั้ง พร้อมกับพ่นไอน้ำสวนขึ้นไป กลิ่นหรือกรดไขมันโมเลกุลต่ำที่ระเหยได้และสารออกซิเดชันจำพวก คีโตนและอัลดีไฮด์ จะกลายเป็นไอลอยขึ้นไป และถูกกรดไขมันที่เป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ(distillate)ฉีดพรมทางด้านบนคอลัมน์เพื่อจับสารที่เป็นไอเหล่านี้ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอแล้วถูกแยกออกไป ส่วนน้ำมันไร้กลิ่นที่ร้อนจะไหลออกทางด้านล่างคอลัมน์และถูกลดอุณหภูมิโดยนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำมันที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการฟอกสี จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงอีกครั้งด้วยน้ำเย็นซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายจนมีอุณหภูมิ 40 - 50 องศาเซลเซียส และเติมกรดซิตริกซึ่งเป็นสารกันบูดตามธรรมชาติลงไปเพื่อป้องกันการเหม็นหืนในน้ำมัน

2.4.3 องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวและคุณสมบัติต่างๆของกรดไขมัน [8]

กรดไขมันคือกรดคาร์บอกซิลิกที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 4 อะตอมหรือโมเลกุลขึ้นไป ในน้ำมันมะพร้าวจะมีกรดไขมันอยู่หลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปดังตารางที่ 2.3 กรดไขมันแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

2.4.3.1 กรดไขมันอิ่มตัว(Saturated fatty acids)หมายถึง กรดไขมันที่คาร์บอนทุกตัวในสายโซ่โมเลกุลไม่สามารถรวมกับไฮโดรเจนหรือไม่สามารถจะรวมกับสารใดๆได้อีก กรดไขมันอิ่มตัวมักได้มาจากสัตว์ ซึ่งมีลักษณะแข็งตัวได้แม้ในอุณหภูมิปกติ เช่น กรดลอริก กรดปาล์มมิก เป็นต้น

2.4.3.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว(Unsaturated fatty acids)หมายถึง กรดไขมันที่คาร์บอนในสายโซ่โมเลกุลสามารถรวมกับไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นได้ กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

2.4.3.2.1 กรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว เช่น กรดโอเลอิก กรดไขมันชนิดนี้ร่างกายสามารถสร้างขึ้นได้เอง และสามารถช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว

2.4.3.2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง เช่น กรดไลโนเลอิก และกรดไลโนเลนิก กรดไขมันชนิดนี้มีลักษณะเหลวแม้ในอุณหภูมิต่ำทำหน้าที่ช่วยการทำงานของอวัยวะสำคัญจึงมีความจำเป็นต่อร่างกายมาก ส่วนใหญ่ได้จากพืชและสัตว์น้ำบางชนิด

2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว[11]

2.5.1 ประเภทของน้ำมันมะพร้าว แบ่งออกเป็นสองชนิด ดังนี้

2.5.1.1 น้ำมันมะพร้าวสำหรับบริโภค

2.5.1.1.1 น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว(refined coconut oil) หมายถึงน้ำมันมะพร้าวสำหรับบริโภคที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์โดยการกำจัดกรดด้วยด่าง ฟอกสีด้วยดินฟอกสี (bleaching earth) หรือถ่านกัมมันต์ (activated carbon) โดยไม่ใช้สารเคมีอื่นจะผ่านการกำจัดกลิ่นหรือไม่ก็ได้

2.5.1.1.2 น้ำมันมะพร้าวธรรมชาติ หมายถึงน้ำมันมะพร้าว สำหรับบริโภคที่ได้จากการบีบอัด หรือการใช้ความร้อนเท่านั้น อาจทำให้สะอาดโดยการล้าง การ ตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง และการหมุนเหวี่ยง(centrifuge)เท่านั้น

2.5.1.2 น้ำมันมะพร้าวอุตสาหกรรม หมายถึง น้ำมันมะพร้าวที่ไม่ใช้บริโภค

2.5.2 คุณลักษณะของน้ำมันมะพร้าวที่ต้องการ

น้ำมันมะพร้าวเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องใสไม่มีตะกอน มีสี กลิ่นรส และลักษณะเฉพาะของน้ำมันมะพร้าว ไม่มีกลิ่นหืนหรือกลิ่น แปลกปลอมอื่นใด น้ำมันมะพร้าวแต่ละชนิดต้องมีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.4



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ค่าลักษณะเฉพาะของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว[5 , 8 , 12]

ชื่อสามัญ	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล	สัดส่วนร้อยละ [5]([8])	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C) (ความดัน, mmHg)	ความหนาแน่น (g/cm ³), (°C)	ค่าการเกิด เกลือกรดไขมัน	ค่า ไอโอดีน	การละลายน้ำ[12] (กรัม/100กรัม 20 °C)
Caprylic acid	C ₈ H ₁₆ O ₂	144.22	10.4(7.6)	16.3	98.3(2)	0.8615(80)	389.07	-	0.070
Capric acid	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172.27	7.6(7.3)	31.3	121.3(2)	0.8531(80)	326.71	-	0.015
Lauric acid	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200.32	50.2(48.2)	44	141.9(2)	0.8477(80)	280.08	-	0.006
Myristic acid	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228.38	17.3(16.6)	54.4	161(2)	0.8439(80)	245.69	-	0.002
Palmitic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256.43	7.1(9)	62.85	179(2)	0.8414(80)	218.8	-	0.0007
Stearic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.49	2(3.8)	69.6	196(2)	0.8380(80)	197.23	-	0.0003
Oleic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282.47	4.4(5)	13	255(32)	0.8905(20)	198.64	89.97	ไม่มีข้อมูล
Linoleic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280.45	1(2.5)	-5	202(15)	0.9025(20)	200.07	181.04	ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 2.4 ค่าคุณลักษณะต่างๆที่ต้องการของน้ำมันมะพร้าวทั้ง 3 ชนิด[11]

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		
	น้ำมันมะพร้าวสำหรับบริโภค		น้ำมันมะพร้าวสำหรับอุตสาหกรรม
	ที่ผ่านกรรมวิธี	ธรรมชาติ	
ความหนาแน่นสัมพัทธ์(30/30 °C)	0.915-0.927	0.915-0.927	0.915-0.927
ค่าดัชนีหักเห(n_D , 40 °C)	1.448-1.450	1.448-1.450	1.448-1.450
ขนาดโมเลกุล(mg KOH/oil 1 g)	248-264	248-264	248-264
ค่าไอโอดีน แบบวิจส์	7-11	7-11	7-11
สิ่งเจือปน(< g/oil 1 kg)	5	8	10
กรดไขมันอิสระ(<mgKOH/oil 1 g)	0.6	4	10
เปอร์ออกไซด์(<oxygen peroxide eq/ oil 1kg)	3	3	5
น้ำและสิ่งทีระเหยได้ ที่ 110 °C (< %wt)	0.2	0.2	0.5
สารที่ไม่ละลายในน้ำมัน(< %wt)	0.05	0.05	0.5
ปริมาณสบู่(< %wt)	0.005	0.005	-
เหล็ก(<mg/oil 1 kg)	1.5	5	-
สารหนู(<mg/oil 1 kg)	0.1	0.1	-
ทองแดง(<mg/oil 1 kg)	0.1	0.4	-
ตะกั่ว(<mg/oil 1 kg)	0.1	0.1	-

2.6 ปฏิกริยาของน้ำมันและไขมัน[6,7]

ปฏิกริยาเคมีของน้ำมันและไขมันเกิดขึ้นโดยอาศัยส่วนเอสเทอร์และไฮโดรคาร์บอนในสายโซ่ ของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งปฏิกริยาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค

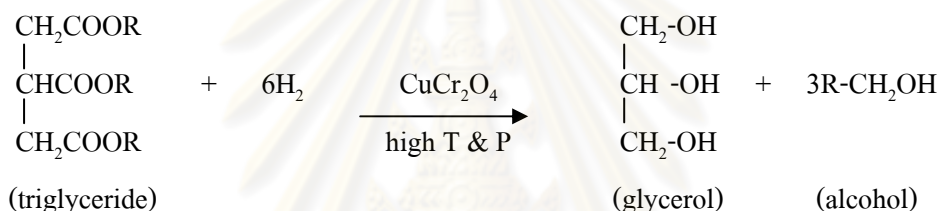
2.6.1 ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation)

ปฏิกริยานี้จัดเป็นปฏิกริยาไฮโดรจิเนชันของ สารอัลคีน ชนิดหนึ่ง เป็นปฏิกริยาที่มีความสำคัญทางการค้าเพราะเป็นการเพิ่มจุดหลอมเหลวของน้ำมันพืชให้สูงขึ้นทำให้น้ำมันพืชให้แข็งตัว สามารถนำไปผลิตเป็นไขมันสำหรับบริโภค เช่น เนยเทียม ปฏิกริยาเกิดจากน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกริยากับไฮโดรเจนภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะได้น้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัว นิยมใช้โลหะนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ส่วนทองแดง ทองคำขาวและพลาเดียมก็

สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น น้ำมันลินสีดจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 91.53[5] เมื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ส่วนที่ไม่อิ่มตัวจะถูกเปลี่ยนไปเป็นส่วนที่อิ่มตัวได้เป็นไขมันที่จุดหลอมเหลวสูงขึ้น

2.6.2 รีดักชัน (Reduction)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการที่น้ำมันทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่อุณหภูมิและความดันสูงๆ โดยใช้คอปเปอร์โครไมต์ (CuCr_2O_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โมเลกุลของน้ำมันหรือไตรกลีเซอไรด์จะเปลี่ยนไปเป็น กลีเซอรอลและแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว (fatty alcohol) ซึ่งแอลกอฮอล์ดังกล่าวนี้ใช้ประโยชน์ในการผลิตผงซักฟอกได้เป็นอย่างดี

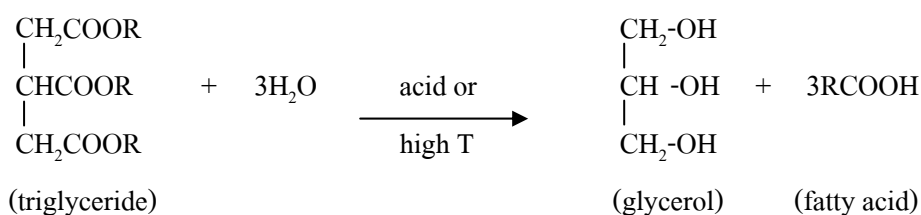


2.6.3 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

การที่ไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยากับน้ำได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมัน สามารถจำแนกการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนี้ คือ

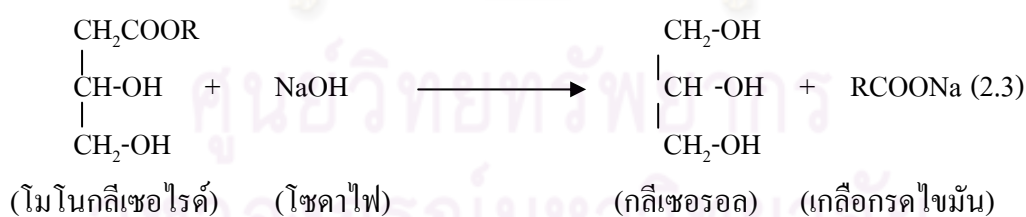
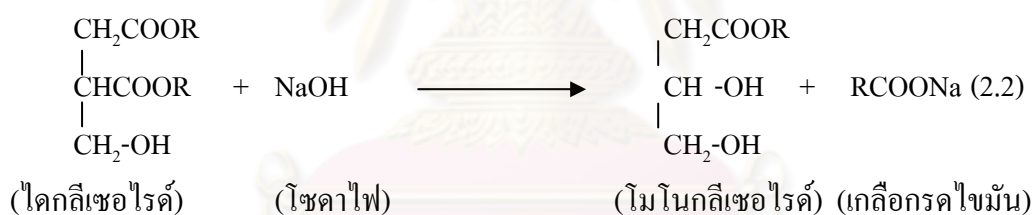
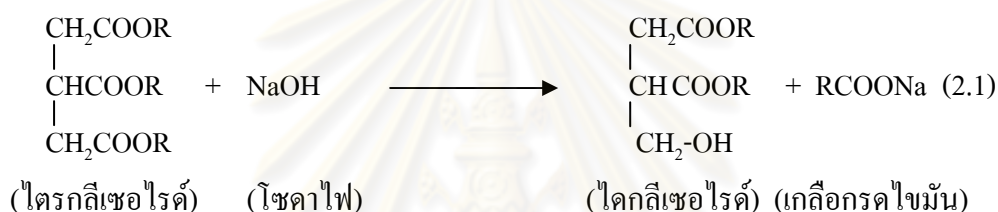
2.6.3.1 การไฮโดรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิ และความดันสูงๆ คือ เกิดที่อุณหภูมิ 210 - 260 องศาเซลเซียส และความดัน 1.9 - 6.0 เมกกะพาสกัล

2.6.3.2 การไฮโดรไลซิสโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดกำมะถัน (H_2SO_4) ไขมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายขึ้น กล่าวคือเมื่อนำไปให้ความร้อนที่ความดันปกติก็สามารถไฮโดรไลซ์ได้ ผลจากการไฮโดรไลซ์ไขมันจะได้กรดไขมันกับกลีเซอรอล ดังสมการต่อไปนี้

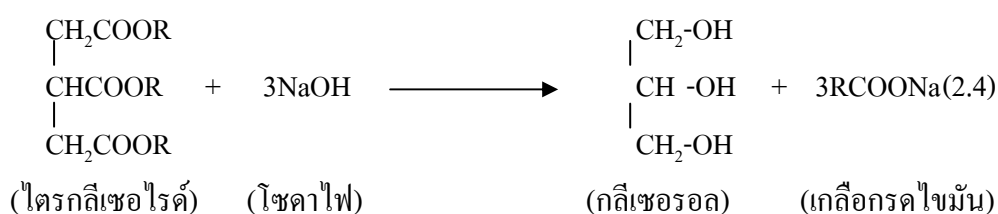


2.6.3.3 การไฮโดรไลซิสโดยใช้เอนไซม์ไลเปส(Lipase)เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะได้อกรดไขมันกับกลีเซอรอล เช่นเดียวกัน

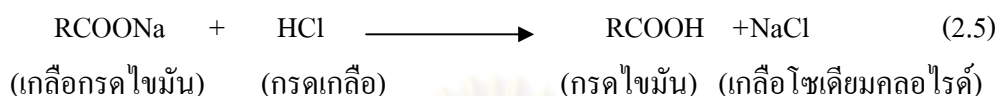
2.6.3.4 การไฮโดรไลซิสโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ เมื่อให้ความร้อนไตรกลีเซอไรด์กับเบสแก่ เช่น โซดาไฟ(NaOH)หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือกลีเซอรอลกับเกลือกรดไขมันหรือสบู่(Soaps) ซึ่งมีกลไกของปฏิกิริยาเป็นแบบลูกโซ่คือไตรกลีเซอไรด์จะสลายตัวเกิดเป็นเกลือกรดไขมันและไดกลีเซอไรด์ ซึ่งไดกลีเซอไรด์ จะสลายตัวต่อไปได้โมโนกลีเซอไรด์และกลีเซอรอล ดังสมการที่ 2.1 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ



สมการที่ 2.1 2.2 และ 2.3 สามารถเขียนรวมได้ดังนี้



เกลือกรดไขมันและกลีเซอรอลสามารถละลายน้ำได้ดี เมื่อนำเกลือกรดไขมัน ทำปฏิกิริยากับกรดแก่ เช่น กรดกำมะถันหรือกรดเกลือจะได้ผลิตภัณฑ์คือ กรดไขมันและเกลือ ดังสมการต่อไปนี้



2.6.4 ไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization)

เป็นการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลจากแบบซิส(cis form)ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบได้เป็นส่วนใหญ่ไปเป็นแบบทรานส์(trans form)ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 - 200 องศาเซลเซียส และใช้ นิกเกิล เซเลเนียม กำมะถัน ไอโอดีน ไนโตรเจนออกไซด์หรือซัลเฟอร์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และสามารถเกิดปฏิกิริยานี้ได้ในระหว่างที่น้ำมันถูกฟอกสีด้วยดินฟอกสี หรือ ถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เช่นการเปลี่ยนไอโซเมอร์ของกรดโอเลอิก(oleic : cis -9- octadecanoic)ไปเป็นกรดอีไลดิก(elaidic : trans- 9- octadecanoic)มีจุดหลอมเหลวที่ 14 และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยใช้ นิกเกิล หรือ กำมะถันหรือไอโอดีนเป็นตัวเร่ง หรือใช้ เซเลเนียมหรือออกไซด์ของไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นตัวเร่งในการเปลี่ยนไอโซเมอร์ของกรดไลโนเลอิกและไลโนเลนิก

2.6.5 โพลีเมอไรเซชัน(Polymerization)

เมื่อให้ความร้อนแก่กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อุณหภูมิ 200 – 300 องศาเซลเซียสทำให้เกิดการรวมตัวกันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายๆโมเลกุลเรียกว่าปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันแบบความร้อน(thermal polymerization)ถ้ารวมตัวกันเพียงสองโมเลกุลเรียกว่าไดเมอร์ไรเซชันแบบความร้อน(thermal dimerization)โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมมักทำปฏิกิริยาไดเมอร์ไรเซชันแบบความร้อนของกรดโอเลอิกโดยใช้ โบรอน ไตรฟลูออไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

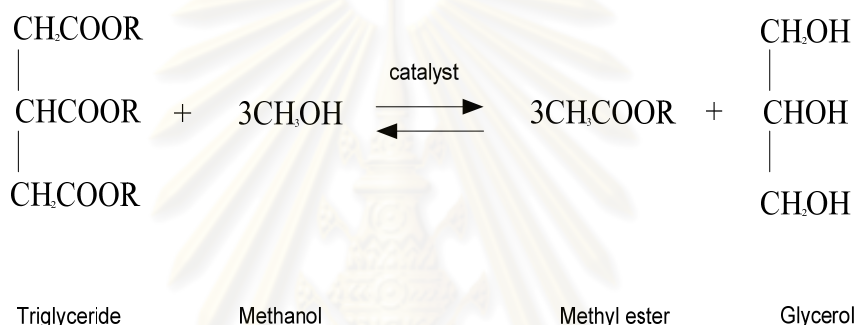
2.6.6 การออกซิไดซ์เอง(Autooxidation)

เกิดจากน้ำมันหรือไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวถูกกระตุ้นด้วยแสง ความร้อนเกิดอนุมูลอิสระ(free radical)ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่สามารถสลายตัวไปเป็นสารพวก คีโตนและอัลดีไฮด์ซึ่งป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ ยังมีความไม่อิ่มตัวหรือพันธะคู่มากขึ้นเท่าไรก็จะยิ่งเหม็นหืนได้เร็วมากขึ้น แต่น้ำมันพืชซึ่งมีความไม่อิ่มตัวสูง

จะเหม็นหืนช้ากว่าน้ำมันจากสัตว์เพราะในน้ำมันพืชมีสารต้านออกซิเดชัน(antioxidation)คือวิตามินอีอยู่แล้วตามธรรมชาติ

2.6.7 ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน(Transesterification)

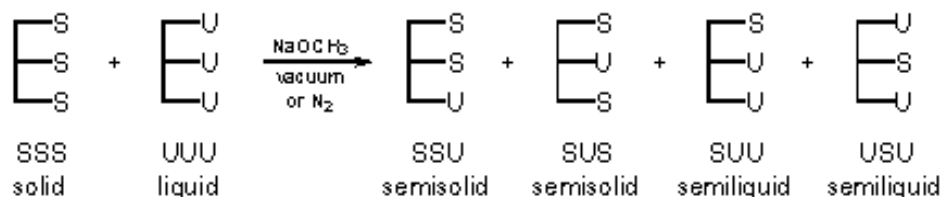
ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันหรือแอลกอฮอล์ไลซิส(alcoholysis)คือการทำปฏิกิริยาของน้ำมันหรือไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กได้เป็นอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล ดังสมการปฏิกิริยาดังล่าง



ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ ด่างหรือกรดหรือเอนไซม์ที่สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิตั้งแต่ อุณหภูมิห้องไปจนถึงจุดเดือดของแอลกอฮอล์นั้นๆ ตัวอย่างด่างที่ใช้เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือ โซเดียมเมทอกไซด์ ส่วนกรดที่นิยมใช้ กรดกำมะถัน และใช้ไลเปสเป็นเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยา ชิดจำกัดและปัญหาต่างๆของการใช้ตัวเร่งชนิดต่างๆได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1

2.6.8 อินเทอร์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Interesterification) หรือ แรนดอมไมเซชัน (Randomization)

เกิดจากไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวแบบสมบูรณ์(UUU)ทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด(SSS)โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น โซเดียม โปแตสเซียม หรือ โซเดียมแอลค็อกไซด์และเอนไซม์เช่นไลเปส ปฏิกิริยานี้เป็นการแลกเปลี่ยนเอสเทอร์ระหว่างเอสเทอร์ด้วยกันเองแล้วเกิดเอสเทอร์ชนิดใหม่ขึ้นมาเช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน การเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอร์ริฟิเคชันดังสมการด้านล่าง



ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเตอร์ริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไขมันทำให้องค์ประกอบเปลี่ยนแปลงและจุดหลอมเหลวของไขมันลดลง ต่างจากปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของกรดไขมันซึ่งทำให้น้ำมันแข็งตัวขึ้น

2.7 เอทานอล (Ethanol)[8]

เอทานอลมีชื่อสามัญว่าเอทิลแอลกอฮอล์(ethyl alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิชนิดหนึ่ง มีสูตรโมเลกุลคือ CH₃CH₂OH และมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 46.07 กรัม/โมล เอทานอลเป็นสารเคมีอินทรีย์ที่มีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลที่สำคัญชนิดหนึ่งจึงนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นผลิตสารเคมีชนิดอื่นๆหรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงในด้านต่างๆเช่น เป็นตัวทำละลาย สารฆ่าเชื้อโรค เครื่องดื่ม สารกันเยือกแข็ง(antifreeze)เชื้อเพลิง และใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทน

2.7.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties)

เอทานอลที่สภาวะปกติเป็นของเหลวใสไม่มีสี ระเหยง่ายและไวไฟ มีกลิ่นเฉพาะตัว ละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีมาก ลักษณะที่สำคัญอีกอย่างคือเมื่อผสมกับน้ำจะมีปริมาตรลดลงแต่ถ้าผสมกับแก๊สโซลีนปริมาตรจะขยายตัว สมบัติทางกายภาพของเอทานอลดังตารางที่ 2.5

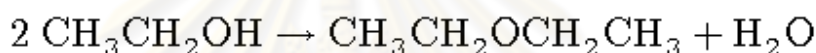
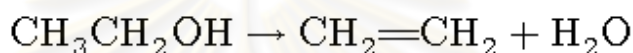
ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพของเอทานอลบริสุทธิ์[8]

คุณสมบัติ	ค่า
จุดเยือกแข็ง , องศาเซลเซียส	-114.1
จุดเดือดปกติ , องศาเซลเซียส	78.32
อุณหภูมิวิกฤต , องศาเซลเซียส	243.1
ความดันวิกฤต , กิโลพาสกาล	6383.48
ความหนาแน่น , d ₄ ²⁰ , กรัม/มิลลิลิตร	0.7893
การละลายน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส	ละลายได้ดีมาก
จุดวาบไฟ, ถ้วยปิด , องศาเซลเซียส	14

2.7.2 ปฏิกริยาทางเคมีของเอทานอล(Chemical reaction)

ปฏิกริยาเคมีของเอทานอลจะเกิดตรงหมู่ไฮดรอกซิล(hydroxyl group , -OH)ปฏิกริยาที่สำคัญได้แก่ คีไฮเดรชัน(dehydration) ฮาโลฟอร์ม(haloform) ออกซิเดชัน(oxidation)และเอสเทอร์ริฟิเคชัน(esterification)

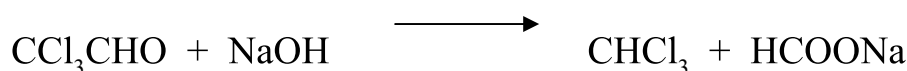
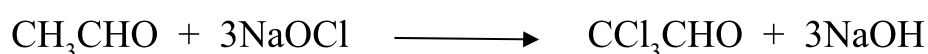
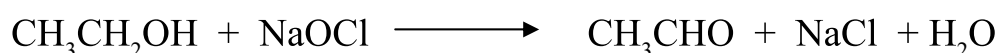
2.7.2.1 คีไฮเดรชัน(dehydration)[13] เอธิลีนและไดเอทิลอีเทอร์เกิดขึ้นจากปฏิกริยาที่มีการดึงน้ำออกจากเอทานอล โดยใช้กรดกำมะถันเป็นตัวเร่งที่อุณหภูมิ 160 และ 140 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยปฏิกริยาดังต่อไปนี้



2.7.2.2 ออกซิเดชัน(oxidation) [13] เอทานอลถูกออกซิไดซ์โดยตัวออกซิไดซ์เช่นไพริดีนเนียม คลอโรโครเมต(pyridinium chlorochromate , PCC) และไพริดีนเนียม ไดโครเมต(pyridinium dichromate , PDC)หรือเกิดจากเอนไซม์ที่ชื่อว่า คีไฮโดรจีเนส แอลกอฮอล์(alcohol dehydrogenase)จะได้อะซีตัลดีไฮด์(acetaldehyde) ดังปฏิกริยาดังต่อไปนี้

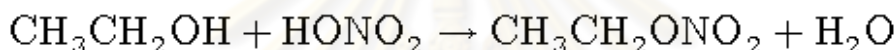
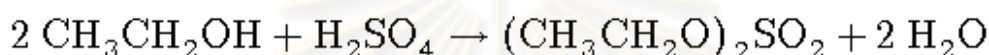
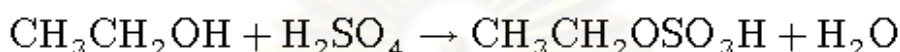


2.7.2.3 ฮาโลฟอร์ม(haloform)[8] เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ(primary alcohol)เพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถเกิดปฏิกริยานี้ได้ โดยเอทานอลทำปฏิกริยากับโซเดียมไฮโปคลอไรต์(sodium hypochlorite)จะได้คลอโรฟอร์ม(chloroform) และเกลือโซเดียมฟอรัมออกมา หากใช้โซเดียมไฮโปโบรไมต์(sodium hypobromite)หรือโซเดียมไฮโปไอโอดิต์(sodium hypoiodite)ก็จะได้โบรโมฟอร์มและไอโอดิฟอร์ม(bromoform and iodoform)ตามลำดับเช่นเดียวกัน ปฏิกริยาการเกิดคลอโรฟอร์มมีขั้นตอนดังนี้

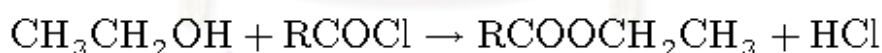
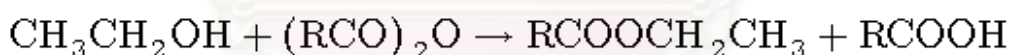


2.7.2.4 เอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) เอทานอลสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันได้กับ กรดอนินทรีย์ (inorganic acid) กรดอินทรีย์ (organic acid) อะซิไดแอนไฮไดรด์ (acid anhydride) และเอซิล คลอไรด์ (acyl chloride)

2.7.2.4.1 เอสเทอร์ฟิเคชันของกรดอนินทรีย์ กรดอนินทรีย์ที่ใช้ เช่น กรดกำมะถัน กรดไนตริก และกรดฟอสฟอริก เอสเทอร์ที่เกิดขึ้นเป็นการเชื่อมพันธะระหว่าง คาร์บอน-ออกซิเจนซึ่งถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่าย ดังปฏิกิริยาด้านล่าง



2.7.2.4.2 เอสเทอร์ฟิเคชันของอะซิไดแอนไฮไดรด์และเอซิลคลอไรด์ โดยทั่วไปปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นด่างอ่อนคือ ไพริดีน (pyridine) เมื่อใช้อะซิไดแอนไฮไดรด์เป็นสารตั้งต้นจะได้ผลิตภัณฑ์นอกจากเอสเทอร์ก็คือกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) หากใช้เอซิล คลอไรด์เป็นสารตั้งต้นจะได้ไฮโดรเจนคลอไรด์เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของอะซิไดแอนไฮไดรด์และเอซิล คลอไรด์ เกิดขึ้นดังนี้



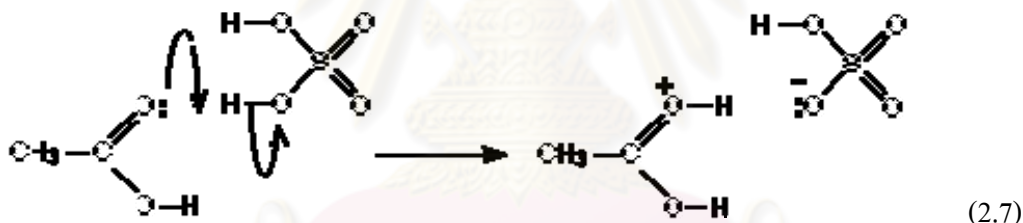
2.7.2.4.3 เอสเทอร์ฟิเคชันของกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอกซาลิก ปฏิกิริยานี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า ฟิชเชอร์ เอสเทอร์ฟิเคชัน (fisher esterification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งและมีการใช้ความร้อนร่วมด้วย ปฏิกิริยานี้ผันกลับได้และมีสมดุลเกิดขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยทั่วไปเป็นกรดแก่เช่น กำมะถัน กรดเกลือ หรือพวกกรดอ่อนเช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์ (boron trifluoride) เกลือของดีบุกและ ตั้งกะลี (tin and zinc salt) อลูมิเนียมเฮไลด์ (aluminium halide) และออร์แกนโน ไททานเนต (organo titanate) บ่อยครั้งที่เรซินแลกเปลี่ยนแคทไอออน (cation exchange resin) และซีโอไลต์ (zeolite) ถูก ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดูเหมือนกัน การทำปฏิกิริยานี้ในห้องปฏิบัติการมักนิยมใช้กรดแก่ แต่ก็มี ข้อเสียในเรื่องการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงเช่น ปฏิกิริยาการเกิดอัลคิลคลอไรด์ ดีไฮเดรชัน ไอโซเมอร์

ไรเซชัน โพลีเมอร์ไรเซชัน ในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้กรดซัลโฟนิกเช่น กรดเบนซีนซัลโฟนิก (benzenesulfonic acid) กรดพารา-โทลูอินซัลโฟนิก(p-toluenesulfonic acid)หรือ มีเทนซัลโฟนิก (methanesulfonic acid)เพราะลดปัญหาเรื่องการกัดกร่อน เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับ ได้จึงมีการเติมแอลกอฮอล์ซึ่งสารตั้งต้นให้มากเกินไปหรือดึงน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นออก เพื่อให้สมดุลเลื่อนไปข้างหน้ามากขึ้น ตัวอย่างปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเอทานอลและ กรดอะซิติกซึ่งเป็นกรดคาร์บอกซิลิกเช่นเดียวกับกรดไขมันโดยมีกรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [30] ดังสมการปฏิกิริยาดังล่าง

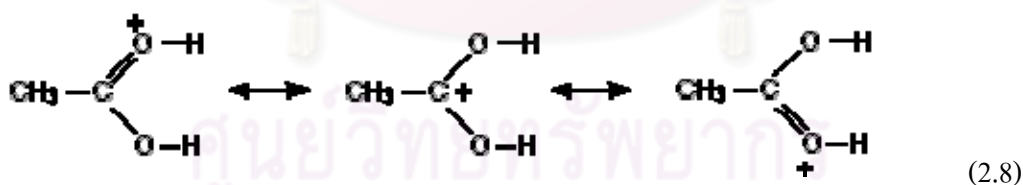


มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังนี้(ปฏิกิริยาในกลไกทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้)

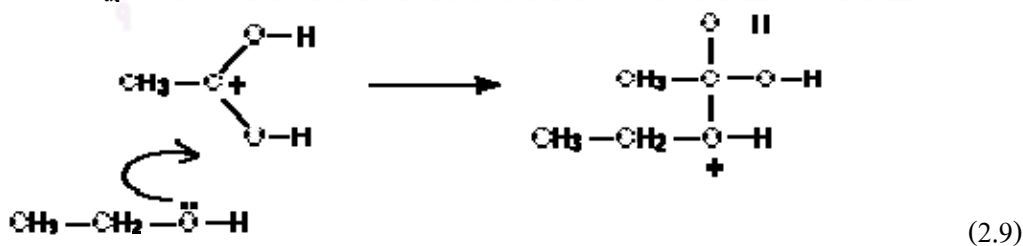
การรวมตัวของโปรตอนกับกรดคาร์บอกซิลิก



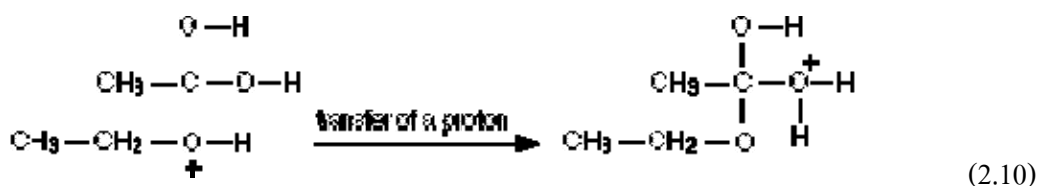
เกิดโครงสร้างเรโซแนนซ์



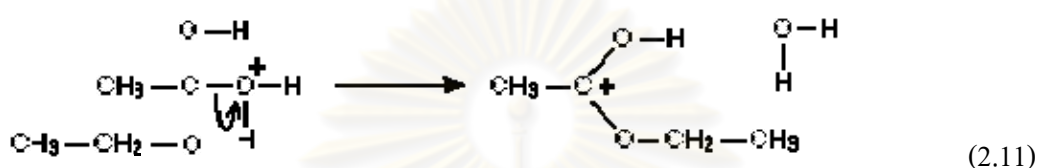
การทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์



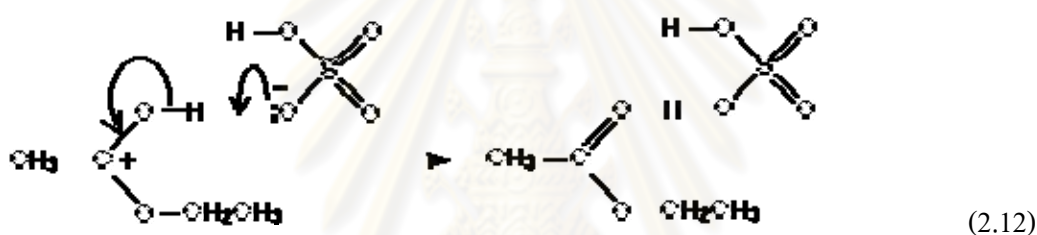
การเคลื่อนย้ายของไฮโดรเจนไอออน



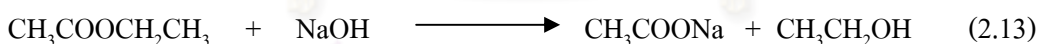
การกำจัดน้ำ



การกำจัดโปรตอน



เอทิล อะซิเตทที่เกิดขึ้นสามารถถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นเอทานอลกับเกลือโซเดียมอะซิเตทโดยทำปฏิกิริยากับสารละลายโซดาไฟหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อนได้ดังสมการด้านล่าง



(เอทิล อะซิเตท) (โซดาไฟ) (เกลือโซเดียมอะซิเตท) (เอทานอล)

เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเอทานอลและกรดอินทรีย์สายโซ่ตรงจำนวน 8 ชนิด คือ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิโนอิก กรดบิวทาโนอิก กรดเพนทาโนอิก กรดเฮกซาโนอิก กรดเอือกทาโนอิก และกรดโนนาโนอิก ในสถานะก๊าซโดยไม่มีน้ำในระบบเริ่มต้น พบว่าเป็นปฏิกิริยาที่มีสมดุล การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีและพลังงานเสรีกิบส์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของเอทานอลและกรดอินทรีย์ทั้ง 8 ชนิดมีค่าเป็นลบ ดังนั้นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของเอทานอลและกรดอินทรีย์ทั้ง 8 ชนิดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เนื่องจากค่าเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยาเป็นลบ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาจะ

น้อยลง ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงลดลง การที่ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีกิบบส์เป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ทั้ง 8 ชนิดนี้ สามารถเกิดขึ้นได้เองที่อุณหภูมิคงที่ หรือ ณ สภาวะมาตรฐาน และถ้าการเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีกิบบส์มีค่าน้อยลงหรือเป็นลบมากขึ้น ทำให้ค่าคงที่สมดุลสูงขึ้น ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ง่าย ค่าการเปลี่ยนแปลงที่สมดุลจึงเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของกรดอินทรีย์ทั้ง 8 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนคาร์บอนอะตอมในสายโซ่อัลคิลของกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงการคำนวณในภาคผนวก จ.1

สรุปได้ว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเอทานอลและกรดอินทรีย์สายโซ่ตรงเป็นปฏิกิริยาปฏิกิริยาคายความร้อน และเป็นปฏิกิริยาที่มีสมดุลสามารถเกิดขึ้นเองได้ที่สภาวะมาตรฐาน

ตารางที่ 2.6 ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีและพลังงานเสรีกิบบส์ของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเอทานอลและกรดอินทรีย์ทั้ง 8 ชนิด[14 , 15 , 16 , 17]

Ethyl ester	ΔH_r^0 (kJ/mol)	ΔG_r^0 (kJ/mol)	$K_{25^\circ C}$	$X_{E,25^\circ C}$	$K_{50^\circ C}$	$X_{E,50^\circ C}$
Ethyl formate	-16.55	-12.85	178.85	0.930	106.6	0.912
Ethyl acetate	-18.55	-14.15	302.24	0.946	169.3	0.929
Ethyl propinoate	-16.95	-13.35	218.84	0.937	128.9	0.919
Ethyl butanoate	-16.55	-12.95	186.21	0.932	111	0.913
Ethyl pentanoate	-22.65	-22.75	9724.24	0.990	4792	0.986
Ethyl hexanoate	-22.95	-16.05	650.74	0.962	317.7	0.947
Ethyl octanoate	-32.75	-18.21	1556.10	0.975	559.4	0.959
Ethyl nonanoate	-19.55	-21.21	5222.86	0.986	2836	0.981

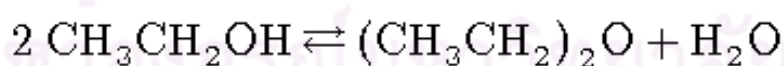
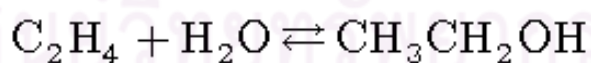
2.8 การผลิตเอทานอล

การผลิตเอทานอลในอุตสาหกรรมมีสองกระบวนการใหญ่คือ สังเคราะห์ได้จากเอทิลีน และกระบวนการหมัก ส่วนกระบวนการอื่นนั้นเป็นเพียงแค่การศึกษาซึ่งยังไม่ได้นำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรมแต่อย่างใด

2.8.1 การสังเคราะห์จากเอทิลีน

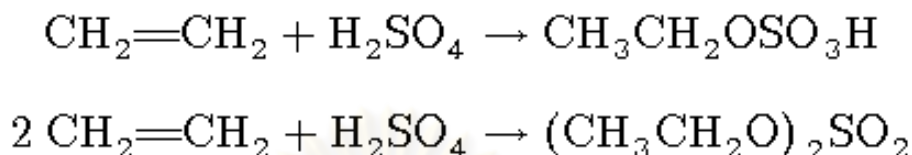
กระบวนการนี้ยังไม่เหมาะสมกับภาวะปัจจุบันเนื่องจากความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิต สามารถแบ่งกระบวนการผลิตเป็นสองวิธีคือแบบ วิธีไคเรค ไฮเดรชันของเอทิลีน(direct hydration of ethylene)และ วิธีอินไคเรค ไฮเดรชันของเอทิลีน(indirect hydration of ethylene)

2.8.1.1 ไคเรค ไฮเดรชันของเอทิลีน เอทิลีนและไอน้ำทำปฏิกิริยากันในสภาวะแก๊ส สภาวะของปฏิกิริยาทั่วไปมีความดันเท่ากับ 5 - 8 เมกกะพาสกาล อุณหภูมิเท่ากับ 250 - 300 องศาเซลเซียส โดยที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากัน(equimolar)ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือกรดฟอสฟอริก-ซิลิกาเจลและทังสเตนออกไซด์-ซิลิกาเจล มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่สมดุลเท่ากับร้อยละ 7 - 22 ของเอทิลีน ถ้าอุณหภูมิลดลงจะเกิดไดเอทิลอีเทอร์ขึ้นซึ่งสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นเอทานอลได้ หากความดันสูงเอทิลีนจะเปลี่ยนไปเป็นบิวทีน และโอเลฟินขนาดใหญ่ทำให้ได้แอลกอฮอล์ขนาดใหญ่ กระบวนการนี้ผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 10 - 25 โดยน้ำหนัก ปฏิกิริยาไคเรค ไฮเดรชันของเอทิลีนเกิดขึ้นดังนี้

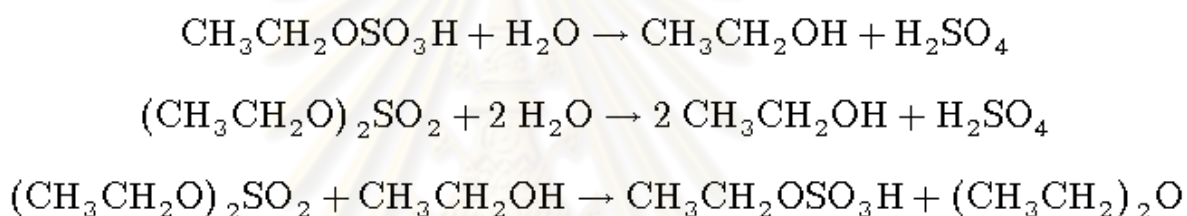


2.8.1.2 อินไคเรค ไฮเดรชันของเอทิลีน เป็นการเตรียมเอทานอลจากเอทิลีนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 35 - 95 โดยใช้กรดกำมะถัน ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก กระบวนการผลิตมีสองขั้นตอนดังนี้

2.8.1.2.1 การดูดกลืนของเอทิลีนโดยกรดกำมะถันเข้มข้นที่สภาวะอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและความดัน 1.3 - 1.5 เมกกะพาสกาล จะได้ โมโนเอทิลซัลเฟต (monoethyl sulfate) และไดเอทิลซัลเฟต (diethyl sulfate) มีขั้นตอนดังนี้



2.8.1.2.2 ไฮโดรไลซิสของเอทิลซัลเฟตไดเอทานอลประมาณร้อยละ 50 และไดเอทิลอีเธอร์เป็นผลพลอยได้ประมาณร้อยละ 5 - 10



2.8.1.2.3 เพิ่มความเข้มข้นกรดกำมะถัน กรดกำมะถันหลังผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้วจะมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 50 - 60 จากนั้นจะถูกเพิ่มความเข้มข้นโดยวิธีการระเหยแบบสุญญากาศ (vacuum evaporation) จนมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 96 - 98

2.8.2 กระบวนการหมัก

เป็นวิธีผลิตเอทานอลที่เก่าแก่และสำคัญมากที่สุด ปัจจุบันการผลิตเอทานอลโดยส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการนี้ วัตถุดิบเป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเช่นแป้ง น้ำตาลหรือเซลลูโลส หากใช้วัตถุดิบเป็นพวกแป้งเช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพดหรือมันฝรั่งต้องเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือน้ำตาลที่หมักได้ (fermentable sugar) เสียก่อน โดยใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) และกลูโคอะไมเลส (glucoamylase) ที่ได้จากมอลต์ (malt) หรือแบคทีเรีย หากใช้เซลลูโลสเป็นวัตถุดิบเช่น ไม้ วัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตร (เปลือก เศษหญ้า ใบไม้ ชังข้าวโพด ฯลฯ) หรือของเสียจากโรงงานกระดาษ ต้องเปลี่ยนเซลลูโลสนี้ไปเป็นน้ำตาลที่หมักได้เช่นเดียวกับแป้งแต่จะใช้ไฮโดรไลซ์โดยใช้กรดแร่แทน ส่วนพวกน้ำตาลเช่น กากน้ำตาล (molasses) น้ำอ้อย ต้องถูกเตรียมให้เหมาะสมแล้วนำไปหมักได้เลย

กระบวนการหมักเกิดขึ้นโดยมียีสต์หรือแบคทีเรียทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลที่หมักได้ไปเป็นเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 - 12 โดยปริมาตรภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของยีสต์หรือแบคทีเรียแต่ละชนิดที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้และผลิตเอทานอลออกมา วิธีการหมักในอุตสาหกรรมมีสองชนิดคือ แบบแบตช์(batch process)และแบบต่อเนื่อง(continuous process)

แบบแบตช์ เป็นการหมักโดยใช้ถังหมักเพียงหนึ่งใบ ตอนแรกทำการเติมอากาศให้แก่ยีสต์โดยมีน้ำตาลที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตเพื่อให้ยีสต์เพิ่มจำนวนเซลล์จากนั้นจะหยุดเติมอากาศเพื่อให้ยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลแทน มีค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลร้อยละ 75 - 95 ใช้เวลาในการหมักประมาณ 20 - 30 ชั่วโมง ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงโดยเฉลี่ยแล้วมากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตรขึ้นไป บางครั้งอาจมากถึงร้อยละ 16 โดยปริมาตรขึ้นอยู่กับความสามารถทนทานต่อเอทานอลของยีสต์แต่ละสายพันธุ์ ข้อดีคือ ควบคุมง่ายไม่ยุ่งยาก และมีการปนเปื้อนน้อย แต่มีข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการที่สูง ความสามารถในการผลิตต่ำ เสียเวลาในการทำ ความสะอาดถังหมักและเตรียมการหมักในครั้งต่อไป ควบคุมโดยใช้ระบบอัตโนมัติค่อนข้างลำบาก

แบบต่อเนื่อง เป็นการลดปัญหาที่เกิดจากการหมักแบบแบตช์ แต่มีข้อเสียคือมีการปนเปื้อนที่สูงและยีสต์อาจจะกลายพันธุ์ได้ เอทานอลที่ได้จากการหมักลักษณะนี้นี้มีความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 8 - 10 โดยปริมาตร เริ่มจากป้อนยีสต์จากถังเตรียมเข้าสู่ถังหมักใบแรกพร้อมกับป้อนน้ำตาลที่เพียงพอต่อการหมักแบบไร้อากาศจนเกิดการไหลล้น(overflow) จากนั้นของผสมทั้งหมดจะถูกป้อนต่อไปยังถังหมักถัดไปเป็นลักษณะอนุกรมอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำตาลจะลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จนในที่สุดเหลือจะแก่น้ำตาลที่ไม่สามารถหมักได้(unfermentable sugar)หรือเรียกว่าน้ำตาลสุดท้าย(residue sugar)ส่วนปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ การหมักจะรุนแรงในช่วงถึงหมักแรกๆและค่อยลดลงในถังถัดไป การหมักแบบต่อเนื่องใช้เวลานานกว่าแบบแบตช์ เวลารวมทั้งหมดประมาณ 40 ชั่วโมง

2.8.2.1 การผลิตโดยยีสต์(production by yeast)ยีสต์เป็นตัวเร่งชีวภาพ(biocatalyst)ในรูปของเซลล์สัตว์ซึ่งถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตเอทานอลในอุตสาหกรรมยีสต์ที่สามารถผลิตเอทานอลได้สูงและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือ *Saccharomyces cerevisiae S. uvarum* และ *Candida utili* ข้อดีของการใช้ยีสต์ในการหมักเอทานอลคือ มีค่าการเลือกสูง ผลพลอยได้ต่ำ ได้เอทานอลปริมาณมาก อัตราการหมักสูง ทนต่อความเข้มข้นของสารอาหารและเอทานอลที่สูงได้ดี และทนต่อความเป็นกรด ดังที่ค่าต่างๆได้ดี

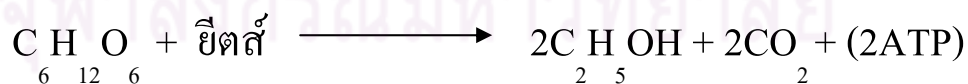
2.8.2.1.1 กระบวนการทำงานของยีสต์ในการหมักเอทานอล ยีสต์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งอาหารหลักคือน้ำตาลที่หมักได้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจำพวกเฮกโตสเช่น กลูโคส ฟรุคโตสและกาแลคโตส จากแหล่งต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว ส่วนแหล่งอาหารรองจะเป็นพวกสารอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างเซลล์ เช่น

ไนโตรเจนทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ ได้จากแอมโมเนีย กลีโอะแอมโมเนียม ยูเรียหรือกรดอะมิโน ในอุตสาหกรรมนิยมใช้โคแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นแหล่งของไนโตรเจนและซัลเฟอร์ไปพร้อมๆกัน

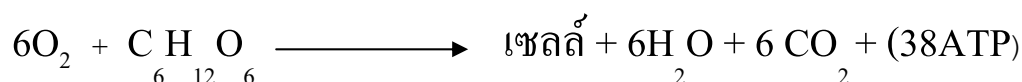
ซัลเฟอร์เป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ แหล่งของซัลเฟอร์ที่นิยมใช้เลี้ยงยีสต์คือกลีโอะแอมโมเนียมซัลเฟต

สารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของยีสต์อื่นๆได้แก่ ฟอสฟอรัสได้จากกลีโอะโคแอมโมเนียมฟอสเฟตและกรดฟอสฟอริก โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งจะอยู่ในรูปกลีโอะเช่นเดียวกัน

การทำงานของยีสต์เพื่อผลิตเอทานอลอยู่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน(anaerobic condition) น้ำตาลกลูโคสจะเปลี่ยนไปเป็นเอทานอล คาร์บอนไดออกไซด์ สารชีวมวลและพลังงานในรูปของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต(adenosine triphosphate , ATP) โดยหนึ่งกรัมของกลูโคสที่ถูกใช้ไปจะได้เอทานอล 0.51 กรัมและคาร์บอนไดออกไซด์ 0.49 กรัม อย่างไรก็ตามการผลิตเอทานอลในทางปฏิบัติมีน้ำตาลร้อยละ 90 - 95 ที่จะเปลี่ยนไปเป็นเอทานอล นอกนั้นยีสต์จะใช้ในการเจริญเติบโตและผลิตผลพลอยได้อื่นๆอีกเล็กน้อยเช่น กลีเซอรอล กรดแอซิดิก กรดแลกติก กรดซัคซินิก อะซีตัลดีไฮด์ ฟลูออรัลและฟลูเซลอยล์(fusel oil) ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์โมเลกุลใหญ่พวกโพรพานอลและบิวทานอล ปฏิกริยาการหมักเอทานอลเกิดขึ้นดังนี้



ในสภาวะที่มีออกซิเจนยีสต์จะใช้น้ำตาลเพื่อผลิตเซลล์ซึ่งจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารชีวมวลและพลังงานในรูปของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต โดยไม่มีเอทานอลเกิดขึ้นดังสมการ



2.8.2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมัก ผลของความเข้มข้นน้ำตาล ในสภาพการหมักที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงจะช่วยลดการปนเปื้อนเชื้ออื่นได้ดี ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้เอทานอลมากขึ้นด้วย หากน้ำตาลสูงมากจะเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ทำให้ได้เอทานอลลดลง ดังนั้นคุณสมบัตินี้จึงเป็นลักษณะประจำสายพันธุ์ของยีสต์ เมื่อเทียบกันกับกรณีความเข้มข้นเอทานอลจะมีผลยับยั้งการหมักที่รุนแรงกว่า แต่หากมีภาวะทั้งน้ำตาลเข้มข้นและเอทานอลสูงจะยิ่งเสริมกันให้มีลักษณะยับยั้งการหมักรุนแรงขึ้น

ผลของอุณหภูมิ ยีสต์แต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิการหมักที่เหมาะสมแตกต่างกันไปในการหมักยีสต์สายพันธุ์ *Sacharomyces cerevisiae* มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ช่วง 28 - 35 องศาเซลเซียส เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการหมักเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นถ้าปฏิบัติการที่อุณหภูมิสูงจะได้เอทานอลลดลง จึงมีความจำเป็นต้องมีระบบหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิในถังหมักให้เหมาะสม

ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีผลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์อัตราการเกิดเอทานอล การเกิดผลพลอยได้และสามารถควบคุมการปนเปื้อนของแบคทีเรียได้ยีสต์สายพันธุ์ *Sacharomyces cerevisiae* สามารถเจริญได้ดีที่ค่ากรด-ด่าง อยู่ในช่วง 2.4 - 8.6 โดยมีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 4.5 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 5 สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้

ผลของความเข้มข้นเอทานอล เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกสะสมไว้ในสารละลายอาหารและมีความเป็นพิษต่อยีสต์ ในสภาพที่มีเอทานอลสูงการเจริญเติบโตของยีสต์จะถูกยับยั้งเพราะเอทานอลอาจทำให้เชื้อหุ้มเซลล์เสียหายและมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไป

ผลของปริมาณออกซิเจน การให้อากาศมีความสำคัญมากสำหรับขั้นตอนการเตรียมยีสต์ เนื่องจากยีสต์มีการเจริญเติบโตที่สูงและจะเพิ่มปริมาณเป็นอย่างมากในสภาวะที่มีการเติมออกซิเจน ยีสต์ใช้ออกซิเจนในการหายใจเพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นในกระบวนการหมักอย่างต่อเนื่องควรมีการให้อากาศบ้างในระหว่างการหมัก เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ทดแทนเซลล์ที่ตายลง และยังพบว่า การให้อากาศปริมาณเล็กน้อย ทำให้การใช้กลูโคสได้มากขึ้น และช่วยให้ยีสต์มีความทนทานต่อเอทานอลได้ดี ออกซิเจนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวและสเตอรอลที่มีความสำคัญที่ทำให้ยีสต์ทนเอทานอลได้มากขึ้นเพราะสารเหล่านี้ทำหน้าที่ป้องกันการเปลี่ยนรูปร่างของเซลล์ ดังนั้นในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนยีสต์จึงไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวและสเตอรอลได้ ต้องมีการเติมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพื่อให้ยีสต์สามารถอยู่รอดได้

2.8.2.2 การผลิตโดยแบคทีเรีย(production by bacteria)การผลิตเอทานอลโดยใช้แบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่แทนยีสต์เริ่มเป็นที่สนใจมากขึ้นเพราะ แบคทีเรียมีสภาวะการเจริญเติบโตที่เหมาะสมซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่ายีสต์เกือบสองเท่าคือ อุณหภูมิช่วง 60 - 70 องศาเซลเซียส ข้อดีของการใช้แบคทีเรียคือ

1. ลดค่าใช้จ่ายในเรื่องการหล่อเย็นเพราะความร้อนที่คายออกมาในระหว่างการหมักมีค่าน้อย
2. ใช้พลังงานในการกวนสารอาหารต่ำเพราะความหนืดของสารอาหารลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
3. แยกเอทานอลออกจากสารอาหารได้อย่างต่อเนื่องโดยการใช้ความดันต่ำเล็กน้อย

แต่ข้อเสียก็คือความทนทานต่อเอทานอลที่ต่ำและในระหว่างการหมักเอทานอลจะมีกรดแลกติกและแอซิดิก เกิดขึ้นมาอีกด้วย แบคทีเรียที่นิยมใช้คือ *Zymomonas mobilis* สามารถผลิตเอทานอลจากทั้งน้ำตาลเฮกโตสและน้ำตาลเพนโตสได้และทนต่อเอทานอลได้สูงกว่าแบคทีเรียชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตแล้วยังมีข้อดีก็คือ อัตราการเจริญเติบโตเป็นสองเท่าของยีสต์ อัตราการผลิตเอทานอลเร็วกว่ายีสต์ 6 - 7 เท่า และมีผลได้มากกว่าร้อยละ 5

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยะวรรณ กฤษเศรษฐสกุล[6] ได้ทำการสังเคราะห์เกลือกรดไขมันจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยโซดาไฟ ณ อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ปริมาณโซดาไฟเริ่มต้นเท่ากับน้ำมันปาล์มดิบโดยน้ำหนัก ความเร็วรอบในการกวนเท่ากับ 750 รอบต่อนาที พบว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ ปริมาณสิ่งเจือปนเฉลี่ยร้อยละ 16.7 ± 0.0019 โดยน้ำหนักของน้ำมันเริ่มต้น จากนั้นจึงเปลี่ยนเกลือกรดไขมันที่ได้ไปเป็นกรดไขมันโดยใช้กรดเกลือ ณ อุณหภูมิห้องเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส พบว่าได้กรดไขมันและกลีเซอรอลร้อยละ 75.5 และ 8.6 โดยน้ำหนักของน้ำมันเริ่มต้นตามลำดับ และอัตราส่วน โมลของกรดไขมันเป็นสามเท่าของกลีเซอรอลเสมอ

D. G. Hayes และคณะ[18] สังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันเลสควาเรลลา (lesquerella oil) และโพแทสเซียมไฮดรอกซ์ 1 โมลลาร์ ในฟอสเฟตบัพเฟอร์ 0.5 โมลลาร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11.5 ค่าอัตราส่วนโดยปริมาตรของสารตั้งต้นเท่ากับ 1 : 3 ร่วมกับตัวทำละลายชนิดต่างๆ ทั้งหมด 5 ชนิด คือ เมทานอล อะซีโตน อะซีโตนไไตรล์ 2- โพรพานอล และเตตระไฮโดรฟูราน โดยใช้ไลโปไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จจึงเติมเฮกเซนลงไปเพื่อให้ของผสมจะแยกเป็น 3 เฟส ชั้นบนเป็นเฟสของโมโน ไคและไตรกลีเซอไรด์ในชั้นเฮกเซน ชั้นล่างเป็นเฟสของน้ำ แยกเฟสตรงกลางซึ่งเป็นชั้นเกลือกรดไขมันในตัวทำละลายไปเติมกรดเกลือจะได้กรดไขมันออกมา พบว่าอะซีโตนเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด ได้ปริมาณกรดไขมันสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 82.9 ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ค่าอัตราส่วนระหว่างเฮกเซนและตัวทำละลายไม่มีผลต่อการสกัด

S. Goto และคณะ[19] ศึกษาจลนศาสตร์ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดปาล์มิติกและไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์โดยใช้กรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิ 67 และ 87 องศาเซลเซียส ค่าอัตราส่วนโมลของไอโซบิวทิล แอลกอฮอล์ต่อกรดปาล์มิติกเท่ากับ 5 ความเร็วในการกวนเท่ากับ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และหาปริมาณกรดปาล์มิติกที่เหลือจากปฏิกิริยาโดยชั่งตัวอย่างจำนวน 2 มิลลิลิตรไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล และพบว่าไม่ว่าจะเติมตัวเร่งด้วยวิธี ไคเรคท์ มิกซ์ (direct mixed method) หรือ พรีเมียมิกซ์ (pre mixed method) ทั้งสองวิธีได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มิติกไม่ต่างกัน ทุกช่วงเวลา ณ อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส กำหนดค่าอัตราส่วนโมล ในช่วง 2.5 – 10 ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอัตราส่วนโมลสูงขึ้น ณ อุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียส ทำการเปลี่ยนปริมาณตัวเร่ง

ในช่วง 0 – 16.8 โมลต่อลบ.ม. พบว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าสัดส่วนน้ำต่อกรดปาร์มีติกเพิ่มขึ้น(ในช่วง 0 – 0.445) ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มิติกลดลง

W. T. Liu และ C. S. Tan[20] ศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดโพรพิโนอิก และนอร์มอลบิวทานอล ณ อุณหภูมิ 90 และ 110 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่ง 5 ชนิดคือ กรดกำมะถัน แอมเบอร์ลิสท์ 15 แอมเบอร์ลิสท์ 35 แอมเบอร์ลิสท์ 39 และ HZSM-5 ผสมในนอร์มอลบิวทานอลก่อนทำปฏิกิริยา ค่าอัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นเท่ากับ 1 ปริมาณตัวเร่งเท่ากับร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด กวนที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และหาปริมาณกรดโพรพิโนอิกที่เหลือจากปฏิกิริยา โดยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟี พบว่าการใช้ตัวเร่งกรดกำมะถันทำให้การเปลี่ยนแปลงของกรดโพรพิโนอิกมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.78 ซึ่งมากกว่าการใช้ตัวเร่งแบบเรซินทุกชนิด และภายหลังจากทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงเป็นต้นไป ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโพรพิโนอิกเริ่มคงที่

M. R. Altiokka และ A. Citak[21] ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดแอซติกและไอโซบิวทานอลในตัวทำละลายไดออกเซน ใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธ์คือ แอมเบอร์ไรท์ (amberlite) IR- 120 โดยผสมตัวเร่งและไดออกเซนลงในสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งก่อน ณ อุณหภูมิปฏิกิริยาเท่ากับ 45 60 และ 70 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที และหาปริมาณกรดแอซติกที่เหลือจากปฏิกิริยา โดยชั่งตัวอย่างจำนวน 2 มิลลิลิตรไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล พบว่าอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นในช่วงอัตราส่วนโมลระหว่างไอโซบิวทานอลและกรดแอซติกมีค่าต่ำ(ไม่เกิน 2) ทำให้ ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น แต่ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะคงที่เมื่อค่าอัตราส่วนโมลระหว่างไอโซบิวทานอลและกรดแอซติกสูงขึ้น และเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นไปข้างหน้าลดลง เนื่องจากน้ำที่ถูกตัวเร่งดูดซับไว้จะเป็นตัวหน่วงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง

A. V. Kurzin และคณะ[22] ศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างและเอทานอลไร้ น้ำ และกรดไขมันจากน้ำมันทอลล์(tall oil fatty acid) ที่มีกรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก และกรดไลโนเลนิก รวมทั้งหมดร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 4 ชนิดคือ กรดกำมะถัน กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก ซิงค์คลอไรด์และแอมเบอร์ลิสท์ 15 และปริมาณตัวเร่งตั้งแต่

ร้อยละ 0.5 ถึง 4 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น อุณหภูมิปฏิกิริยา 80 องศาเซลเซียส ค่าอัตราส่วนโมลเอทานอลต่อกรดไขมันเท่ากับ 3 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยผสมตัวเร่งลงในเอทานอลก่อนทำปฏิกิริยา และหาปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธี ก๊าซ ของเหลว โครมาโทกราฟี ซึ่งต้องล้างของผสม กำจัดความชื้น และกำจัดกรดไขมันที่เหลือจากทำปฏิกิริยาก่อนทำการวิเคราะห์ พบว่า ที่ปริมาณตัวเร่งเท่ากับร้อยละ 1 ค่าผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 69.2 67.2 64 และ 18.6 เมื่อใช้ตัวเร่งกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก แอมเบอร์ลิสท์ 15 กรดกำมะถันและซิงค์คลอไรด์ตามลำดับ เมื่อปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าผลได้ของเอทิลเอสเทอร์สูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งมากกว่าร้อยละ 2 ค่าผลได้เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

S. Chongkhong และคณะ[23] ผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างเมทานอลและกรดไขมันจากน้ำมันปาล์มที่ได้จากการกลั่น (palm fatty acid distillate, PFAD) ซึ่งมีปริมาณความบริสุทธิ์ร้อยละ 93 โดยน้ำหนัก ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ค่าอัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อ PFAD ในช่วง 0.4 : 1 ถึง 12 : 1 ปริมาณกรดกำมะถันเท่ากับตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 5.502 โดยน้ำหนักของ PFAD ซึ่งถูกผสมในเมทานอลก่อนทำปฏิกิริยา และหาปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธี อิน เลเยอร์ โครมาโทกราฟี พบว่า ที่ปริมาณกรดกำมะถันร้อยละ 1.834 ค่าอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมเท่ากับ 4.3 : 1 ปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นเท่ากับร้อยละ 92 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อค่าอัตราส่วนโมลสูงขึ้นปริมาณเอทิลเอสเทอร์ไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณค่าอัตราส่วนโมลที่สูงขึ้นแต่อย่างใด เปรียบเทียบอัตราส่วนโมล ระหว่าง 4.3 : 1 และ 5.3 : 1 ในช่วง 90 นาทีแรก ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของอัตราส่วนโมล 5.3 : 1 จะสูงกว่า แต่หลังจาก 90 นาทีไปแล้วอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งคู่จะช้าลงและมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งทำให้ปริมาณเอทิลเอสเทอร์และค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งมากกว่าร้อยละ 1.834 ปริมาณเอทิลเอสเทอร์เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

D. A. G. Aranda และคณะ[24] สังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากเอทานอลไร้น้ำและกรดไขมันจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่ง 4 ชนิดคือ กรดกำมะถัน กรดเมทาซัลโฟนิก กรดฟอสฟอริก และกรดไตรคลอโรแอซิดิก ปริมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ณ อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโมลเอทานอลต่อกรดไขมันเท่ากับ 3 กวนที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใส่ของผสมรวมกัน เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการจึงเริ่มจับเวลา ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที และทุก 15 นาทีจนครบหนึ่งชั่วโมง และหาปริมาณกรดไขมันที่เหลือจากปฏิกิริยา โดยวิธีไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า เมื่อใช้กรดกำมะถันและกรด

เมทาซัลโฟนิคเป็นตัวเร่ง มีค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันสูงสุดเท่ากันคือ ร้อยละ 85 แต่เมื่อใช้กรดฟอสฟอริก และกรดไตรคลอโรแอซิดิก ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของกรดไขมันมีค่าเท่ากันคือ ร้อยละ 30 เนื่องจากกรดครดกำมะถันและกรดเมทาซัลโฟนิคเป็นกรดที่แรงกว่าทั้งกรดฟอสฟอริก และกรดไตรคลอโรแอซิดิก หากเปลี่ยนจากเอทานอลไร้น้ำเป็นไฮเดรตเอทานอลซึ่งมีน้ำไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และใช้กรดเมทาซัลโฟนิคเป็นตัวเร่ง พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันลดลงเหลือร้อยละ 68 เนื่องจากปฏิกิริยาย้อนกลับมาจากซ้ายมือมากขึ้น

Aykut Ozgulsun และคณะ[25] ผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดโอเลอิกและน้ำมันฟูเซล (fusel oil) ซึ่งประกอบด้วย เอทานอล 1- โพรพานอล 1- บิวทานอล และเอมิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 0.06 0.41 13.03 และ 86.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยมีกรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้นในระบบร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของกรดไขมัน ซึ่งตัวเร่งและซิลิกาเจลถูกเติมลงไปหลังจากผสมสารตั้งต้นที่ได้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งที่ใช้เท่ากับร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของกรดไขมัน เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ค่าอัตราส่วนโมลกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์มีค่า 1:3 1:2 1:1 และ 2:1 และวิเคราะห์ปริมาณเอสเทอร์ที่ได้โดยวิธี ซิน เลเยอร์ โครมาโทกราฟี / เฟรม ไอออไนเซชัน ดีเทคชัน พบว่าค่าอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมเท่ากับ 1:2 ซึ่งมีค่าผลได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 97 เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งในช่วงร้อยละ 0.5 ถึง 1.5 โดยกำหนดอัตราส่วนโมลเท่ากับ 1:2 พบว่าที่เวลา 1 ชั่วโมงปริมาณตัวเร่งร้อยละ 1.25 และ 1.5 มีค่าผลได้ของเอสเทอร์ใกล้เคียงกันมาก เวลาหลังจาก 1 ชั่วโมงเป็นต้นไปมีค่าผลได้ไม่ต่างกันมากนัก ค่าผลได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 97.3 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงขึ้นส่งผลให้สีของเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นเข้มมากยิ่งขึ้น ปริมาณตัวเร่งที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 1.25 และเวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 1 ชั่วโมง

R. Aafaqi และคณะ[26] ศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดปาล์มิติกที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.9 และไอโซโพรพานอลโดยใช้กรดพารา- โทลูอินซัลโฟนิค เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนโมลระหว่างไอโซโพรพานอลและกรดปาล์มิติกในช่วง 1 ถึง 5 อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 100 ถึง 170 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งตั้งแต่ 1 ถึง 5 กรัม ตัวเร่ง/ลบ.คม.และปริมาณน้ำในกรดปาล์มิติกในช่วงร้อยละ 0 ถึง 15 โดยปริมาตรของสารตั้งต้น กวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ทุกการทดลอง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เริ่มจับเวลาหลังจากเติมตัวเร่งลงไปของผสมของสารตั้งต้นทันที โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 2 มิลลิลิตร ทุก 5 นาที เป็นเวลาครึ่ง ชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวอย่างทุกครั้งชั่วโมงจนครบ 4 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปไตเตรทกับ

สารละลาย โซดาไฟ 0.1 โมลลาร์ เพื่อหาปริมาณกรดปาล์มติกที่เหลือจากปฏิกิริยา พบว่าถ้า กำหนดค่าอัตราส่วนโมลระหว่างไอโซโพรพานอลและกรดปาล์มติกเท่ากับ 5 และปริมาณตัวเร่ง 5 กรัมตัวเร่ง/ลบ.คม. เมื่อค่าอัตราส่วนโมลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มติก สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาสูงขึ้นส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มติกมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันและแอลกอฮอล์เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ในช่วง อุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มติกเพิ่มขึ้นอย่าง รวดเร็ว แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเกิน 150 องศาเซลเซียส ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มติกไม่ เปลี่ยนแปลงมากนัก ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มติกสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 97.1 ที่ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ถ้ากำหนดค่าอัตราส่วนโมลระหว่างไอโซโพรพานอลและกรดปาล์มติกเท่ากับ 5 ที่ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มติกมากขึ้น และถ้ากำหนดค่าอัตราส่วนโมลระหว่างไอโซโพรพานอลและกรดปาล์มติกเท่ากับ 5 ที่ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเช่นกัน ปริมาณตัวเร่งเท่ากับ 5 กรัมตัวเร่ง / ลบ.คม. ปริมาณน้ำที่ สูงขึ้นส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงลดลงมากขึ้น เนื่องจากไอโซโพรพิว ปาล์มเตดถูกไฮโดรไลซ์ไป เป็นกรดปาล์มติก ในปฏิกิริยาผันกลับของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของกรด ปาล์มติกต่ำที่สุด เท่ากับร้อยละ 50.1

J. M. Marchetti และ A. F. Errazu[27] เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของเอทานอลไร้ น้ำและไฮดรตเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 96 โดยน้ำหนัก กับกรดโอเลอิก ณ อุณหภูมิปฏิกิริยาเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งชนิดเรซิน Duwex Monosphere 550 A ร้อย ละ 2.6 โดยน้ำหนัก สัดส่วนโมลเอทานอลต่อกรดโอเลอิกเท่ากับ 6.13 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และหา ปริมาณกรดโอเลอิกที่เหลือจากปฏิกิริยาโดยไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.02 นอร์มอล พบว่า ณ เวลาตั้งแต่ 2.5 ชั่วโมงเป็นต้นไป ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิกคงที่และ ไม่ขึ้นกับเวลา ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิก ณ เวลา 2.5 ชั่วโมงเท่ากับร้อยละ 15 เมื่อใช้เอ ทานอลไร้ น้ำ แต่เมื่อใช้ไฮดรตเอทานอล ณ เวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงเป็นต้นไป ค่าการเปลี่ยนแปลง ของกรดโอเลอิกคงที่และไม่ขึ้นกับเวลา ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิก ณ เวลา 1 ชั่วโมง เท่ากับร้อยละ 4

J. M. Marchetti และคณะ[28] สังเคราะห์เอทิล โอลเอทจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของเอทานอลไร้ น้ำและกรด โอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันดอกทานตะวันร้อยละ 10.684 โดยน้ำหนัก ณ อุณหภูมิปฏิกิริยาเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งชนิดเรซิน Duwex

Monosphere 550 A ร้อยละ 2.267 โดยน้ำหนักของน้ำมัน สัดส่วนโมลเอทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6.13 ความเร็วในการผสม 200รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และหาปริมาณกรดโอเลอิกที่เหลือจากปฏิกิริยาโดยไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และวิธีก๊าซโครมาโทกราฟี พบว่า ณ เวลาตั้งแต่ 2 ชั่วโมงเป็นต้นไป ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิกคงที่และไม่ขึ้นกับเวลา ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิก ณ เวลา 2 ชั่วโมงเท่ากับร้อยละ 85

J. M. Marchetti และคณะ[29] สังเคราะห์เอทิล โอลีโอเอทจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของเอทานอลไร้ น้ำและกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันดอกทานตะวันร้อยละ 10.684 โดยน้ำหนัก ณ อุณหภูมิปฏิกิริยาเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส ใช้กรดกำมะถันเป็นตัวเร่งร้อยละ 2.261 โดยน้ำหนักของน้ำมัน สัดส่วนโมลเอทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6.13 ความเร็วในการผสม 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และหาปริมาณกรดโอเลอิกที่เหลือจากปฏิกิริยาโดยไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ณ เวลาตั้งแต่ 2 ชั่วโมงเป็นต้นไป ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิกคงที่และไม่ขึ้นกับเวลา ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิก ณ เวลา 2 ชั่วโมงเท่ากับร้อยละ 93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากสารละลายเอทานอลและกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว แบ่งการดำเนินการวิจัยเป็นสองขั้นตอนหลักคือ การเปลี่ยนน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วให้ไปเป็นกรดไขมันก่อน จากนั้นจึงนำกรดไขมันที่ได้ไปทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันกับสารละลายเอทานอล

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้

- | | | | |
|--------|---|--------|---|
| 3.1.1 | น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว | 3.1.18 | กรวยแยก ขนาด 100 และ 500 มิลลิลิตร |
| 3.1.2 | โซดาไฟความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ | 3.1.19 | บิวเรต 50 มิลลิลิตร |
| 3.1.3 | โซดาไฟความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ | 3.1.20 | ปิเปต 10 มิลลิลิตร |
| 3.1.4 | กรดเกลือความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ | 3.1.21 | หลอดหยด |
| 3.1.5 | กรดกำมะถันความเข้มข้นร้อยละ 97 | 3.1.22 | บีกเกอร์ |
| 3.1.6 | สารละลายเอทานอลร้อยละ 8.06
โดยน้ำหนัก(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) | 3.1.23 | ขวดปรับปริมาตร (volume metric
flask) ขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร |
| 3.1.7 | โพแทสเซียมเพอร์ริโอเดต | 3.1.24 | เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง |
| 3.1.8 | เบนซีน | 3.1.25 | กระจกนาฬิกา |
| 3.1.9 | อะซีโตน | 3.1.26 | ตู้อบอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส |
| 3.1.10 | เฮกเซน | 3.1.27 | กรวยกรองและกระดาษกรอง |
| 3.1.11 | ฟีนอล์ฟทาลิน อินดิเคเตอร์ | | |
| 3.1.12 | บรอมไทมอล บลู อินดิเคเตอร์ | | |
| 3.1.13 | เมทิล เรด อินดิเคเตอร์ | | |
| 3.1.14 | อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ(water bath) | | |
| 3.1.15 | เครื่องให้ความร้อนพร้อมกวนด้วยแท่ง
แม่เหล็ก | | |
| 3.1.16 | เทอร์โมมิเตอร์ | | |
| 3.1.17 | ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 250 500
และ 1000 มิลลิลิตร | | |

3.2 การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว

การสังเคราะห์แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือเปลี่ยนน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วให้เป็นเกลือกรดไขมันโดยให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับโซดาไฟอย่างสมบูรณ์ และเปลี่ยนเกลือกรดไขมันที่ได้ไปเป็นกรดไขมันโดยการทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

3.2.1 การเปลี่ยนน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วเป็นเกลือกรดไขมัน

3.2.1.1 ชั่งน้ำมันมะพร้าวใส่ขวดรูปกรวยขนาด 500 มิลลิลิตร

3.2.1.2 เติมโซดาไฟความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ ลงไปในขวดรูปกรวย(ปริมาณของแข็งโซดาไฟที่เติมลงไปสมมูลกับมวลน้ำมันมะพร้าว)

3.2.1.3 กวนของผสมที่ได้ด้วยแท่งแม่เหล็กที่ 750 รอบต่อนาทีพร้อมให้ความร้อนโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง

3.2.1.4 นำของผสมทั้งหมดใส่กรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตรทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายของเบนซีนและอะซีโตนอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรจำนวน 50 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นอย่างสมบูรณ์ เพื่อสกัดแยกสารประกอบที่ไม่เกิดสบู่ออกมา

3.2.1.5 ของผสมจะแยกเป็น 3 ชั้น แยกชั้นต่างๆออกจากกัน ซึ่งชั้นล่างประกอบไปด้วยน้ำ ชั้นตรงกลางประกอบไปด้วยเกลือกรดไขมัน และชั้นบนประกอบไปด้วยเบนซีน

3.2.1.6 ล้างชั้นเบนซีนด้วยน้ำกลั่นทีละ 25 มิลลิลิตร จนกระทั่งชั้นเบนซีนมีสภาพเป็นกลาง(ทดสอบด้วยฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์) นำชั้นเบนซีนที่เป็นกลางใส่ขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตรที่รู้น้ำหนักที่แน่นอนไประเหยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในตู้ควั่น จนเหลือปริมาณเล็กน้อย จากนั้นนำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นำออกมาชั่งจนกว่าน้ำหนักคงที่ จะได้สิ่งเจือปนที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือกรดไขมัน

3.2.2 การกำจัดโซดาไฟที่เหลือด้วยกรดเกลือ

การเปลี่ยนเปลี่ยนน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วเป็นเกลือกรดไขมันมีการเติมปริมาณโซดาไฟที่มากเกินไปทำให้ยังคงมีส่วนที่เป็นโซดาไฟที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ จึงต้องกำจัดโซดาไฟที่เหลือด้วยกรดเกลือ ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งใช้บรอมไทมอล บูลเป็นอินดิเคเตอร์ทำให้ทราบถึงปริมาณโซดาไฟที่ใช้ไปใช้ปฏิกิริยาสบู่ โดยเติมกรดเกลือลงในสารละลายชั้นล่าง (ขั้นตอน 3.2.1.5) จนถึงจุดสมมูล และบันทึกปริมาตรสารละลายทั้งหมด

3.2.3 การเปลี่ยนเกลือกรดไขมันเป็นกรดไขมัน

ชั้นเกลือกรดไขมันที่ถูกแยกออกมาจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันโดยการทำปฏิกิริยากับกรดเกลือที่มากเกินไป ณ อุณหภูมิห้อง

3.2.3.1 เติมกรดเกลือลงไปชั้นเกลือกรดไขมัน(ขั้นตอน 3.2.1.5) กวนที่ความเร็ว 750 รอบต่อนาที ของผสมจะแยกเป็นสองชั้น สังเกตชั้นสารละลายด้านล่างใส จึงหยุดปฏิกิริยา

3.2.3.2 นำของผสมทั้งหมดใส่กรวยแยกตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น(อาจเติมตัวทำละลายเช่น เฮกเซนลงไปเพื่อให้เกิดการแยกชั้นที่ดีขึ้น)

3.2.3.3 แยกชั้นสารละลายใสในชั้นล่างออกไปเพื่อนำไปหาปริมาณกรดเกลือที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายโซดาไฟ และบันทึกปริมาตรสารละลายทั้งหมด

3.2.3.4 ล้างชั้นกรดไขมันในชั้นบนด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 25 มิลลิลิตร จนกระทั่งน้ำที่ล้างมีสภาพเป็นกลาง(ทดสอบด้วยบรอมไทมอล บลูอินดิเคเตอร์)

3.2.3.5 นำกรดไขมันใส่ขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตรที่รู้น้ำหนักที่แน่นอนเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นำออกมาชั่งจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

3.2.3.6 กรดไขมันที่ได้นำไปวิเคราะห์โดยวิธี AOCs Official Method Da 14-48 (ในภาคผนวก ค.)

3.2.4 การกำจัดกรดเกลือที่เหลือด้วยโซดาไฟ

การเปลี่ยนเกลือกรดไขมันเป็นกรดไขมันมีการเติมกรดเกลือที่มากเกินไปจึงยังคงมีกรดเกลือที่ไม่ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ ดังนั้นจึงต้องกำจัดกรดเกลือที่เหลือโดยใช้สารละลายโซดาไฟ ความเข้มข้น 2.5 โมลลาร์ และใช้บรอมไทมอล บลูอินดิเคเตอร์ เพื่อทราบถึงปริมาณกรดเกลือที่ทำปฏิกิริยากับเกลือกรดไขมันที่แท้จริง ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณโซดาไฟในการเปลี่ยนน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีเป็นเกลือกรดไขมัน

3.2.5 การวิเคราะห์กลีเซอรอลและเกลือโซเดียมคลอไรด์

3.2.5.1 นำสารละลายในขั้นตอนที่ 3.2.2 ไปหาปริมาณกลีเซอรอลโดยวิธี ASTM D128-98 (2003) (ในภาคผนวก ง.)

3.2.5.2 นำสารละลายในขั้นตอนที่ 3.2.2 และ 3.2.4 ไปหาปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นโดยแบ่งสารละลาย 100 มิลลิลิตรใส่ขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตรที่รู้น้ำหนักที่แน่นอนเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นำออกมาชั่งจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

3.3 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล

ทำปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันคือ เวลาที่ใช้ทำปฏิกริยา ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น และปริมาณตัวเร่งปฏิกริยา ขั้นตอนการทดลองและการตรวจสอบในการศึกษาทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าวเหมือนกัน โดยหลังทำปฏิกริยาเสร็จจะทำการแยกของผสมระหว่างชั้นสารละลายเอทานอลและชั้นกรดไขมันออกจากกันเพื่อนำไปตรวจสอบหาปริมาณตัวเร่งในของผสมระหว่างชั้นสารละลายเอทานอล และตรวจสอบหาทั้งปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่กับปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในของผสมชั้นกรดไขมันตามลำดับ การตรวจสอบปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่และเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นนั้น ใช้วิธีไตเตรทด้วย โซดาไฟ ทำให้เกิดเกลือกรดไขมันซึ่งสามารถเปลี่ยนกลับมาเป็นกรดไขมันได้อีกครั้ง โดยทำปฏิกริยากับกรดเกลือ ความสามารถในการเกิดปฏิกริยาสัมพันธ์กับค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่และเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในของผสมชั้นกรดไขมัน

3.3.1 ผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกริยา ที่มีต่อปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

เมื่อกำหนดปริมาณกรดไขมัน และกรดกำมะถันเท่ากับร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ

3.3.1.1 ชั่งกรดกำมะถัน กรดไขมัน และสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 8.06 โดยน้ำหนัก จำนวน 0.09 1 และ 40 กรัมตามลำดับ ใส่รวมกันในขวดรูปชมพูนขนาด 125 มิลลิลิตร

3.3.1.2 อุณหภูมิของผสมทั้งหมด ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จนมีอุณหภูมิตั้งที่ 50 องศาเซลเซียส และปิดขวดชมพู่ด้วยกระจกนาฬิกา

3.3.1.3 เมื่อได้อุณหภูมิตั้งที่กำหนด เริ่มจับเวลาทันทีหลังจากกวนแม่เหล็กที่ความเร็ว 750 รอบต่อนาที โดยทำปฏิกริยาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.1.4 เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด หยุดการกวน จากนั้นใส่ของผสมลงในกรวยแยกขนาด 100 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นอย่างสมบูรณ์อาจเติมเฮกเซนลงไปเล็กน้อยเพื่อให้เห็นการแยกชั้นได้ชัดเจนขึ้น

3.3.1.5 แยกชั้นสารละลายแอลกอฮอล์ด้านล่างออกไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดกำมะถันในข้อ 3.3.4

3.3.1.6 ล้างชั้นของผสมด้านบนซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันที่เหลือและเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 25 มิลลิลิตร จนกระทั่งเป็นกลาง(ทดสอบด้วยบรอมไทมอล บลูอินดิเคเตอร์)

3.3.1.7 นำชั้นของผสมชั้นด้านบนที่เป็นกลางไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นชั่งน้ำหนักของผสม และหาปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่ในของผสมโดยใช้วิธี AOCs Official Method Da 14-48(ในภาคผนวก ค.)

3.3.1.8 เติมสารละลายโซดาไฟ 0.1 โมลลาร์ ปริมาณมากเกินพอลงในของผสมที่หาปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่เสร็จแล้ว(ขั้นตอน 3.3.1.7) จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส และกวนที่ความเร็ว 750 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อให้เอทิลเอสเทอร์เปลี่ยนเป็นเกลือกรดไขมัน(ระวังอย่าให้น้ำแห้ง)

3.3.1.9 กำจัดโซดาไฟที่เหลือด้วยกรดเกลือ ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะทราบปริมาณโซดาไฟที่เปลี่ยนเอทิลเอสเทอร์เป็นเกลือกรดไขมัน

3.3.1.10 เปลี่ยนเกลือกรดไขมันไปเป็นกรดไขมันโดยทำซ้ำขั้นตอน 3.2.3.1 ถึง 3.2.3.6

3.3.1.11 หาปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับขั้นตอน 3.2.5.2

3.3.1.12 ทำซ้ำขั้นตอน 3.3.1.1 ถึง 3.3.1.11 โดยเพิ่มเวลาขึ้นครั้งละครึ่งชั่วโมง จนค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันคงที่

3.3.2 ผลของปริมาณกรดไขมันที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ทำซ้ำขั้นตอน 3.3.1.1 ถึง 3.3.1.11 โดยเปลี่ยนปริมาณกรดไขมันตั้งแต่ร้อยละ 1 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น (ดังตารางที่ 3.1) และกำหนดเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาโดยเลือกจากการทดลองข้อ 3.3.1

3.3.3 ผลของปริมาณตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ทำซ้ำขั้นตอน 3.3.1.1 ถึง 3.3.1.11 โดยเปลี่ยนปริมาณกรดกำมะถันเป็นร้อยละ 0 0.53 0.75 1 และ 1.25 เมื่อกำหนดปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.48 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น (ดังตารางที่ 3.2) และกำหนดเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาโดยเลือกจากการทดลองข้อ 3.3.1

3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดกำมะถันที่ใช้เป็นตัวเร่งหลังจากการทำปฏิกิริยา

นำสารละลายทั้งหมดไปหาปริมาณกรดกำมะถันที่ใช้เป็นตัวเร่ง โดยไตเตรทกับโซดาไฟความเข้มข้น 0.1 โมลลาร์(ใช้บรอมไทมอล บลูเป็นอินดิเคเตอร์)

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารตั้งต้นและตัวเร่งในการศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 4.8 9 และ 13 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดไขมัน ต่อสารตั้งต้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	กรดกำมะถัน ต่อสารตั้งต้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	กรดไขมัน (กรัม)	สารละลายเอทานอล (กรัม)	กรดกำมะถัน (กรัม)
1	0.22	1	99	0.22
4.8	0.22	2.2	43.3	0.1
9	0.22	4.5	45.5	0.11
13	0.22	6.8	45.5	0.115

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารตั้งต้นและตัวเร่งในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.53 0.75 1 และ 1.25 และกรดไขมันร้อยละ 2.48 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดไขมัน ต่อสารตั้งต้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	กรดกำมะถัน ต่อสารตั้งต้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	กรดไขมัน (กรัม)	สารละลายเอทานอล (กรัม)	กรดกำมะถัน (กรัม)
2.4	0	1	40	0
2.4	0.53	1	40	0.22
2.4	0.75	1	40	0.31
2.4	1.00	1	40	0.415
2.4	1.25	1	40	0.52
4.8	0	2	40	0
4.8	0.53	2.2	40	0.225
4.8	0.75	2.2	40	0.32
4.8	1.00	2.2	40	0.425
9	0	3.96	40	0

กรดไขมัน ต่อสารตั้งต้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	กรดกำมะถัน ต่อสารตั้งต้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	กรดไขมัน (กรัม)	สารละลายเอทานอล (กรัม)	กรดกำมะถัน (กรัม)
9	0.53	4.5	45.5	0.265
9	0.75	4.5	45.5	0.38
9	1.00	4.5	45.5	0.505



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและบทวิจารณ์

การทดลองแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการเปลี่ยนน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วให้เป็นกรดไขมันโดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ และส่วนหลังเป็นการนำกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 8.06 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันคือ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันกับตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสารตั้งต้น

4.1 การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว

เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ จะได้เกลือกรดไขมัน กลีเซอรอล และแยกสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำมัน สิ่งเจือปนนี้เป็นส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาและจะอยู่รวมกับเกลือกรดไขมัน ทำให้ความบริสุทธิ์ของกรดไขมันที่ได้ลดลง จึงต้องแยกออกจากกันก่อนที่จะนำเกลือกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ การแยกดังกล่าวอาศัยกระบวนการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายร่วมระหว่างอะซิโตน(มีขี้)และเบนซีน (ไม่มีขี้) เนื่องจากเกลือกรดไขมันเป็นสารที่มีทั้งส่วนที่มีขี้และไม่มีขี้ ต่างจากน้ำมันที่เป็นสารไม่มีขี้เพียงอย่างเดียว ในระบบการสกัดจึงเกิดของเหลวแบ่งเป็นสามชั้น ของเหลวชั้นบนเป็นส่วนของตัวทำละลายเบนซีนและสิ่งเจือปน ถัดมาเป็นชั้นของอะซิโตนและเกลือกรดไขมันที่ต้องการซึ่งมีลักษณะสีขาวขุ่น และชั้นล่างเป็นชั้นของน้ำ ประกอบไปด้วยโซดาไฟที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้ จากนั้นนำเกลือกรดไขมันทำปฏิกิริยากับกรดเกลือที่มากเกินไปเพื่อเปลี่ยนเกลือกรดไขมันเป็นกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันต่อน้ำมันเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 88.58 ± 0.34 โดยน้ำหนัก หรือ 4.17 ± 0.03 มิลลิโมลต่อกรัมน้ำมัน มวลโมเลกุลของกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 212.48 ± 1.7 และ 675.49 ± 5.1 ตามลำดับ ดังตารางที่ ก.3 และ ก.4 ปริมาณกลีเซอรอลและสิ่งเจือปนต่อน้ำมันเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.01 ± 0.28 และ 0.052 ± 0.009 โดยน้ำหนัก ตามลำดับดังตารางที่ ก.5 และ ก.6 เมื่อเปรียบเทียบมวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันที่ได้จากการทดลองกับข้อมูลที่ผ่านมา [5 , 8] ในตารางที่ 2.3 ซึ่งมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันเท่ากับ 201.42 และ 206.54 ตามลำดับ เปรียบเทียบมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันจากการทดลองกับข้อมูลของผู้ที่รายงานไว้แตกต่างกันเฉลี่ยร้อยละ 4.2 เนื่องจากอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไล

ซิสไม่สมบูรณ์ทำให้มีโมโนกลีเซอไรด์ซึ่งเกิดจากกลไกปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์แบบลูกโซ่ปะปนรวมกับกรดไขมันและชนิดจำกัดของการแยกโมโนกลีเซอไรด์ออกจากกรดไขมัน โดยวิธีการสกัด เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างสมบูรณ์ของไตรกลีเซอไรด์จำนวน 1 โมล สามารถสังเคราะห์กรดไขมันและกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ได้จำนวน 3 และ 1 โมล ตามลำดับ หากไตรกลีเซอไรด์สามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด พบว่าค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อไตรกลีเซอไรด์จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 1.08 หรือปริมาณผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนักไตรกลีเซอไรด์เริ่มต้น เนื่องจากมีน้ำจำนวน 3 โมเลกุลที่แตกตัวเข้าไปรวมอยู่ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน จากตารางที่ 4.1 น้ำมันมะพร้าวเกิดปฏิกิริยาเป็นกรดไขมันไม่สมบูรณ์ ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น โดยเฉพาะปริมาณกลีเซอรอลที่ได้มีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องกับทั้งค่าสัดส่วนโมลของกรดไขมันต่อกลีเซอรอลจากการทดลองมากกว่าค่าในทางทฤษฎีทุกการทดลอง ดังตารางที่ ก.5 และค่าผลต่างของมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันจากการทดลองเทียบกับข้อมูลของผู้ที่รายงานไว้ แม้สิ่งเจือปนหรือน้ำมันมะพร้าวที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น เพราะน้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีกำจัดสิ่งเจือปนออกแล้ว แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำมันนั้นมีความสำคัญมากกว่ามวลของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสิ่งเจือปนอาจส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนั้นกรดไขมันที่ได้จากการสังเคราะห์น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วจึงมีความบริสุทธิ์เพียงพอ และสามารถนำไปทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันร่วมกับเอทานอลโดยมีกรดกำมะถันเป็นตัวเร่งได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์และสิ่งเจือปนทั้งหมดที่ตรวจสอบได้

ครั้งที่	น้ำมันเริ่มต้น (กรัม)	ไตรกลีเซอไรด์ (กรัม)	กรดไขมัน (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	สิ่งเจือปน (กรัม)
1	5.0088	5.0065	4.4676	0.6346	0.0023
2	20.5303	20.52	18.2361	2.4185	0.0103
3	18.6042	18.5965	16.5338	2.1892	0.0077
4	29.6566	29.6374	26.1874	3.5689	0.0192
5	30.5862	30.5658	27.0216	3.6582	0.0204
6	30.7045	30.6887	27.1387	3.6593	0.0158
7	30.8507	30.8364	27.3043	3.6675	0.0143
8	42.1116	42.0903	37.1511	5.0887	0.0213

4.2 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล

การทดลองประกอบด้วยการทำปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล โดยใช้กรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกริยา เนื่องจากกรดไขมันไม่ละลายรวมกับสารละลายเอทานอล ทำให้ของผสมแยกเป็นสองชั้นอย่างชัดเจน เอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจะผสมรวมกับชั้นกรดไขมันที่เหลือยู่หลังการทำปฏิกริยา ส่วนของเหลวชั้นล่างประกอบไปด้วยกรดกำมะถันอยู่รวมกับสารละลายเอทานอล เมื่อหยุดปฏิกริยา ทำการตรวจสอบปริมาณกรดกำมะถันกับกรดไขมันที่เหลือยู่หลังปฏิกริยาและเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น การตรวจสอบกรดไขมันที่เหลือยู่และเอทิลเอสเทอร์ทำให้เกิดเกลือกรดไขมันซึ่งสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นกรดไขมันได้อีกครั้งโดยการปฏิกริยากับกรดเกลือ ปฏิกริยาที่สนใจในงานวิจัยคือปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเน้นวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่เหลือยู่หรือที่ไม่เกิดปฏิกริยา เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันซึ่งสมนัยกับค่าผลได้เอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น

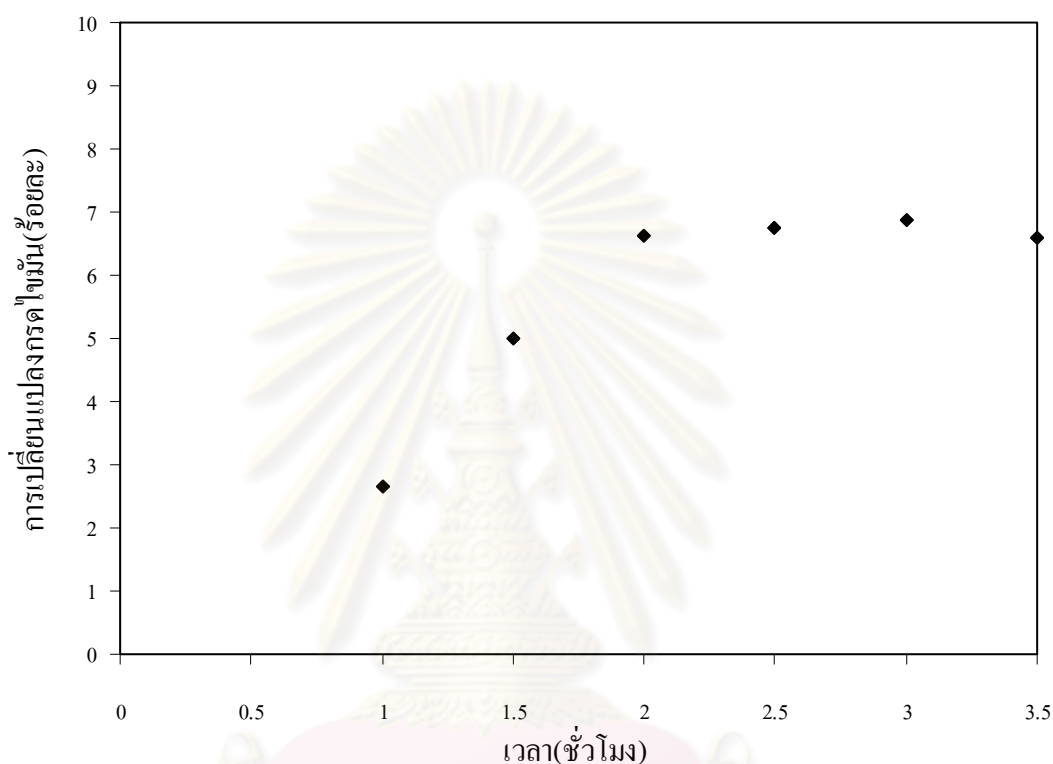
4.2.1 ผลของเวลาทำปฏิกริยาที่มีต่อปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

พิจารณาปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดอินทรีย์ทั้ง 8 ชนิด ได้แก่ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิโนอิก กรดบิวทาโนอิก กรดเพนทาโนอิก กรดเฮกซาโนอิก กรดออกทาโนอิก และกรดโนนาโนอิก ในภาคทฤษฎีข้อ 2.7.2.4.3 พบว่าปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเอทานอลและกรดอินทรีย์สายโซ่ตรงทั้ง 8 ชนิดเป็นปฏิกริยาคายความร้อน

และเป็นปฏิกิริยาที่มีสมมูลสามารถเกิดขึ้นเองได้ที่สภาวะมาตรฐาน ดังนั้นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างสารละลายเอทานอลและกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงมีสมมูลของปฏิกิริยาเช่นเดียวกัน แม้จะมีปริมาณน้ำเริ่มต้นที่มากก็ตาม เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ และมีสมมูลของปฏิกิริยาเกิดขึ้นซึ่งเป็นธรรมชาติหรือลักษณะเฉพาะตัวของปฏิกิริยานี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา[27] ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดโอเลอิกและเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 96 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีสมมูลเกิดขึ้น ณ เวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงเป็นต้นไป ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิกไม่มีนัยสำคัญต่อเวลาที่มากขึ้นแต่อย่างใด แสดงว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ตอนเริ่มต้นไม่ส่งผลต่อการเกิดสมมูลของปฏิกิริยา

การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันที่ได้จากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีและสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 8.06 โดยน้ำหนัก เมื่อกำหนดปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและกรดกำมะถันซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา แม้กรดไขมันที่สังเคราะห์จากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วซึ่งเป็นกรดไขมันผสมของกรดคาโปรลิก(อีอกทาโนอิก) กรดคาพริก กรดลอริก กรดไมริสติก กรดปาร์มิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก แทบจะไม่ละลายในสารละลายเอทานอล แต่เมื่อตรวจสอบปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่ในของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาพบว่ามีส่วนหายไปและเกิดเป็นเอทิลเอสเทอร์ขึ้น จากรูปที่ 4.1 ในช่วงเวลา 1- 2 ชั่วโมง ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และค่อยๆลดลงจนมีค่าการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ ภายหลังจากเวลา 2 ชั่วโมงเป็นต้นไปค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.71 ± 0.13 โดยโมล เนื่องจากในช่วง 2 ชั่วโมงแรกปฏิกิริยายังไม่เข้าสู่สมมูล ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มากขึ้น แต่เมื่อเริ่มใกล้เข้าสู่สมมูลปฏิกิริยาจะเกิดช้าลง จนถึงจุดสมมูล ปฏิกิริยาจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันคงที่และไม่ขึ้นกับเวลาอีกต่อไป เมื่อพิจารณาผลต่างของค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันหลังจากเวลา 2 ชั่วโมงเป็นต้นไป พบว่ามีค่าผลต่างของค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเฉลี่ยเพียงร้อยละ 2.64 แสดงว่าหลังจากเวลา 2 ชั่วโมงเป็นต้นไป ปฏิกิริยาได้ใกล้เข้าสู่สมมูล ดังนั้นเวลาการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของสารละลายเอทานอลและกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 2 ชั่วโมงมีความเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา จึงใช้เวลาที่ 2 ชั่วโมงเพื่อศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อปฏิกิริยา เปรียบเทียบผลของปริมาณน้ำเริ่มต้นที่มีต่อปฏิกิริยากับงานวิจัยที่ผ่านมา[27] ซึ่งใช้ไฮดรตเอทานอลที่มีน้ำเจือปนร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

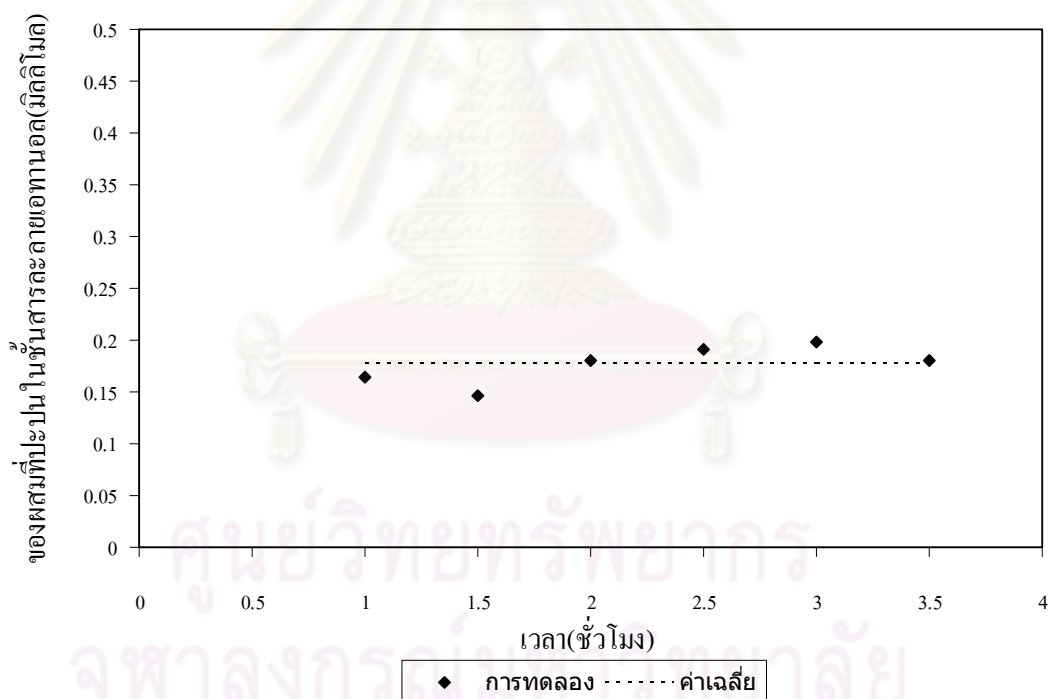
ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดโอเลอิก ณ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิก ณ เวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงเป็นต้นไปเท่ากับร้อยละ 4 แสดงว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 92 โดยน้ำหนักในตอนเริ่มต้นการทดลองไม่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน เมื่อกรดไขมันเริ่มต้นและกรดกำมะถันร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ

การตรวจสอบปริมาณตัวเร่งกรดกำมะถันในของผสมชั้นสารละลายเอทานอลโดยไตเตรทกับโซดาไฟ เพื่อเป็นการยืนยันว่ากรดกำมะถันทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจริงซึ่งต้องไม่มีการสูญหายไปในระบบ เนื่องจากกรดกำมะถันเป็นกรดแก่ และแตกตัวได้ดีมากในน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสารละลายเอทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยา ดังนั้นจึงไม่มีกรดกำมะถันปะปนไปกับของผสมชั้นกรดไขมัน เมื่อตรวจสอบปริมาณกรดกำมะถัน พบว่าปริมาณโซดาไฟที่ใช้มากกว่าปริมาณกรดกำมะถันที่มีอยู่เสมอ ทุกช่วงเวลการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน พิสูจน์ได้ว่ากรดกำมะถันไม่ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นเกิดเป็นสารชนิดอื่น และไม่มีการสูญหายซึ่งสามารถกลับคืนมาได้ ดังสมการที่ 2.7 – 2.12 ซึ่งเป็นกลไกของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันตัวอย่างระหว่างกรดอะซิติกและเอทานอลโดยมีกรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา[30]

ค่าผลต่างระหว่างปริมาณกรดกำมะถันที่สมมูลและปริมาณโซดาไฟที่ใช้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.177 ± 0.019 มิลลิโมล ดังตารางที่ ข.3 เนื่องจากมีของผสมจำนวนเล็กน้อยเจือปนในสารละลายเอทานอลซึ่งไม่สามารถแยกออกได้อย่างสมบูรณ์ ของผสมที่หายไปคือเอทิลเอสเทอร์และกรดไขมันนั่นเอง เพราะเอทิลเอสเทอร์มีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ สามารถดึงกรดไขมันซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขั้วให้แขวนลอยเป็นอิมัลชันในสารละลายเอทานอลที่มีขั้วได้ ดังรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาและปริมาณของผสมที่ปะปนในชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เปรียบเทียบผลต่างระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและปริมาณของผสมกรดไขมันกับเอทิลเอสเทอร์ทั้งหมดหลังทำปฏิกิริยา มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 6.21 ± 1.1 สาเหตุอาจเนื่องมาจากปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นมีปริมาณน้อยทำให้เกิดการสูญหายระหว่างทดลอง

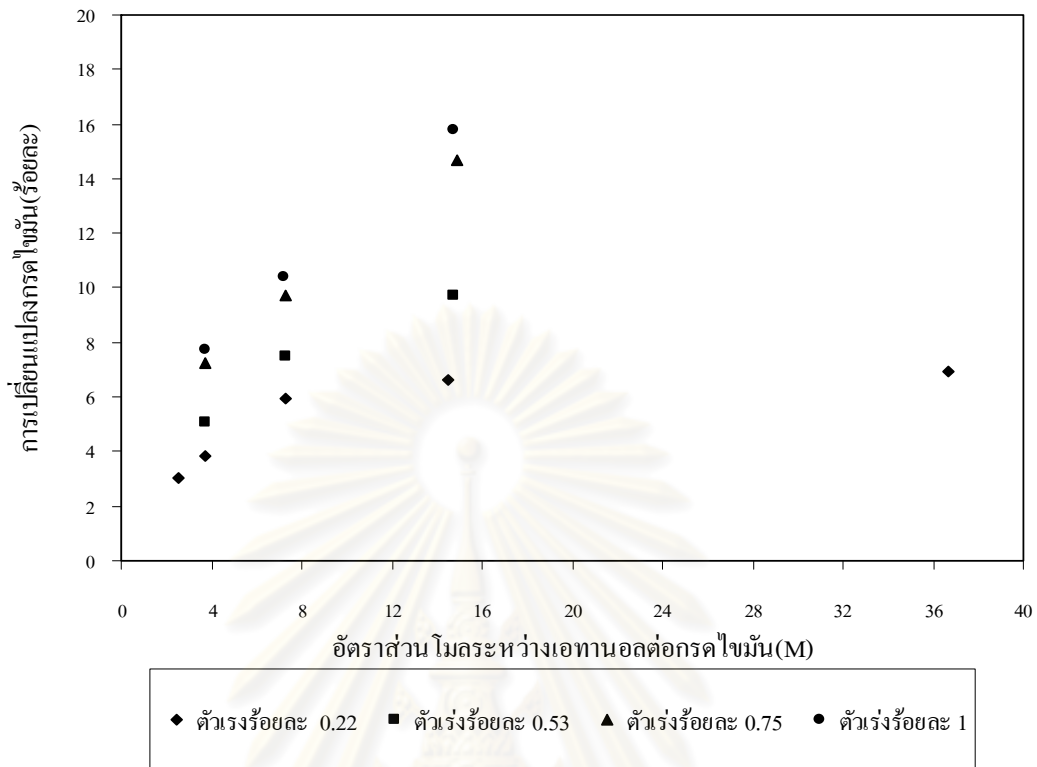


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาและปริมาณของผสมที่ปะปนในชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ

เมื่อหาปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่ในของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเสร็จเรียบร้อยแล้ว กรดไขมันจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเกลือกรดไขมันซึ่งก็คือจุดยุติแรกของการไตเตรท แต่เอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจะยังไม่เปลี่ยนเป็นเกลือกรดไขมัน จึงเติมโซดาไฟมากเกินไปพร้อมกับให้ความร้อนเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อให้เอทิลเอสเทอร์เปลี่ยนไปเป็นเกลือกรดไขมันอย่างสมบูรณ์ จากนั้นจึง หาปริมาณเอสทิลเอสเทอร์ที่ทำปฏิกิริยาพอลิกับโซดาไฟโดยใช้กรดเกลือ ซึ่งก็คือจุดยุติที่สองของการไตเตรท เอทิลเอสเทอร์เป็นสารที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับกรดไขมันหลังจากเกิดปฏิกิริยาจึงรวมอยู่กับชั้นกรดไขมันที่เหลืออยู่ทำให้มวลโมเลกุลของของผสมชั้นกรดไขมันหลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันมีค่ามากกว่ากรดไขมันเริ่มต้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน เนื่องจากเอทิลเอสเทอร์มีมวลโมเลกุลมากกว่ากรดไขมันนั่นเอง ดังตารางที่ ข.5 เกลือกรดไขมันที่ได้สามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอีกครั้งโดยทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ กรดไขมันที่เกิดขึ้นสมนัยกับปริมาณ โซดาไฟและกรดเกลือที่ใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปริมาณกรดไขมันที่ได้ต่อกรดไขมันเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 85.09 ± 0.65 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ ข.6 ปริมาณกรดไขมันที่สูญหายไปเนื่องจากขีดจำกัดของการแยกชั้นของเหลวในขั้นตอนการสกัด และปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นมีปริมาณน้อยเพียง 1 กรัม ทำให้อาจเกิดการสูญเสียระหว่างทำการทดลอง

4.2.2 ผลของปริมาณกรดไขมันที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้และมีอัตราส่วน โมลของสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยากันเท่ากับ 1 : 1 การเพิ่มอัตราส่วน โมลสารตั้งต้นให้มากกว่าค่าดังกล่าวเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา[19 - 26]พบว่าทั้งหมดใช้แอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้นที่มากเกินไป เนื่องจากแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายที่ดีและการตรวจสอบหาปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่ทำได้ง่ายกว่าแอลกอฮอล์ ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์จึงมีค่าน้อยกว่าปริมาณกรดไขมันมากหรือการเปลี่ยนแปลงของแอลกอฮอล์ค่อนข้างคงที่ ทำให้ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ค่าอัตราส่วน โมลระหว่างเอทานอลต่อกรดไขมันเท่ากับ 36.7 14.5 7.3 3.7 และ 2.5 หรือคิดเป็นปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งกรดกัมมะถันเท่ากับร้อยละ 0.22 ณ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเท่ากับ 2 ชั่วโมงซึ่งเป็นเวลาที่ปฏิกิริยาใกล้เข้าสู่สมดุล ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3

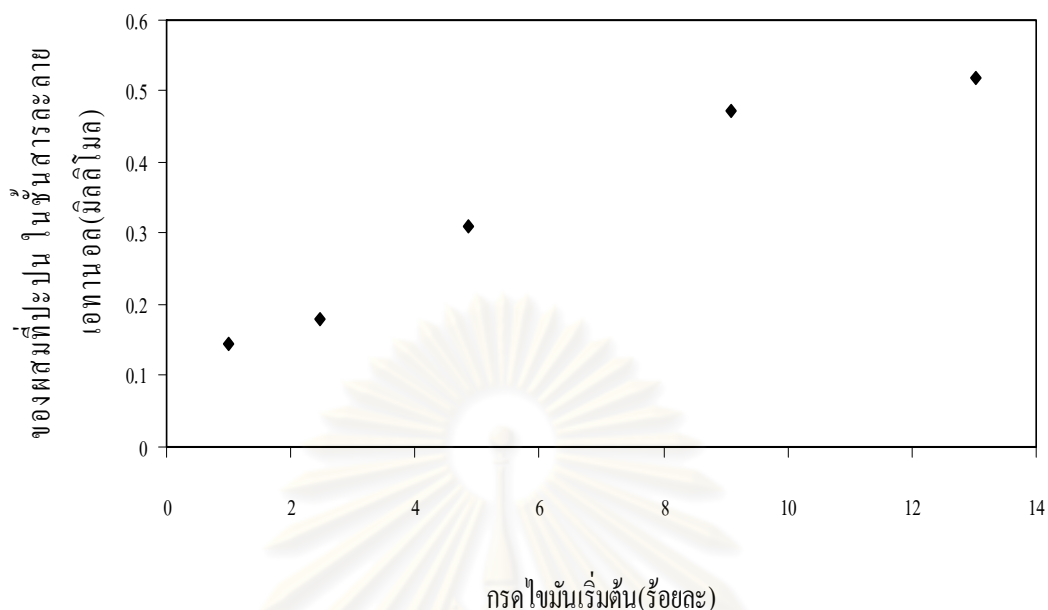


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วน โมลเอทานอลต่อกรดไวมินและค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไวมิน เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง และปริมาณตัวเร่งร้อยละ 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

อธิบายได้ว่า เมื่อปริมาณกรดไวมินเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไวมินที่ได้กลับลดลง เพราะค่าอัตราส่วน โมลของสารตั้งต้นระหว่างเอทานอลต่อกรดไวมินลดลง แสดงว่า ถ้าอัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นต่ำ ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลง หรือเมื่ออัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นสูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนโมลของเอทานอลต่อกรดไวมินจึงมีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไวมิน ที่ปริมาณตัวเร่งกรดไวมินเท่ากับร้อยละ 0.22 และในช่วงอัตราส่วนโมลของเอทานอลต่อกรดไวมินไม่เกิน 14.5 ค่าอัตราส่วนโมลสูงขึ้น ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไวมินเพิ่มขึ้นหรือสามารถเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น แสดงว่าอัตราส่วนโมลมีนัยสำคัญต่อค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไวมิน โดยเฉพาะช่วงอัตราส่วนโมลไม่เกิน 7.3 ค่าอัตราส่วนโมลมีนัยสำคัญต่อค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไวมินมาก หลังจากอัตราส่วนโมลเกิน 7.3 ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไวมินจะลดลงตามค่าอัตราส่วน โมลที่เพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วน โมลมากกว่า 14.5 เป็นต้นไปมีค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไวมินเพิ่มขึ้นไม่มากนักซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.8 ± 0.21 โดย

โมล แสดงว่าค่าอัตราส่วนโมลตั้งแต่ 14.5 เป็นต้นไปมีนัยสำคัญต่อค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน น้อยมาก ดังนั้นค่าอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมเท่ากับ 14.5 พิจารณาการเพิ่มค่าอัตราส่วนโมลจาก 2.5 เป็น 3.7 จาก 3.7 เป็น 7.3 จาก 7.3 เป็น 14.5 และจาก 14.5 เป็น 36.7 มีค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 25.6 54.6 12.2 และ 4.4 ตามลำดับ แสดงว่าช่วงอัตราส่วนโมลจาก 2.5 เป็น 3.7 และจาก 3.7 เป็น 7.3 (ค่าอัตราส่วนโมลเพิ่มขึ้น 0.5 และ 1 เท่า ตามลำดับ) เป็นช่วงที่สามารถเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาได้มากที่สุดในส่วนที่เท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกค่าอัตราส่วนโมลเอทานอลต่อกรดไขมันเท่ากับ 7.3 กับ 3.7 และ 14.5 หรือคิดเป็นปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 4.8 และ 2.4 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งกรดกำมะถันที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

การตรวจสอบปริมาณตัวเร่งกรดกำมะถันในของผสมชั้นสารละลายเอทานอล โดยไตเตรทกับโซดาไฟ พบว่าปริมาณโซดาไฟที่ใช้มากกว่าปริมาณกรดกำมะถันที่มีอยู่เสมอ ทุกอัตราส่วนกรดไขมันต่อสารตั้งต้น และปริมาณโซดาไฟที่ใช้จะมากขึ้นตามปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น แม้ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันจะลดลงก็ตาม แสดงว่าปริมาณของผสมที่สูญหายไปนอกจากความเป็นสารลดแรงตึงผิวของเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นแล้วยังสัมพันธ์กับปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาค่าการละลายของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวในน้ำ จากข้อมูลในตารางที่ 2.3 พบว่าน้ำมันมะพร้าวมีกรดคาไพริก(อีอกทานอิก) และกรดคาพริก เป็นองค์ประกอบรวมกันประมาณไม่เกินร้อยละ 20 ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าการละลายน้ำรวมกันสูงที่สุดเท่ากับ 0.085 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ดังนั้นปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น จึงเกิดการละลายของกรดไขมันซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยาไปกับชั้นสารละลายเอทานอลมากขึ้น ทำให้สูญเสียของผสมเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.4 ค่าผลต่างระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและปริมาณของผสมกรดไขมันกับเอทิลเอสเทอร์หลังทำปฏิกิริยามีความคลาดเคลื่อนลดลงตามปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณกรดไขมันที่มากขึ้น ทำให้ความผิดพลาดในการทดลองลดลง ดังตารางที่ ข.11



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมที่ปะปนในในชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

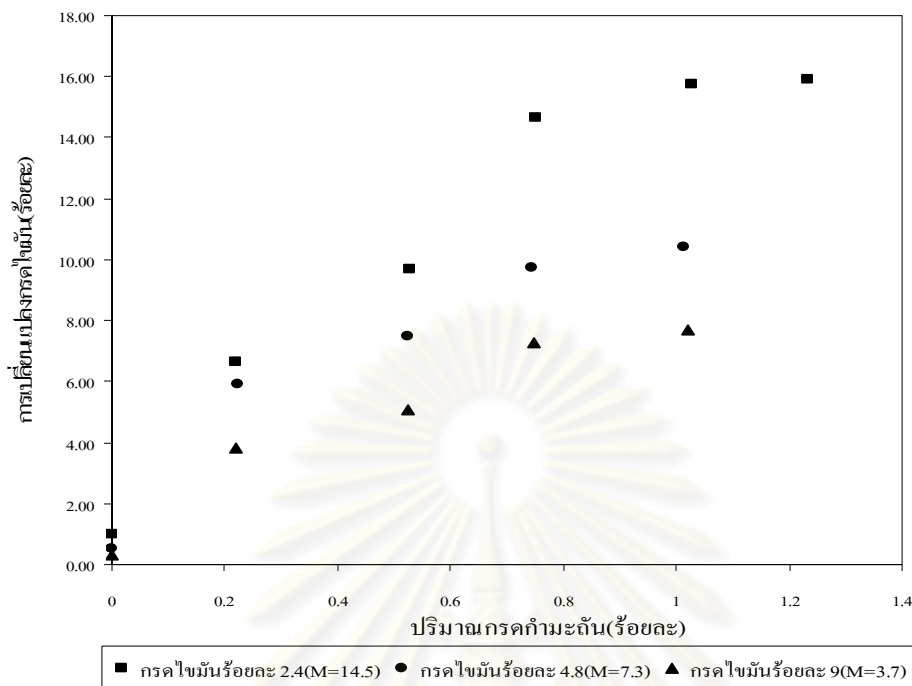
เอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นสมนัยค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันซึ่งทำให้มวลโมเลกุลของของผสมชั้นกรดไขมันหลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันมีค่าสูงกว่ากรดไขมันเริ่มต้น ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 1 มีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 6.93 และมีมวลโมเลกุลของผสมชั้นกรดไขมันสูงที่สุดเท่ากับ 216.25 ดังตารางที่ ข.13 เกลือกรดไขมันที่เกิดจากการหากรดไขมันที่เหลือและเอทิลเอสเทอร์สามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอีกครั้งโดยทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ ปริมาณกรดไขมันที่ได้ต่อกรดไขมันเริ่มต้นมากขึ้นตามปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ ข.14 แสดงว่าปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเพิ่มขึ้นทำให้การสูญหายระหว่างการทดลองลดลง

4.2.3 ผลของปริมาณตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเร่งจะลดค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายและเร็วขึ้นเท่านั้น โดยไม่เปลี่ยนสมดุลของปฏิกิริยา ดังนั้นปริมาณตัวเร่ง จึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อกำหนดเวลาที่ใช้

ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเท่ากับ 2 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งกรดกำมะถัน ณ อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 และ 4.5

จากรูปที่ 4.2 และ 4.5 ที่อัตราส่วนโมลเอทานอลต่อกรดไขมันเท่ากับ 3.7 7.3 และ 14.5 เมื่อใช้กรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณกรดกำมะถันที่เพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เพราะเมื่อกรดกำมะถันเพิ่มขึ้น ทำให้ ปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและง่ายกว่า แต่ที่ปริมาณกรดกำมะถันเท่ากัน ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันลดลง เนื่องจากผลของค่าอัตราส่วนโมลระหว่างเอทานอลและกรดไขมันที่ลดลงดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.22 เมื่อเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในกรณีไม่ใช้ตัวเร่ง ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นร้อยละ 2.4 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.5 พบว่า มีค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 0.99 0.53 และ 0.3 โดยโมลตามลำดับ แสดงว่าปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันลดลงเช่นเดียวกับการใช้ตัวเร่ง และที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเดียวกันมีค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันต่ำกว่าการใช้ตัวเร่งเสมอ อธิบายได้ว่าเมื่อไม่มีตัวเร่งกรดกำมะถัน ปฏิกิริยาจะเกิดได้ยากมาก แต่ยังสามารถดำเนินไปได้โดยที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้ากว่าการมีตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันต่ำกว่าเมื่อเทียบ ณ เวลาเดียวกัน ส่วนกรณีที่ใช้ตัวเร่ง ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 2.4 ปริมาณกรดกำมะถันในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 1 กรดกำมะถันที่เพิ่มขึ้นทำให้ ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงจะค่อยๆ ลดลงหลังจากกรดกำมะถันมากกว่าร้อยละ 0.75 เป็นต้นไป ที่ปริมาณกรดกำมะถันร้อยละ 1 และ 1.25 มีค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเท่ากับ 15.77 และ 15.9 โดยโมลตามลำดับ หรือมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 และมีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยในช่วงดังกล่าวเท่ากับร้อยละ 15.84 ± 0.09 โดยโมล แสดงว่าปริมาณกรดกำมะถันมากกว่าร้อยละ 1 เป็นต้นไปไม่มีนัยสำคัญต่อค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 4.8 และ 9 เมื่อปริมาณกรดกำมะถันในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 1 กรดกำมะถันที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน แสดงว่าที่ทุกอัตราส่วนของปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น ปริมาณกรดกำมะถันในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 1 มีนัยสำคัญกับค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน ดังนั้นปริมาณกรดกำมะถันที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นเนื่องจากส่งผลต่อมีค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันสูงที่สุด

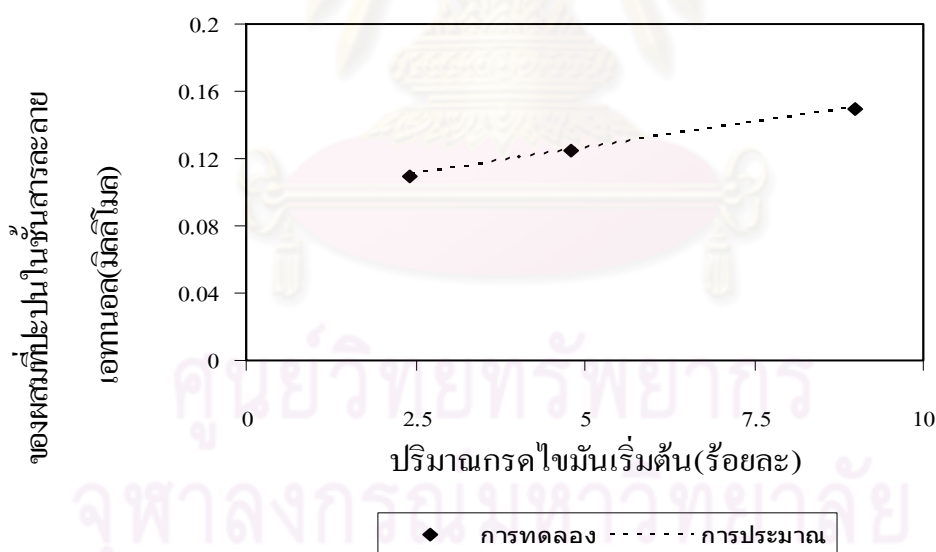


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งกรดกำมะถันและค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

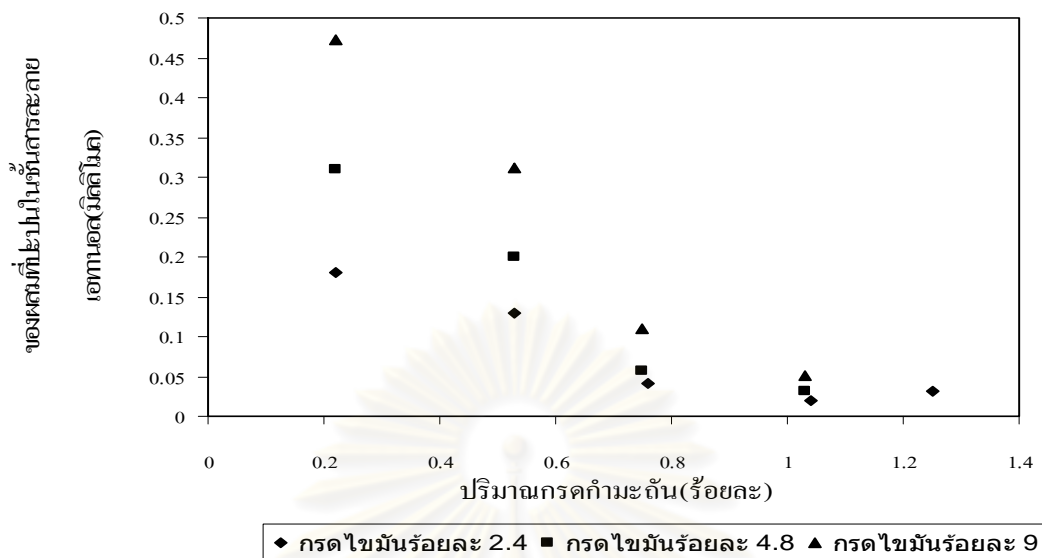
การตรวจสอบปริมาณตัวเร่งกรดกำมะถันในของผสมชั้นสารละลายเอทานอล โดยไตเตรทกับโซดาไฟ ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 และปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 2.4 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น พบว่าปริมาณโซดาไฟที่ใช้มากกว่าปริมาณกรดกำมะถันที่มีอยู่เสมอ ตลอดสัดส่วนกรดไขมันและกรดกำมะถันต่อสารตั้งต้น อธิบายได้ว่า ในกรณีที่ไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา ของผสมที่สูญหายไปนชั้นสารละลายเอทานอลอาจเกิดจากอิทธิพลของค่าการละลายของกรดไขมันในน้ำมากกว่าอิทธิพลของเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น เพราะปริมาณของผสมที่สูญหายไปนชั้นสารละลายเอทานอลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น และแทบจะไม่มีเอทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นเมื่อไม่มีตัวเร่ง ดังนั้นจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมที่สูญหายไปนชั้นสารละลายเอทานอล ดังรูปที่ 4.6 ได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงคือ $M_L = 0.006FA_1 + 0.0957$ เมื่อ M_L คือปริมาณของผสมที่สูญหายไปนชั้นสารละลายเอทานอล(มิลลิโมล) และ FA_1 คือปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) เท่ากับ 0.9998 ส่วนในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเท่ากัน ของผสมที่สูญหายไปนชั้นสารละลายเอทา

นอลลลดลงตามปริมาณกรดกำมะถันที่มากขึ้น อาจเกิดจากอิทธิพลของปริมาณกรดกำมะถันที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดของสารละลายเอทานอลสูงขึ้น ดังนั้นการเจือปนของผสมในสารละลายเอทานอลจึงมีค่าลดลง แต่ที่ปริมาณกรดกำมะถันเท่ากัน ของผสมที่สูญหายไปในช่วงสารละลายเอทานอลมากขึ้นตามปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่สูงขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของเอทิลเอสเทอร์และปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ ข้อ 4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกำมะถันและของผสมที่ปะปนในช่วงสารละลายเอทานอล ดังรูปที่ 4.7

เอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นสมนัยกับค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันซึ่งทำให้มวลโมเลกุลของของผสมชั้นกรดไขมันหลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันมีค่ามากกว่ากรดไขมันเริ่มต้น ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 2.4 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 15.9 10.42 และ 7.71 โดยมวล โมเลกุลของผสมชั้นกรดไขมันเท่ากับ 219.93 217.39 และ 216.13 อนุพันธ์ตัวเร่งร้อยละ 1.25 1 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ ดังตารางที่ ข.21 ข.29 และ ข.37 ตามลำดับเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมที่ปะปนในชั้นสารละลายเอทานอลหลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อไม่เติมกรดกำมะถัน



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกำมะถันและของผสมที่ปะปนในชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 2.4 4.8 และ 9 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. เวลาที่เหมาะสมสำหรับทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล เท่ากับ 2 ชั่วโมง ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.71 โดยโมล ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและกรดกำมะถันเท่ากับร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ
2. ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 2.4 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น มีค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 6.64 โดยโมล ที่ปริมาณกรดกำมะถันเท่ากับร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น และเวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 2 ชั่วโมง
3. ปริมาณตัวเร่งกรดกำมะถันที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น มีค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 15.77 โดยโมล ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 2.4 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น และเวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 2 ชั่วโมง
4. ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 15.9 โดยโมล ที่ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและกรดกำมะถันเท่ากับร้อยละ 2.4 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ และเวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 2 ชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 50 องศาเซลเซียสเท่านั้น หากนำงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องผลของอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
2. สารละลายเอทานอลหลังจากทำปฏิกิริยามีปริมาณมาก ควรศึกษาการนำสารละลายเอทานอลกลับไปทำปฏิกิริยาซ้ำอีกครั้ง
3. งานวิจัยนี้มีกรดไขมันเริ่มต้นเหลืออยู่จำนวนมากซึ่งปะปนกับเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น ควรแยกกรดไขมันที่เหลือออกจากเอทิลเอสเทอร์ เพื่อนำกรดไขมันกลับไปทำปฏิกิริยาซ้ำอีกครั้ง และนำเอทิลเอสเทอร์ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น
4. งานวิจัยนี้เป็นการทดลองขนาดเล็ก หากนำไปใช้เป็นข้อมูลการขยายการผลิตหรือการทดลองจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ควรศึกษา และรวบรวมข้อมูลที่เหมาะสมกับขนาดอุปกรณ์ที่ใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] พิมพ์ ลิลาพิสิฐ. อิมัลชันทางเครื่องสำอาง. เชียงใหม่: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2534.
- [2] Kent, B.J. Products. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: <http://www.chemmicaland21.com/industrialchem/industrialchem/solalc/ethylaurate20%.htm> [2551, กันยายน 1]
- [3] Wenninger, J.A., and McEwen, G.N. CTFA cosmetic ingredient handbook. 2 nd ed. The Cosmetic Toiletry and Franrance Association, 1992 .
- [4] Silva, C., et al. Continuous production of fatty acid ethyl esters from soybean oil in compressed ethanol. Industrial and Engineering Chemistry Research 46 (June 2007): 5304-5309.
- [5] ไพจิตร จันทรวงศ์, วีระศักดิ์ อนันบุตร, วิไลศรี ลิปะพะยอม และสุปรียา สุขเกษม. คู่มือการใช้ประโยชน์และการตรวจสอบคุณภาพพืชน้ำมันและน้ำมันพืช 52 ชนิด. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร, 2530.
- [6] ปิยะวรรณ กฤษเศรษฐสกุล. การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยโซดาไฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [7] Gerhartz, W. Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry. Sixth edition. Volume 13. New York: Wiley-VCH, 2003.
- [8] Kroschwitz, J. Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology. Volume 9,10. New York: Wiley, 2005.
- [9] Shahidi, F. Bailey's industrial oil&fat products. Sixth edition. Volume 2. New York: John Wiley&Sons, 2005.
- [10] Wales, J. Coconut. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/coconut> [2551, กันยายน 2]
- [11] อุตสาหกรรม, กระทรวง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 94 ตอนที่ 16. กรุงเทพมหานคร: คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา, 2520.
- [12] ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. เคมีอินทรีย์พื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์, 2531.

- [13] Carey, A.F. Organic chemistry. Seventh edition. New York: McGrall-Hill, 2008.
- [14] Perry, H.R., and Green, W.D. Perry's chemical engineers' handbook. Sixth edition. Singapore: McGraw-Hill, 1984.
- [15] Speight, G.J. Lange's handbook of chemistry. Sixteenth edition. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [16] Lide, D.R. C R C handbook of chemistry and physics. Eighty-eighth edition. Boca Raton: Taylor&Francis, 2008.
- [17] Dean, J.A. Handbook of organic chemistry. First edition. New York: McGraw -Hill, 1989.
- [18] Hayes, G.D., Carlon, D.K., and Kleiman, R. The isolation of hydroxy acid from lesquerella oil lipolysate by a saponification/extraction technique. Journal of American oil chemists' society 73 (1996): 1113-1119.
- [19] Goto, S., Tagawa, T., and Yusoff, A. Kinetics of esterification of palmitic acid with isobutyl alcohol. International journal of chemical kinetics 23 (1991): 17-26.
- [20] Liu, W., and Tan, C. Liquid-Phase esterification of propionic acid with n-buthanol. Industrial and Engineering Chemistry Research 40 (June 2001): 3281-3286.
- [21] Altiokka, R.M.,and Citak, A. Kinetic study of esterification of acetic acid with isobutanol in the presence of amberlite catalyst. Applied catalysis A: General 239 (2003): 141-148.
- [22] Kurzin, V.A., Endokimov, N.A., Pavlova, S.O., and Antipina, B.V. Synthesis and characterization of biodiesel fuel based of esters of tall oil fatty acids. Russian journal of applied chemistry 80 (2007):842-845.
- [23] Chongkhong, S., Tongurai, C., Chetpattanonndh, P., and Bunyakan, C. Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate. Biomass and bioenergy 31 (2007):563-568.
- [24] Aranda, A.G.D., Santos, T.P.R., Tapanes, C.O.N., Ramos, L.D.A., and Antunes, A.C.O. Acid-catalyzed homogeneous esterification reaction for biodiesel production from palm fatty acids. Catalyst letter 122 (2008): 20-25.
- [25] Ozgulsun, A., Karaosmanoglu, F., and Tuter, M. Esterification reaction of oleic acid with a fusel oil fraction for production of lubricating oil. Journal of american oil chemists's society 77 (2000):105-109.

- [26] Aafaqir, R., Mohamed, R.A., and Bhatia, S. Kinetics of esterification of palmitic acid with isopropanol using p-toluene sulfonic acid and zinc ethanoate support over silica gel as catalysts. Journal of chemical technology and biotechnology 79 (2004):1127-1134.
- [27] Marchetti, M.J., and Errazu, F.A. Comparison of different heterogeneous catalysts and different alcohols for the esterification reaction of oleic acid. Fuel 87 (June 2008): 3477-3480.
- [28] Marchetti, M.J., Miguel, U.V., and Errazu, F.A. Heterogeneous esterification of iol with high amount of free fatty acid. Fuel 86 (2007): 906-910.
- [29] Marchetti, M.J., and Errazu, F.A. Esterification of free fatty acids using sulfuric acid as catalyst in the presence of triglycerides. Biomass&bioenergy 32 (March 2008): 892-895.
- [30] Clark, J. The mechanism for the esterification reaction. [ออนไลน์]. 2547. แหล่งที่มา: <http://www.chemguide.co.uk/physical/catalysis/esterify.html> [2553, กันยายน 30]



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

แสดงผลของสังเคราะห์ กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว อาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนเกลือกรดไขมันที่ได้ไปเป็นกรดไขมันโดยการทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ ณ อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ ก.1 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ

ครั้งที่	น้ำมัน (กรัม)	โซดาไฟ			กรดเกลือ*			ปริมาณโซดาไฟ ที่เกิดปฏิกิริยา (มิลลิโมล/กรัมไขมัน)
		ความเข้มข้น (โมลลาร์) (โมลลาร์)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	ความเข้มข้น (โมลลาร์)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	
1	5.0088	2.51	49.85	125.12	2.48	41.9	103.91	4.2348
2	20.5303	2.51	205.45	515.68	2.48	173.05	429.16	4.2140
3	18.6042	2.51	179.75	451.17	2.48	150.45	373.12	4.1956
4	29.6566	2.51	294.1	738.19	2.52	244	614.88	4.1580
5	30.5862	2.48	303.85	753.55	2.52	248.15	625.34	4.1918
6	30.7045	2.48	300.95	746.36	2.45	252.2	617.89	4.1839
7	30.8507	2.54	294.05	746.89	2.45	251.8	616.91	4.2131
8	42.1116	2.54	345.85	878.46	2.51	279.2	700.79	4.2190

*การกำจัด โซดาไฟที่มากเกินไปด้วยกรดเกลือ ค่าเฉลี่ย 4.2013

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0240

ตารางที่ ก.2 ผลของการทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ

ครั้งที่	กรดเกลือ			โซดาไฟ**			ปริมาณกรดเกลือ ที่เกิดปฏิกิริยา (มิลลิโมล/กรัมไขมัน)
	ความเข้มข้น (โมลลาร์)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	ความเข้มข้น (โมลลาร์)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	
1	2.48	31.65	78.492	2.51	22.95	57.605	4.1702
2	2.48	136.4	338.272	2.51	101	253.51	4.1286
3	2.48	111.2	275.776	2.51	78.95	198.16	4.1717
4	2.52	193.15	486.738	2.51	144.9	363.7	4.1488
5	2.52	199.36	502.3872	2.48	151.2	374.98	4.1656
6	2.45	124.2	304.29	2.48	71.3	176.82	4.1514
7	2.45	124.8	305.76	2.54	69.85	177.42	4.1601
8	2.51	177.8	446.278	2.54	106.65	270.89	4.1648

**การกำจัดกรดเกลือที่มากเกินไปด้วยโซดาไฟ ค่าเฉลี่ย 4.1577

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 ปริมาณกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้

ครั้งที่	กรดไขมัน (กรัม)	มวลโมเลกุล กรดไขมัน	กรดไขมันต่อน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิโมล/กรัมไขมัน)
1	4.4676	211.44	89.20	4.2185
2	18.2361	215.16	88.83	4.1283
3	16.5338	212.98	88.87	4.1728
4	26.1874	213	88.30	4.1456
5	27.0216	209.19	88.35	4.2232
6	27.1387	212.88	88.39	4.1520
7	27.3043	213.15	88.50	4.1522
8	37.1511	211.85	88.22	4.1643
		ค่าเฉลี่ย	88.58	4.1696
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.34	0.0342

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.4 มวลโมเลกุลของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วที่สังเคราะห์ได้

ครั้งที่	กรดไขมัน (กรัม)	โซดาไฟ 0.1 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ปริมาณโซดาไฟ (มิลลิโมล)	มวลโมเลกุลของกรดไขมัน
1	0.3625	16.8	0.00168	215.77
2	0.3681	17.3	0.00173	212.77
3	0.3777	17.85	0.001785	211.60
4	0.3134	14.8	0.00148	211.76
5	0.3464	16.4	0.00164	211.22
6	0.3176	15	0.0015	211.73

ค่าเฉลี่ย 212.48

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ปริมาณกลีเซอรอล

ครั้งที่	ปริมาณกลีเซอรอล		กลีเซอรอลต่อน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	กรดไขมันต่อ กลีเซอรอล(โมล/โมล)
	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมล/กรัมไขมัน)		
1	6.89	1.3756	12.6691	3.0667
2	26.26	1.2791	11.7804	3.2276
3	23.77	1.2777	11.7673	3.2659
4	38.75	1.3066	12.0340	3.1728
5	39.72	1.2986	11.9603	3.2521
6	39.732	1.2940	11.9179	3.2086
7	39.821	1.2908	11.8879	3.2169
8	55.252	1.3120	12.0839	3.1739
	ค่าเฉลี่ย	1.3043	12.0126	
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0312	0.2873	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.6 ปริมาณสารตั้งต้นที่ถูกใช้และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

ครั้งที่	สารตั้งต้นที่ใช้(มิลลิโมล)		ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น(มิลลิโมล)	
	โซดาไฟ	กรดเกลือ	กรดไขมัน	กลีเซอรอล
1	21.2115	20.8875	21.1294	6.8900
2	86.5155	84.7620	84.7560	26.2600
3	78.0565	77.6115	77.6308	23.7700
4	123.3110	123.0390	122.9455	38.7500
5	128.2100	127.4112	129.1725	39.7200
6	128.4660	127.4660	127.4836	39.7320
7	129.9770	128.3410	128.0990	39.8210
8	177.6670	175.3870	175.3651	55.2520

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.7 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์และสิ่งเจือปนในน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว

ครั้งที่	เกลือโซเดียมคลอไรด์		ปริมาณสารที่ปนทั้งหมด		สิ่งเจือปน	
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	โซดาไฟ (มิลลิโมล)	กรดเกลือ (มิลลิโมล)	น้ำหนัก (กรัม)	เทียบกับน้ำมันเริ่มต้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1	10.5903	181.0308	182.728	182.404	0.0023	0.0459
2	44.6985	764.0769	769.1895	767.436	0.0103	0.0502
3	37.8012	646.1744	649.337	648.892	0.0077	0.0414
4	64.2743	1098.706	1101.89	1101.62	0.0192	0.0647
5	65.8358	1125.398	1128.524	1127.73	0.0204	0.0667
6	53.8464	920.4513	923.18	922.18	0.0158	0.0515
7	53.7955	919.5812	924.306	922.67	0.0143	0.0464
8	67.0961	1146.942	1149.35	1147.07	0.0213	0.0506
					ค่าเฉลี่ย	0.0522
					ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0090

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

แสดงผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันที่ได้จากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี และสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 8.06 โดยน้ำหนัก ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันคือ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ค่าอัตราส่วนของสารตั้งต้น และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ ข.1 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ

ครั้งที่	เวลา (ชั่วโมง)	กรดไขมัน (กรัม)	สารละลาย เอทานอล(กรัม)	กรดกำมะถัน (กรัม)	กรดไขมัน (ร้อยละ)	กรดกำมะถัน (ร้อยละ)
1	1	1.0043	40.019	0.0862	2.45	0.21
2	1.5	1.1972	46.6952	0.1052	2.50	0.22
3	2	0.9847	38.5119	0.0869	2.49	0.22
4	2.5	1.1407	44.4921	0.101	2.50	0.22
5	3	1.3493	54.3123	0.1218	2.42	0.22
6	3.5	1.0172	40.0251	0.0922	2.48	0.22

ตารางที่ ข.2 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมัน และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ

เวลา (ชั่วโมง)	ของผสมหลังปฏิกิริยา				
	ชั้นกรดไขมัน			ชั้นสารละลายเอทานอล	
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณโซดาไฟ 0.1 โมลลาร์			
		หาปริมาณกรดไขมันที่เหลือ		หาปริมาณกรดกำมะถันที่เหลือ	
		โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ค่าการเปลี่ยนแปลง (เทียบกับของผสมที่ ที่ตรวจสอบได้)	โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ปริมาณของผสม ที่หายไปหลังทำ ปฏิกิริยา(มิลลิโมล)
1	0.9245	42.1	2.66	18.7	0.164
1.5	1.0948	48.3	5.01	22.3	0.147
2	0.9108	39.4	6.64	19	0.180
2.5	1.0419	45	6.74	21.9	0.191
3	1.2224	52.75	6.88	26.1	0.199
3.5	0.9363	40.45	6.58	20.05	0.180

ค่าเฉลี่ย 0.177

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.019

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ

เวลา (ชั่วโมง)	กรดไขมัน เริ่มต้น (มิลลิโมล)	ของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยา		ของผสมที่ปะปน ในชั้นสารละลาย เอทานอล(มิลลิโมล)	ของผสมทั้งหมด หลังทำปฏิกิริยา (มิลลิโมล)	ผลต่าง (ร้อยละ โดยโมล)
		กรดไขมันที่เหลือ (มิลลิโมล)	เอทิลเอสเทอร์ (มิลลิโมล)			
1	4.727	4.21	0.115	0.164	4.489	5.03
1.5	5.634	4.83	0.255	0.147	5.232	7.13
2	4.634	3.94	0.280	0.180	4.400	5.06
2.5	5.369	4.5	0.325	0.191	5.016	6.57
3	6.350	5.275	0.390	0.199	5.864	7.66
3.5	4.787	4.045	0.285	0.180	4.510	5.80
			ค่าเฉลี่ย	0.177		6.21
			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.019		1.1

ตารางที่ ข.4 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ

เวลา (ชั่วโมง)	การเติมโซดาไฟมากเกินไป			การเติมกรดเกลือมากเกินไป		
	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ
	0.1โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.1โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)	0.1โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.1โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)
1	20	18.85	0.115	75	33.15	4.185
1.5	20	17.45	0.255	75	24.85	5.015
2	20	17.2	0.28	75	33.3	4.170
2.5	20	16.75	0.325	75	27.5	4.750
3	20	16.1	0.39	75	19.2	5.580
3.5	20	17.15	0.285	75	32.35	4.265

ตารางที่ ข.5 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ

เวลา (ชั่วโมง)	มวลโมเลกุล ของกรดไขมันเริ่มต้น	ค่าการเปลี่ยนแปลง กรดไขมัน (ร้อยละโดยโมล)	มวลโมเลกุลของของผสม ชั้นกรดไขมันหลังทำ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
1	212.48	2.66	213.76
1.5	212.48	5.01	215.30
2	212.48	6.64	215.83
2.5	212.48	6.74	215.94
3	212.48	6.88	215.78
3.5	212.48	6.58	216.24

ตารางที่ ข.6 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดไขมัน			ร้อยละโดยน้ำหนัก		
	(กรัม)	(มวลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)	FA_r / FA_i	FA_r / FA_c	FA_r / FA_i
1	0.8601	211.15	4.073	85.64	93.04	92.05
1.5	1.0178	214.95	4.735	85.02	92.97	91.45
2	0.8417	212.66	3.958	85.48	92.41	92.50
2.5	0.9682	212.05	4.566	84.88	92.93	91.34
3	1.1325	213.33	5.309	83.93	92.65	90.60
3.5	0.8708	211.27	4.122	85.61	93.00	92.05

FA_i ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น

FA_c ปริมาณของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

FA_r ปริมาณกรดไขมันที่ได้

ตารางที่ ข.7 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นตามลำดับ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดไขมัน			กรดเกลือที่ใช้ (มิลลิโมล)	โซดาไฟที่ใช้ (มิลลิโมล)
	(กรัม)	(มวลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)		
1	0.8601	211.15	4.073	4.185	4.325
1.5	1.0178	214.95	4.735	5.015	5.085
2	0.8417	212.66	3.958	4.170	4.220
2.5	0.9682	212.05	4.566	4.750	4.825
3	1.1325	213.33	5.309	5.580	5.665
3.5	0.8708	211.27	4.122	4.265	4.330

ค่าเฉลี่ย 212.65

ตารางที่ ข.8 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อปริมาณกรดไขมันและตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2.4 และ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ

เวลา (ชั่วโมง)	เกลือโซเดียมคลอไรด์		ปริมาณสารที่ป้อนทั้งหมด	
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	โซดาไฟ (มิลลิโมล)	กรดเกลือ (มิลลิโมล)
1	0.5414	9.254	9.525	9.385
1.5	0.5389	9.212	9.315	9.245
2	0.5353	9.150	9.270	9.220
2.5	0.5347	9.140	9.250	9.175
3	0.5271	9.010	9.195	9.110
3.5	0.5368	9.176	9.280	9.215

ตารางที่ ข.9 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

ครั้งที่	เวลา (ชั่วโมง)	กรดไขมัน (กรัม)	สารละลาย เอทานอล(กรัม)	กรดกำมะถัน (กรัม)	กรดไขมัน (ร้อยละ)	กรดกำมะถัน (ร้อยละ)
7	2	1.0419	102.9482	0.2313	1.00	0.22
3	2	0.9847	38.5119	0.0869	2.49	0.22
8	2	2.2668	44.3655	0.1036	4.86	0.22
9	2	4.542	45.4009	0.1103	9.09	0.22
10	2	6.7455	45.0254	0.1135	13.03	0.22

ตารางที่ ข.10 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

		ของผสมหลังปฏิกิริยา			
		ชั้นกรดไขมัน		ชั้นสารละลายเอทานอล	
		ปริมาณโซดาไฟ 0.1 โมลลาร์			
		หาปริมาณกรดไขมันที่เหลือ		หาปริมาณกรดกำมะถันที่เหลือ	
กรดไขมัน (ร้อยละ)	น้ำหนัก (กรัม)	โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ค่าการเปลี่ยนแปลง (เทียบกับของผสมที่ ที่ตรวจสอบได้)	โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ปริมาณของผสม ที่หายไปหลังทำ ปฏิกิริยา(มิลลิโมล)
1	0.9245	41.65	6.93	47.25	0.146
2.49	0.9108	39.4	6.64	19	0.180
4.86	2.1111	92.15	5.92	23.6	0.309
9.09	4.3126	193.5	3.83	26.55	0.472
13.03	6.5695	297.7	3.05	27.65	0.518

ตารางที่ ข.11 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดไขมัน (ร้อยละ)	กรดไขมัน เริ่มต้น (มิลลิโมล)	ของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยา		ของผสมที่ปะปน ในชั้นสารละลาย เอทานอล(มิลลิโมล)	ของผสมทั้งหมด หลังทำปฏิกิริยา (มิลลิโมล)	ผลต่าง (ร้อยละ โดยโมล)
		กรดไขมันที่เหลือ (มิลลิโมล)	เอทิลเอสเทอร์ (มิลลิโมล)			
1.00	4.904	4.165	0.310	0.146	4.621	5.76
2.49	4.634	3.940	0.28	0.180	4.400	5.05
4.86	10.668	9.215	0.580	0.309	10.104	5.29
9.09	21.376	19.350	0.770	0.472	20.592	3.67
13.03	31.747	29.770	0.935	0.518	31.223	1.65

ตารางที่ ข.12 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดไขมัน (ร้อยละ)	การเติมโซดาไฟมากเกินไป			การเติมกรดเกลือมากเกินไป		
	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ
	0.1 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.1 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)	0.5 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.5 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)
1.00	20	16.9	0.31	15	6.1	4.450
2.49	20	17.2	0.28	75	33	4.200
4.86	20	14.2	0.58	25	5.5	9.750
9.09	20	12.3	0.77	50	9.9	20.050
13.03	20	10.65	0.935	70	8.7	30.650

ตารางที่ ข.13 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดไขมัน (ร้อยละ)	มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้น	ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน (ร้อยละโดยโมล)	มวลโมเลกุลของของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
1.00	212.48	6.93	216.25
2.49	212.48	6.64	215.83
4.86	212.48	5.92	215.83
9.09	212.48	3.83	215.53
13.03	212.48	3.05	214.34

ตารางที่ ข.14 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมันที่ได้			ร้อยละโดยน้ำหนัก		
	(กรัม)	(มวลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)	FA _r / FA _i	FA _r / FA _c	FA _c / FA _i
1.00	0.8866	210.74	4.207	85.09	91.62	92.88
2.49	2.0334	213.14	9.540	89.70	96.32	93.13
4.86	4.2065	214.22	19.636	92.61	97.54	94.95
9.09	6.4583	213.82	30.204	95.74	98.31	97.39
13.03	0.8866	210.74	4.207	85.09	91.62	92.88

FA_i ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น

FA_c ปริมาณของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

FA_r ปริมาณกรดไขมันที่ได้

ตารางที่ ข.15 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมัน			กรดเกลือที่ใช้ (มิลลิโมล)	โซดาไฟที่ใช้ (มิลลิโมล)
	(กรัม)	(มอลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)		
1.00	0.8866	210.74	4.207	4.450	4.475
2.49	0.8417	212.66	3.958	4.170	4.220
4.86	2.0334	213.14	9.540	9.750	9.795
9.09	4.2065	214.22	19.636	20.050	20.120
13.03	6.4583	213.82	30.204	30.650	30.705

ค่าเฉลี่ย 213.58

ตารางที่ ข.16 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.22 และปริมาณกรดไขมันร้อยละ 1 2.4 4.8 9 และ 13 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดไขมัน (ร้อยละ)	เกลือโซเดียมคลอไรด์		ปริมาณสารที่ป้อนทั้งหมด	
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	โซดาไฟ (มิลลิโมล)	กรดเกลือ (มิลลิโมล)
1.00	0.5331	9.113	9.215	9.190
2.49	0.5353	9.150	9.140	9.220
4.86	0.8025	13.718	13.965	13.920
9.09	1.5233	26.039	26.300	26.230
13.03	2.1028	35.945	36.120	36.065

ตารางที่ ข.17 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

ครั้งที่	เวลา (ชั่วโมง)	กรดไขมัน (กรัม)	สารละลาย เอทานอล(กรัม)	กรดกำมะถัน (กรัม)	กรดไขมัน (ร้อยละ)	กรดกำมะถัน (ร้อยละ)
11	2	1.0118	40.0165	0	2.47	0.00
3	2	0.9847	38.5119	0.0869	2.49	0.22
12	2	1.0118	40.0367	0.2183	2.46	0.53
13	2	0.9995	40.0821	0.3116	2.43	0.76
14	2	1.0137	40.0066	0.4254	2.47	1.04
15	2	1.0571	42.3867	0.5430	2.43	1.25

ตารางที่ ข.18 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

		ของผสมหลังปฏิกิริยา			
		ชั้นกรดไขมัน		ชั้นสารละลายเอทานอล	
กรด กำมะถัน (ร้อยละ)	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณโซดาไฟ 0.1 โมลลาร์			
		หาปริมาณกรดไขมันที่เหลือ		หาปริมาณกรดกำมะถันที่เหลือ	
		โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ค่าการเปลี่ยนแปลง (เทียบกับของผสมที่ ที่ตรวจสอบได้)	โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ปริมาณของผสม ที่หายไปหลังทำ ปฏิกิริยา(มิลลิโมล)
0.00	0.9654	44.9	0.99	1.1	0.110
0.22	0.9108	39.4	6.64	19	0.180
0.53	0.9389	39.1	9.70	44.5	0.129
0.76	0.9414	36.65	14.67	62.1	0.042
1.04	0.9612	36.85	15.77	84.4	0.019
1.25	1.0095	38.6	15.90	107.8	0.031

ตารางที่ ข.19 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรด กำมะถัน (ร้อยละ)	กรดไขมัน เริ่มต้น (มิลลิโมล)	ของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยา		ของผสมที่ปะปน ในชั้นสารละลาย เอทานอล(มิลลิโมล)	ของผสมทั้งหมด หลังทำปฏิกิริยา (มิลลิโมล)	ผลต่าง (ร้อยละ โดยโมล)
		กรดไขมันที่เหลือ (มิลลิโมล)	เอทิลเอสเทอร์ (มิลลิโมล)			
0.00	4.762	4.490	0.045	0.110	4.645	2.45
0.22	4.634	3.940	0.280	0.180	4.400	5.06
0.53	4.762	3.910	0.420	0.129	4.459	6.37
0.76	4.704	3.665	0.630	0.042	4.337	7.81
1.04	4.771	3.685	0.690	0.019	4.394	7.90
1.25	4.975	3.860	0.730	0.031	4.621	7.12

ตารางที่ ข.20 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	การเติมโซดาไฟมากเกินไป			การเติมกรดเกลือมากเกินไป		
	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ
	0.1โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.1โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)	0.5โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.5โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)
0.00	20	19.55	0.045	15	6.15	4.425
0.22	20	17.2	0.280	15	6.65	4.175
0.53	20	15.8	0.420	15	6.6	4.200
0.76	20	13.7	0.630	15	6.65	4.175
1.04	20	13.1	0.690	15	6.45	4.275
1.25	20	12.5	0.750	15	5.95	4.525

ตารางที่ ข.21 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรด กำมะถัน (ร้อยละ)	มวลโมเลกุล ของกรดไขมันเริ่มต้น	ค่าการเปลี่ยนแปลง กรดไขมัน (ร้อยละ โดยโมล)	มวลโมเลกุลของของผสม ชั้นกรดไขมันหลังทำ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
0.00	212.48	0.99	212.88
0.22	212.48	6.64	215.83
0.53	212.48	9.70	216.84
0.76	212.48	14.67	219.19
1.04	212.48	15.77	219.70
1.25	212.48	15.90	219.93

ตารางที่ ข.22 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมันที่ได้			ร้อยละ โดยน้ำหนัก		
	(กรัม)	(มวลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)	FA_r / FA_i	FA_r / FA_c	FA_c / FA_i
0.00	0.9344	214.22	4.362	92.35	96.79	95.41
0.22	0.8417	212.66	3.958	85.48	92.41	92.50
0.53	0.8704	212.23	4.101	86.02	92.70	92.80
0.76	0.8552	210.37	4.065	85.56	90.84	94.19
1.04	0.8786	214.32	4.099	86.67	91.41	94.82
1.25	0.9223	215.73	4.275	87.25	91.36	95.50

FA_i ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น

FA_c ปริมาณของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

FA_r ปริมาณกรดไขมันที่ได้

ตารางที่ ข.23 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นร้อยละ 2.4 และปริมาณกรดกำมะถันร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กำมะถัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมัน			กรดเกลือที่ใช้ (มิลลิโมล)	โซดาไฟที่ใช้ (มิลลิโมล)
	(กรัม)	(มอลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)		
0.00	0.9344	214.22	4.362	4.425	4.535
0.22	0.8417	212.66	3.958	4.175	4.220
0.53	0.8704	212.23	4.101	4.200	4.330
0.76	0.8552	210.37	4.065	4.175	4.295
1.04	0.8786	214.32	4.099	4.275	4.375
1.25	0.9223	215.73	4.275	4.525	4.590

ค่าเฉลี่ย 213.39

ตารางที่ ข.24 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.4 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 1 และ 1.25 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	เกลือโซเดียมคลอไรด์		ปริมาณสารที่ป้อนทั้งหมด	
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	โซดาไฟ (มิลลิโมล)	กรดเกลือ (มิลลิโมล)
0.00	0.5541	9.472	9.565	9.455
0.22	0.5353	9.150	9.265	9.220
0.53	0.5321	9.096	9.210	9.080
0.76	0.5114	8.742	8.990	8.870
1.04	0.5057	8.644	8.910	8.810
1.25	0.5058	8.646	8.835	8.770

ตารางที่ ข.25 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

ครั้งที่	เวลา (ชั่วโมง)	กรดไขมัน (กรัม)	สารละลาย เอทานอล(กรัม)	กรดกำมะถัน (กรัม)	กรดไขมัน (ร้อยละ)	กรดกำมะถัน (ร้อยละ)
16	2	2.04	40.014	0	4.85	0.00
8	2	2.2668	44.3655	0.1036	4.86	0.22
17	2	2.04	40.0168	0.222	4.85	0.53
18	2	2.0417	40.0021	0.3154	4.86	0.75
19	2	2.0716	40.0232	0.4318	4.92	1.03

ตารางที่ ข.26 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรด กำมะถัน (ร้อยละ)	ของผสมหลังปฏิกิริยา					
	ชั้นกรดไขมัน			ชั้นสารละลายเอทานอล		
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณโซดาไฟ 0.1 โมลลาร์				
		หาปริมาณกรดไขมันที่เหลือ		หาปริมาณกรดกำมะถันที่เหลือ		
		โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ค่าการเปลี่ยนแปลง (เทียบกับของผสมที่ ที่ตรวจสอบได้)	โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ปริมาณของผสม ที่หายไปหลังทำ ปฏิกิริยา(มิลลิโมล)	
0.00	1.9939	93.2	0.53	1.25	0.125	
0.22	2.1111	92.15	5.92	23.6	0.309	
0.53	1.9061	81.5	7.49	45.95	0.200	
0.75	1.9482	81	9.75	63	0.056	
1.03	2.0141	83	10.42	85.8	0.032	

ตารางที่ ข.27 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรด กำมะถัน (ร้อยละ)	กรดไขมัน เริ่มต้น (มิลลิโมล)	ของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยา		ของผสมที่ปะปน ในชั้นสารละลาย เอทานอล(มิลลิโมล)	ของผสมทั้งหมด หลังทำปฏิกิริยา (มิลลิโมล)	ผลต่าง (ร้อยละ โดยโมล)
		กรดไขมันที่เหลือ (มิลลิโมล)	เอทิลเอสเทอร์ (มิลลิโมล)			
0.00	9.601	9.320	0.050	0.125	9.495	1.10
0.22	10.668	9.215	0.580	0.309	10.104	5.29
0.53	9.601	8.150	0.660	0.200	9.010	6.15
0.75	9.609	8.100	0.875	0.056	9.031	6.01
1.03	9.750	8.300	0.965	0.032	9.297	4.64

ตารางที่ ข.28 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	การเติมโซดาไฟมากเกินไป			การเติมกรดเกลือมากเกินไป		
	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ
	0.1โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.1โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)	0.5โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.5โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)
0.00	20	19.5	0.050	25	6.4	9.300
0.22	20	14.2	0.580	25	5.5	9.750
0.53	20	13.4	0.660	25	7.5	8.750
0.75	20	11.25	0.875	25	7.25	8.875
1.03	20	10.35	0.965	25	6.7	9.150

ตารางที่ ข.29 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้น	ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน (ร้อยละโดยโมล)	มวลโมเลกุลของของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
0.00	212.48	0.53	212.80
0.22	212.48	5.92	215.53
0.53	212.48	7.49	216.36
0.75	212.48	9.75	217.07
1.03	212.48	10.42	217.39

ตารางที่ ข.30 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมันที่ได้			ร้อยละโดยน้ำหนัก		
	(กรัม)	(มวลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)	FA_r / FA_i	FA_r / FA_c	FA_c / FA_i
0.00	1.9269	208.29	9.251	94.46	96.64	97.74
0.22	2.0334	213.14	9.540	89.70	96.32	93.13
0.53	1.8445	211.79	8.709	90.42	96.77	93.44
0.75	1.8673	209.58	8.910	91.46	95.85	95.42
1.03	1.9358	211.47	9.154	93.44	96.11	97.22

FA_i ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น

FA_c ปริมาณของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

FA_r ปริมาณกรดไขมันที่ได้

ตารางที่ ข.31 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น ร้อยละ 4.8 และกรดกำมะถันร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมัน			กรดเกลือที่ใช้ (มิลลิโมล)	โซดาไฟที่ใช้ (มิลลิโมล)
	(กรัม)	(มวลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)		
0.00	1.9269	208.29	9.251	9.300	9.370
0.22	2.0334	213.14	9.540	9.750	9.795
0.53	1.8445	211.79	8.709	8.750	8.810
0.75	1.8673	209.58	8.910	8.875	8.975
1.03	1.9358	211.47	9.154	9.150	9.265

ค่าเฉลี่ย 210.86

ตารางที่ ข.32 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 4.8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	เกลือโซเดียมคลอไรด์		ปริมาณสารที่ป้อนทั้งหมด	
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	โซดาไฟ (มิลลิโมล)	กรดเกลือ (มิลลิโมล)
0.00	0.8411	14.378	14.520	14.450
0.22	0.8025	13.718	13.965	13.920
0.53	0.8041	13.745	13.900	13.840
0.75	0.7866	13.446	13.725	13.625
1.03	0.7793	13.321	13.650	13.535

ตารางที่ ข.33 ปริมาณสารเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

ครั้งที่	เวลา (ชั่วโมง)	กรดไขมัน (กรัม)	สารละลาย เอทานอล(กรัม)	กรดกำมะถัน (กรัม)	กรดไขมัน (ร้อยละ)	กรดกำมะถัน (ร้อยละ)
20	2	4.0124	40.1285	0	9.09	0.00
9	2	4.542	45.4009	0.1103	9.09	0.22
21	2	4.0222	40.026	0.2318	9.13	0.53
22	2	4.1641	41.339	0.343	9.15	0.75
23	2	4.1446	41.0098	0.4652	9.18	1.03

ตารางที่ ข.34 ผลของการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรด กำมะถัน (ร้อยละ)	ของผสมหลังปฏิกิริยา				
	ชั้นกรดไขมัน			ชั้นสารละลายเอทานอล	
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณโซดาไฟ 0.1 โมลลาร์			
		หาปริมาณกรดไขมันที่เหลือ		หาปริมาณกรดกำมะถันที่เหลือ	
		โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ค่าการเปลี่ยนแปลง (เทียบกับของผสมที่ ที่ตรวจสอบได้)	โซดาไฟ (มิลลิลิตร)	ปริมาณของผสม ที่หายไปหลังทำ ปฏิกิริยา(มิลลิโมล)
0.00	3.9492	185.2	0.30	1.5	0.150
0.22	4.3126	193.5	3.83	26.55	0.472
0.53	3.8948	172	5.08	49	0.311
0.75	4.0458	173.75	7.26	69	0.110
1.03	4.0102	171.25	7.71	92.6	0.051

ตารางที่ ข.35 สมดุลโมลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 9 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรด กำมะถัน (ร้อยละ)	กรดไขมัน เริ่มต้น (มิลลิโมล)	ของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยา		ของผสมที่ปะปน ในชั้นสารละลาย เอทานอล(มิลลิโมล)	ของผสมทั้งหมด หลังทำปฏิกิริยา (มิลลิโมล)	ผลต่าง (ร้อยละ โดยโมล)
		กรดไขมันที่เหลือ (มิลลิโมล)	เอทิลเอสเทอร์ (มิลลิโมล)			
0.00	18.884	18.520	0.055	0.150	18.725	0.84
0.22	21.376	19.350	0.770	0.472	20.592	3.67
0.53	18.930	17.200	0.920	0.311	18.431	2.63
0.75	19.598	17.375	1.360	0.110	18.845	3.84
1.03	19.506	17.125	1.430	0.051	18.606	4.61

ตารางที่ ข.36 ผลของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	การเติมโซดาไฟมากเกินไป			การเติมกรดเกลือมากเกินไป		
	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ	โซดาไฟ	กรดเกลือ
	0.1 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.1 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)	0.5 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	0.5 โมลลาร์ (มิลลิลิตร)	ที่ใช้ (มิลลิโมล)
0.00	20	19.45	0.055	50	13.15	18.425
0.22	20	12.3	0.770	50	9.9	20.050
0.53	20	10.8	0.920	50	13.85	18.075
0.75	20	6.4	1.360	50	12.65	18.675
1.03	20	5.7	1.430	50	13.05	18.475

ตารางที่ ข.37 มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้นและของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเท่ากับร้อยละ 9 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	มวลโมเลกุลของกรดไขมันเริ่มต้น	ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน (ร้อยละโดยโมล)	มวลโมเลกุลของของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน
0.00	212.48	0.30	212.61
0.22	212.48	3.83	214.34
0.53	212.48	5.08	214.94
0.75	212.48	7.26	215.95
1.03	212.48	7.71	216.13

ตารางที่ ข.38 ปริมาณกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมันที่ได้			ร้อยละโดยน้ำหนัก		
	(กรัม)	(มวลโมเลกุล)	(มิลลิโมล)	FA_r / FA_i	FA_r / FA_c	FA_c / FA_i
0.00	3.8907	212.23	18.332	96.97	98.52	98.42
0.22	4.2065	214.22	19.636	92.61	97.54	94.95
0.53	3.8062	210.73	18.062	94.63	97.73	96.83
0.75	3.9786	214.08	18.585	95.55	98.34	97.16
1.03	3.9235	211.87	18.518	94.67	97.84	96.76

FA_i ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น

FA_c ปริมาณของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

FA_r ปริมาณกรดไขมันที่ได้

ตารางที่ ข.39 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น ร้อยละ 9 และกรดกำมะถันร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมัน			กรดเกลือที่ใช้ (มิลลิโมล)	โซดาไฟที่ใช้ (มิลลิโมล)
	(กรัม)	(มวตโมเลกุล)	(มิลลิโมล)		
0.00	3.8907	212.23	18.332	18.425	18.575
0.22	4.2065	214.22	19.636	20.050	20.120
0.53	3.8062	210.73	18.062	18.075	18.120
0.75	3.9786	214.08	18.585	18.675	18.735
1.03	3.9235	211.87	18.518	18.475	18.555

ค่าเฉลี่ย 212.65

ตารางที่ ข.40 ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบที่ตรวจสอบได้ หลังจากทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อปริมาณกรดไขมันร้อยละ 9 และตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0 0.22 0.53 0.75 และ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

กรดกำมะถัน (ร้อยละ)	เกลือโซเดียมคลอไรด์		ปริมาณสารที่ป้อนทั้งหมด	
	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณ (มิลลิโมล)	โซดาไฟ (มิลลิโมล)	กรดเกลือ (มิลลิโมล)
0.00	1.5752	26.926	27.095	26.945
0.22	1.5233	26.039	26.300	26.230
0.53	1.5131	25.865	26.125	26.080
0.75	1.4697	25.123	25.700	25.640
1.03	1.4703	25.133	25.650	25.570

ภาคผนวก ก.

การหาน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันและปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่ในของผสม.
(AOCS Official Method Da 14-48)

วัสดุอุปกรณ์

- ขวดรูปกรวยขนาด 250 ml.
- บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- เครื่องให้ความร้อนพร้อมแท่งแม่เหล็กปั่นกวน

สารเคมีที่ใช้

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
- เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95.5 โดยน้ำหนัก
- ฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์

วิธีการทดลอง

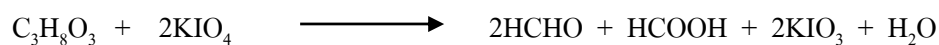
1. ชั่งกรดไขมันหรือของผสมอย่างละเอียด(ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)ในขวดรูปกรวย
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ที่เดือดและมีสภาพเป็นกลาง 20 - 30 มิลลิลิตร
3. นำสารละลายที่ได้ขณะร้อนมาไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ เพียง 0.5 มิลลิลิตร ขณะที่ไตเตรทให้สังเกตสีชมพูที่เกิดขึ้นให้คงที่ประมาณ 30 วินาที อ่านปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท

วิธีคำนวณ

น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมัน	=	$\frac{\text{น้ำหนักของกรดไขมัน(กรัม)}}{\text{ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้(โมล)}}$
ปริมาณกรดไขมันที่เหลืออยู่ในของผสม(โมล)=		ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้(โมล)

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอล (ASTM D128 - 98 (2003))



วัสดุอุปกรณ์

- ขวดรูปกรวย 250 มิลลิลิตร
- บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
- เครื่องเขย่าแบบอัตโนมัติ
- กระดาษกรอง
-

สารเคมีที่ใช้

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 นอร์มอล
- โปแตสเซียมเพอร์ไอโอดेट
- เมทิลเรด อินดิเคเตอร์

วิธีการทดลอง

- ชั่งโปแตสเซียมเพอร์ไอโอดेट 3 กรัม ในขวดรูปกรวย
- ปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรเติมลงในขวดรูปกรวย
- ทำการเขย่าของผสมโดยเครื่องเขย่าอัตโนมัติประมาณ 2 ชั่วโมง
- กรองโปแตสเซียมเพอร์ไอโอดेटที่เหลือออกโดยใช้กระดาษกรอง
- นำสารละลายที่กรองได้ไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 นอร์มอล โดยใช้ เมทิลเรด เป็นอินดิเคเตอร์ประมาณ 6 หยด สังเกตสีของจุดยุติที่ได้ซึ่งจะมีสีทองแดง อ่านปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้

วิธีคำนวณ

$\text{ปริมาณกลีเซอรอล(มิลลิโมล)} = \frac{V \times N \times V_T}{10}$
V = ปริมาตรสารละลายโซดาไฟที่ถูกรู้ (มิลลิลิตร)
N = ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ(นอร์มอล)
V_T = ปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด (มิลลิลิตร)

ภาคผนวก จ.

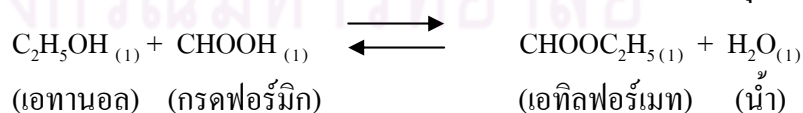
แสดงการคำนวณ

จ.1 การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีและพลังงานเสรีกิ๊บส์ของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ิเฟเคชัน

ตารางที่ จ.1 ค่าเอนทัลปีและพลังงานเสรีกิ๊บส์ก่อเกิด ณ สภาวะมาตรฐาน ของสารต่างๆ ในสถานะ ก๊าซ[14 , 15 , 16 , 17]

Substance	$\Delta_f H^0$ (kJ/mol)	$\Delta_f G^0$ (kJ/mol)	Substance	$\Delta_f H^0$ (kJ/mol)	$\Delta_f G^0$ (kJ/mol)
ethyl formate	-388.3	-303.1	formic acid	-378.6	-351
ethyl acetate	-444.5	-328	acetic acid	-432.8	-374.6
ethyl propinoate	-463.6	-319.3	propinoic acid	-453.5	-366.7
ethyl butanoate	-485.5	-312.2	butanoic acid	-475.8	-360
ethyl pentanoate	-507.7	-308	pentanoic acid	-491.9	-346
ethyl hexanoate	-528	-295.3	hexanoic acid	-511.9	-340
ethyl octanote	-570.2	-282.46	octanoic acid	-544.3	-325
ethyl nonanoate	-590	-275.46	nonanoic acid	-577.3	-315
water	-241.8	-228.6	ethanol	-234.95	-167.85

ยกตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ิเฟเคชันระหว่างเอทานอลและกรดฟอร์มิก ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังสมการด้านล่าง จำนวน โมลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1 โมล ทุกชนิด



ค่าเอนทัลปีของปฏิกิริยา, ΔH_r^0

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r^0 &= (\text{ผลรวมเอนทัลปีก่อเกิดของผลิตภัณฑ์}) - (\text{ผลรวมเอนทัลปีก่อเกิดของสารตั้งต้น}) \\
 &= (-388.3 + -241.8) - (-378.6 + -234.95) \quad \text{kJ/mol} \\
 &= -16.55 \quad \text{kJ/mol}
 \end{aligned}$$

ค่าพลังงานเสรีกิบบส์ของปฏิกิริยา, ΔG_r^0

ΔG_r^0 = ผลรวมพลังงานเสรีกิบบส์ก่อนเกิดของผลิตภัณฑ์ - ผลรวมพลังงานเสรีกิบบส์ก่อนเกิดของสารตั้งต้น

$$= (-303.1 + -228.6) - (-351 + -167.85) \quad \text{kJ/mol}$$

$$= -12.85 \quad \text{kJ/mol}$$

ค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส, $K_{25^\circ\text{C}}$

$$K_{25^\circ\text{C}} = e^{\frac{-\Delta G_r^0(1000)}{8.314 \times 298}}$$

$$= 178.85$$

ค่าการเปลี่ยนแปลงที่จุดสมดุลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส, $X_{E,25^\circ\text{C}}$

$$K_{25^\circ\text{C}} = \frac{X_{E,25^\circ\text{C}}^2}{(1 - X_{E,25^\circ\text{C}})^2}$$

$$178.85 = \frac{X_{E,25^\circ\text{C}}^2}{(1 - X_{E,25^\circ\text{C}})^2}$$

$$X_{E,25^\circ\text{C}} = 0.93$$

ค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, $K_{50^\circ\text{C}}$

$$K_{50^\circ\text{C}} = K_{25^\circ\text{C}} e^{\frac{(1000)\Delta H_r^0}{8.314} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{323} \right)}$$

$$= 106.6$$

ค่าการเปลี่ยนแปลงที่จุดสมดุลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, $X_{E,50^\circ\text{C}}$

$$3775 = \frac{X_{E,50^\circ\text{C}}^2}{(1 - X_{E,50^\circ\text{C}})^2}$$

$$X_{E,50^\circ\text{C}} = 0.912$$

จ.2 การคำนวณมวลโมเลกุลของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์

ยกตัวอย่างการคำนวณของการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธี ในการทดลองครั้งที่ 1 ได้สารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่อน้ำมันเริ่มต้น 5.0088 กรัม ดังนั้น กรดไขมัน 4.4676 กรัม และกลีเซอรอล 6.89 มิลลิโมล

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของกรดไขมัน} &= \frac{\text{น้ำหนักกรดไขมันตัวอย่างที่ใช้} \times 1000}{\text{ปริมาตร โซดาไฟที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้น โซดาไฟ}} \\ &= \frac{2.0118 \times 1000}{95.15 \times 0.1} \\ &= 211.44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักกลีเซอรอล} &= 6.89 \times 10^{-3} \times 92.1 \\ &= 0.6345 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ไตรกลีเซอไรด์} &= 3(212.48*) + 38.05 \\ &= 675.49 \end{aligned}$$

*มวลโมเลกุลเฉลี่ยจากตารางที่ ก.4

คิดเป็นสัดส่วนกรดไขมันต่อน้ำมันมะพร้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

$$\begin{aligned} &= \frac{4.4676 \times 100}{5.088} \\ &= 89.2 \end{aligned}$$

คิดเป็นสัดส่วนกลีเซอรอลต่อน้ำมันมะพร้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

$$\begin{aligned} &= \frac{0.6345 \times 100}{5.088} \\ &= 12.67 \end{aligned}$$

จ.3 การคำนวณมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์ จากข้อมูลที่มีผู้รายงานไว้ (จากตารางที่ 2.3)

กรดไขมัน	สูตร โมเลกุล	มวล โมเลกุล	สัดส่วนร้อยละ [5](9)
Caprylic acid	$C_8H_{16}O_2$	144.22	10.4(7.6)
Capric acid	$C_{10}H_{20}O_2$	172.27	7.6(7.3)
Lauric acid	$C_{12}H_{24}O_2$	200.32	50.2(48.2)
Myristic acid	$C_{14}H_{28}O_2$	228.38	17.3(16.6)
Palmitic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	256.43	7.1(9)
Stearic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	284.49	2(3.8)
Oleic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	282.47	4.4(5)
Linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	280.45	1(2.5)
องค์ประกอบรวม			100(100)

มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน[5]

$$\begin{aligned} \frac{1}{\bar{M}} &= \sum \frac{X_i}{M_i} \\ &= \frac{1}{0.004965} \\ \bar{M}_1 &= 201.42 \end{aligned}$$

มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน[8]

$$\bar{M}_2 = 206.83$$

มวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์[5]

$$\begin{aligned} &= 3(201.42) + 38.05 \\ &= 642.31 \end{aligned}$$

มวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์[8]

$$= 3(206.83) + 38.05$$

$$= 658.52$$

จ.4 การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสูงสุดต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ของปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้ว

ยกตัวอย่างการคำนวณของปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีแล้วในการทดลองครั้งที่ 1 มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน ไตรกลีเซอไรด์และกลีเซอรอลเท่ากับ 212.48 675.49 และ 92.1

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสูงสุดต่อไตรกลีเซอไรด์(ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

$$= \left(\frac{((3 \times 212.48) + 92.1) - 675.49}{675.49} \right) \times 100$$

$$= 8$$

จ.5 การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน และมวลโมเลกุลของของผสมในชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ยกตัวอย่างการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล ในการทดลองครั้งที่ 1 น้ำหนักของผสมหลังทำปฏิกิริยาเท่ากับ 0.9245 กรัม ใช้โซดาไฟ 0.1 โมลลาร์ ในการหากรดไขมันที่เหลือเท่ากับ 42.1 มิลลิลิตร และใช้โซดาไฟ 0.1 โมลลาร์ ในการเปลี่ยนเอทิลเอสเทอร์ไปเป็นเกลือกรดไขมันเท่ากับ 1.15 มิลลิลิตร

ค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน , X_A

$$= \left(1 - \frac{0.1 \times 42.1}{0.1 \times (42.1 + 1.15)} \right) \times 100$$

$$= 2.66 \quad (\text{ร้อยละ โดยโมล})$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของของผสมหลังทำปฏิกิริยา} &= \frac{0.9245 \times 1000}{0.1 \times (42.1 + 1.15)} \\ &= 213.76 \end{aligned}$$

จ.6 การคำนวณสัดส่วนระหว่างสัดส่วนของของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน(FA_e)ต่อกรดไขมันเริ่มต้น(FA_i) สัดส่วนกรดไขมัน(FA_r)ต่อกรดไขมันเริ่มต้น(FA_i) และ สัดส่วนกรดไขมัน(FA_r)ต่อของผสมหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน(FA_e)

ยกตัวอย่างการคำนวณการหาสัดส่วนทั้งสามค่าของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและสารละลายเอทานอล ในการทดลองครั้งที่ 1 กรดไขมันเริ่มต้นเท่ากับ 1.0043 กรัม ของผสมชั้นกรดไขมันหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเท่ากับ 0.9245 กรัม และกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซดาไฟเท่ากับ 0.8601 กรัม

$$\begin{aligned} \frac{FA_e}{FA_i} &= \frac{0.9245 \times 100}{1.0043} \\ &= 92.05 \quad (\text{ร้อยละโดยน้ำหนัก}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{FA_r}{FA_i} &= \frac{0.8601 \times 100}{1.0043} \\ &= 85.64 \quad (\text{ร้อยละโดยน้ำหนัก}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{FA_r}{FA_e} &= \frac{0.8601 \times 100}{0.9245} \\ &= 93.04 \quad (\text{ร้อยละโดยน้ำหนัก}) \end{aligned}$$

จ.7 การคำนวณปริมาณของผสมที่หายไปเป็นชั้นสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ยกตัวอย่างการคำนวณการหาปริมาณของผสมที่หายไป(ละลายในชั้นสารละลายเอทานอล) หลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณกรดกำมะถันความเข้มข้นร้อยละ 97 จำนวน 0.0862 กรัม ใช้โซดาไฟ 0.1 โมลลาร์ ในการหากรดกำมะถันที่เหลือเท่ากับ 18.7 มิลลิลิตร

กรดกำมะถันที่สมมูลกับโซดาไฟความเข้มข้น 0.1 โมลตาร์

$$= \frac{0.0862 \times 0.97 \times 1000}{49}$$

$$= 1.706 \text{ มิลลิโมล}$$

ปริมาณโซดาไฟที่ใช้

$$= 0.1 \times 18.7$$

$$= 1.87 \text{ มิลลิโมล}$$

คิดเป็นปริมาณของผสมที่หายไปในช่วงสารละลายเอทานอลหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

$$= 1.87 - 1.706 \text{ มิลลิโมล}$$

$$= 0.164 \text{ มิลลิโมล}$$

จ.8 การคำนวณปริมาณของผสมทั้งหมดหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและค่าผลต่างระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและปริมาณของผสมทั้งหมดหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ยกตัวอย่างการคำนวณการหาผสมทั้งหมดหลังปฏิกิริยาและค่าผลต่างระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและปริมาณของผสมทั้งหมดหลังปฏิกิริยาในการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้น 4.727 มิลลิโมล ปริมาณกรดไขมันที่เหลือ 4.21 มิลลิโมล ปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น 0.115 มิลลิโมล และปริมาณของผสมที่หายไปหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน 0.164 มิลลิโมล

ปริมาณของผสมทั้งหมดหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

$$= 4.21 + 0.115 + 0.164 \text{ มิลลิโมล}$$

$$= 4.489 \text{ มิลลิโมล}$$

ผลต่างระหว่างปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นและปริมาณของผสมทั้งหมดหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (ร้อยละโดยโมล)

$$= \frac{4.727 - 4.489}{4.727} \times 100$$

$$= 5.03$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ปิตินันต์ อักษร เกิดเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522 ณ จังหวัดน่าน สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ในปีการศึกษา 2546 ปฏิบัติงานในตำแหน่ง วิศวกรกระบวนการ ณ บริษัทไทยอะโกร เอ็นเนอร์ยี จำกัด ระหว่างปี พ.ศ. 2546 ถึง ปี พ.ศ. 2549 ได้เข้าร่วมเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 เรื่อง ผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาและสัดส่วนสารละลายเอทานอลต่อกรดไขมันของ น้ำมันมะพร้าวที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี การศึกษา 2553 ปัจจุบันปฏิบัติงานในตำแหน่งวิศวกรปฏิบัติการ สำนักงานปลัดกระทรวง อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย