

ผลของน้ำต่อกลีเซอโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มสำหรับการผลิตมอนอกลิเซอไรด์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF WATER ON CATALYST-FREE GLYCEROLYSIS OF PALM OIL FOR
MONOGLYCERIDE PRODUCTION



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

Department of Chemical Technology

FACULTY OF SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โดย

นายอิทธิฤทธิ์ พิไชยอัน

สาขาวิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.เรืองวิทย์ สว่างแก้ว

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.เรืองวิทย์ สว่างแก้ว)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.อนุรักษ์ วินิตสร)

อิทธิฤทธิ์ พิไชยอัน : ผลของน้ำต่อกลีเซอโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน
 ปาล์มสำหรับการผลิตมอนอกลิเซอไรด์. (EFFECT OF WATER ON CATALYST-FREE
 GLYCEROLYSIS OF PALM OIL FOR MONOGLYCERIDE PRODUCTION) อ.ที่
 ปริญญาหลัก : ศ. ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสุทธิ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.เรืองวิทย์ สว่าง
 แก้ว

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม
 แบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายโดยตัวแปรที่นำมาศึกษา
 ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (220 240 และ 260 องศาเซลเซียส) เวลาในการทำปฏิกิริยา
 (30 90 และ 150 นาที) อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1)
 (0 15 และ 30) ปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ (ร้อยละ 40 60 และ 80) พบว่าภาวะที่ให้
 ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุดคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาในการ
 ทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมล
 ของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์
 เท่ากับ 54.12 ร้อยละไดกลีเซอไรด์เท่ากับ 3.96 ร้อยละกรดไขมันเท่ากับ 0.40 ร้อยละไตรกลีเซอไรด์
 เท่ากับ 15.67 และร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์เท่ากับ 13.20 โดยปัจจัยสำคัญที่ได้จากงานวิจัยนี้
 ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอล
 ต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม และปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ จากภาวะที่ให้ร้อยละ
 มอนอกลิเซอไรด์สูงสุดได้มีการเปรียบเทียบการใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้นพบว่า ได้ร้อยละ
 มอนอกลิเซอไรด์เท่ากับ 31.59 และร้อยละไอโซโพรพิลเอสเทอร์เท่ากับ 51.76 ซึ่งไอโซโพรพานอล
 สามารถใช้เป็นตัวทำละลายในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้
 เนื่องจากช่วยลดความหนืดและเพิ่มการถ่ายโอนมวลของสารตั้งต้นได้ โดยน้ำส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา
 ไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์และประพติดัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6072012023 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORD: MONOGLYCERIDE, GLYCEROLYSIS, PALM OIL

Ittirit Phichaion : EFFECT OF WATER ON CATALYST-FREE GLYCEROLYSIS OF PALM OIL FOR MONOGLYCERIDE PRODUCTION. Advisor: Prof. Somkiat Ngamprasertsith, Ph.D. Co-advisor: RUEANGWIT SAWANGKAEW, Ph.D.

In this work, glycerolysis reaction of palm oil without using catalyst to produce monoglyceride was studied using isopropanol as the solvent. The investigated reaction parameters were temperature (220, 240 and 260 °C), reaction time (30, 90 and 150 minutes), molar ratio of isopropanol to glycerol to palm oil (X:5:1) (0, 15 and 30), and reactor loading (40, 60 and 80%). The molar ratio between glycerol to palm oil was fixed at 5:1. The highest monoglyceride content (%MG) was obtained at 260 °C, 150 minutes of reaction time, molar ratio of isopropanol to glycerol to palm oil (15:5:1) and 40% reactor loading, resulting in a product that comprises 54.12 % monoglyceride, 3.96 % diglyceride, 0.40 % fatty acid, 15.67 % triglyceride and 13.20 % isopropyl ester. The important parameters investigated in this study were reaction temperature, reaction time, molar ratio of isopropanol to glycerol to palm oil (X:5:1) and reactor loading. The use of crude glycerol in glycerolysis of palm oil allowed the reaction to be carried out at optimal condition with the final product containing 31.59 % monoglyceride and 51.76 % isopropyl ester. Isopropanol has been shown as good effective solvent for this glycerolysis of palm oil without using catalyst to produce monoglyceride, which improved mass transfer between palm oil and glycerol. Besides the hydrolysis reaction of triglyceride forms free fatty acid, water could also help catalyze the reaction.

Field of Study: Chemical Technology

Academic Year: 2019

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.เรืองวิทย์ สว่างแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ และดร.วิณัฐา ศักดาศรี ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยสนับสนุนจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต งามจรุสศรีวิชัย และ ดร.อนุรักษ์ วินิตสร ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่ง

ขอขอบคุณบริษัท บางจาก ไบโอฟูเอล จำกัด ที่เอื้อให้ความอนุเคราะห์หลักสิทธิเชอร์อลติบและการวิเคราะห์องค์ประกอบกสิเชอร์อลติบ ทุนการศึกษาจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมี และวัสดุ (Center of Excellence on Petrochemical and Materials Technology, PETROMAT) ที่สนับสนุนด้านค่าเล่าเรียนและทุนวิจัยงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง และขอบคุณการสนับสนุนเครื่องมือจากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการช่างเทคนิค และบุคลากรทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกและช่วยอบรมการใช้เครื่องมือในการใช้ห้องปฏิบัติการ และที่สำคัญขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ๆ ทุกคนในภาควิชาและนอกภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้องและครอบครัว ที่สนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และคอยเป็นกำลังใจที่สำคัญงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อิทธิฤทธิ์ พิไชยอัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 น้ำมันปาล์ม	5
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันปาล์ม	5
2.1.2 องค์ประกอบกรดไขมัน (Fatty Acid).....	6
2.1.3 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม.....	7
2.2 กลีเซอรอล.....	9
2.2.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกลีเซอรอล	9
2.2.2 การสังเคราะห์กลีเซอรอล.....	10
2.2.2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)	11

2.2.2.2	ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (Saponification)	11
2.2.2.3	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis).....	11
2.2.3	กลีเซอรอลดิบ	12
2.2.4	ลักษณะและองค์ประกอบของกลีเซอรอลดิบ	13
2.2.5	การผลิตและการตลาดของกลีเซอรอล	14
2.2.6	ทางเลือกสำหรับการใช้กลีเซอรอล	17
2.3	มอนอกลิเซอไรด์.....	18
2.3.1	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์มอนอกลิเซอไรด์.....	20
2.3.1.1	ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยตรง (Direct Esterification)	20
2.3.1.2	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Hydrolysis of Triglyceride)	22
2.3.1.3	ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Glycerolysis of Triglyceride)	23
2.3.1.4	ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของเมทิลเอสเทอร์ (Glycerolysis of Methyl Esters)	24
2.3.2	การผลิตมอนอกลิเซอไรด์	24
2.3.2.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) ในปฏิกิริยา กลีเซอโรไล ซิสของไตรกลีเซอไรด์	24
2.3.2.2	ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) ในปฏิกิริยา กลีเซอโรไล ซิสของไตรกลีเซอไรด์	26
2.3.2.3	ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเอนไซม์ (Enzyme catalyst)	27
2.3.2.4	กลีเซอโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (ใช้ตัวทำละลาย)	28
2.3.3	การผลิตมอนอกลิเซอไรด์ในอุตสาหกรรม	29
2.3.3.1	การสังเคราะห์มอนอกลิเซอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์.....	29
2.3.3.2	การสังเคราะห์มอนอกลิเซอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....	30
2.3.3.3	การผลิตมอนอกลิเซอไรด์ความเข้มข้นสูง.....	31
2.3.4	การนำมอนอกลิเซอไรด์ไปใช้ประโยชน์	34

2.3.4.1	อุตสาหกรรมอาหาร	34
2.3.4.2	อุตสาหกรรมยา.....	34
2.3.4.3	อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและเครื่องอุปโภค	34
2.3.4.4	อุตสาหกรรมพลาสติก.....	34
2.4	ผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส35	
2.4.1	ผลกระทบจากอุณหภูมิ	35
2.4.2	ผลกระทบจากปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์.....	36
2.4.3	ผลกระทบจากอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อกลีเซอรอล	38
2.4.4	ผลกระทบจากตัวทำละลายที่ใช้	38
2.4.5	ผลกระทบจากเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	40
2.4.6	ผลกระทบจากน้ำ	41
บทที่ 3	การดำเนินงานวิจัย	42
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	43
3.3	วิธีการทดลอง	44
3.3.1	การออกแบบการทดลอง.....	44
3.3.2	การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	44
3.4	การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์.....	45
3.4.1	การวิเคราะห์ปริมาณมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC).....	45
3.4.2	การวิเคราะห์หาองค์ประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS).....	47
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	49
4.1	ภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส.....	49

4.1.1	ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการทำปฏิกิริยา	52
4.1.2	ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อ กลีเซอรอลต่อ น้ำมันปาล์ม.....	53
4.1.3	ปัจจัยร่วมระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อ กลีเซอรอลต่อ น้ำมันปาล์ม	54
4.1.4	ปัจจัยร่วมระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ ..	55
4.1.5	ภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มจากปัจจัยต่าง ๆ.....	56
4.2	ผลกระทบจากการใช้ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย.....	59
4.3	ผลกระทบของน้ำต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	65
4.4	ผลกระทบของการใช้กลีเซอรอลดิบต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	70
4.4.1	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยใช้กลีเซอรอลดิบ	70
4.4.2	ผลกระทบของน้ำในกลีเซอรอลดิบต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์	74
4.4.3	ผลกระทบของไอโซโพรพานอลในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น	74
4.4.4	ผลกระทบจากองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในกลีเซอรอลดิบต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์	75
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	76
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	76
5.2	ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม.....		79
ภาคผนวก.....		84
ภาคผนวก ก	การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์.....	85
ก.1	การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	85

ก.2 การวิเคราะห์ชนิดของผลิตภัณฑ์.....	86
ก.3 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve).....	86
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแยกตามองค์ประกอบ.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	96



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันปาล์ม	6
ตารางที่ 2.2	ปริมาณและสมบัติของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	7
ตารางที่ 2.3	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกลีเซอรอล.....	10
ตารางที่ 2.4	ปริมาณการผลิตกลีเซอรอลจากแหล่งต่าง ๆ ในแต่ละปี	13
ตารางที่ 2.5	องค์ประกอบของกลีเซอรอลดิบจาก บริษัท บางจากไปโอฟูเอล จำกัด	13
ตารางที่ 2.6	แสดงการเปรียบเทียบผลจากงานวิจัยที่ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและมีการเติมตัวทำละลาย.....	29
ตารางที่ 2.7	ความหนืดไคเนมาติก (kinematic viscosity) ของสารตั้งต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรโอเลอินโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	39
ตารางที่ 2.8	แสดงร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรโอเลอินแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ภาวะการทดลองคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 90 นาที ซึ่งมีการเปรียบเทียบการใช้เมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย โดยปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60.....	39
ตารางที่ 2.9	แสดงการเปรียบเทียบปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ โดยไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	41
ตารางที่ 3.1	ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบการทดลอง.....	44
ตารางที่ 3.2	ภาวะการวิเคราะห์หองค์ประกอบของมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ.....	46
ตารางที่ 3.3	แสดงอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา ในภาวะการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊ส โครมาโทกราฟ.....	46

ตารางที่ 3.4	การวิเคราะห์ทางองค์ประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์.....	47
ตารางที่ 3.5	แสดงอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา ในภาวะการวิเคราะห์หา องค์ประกอบของมอนอกลิเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	48
ตารางที่ 4.1	แสดงตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของภาวะที่ใช้ในการทดลอง	49
ตารางที่ 4.2	แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลอง ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ ไตรกลีเซอไรด์ และร้อยละกรดไขมัน ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส	50
ตารางที่ 4.3	แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลอง ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ ไตรกลีเซอไรด์ และร้อยละกรดไขมัน ที่อุณหภูมิ 220 และ 240 องศาเซลเซียส	51
ตารางที่ 4.4	แสดงร้อยละองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด จากภาวะการ ทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของ สารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อ กลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1	57
ตารางที่ 4.5	แสดงปริมาณร้อยละของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน	58
ตารางที่ 4.6	แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลอง ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละกรดไขมัน และร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส	61
ตารางที่ 4.7	แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลอง ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละกรดไขมัน และร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ที่อุณหภูมิ 220 และ 240 องศาเซลเซียส	63
ตารางที่ 4.8	แสดงการเปรียบเทียบร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละกรดไขมัน และร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จากการศึกษา ผลของน้ำ ต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ที่ภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40.....	66
ตารางที่ 4.9	แสดงการเปรียบเทียบร้อยละมอนอกลิเซอไรด์และร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์	

เปรียบเทียบกับกลีเซอรอลดิบ ที่ภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40..... 71

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงร้อยละมอนอพาร์เมิติน (MP) ร้อยละมอนอโอเลอิน (MO) ร้อยละไดพาร์เมิติน (DP) ร้อยละไดโอเลอิน (DO) ร้อยละไตรพาร์เมิติน (TP) ร้อยละไตรโอเลอิน (TO) ร้อยละกรดพาร์เมิติก (PA) ร้อยละกรดโอเลอิก (OA) ร้อยละไอโซพรีนพาร์เมิตเตต (IPP) และร้อยละไอโซพรีนพอลิโอเลเอต (IPO) ที่ภาวะอุณหภูมิในการทดลอง 260 องศาเซลเซียส 92

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงร้อยละมอนอพาร์เมิติน (MP) ร้อยละมอนอโอเลอิน (MO) ร้อยละไดพาร์เมิติน (DP) ร้อยละไดโอเลอิน (DO) ร้อยละไตรพาร์เมิติน (TP) ร้อยละไตรโอเลอิน (TO) ร้อยละกรดพาร์เมิติก (PA) ร้อยละกรดโอเลอิก (OA) ร้อยละไอโซพรีนพาร์เมิตเตต (IPP) และร้อยละไอโซพรีนพอลิโอเลเอต (IPO) ที่ภาวะอุณหภูมิในการทดลอง 220 องศาเซลเซียส 94

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงร้อยละมอนอพาร์เมิติน (MP) ร้อยละมอนอโอเลอิน (MO) ร้อยละไดพาร์เมิติน (DP) ร้อยละไดโอเลอิน (DO) ร้อยละไตรพาร์เมิติน (TP) ร้อยละไตรโอเลอิน (TO) ร้อยละกรดพาร์เมิติก (PA) ร้อยละกรดโอเลอิก (OA) ร้อยละไอโซพรีนพาร์เมิตเตต (IPP) และร้อยละไอโซพรีนพอลิโอเลเอต (IPO) ที่ภาวะอุณหภูมิในการทดลอง 240 องศาเซลเซียส 95

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์.....	8
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมัน.....	8
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล.....	9
รูปที่ 2.4 ปฏิกริยาสะพอนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	11
รูปที่ 2.5 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของไขมัน.....	12
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงกำลังการผลิตและราคาของกลีเซอไรด์ทั่วโลก.....	15
รูปที่ 2.7 ความผันผวนของราคากลีเซอรอลในตลาดโลก.....	15
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol).....	19
รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของมอนอกลิเซอไรด์ทั้งสองไอโซเมอร์.....	19
รูปที่ 2.10 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตรงด้วยกลีเซอรอล (Direct Esterification).....	21
รูปที่ 2.11 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Hydrolysis of triglyceride).....	22
รูปที่ 2.12 ปฏิกริยาไกลีเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Glycerolysis of triglyceride).....	23
รูปที่ 2.13 ปฏิกริยาไกลีเซอโรไลซิสของเมทิลเอสเทอร์ (Glycerolysis of Methyl Esters).....	24
รูปที่ 2.14 กลไกการเกิดปฏิกริยาไกลีเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาเอกพันธ์... ..	25
รูปที่ 2.15 กลไกการเกิดปฏิกริยาไกลีเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาวิวิธพันธ์ ..	26
รูปที่ 2.16 การผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา	28
รูปที่ 2.17 เครื่องมือที่ใช้ในการทำปฏิกริยาไกลีเซอโรไลซิสสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์	30
รูปที่ 2.18 แสดงการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จากน้ำมันด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	31
รูปที่ 2.19 ภาพตัดขวางของเครื่อง Molecular distiller	33
รูปที่ 2.20 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกริยาไกลีเซอโรไลซิสของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ใน ภาวะที่ใช้เวลาในการทำปฏิกริยา 1 ชั่วโมง โดยมีการกวนอย่างต่อเนื่อง กำหนดปริมาณ	

	น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน 28.5 กรัม ปริมาณกลีเซอรอล 15 กรัม ปริมาณแอสซิโตน 15 มิลลิลิตร อัตราส่วนน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันต่อกลีเซอรอล 1:5 โดยโมล.....	36
รูปที่ 2.21	ผลกระทบของปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ต่อร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์ ในภาวะที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที กำหนดปริมาณไอโซโพรพานอล 2 มิลลิลิตร อัตราส่วนไตรโอเลอินต่อกลีเซอรอล 1:5 โดยโมล	37
รูปที่ 2.22	แสดงลำดับของสารตั้งต้นต่าง ๆ ที่บรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และพื้นที่ว่าง (Head free space) เหนือของเหลว.....	37
รูปที่ 2.23	การเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์.....	38
รูปที่ 3.1	แสดงอุปกรณ์สำหรับปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส โดยประกอบด้วย อ่างทรายฟลูอิดซ์สำหรับให้ความร้อน (Fluidized sand bath) และ เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (Batch Reactor) ที่ทำจากท่อสแตนเลส	45
รูปที่ 3.2	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890A.....	46
รูปที่ 3.3	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP2010.....	47
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิช่วง 220-260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาช่วง 30-150 นาที โดยกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 และปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60	52
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (0-30:5:1) ที่มีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิช่วง 220-260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และ ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60	54
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับอัตราส่วนโดยโมลของ ไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (0-30:5:1) ที่มีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาช่วง 30-90 นาที และกำหนดปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60.....	55
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ ที่มีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิ 260	

	องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาช่วง 30-90 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ในช่วงร้อยละ 40-80 และ อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1.....	56
รูปที่ 4.5	แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1	58
รูปที่ 4.6	แสดงโครงสร้างของ (ก) ไอโซโพรพิลปาล์มิเตต (ข) ไอโซโพรพิลโอเลเอต.....	59
รูปที่ 4.7	แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 0:5:1	60
รูปที่ 4.8	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์.....	64
รูปที่ 4.9	โครมาโทแกรมของ GC-MS ของน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นสารตั้งต้น.....	64
รูปที่ 4.10	แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยมีการเติมน้ำร้อยละ 12 โดยมวล.....	67
รูปที่ 4.11	แสดงผลกระทบของน้ำต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยที่ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 12 และ 15 โดยมวล.....	68
รูปที่ 4.12	แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น.....	72

รูปที่ 4.13 แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 0:5:1 โดยใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น..... 73

รูปที่ ก.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสระหว่างน้ำมันปาล์มและกลีเซอรอลบริสุทธิ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 (รูปซ้าย) ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุด (รูปขวา) ผลิตภัณฑ์หลังจากระเหยไอโซโพรพานอล..... 85

รูปที่ ก.2 แสดงโครมาโทแกรม GC ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแต่ละชนิดที่ Retention time แตกต่างกัน..... 86

รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานของ (ก) มอนอปาเลียมิติน และ (ข) มอนอโอเลอิน 87

รูปที่ ก.4 กราฟมาตรฐานของ (ก) ไดปาเลียมิติน และ (ข) ไดโอเลอิน..... 88

รูปที่ ก.5 กราฟมาตรฐานของ (ก) กรดปาเลียมิติก และ (ข) กรดโอเลอิก..... 89

รูปที่ ก.6 กราฟมาตรฐานของ (ก) ไตรปาเลียมิติน และ (ข) ไตรโอเลอิน 90

รูปที่ ก.7 กราฟมาตรฐานของ (ก) ไอโซโพรพิลปาเลียมิตเตต และ (ข) ไอโซโพรพิลโอเลเอต..... 91

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นสวนทางกับการลดลงของแหล่งพลังงานจากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ กลายเป็นปัญหาที่ทั่วโลกกำลังสนใจอยู่ในปัจจุบัน จึงมีการศึกษาและวิจัยพลังงานทดแทนจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่สังเคราะห์มาจากชีวมวลลิกนิน โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) ได้ผลผลิตคือเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล และให้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ เนื่องจากปัจจุบันการผลิตไบโอดีเซลมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้กลีเซอรอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในเชิงเศรษฐศาสตร์กระบวนการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์มีค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นการศึกษาและวิจัยโดยที่ใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้นจึงมีความน่าสนใจ การนำกลีเซอรอลที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดใด ๆ มาทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Glycerolysis of triglyceride) ซึ่งจะได้มอนอกลิเซอไรด์ (Monoglyceride) เป็นผลผลิตที่มีราคาสูงมากขึ้น

มอนอกลิเซอไรด์ถูกใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่สำคัญและแพร่หลายในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหารที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ มาการีน ซอสปรุงรส ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางจะใช้ มอนอกลิเซอไรด์เพื่อเป็นตัวช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับโลชั่นและครีม [1] จากสมบัติด้านการเป็นสารหล่อลื่นและตัวพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ที่ดี มอนอกลิเซอไรด์ถูกใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและการผลิตพลาสติก การผลิตมอนอกลิเซอไรด์ในระดับอุตสาหกรรมที่ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไขมันและน้ำมัน จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มแอลคาไลน์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่อุณหภูมิช่วง 220-260 องศาเซลเซียส แต่การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก อีกทั้งการใช้อุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อสีที่เข้มและกลิ่นที่เหม็นไหม้ของผลิตภัณฑ์ [2]

เพื่อหลีกเลี่ยงผลของตัวเร่งปฏิกิริยามิงานวิจัยที่ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรโอลลีนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [3] โดยเปรียบเทียบการใช้ตัวทำละลายในกลุ่มของแอลกอฮอล์ 3 ชนิดคือ เมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอล ในภาวะกึ่งวิกฤตและเหนือวิกฤต จากการทดลองพบว่า ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายที่ให้ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์สูงที่สุด และยังพบว่าที่ภาวะกึ่งวิกฤตและเหนือวิกฤตของการใช้ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายจะให้ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์สูงกว่ากระบวนการผลิตมอนอกลิเซอไรด์แบบใช้

โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและยังให้ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์สูงกว่ากระบวนการที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย อีกทั้งการใช้ตัวทำละลายจะช่วยลดความหนืดของสารในระบบและทำให้สารตั้งต้นผสมกันได้ดียิ่งขึ้น [4]

มีงานวิจัยที่ใช้แอสีโตนเป็นตัวทำละลายในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันและไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [4] พบว่าการเติมแอสีโตนเพื่อเป็นตัวทำละลายส่งผลดีต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ และเกิดสารสำคัญที่ชื่อว่าโซลคีทาล (Solketal) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพน้ำมันเชื้อเพลิง พลาสติกไฮเซออร์ สารช่วยพองตัวยาหรือสารช่วยแขวนตะกอน (Suspension agent) อีกทั้งในงานวิจัยนี้มีการศึกษาผลของน้ำต่อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันที่ใช้แอสีโตนเป็นตัวทำละลายและไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองที่ไม่เติมน้ำปริมาณของกรดไขมันอิสระมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามปริมาณของไดกลีเซอไรด์มีจำนวนที่ลดลง แต่ปริมาณของมอนอกลิเซอไรด์ยังคงอยู่ในระดับคงเดิมที่ยอมรับได้เช่นเดียวกับการทดลองที่ไม่มีการเติมน้ำลงในปฏิกิริยา โดยจะเห็นว่าน้ำส่งผลต่ออนุพันธ์ของกลีเซอรอล ดังนั้นการใช้กลีเซอรอลดิบที่น้ำเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 12 โดยมวล เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส จะต้องมุ่งไปที่ปฏิกิริยาที่อาจจะเกิดแข่งขันกับปฏิกิริยาหลัก เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ที่จะทำให้ได้กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระเป็นผลิตภัณฑ์

งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและมีไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย โดยจะทำการหาภาวะที่ให้ร้อยละผลได้มอนอกลิเซอไรด์ที่สูงที่สุดจากการใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ก่อน จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารในเครื่องปฏิกรณ์ช่วงร้อยละ 40 - 80 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 220 - 260 องศาเซลเซียส ระยะเวลาทำปฏิกิริยาช่วง 30 - 150 นาทีและอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มช่วง (X:5:1) ช่วง 0 - 30 เมื่อได้ภาวะที่ให้ร้อยละผลได้มอนอกลิเซอไรด์สูงสุดจากการใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ จะใช้ภาวะนั้นนำมาศึกษาผลของน้ำต่อร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์ และทำการเปรียบเทียบกับกรทดลองที่ใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จากกลีเซอรอลดิบและน้ำมันปาล์ม โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อหาภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด
2. ศึกษาผลของน้ำต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย

1. ศึกษาผลของปริมาตรของสารในเครื่องปฏิกรณ์ต่อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในช่วงร้อยละ 40 - 80 ของปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์
2. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในช่วง 220 - 260 องศาเซลเซียส
3. ศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มช่วง 30 - 150 นาที
4. ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) ต่อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มในช่วง 0 - 30 โดยโมล
5. ศึกษาผลของน้ำที่ภาวะที่ให้ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด
6. ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จากกลีเซอรอลดิบและน้ำมันปาล์ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะที่เหมาะสมของการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลดิบและน้ำมันปาล์ม

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้ารวบรวมทฤษฎี งานวิจัย และข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในประเทศและต่างประเทศ
2. ศึกษาวิธีการทดลองและการใช้เครื่องมือ รวมถึงอุปกรณ์ในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์
3. วางแผนการดำเนินการทดลองและเตรียมสารเคมี อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
4. ออกแบบการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์

5. ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ต่อร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มที่อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลดิบต่อน้ำมันปาล์มคงที่ 5 ต่อ 1 ประกอบด้วย

- ปริมาตรของสารตั้งต้นที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ช่วงร้อยละ 40 - 80
- อุณหภูมิในช่วง 220 - 260 องศาเซลเซียส
- เวลาในการเกิดปฏิกิริยาในช่วง 30 - 150 นาที
- อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) ในช่วง 0 - 30

6. วิเคราะห์ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์และวิเคราะห์ผลพลอยได้จากปฏิกิริยา ได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ ไดรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (GC)

7. วิเคราะห์ผลของน้ำต่อกระบวนการผลิตมอนอกลิเซอไรด์

8. วิเคราะห์ สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันปาล์ม

พืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของภาคใต้ก็คือ ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) โดยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอีส กินีนิซิส (*Elaeis guineensis*) เป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับต้นมะพร้าว ต้นจาก ต้นอินทผลัม และต้นตาลโตนด ถิ่นกำเนิดดั้งเดิมของน้ำมันปาล์มอยู่ในทวีปแอฟริกา สำหรับประเทศไทยนำเอาพันธุ์ปาล์มเข้ามาปลูกในเชิงเศรษฐกิจเป็นครั้งแรกที่จังหวัดกระบี่ ต่อมาก็ได้มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วภาคใต้ โดยเฉพาะจังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง ผลผลิตที่ถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์มซึ่งมีแนวโน้มการผลิตสูงขึ้นทุก ๆ ปี โดยทางรัฐบาลมีการจัดการเพื่อแก้ไขปัญหาน้ำมันปาล์มทั้งในส่วนกลางและในระดับจังหวัด อีกทั้งมีการส่งเสริมใช้น้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตไฟฟ้า ส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซล เป็นต้น [5]

ในประเทศไทยกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมี 3 วิธีหลัก ๆ คือกระบวนการผลิตแบบใช้ไอน้ำ ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน กระบวนการผลิตแบบอย่างผลปาล์มหรือหีบน้ำมันผสม และกระบวนการผลิตแบบทอดผลปาล์ม โดยทะลายปาล์มสด (Fresh Fruit Bunch, F.F.B) ซึ่งเป็นผลผลิตจากต้นปาล์มจะประกอบด้วย ทะลายเปล่า (Bunch) และผลปาล์ม (Fruit) ภายในผลจะประกอบด้วย ส่วนของชั้นเปลือก (Mesocarp) ในชั้นนี้จะมีน้ำมัน เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (Palm Oil) จากชั้นเปลือกจะมีกะลา (Shell) หุ้มเมล็ดในอยู่ภายในเมล็ดในจะมีน้ำมันอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Kernel Oil) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างจากน้ำมันปาล์ม เมื่อน้ำมันปาล์มไปแยกส่วนและทำให้บริสุทธิ์จะได้ส่วนของของเหลว เรียกว่า น้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm Olein) ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้กันโดยทั่วไปในการบริโภค

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มมีส่วนประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ พื้นดินบริเวณเพาะปลูกและภูมิอากาศ น้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันปาล์มมีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน เช่น น้ำมันจากเมล็ดในปาล์มร้อยละของกรดไขมันอิ่มตัวสูง (ร้อยละ 78.82) ในขณะที่น้ำมันปาล์มมีร้อยละของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณที่ใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 48.05 และ 51.95 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.1 จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันปาล์ม [6]

	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	น้ำมันปาล์ม
Iodine Value	14-20	43-59
Acid Value	20	15
Saponification Value	240-257	195-210
Unsaponification matter (%)	1	1
Colour (Lovibond, 5" cell)	10Y:1R25	Y:2.5R
Total saturated fatty acid (%)	78.82	48.05
Total unsaturated fatty acid (%)	21.18	51.95

2.1.2 องค์ประกอบกรดไขมัน (Fatty Acid)

ในธรรมชาติกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่และเป็นโซ่ยาวที่อิมตัว (ไม่มีพันธะคู่) หรือไม่อิมตัวคือมีพันธะคู่หรือมีพันธะสาม (Triple bond) 1 คู่หรือมากกว่า กรดไขมันแต่ละชนิดมีความยาวของโซ่ จำนวนและตำแหน่งของพันธะไม่อิมตัวแตกต่างกัน กรดไขมันที่พบในพืชและสัตว์จะไม่พบในรูปอิสระแต่จะอยู่รวมกันเป็นลิดด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งถูกย่อยสลายได้ด้วยการใช้เอนไซม์และสารเคมี ปลายข้างหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิลปลายอีกข้างมีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวของนอนโพลาร์ไฮโดรคาร์บอน ทำให้กรดไขมันไม่ละลายน้ำ

กรดไขมันชนิดอิมตัวที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันปาล์มคือ กรดปาล์มติก (Palmitic Acid) มีอยู่ประมาณร้อยละ 37.9 ถึง 47.7 และกรดไขมันชนิดไม่อิมตัว (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งได้แก่ กรดไลโนลิก มีร้อยละ 10.4 ถึง 13.4 และกรดแอลฟาไลโนลินิกมีร้อยละ 0.1 ถึง 0.6 (ตารางที่ 2.2) นอกจากส่วนที่เป็นกรดไขมันแล้ว น้ำมันปาล์มยังมีส่วนที่ไม่สามารถเกิดสบู่ได้ ซึ่งได้แก่ คาร์otenอยด์ (Carotenoid) และโทโคเฟอรอล (Tocopherol) สูง ซึ่งเมื่อผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วปริมาณของคาร์otenอยด์จะลดลง [7]

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและสมบัติของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน [7]

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)
ลอริก (Lauric)	44.2	0.1-1.1
ไมริสติก (Myristic)	52.0	0.9-1.4
ปาล์มิติก (Palmitic)	63.1	37.9-47.7
สเตียริก (Stearic)	69.6	4.0-4.8
โอเลอิก (Oleic)	13.4	40.7-43.9
ไลโนลิลิก (Linoleic)	-17.0	10.4-13.4
ไลโนเลนิก (Linolenic)	-17.0	0.1-0.6

2.1.3 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

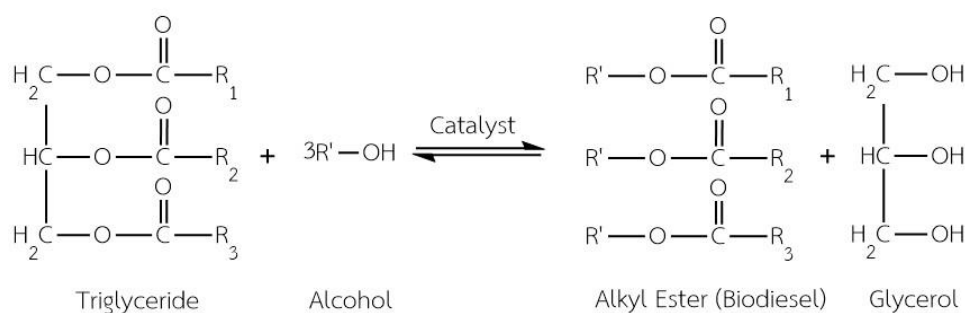
ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากพืชน้ำมันและน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้วจากพืชและไขมันสัตว์ นำมาเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีจนได้ไบโอดีเซล ซึ่งมีสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลปกติ แต่ให้การเผาไหม้ที่สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล ประเทศที่พัฒนาแล้วให้ความสนใจในการผลิตไบโอดีเซลกันมานาน โดยประเทศที่ผลิตไบโอดีเซลเป็นอุตสาหกรรม และใช้กันมากที่สุด ได้แก่ เยอรมนี ออสเตรเลีย ฝรั่งเศส อิตาลี สวีเดน และสหรัฐอเมริกา

วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลนั้นแตกต่างกันไปตามพืชที่ปลูกได้ในบริเวณนั้น เช่น ในยุโรปจะนิยมใช้น้ำมันจากเมล็ดเรป (Rapeseed) หรือจะเป็นน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (Sunflower Oil) มากกว่า ในสหรัฐอเมริกาจะใช้น้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ ส่วนในประเทศไทยก็มีวัตถุดิบหลากหลายชนิด เช่น น้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง

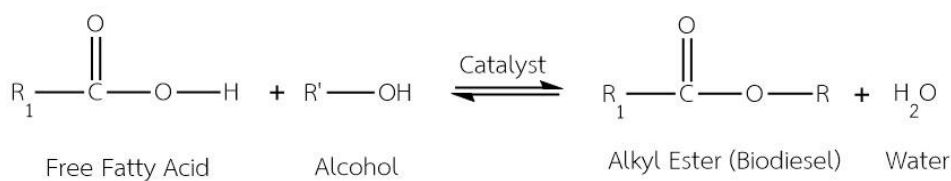
โรงงานผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กแบบชุมชนจะใช้น้ำมันพืชหรือน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ แต่เนื่องด้วยราคาที่สูงขึ้นของน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อการผลิตไบโอดีเซลในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นการใช้น้ำมันปาล์มที่มีปริมาณสำรองที่มากเกินไปจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทย

กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจะผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) หรือน้ำมันปาล์ม ดังรูปที่ 2.1 หรือปฏิกิริยาเอสเทอร์ิฟิเคชัน (Esterification) ของกรดไขมัน (Free fatty acid) ดังรูปที่ 2.2 [8] โดยไบโอดีเซลที่

ได้จากน้ำมันปาล์มดิบจะมีสีแดงเข้มและมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เพียงแต่มีความหนืดมากกว่าและมีค่าความร้อนต่อหน่วยที่ต่ำกว่า ไบโอดีเซลสามารถนำไปใช้งานโดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซล แต่ควรตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซลให้ได้ตามมาตรฐาน การนำไบโอดีเซลไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้งานเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ซึ่งจะช่วยลดสมรรถภาพการละลาย ความหนืด และการกัดกร่อนของไบโอดีเซล (B100) ลงได้ โดยมีการรายงานไว้ในต่างประเทศผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 20 ต่อ 80 หรือเรียกว่า B20 จะสามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อเครื่องยนต์ จะเห็นว่าประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ไบโอดีเซลมีมากมาย ทั้งลดการนำเข้าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมและสร้างเสถียรภาพทางด้านพลังงานให้แก่ประเทศสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนโดยการเพิ่มมูลค่าพืชผลทางการเกษตรให้มากขึ้น [9]



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

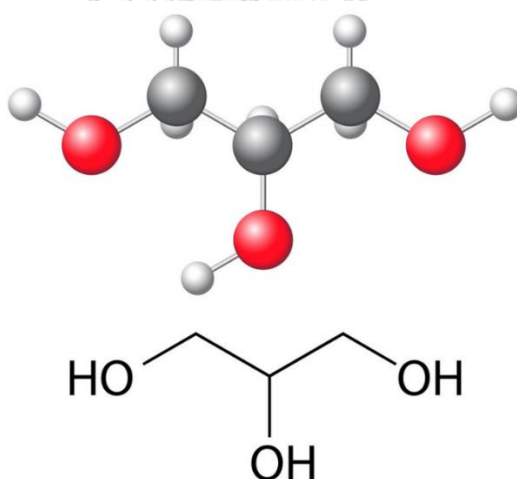


รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมัน

เนื่องจากความต้องการใช้ไบโอดีเซลที่สูงขึ้น ผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลซึ่งก็คือกลีเซอรอล (Glycerol) ก็สูงขึ้นตามไปด้วย โดยกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 10-20 ของปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ [10]-[11] ส่งผลให้เกิดภาวะกลีเซอรอลล้นตลาด ดังนั้นในเชิงเศรษฐกิจจึงจะต้องทำการเปลี่ยนกลีเซอรอลให้เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีมูลค่าทางการตลาดที่สูงขึ้น เช่นนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เชื้อเพลิง พลาสติก เครื่องสำอาง [12]

2.2 กlycerol

glycerol หรือรู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า glycerine (Glycerin) โดยมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก คือคำว่า glykys ซึ่งแปลว่า ความหวาน ดังลักษณะของ glycerol ที่เหลวใส หนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ และมีรสชาติหวานเล็กน้อย glycerol จัดเป็นสารจำพวก polyhydric alcohol (Polyhydric alcohol) คือแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าสามหมู่ สูตรโมเลกุลของ glycerol คือ $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 92.09 กรัมต่อโมล และมีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-propanetriol จากภาพโครงสร้างของ glycerol ดังแสดงในรูปที่ 2.3 พบว่า glycerol ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจน (H-bond) กับน้ำ (H_2O) ได้ ทำให้ glycerol มีสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี จากการที่ glycerol เป็นเคมีภัณฑ์ที่ไม่มีพิษ และมีสมบัติให้ความชุ่มชื้นคล้ายกับมอยส์เจอร์ ดังนั้นจึงนิยมนำไปเป็นวัตถุดิบหลักในการทำสบู่ ยาสระผม ครีมบำรุง เครื่องสำอาง เป็นต้น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ glycerol [13]

2.2.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของ glycerol

สำหรับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ glycerol แสดงในตารางที่ 2.3 พบว่า glycerol ละลายได้ดีทั้งในน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล รวมทั้ง ฟีนอล และสารประกอบที่เป็นเฮเทอโรไซคลิก ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และไดออกเซน ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรเจน เช่น คลอโรฟอร์ม เป็นต้น ดังนั้นการที่ glycerol ละลายได้

ในสารหลายประเภท จึงถูกใช้เป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอาง เป็นต้น [14]

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกลีเซอรอล [15]

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	ข้อมูล
สูตรทางเคมี	$\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$ หรือ $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
น้ำหนักโมเลกุล	92.09 g/mol
สถานะและสี	ของเหลว ไม่มีสี
ความถ่วงจำเพาะ	1.2605
ค่าดัชนีหักเหแสง	1.4746
จุดหลอมเหลว	17.9 °C
จุดเดือด	290 °C
สมบัติการละลายใน 100 ส่วน	
น้ำ	ละลายดีมาก
แอลกอฮอล์	ละลายดีมาก
อีเทอร์	ไม่ละลาย
ความร้อนของการหลอมเหลวที่ 18.07 °C	47.49 cal/g
ความหนืดของกลีเซอรอลเหลวที่	
ความบริสุทธิ์ 100%	100 cP
ความบริสุทธิ์ 50%	25 cP
การแพร่กระจายใน	
i-Amyl alcohol	$0.12 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
เอทานอล	$0.56 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
น้ำ	$0.94 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$

2.2.2 การสังเคราะห์กลีเซอรอล

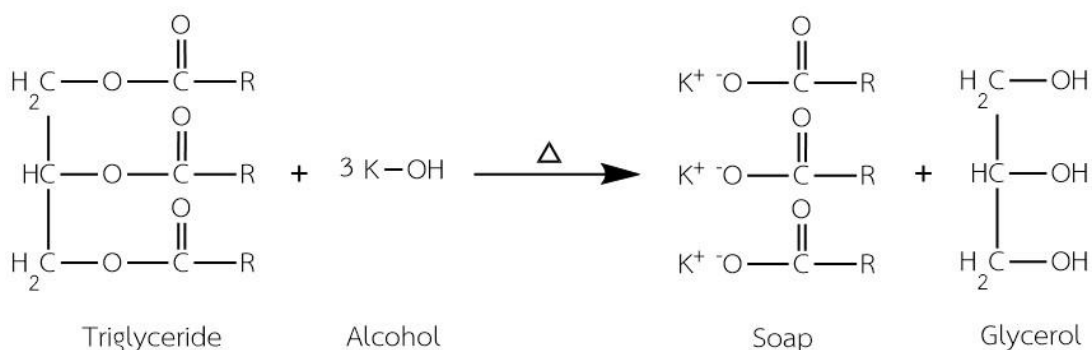
ในปัจจุบันกระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรอลจะใช้ปฏิกิริยาหลัก ๆ ดังนี้ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์หรือขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลนั่นเอง ส่วนการผลิตสบู่มักจะใช้ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ทำให้ได้กลีเซอรอลเช่นเดียวกัน และอีกปฏิกิริยาหนึ่งคือปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยน้ำหรือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันพืชหรือไขมัน [12]

2.2.2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมันพืช (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) ได้ผลิตภัณฑ์เป็น เอสเทอร์และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็น ผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 2.1

2.2.2.2 ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (Saponification)

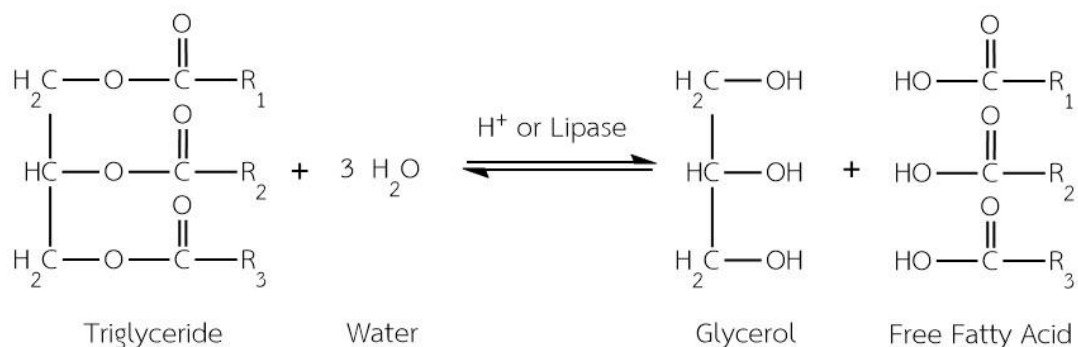
เป็นปฏิกิริยาของลิพิด (lipid) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ถูกสลายพันธะเอสเทอร์ด้วยด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะได้กลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมัน หรือสบู่ (soap) สบู่ที่เกิดขึ้นนี้มีสมบัติละลายในน้ำได้



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ [16]

2.2.2.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันหรือน้ำมันเกิดขึ้นได้ทั้งในภาวะกรดและเบส เมื่อทำการไฮโดรไลซิสไขมันหรือน้ำมันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้กลีเซอรอล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ในการย่อยอาหารพวกไขมันก็จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเช่นเดียวกันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการทั่วไปของการไฮโดรไลซิสไขมันหรือน้ำมันโดยใช้กรดหรือเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมัน [16]

2.2.3 ก्लीเซอรอลดิบ

ในอดีตก्लीเซอรอลส่วนใหญ่ผลิตจากการทำสบู่ แต่เนื่องจากปัญหาราคาน้ำมันดิบที่มีมูลค่าสูงขึ้น ทำให้มีการหาแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ หนึ่งในนั้นคือการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจากตารางที่ 2.4 พบว่าในปี พ.ศ. 2535 ปริมาณการผลิตก्लीเซอรอลส่วนใหญ่มาจากสบู่และกรดไขมัน และยังไม่มีรายงานของผลผลิตก्लीเซอรอลจากอุตสาหกรรมไบโอดีเซล ต่อมาในปี พ.ศ. 2538 เริ่มมีการผลิตก्लीเซอรอลจากไบโอดีเซลในปริมาณเล็กน้อย ในปี พ.ศ. 2553 ผลผลิตก्लीเซอรอลจากอุตสาหกรรมไบโอดีเซลมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการผลิตก्लीเซอรอลจากสบู่และกรดไขมัน ในการผลิตไบโอดีเซลประมาณ 200 ตันต่อวัน จะเกิดก्लीเซอรอลดิบที่เป็นผลพลอยได้จำนวนมากถึง 14-16 ตันต่อวัน ก्लीเซอรอลดิบที่ได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง โรงงานที่มีการผลิตไบโอดีเซล จึงจำเป็นต้องกำจัดทิ้งในฐานะที่เป็นของเสีย [17-18] ดังนั้นหากมีการนำก्लीเซอรอลเหล่านี้มาบำบัดให้มีความบริสุทธิ์เพียงพอ จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้ก्लीเซอรอลสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการผลิตกลีเซอรอลจากแหล่งต่าง ๆ ในแต่ละปี [19]

แหล่งกลีเซอรอล	ปริมาณการผลิตกลีเซอรอลของโลก ($\times 10^3$ ตันต่อปี)							
	2535	2538	2542	2546	2548	2549	2551	2553
สบู่	208	208	198	188	167	146	125	83
กรดไขมัน	271	292	313	333	396	438	479	521
ไบโอดีเซล	0	42	42	167	375	521	1125	1583
แอลกอฮอล์ไขมัน	83	104	125	104	125	167	250	250
การสังเคราะห์	83	83	63	63	21	0	0	0
อื่น	0	0	42	63	42	0	21	21
ปริมาณรวม	646	729	781	917	1125	1271	2000	2458

2.2.4 ลักษณะและองค์ประกอบของกลีเซอรอลดิบ

กลีเซอรอลและกลีเซอริน ถือว่าเป็นสารเดียวกัน แต่ผู้คนมักจะนิยมเรียกชื่อว่า กลีเซอริน มากกว่า โดยในเชิงพาณิชย์กลีเซอรินจะใช้เรียก กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 95 ดังนั้น จำเป็นที่มาของคำว่า กลีเซอรอลดิบ ที่อาจจะเกิดจากผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยลักษณะทางกายภาพส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้ม มีสถานะกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีการปนเปื้อนสิ่งต่าง ๆ เช่น น้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา เถ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ จากตารางที่ 2.5 แสดง องค์ประกอบของกลีเซอรอลดิบจาก บริษัท บางจากไบโอฟูเอล จำกัด

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของกลีเซอรอลดิบจาก บริษัท บางจากไบโอฟูเอล จำกัด

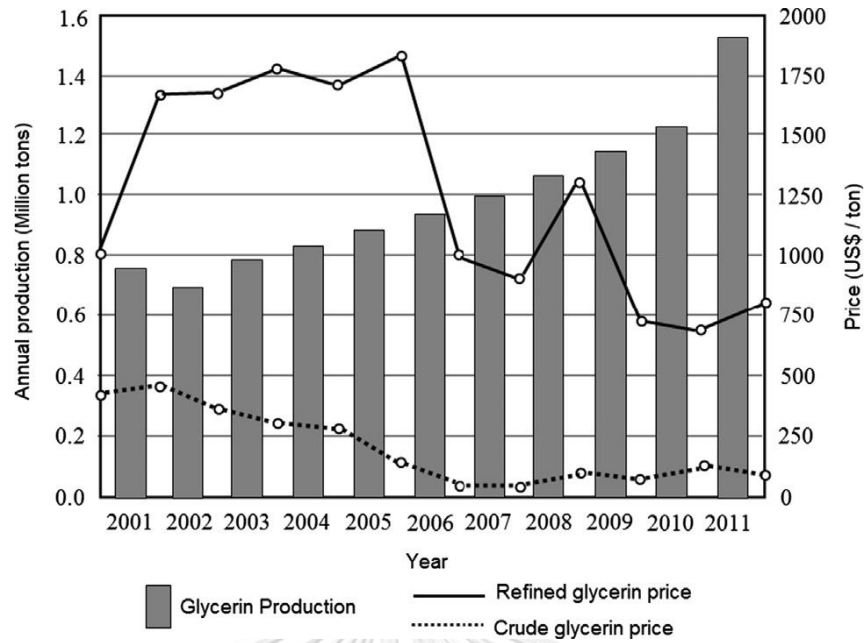
องค์ประกอบ	หน่วย	วิธีทดสอบ	ข้อกำหนด	ผลที่ได้
ปริมาณกลีเซอรอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D7637	ขั้นต่ำที่สุด 80	81.95
ปริมาณเมทานอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	EN 14110-03	มากที่สุด 0.5	0.009
ปริมาณน้ำ (ความชื้น)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	EN ISO 12937-00	-	12.63
ความหนาแน่น ที่	กรัมต่อลูกบาศก์	Digital Density	-	1.25
อุณหภูมิ 30 °C	เมตร	Meter	-	-
ปริมาณเกลือ (NaCl)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	In-house	มากที่สุด 7	3.14
เถ้า	ร้อยละโดยน้ำหนัก	In-house	-	1.21
MONG	ร้อยละโดยน้ำหนัก	Calculation	มากที่สุด 2	1.07
pH	-	pH meter	-	5.55

* MONG คือ มอนอกลีเซอไรด์

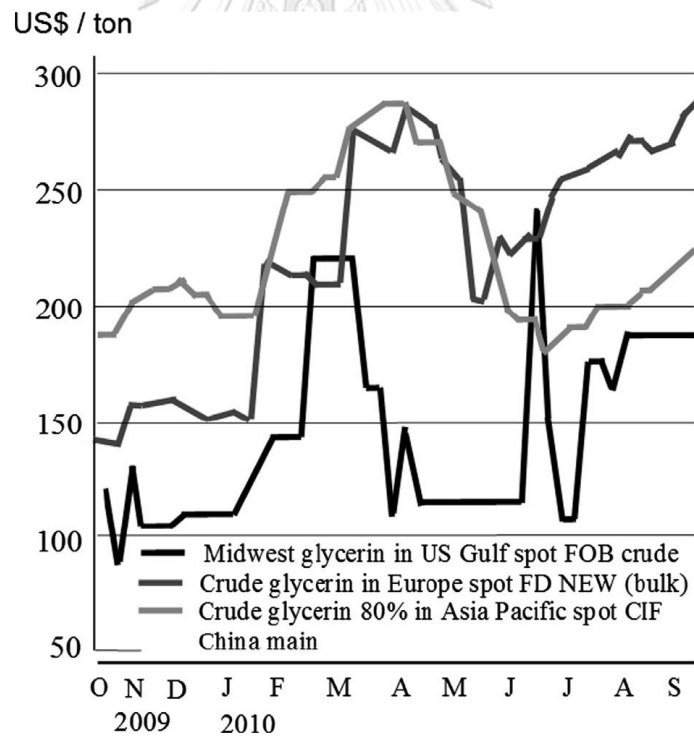
2.2.5 การผลิตและการตลาดของกลีเซอรอล

เนื่องจากสหภาพยุโรปได้ส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ในเครื่องยนต์ดีเซล ในเชิงอุตสาหกรรมเริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 และพบว่าปริมาณกลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้ก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย ดังจะเห็นได้จากข้อมูลปริมาณการผลิตกลีเซอรอลของโลกที่ได้จากไบโอดีเซลในตารางที่ 2.4 และจากรูปที่ 2.6 แสดงปริมาณกลีเซอรอลที่ผลิตได้ แต่ในทางกลับกันสถิติราคาของทั้งกลีเซอรอลดิบและกลีเซอรอลบริสุทธิ์มีแนวโน้มที่ลดลง และกลีเซอรอลยังเป็นสินค้าที่มีความผันผวนสูงดังจะเห็นได้ในรูปที่ 2.7

ความต้องการกลีเซอรินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องราว 11-13% ทั้งโลก ทั้งในรูปแบบกลีเซอรอล บริสุทธิ์ และผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ใช้กลีเซอรอลเป็นส่วนผสมในการผลิต ทั้งนี้ จีนเป็นตลาดส่งออกสำคัญ มีสัดส่วนการนำเข้ากลีเซอรอลสูงเป็นอันดับ 1 ของโลก และกว่า 50% นำเข้าจากอาเซียน เนื่องจากการมีสภาพภูมิอากาศและดินที่ไม่เหมาะสม ทำให้จีนไม่สามารถผลิตน้ำมันปาล์มเองได้ นอกจากนี้ จีนยังเป็นฐานการผลิตของอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นเครื่องสำอาง หรือสินค้าอุปโภคบริโภคต่าง ๆ ทำให้มีความต้องการกลีเซอรอลในภาคอุตสาหกรรมสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกเหนือจากอุตสาหกรรมการผลิตดังกล่าวแล้ว จีนยังใช้กลีเซอรอลเป็นวัตถุดิบในการผลิตสาร Epichlorohydrin (ECH) ซึ่งใช้ในการผลิต epoxy resins สารเคลือบผิวชิ้นส่วนรถยนต์ และอิเล็กทรอนิกส์ ทดแทนการใช้ โพรพิลีนและคลอรีน ซึ่งช่วยลดปริมาณการใช้น้ำ และลดของเสียจากกากตะกอนคลอรีน รวมถึงราคาวัตถุดิบที่ถูกกว่า ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการใช้โพรพิลีนและคลอรีน



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงกำลังการผลิตและราคาของกลีเซอรินทั่วโลก [20]



รูปที่ 2.7 ความผันผวนของราคากลีเซอรอลในตลาดโลก [20]

นอกจากนี้ ยุโรปก็นับเป็นตลาดส่งออกสำคัญอีกแห่งหนึ่ง ด้วยความตระหนักถึงกระแสรักษ์โลกและการใส่ใจดูแลสุขภาพ ทำให้คนในยุโรปนิยมใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และปราศจากสารเคมีปนเปื้อนที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยในบางประเทศมีการห้ามจำหน่ายสบู่ที่ใช้วัตถุดิบของเคมีภัณฑ์ทั่วไปบางชนิด และนำเอาสบู่กลีเซอรอลมาใช้ทดแทน อีกทั้งกลีเซอรอลยังนำไปใช้เป็นส่วนผสมสำคัญในการผลิตยาหลายชนิด เช่น ยาเฉพาะสำหรับรักษาโรคผิวหนัง ยารักษาแผลไฟลวก ซึ่งยุโรปมีสัดส่วนมูลค่าส่งออกยาสูงที่สุดของโลกกว่า 80% ของมูลค่าส่งออกยาทั้งหมด

สำหรับตลาดอาเซียนเองนั้นเนื่องจากมีอัตราการเติบโตของการนำเข้าเครื่องสำอาง และสินค้าอุปโภคบริโภคอย่างสูงมากขึ้น ประกอบกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจและรายได้ต่อหัวที่สูงขึ้น ตลอดจนกระแสรักษ์โลกที่เริ่มเข้ามาในอาเซียน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของเคมีภัณฑ์จากธรรมชาติ หรือที่รู้จักทั่วไปว่า oleochemicals อย่างสบู่กลีเซอรอลมีแนวโน้มเจาะตลาดได้มากขึ้น ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา การนำเข้าเครื่องสำอางและสบู่ในอาเซียนเติบโตอย่างต่อเนื่องราว 4-5% ต่อปี โดยไทยเป็นผู้ส่งออกหลัก และมีอัตราเติบโตเฉลี่ยราว 7% ต่อปี นับเป็นมูลค่าส่งออกกว่าแสนล้านบาท ซึ่งลาวและเมียนมามีอัตราการเติบโตของการนำเข้าสินค้าประเภทนี้จากไทยสูงที่สุดที่ 14% และ 12% ตามลำดับ นับเป็นมูลค่าส่งออกรวมกันกว่า 8.3 พันล้านบาท

ในปี 2015 ไทยมีการส่งออกกลีเซอรอลราว 33 ล้านลิตรต่อปี นับเป็นผู้ส่งออกกลีเซอรอลอันดับ 2 ของอาเซียนรองจากอินโดนีเซีย ซึ่งมีปริมาณส่งออกสูงมากถึง 180 ล้านลิตรต่อปี สูงเป็นอันดับ 2 ของโลก แต่ข้อได้เปรียบหลักของไทยในอุตสาหกรรมนี้ คือความแข็งแกร่งของอุตสาหกรรมตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ ส่งผลให้สามารถควบคุมต้นทุนการผลิตได้ตลอดทั้งสายการผลิต และสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่กลีเซอรอลได้อย่างหลากหลายด้วยการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ซึ่งการแปรรูปนั้นเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับกลีเซอรอลเป็นอย่างมาก โดยมูลค่าจะสูงกว่าการขายกลีเซอรอลดิบถึง 7 เท่า ประกอบกับความมีชื่อเสียงและความแข็งแกร่งของผลิตภัณฑ์แบรนด์ไทยทำให้สามารถดึงดูดผู้ซื้อจากที่ต่าง ๆ ได้ ในทางกลับกัน แม้ว่าอินโดนีเซียจะมีความแข็งแกร่งอย่างมากในอุตสาหกรรมต้นน้ำอย่างการปลูกปาล์มน้ำมัน แต่ทว่าอุตสาหกรรมปลายน้ำในการแปรรูปผลิตภัณฑ์กลับยังไม่ค่อยมีความพร้อมมากนัก ทำให้ต้องส่งออกกลีเซอรอลดิบเป็นหลัก

อย่างไรก็ดี ไทยมีข้อเสียเปรียบอินโดนีเซียในด้านต้นทุนวัตถุดิบน้ำมันปาล์มที่สูงกว่ามาก เนื่องจากมีพื้นที่ในการเพาะปลูกน้อย และผลผลิตต่อไร่ต่ำ ทำให้ต้นทุนต่อหน่วยสูงกว่า ดังนั้น ถ้าหากไทยสามารถเพิ่มผลผลิตต่อไร่ของการผลิตน้ำมันปาล์มในพื้นที่ที่จำกัดให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องตาม

แผนพัฒนาพลังงานทางเลือกของไทยฉบับล่าสุดที่ตั้งเป้าหมายว่าในปี 2026 จะผลิตไบโอดีเซลให้ได้ 10 ล้านลิตรต่อวัน ก็จะทำให้มีกลีเซอรอลผลิตออกมาได้กว่า 1 ล้านลิตรต่อวัน (การผลิตไบโอดีเซลทุก ๆ 10 ลิตร จะได้กลีเซอรอลประมาณ 1 ลิตร หรือราว 10%) อาจจะทำให้ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยต่ำลง ประกอบกับความได้เปรียบจากความแข็งแกร่งของอุตสาหกรรมตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ จะส่งผลให้ไทยสามารถแข่งขันกับผู้เล่นหลักในภูมิภาคอย่างอินโดนีเซียที่ปัจจุบันส่งออกกลีเซอรอลอยู่ที่ 5 แสนลิตรต่อวันได้

ในอนาคตมีโอกาสสูงที่ไทยจะก้าวเข้ามาเป็นผู้ส่งออกกลีเซอรอลดิบและกลีเซอรอลในรูปแบบผลิตภัณฑ์แปรรูป รายหลักในภูมิภาคอาเซียน เนื่องจากแผนพัฒนาพลังงานทางเลือกของไทยปีล่าสุด สนับสนุนให้มีความต้องการใช้ไบโอดีเซลและการผลิตที่สูงขึ้น ก็จะทำให้มีกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลออกมามากเช่นกัน ประกอบกับนโยบายส่งเสริมจากภาครัฐที่ผลักดันให้ไทยเป็นศูนย์กลางของอุตสาหกรรมเครื่องสำอางเพราะไทยมีความพร้อมของอุตสาหกรรมตั้งแต่ต้นน้ำไปถึงปลายน้ำ ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้น กลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลเป็นสินค้าที่สามารถส่งออก และสามารถพัฒนาให้เป็นสินค้าอนุพันธ์ของกลีเซอรอล เพื่อให้มีมูลค่าทางการค้ามากขึ้น [21]

2.2.6 ทางเลือกสำหรับการใช้กลีเซอรอล

แนวทางการใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอลดิบเพื่อเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอล และช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ และการนำกลีเซอรอลดิบไปแปลงเป็นวัตถุดิบอื่นที่มีประโยชน์ ซึ่งเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอลดิบ โดยปกติกลีเซอรอลบริสุทธิ์ (99.5%) จะถูกใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมยา และเครื่องสำอาง เนื่องจากกลีเซอรอลมีจุดเดือดสูงถึง 290 องศาเซลเซียส การแยกกลีเซอรอลเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ตามต้องการโดยการกลั่นที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ กลีเซอรอลเกิดการสลายตัวไปเป็นสารชนิดอื่น [10]

ปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำกลีเซอรอลดิบไปแปรรูปเป็นสารอื่นที่มีมูลค่าเพิ่ม เช่น นำไปใช้ในกระบวนการผลิตสาร 1,3-Propanediol ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยผ่านวิธีการหมักโดยใช้แบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีการนำกลีเซอรอลดิบไปใช้ในกระบวนการผลิตสาร Docosahexenoic acid (DHA หรือ Omega-3) ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ ช่วยต่อต้านโรคมะเร็ง การนำกลีเซอรอลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงก็เป็น

วิธีการหนึ่งที่น่ากลีเซอรอลไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามกลีเซอรอลที่นำไปเผาไหม้ที่ความร้อนโดยตรงนั้นจะสลายตัวได้สารพิษขึ้นมาชนิดหนึ่ง ได้แก่ อะโครลีน (Acrolein) ซึ่งมีพิษอย่างมากต่อร่างกายมนุษย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบการเผาไหม้ให้ดีเพื่อป้องกันไม่ให้สารพิษกระจายสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาพบว่า กลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นที่มีประสิทธิภาพชนิดหนึ่งในการนำไปใช้ในการผลิตไฮโดรเจน [22]

โดยในงานวิจัยนี้สนใจการเลือกใช้กลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นอนุพันธ์ของกลีเซอรอลที่ชื่อว่า มอนอกลิเซอไรด์ (Monoglyceride) โดยกระบวนการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ในอุตสาหกรรม มีการสังเคราะห์ทั้งในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์แบตช์และแบบต่อเนื่อง โดยมอนอกลิเซอไรด์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจะมีอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 40-60 โดยมวล ผ่านทั้งปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมัน สำหรับการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ที่มีความบริสุทธิ์สูงต้องผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วนก่อน โดยมีความบริสุทธิ์ของมอนอกลิเซอไรด์ร้อยละ 90 โดยมวล [23]

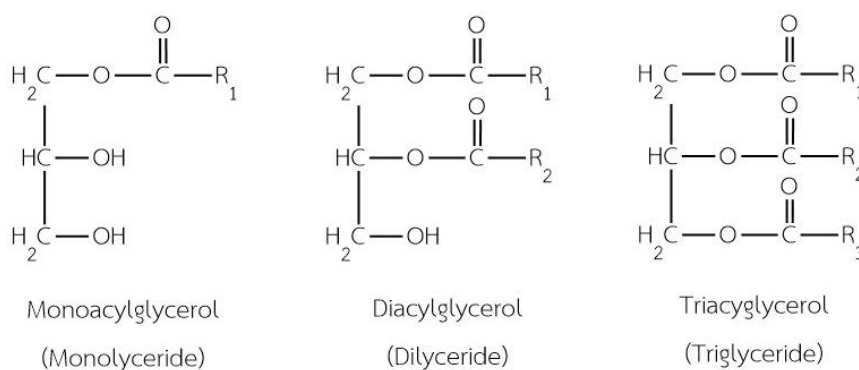
2.3 มอนอกลิเซอไรด์

มอนอกลิเซอไรด์ (Monoglyceride, MG) หรือมอนอเอซิลกลีเซอรอล (Monoacylglycerol) เป็นหนึ่งในอนุพันธ์ของ เอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol) หรือไขมันเป็นกลาง ซึ่งเป็นสารกลุ่มเอสเทอร์ระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์กลีเซอรอล ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อ พบได้ทั่วไปในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เอซิลกลีเซอรอลแบ่งออกเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerol) หรือไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride, TG) ไดเอซิลกลีเซอรอล (Diacylglycerol) หรือไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride, DG) และมอนอเอซิลกลีเซอรอลหรือมอนอกลิเซอไรด์

โดยโครงสร้างของมอนอกลิเซอไรด์มีกรดไขมันหนึ่งโมเลกุลต่อกับกลีเซอรอลหนึ่งโมเลกุล และมีหมู่ไฮดรอกซิลวางอยู่สองตำแหน่งของกลีเซอรอล มอนอกลิเซอไรด์มีสมบัติที่สามารถละลายได้ทั้งสารที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยสารที่ไม่มีขั้วจะเกิดพันธะเคมีในสวนโมเลกุลของกรดไขมัน และสารที่มีขั้วจะเกิดพันธะเคมีกับส่วนของหมู่ไฮดรอกซิล ด้วยเหตุนี้ทำให้มอนอกลิเซอไรด์มีสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ โดยเมื่อพิจารณาค่า HLB (Hydrophilic-Lipophilic Balance) มีค่าเท่ากับ 3.8 โดยค่า HLB หมายถึงสัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน โดยคิดเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนัก (%w/w) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 20 โดยมอนอกลิเซอไรด์มีค่า HLB อยู่ในช่วง 3 ถึง 6 เป็นการแสดงถึง

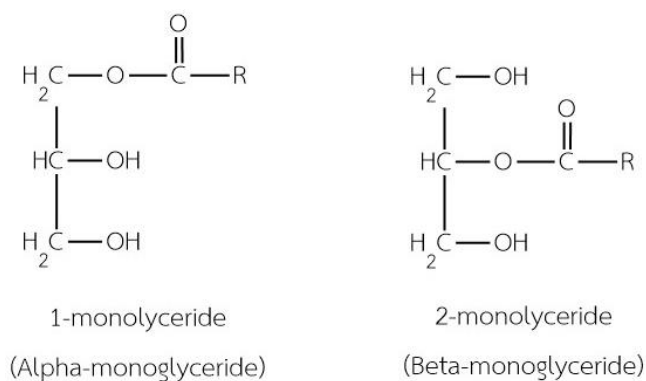
อิมัลซิไฟเออร์ชนิด น้ำ-ใน-น้ำมัน (Oil-in-Water Emulsifier) และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของมอนอกลิเซอไรด์จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าไดกลิเซอไรด์

มอนอกลิเซอไรด์เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่สำคัญและใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอางชนิดต่าง ๆ ปริมาณการใช้มอนอกลิเซอไรด์และไดกลิเซอไรด์มีมากถึงร้อยละ 70 ของอิมัลซิไฟเออร์ที่ผลิตอยู่ทั้งหมด ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารมอนอกลิเซอไรด์จึงถูกนำมาใช้เพื่อลดการสูญเสียน้ำในวัตถุดิบ



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol)

มอนอกลิเซอไรด์มีโครงสร้างอยู่ 2 ไอโซเมอร์ คือ แอลฟามอนอกลิเซอไรด์ (Alpha-monoglyceride หรือ 1-monoglyceride) และเบตามอนอกลิเซอไรด์ (Beta-monoglyceride หรือ 2-monoglyceride) โดยแตกต่างกันที่ตำแหน่งของกรดไขมันที่เกาะอยู่บนโมเลกุลของกลีเซอรอลดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยแอลฟามอนอกลิเซอไรด์จะมีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีกว่าเบตามอนอกลิเซอไรด์ อีกทั้งในการสังเคราะห์มอนอกลิเซอไรด์โดยทั่วไป จะได้สัดส่วนของแอลฟามอนอกลิเซอไรด์ที่มากกว่า



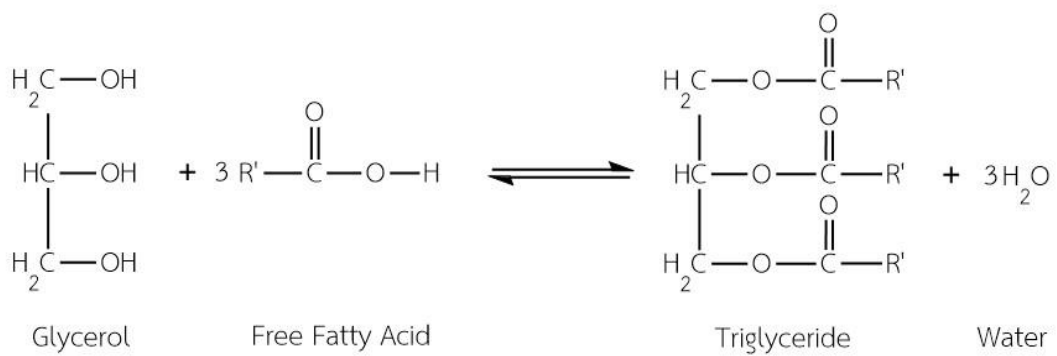
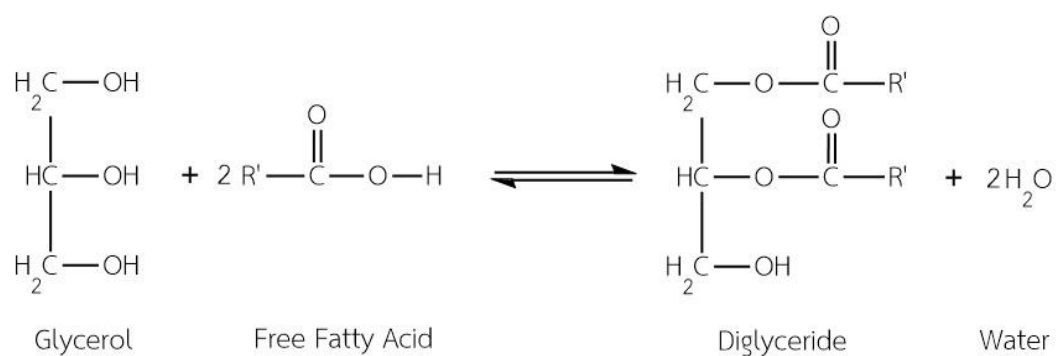
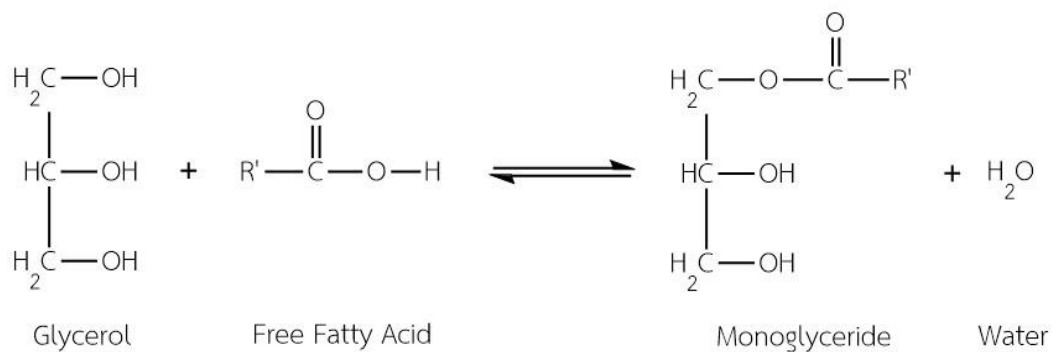
รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของมอนอกลิเซอไรด์ทั้งสองไอโซเมอร์ [24]

2.3.1 ปฏิบัติการสังเคราะห์มอนอกลิเซอไรด์

2.3.1.1 ปฏิบัติการเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตรง (Direct Esterification)

ปฏิบัติการเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตรงด้วยกลีเซอรอล เป็นปฏิบัติการที่กลีเซอรอลทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เช่น กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) ซีโอไลต์ (Zeolite) อีกทั้งปฏิบัติการเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยกลีเซอรอลสามารถเกิดขึ้นได้เองโดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์จะใช้อุณหภูมิที่สูงและเวลาในการเกิดที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่นาน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ที่เข้ม และนอกจากนี้อาจจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ก็คือ ปฏิบัติการกลีเซอโรไลซิสควบคู่กันไปด้วย จึงทำให้ควบคุมการเกิดปฏิกิริยายากขึ้น [25]

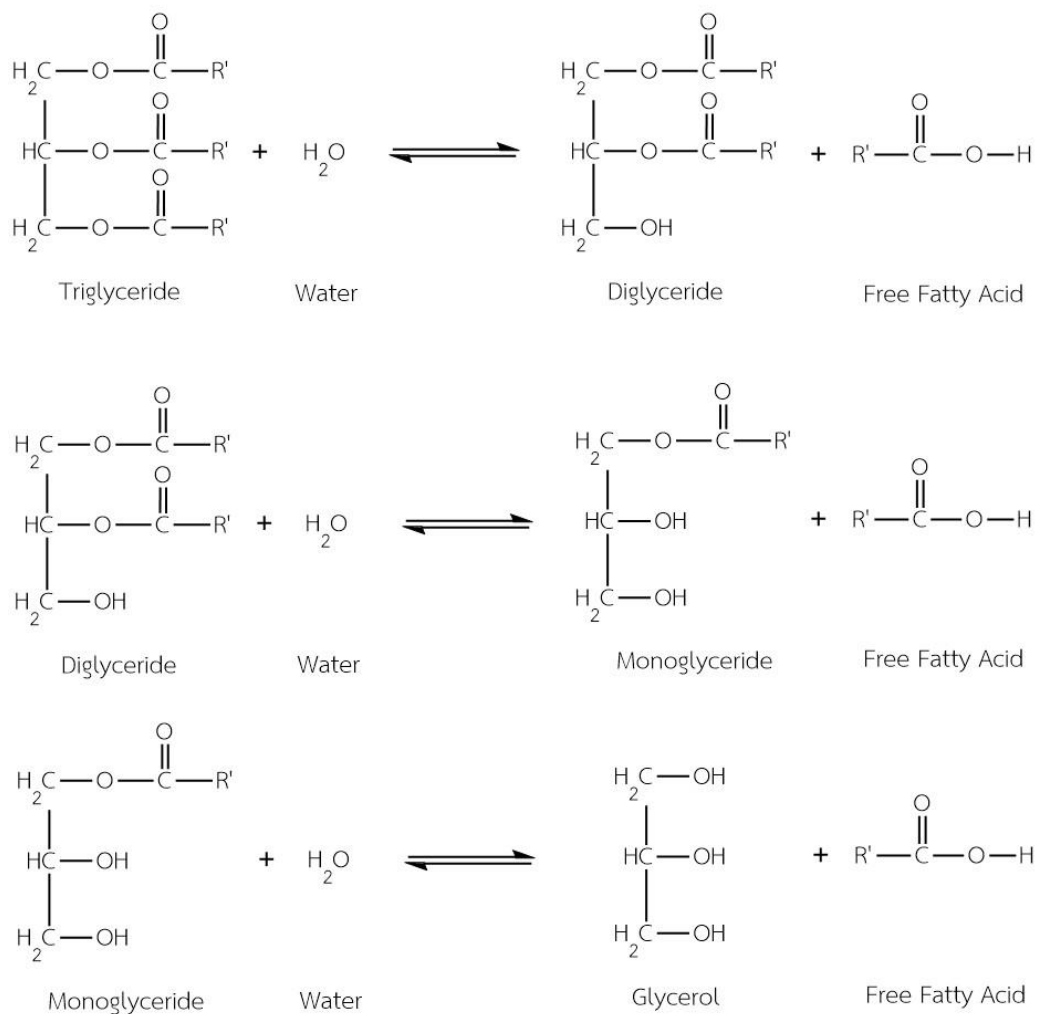




รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยตรงด้วยกลีเซอรอล (Direct Esterification)

2.3.1.2 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Hydrolysis of Triglyceride)

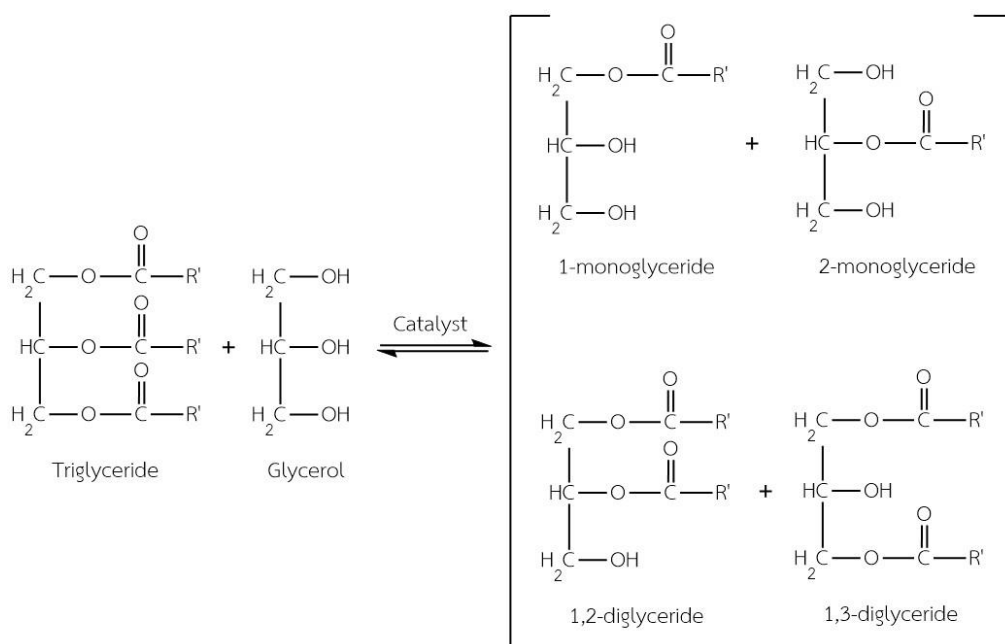
เป็นปฏิกิริยาที่น้ำเข้าไปสลายพันธะตรงตำแหน่งหมู่เอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล และกรดไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ยกตัวอย่างปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันพืช ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะสองชนิดบนตัวรองรับตัวเดียวกัน (Double-metal cyanide) พบว่าได้มอนอกลิเซอไรด์เพียงร้อยละ 14 โดยมวล แต่ผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะเป็นกรดไขมันถึงร้อยละ 50 โดยมวล [26] เนื่องจากยากที่จะควบคุมปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เพราะน้ำเข้าไปสลายตัวตรงพันธะของหมู่เอสเทอร์ได้อย่างรวดเร็ว จากงานวิจัยที่กล่าวมาทำให้เห็นว่าไม่เหมาะสมที่จะผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Hydrolysis of triglyceride)

2.3.1.3 ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Glycerolysis of Triglyceride)

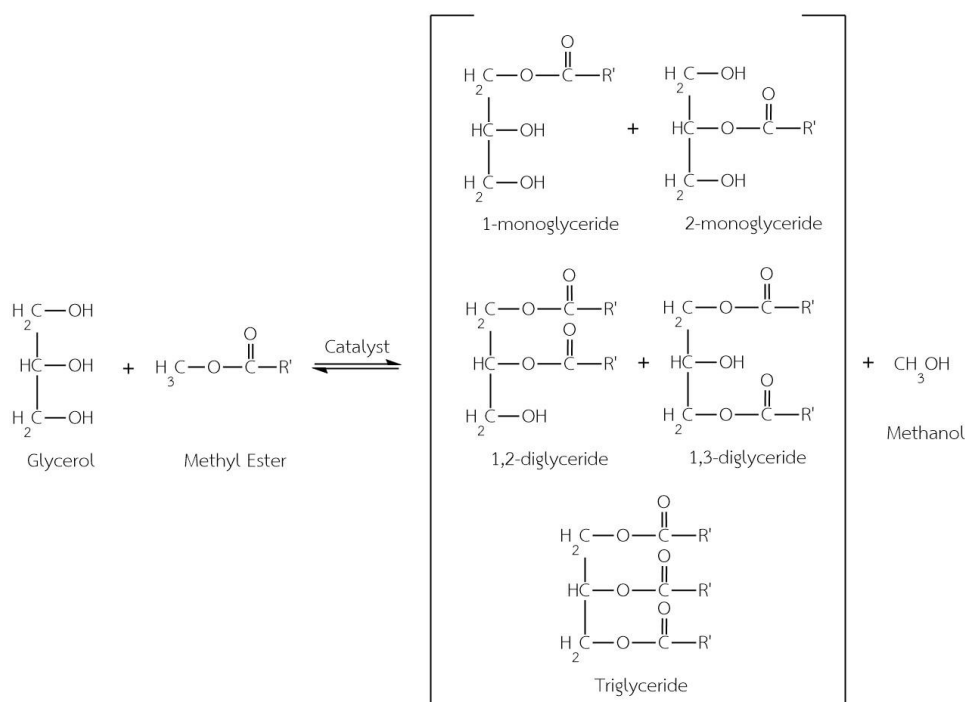
เป็นปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับไตรกลีเซอไรด์ ได้ผลิตภัณฑ์ผสมระหว่างมอนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เช่น โซเดียมเมทอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมอยู่ในกลีเซอรอลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [27] และมีงานวิจัยที่ใช้เอนไซม์ไลเปสและโพรเพนเหลวเป็นตัวช่วยทำละลาย [28] เป็นต้น



รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (Glycerolysis of triglyceride)

2.3.1.4 ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของเมทิลเอสเทอร์ (Glycerolysis of Methyl Esters)

เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยมีกลีเซอรอลและเมทิลเอสเทอร์เป็นสารตั้งต้น ดังรูปที่ 2.13 ปฏิกิริยานี้เป็นที่นิยมในการสังเคราะห์มอนอกลิเซอไรด์เพราะใช้เวลาการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยตรง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์

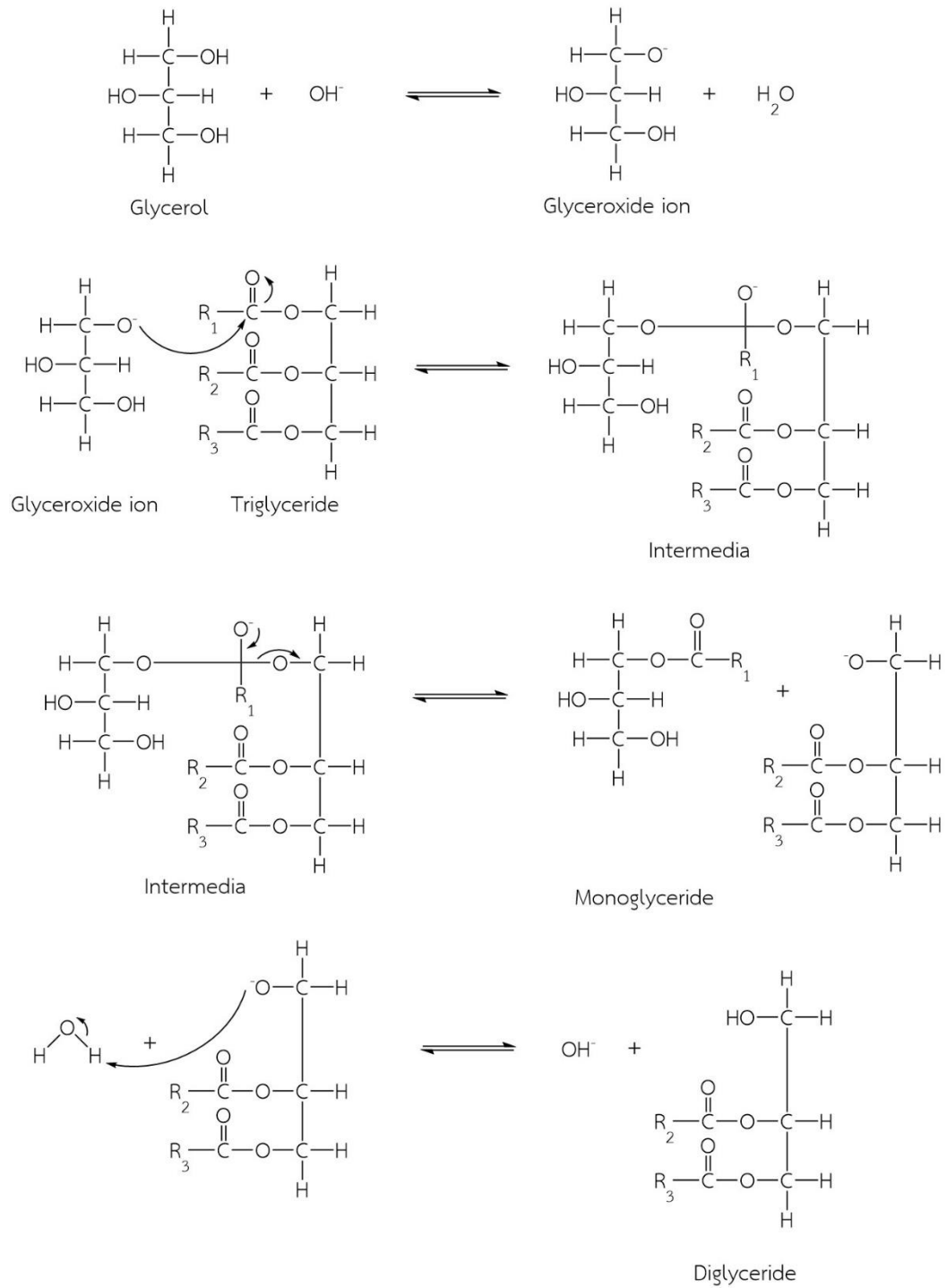


รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของเมทิลเอสเทอร์ (Glycerolysis of Methyl Esters)

2.3.2 การผลิตมอนอกลิเซอไรด์

2.3.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) ในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์

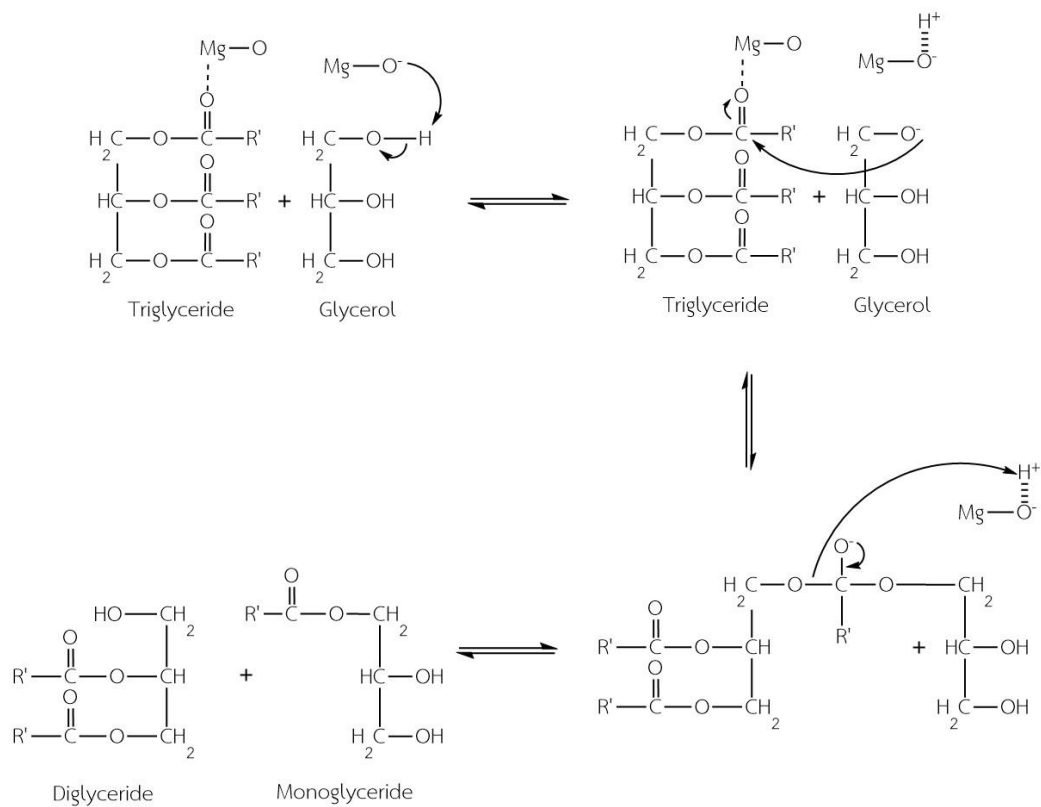
ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบดั้งเดิมที่ใช้ในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสแก่ เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ บางครั้งอาจจะใช้เป็นเกลือโซเดียม เช่น NaOC₂H₅ NaOC₂H₉ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ จะเกิดสารประกอบที่ชื่อว่า โซเดียมกลีเซอไรด์ (Sodium glyceroxide) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสนี้ โดยแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กลไกการเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ [29]

2.3.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalyst) ในปฏิกิริยา กลีเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์

ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ที่ใช้ในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มเมทัลออกไซด์ (Metal oxide) ในกลุ่มแอลคาไลน์เอิร์ทออกไซด์ (Alkaline earth oxide) เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มนี้คือ สามารถแยกแหว่งระหว่างผลิตภัณฑ์กับตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่ายและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ข้อพิจารณาคือ มีอายุการใช้งานที่สั้น โดยแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวแมกนีเซียมออกไซด์ ดังในรูปที่ 2.15 [30]- [31]



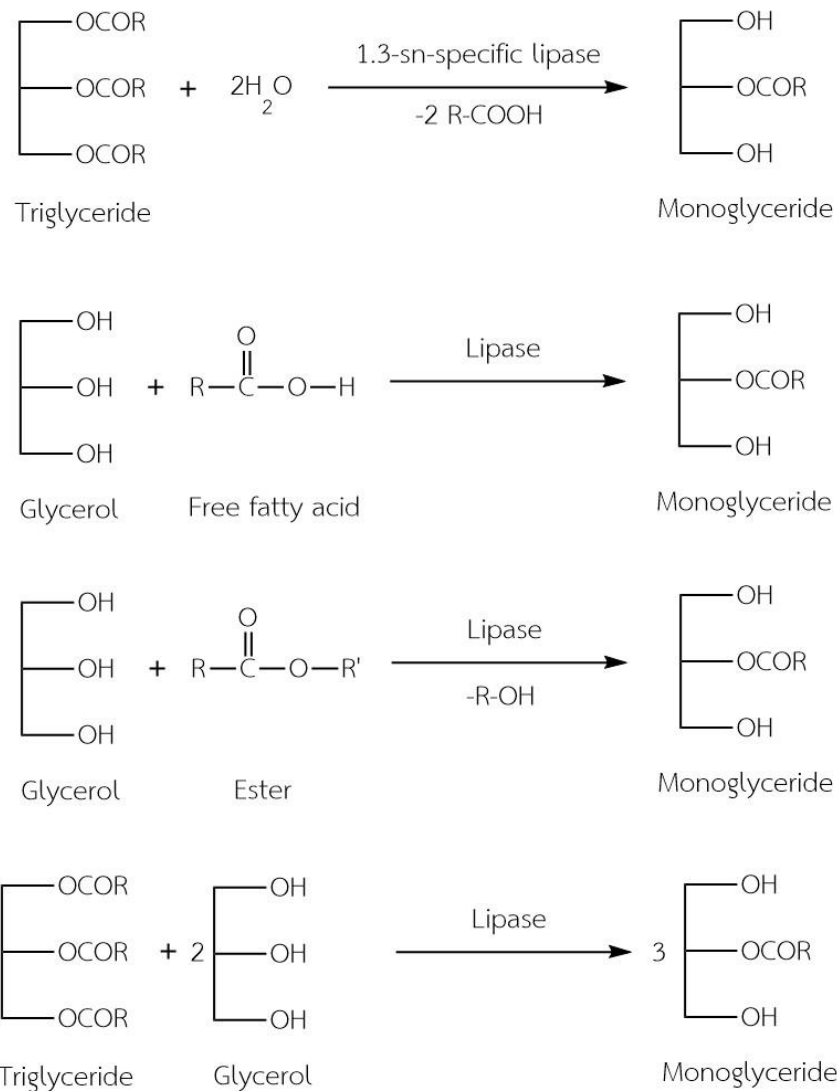
รูปที่ 2.15 กลไกการเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

[30]

2.3.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเอนไซม์ (Enzyme catalyst)

การผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยใช้ไตรกลีเซอไรด์เป็นสารตั้งต้น โดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะนิยมใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipase) และได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ มีงานวิจัยที่ศึกษาปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที อัตราส่วนกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 7 ต่อ 1 พบว่าได้ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์อยู่ที่ร้อยละ 100 โดยโมล [32] แต่เนื่องจากการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะยากต่อการควบคุมการดำเนินไปของปฏิกิริยา เพราะภาวะที่ใช้เกิดปฏิกิริยาจะต้องเหมาะสมและเฉพาะเจาะจงกับเอนไซม์นั้น ๆ และที่สำคัญอัตราการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น ดังนั้นในเชิงอุตสาหกรรมจะยังไม่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ [30] โดยกลไกการผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยใช้เอนไซม์ไลเปสแสดงดังรูปที่ 2.16





รูปที่ 2.16 การผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [33]

2.3.2.4 กลีเซอโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (ใช้ตัวทำละลาย)

ปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่มีการเติมตัวทำละลายลงไปเพื่อช่วยลดความหนืดของสารตั้งต้น (กลีเซอรอลและไตรกลีเซอไรด์) [3] เนื่องจากการใช้ตัวทำละลายเช่น เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล เป็นสารที่มีขั้วต่ำและสามารถละลายในน้ำมันพืชได้ดีที่ อุณหภูมิห้อง [34] โดยตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบผลจากงานวิจัยที่ศึกษาการผลิต มอนอกลิเซอไรด์ที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและมีการเติมตัวทำละลายลงไปในปฏิกิริยา

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบผลจากงานวิจัยที่ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและมีการเติมตัวทำละลาย

สารตั้งต้น	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ตัวทำละลาย	ภาวะที่เหมาะสม			%MG	อ้างอิง
			อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr)	อัตราส่วนของน้ำมันต่อกลีเซอรอล		
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	-	Acetone	250	2	1:5	52.0	[4]
ไตรโอลลีน	-	i-propanaol	260	2.5	1:5	67.8	[3]

หมายเหตุ %MG คือ ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์

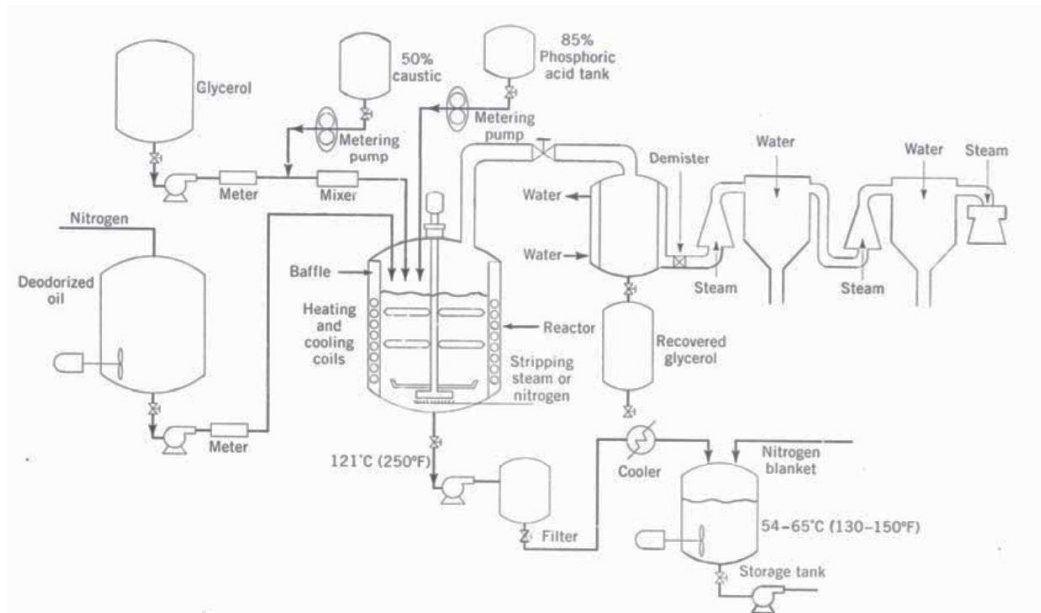
2.3.3 การผลิตมอนอกลิเซอไรด์ในอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ในเชิงอุตสาหกรรม มีการใช้ทั้งเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และแบบต่อเนื่อง โดยร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่ผลิตได้อยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 โดยมวล โดยผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมัน ซึ่งการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ที่มีความบริสุทธิ์จะต้องผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วนก่อนให้มีความบริสุทธิ์อยู่ที่ร้อยละ 90 โดยมวล [23]

2.3.3.1 การสังเคราะห์มอนอกลิเซอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมดควรทำจากสแตนเลส 316L รูปแสดงอย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 2.17 ถังเก็บน้ำมันภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 55 – 60 องศาเซลเซียส จะถูกสูบผ่านมิเตอร์เพื่อวัดปริมาณสารที่ถูกต้อง ก่อนจะส่งไปยังถังปฏิกรณ์ กลีเซอรอลที่เก็บในถังจะถูกสูบผ่านท่อผสมกับ 50 เปอร์เซ็นต์ NaOH ภายในท่อ จากนั้นจะถูกส่งไปยังถังปฏิกรณ์ หลังจากการทำปฏิกิริยาลิ้นสุดลงกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บในถังสแตนเลสจะถูกใช้ เพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสภาพเป็นด่างมีความเป็นกลาง สารที่เข้าไปในถังปฏิกรณ์จะถูกผสมอย่างรวดเร็วด้วยไบพัดผสม ในบางครั้งจะใช้แก๊สไนโตรเจนพ่นจากด้านล่างถึงปฏิกรณ์เพื่อให้การผสมดีขึ้น ภายในถังปฏิกรณ์จะมีท่อด้านข้างที่ภายในเป็นไอน้ำที่มีความร้อนสูงเพื่อให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาและจะมีท่อน้ำสำหรับลดความร้อนของสารหลังทำปฏิกิริยา ด้านข้างภายในถังปฏิกรณ์จะมี Baffle เพื่อป้องกันการเกิดวอร์เทคของสารผสมในขณะกวนผสม ถึงปฏิกรณ์ออกแบบให้สามารถทนต่อสภาพ

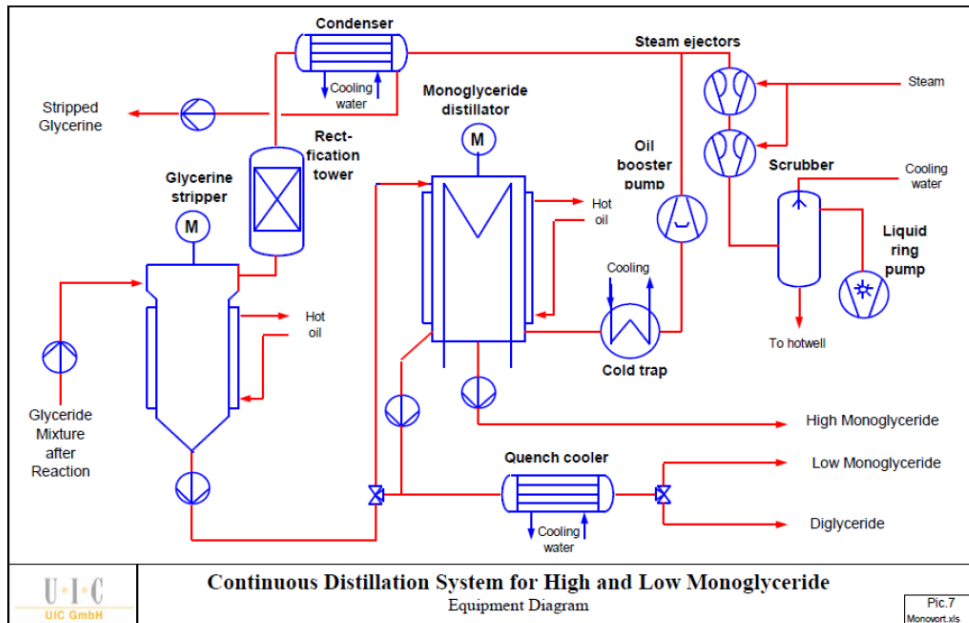
สูญญากาศได้เต็มที่และสามารถทนต่อความดันได้ถึง 75 psig ตัวดักจับไอของสารที่ระเหยจากถังปฏิกรณ์มีด้วยกันถึง 3 เครื่อง ที่ใช้น้ำในการควบแน่นสารให้ควบแน่นตกลงมา กลีเซอรอลที่ควบแน่นออกมาจะตกลงมา ก่อนที่จะถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาอีก สารในถังปฏิกรณ์จะถูกลดความร้อนลงแล้วจึงผ่านการกรอง [35]



รูปที่ 2.17 เครื่องมือที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิสสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

2.3.3.2 การสังเคราะห์หมอนอกไกลเซอไรต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

ในกระบวนการสังเคราะห์หมอนอกไกลเซอไรต์แบบต่อเนื่อง สารผสมจากการทำปฏิกิริยาจะถูกป้อนเข้าเครื่องแยกแก๊ส (Stripping column) กลีเซอรอลจะถูกทำให้ระเหยเป็นไอออกยอดหอ จากนั้นสารผสมที่เหลือจะผ่านกระบวนการกลั่นแยกต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จากน้ำมันด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง [23]

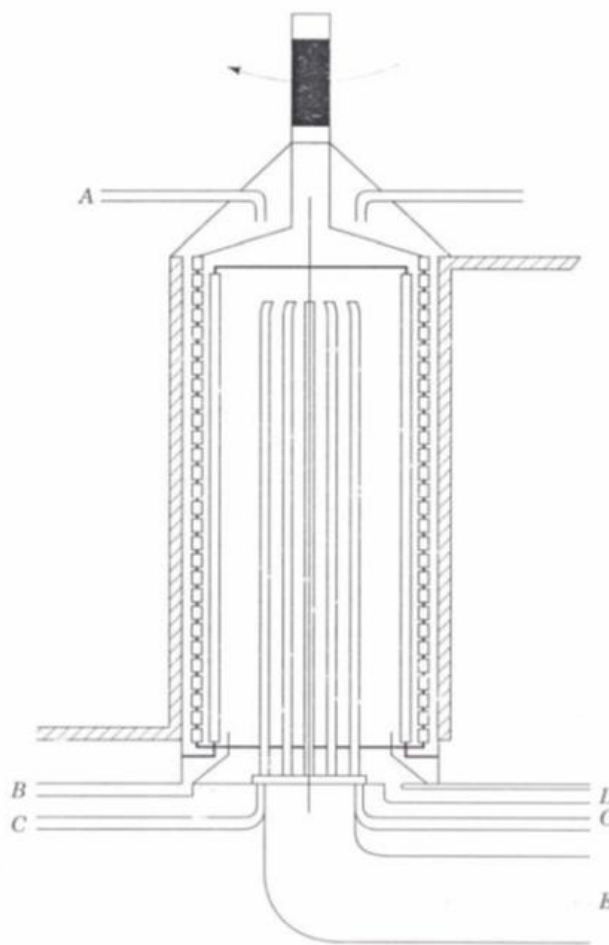
2.3.3.3 การผลิตมอนอกลิเซอไรด์ความเข้มข้นสูง

โดยทั่วไปปริมาณมอนอกลิเซอไรด์ที่ได้หลังทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสจะได้ประมาณร้อยละ 35–50 โดยมีกรณีน้อยมากที่จะได้เปอร์เซ็นต์สูงถึงร้อยละ 55–60 โดยมีมวล และจะมีไตรกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาอยู่ด้วย กรณีที่หลังจากทำปฏิกิริยาแล้วได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ 35 โดยมีมวล จะมีส่วนของไตรกลีเซอไรด์เกิดขึ้นร้อยละ 46–48 โดยมีมวล และส่วนที่เหลือจะเป็นไตรกลีเซอไรด์ หากสามารถทำปฏิกิริยาแล้วได้มอนอกลิเซอไรด์ร้อยละ 50 โดยมีมวล ส่วนที่เหลือก็จะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 40–41 โดยมีมวล และไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 8–10 โดยมีมวล [35]

Arrowsmith และ Ross (1945) มีการใช้ไขมันวัวและกลีเซอรอลทำปฏิกิริยาที่ 210–220 องศาเซลเซียส โดยทำปฏิกิริยาภายใต้คาร์บอนไดออกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประมาณร้อยละ 0.5 โดยมีมวลไขมัน เวลาในการทำปฏิกิริยาจำนวน 3 ชั่วโมง หลังสิ้นสุดปฏิกิริยาต้องทำการลดอุณหภูมิและปล่อยให้กลีเซอรอลแยกชั้นตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกและทำการเก็บส่วนนี้ออกมา ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกทำให้มีสภาพเป็นกลางด้วยการเติมกรดแอสติกลงไป จากนั้นทำการกลั่นโดยใช้อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส และใช้ความดัน 1 มิลลิเมตรปรอทจะทำให้ได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงถึง 87 โดยมีมวลของสารเริ่มต้น [36]

Gooding และ Valteich (1940) ได้อธิบายถึงขั้นตอนการทำให้ได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สุทธิที่สูง โดยการใช้ 450 ส่วนของน้ำมันถั่วลิสงกับ 300 ส่วนของกลีเซอรอลผสมกันและให้ความร้อนที่ 170– 205 องศาเซลเซียส หลังจากให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกจึงเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 16.2 ส่วนลงไป กวนให้สารทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง การทำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 45 มีกลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและสบู่โซเดียมร้อยละ 7 สารหลังทำปฏิกิริยาที่เหลือ 500 ส่วน จะถูกทำให้เป็นกลางด้วย กลีเซอรอล คลอโรไฮดรินที่ 150 องศาเซลเซียส กลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกแยกออกมาอย่างรวดเร็ว โซเดียมคลอไรด์ที่เกิดในกระบวนการทำให้เป็นกลางจะมารวมอยู่ในชั้นของกลีเซอรอลที่แยกชั้นออกมา ในชั้นของเอสเทอร์จะมีกลีเซอรอลเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 27.2 ของกลีเซอรอลทั้งหมดที่ใส่ และมีมอนอกลิเซอไรด์สูงถึงร้อยละ 80 – 82 [37]

ปัจจุบันการผลิตเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของมอนอกลิเซอไรด์ที่สูงขึ้น (มากกว่าร้อยละ 90) ทำได้โดยผ่านกระบวนการ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสจะได้ความเข้มข้นของมอนอกลิเซอไรด์ประมาณร้อยละ 50 สารหลังทำปฏิกิริยาจะถูกทำให้สะอาดขึ้นเพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกมา ขั้นตอนที่ 2 จะทำการแยกสารโดยใช้หลักการหมุนเหวี่ยงด้วย Molecular still ดังรูปที่แสดง 2.19 ใช้อุณหภูมิประมาณ 148.8 องศาเซลเซียส ความดัน 0.001 มิลลิเมตรปรอท



รูปที่ 2.19 ภาพตัดขวางของเครื่อง Molecular distiller [35]

การทำงานของ Molecular distiller หรือ Molecular still มีหลักการทำงานดังนี้ หลังจากสารที่ทำปฏิกิริยาและผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดแล้วจะเข้าสู่เครื่อง Molecular still ทางด้านบน ของเหลวจะไหลผ่านลงมาที่มีลักษณะคล้ายฟิล์มบาง ๆ ภายในเครื่องแยก การแยกจะใช้ความร้อนจากผนังด้านข้างตลอดความยาวตามแนวตั้งของเครื่องและรักษาความดันให้น้อยกว่า 0.001 มิลลิเมตรปรอท

โดยของเหลวจากท่อ A ทางด้านบนของเครื่องจะไหลลงผ่านช่องว่างที่มีผนังให้ความร้อน ขณะที่แกนหมุนก็จะหมุนอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน มอนอกลิเซอไรด์จะระเหยภายใต้ความดันที่ต่ำและความร้อนที่สูง ไอของมอนอกลิเซอไรด์จะระเหยเข้าไปยังใจกลางแกนหมุนและไปสัมผัสกับผิวของท่อควบแน่น ไอมอนอกลิเซอไรด์จะควบแน่นและตกลงมาตามช่อง D ขณะที่ของเหลวที่ยังไม่ระเหยก็ไหลออกทางช่อง B ความดันจะควบคุมผ่านทางช่อง C

2.3.4 การนำมอนอกลิเซอไรด์ไปใช้ประโยชน์

2.3.4.1 อุตสาหกรรมอาหาร

ในอุตสาหกรรมการผลิตขนมปังและเนยจะมีการใช้มอนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เป็นสารลดการสูญเสียไอน้ำในขนมปัง จัดอยู่ในประเภทสารผสมเติมแต่งอาหาร E471 ในมาตรฐานอุตสาหกรรมอาหาร (FAO/WHO) [38] สำหรับมอนอกลิเซอไรด์ Glycerol monostearate ที่ใช้เป็น Shortening agent ในการทำขนมเค้กอ่อนนุ่ม ทำให้ขนมฟูมีปริมาตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 – 11 ของน้ำหนัก และใช้เป็น Softening agent และ Antistaling agent (สารป้องกันราและกลิ่นอับ) ในขนมปัง นอกจากนี้ยังใช้ส่วนผสมในการทำเนยเทียม จะได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ตัว เมื่อถูกความร้อนจะหลอมตัวเป็นหยดของเหลวน้อยลงซึ่งนิยมใช้กันมากในการทำขนมหวาน ตังเมและไอศกรีม

2.3.4.2 อุตสาหกรรมยา

ในอุตสาหกรรมยามีการใช้มอนอกลิเซอไรด์เป็นสารช่วยยึดเกาะในยาเม็ด และผสมในตัวยาที่ต้องการให้ออกฤทธิ์นาน [39] มอนอกลิเซอไรด์ที่มีองค์ประกอบของสารกลุ่ม n-3-Polyunsaturated fatty acid (ซึ่งเป็นกลุ่มของกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดหนึ่งที่มีการนำมาทำยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร) เช่น Eicosapentaenoic acid (EPA) และ Docosahexaenoic acid (DHA) สามารถช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ ในร่างกายมนุษย์ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular disease) ทั้งการป้องกัน (Primary prevention) และการรักษาในผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือดเพื่อป้องกันการกลับเป็นซ้ำ (Secondary prevention) และโรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ (rheumatoid arthritis) [40]

2.3.4.3 อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและเครื่องอุปโภค

ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง มอนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ถูกใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มความเหนียวชั้นให้กับโลชั่นและครีม [1] มอนอกลิเซอไรด์ยังใช้เป็นส่วนผสมในน้ำยาปรับผ้านุ่ม ยาสีฟัน [41] ส่วน mono-Pentadecanoyl-glycerol ใช้ในผลิตภัณฑ์บำรุงรักษาเส้นผม (Hair care additive) [39-42]

2.3.4.4 อุตสาหกรรมพลาสติก

สารกลุ่ม Glycerol monoricinoleate ไม่สามารถรับประทานได้แต่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีมาก โดยใช้เป็น พลาสติไซเซอร์ (Plastisizer) เพื่อเพิ่มสมบัติความเหนียว ความ

ทนทานต่อความร้อน การอ่อนตัว และต้านทานการสึกหรอในยางเทียม อีกทั้งยังใช้เป็นตัวทำละลายที่ทำให้สีน้ำมันละลายเข้ากับน้ำได้ดีขึ้น [43]

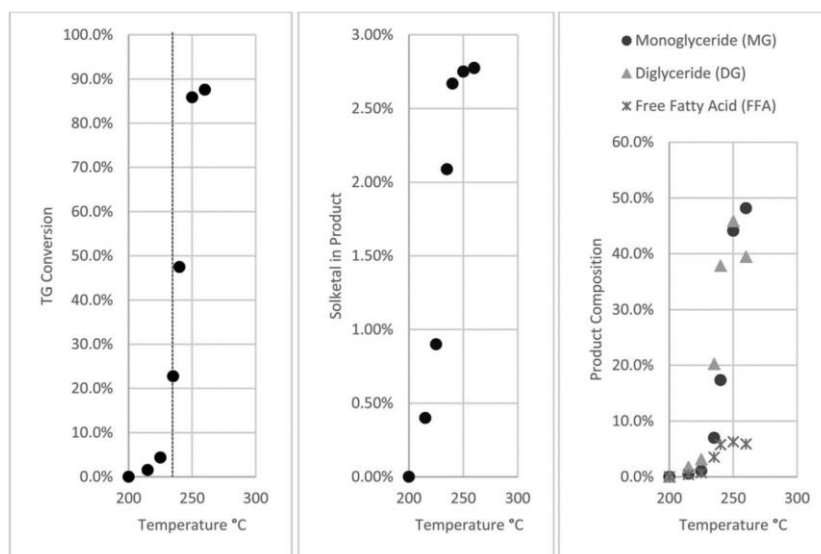
2.4 ผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

2.4.1 ผลกระทบจากอุณหภูมิ

ในงานวิจัยของ Sonntag และคณะ (1982) อุณหภูมิสูงสุดของการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสอยู่ที่ 260 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่ใช้กันทั่วไปในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารจะไม่เกิน 255 องศาเซลเซียส เนื่องจากรสชาติกลิ่น สี จะเสียไปเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงกว่านี้ เนื่องจากกลีเซอรอลเปลี่ยนสภาพเป็น แอโครลีน (Acrolein) เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 255 องศาเซลเซียส ภายใต้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด แต่การเกิดแอโครลีนจะไม่ค่อยพบบ่อยนักเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 260 องศาเซลเซียส โดยปกติแล้วปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างจะใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 220-260 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนซึ่งจะช่วยป้องกันการเสียดสภาพของกลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์ [41]

โดยปกติแล้วการศึกษาปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาอยู่ที่ 250 องศาเซลเซียส แต่ในงานวิจัยของ Alchris และคณะ (2015) [4] ทำการศึกษาปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และมีการใช้แอสิตอนเป็นตัวทำละลาย ทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทดลองตั้งแต่ 200-260 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 230 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride conversion) มีค่าการเปลี่ยนที่น้อยมากดังแสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Temelli และคณะ [44] ที่กล่าวว่าเมื่อใช้ภาวะที่ 1 ชั่วโมงในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดการเปลี่ยนของไตรกลีเซอไรด์

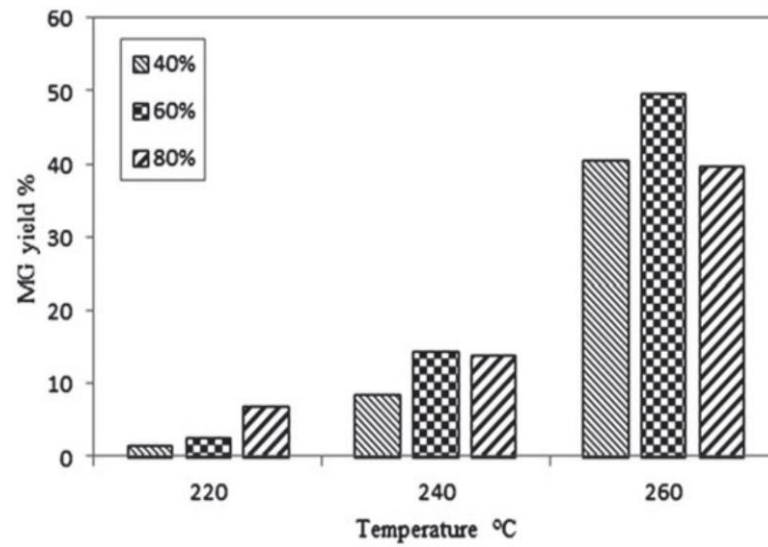
จากกราฟรูปที่ 2.20 ช่ายมือพบว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 235 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนของไตรกลีเซอไรด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนกราฟรูปขวามือ แสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยจะเห็นแนวโน้มที่คล้ายกับการเปลี่ยนของไตรกลีเซอไรด์คือ จะได้รับร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส จะมีร้อยละของไตรกลีเซอไรด์ที่ต่ำกว่าแนวโน้ม เนื่องจากร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์ที่สูงที่สุด ทำให้องค์ประกอบอื่นมีสัดส่วนที่ลดลงไปตามลำดับ



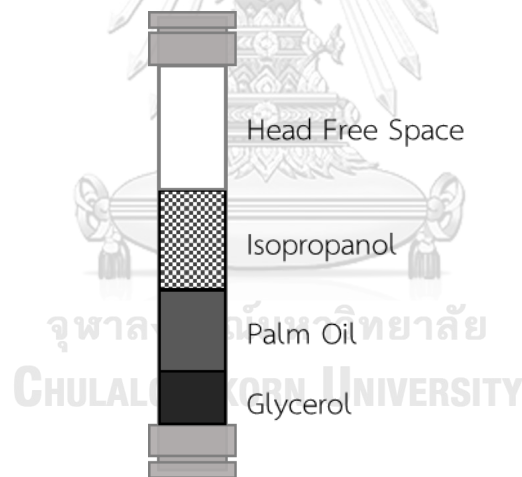
รูปที่ 2.20 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ในภาวะที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง โดยมีการกวนอย่างต่อเนื่อง กำหนดปริมาณน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน 28.5 กรัม ปริมาณกลีเซอรอล 15 กรัม ปริมาณแอสิตอน 15 มิลลิลิตร อัตราส่วนน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันต่อกลีเซอรอล 1:5 โดยโมล [4]

2.4.2 ผลกระทบจากปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์

ในงานวิจัยของ Liu และคณะ (2017) มีการศึกษาผลกระทบจากปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ ขนาดประมาณ 10 มิลลิลิตร ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรโอเลอินแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ตัวทำละลายเป็นไอโซโพรพานอล ที่อุณหภูมิในการทดลองต่าง ๆ คือ 220 240 และ 260 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.21 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที ปริมาณไอโซโพรพานอลอยู่ที่ 2 มิลลิลิตร และทำการทดลองโดยการเปลี่ยนปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นร้อยละ 40 60 และ 80 ของเครื่องปฏิกรณ์ โดยพบว่าปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ร้อยละ 60 ทำให้ได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด ซึ่งปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์เกี่ยวข้องกับความดันของพื้นที่ว่าง (Head free space) เหนือของเหลว ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งความดันที่สูงมาจากการเพิ่มปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์โดยที่ยังคงปริมาณของไอโซโพรพานอลเท่าเดิม ดังนั้นความดันในระบบที่สูงนี้จะทำให้ไอโซโพรพานอลสามารถเข้าไปสู่ชั้นของเหลวเพื่อที่จะลดความหนืดลง ทำให้การถ่ายโอนมวล (Mass transfer) ทำได้ดีขึ้น



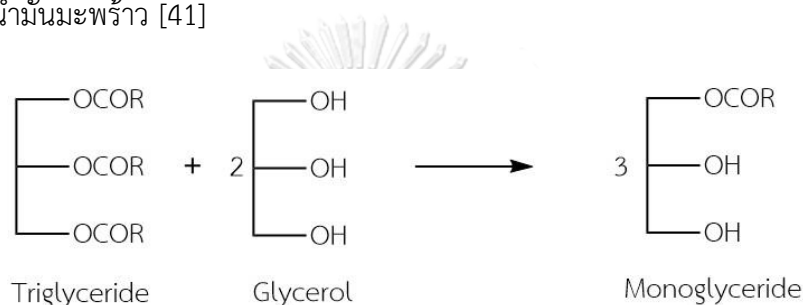
รูปที่ 2.21 ผลกระทบของปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ต่อร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์ ในภาวะที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที กำหนดปริมาณไอโซโพรพานอล 2 มิลลิลิตร อัตราส่วน ไตรโอเลอินต่อกลีเซอรอล 1:5 โดยโมล [3]



รูปที่ 2.22 แสดงลำดับของสารตั้งต้นต่าง ๆ ที่บรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และพื้นที่ว่าง (Head free space) เหนือของเหลว

2.4.3 ผลกระทบจากอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันตอกลิเซอรอล

Sonntag และคณะ (1982) ได้ศึกษาการใช้กลีเซอรอลที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไขสัตว์ น้ำมันเมล็ดฝ้ายและน้ำมันมะพร้าว ที่อุณหภูมิในการผสม 250 องศาเซลเซียส จากความสามารถในการละลายของกลีเซอรอลในไขสัตว์และน้ำมันเมล็ดฝ้าย (lb glycerol/100 lb fat) อยู่ที่ประมาณร้อยละ 40-45 ส่วนความสามารถในการละลายของกลีเซอรอลในน้ำมันมะพร้าวอยู่ที่ร้อยละ 65 ซึ่งที่อุณหภูมินี้สามารถใช้กลีเซอรอลให้มากเกินไปได้ที่ร้อยละ 110 โดยมวลของไขสัตว์และน้ำมันเมล็ดฝ้าย และใช้กลีเซอรอลให้มากเกินไปได้ที่ร้อยละ 140 โดยมวลของน้ำมันมะพร้าว [41]



รูปที่ 2.23 การเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์

จากรูปที่ 2.23 จะเห็นว่าถ้าต้องการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จำนวน 3 โมลจะต้องใช้สารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล และใช้กลีเซอรอลจำนวน 2 โมล ซึ่งแสดงว่าสัดส่วนจำนวนโมลของกลีเซอรอลควรจะมีค่าที่มากกว่าไตรกลีเซอไรด์เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์เป็นสารกำหนดปริมาณ และการมีอยู่ที่มากเกินไปของกลีเซอรอลจะเพิ่มโอกาสการเข้าทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของกลีเซอรอลและไตรกลีเซอไรด์ เพิ่มให้โอกาสได้มอนอกลิเซอไรด์สูงสุด ดังนั้นในหลาย ๆ งานวิจัยจะกำหนดอัตราส่วนไตรกลีเซอไรด์ตอกลิเซอรอลอยู่ที่ 1:5 โดยโมล [3-4]

2.4.4 ผลกระทบจากตัวทำละลายที่ใช้

ในงานวิจัยของ Liu และคณะ (2017) มีการศึกษาผลกระทบจากตัวทำละลายต่าง ๆ ในกลุ่มแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรโกลีอินโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนแรกจะเป็นการเปรียบเทียบความหนืดไคเนมาติก (kinematic viscosity) ของสารตั้งต้น ตัวทำละลาย และสารผสมทั้งหมดที่ใช้ในปฏิกิริยา ได้ข้อมูลดังตารางที่ 2.7 โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทำการวัดค่าความหนืดของสารผสมได้เนื่องจากสารผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากข้อมูลในตารางที่ 2.7 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะได้ว่าของผสม (ที่มีตัวทำละลายผสมอยู่) มีค่าความหนืดน้อยกว่า

กลีเซอรอลและไตรโกลีอีนเล็กน้อย ดังนั้นการใช้ตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์สามารถลดความหนืดของสารผสมหรือสามารถเพิ่มการถ่ายโอนมวลให้ดีขึ้นได้

ตารางที่ 2.7 ความหนืดไคเนมาติก (kinematic viscosity) ของสารตั้งต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรโกลีอีนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [3]

Compound	Kinematic viscosity (mm^2s^{-2})	
	40 °C	80 °C
Methanol (MeOH)	0.708 ± 0.025	0.528 ± 0.028
Ethanol (EtOH)	1.211 ± 0.002	0.802 ± 0.002
Isopropanol (IPA)	2.033 ± 0.004	1.009 ± 0.003
Triolein (TOG)	47.976 ± 0.025	19.948 ± 0.002
Glycerol (G)	309.978 ± 0.003	57.001 ± 0.004
TOG+G+MeOH	-	1.131 ± 0.003
TOG+G+EtOH	-	3.349 ± 0.003
TOG+G+IPA	-	16.283 ± 0.002

ตารางที่ 2.8 แสดงร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรโกลีอีนแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ภาวะการทดลองคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 90 นาที ซึ่งมีการเปรียบเทียบการใช้เมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย โดยปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60 [3]

Solvent	Yield of Monoglyceride (MOG) (%)		
	2 mL	4 mL	0 mL (control group)
Methanol	8.1 ± 0.41	11.2 ± 0.32	44.45 ± 0.35
Ethanol	18.1 ± 0.63	21.3 ± 0.61	-
Isopropanol	47.2 ± 0.37	50.8 ± 0.29	-

จากนั้น Liu และคณะ (2017) ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบผลของชนิดตัวทำละลายในกลุ่ม แอลกอฮอล์ต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอล ที่ปริมาตร ต่าง ๆ ในการเติมลงเครื่องปฏิกรณ์ ด้ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์ดังตารางที่ 2.8 ภาวะการ ทดลองคืออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และ ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 60 ซึ่งมีการทดลองโดยการเติมตัวทำละลายแต่ละ ชนิดปริมาตร 2 และ 4 มิลลิลิตร พบว่าเมทานอลและเอทานอลทำปฏิกิริยาได้ดีกับไตรโอลลีนซึ่งได้ ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid ester) ดังนั้น ไอโซโพรพานอลจึงเหมาะสมที่จะใช้ เป็นตัวทำละลายในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรโอลลีนนี้

2.4.5 ผลกระทบจากเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

Liu และคณะ (2017) ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าปัจจัยเวลาในการทำปฏิกิริยา (30 และ 150 นาที) จะมีผลกระทบน้อยต่อการผลิต มอนอกลิเซอไรด์ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่ำกว่า 240 องศาเซลเซียส จากนั้นมีการเปรียบเทียบ ผลกระทบระหว่างเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับการเติมตัวทำละลาย (ไอโซโพรพานอล) ต่อการผลิต มอนอกลิเซอไรด์ พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มจาก 30 นาที ไปเป็น 150 นาที จะส่งผลให้ ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่เวลาทำปฏิกิริยา 150 นาที (ที่ภาวะ การทดลองคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ ร้อยละ 60 และมีกรเติมไอโซโพรพานอลปริมาตร 4 มิลลิลิตร) จะด้ร้อยละผลได้มอนอกลิเซอไรด์อยู่ ที่ 67.8 โดยมวล อย่างไรก็ตามการเพิ่มเวลาที่นานเกิน 150 นาที จะไม่มีผลต่อร้อยละการผลิต มอนอกลิเซอไรด์มากนัก ดังการทดลองที่เพิ่มเวลาเป็น 270 และ 390 นาที ที่ภาวะเดียวกันกับข้างต้น ด้ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์เท่ากับ 68.49 และ 72.13 โดยมวล ตามลำดับ

2.4.6 ผลกระทบจากน้ำ

มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาผลของน้ำต่อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส พบว่าน้ำมีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ที่ได้ คือ การมีน้ำอยู่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งจะไปแย่งการเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส ผลที่ได้คือจะทำให้ได้กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่มากขึ้น ดังยกตัวอย่างงานวิจัยในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ โดยไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

Oil type	Co-solvent/ additive	O : G ratio	Time (h)	Pressure (MPa)	Temp (°C)	Product profile (wt%)	Ref.
Coconut	5-10% water in glycerol	1:3.2 molar	2	4.6	240	56 MG, 69- 12.7 FFA	[45]
Soybean,	CO ₂ /4% water in glycerol	1:25 molar	4	20.7	250	49.2 MG, 26,6 DG, 10.1 TG, 14.0 FFA	[44]
Canola	CO ₂ /N ₂ 4-8% water in glycerol	1:34 molar	9-10	10-30	250	66-71 MG, 13-15 DG, 0-1 TG, 13- 17 FFA	[46]
Sunflower	Acetone 1:1 mL g ⁻¹ glycerol, 10% water in glycerol	1:5 molar	1	1.5-1.8	250	43.3 MG, 34.4 DG, 12,2 TG, 10.3 FFA	[4]

* O : G ratio คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อกลีเซอรอล

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและมีไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย เพื่อหาภาวะที่ให้ร้อยละผลได้ของมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ปริมาตรของสารในเครื่องปฏิกรณ์ และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม จากนั้นจะทำการศึกษาผลของน้ำที่มีต่อการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันปาล์มโอเลอินเกรดบริโภาค (Food grade palm olein oil) ยี่ห้อ มรกต จากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
2. กลีเซอรอลบริสุทธิ์ (Glycerol 99.94%) ยี่ห้อ Fisher จากบริษัท เอเพ็กซ์เคมีคัล จำกัด
3. กลีเซอรอลดิบ (Crude glycerol 81.95%) จากบริษัท บางจากไปโอฟูเอล จำกัด
4. ไอโซโพรพานอล (Iso-propanol 99.7%) ยี่ห้อ Qrec จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
5. นอร์มอล-เฮปเทน (N-heptane 99.5%) ยี่ห้อ Fisher จากบริษัท เอเพ็กซ์เคมีคัล จำกัด
6. เอทานอล (Ethanol 99.9%) ยี่ห้อ Qrec จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
7. มอนอปาล์มิติน (Analytical grade monopalmitin 99.5%) ยี่ห้อ Sigma จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
8. มอนอโอลิอิน (Analytical grade monoolein 99.5%) ยี่ห้อ Sigma จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
9. ไดปาล์มิติน (Analytical grade dipalmitin 99.5%) ยี่ห้อ Sigma จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
10. ไตรโอลิอิน (Analytical grade diolein 99.5%) ยี่ห้อ Sigma จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
11. ไตรปาล์มิติน (Analytical grade tripalmitin 99.5%) ยี่ห้อ Sigma จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ

12. ไตรโอลลีน (Analytical grade triolein 99.5%) ยี่ห้อ Sigma จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
 13. กรดโอเลอิก (Oleic acid 99%) ยี่ห้อ SIAL จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.ซี.เอส.ซินอน
 14. กรดปาล์มมิติก (Plamitic acid 99%) ยี่ห้อ SIAL จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.ซี.เอส.ซินอน
 15. ไอโซโพรพิลปาล์มมิตเตต (Isopropyl palmitate $\geq 90\%$) ยี่ห้อ Sigma จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
 16. ไอโซโพรพิลโอเลเอต (Isopropyl oleate $\geq 90\%$) ยี่ห้อ Sigma จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ
- แอสซิโตน ยี่ห้อ Zen Point จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอิร์ต เคมี แล็บ

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. อ่างทรายฟลูอิดไธซ์สำหรับให้ความร้อน (Fluidized sand bath) จากบริษัท OMEGA รุ่น FSB-4
2. เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (Batch Reactor) ที่ทำจากท่อสแตนเลส จากบริษัท Swagelok เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.60 เซนติเมตร และ ความยาว 15.00 เซนติเมตร ปริมาตรประมาณ 4.24 มิลลิลิตร
3. เครื่องชั่งสารความละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) จากบริษัท Mettler Toledo
4. เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (Hotplates Magnetic Stirrer) จากบริษัท IKA
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ไมโครปิเปต ขนาด 10-100 ไมโครลิตร
7. ไมโครปิเปต ขนาด 100-1000 ไมโครลิตร
8. ไมโครปิเปตทิป (Micropipette Tips) ขนาด 100 ไมโครลิตร
9. ไมโครปิเปตทิป (Micropipette Tips) ขนาด 1000 ไมโครลิตร

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การออกแบบการทดลอง

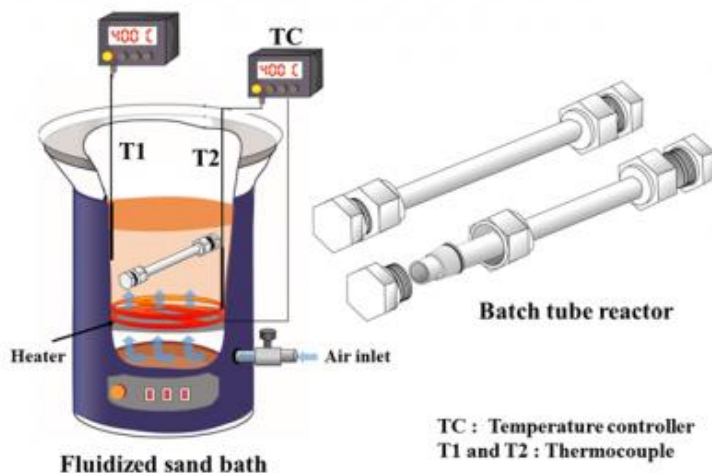
เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยมีตัวแปรต้นจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาทำปฏิกิริยา ปริมาตรของสารในเครื่องปฏิกรณ์ และอัตราส่วนโดยโมลของ ไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อกลีเซอรอลคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ 5

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบการทดลอง

ตัวแปร	หน่วย	ระดับ		
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	220	240	260
เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา	นาที	30	90	150
ปริมาตรของสารในเครื่องปฏิกรณ์	ร้อยละ	40	60	80
อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1)	-	0	15	30

3.3.2 การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์โดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา

หลังจากที่เตรียมสารตั้งต้นทั้งสามชนิดคือ น้ำมันปาล์ม กลีเซอรอล และไอโซโพรพานอลตามสัดส่วนที่ได้คำนวณไว้ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ จากนั้นตั้งอุณหภูมิของอ่างทรายฟลูอิดให้ได้ตามที่ต้องการผ่านตู้ควบคุมอุณหภูมิ เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์จะถูกเขย่าด้วยความเร็วคงที่ ขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไปตามเวลาที่ใช้ในการทดลอง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์จะถูกนำออกมาจากอ่างทรายฟลูอิดและลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วโดยใส่ลงไปใอ่างน้ำแข็งเพื่อเป็นการหยุดปฏิกิริยา จากนั้นทำการเก็บสารตัวอย่างจากเครื่องปฏิกรณ์และชั่งน้ำหนักในลำดับถัดไป

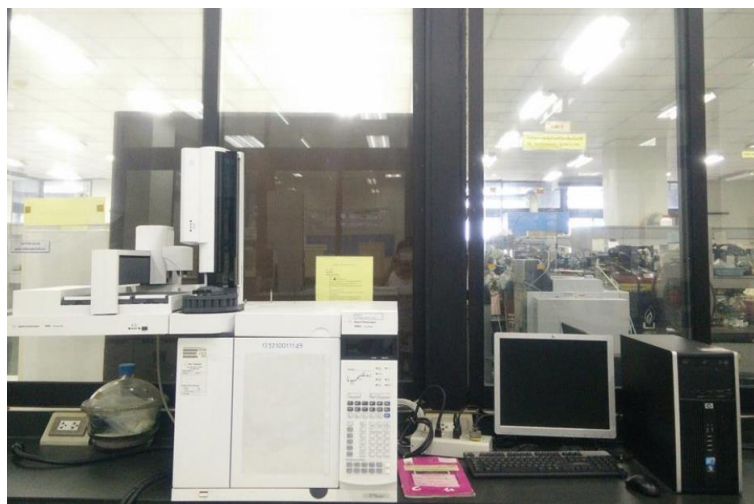


รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์สำหรับปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส โดยประกอบด้วย อ่างทรายฟลูอิดซ์สำหรับให้ความร้อน (Fluidized sand bath) และ เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (Batch Reactor) ที่ทำจากท่อสแตนเลส

3.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC)

การวิเคราะห์ร้อยละผลได้มอนอกลิเซอไรด์ (% Monoglyceride yield) จะคำนวณจากปริมาณของมอนอปาล์มิตินและมอนอโอลลิน ร้อยละผลได้ไดกลีเซอไรด์ (% Diglyceride yield) จะคำนวณจากปริมาณของไดปาล์มิตินและไดโอลลิน ร้อยละผลได้ไตรกลีเซอไรด์ (% Triglyceride yield) จะคำนวณจากปริมาณไตรปาล์มิติน ไตรโอลลิน และโพรพิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจะคำนวณจากปริมาณกรดโอเลอิกและกรดปาล์มิติก ในสารตัวอย่าง โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีดังรูปที่ 3.2 ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890A คอลัมน์ที่ใช้เป็นแบบ capillary column รุ่น MTX-65TG ความยาวคอลัมน์ 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ความหนาของชั้นสารที่เคลือบ 0.1 ไมโครเมตร โดยสามารถใช้งานในภาวะที่อุณหภูมิสูงสุด 385 องศาเซลเซียส และมีเครื่องตรวจวัดสารตัวอย่าง (detector) แบบการวัดปริมาณไอออนที่เกิดจากการเผา (Flame ionization detection, FID) ภาวะการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.2 และใช้ภาวะโปรแกรมอุณหภูมิ (temperature program) ดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890A

ตารางที่ 3.2 ภาวะการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

Condition	Value
Carrier gas (He) flow rate	1 mL/min
Detector temperature (FID)	380 °C
Split ration	1:10
Injection part temperature	330 °C
Inject volume	1 μ L

ตารางที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา ในภาวะการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

Temperature program	Heating rate (°C/min)	Column temperature (°C)	Hold time (min)
initial	-	50	-
1	20	190	-
2	10	370	7

3.4.2 การวิเคราะห์หองค์ประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เป็นของยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP2010 คอลัมน์ที่ใช้เป็นแบบ capillary column ยี่ห้อ J&W Scientific รุ่น DB-5ms ดังรูปที่ 3.3 ความยาวคอลัมน์ 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 250 ไมโครเมตร ความหนาของชั้นสารที่เคลือบ 0.25 ไมโครเมตร โดยมีแก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา ภาวะการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.4 และใช้ภาวะโปรแกรมอุณหภูมิ (temperature program) ดังตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.3 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP2010

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์หองค์ประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์

Condition	Value
Molecular weight scan range	50-850 m/z
Solvent cut time	1.75 min
Injection part temperature	250 °C
Ion source temperature	230 °C

ตารางที่ 3.5 แสดงอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา ในภาวะการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

Temperature program	Heating rate (°C/min)	Column temperature (°C)	Hold time (min)
initial	-	50	5
1	15	200	15



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย โดยตัวแปรที่นำมาศึกษา ได้แก่

- 1) อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (220 240 และ 260 องศาเซลเซียส)
- 2) เวลาในการทำปฏิกิริยา (30 90 และ 150 นาที)
- 3) อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) (0 15 และ 30)
- 4) ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ (ร้อยละ 40 60 และ 80)

โดยในขั้นตอนแรกนี้จะเป็นการหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ จากตัวแปรข้างต้นสามารถแจกแจงระดับค่าของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้ดังตารางที่ 4.1 และผลการทดลองตามภาวะต่าง ๆ ให้ค่าร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไดกลีเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ และร้อยละกรดไขมันดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 โดยที่ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์จะเป็นผลรวมของมอนอกลิเซอไรด์ 2 ชนิด คือ มอนออลามิตินและมอนออลิอิน ร้อยละไดกลีเซอไรด์ก็เป็นผลรวมของไดปาล์มิตินและไดโอลิอิน ร้อยละไตรกลีเซอไรด์เป็นผลรวมของไตรปาล์มิตินและไตรโอลิอิน ร้อยละกรดไขมันเป็นผลรวมของกรดปาล์มิติกและกรดโอเลอิก

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	หน่วย	ระดับ		
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	220	240	260
เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา	นาที	30	90	150
ปริมาตรของสารในเครื่องปฏิกรณ์	ร้อยละ	40	60	80
อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1)	-	0	15	30

ตารางที่ 4.2 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลอง ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไดกลิเซอไรด์ ร้อยละไตรกลิเซอไรด์ และร้อยละกรดไขมัน ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส

การทดลองที่	อุณหภูมิ	เวลา นาที	อัตราส่วน โดยโมล*	Reactor %	%MG	%DG	%FA	%TG
	°C		X:5:1					
1-260	260	30	0	40	0.00	7.43	1.11	76.03
2-260	260	30	0	60	6.03	6.75	1.19	76.37
3-260	260	30	0	80	5.94	3.58	1.14	79.99
4-260	260	30	15	40	6.06	7.13	1.14	66.78
5-260	260	30	15	60	4.38	5.30	1.12	69.33
6-260	260	30	15	80	0.66	6.58	1.25	75.08
7-260	260	30	30	40	0.00	6.63	1.14	71.59
8-260	260	30	30	60	0.51	6.16	1.53	77.00
9-260	260	30	30	80	1.26	6.21	1.43	73.90
10-260	260	90	0	40	2.25	8.41	1.03	75.44
11-260	260	90	0	60	7.47	8.65	1.20	63.52
12-260	260	90	0	80	0.87	7.25	1.25	77.75
13-260	260	90	15	40	34.20	5.55	0.67	36.01
14-260	260	90	15	60	31.95	5.45	0.72	36.60
15-260	260	90	15	80	23.67	5.32	0.70	45.33
16-260	260	90	30	40	17.46	5.87	0.91	52.54
17-260	260	90	30	60	11.37	6.30	0.99	58.31
18-260	260	90	30	80	9.33	6.07	0.98	60.98
19-260	260	150	0	40	19.02	9.75	0.93	53.48
20-260	260	150	0	60	14.07	6.13	1.02	60.41
21-260	260	150	0	80	6.30	8.40	1.14	69.70
22-260	260	150	15	40	54.12	3.96	0.40	15.67
23-260	260	150	15	60	45.09	4.68	0.44	23.45
24-260	260	150	15	80	38.85	5.02	0.60	33.25

การทดลองที่	อุณหภูมิ	เวลา นาที	อัตราส่วน โดยโมล*	Reactor %	%MG	%DG	%FA	%TG
	°C		X:5:1					
25-260	260	150	30	40	33.78	4.97	0.67	38.40
26-260	260	150	30	60	28.86	4.86	0.57	37.86
27-260	260	150	30	80	23.31	4.83	0.71	46.22

* อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) และ Reactor คือ ปริมาตรสารในเครื่องปฏิกรณ์ โดยที่ %MG คือ ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์, %DG คือ ร้อยละไดกลีเซอไรด์, %FA คือ ร้อยละกรดไขมัน และ %TG คือ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์

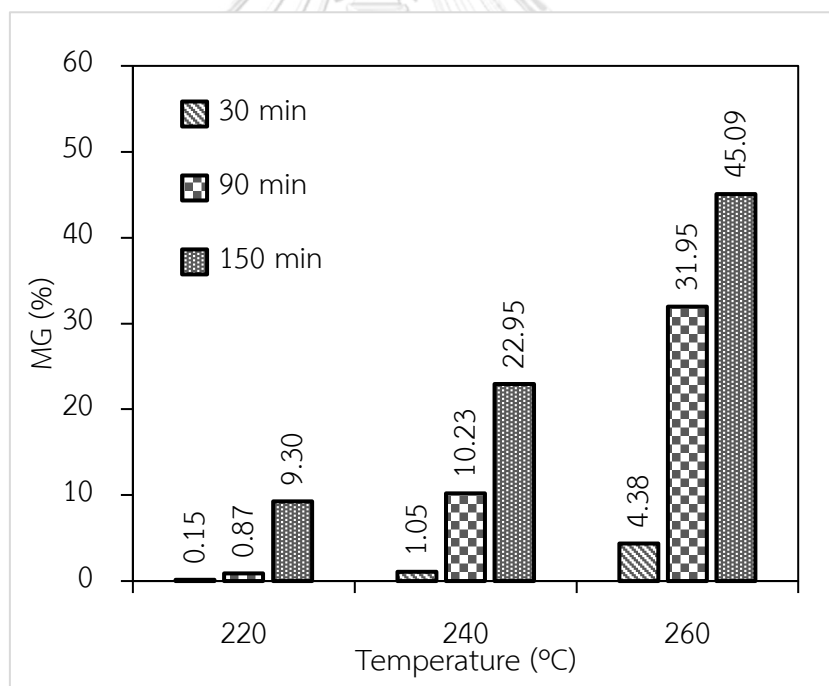
ตารางที่ 4.3 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลอง ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไดกลีเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ และร้อยละกรดไขมัน ที่อุณหภูมิ 220 และ 240 องศาเซลเซียส

การทดลองที่	อุณหภูมิ	เวลา นาที	อัตราส่วน โดยโมล*	Reactor %	%MG	%DG	%FA	%TG
	°C		X:5:1					
5-220	220	30	15	60	0.15	4.05	1.33	76.72
11-220	220	90	0	60	1.11	2.57	1.61	68.40
14-220	220	90	15	60	0.87	5.52	0.60	69.09
17-220	220	90	30	60	0.33	4.90	1.33	79.94
23-220	220	150	15	60	9.30	5.53	0.84	67.21
5-240	240	30	15	60	1.05	4.89	1.51	82.36
11-240	240	90	0	60	1.92	5.01	1.93	89.53
14-240	240	90	15	60	10.23	4.81	1.04	67.70
17-240	240	90	30	60	0.69	5.78	1.43	78.79
23-240	240	150	15	60	22.95	5.68	0.69	45.98

* อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) และ Reactor คือ ปริมาตรสารในเครื่องปฏิกรณ์ โดยที่ %MG คือ ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์, %DG คือ ร้อยละไดกลีเซอไรด์, %FA คือ ร้อยละกรดไขมัน และ %TG คือ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์

4.1.1 ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการทำปฏิกิริยา

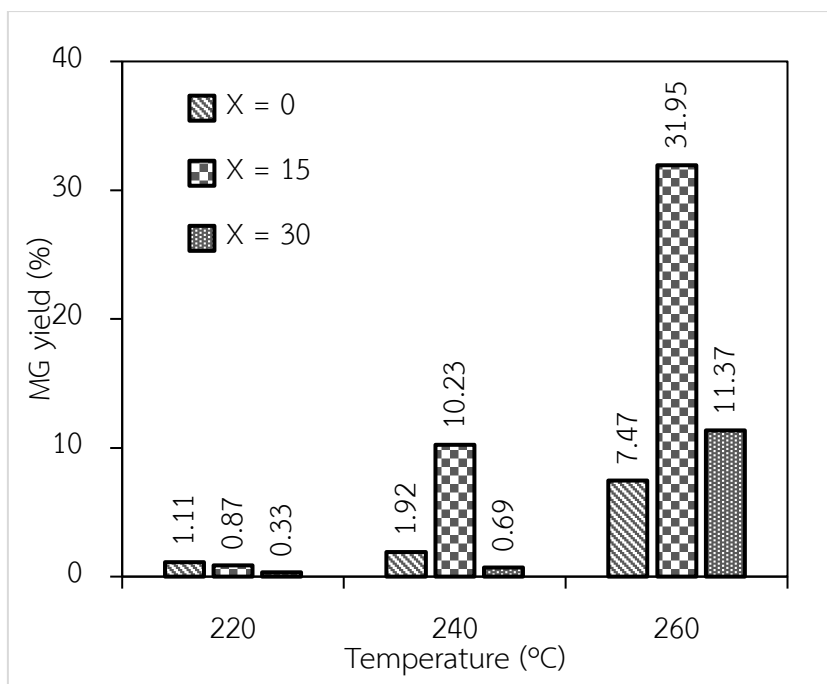
รูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงร้อยละมอนอกลิเซอไรด์เมื่ออุณหภูมิกับเวลาในการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 และปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60 พบว่า การใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 30 นาที ของทั้ง 3 อุณหภูมิ ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ต่ำกว่าร้อยละ 5 ทั้งนี้เป็นเพราะเวลาในการทำปฏิกิริยานั้นสั้นเกินไปสำหรับปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การให้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นที่ 90 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (220 ถึง 260 องศาเซลเซียส) ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์สูงขึ้นตามอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจาก 30 ไปจนถึง 150 นาที ทำให้สารตั้งต้น (กลีเซอรอล น้ำมันปาล์ม ไอโซโพรพานอล) มีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ และการเพิ่มอุณหภูมิก็ส่งผลต่อการเพิ่มร้อยละมอนอกลิเซอไรด์เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิช่วง 220-260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาช่วง 30-150 นาที โดยกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 และปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60

4.1.2 ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม

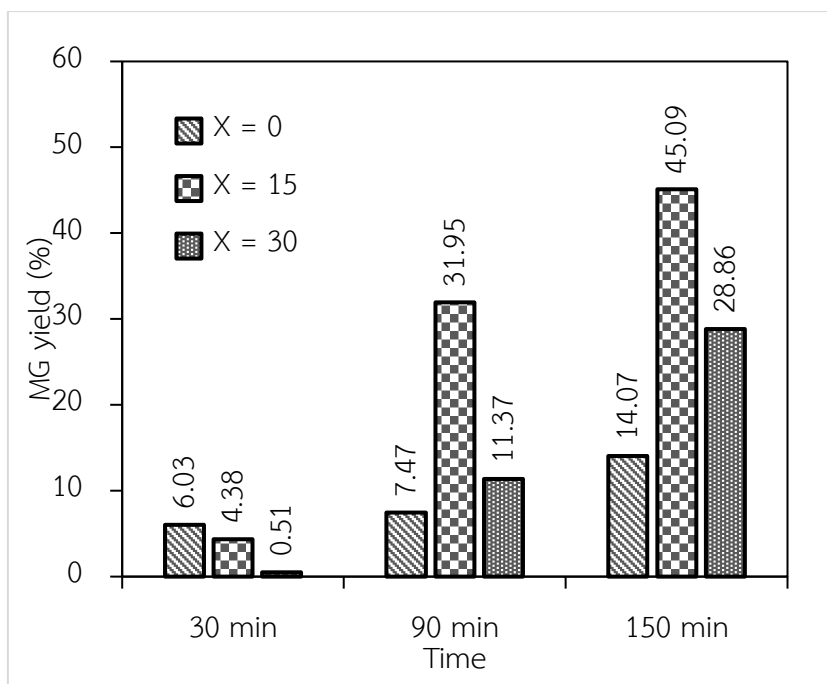
จากรูปที่ 4.1 จะเป็นกราฟแสดงร้อยละมอนอกลิเซอไรด์เมื่ออุณหภูมิกับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60 พบว่า ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส การใช้อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มตั้งแต่ 0:5:1 ไปจนถึง 30:5:1 ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ไม่เกินร้อยละ 2 เนื่องจากที่อุณหภูมิที่ 220 องศาเซลเซียส ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยากลิเซอไรไลซิซของน้ำมันปาล์ม และยังทำให้เห็นว่าไอโซโพรพานอลไม่มีผลต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 240 และ 260 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 15:5:1 ทำให้ได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงกว่าการไม่เติมไอโซโพรพานอลและการเติมไอโซโพรพานอลในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 30 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alchis และคณะ (2015) [4] พบว่าการเติมตัวทำละลายที่มากเกินไปในระบบ ทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเจือจางลงและส่งผลกระทบต่อร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่ลดลงอีกด้วย ดังนั้นจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม พบว่า อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส กับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 15:5:1 ส่งผลทำให้ได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่สูง



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (0-30:5:1) ที่มีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิช่วง 220-260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60

4.1.3 ปัจจัยร่วมระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม

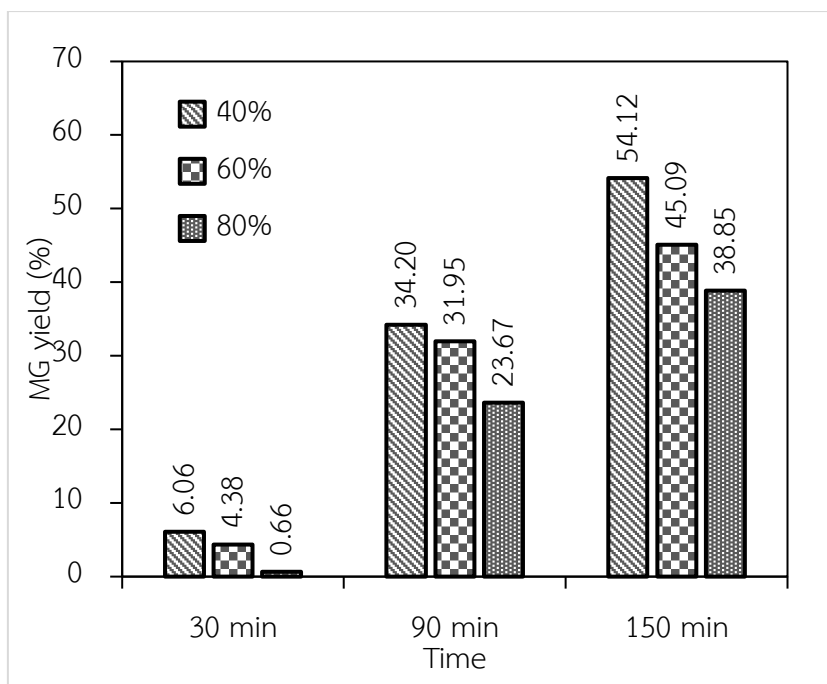
จากหัวข้อที่ 4.1.1 ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่า ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากขึ้นจะส่งผลต่อร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่เพิ่มขึ้นด้วย และจากหัวข้อ 4.1.2 ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม พบว่าที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส กับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 15:5:1 ส่งผลทำให้ได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่สูง และในหัวข้อนี้เป็นการยืนยันอีกครั้งว่าที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลเท่ากับ 15 ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่สูงถึงร้อยละ 45.09 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu และคณะ (2017) ที่กล่าวว่า การเติมตัวทำละลายลงไปในระบบจะช่วยลดความหนืดของสารตั้งต้นได้หรือเป็นการเพิ่มการถ่ายโอนมวลของสารในระบบ [3]



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (0-30:5:1) ที่มีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ที่ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาช่วง 30-90 นาที และกำหนดปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60

4.1.4 ปัจจัยร่วมระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ชัดเจนว่าในแต่ละเวลาในการทำปฏิกิริยา ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์จะสูงที่สุดเมื่อเติมปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 ทั้งนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu (2017) และ Alchis (2015) ที่ได้ศึกษาผลของปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ต่อร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ พบว่า ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์มีผลต่อความดันของพื้นที่ว่าง (Head free space) เหนือของเหลว ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งความดันในระบบเกิดจากตัวทำละลายก็คือ ไอโซโพรพานอลที่ระเหยขึ้นไปเหนือชั้นของเหลว เมื่อความดันสูงขึ้นจะส่งผลต่อความหนืดที่ลดลงของสารในระบบ โดยจากผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 ทำให้พบว่าปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 มีความเหมาะสมกับปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์ม และที่ภาวะการเติมปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 และ 80 มีร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ลดลงตามลำดับ อาจเป็นเพราะผลจากการที่ตัวทำละลายมีมากเกินไปในระบบ ทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเจือจางลง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ ที่มีผลต่อร้อยละของมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาช่วง 30-90 นาที ปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ในช่วงร้อยละ 40-80 และ อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1

4.1.5 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มจากปัจจัยต่าง ๆ

จากผลของปัจจัยต่าง ๆ ทั้งอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม และปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้สามารถเลือกภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีการเติมไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งก็คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์เท่ากับ 54.12 ร้อยละไดกลีเซอไรด์เท่ากับ 3.96 ร้อยละกรดไขมันเท่ากับ 0.40 และร้อยละไตรกลีเซอไรด์เท่ากับ 15.67 คิดเป็นร้อยละทั้งหมดคือ 74.15 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

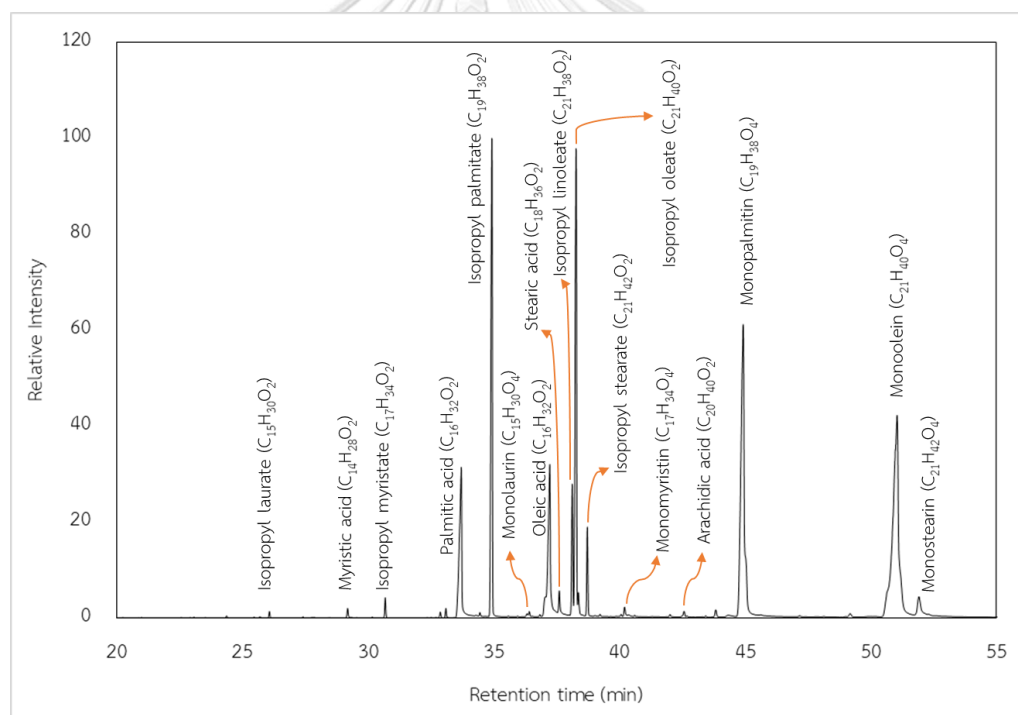
ตารางที่ 4.4 แสดงร้อยละองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1

องค์ประกอบ	ร้อยละที่ได้
มอนอกลิเซอไรด์	54.12
ไดกลีเซอไรด์	3.96
กรดไขมัน	0.40
ไตรกลีเซอไรด์	15.67
รวม	74.15

ทั้งนี้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ถึงร้อยละ 100 เนื่องจากการคำนวณหาร้อยละองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เช่น มอนอกลิเซอไรด์ จะคำนวณจากมอนอปาล์มิตินและมอนอโอลิอินเท่านั้น เพราะในน้ำมันปาล์มโอเลอินมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดปาล์มิติกและโอเลอิกสูงเป็นสองอันดับแรก ดังในตารางที่ 4.5 และจะเห็นว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอินนั้นมีหลายประเภท ดังนั้นก็อาจจะมีมอนอกลิเซอไรด์ประเภทอื่นนอกเหนือจากมอนอปาล์มิตินและมอนอโอลิอินอยู่ในผลิตภัณฑ์ แต่จากการที่งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์เทียบกับสารมาตรฐานผ่านเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี การจะหาสารมาตรฐานให้ครบทุกชนิดอาจจะเป็นไปได้ยาก จึงส่งผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่หายไป ซึ่งอาจจะเป็นผลรวมในทำนองเดียวกันกับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่ไม่มีสารมาตรฐานมาวิเคราะห์ ทั้งไดกลีเซอไรด์ กรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์ โดยจะเห็นได้ชัดเจนว่าองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีสัดส่วนรองลงมาจากกรดปาล์มิติกและกรดโอเลอิก คือ ไกลโนลิกและสเตียริก ตามลำดับ ดังนั้นจึงมีการนำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ได้ผลดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณร้อยละของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

กรดไขมัน	ปริมาณ (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)
ลอริก (Lauric)	0.1-1.1
ไมริสติก (Myristic)	0.9-1.4
ปาล์มิติก (Palmitic)	37.9-47.7
สเตียริก (Stearic)	4.0-4.8
โอเลอิก (Oleic)	40.7-43.9
ไลโนลิก (Linoleic)	10.4-13.4
ไลโนเลนิก (Linolenic)	0.1-0.6

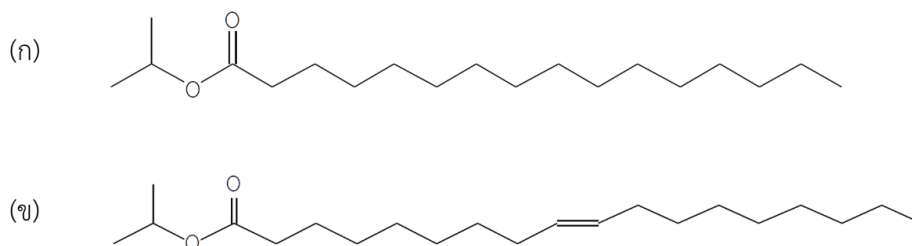


รูปที่ 4.5 แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกิริยาร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซพรีพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1

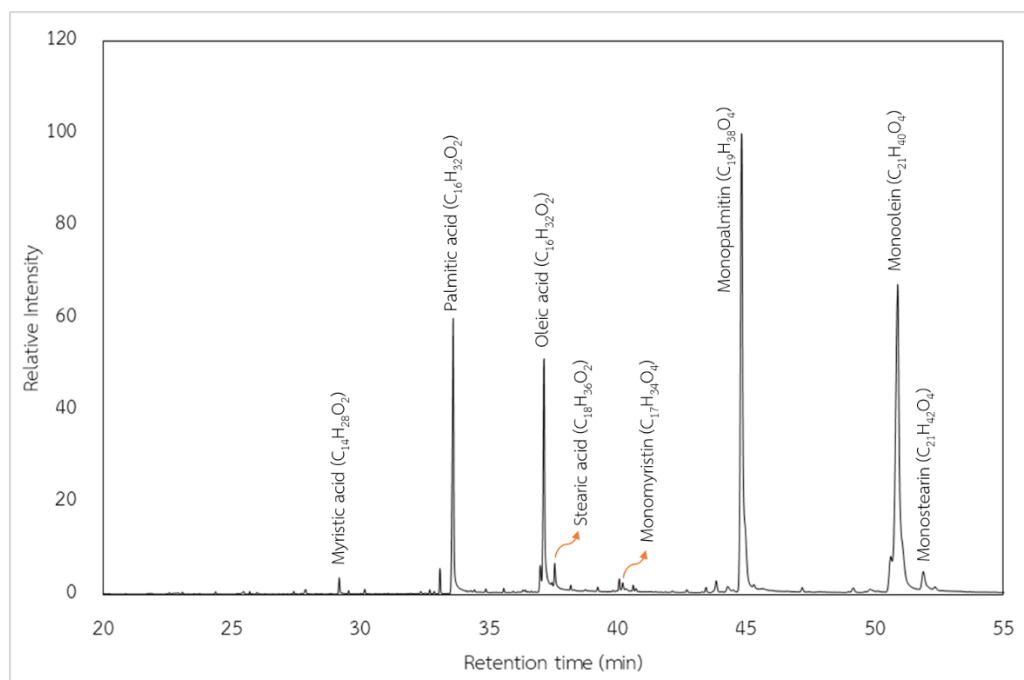
จากรูปที่ 4.5 โครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ในภาวะการทดลองที่ให้ร้อยละ มอนอกลิเซอไรด์สูงสุด พบว่า ยังมีสารอีกหลายชนิดที่อยู่นอกเหนือจากการนำไปคำนวณร้อยละ องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งได้เป็นสามกลุ่มคือ กลุ่มของกรดไขมัน เช่น กรดไมริสติก กรดสเตียริก กรดอะราคิโดนิก (Arachidonic acid) กลุ่มของไอโซพรีพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เช่น ไอโซพรีพิลลอเรต (Isopropyl laurate) ไอโซพรีพิลไมริสเตต (Isopropyl myristate) ไอโซพรีพิลปาล์มิเตต (Isopropyl palmitate) ไอโซพรีพิลไลโนเลเอต (Isopropyl linoleate) ไอโซพรีพิลโอเลเอต (Isopropyl oleate) ไอโซพรีพิลสเตียเรต (Isopropyl stearate) และกลุ่มของมอนอกลิเซอไรด์ เช่น มอนอลอริน (Monolaurin) มอนอไมริสทิน (Monomyristin) มอนอสเตียริน (Monostearin) จากสารเหล่านี้ที่กล่าวมาคาดว่าเป็นส่วนหนึ่งในร้อยละองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เหลือ

4.2 ผลกระทบจากการใช้ไอโซพรีพานอลเป็นตัวทำละลาย

เมื่อพิจารณาโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ในภาวะการทดลองที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุดในรูปที่ 4.5 ซึ่งจากภาวะดังกล่าวมีการใช้ไอโซพรีพานอลเป็นตัวทำละลาย ทำให้พบว่ามีสารกลุ่มไอโซพรีพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยเฉพาะไอโซพรีพิลปาล์มิเตตและไอโซพรีพิลโอเลเอต โดยแสดงโครงสร้างในรูปที่ 4.6 และเมื่อเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ในภาวะการทดลองเดียวกันแต่ไม่มีการเติมไอโซพรีพานอล ดังรูปที่ 4.7 (อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซพรีพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 0:5:1) พบว่ามีสารในกลุ่มกรดไขมันและกลุ่มของมอนอกลิเซอไรด์ แต่ไม่มีในส่วนของไอโซพรีพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ดังนั้นจึงยืนยันได้ว่าการใช้ไอโซพรีพานอลเป็นตัวทำละลายจะทำให้เกิดสารกลุ่มไอโซพรีพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน จึงได้มีการคำนวณหาร้อยละของไอโซพรีพิลเอสเทอร์ (%IPE) ของสารผลิตภัณฑ์ ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งเป็นการคำนวณจากผลรวมของไอโซพรีพิลปาล์มิเตตและไอโซพรีพิลโอเลเอต เพราะว่ามีอยู่เป็นสัดส่วนที่มากเมื่อเทียบกับไอโซพรีพิลเอสเทอร์ชนิดอื่น



รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างของ (ก) ไอโซพรีพิลปาล์มิเตต (ข) ไอโซพรีพิลโอเลเอต



รูปที่ 4.7 แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 60 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 0:5:1

โดยการนำไปประยุกต์ใช้งานของไอโซโพรพิลปาล์มิเตต ไอโซโพรพิลไมริสเตต นำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนัง โดยมีสมบัติที่ดี คือ สามารถซึมเข้าสู่ผิวหนังได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีพิษและสามารถลดความมันของเครื่องสำอางได้ ไอโซโพรพิลปาล์มิเตตและไอโซโพรพิลไมริสเตตจึงเป็นส่วนประกอบทั่วไปในครีมโลชั่น สบู่เหลวอาบน้ำและยาบางชนิด ซึ่งในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะผลิตได้โดยการนำกรดไขมันและไอโซโพรพานอลมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน [47]

ตารางที่ 4.6 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลอง ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไดกลิเซอไรด์ ร้อยละไตรกลิเซอไรด์ ร้อยละกรดไขมัน และร้อยละของไอโซพรีนพิลเอสเทอร์ ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส

การทดลอง ที่	อุณหภูมิ °C	เวลา นาที	อัตราส่วน โดยโมล* X:5:1	ปริมาณ					
				สารใน เครื่อง ปฏิกรณ์ %	%MG	%DG	%FA	%TG	%IPE
1-260	260	30	0	40	0.00	7.43	1.11	76.03	0.00
2-260	260	30	0	60	6.03	6.75	1.19	76.37	0.00
3-260	260	30	0	80	5.94	3.58	1.14	79.99	0.00
4-260	260	30	15	40	6.06	7.13	1.14	66.78	5.77
5-260	260	30	15	60	4.38	5.30	1.12	69.33	5.17
6-260	260	30	15	80	0.66	6.58	1.25	75.08	5.39
7-260	260	30	30	40	0.00	6.63	1.14	71.59	4.03
8-260	260	30	30	60	0.51	6.16	1.53	77.00	2.91
9-260	260	30	30	80	1.26	6.21	1.43	73.90	4.18
10-260	260	90	0	40	2.25	8.41	1.03	75.44	0.00
11-260	260	90	0	60	7.47	8.65	1.20	63.52	0.00
12-260	260	90	0	80	0.87	7.25	1.25	77.75	0.00
13-260	260	90	15	40	34.20	5.55	0.67	36.01	10.93
14-260	260	90	15	60	31.95	5.45	0.72	36.60	10.04
15-260	260	90	15	80	23.67	5.32	0.70	45.33	10.76
16-260	260	90	30	40	17.46	5.87	0.91	52.54	9.78
17-260	260	90	30	60	11.37	6.30	0.99	58.31	8.61
18-260	260	90	30	80	9.33	6.07	0.98	60.98	9.89
19-260	260	150	0	40	19.02	9.75	0.93	53.48	0.00
20-260	260	150	0	60	14.07	6.13	1.02	60.41	0.00
21-260	260	150	0	80	6.30	8.40	1.14	69.70	0.00
22-260	260	150	15	40	54.12	3.96	0.40	15.67	13.20
23-260	260	150	15	60	45.09	4.68	0.44	23.45	12.30

การทดลอง ที่	อุณหภูมิ °C	เวลา นาที	อัตราส่วน โดยโมล* X:5:1	ปริมาณ สารใน เครื่อง ปฏิกรณ์ %	ปริมาณ				
					%MG	%DG	%FA	%TG	%IPE
					24-260	260	150	15	80
25-260	260	150	30	40	33.78	4.97	0.67	38.40	12.76
26-260	260	150	30	60	28.86	4.86	0.57	37.86	12.45
27-260	260	150	30	80	23.31	4.83	0.71	46.22	12.70

* อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1)

โดยที่ %MG คือ ร้อยละมอนอกลิเซอไรต์, %DG คือ ร้อยละไดกลีเซอไรต์, %FA คือ ร้อยละกรดไขมัน, %TG คือ ร้อยละไตรกลีเซอไรต์ และ %IPE คือ ร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์

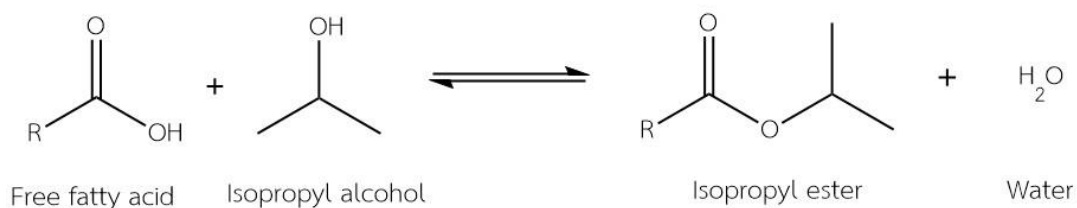
ตารางที่ 4.7 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลอง ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไดกลีเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละกรดไขมัน และร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ ที่อุณหภูมิ 220 และ 240 องศาเซลเซียส

การทดลอง ที่	อุณหภูมิ °C	เวลา นาที	อัตราส่วน โดยโมล* X:5:1	ปริมาณสารในเครื่องปฏิกรณ์					
				%MG	%DG	%FA	%TG	%IPE	
				5-220	220	30	15	60	0.15
11-220	220	90	0	60	1.11	2.57	1.61	68.40	0.00
14-220	220	90	15	60	0.87	5.52	0.60	69.09	4.97
17-220	220	90	30	60	0.33	4.90	1.33	79.94	10.40
23-220	220	150	15	60	9.30	5.53	0.84	67.21	7.64
5-240	240	30	15	60	1.05	4.89	1.51	82.36	7.65
11-240	240	90	0	60	1.92	5.01	1.93	89.53	0.00
14-240	240	90	15	60	10.23	4.81	1.04	67.70	15.41
17-240	240	90	30	60	0.69	5.78	1.43	78.79	11.19
23-240	240	150	15	60	22.95	5.68	0.69	45.98	9.80

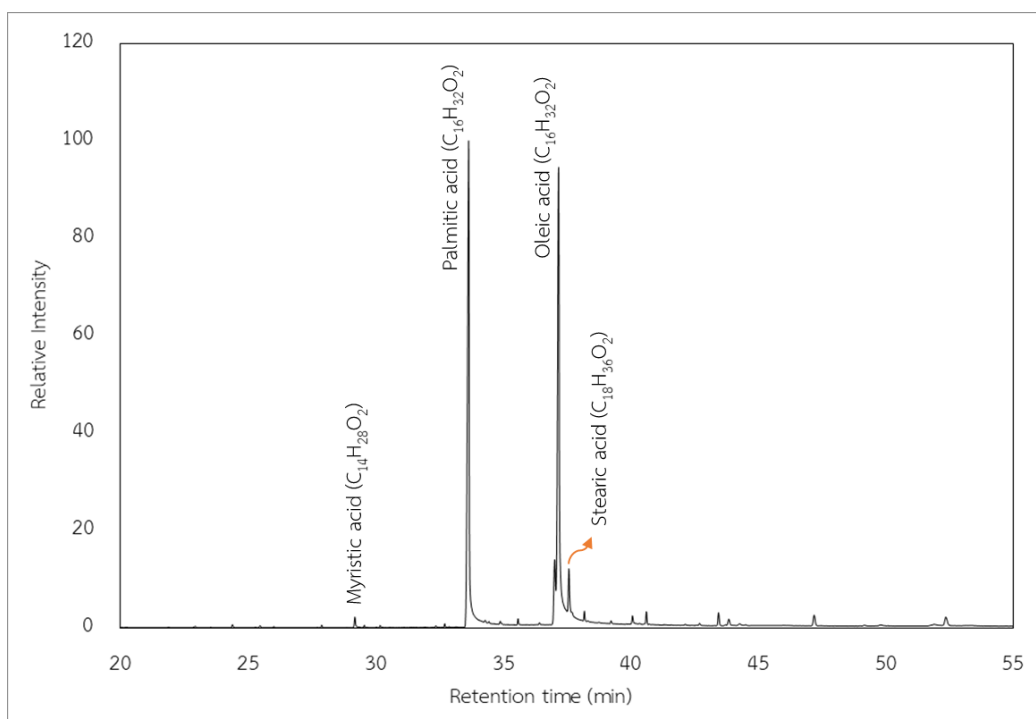
* อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1)

โดยที่ %MG คือ ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์, %DG คือ ร้อยละไดกลีเซอไรด์, %FA คือ ร้อยละกรดไขมัน, %TG คือ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ และ %IPE คือ ร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นว่าทุกการทดลองที่มีการเติมไอโซโพรพานอลจะทำให้ได้สารในกลุ่มไอโซโพรพิลเอสเทอร์ (ไอโซโพรพิลปาล์มิเตตและไอโซโพรพิลโอเลเอต) โดยสันนิษฐานได้ว่าไอโซโพรพานอลนี้มีความว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่ากลีเซอรอลจึงไปแย่งทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดไขมัน ดังในรูปที่ 4.8 ได้ง่ายกว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและกลีเซอรอล ซึ่งกรดไขมันที่กล่าวถึงอาจจะเป็นกรดไขมันที่มีอยู่แล้วในน้ำมันปาล์ม ดังรูปที่ 4.9 โครมาโทแกรมของ GC-MS ของน้ำมันปาล์มที่พบองค์ประกอบของกรดปาล์มิติกและกรดโอเลอิกอยู่ในสัดส่วนที่มากกว่ากรดไขมันชนิดอื่น



รูปที่ 4.8 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.9 โครมาโทแกรมของ GC-MS ของน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นสารตั้งต้น

เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์จากการทดลองที่ 8-260 จากตารางที่ 4.6 โดยใช้ภาวะการทดลองคือ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ ร้อยละ 60 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 30:5:1 พบว่า มีร้อยละมอนอกลิเซอไรด์อยู่เพียง 0.51 แต่มีร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์อยู่ถึง 2.91 (ซึ่งคิดเป็นเกือบ 6 เท่าของมอนอกลิเซอไรด์ที่มีอยู่) และจากการศึกษาปัจจัยร่วมระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (ในหัวข้อที่ 4.1.3 และรูปที่ 4.3) ที่พบว่าปัจจัยเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ไม่เพียงพอในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ แต่จากการทดลองที่ 8-260 นี้ได้มีร้อยละไอโซโพรพิลสูงกว่าร้อยละมอนอกลิเซอไรด์เกือบ 6 เท่า

จึงยืนยันได้ว่าไอโซโพรพานอลมีความไวต่อปฏิกิริยามากกว่ากลีเซอรอลจึงไปแย่งทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่มีอยู่ในระบบได้ง่ายกว่า ซึ่งจะให้น้ำเป็นผลพลอยได้ของปฏิกิริยานี้

4.3 ผลกระทบของน้ำต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นว่าผลพลอยได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับไอโซโพรพานอลก็คือน้ำ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายทั้ง ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ กลีเซอรอล และกรดไขมัน โดยจากงานวิจัยของ Satyarthi และคณะ (2011) มีการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันพืช โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะสองชนิดบนตัวรองรับตัวเดียวกัน (Double-metal cyanide) พบว่าได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์เพียง 14 โดยมวล แต่ผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะเป็นกรดไขมันถึงร้อยละ 50 โดยมวล เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสยากที่จะควบคุม เพราะน้ำเข้าไปสลายตัวตรงพันธะของหมู่เอสเทอร์ได้อย่างรวดเร็ว [26]

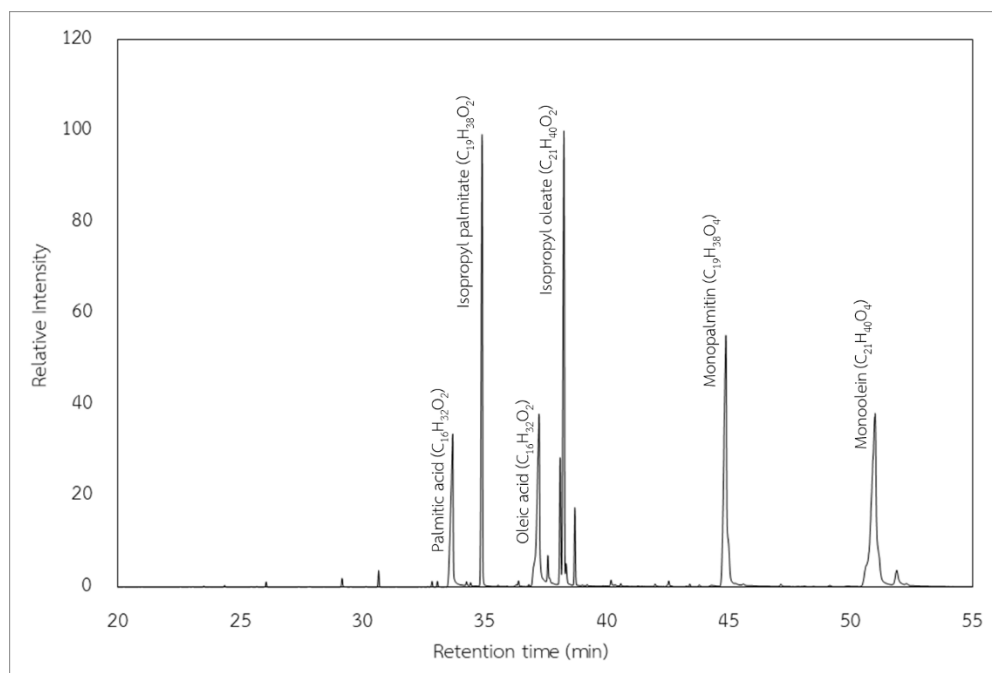
โดยโอกาสที่น้ำจะเข้าไปมีผลกระทบต้อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสระหว่างน้ำมันปาล์มกับกลีเซอรอล นั้นอาจจะมาจากผลพลอยได้ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันข้างต้น และอาจจะมาจากการใช้กลีเซอรอลดิบที่มีองค์ประกอบของน้ำอยู่ที่ประมาณร้อยละ 12.63 ดังในตารางที่ 2.5 ดังนั้นจากภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุดคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 ซึ่งจะใช้ภาวะการทดลองนี้ในการศึกษาผลของน้ำต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ โดยใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์และทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอัตราส่วนร้อยละที่ต่างกันไป คือ ร้อยละ 0 5 10 12 และ 15 โดยมวล ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละไดกลีเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละกรดไขมัน และร้อยละของไอโซพรีนพิลเอสเทอร์ จากการศึกษาผลของน้ำต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ที่ภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40

การ ทดลอง ที่	อุณหภูมิ °C	เวลา นาที	อัตราส่วน โดยโมล* X:5:1	reactor %	H ₂ O %wt	%	%	%	%	%
						MG	DG	FA	TG	IPE
19-260	260	150	0	40	0	19.02	9.75	0.93	53.48	0.00
22-260	260	150	15	40	0	54.12	3.96	0.40	15.67	13.20
28-260	260	150	15	40	5	29.16	2.37	5.20	10.75	35.99
29-260	260	150	15	40	10	36.15	1.72	5.53	4.80	39.65
30-260	260	150	15	40	12	36.21	1.76	5.63	2.80	40.39
31-260	260	150	15	40	15	27.39	1.56	6.02	1.92	46.93

* อัตราส่วนโดยโมลของไอโซพรีนพอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) และ reactor คือ ปริมาตรสารในเครื่องปฏิกรณ์ โดยที่ %MG คือ ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์, %DG คือ ร้อยละไดกลีเซอไรด์, %FA คือ ร้อยละกรดไขมัน, %TG คือ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ และ %IPE คือ ร้อยละของไอโซพรีนพิลเอสเทอร์

เมื่อพิจารณาโครมาโทแกรม GC-MS ของการทดลองที่มีการเติมน้ำลงไปในระบบร้อยละ 12 โดยมวลพบว่ามีลักษณะของพีคที่คล้ายกับโครมาโทแกรมของการทดลองในภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด ก็คือสารในกลุ่มของกรดไขมัน (กรดปาล์มติกและกรดโอเลอิก) กลุ่มของไอโซพรีนพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไอโซพรีนพิลปาล์มิตเตตและไอโซพรีนพิลโอเลอเตต) และกลุ่มของมอนอกลิเซอไรด์ (มอนอปาล์มิตินและมอนอโอเลออิน) ดังรูปที่ 4.10

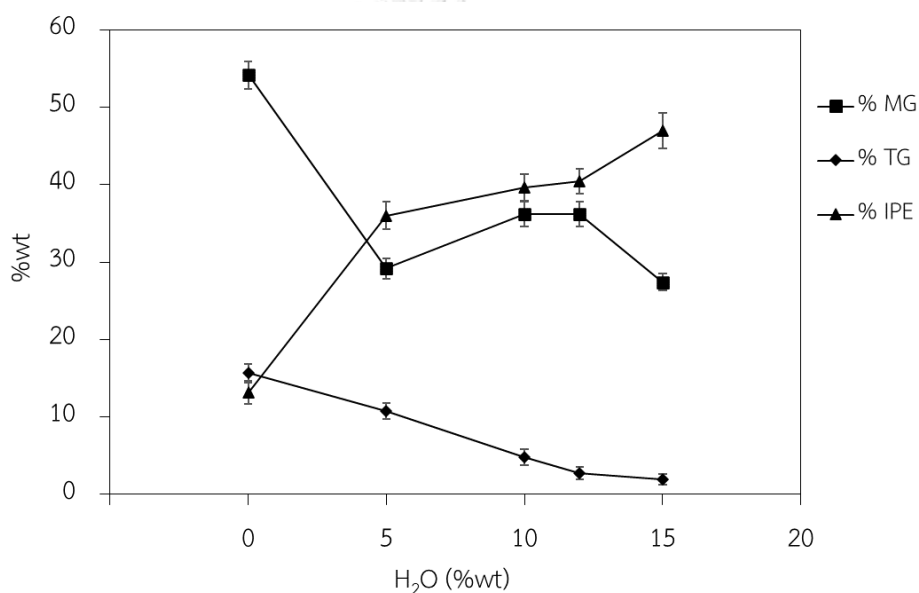


รูปที่ 4.10 แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยมีการเติมน้ำร้อยละ 12 โดยมวล

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าการมีน้ำอยู่ในระบบส่งผลทำให้ได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองที่ 22-260 ซึ่งเป็นภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด แต่ในทางตรงกันข้ามจะเห็นว่าร้อยละกรดไขมัน และไอโซโพรพิลเอสเทอร์มีปริมาณที่สูงขึ้นเป็นอย่างมากทั้งนี้อาจเกิดได้จากการที่ในระบบมีทั้งไอโซโพรพานอลและน้ำร่วมกันทำปฏิกิริยา โดยที่ไอโซโพรพานอลอาจจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดไขมัน (ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์) และได้น้ำเป็นผลพลอยได้ จากนั้นน้ำก็กลับไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้อีก ซึ่งเป็นการขัดขวางการเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสระหว่างกลีเซอรอลกับน้ำมันปาล์ม ทำให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่ได้มีค่าที่ลดลง และจากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มร้อยละโดยมวลของน้ำลงไปในระบบมากขึ้น พบว่าร้อยละไตรกลีเซอไรด์ (% TG) มีค่าที่ลดลง เป็นการยืนยันได้ว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากขึ้น

แต่ข้อพิจารณาสำหรับการลดลงของมอนอกลิเซอไรด์เมื่อทำการเพิ่มร้อยละโดยมวลของน้ำลงไปในระบบคือ จากรูปภาพที่ 4.11 จะเห็นได้ชัดเจนว่าร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ (% MG) จากการทดลองที่เติมน้ำร้อยละ 5 โดยมวล มีค่าที่ต่ำกว่าร้อยละมอนอกลิเซอไรด์จากการทดลองที่เติมน้ำ

ร้อยละ 10 12 และ 15 โดยที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำจะส่งผลทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้ดีขึ้น และร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ควรจะมีค่าที่ลดลงเมื่อร้อยละโดยมวลของน้ำเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moquin และคณะ (2006) ที่ได้ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส-ไฮโดรไลซิส โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์สถานะเหนือวิกฤต (Supercritical carbon dioxide, SC-CO₂) เพื่อทำการแจกแจงจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา (Reaction kinetics) และกลไกการเกิดปฏิกิริยา โดยที่การทดลองมีปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำร้อยละ 0 ถึง 8 โดยมวล อุณหภูมิในการทดลอง 250 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 9-10 ชั่วโมง และความดันในระบบอยู่ที่ 10-30 เมกะพาสคัล [46]



รูปที่ 4.11 แสดงผลกระทบบของน้ำต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ ที่ภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยที่ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 12 และ 15 โดยมวล

* %MG คือ ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์, %TG คือ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ และ %IPE คือ ร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์



โดยในงานวิจัยของ Moquin ได้อธิบายผลของน้ำต่อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส-ไฮโดรไลซิสผ่านทั้ง 6 สมการข้างต้น โดยที่ TG MG และ DG คือ ไตรกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์ ตามลำดับ Gly คือ กลีเซอรอล FFA คือ กรดไขมันอิสระ และ k คือค่าคงที่ปฏิกิริยา กรณีที่ไม่มีน้ำอยู่ในระบบปฏิกิริยาไปข้างหน้าของสมการ (1)-(3) เท่านั้นจะเกิดขึ้นได้ กล่าวคือ ไตรกลีเซอไรด์จะแตกพันธะตามสมการ (1) และ (3) จากนั้นไดกลีเซอไรด์ที่ได้จากทั้งสองสมการจะทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลได้เป็นมอนอกลิเซอไรด์ตามสมการที่ (2)

แต่ในกรณีที่มีน้ำอยู่ในระบบ ปฏิกิริยาไปข้างหน้าของสมการที่ (3) จะเกิดได้ไวขึ้น (มีค่า k_5 ที่มากกว่าสมการอื่นมาก ๆ) และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ตามสมการที่ (4) จะเข้ามาแทนปฏิกิริยาที่ (1) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ ส่วนสมการที่ (2) สามารถเกิดได้ทั้งปฏิกิริยาไปข้างหน้า k_3 (ได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอนอกลิเซอไรด์) และเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ k_4 (นอกจากนี้มอนอกลิเซอไรด์สามารถผลิตได้จาก k_9 และ k_{12})

โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 โดยมวล พบว่า ค่า k_3 มีค่าที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าการเพิ่มปริมาณน้ำเป็นร้อยละ 8 จะทำให้การผลิตมอนอกลิเซอไรด์ทำได้ดีขึ้น และนอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำจะส่งผลต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาน้ำยังช่วยเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย กล่าวคือ ค่าการแตกตัวของน้ำที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จะมีค่ามากกว่าค่าการแตกตัวของน้ำที่อุณหภูมิห้องถึง 3 เท่า ดังนั้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณของไฮโดรเนียมไอออน (Hydronium ion, H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxide ion, OH^-) ซึ่งประพจน์ตัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากรด/เบส ในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสนี้ จึงเป็นที่มาว่าในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมัน

ปาล์มที่พบว่าร้อยละมอนอกลิเซอไรด์จากการทดลองที่เติมน้ำร้อยละ 5 โดยมวล เหตุใดจึงมีค่าที่ต่ำกว่าร้อยละมอนอกลิเซอไรด์จากการทดลองที่เติมน้ำร้อยละ 10 โดยมวล

4.4 ผลกระทบของการใช้กลีเซอรอลติดต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4.1 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยใช้กลีเซอรอลติด

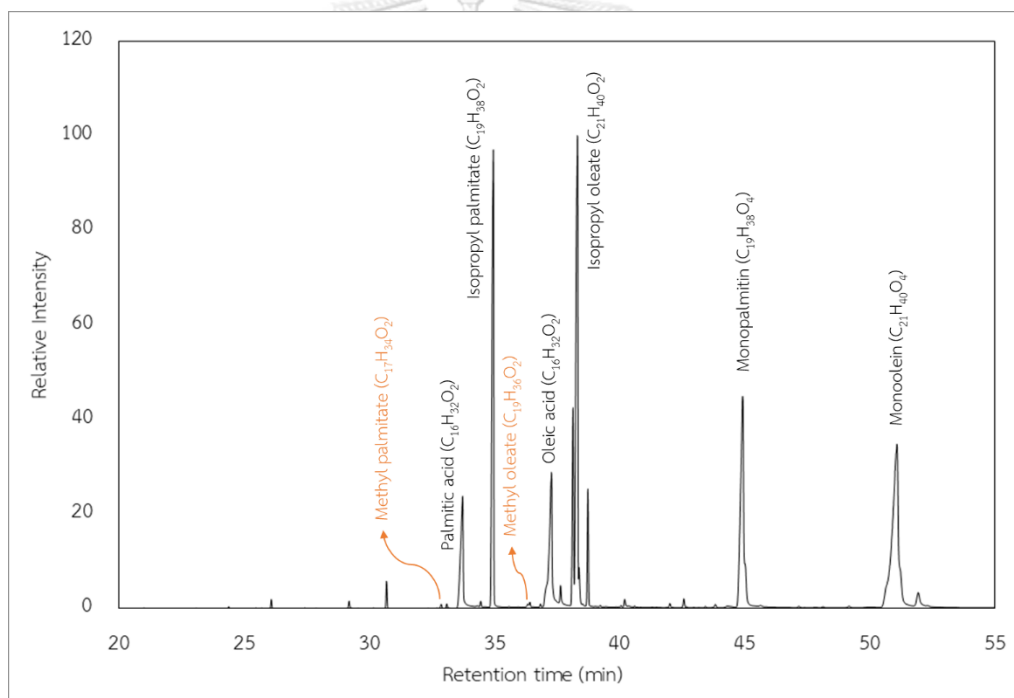
ในการศึกษาผลกระทบของการใช้กลีเซอรอลติดสำหรับปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์และกลีเซอรอลติดมาเป็นสารตั้งต้น ซึ่งกลีเซอรอลติดที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มาจาก บริษัทบางจากไบโอฟูเอล จำกัด โดยมีองค์ประกอบของกลีเซอรอลอยู่ที่ร้อยละ 81.95 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบในกลีเซอรอลติดที่มีมากเป็นลำดับที่สองคือ น้ำ ซึ่งมีอยู่ถึงร้อยละ 12.63 โดยน้ำหนัก และมีองค์ประกอบอื่น ๆ ดังในตารางที่ 2.5 ดังนั้นการที่มีน้ำอยู่ในองค์ประกอบของกลีเซอรอลติดนี้อาจจะส่งผลต่อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการทดลองจะใช้ภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุดคือ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์และร้อยละของไอโซพรีนิลเอสเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละมอนอกลิเซอไรด์และร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์เปรียบเทียบกับ กลีเซอรอลดิบ ที่ภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาณของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40

สารตั้งต้น	ตัวทำละลาย	ภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุด					
		อุณหภูมิ	เวลา	อัตราส่วน โดยโมล*	reactor	%MG	%IPE
น้ำมันปาล์ม+							
กลีเซอรอล บริสุทธิ์	-	260	150	0	40	19.02	0
น้ำมันปาล์ม+							
กลีเซอรอล บริสุทธิ์	ไอโซโพรพานอล	260	150	15	40	54.12	13.20
น้ำมันปาล์ม+							
กลีเซอรอล บริสุทธิ์	ไอโซโพรพานอล + 12% H ₂ O	260	150	15	40	36.21	40.39
น้ำมันปาล์ม+							
กลีเซอรอลดิบ	-	260	150	0	40	24.22	0
น้ำมันปาล์ม+							
กลีเซอรอลดิบ	ไอโซโพรพานอล	260	150	15	40	31.59	51.76

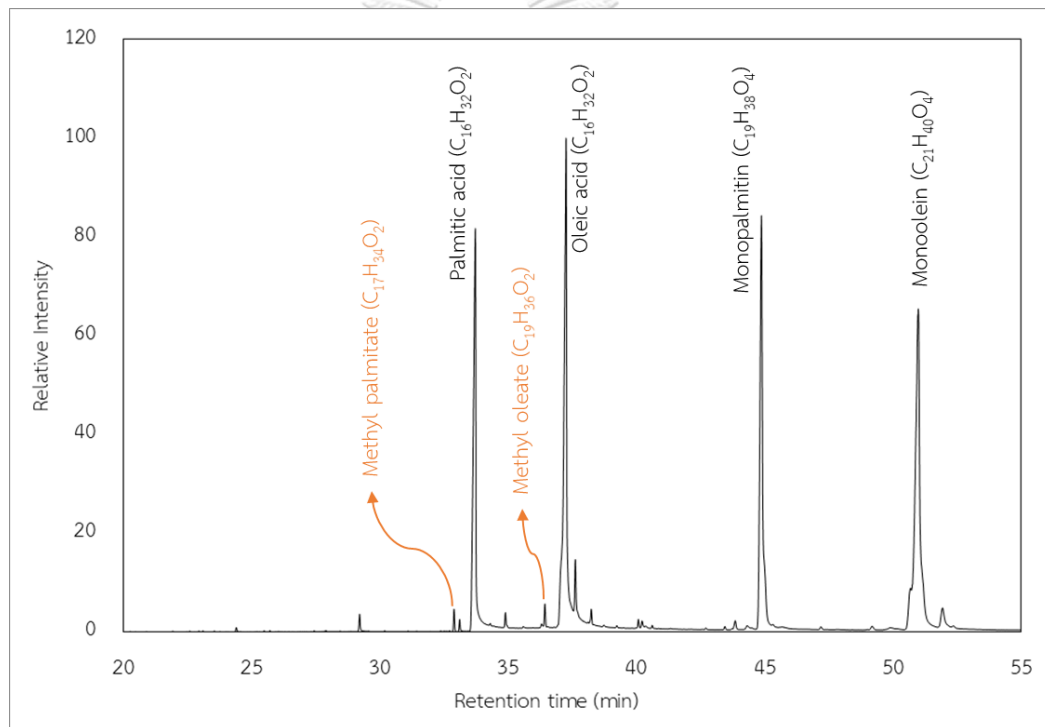
* อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) และ reactor คือ ปริมาณสารในเครื่องปฏิกรณ์ โดยที่ %MG คือ ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ และ %IPE คือ ร้อยละของ ไอโซโพรพิลเอสเทอร์

พิจารณาโครมาโทแกรม GC-MS ของการทดลองที่ใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น ในภาวะเช่นเดียวกับภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงสุดคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 รูปที่ 4.12 พบว่ามีลักษณะของพีคหลักที่คล้ายกับโครมาโทแกรมของการทดลองที่ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น ก็คือสารในกลุ่มของกรดไขมัน (กรดปาล์มิติกและกรดโอเลอิก) กลุ่มของไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไอโซโพรพิลปาล์มิตเตตและไอโซโพรพิลโอเลเอต) และกลุ่มของมอนอกลิเซอไรด์ (มอนอปาล์มิตินและมอนอโอลีน) แต่ส่วนที่แตกต่างกันก็คือ การทดลองที่ใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้นจะพบพีคของสารในกลุ่มเมทิลเอสเทอร์ ก็คือ เมทิลปาล์มิตเตต (Methyl palmitate) และ เมทิลโอเลเอต (Methyl oleate)



รูปที่ 4.12 แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น

เมื่อพิจารณาโครมาโทแกรม GC-MS ของการทดลองที่ใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น ในภาวะที่ไม่มีการเติมไอโซพรพานอลลงไปในระบบ ดังรูปที่ 4.13 ที่ภาวะการทดลองคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 0:5:1 พบว่ามีลักษณะของพีคหลักที่คล้ายกับโครมาโทแกรมของการทดลองที่ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น (ในภาวะเดียวกัน) ก็คือสารในกลุ่มของกรดไขมัน (กรดปาล์มิติกและกรดโอเลอิก) และกลุ่มของมอนอกลิเซอไรด์ (มอนอปาล์มิตินและมอนอโอเลอีน) แต่ในส่วนของพีคที่แตกต่างกันก็คือ การทดลองที่ใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้นจะพบพีคของสารในกลุ่มเมทิลเอสเทอร์ ก็คือ เมทิลปาล์มิตเตต (Methyl palmitate) และเมทิลโอเลเอต (Methyl oleate)



รูปที่ 4.13 แสดงโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 0:5:1 โดยใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น

4.4.2 ผลกระทบของน้ำในกลีเซอรอลต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์

จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบการใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์และกลีเซอรอลดิบ เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำที่อยู่ในกลีเซอรอลดิบ จึงได้ทำการทดลองโดยกำหนดภาวะดังนี้ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 0:5:1 พบว่าการใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้นให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์อยู่ที่ 24.22 ซึ่งมากกว่าการใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น ที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์อยู่ที่ 19.02 ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่า การที่มีน้ำ (จากกลีเซอรอลดิบ) อยู่ในระบบ จะช่วยให้การผลิตมอนอกลิเซอไรด์เกิดได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moquin (2006) และ Alchis (2015) ที่กล่าวว่า น้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ และเกิดปฏิกิริยาต่อไปเพื่อให้ได้มอนอกลิเซอไรด์ที่มากขึ้น

4.4.3 ผลกระทบของไอโซโพรพานอลในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น

จากภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์สูงที่สุดคือการใช้ไอโซโพรพานอลในอัตราส่วนต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 และอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 ที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ 54.12 จึงได้ทำการทดลองที่ภาวะเดิมและเปลี่ยนจากการใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นกลีเซอรอลดิบที่มีองค์ประกอบของน้ำอยู่ที่ร้อยละ 12.63 โดยน้ำหนัก ได้ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์อยู่ที่ 31.59 ดังตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าในระบบที่มีทั้งไอโซโพรพานอลและน้ำจะส่งผลให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์มีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับระบบที่มีเพียงไอโซโพรพานอล ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการมีน้ำอยู่ในระบบจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ หรือซึ่งอาจจะรวมถึงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์และมอนอกลิเซอไรด์ร่วมด้วย ทำให้ได้กรดไขมันอิสระที่มากขึ้น และการมีไอโซโพรพานอลอยู่ในระบบจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันได้เป็นไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของกรดไขมันได้เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากร้อยละไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของการทดลองที่ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่มีอยู่เพียง 13.20 แต่เมื่อใช้กลีเซอรอลดิบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบจะให้ร้อยละไอโซโพรพิลเอสเทอร์สูงถึง 51.76 โดยมวล

เมื่อเปรียบเทียบการใช้และไม่ใช้ไอโซโพรพานอลในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์โดยมีกลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้น พบว่าการทดลองที่ใช้ไอโซโพรพานอลได้ให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์เท่ากับ 31.59 ซึ่งสูงกว่าการทดลองที่ไม่ใช้ไอโซโพรพานอลมีร้อยละมอนอกลิเซอไรด์อยู่ที่ 24.22 ดังนั้นเป็นการยืนยันได้ว่าในภาวะการทดลองเดียวกันคือ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที และปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 การใช้ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายจะให้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่สูงกว่า

4.4.4 ผลกระทบจากองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในกลีเซอรอลดิบต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์

การเปรียบเทียบให้เห็นถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ในกลีเซอรอลดิบที่อาจจะมีผลต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ทำได้โดยการใช้กลีเซอรอลดิบ (ที่มีน้ำร้อยละ 12.63 โดยน้ำหนัก) ทำการทดลองเทียบกับการใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ทำการเติมน้ำให้ใกล้เคียงกับกลีเซอรอลดิบคือ ร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากองค์ประกอบอื่น ๆ ในกลีเซอรอลดิบต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ โดยพบว่า ที่ภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์จากกลีเซอรอลบริสุทธิ์มีค่าที่มากกว่าร้อยละมอนอกลิเซอไรด์จากกลีเซอรอลดิบอยู่ที่ร้อยละ 36.21 และ 31.59 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในกลีเซอรอลดิบยังมีองค์ประกอบอื่น เช่น เมทานอล ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับไตรกลีเซอไรด์ และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดไขมัน เพื่อให้ได้สารในกลุ่มเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งจะเห็นได้จากโครมาโทแกรม GC-MS ของผลิตภัณฑ์ในรูปที่ 4.13 ว่ามีพิกของเมทิลปาล์มิเตตและเมทิลโอเลเอตปนเปื้อนอยู่

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตมอนอกลิเซอโรลด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มีการใช้ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่าภาวะที่ให้ร้อยละมอนอกลิเซอโรลด์สูงสุดคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยให้ร้อยละมอนอกลิเซอโรลด์เท่ากับ 54.12 ร้อยละไดกลีเซอโรลด์เท่ากับ 3.96 ร้อยละกรดไขมันเท่ากับ 0.40 ร้อยละไตรกลีเซอโรลด์เท่ากับ 15.67 และร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์เท่ากับ 13.20 โดยปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม และปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการผลิตมอนอกลิเซอโรลด์ กล่าวคือ ที่อุณหภูมิเพียง 220 องศาเซลเซียสและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 15:5:1 เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้เพราะที่อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลเท่ากับ 30 จะทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นในระบบเจือจางลงและส่งผลต่อร้อยละมอนอกลิเซอโรลด์ที่ลดลงด้วย โดยการที่ในระบบมีไอโซโพรพานอลจะช่วยลดความหนืดของสารตั้งต้นได้หรือเป็นการเพิ่มการถ่ายโอนมวลของสารในระบบ

จากการทดลองพบสารกลุ่มไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไตรกลีเซอโรลด์ที่มีไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย โดยที่ไอโซโพรพิลเอสเทอร์จะเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระและไอโซโพรพานอลได้ผลพลอยได้คือน้ำ ซึ่งถ้าหากมีน้ำอยู่ในระบบไม่ว่าจากผลพลอยได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน หรือน้ำที่อยู่ในกลิเซอรอลก็จะทำให้ร้อยละของไอโซโพรพิลเอสเทอร์มีค่าสูงยิ่งขึ้น เพราะว่าการเกิดกรดไขมันอิสระจากการที่น้ำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอโรลด์ ไดกลีเซอโรลด์ หรือมอนอกลิเซอโรลด์ มีมากขึ้น จึงกลับไปทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับไอโซโพรพานอลซ้ำได้อีก แต่การมีอยู่ของไอโซโพรพิลเอสเทอร์อาจจะไม่ใช่ข้อดีเสมอไป เพราะจากโครงสร้างที่คล้ายกันของไอโซโพรพิลเอสเทอร์และมอนอกลิเซอโรลด์ ยกตัวอย่างเช่น ไอโซโพรพิลปาล์มิเตตและมอนอปาล์มิเตน จึงมีสมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้งานที่

คล้ายกันด้วย ดังในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนัง โดยมีสมบัติที่ดี คือ สามารถซึมเข้าสู่ผิวหนังได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีพิษและสามารถลดความมันของเครื่องสำอางได้

การที่มีน้ำอยู่ในระบบจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือมอนอกลิเซอไรด์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งยืนยันได้จากเมื่อมีปริมาณน้ำในระบบสูงขึ้น ปริมาณกรดไขมันสูงขึ้นเช่นกัน ในงานวิจัยนี้ยังพบอีกว่าที่ภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 โดยมีการเติมน้ำร้อยละ 10-12 โดยมวล น้ำจะประพฤติตัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าในระบบที่มีน้ำอยู่ร้อยละ 5 หรือ 15 โดยมวล ดังนั้นการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่มีน้ำอยู่ในระบบจะส่งผลทำให้ได้ร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่สูงกว่าระบบที่มีเพียงกลีเซอรอลและน้ำมันปาล์ม

การใช้กลีเซอรอลดิบเป็นสารตั้งต้นทำให้เห็นถึงผลกระทบของน้ำที่มีอยู่ถึงร้อยละ 12.63 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการเติมน้ำลงไปไนกลีเซอรอลบริสุทธิ์ร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่ภาวะ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 กล่าวคือ น้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้ได้ร้อยละกรดไขมันมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ จากนั้นกรดไขมันในระบบจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับตัวทำละลาย ซึ่งก็คือไอโซโพรพานอล ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารกลุ่มไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยที่สารกลุ่มไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจะมีร้อยละที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในระบบมีค่าที่สูงขึ้นเช่นเดียวกัน นอกเหนือจากนี้การที่กลีเซอรอลดิบมีหลากหลายองค์ประกอบ เช่น เมทานอล ก็จะมีผลทำให้เกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ได้เป็นสารกลุ่มเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ส่งผลต่อร้อยละมอนอกลิเซอไรด์ที่ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ภาวะที่ใช้ในการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ผ่านปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย อาจจะมีการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานกว่า 150 นาที แต่ต้องระวังสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่าจะเข้มจนยากที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้

2. ถึงแม้ว่าภาวะการทดลองที่ให้มอนอกลิเซอไรด์สูงสุดจากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเพิ่มช่วงความถี่ของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตมอนอกลิเซอไรด์ อาจจะทำให้เห็นถึงแนวโน้มที่ชัดเจนมากขึ้น เช่น อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลิเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) ที่อาจจะเป็น 0 5 10 15 20 25 เป็นต้น

3. จากการที่ผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบหลายชนิด โดยที่สนใจคือสารในกลุ่มมอนอกลิเซอไรด์ และไอโซโพรพิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยถ้าหากสามารถนำสารทั้งสองกลุ่มไปใช้งานได้โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการแยก ก็จะเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อีกทางหนึ่ง

บรรณานุกรม

- [1] Y. Zheng, X. Chen, Y. Shen, Commodity Chemicals Derived from Glycerol, an Important Biorefinery Feedstock, *Chemical Reviews* 108(12) (2008).
- [2] A. Coteron, M. Martinez, J. Aracil, Reactions of olive oil and glycerol over immobilized lipases, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 75(5) (1998) 657-660.
- [3] Q. Liu, T. Yan, Z. Jiang, T. Fang, Sustainable utilization of crude glycerol from biodiesel production: catalyst free monoacylglycerols production, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 92(7) (2017) 1801-1808.
- [4] A.W. Go, S. Sutanto, S. Ismadji, Y.-H. Ju, Catalyst free production of partial glycerides: acetone as solvent, *RSC Advances* 5(39) (2015) 30833-30840.
- [5] J. Rukprasoot, *Glycerolysis of Crude Glycerol Derived from Biodiesel Process*, Chemical Engineering, Prince of Songkla University, 2005.
- [6] ไพจิตร, คู่มือการใช้ประโยชน์และการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันพืช 52 ชนิด, กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2530.
- [7] M. Maclellan, Palm oil, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 60(2Part2) (1983) 368-373.
- [8] L. Andreani, J.J.B.J.o.C.E. Rocha, Use of ionic liquids in biodiesel production: a review, 29(1) (2012) 1-13.
- [9] L. Bournay, D. Casanave, B. Delfort, G. Hillion, J.J.C.t. Chodorge, New heterogeneous process for biodiesel production: a way to improve the quality and the value of the crude glycerin produced by biodiesel plants, 106(1-4) (2005) 190-192.

- [10] M. González-Pajuelo, J. Andrade, I.J.J.o.I.M. Vasconcelos, *Biotechnology, Production of 1, 3-propanediol by Clostridium butyricum VPI 3266 using a synthetic medium and raw glycerol*, 31(9) (2004) 442-446.
- [11] J. Melero, G. Vicente, G. Morales, M. Paniagua, J. Moreno, R. Roldán, A. Ezquerro, C.J.A.C.A.G. Pérez, *Acid-catalyzed etherification of bio-glycerol and isobutylene over sulfonic mesostructured silicas*, 346(1-2) (2008) 44-51.
- [12] S.S. Yazdani, R.J.C.o.i.b. Gonzalez, *Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry*, 18(3) (2007) 213-219.
- [13] Chemical formula and model of glycerol molecule vector image. <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector>. June 2020).
- [14] N. Rahmat, A.Z. Abdullah, A.R.J.R. Mohamed, S.E. Reviews, *Recent progress on innovative and potential technologies for glycerol transformation into fuel additives: a critical review*, 14(3) (2010) 987-1000.
- [15] R.H. Perry, *Chemical engineers' handbook*, (1954).
- [16] H. Tan, A.A. Aziz, M.J.R. Aroua, S.E. Reviews, *Glycerol production and its applications as a raw material: A review*, 27 (2013) 118-127.
- [17] V. Bogaart, *Glycerin Market Brief, Croda Oleochemicals–new ideas in natural ingredients*, Technical Report for Croda: Gouda, The Netherlands, 2009.
- [18] M.D. Bohon, B.A. Metzger, W.P. Linak, C.J. King, W.L.J.P.o.t.c.i. Roberts, *Glycerol combustion and emissions*, 33(2) (2011) 2717-2724.
- [19] V. Gombac, L. Sordelli, T. Montini, J.J. Delgado, A. Adamski, G. Adami, M. Cargnello, S. Bernal, P.J.T.j.o.p.c.A. Fornasiero, *CuO x– TiO₂ Photocatalysts for H₂ Production from Ethanol and Glycerol Solutions*, 114(11) (2010) 3916-3925.

- [20] C.A.G. Quispe, C.J.R. Coronado, J.A. Carvalho Jr, Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27 (2013) 475-493.
- [21] ล. เลิศพงศ์, โอกาสของอุตสาหกรรม oleochemicals ในอาเซียน ที่น่าจับตามอง, 2016. <https://www.scbeic.com/th/detail/product/2271>. (Accessed 20 June 2020).
- [22] อ.อ. สุจิตา อรรถยานันท์, เราสามารถนำกลีเซอรอลดิบไปใช้ประโยชน์ในด้านใดได้บ้าง, 2020. <http://lib1.dss.go.th/newbsti3/index.php/th>. June 2020).
- [23] W. Fischer, Production of high concentrated monoglyceride, DGF-Symposium in Magdeburg, UIC, GmbH Germany, 1998, pp. 2-14.
- [24] A. Corma, S. Hamid, S. Iborra, A. Velty, Lewis and Brønsted basic active sites on solid catalysts and their role in the synthesis of monoglycerides, *Journal of Catalysis* 234(2) (2005) 340-347.
- [25] A.T. Gros, R.J.J.o.t.A.O.C.S. Feuge, Preparation of partial glycerides by direct esterification, 41(11) (1964) 727-731.
- [26] J. Satyarthi, D. Srinivas, P.J.A.C.A.G. Ratnasamy, Hydrolysis of vegetable oils and fats to fatty acids over solid acid catalysts, 391(1-2) (2011) 427-435.
- [27] D.A. Echeverri, F. Cardeno, L.A.J.J.o.t.A.O.C.S. Rios, Glycerolysis of soybean oil with crude glycerol containing residual alkaline catalysts from biodiesel production, 88(4) (2011) 551-557.
- [28] Â.F. Esmelindro, K.G. Fiametti, G. Ceni, M.L. Corazza, H. Treichel, D. de Oliveira, J.V.J.T.J.o.S.F. Oliveira, Lipase-catalyzed production of monoglycerides in compressed propane and AOT surfactant, 47(1) (2008) 64-69.
- [29] H. Luo, Z. Zhai, W. Fan, W. Cui, G. Nan, Z. Li, Monoacylglycerol Synthesis by Glycerolysis of Soybean Oil Using Alkaline Ionic Liquid, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 54(18) (2015) 4923-4928.

- [30] C.A. Ferretti, A. Soldano, C.R. Apesteguía, J.I. Di Cosimo, Monoglyceride synthesis by glycerolysis of methyl oleate on solid acid–base catalysts, *Chemical Engineering Journal* 161(3) (2010) 346-354.
- [31] C. Ferretti, S. Fuente, R. Ferullo, N. Castellani, C. Apesteguía, J.J.A.C.A.G. Di Cosimo, Monoglyceride synthesis by glycerolysis of methyl oleate on MgO: Catalytic and DFT study of the active site, 413 (2012) 322-331.
- [32] B. Cheirsilp, W. Kaewthong, H.J.B.E.J. Aran, Kinetic study of glycerolysis of palm olein for monoacylglycerol production by immobilized lipase, 35(1) (2007) 71-80.
- [33] H.P. Tai, G.J.T.J.o.S.F. Brunner, Mono- and di-acylglycerol synthesis in CO₂-expanded acetone, 59 (2011) 87-91.
- [34] D. Bera, D. Lahiri, A. De Leonardis, K. De, A.J.A.E.I.C.J. Nag, A novel azeotropic mixture for solvent extraction of edible oils, (2006).
- [35] Y. Hui, *Bailey's Industrial Oil and Fat Products. V. 2 Edible Oil and Fat Products Oils and Oil Seeds*, John Wiley and Sons 1996.
- [36] C. Arrowsmith, J.J.U.P. Ross, *Treating fatty materials*, 2(383) (1945) 580.
- [37] C.M. Gooding, H.W. Vahlteich, Preparation of fatty acid esters of polyhydroxy alcohols, Google Patents, 1940.
- [38] MONO- AND DIGLYCERIDES. <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/>. June 2020).
- [39] U.T.J.E. Bornscheuer, m. technology, Lipase-catalyzed syntheses of monoacylglycerols, 17(7) (1995) 578-586.
- [40] n-3-Polyunsaturated fatty acid <http://www.wongkarnpat.com/>. June 2020).
- [41] N.O.V. Sonntag, Glycerolysis of fats and methyl esters — Status, review and critique, *Journal of the American Oil Chemists Society* 59(10) (1982) 795A-802A.

- [42] H.-G. Byun, T.-K. Eom, W.-K. Jung, S.-K. Kim, Lipase catalyzed production of monoacylglycerols by the esterification of fish oil fatty acids with glycerol, *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 12(5) (2007) 491.
- [43] R.C. Sprong, M.F. Hulstein, R.J.T.J.o.n. Van der Meer, High intake of milk fat inhibits intestinal colonization of *Listeria* but not of *Salmonella* in rats, 129(7) (1999) 1382-1389.
- [44] F. Temelli, K. J.W, G. List, Conversion of oils to monoglycerides by glycerolysis in supercritical carbon dioxide media, *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society* 73 (1996).
- [45] M. H., US Patent, USA, 1949.
- [46] P.H.L. Moquin, F. Temelli, H. Sovová, M.D.A. Saldaña, Kinetic modeling of glycerolysis–hydrolysis of canola oil in supercritical carbon dioxide media using equilibrium data, *The Journal of Supercritical Fluids* 37(3) (2006) 417-424.
- [47] S. Bhatia, A.L. Ahmad, A.R. Mohamed, S.Y. Chin, Production of isopropyl palmitate in a catalytic distillation column: Experimental studies, *Chemical Engineering Science* 61(22) (2006) 7436-7447.



ภาคผนวก

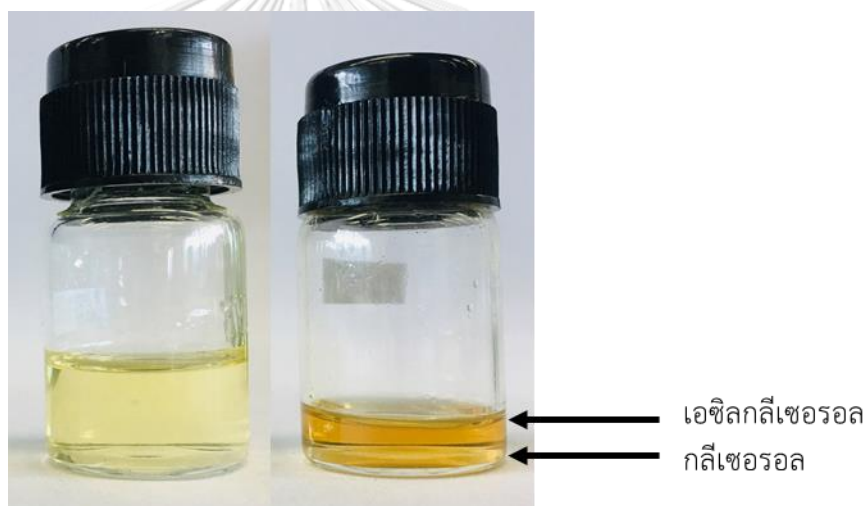
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

ก.1 การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

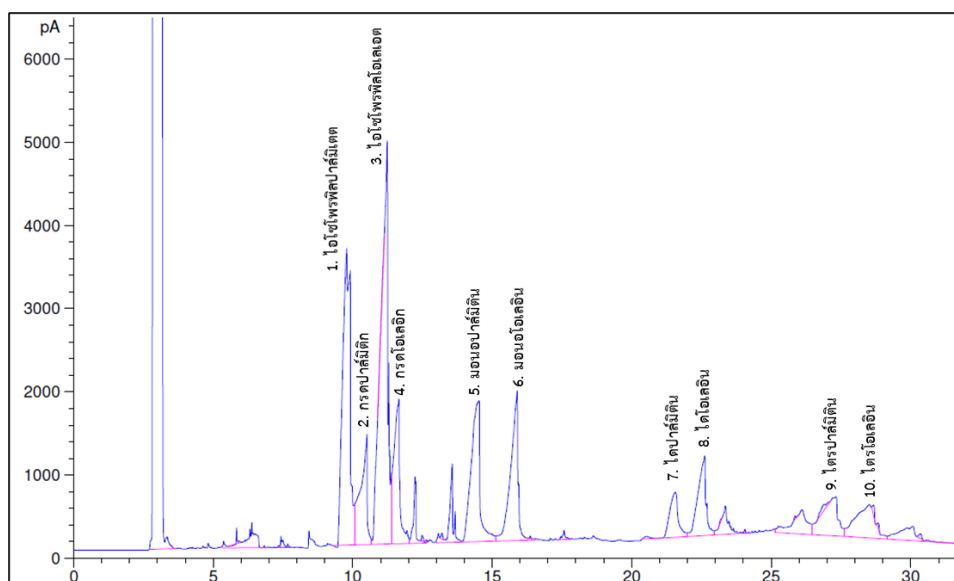
จากภาวะการทดลองที่ให้มอนอกลิเซอไรด์สูงสุดจะพบว่าผลิตภัณฑ์หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดจะเป็นเนื้อเดียว และหลังจากทำการระเหยไอโซโพรพานอลออกไปจะมีการแยกเป็น 2 ชั้น ดังรูปที่ ก.1 โดยผลิตภัณฑ์ชั้นบนเป็นสารในกลุ่มเอซิลกลีเซอรอล (มอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์) รวมถึงสารกลุ่มไอโซโพรพิลเอสเทอร์และกรดไขมัน และผลิตภัณฑ์ชั้นล่างเป็นกลีเซอรอล ดังนั้นจึงแยกนำสารชั้นบนไปเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในลำดับถัดไป



รูปที่ ก.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสระหว่างน้ำมันปาล์มและกลีเซอรอลบริสุทธิ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อ น้ำมันปาล์มอยู่ที่ 15:5:1 (รูปซ้าย) ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด (รูปขวา) ผลิตภัณฑ์หลังจากระเหยไอโซโพรพานอล

ก.2 การวิเคราะห์ชนิดของผลิตภัณฑ์

ในการวิเคราะห์หาชนิดของผลิตภัณฑ์สามารถวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งพิจารณาจากโครมาโทแกรมโดยเทียบกับ Retention time ของสารแต่ละชนิด โดยตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 แสดงโครมาโทแกรม GC ของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที ปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ร้อยละ 40 และอัตราส่วนโดยโมลของไอโซไพริลปาล์มเตด:กรดโอเลอิก:มอนอปาล์มดิน:มอนอโอเลอีน:ไดปาล์มดิน:ไดโอเลอีน:ไตรปาล์มดิน:ไตรโอเลอีน โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแต่ละชนิดที่ Retention time แตกต่างกัน

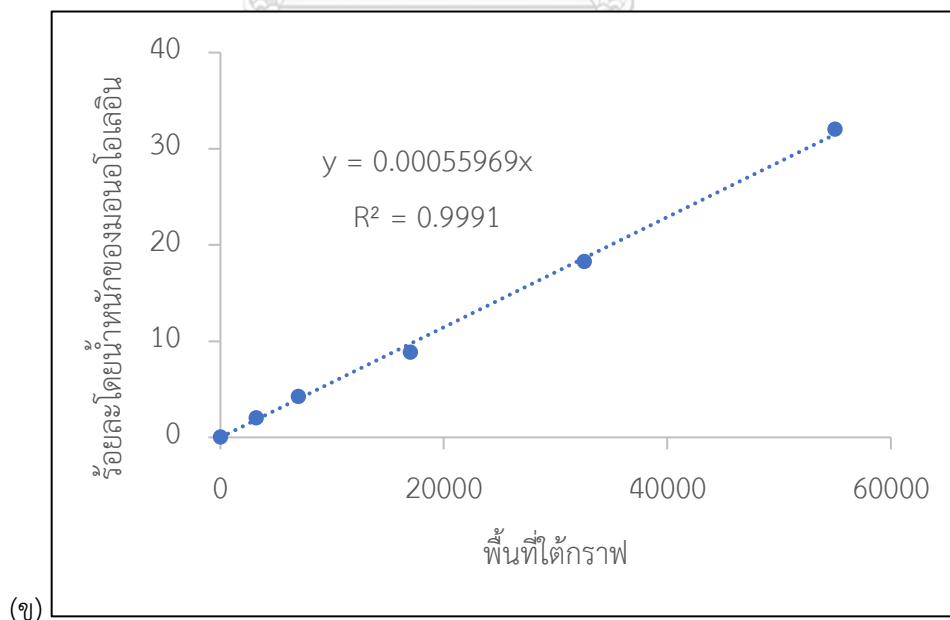
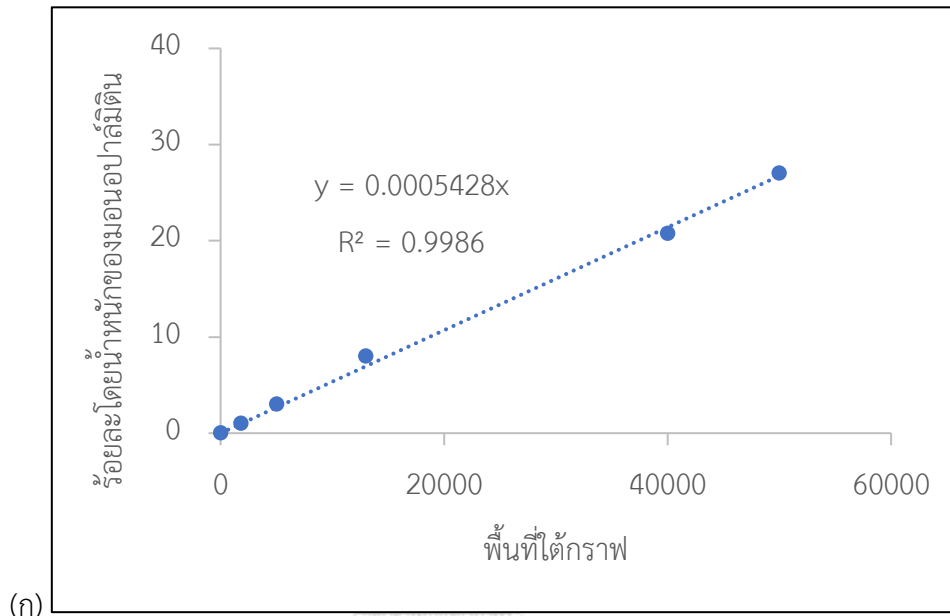
ก.3 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

การวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ ร้อยละมอนอกลีเซอไรด์ ร้อยละไดกลีเซอไรด์ ร้อยละไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละกรดไขมัน และร้อยละไอโซไพริลเอสเทอร์ สามารถคำนวณได้จากการพล็อตพื้นที่ใต้กราฟ (Peak area) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเพื่อนำมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานของสารแต่ละชนิด โดยให้แกน X เป็นพื้นที่ใต้กราฟ และแกน Y เป็นความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ซึ่งจะได้เส้นความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นตรง โดยผ่านจุดกำเนิด หลังจากนั้นแทนค่าพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละสารที่ได้จากการทดลองลงในสมการของกราฟมาตรฐาน เพื่อหาปริมาณต่อไป แสดงดังสมการ ก.1

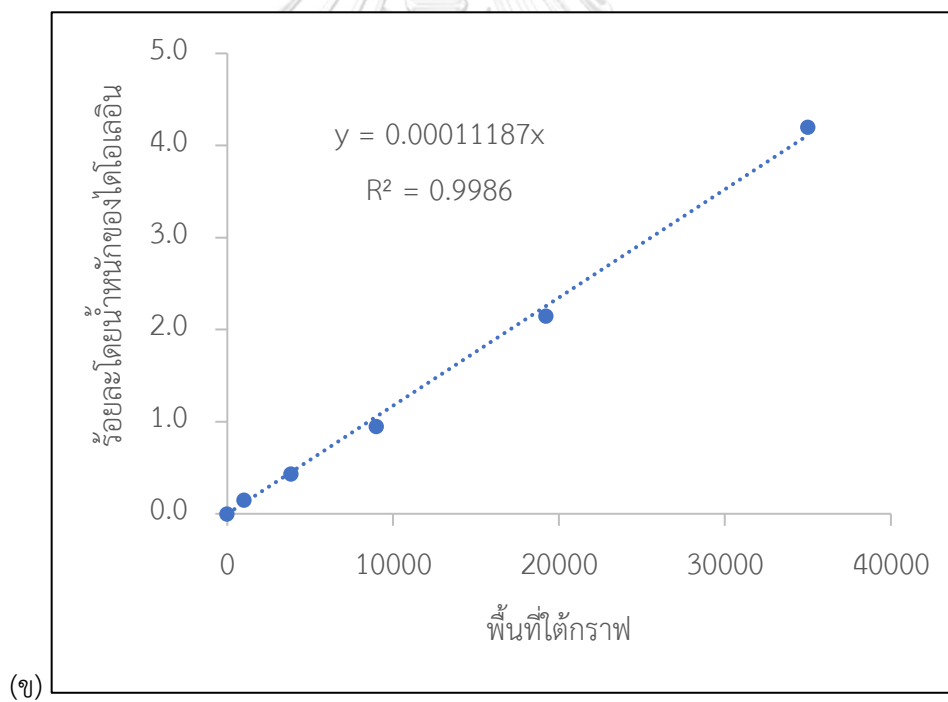
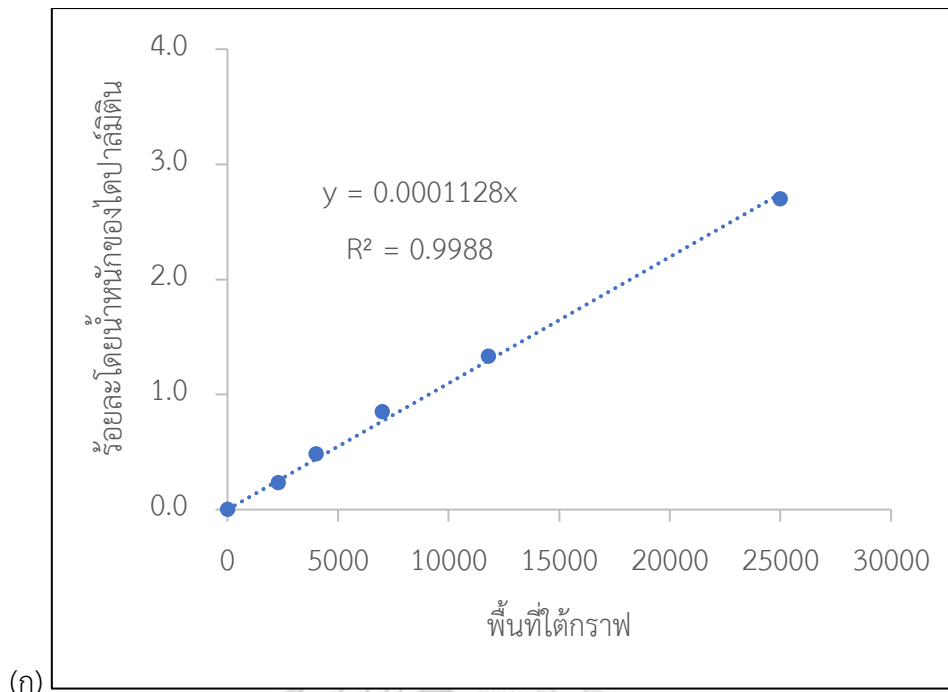
$$y = mx$$

(ก.1)

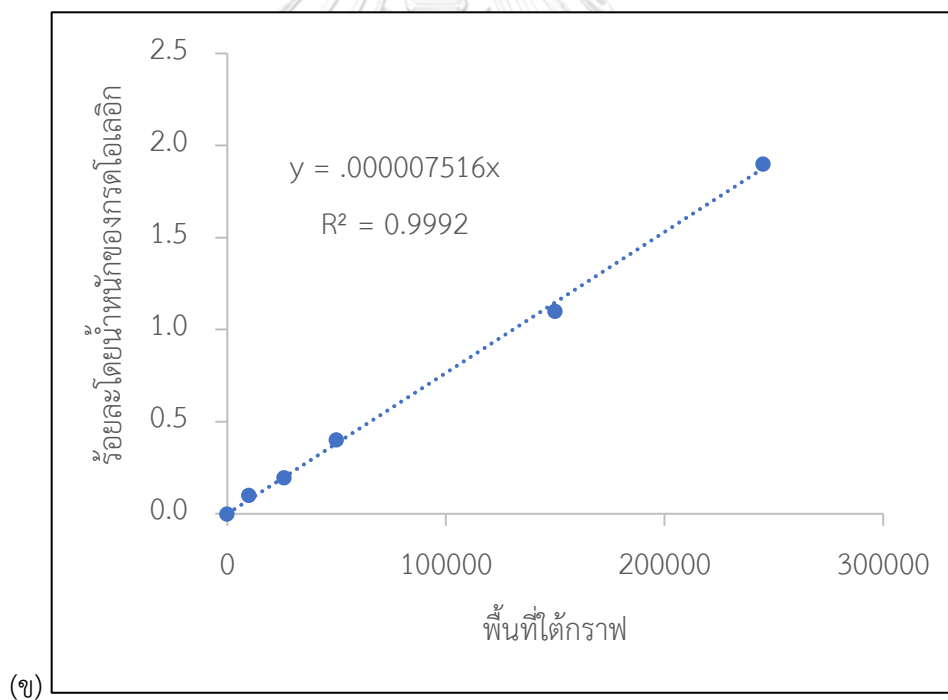
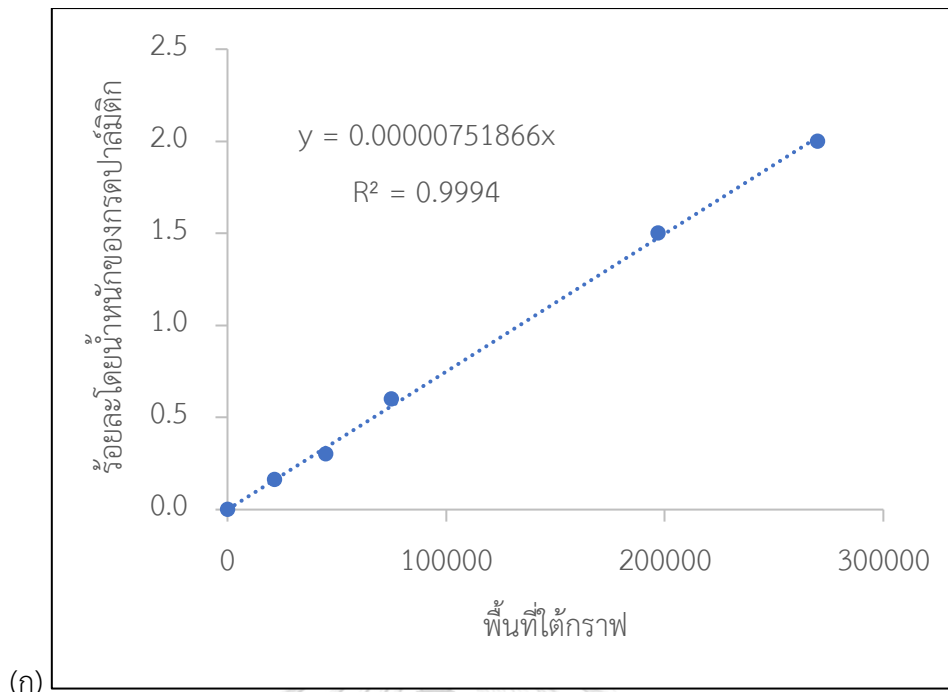
- เมื่อ y คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
 m คือ ความชันของกราฟ (ค่าคงที่)
 x คือ พื้นที่ใต้กราฟ



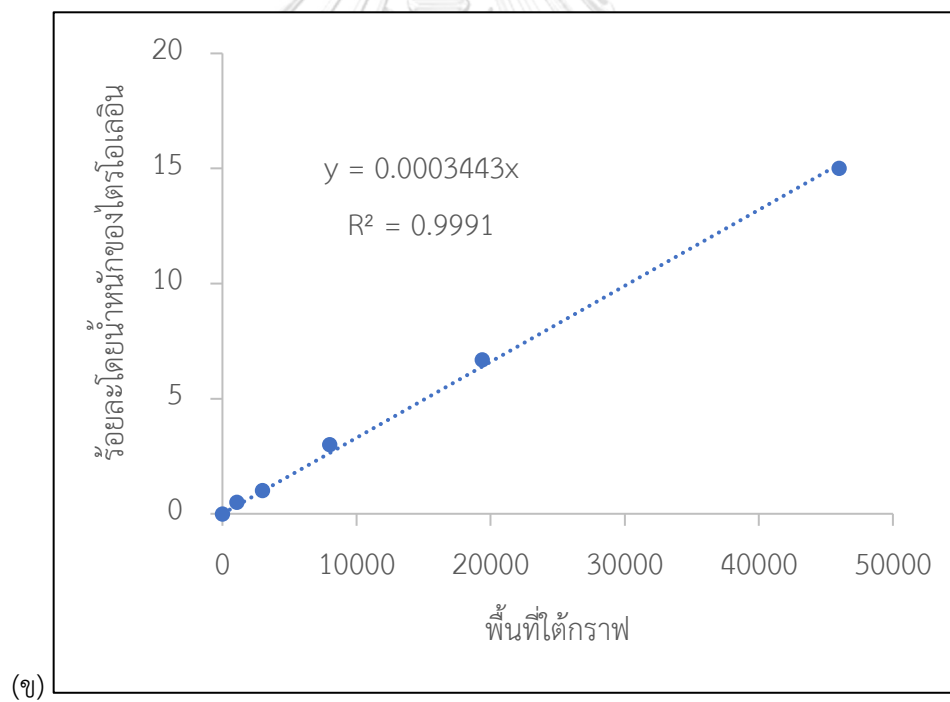
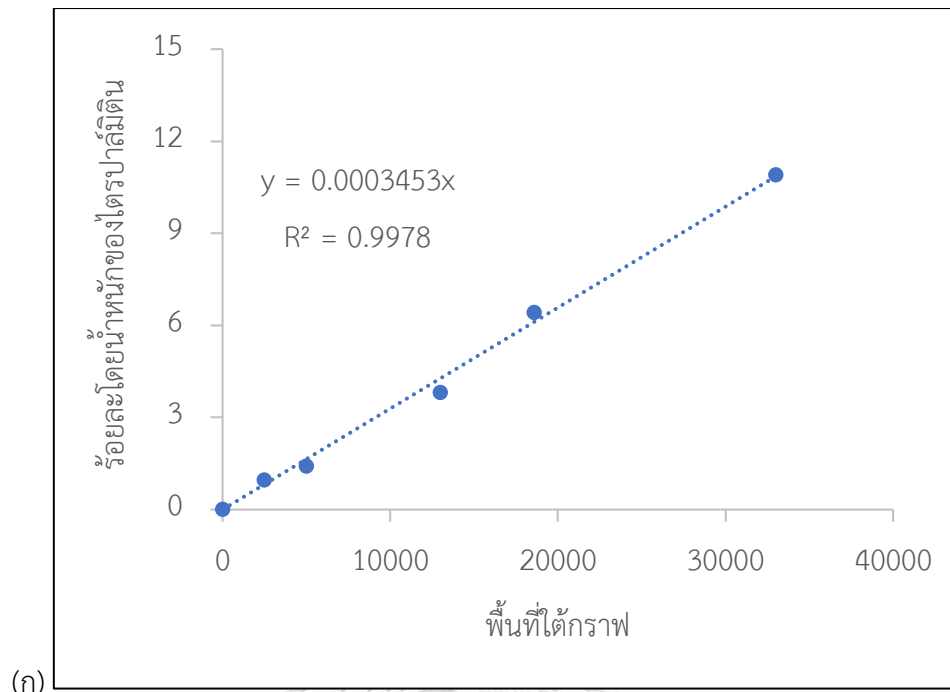
รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานของ (ก) มอนอปาล์มิติน และ (ข) มอนอโอเลอิน



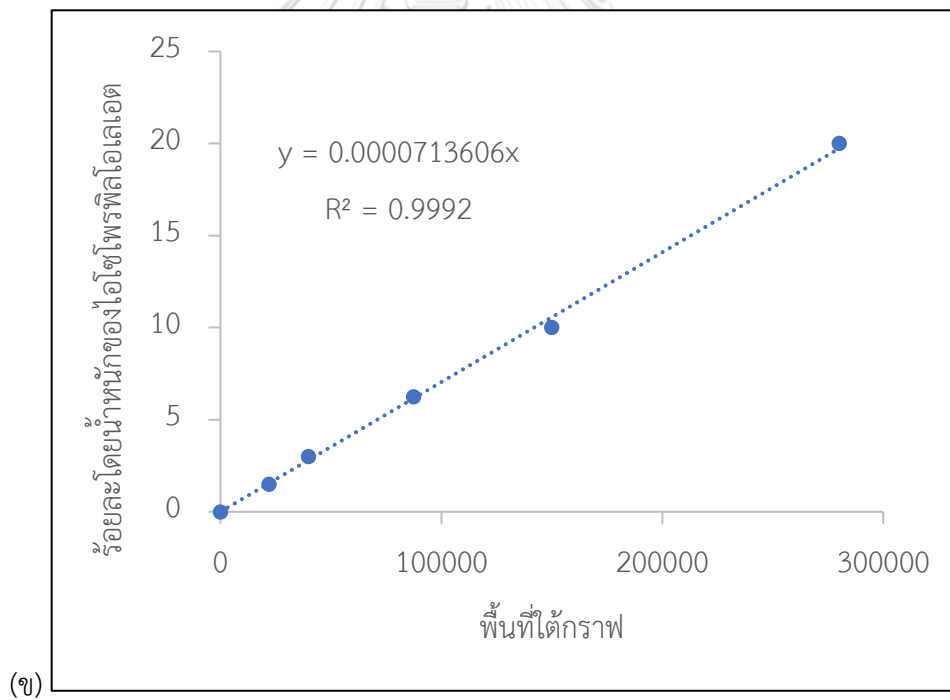
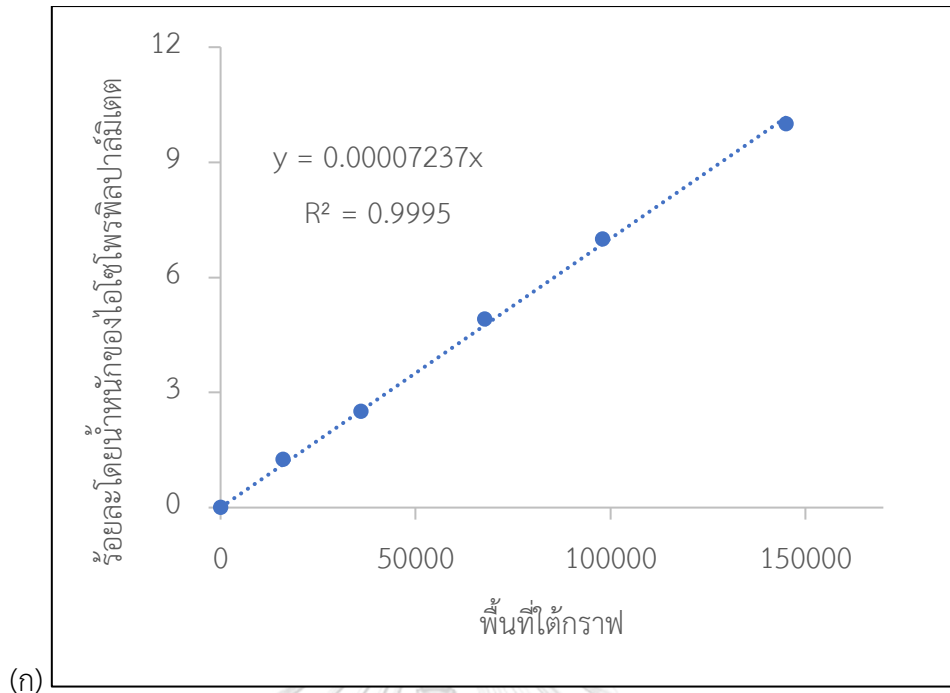
รูปที่ ก.4 กราฟมาตรฐานของ (ก) ดินป่าสมิติน และ (ข) ดินโอเลอิน



รูปที่ ก.5 กราฟมาตรฐานของ (ก) กรดปาล์มติก และ (ข) กรดโอเลอิก



รูปที่ ก.6 กราฟมาตรฐานของ (ก) ไตรปอลีสตีดิน และ (ข) ไตรโอเลอิน



รูปที่ ก.7 กราฟมาตรฐานของ (ก) ไอโซโพรพิลปาล์มิตเตต และ (ข) ไอโซโพรพิลโอเลเอต

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแยกตามองค์ประกอบ

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงร้อยละมอนอพาร์ลมีดิน (MP) ร้อยละมอนอโอเลอิน (MO) ร้อยละไดพาร์ลมีดิน (DP) ร้อยละไดโอเลอิน (DO) ร้อยละไตรพาร์ลมีดิน (TP) ร้อยละไตรโอเลอิน (TO) ร้อยละกรดพาร์ลมีติก (PA) ร้อยละกรดโอเลอิก (OA) ร้อยละไอโซพรีพิลพาร์ลมีเตต (IPP) และร้อยละไอโซพรีพิลโอเลเอต (IPO) ที่ภาวะอุณหภูมิในการทดลอง 260 องศาเซลเซียส

RUN	A	B	C	D	MP	MO	DP	DO	TP	TO	PA	OA	IPP	IPO
1.1	260	30	0	40	0.00	0.00	3.02	4.06	35.10	44.31	0.48	0.55	0.00	0.00
1.2	260	30	0	40	0.00	0.00	3.58	4.20	32.14	41.51	0.58	0.61	0.00	0.00
2.1	260	30	0	60	3.21	2.83	3.15	3.98	29.92	42.19	0.59	0.55	0.00	0.00
2.2	260	30	0	60	3.86	2.16	2.88	3.49	37.30	43.33	0.57	0.67	0.00	0.00
3.1	260	30	0	80	3.94	2.00	1.59	1.99	38.76	41.23	0.51	0.63	0.00	0.00
3.2	260	30	0	80	3.44	2.50	1.51	2.07	34.88	45.11	0.57	0.57	0.00	0.00
4.1	260	30	15	40	3.74	2.32	2.25	4.88	25.88	40.90	0.55	0.59	2.66	3.11
4.2	260	30	15	40	3.05	3.01	3.03	4.10	31.61	35.17	0.53	0.61	2.36	3.41
5.1	260	30	15	60	2.28	2.10	2.49	2.81	35.21	34.12	0.42	0.70	2.18	2.99
5.2	260	30	15	60	2.40	1.98	3.13	2.17	29.75	39.58	0.46	0.66	1.89	3.28
6.1	260	30	15	80	0.35	0.31	2.48	4.10	37.34	37.74	0.58	0.67	2.52	2.87
6.2	260	30	15	80	0.41	0.25	2.81	3.77	35.00	40.08	0.67	0.58	2.48	2.91
7.1	260	30	30	40	0.00	0.00	3.48	3.15	40.20	31.39	0.47	0.67	1.69	2.34
7.2	260	30	30	40	0.00	0.00	2.97	3.66	32.83	38.76	0.53	0.61	2.06	1.97
8.1	260	30	30	60	0.30	0.21	2.06	4.10	39.19	37.81	0.88	0.65	1.58	1.33
8.2	260	30	30	60	0.26	0.25	2.22	3.94	41.56	35.44	0.74	0.79	1.38	1.53
9.1	260	30	30	80	0.59	0.67	2.52	3.69	38.93	34.97	0.47	0.96	1.71	2.47
9.2	260	30	30	80	0.71	0.55	2.49	3.72	37.43	36.47	0.81	0.62	2.20	1.98
10.1	260	90	0	40	1.30	0.95	3.86	4.55	34.47	40.97	0.55	0.48	0.00	0.00
10.2	260	90	0	40	1.10	1.15	4.38	4.03	36.13	39.31	0.43	0.60	0.00	0.00
11.1	260	90	0	60	3.90	3.57	3.55	5.10	28.42	35.10	0.67	0.53	0.00	0.00
11.2	260	90	0	60	4.11	3.36	4.02	4.63	35.53	27.99	0.49	0.71	0.00	0.00
12.1	260	90	0	80	0.52	0.35	3.59	3.66	37.65	40.10	0.58	0.67	0.00	0.00
12.2	260	90	0	80	0.50	0.37	3.17	4.08	39.97	37.78	0.51	0.74	0.00	0.00
13.1	260	90	15	40	17.43	16.77	2.45	3.10	16.11	19.90	0.22	0.45	6.00	4.93
13.2	260	90	15	40	14.75	19.45	2.78	2.77	15.84	20.17	0.28	0.39	5.73	5.20

RUN	A	B	C	D	MP	MO	DP	DO	TP	TO	PA	OA	IPP	IPO
14.1	260	90	15	60	16.24	15.71	1.95	3.50	17.94	18.66	0.28	0.44	5.26	4.78
14.2	260	90	15	60	15.02	16.93	2.50	2.95	16.86	19.74	0.35	0.37	5.05	4.99
15.1	260	90	15	80	13.39	10.28	2.75	2.57	19.89	25.44	0.34	0.36	5.25	5.51
15.2	260	90	15	80	11.94	11.73	2.16	3.16	21.56	23.77	0.29	0.41	5.87	4.89
16.1	260	90	30	40	9.32	8.14	2.15	3.72	24.07	28.47	0.40	0.51	5.77	4.01
16.2	260	90	30	40	9.47	7.99	1.88	3.99	22.88	29.66	0.42	0.49	5.45	4.33
17.1	260	90	30	60	5.49	5.88	2.61	3.69	26.47	31.84	0.41	0.58	4.67	3.94
17.2	260	90	30	60	6.36	5.01	2.25	4.05	24.62	33.69	0.48	0.51	4.56	4.05
18.1	260	90	30	80	5.23	4.10	2.60	3.47	22.51	38.47	0.49	0.49	5.04	4.85
18.2	260	90	30	80	5.00	4.33	2.85	3.22	26.82	34.16	0.45	0.53	5.32	4.57
19.1	260	150	0	40	10.05	8.97	4.56	5.19	23.71	29.77	0.41	0.52	0.00	0.00
19.2	260	150	0	40	8.91	10.11	3.97	5.78	22.04	31.44	0.49	0.44	0.00	0.00
20.1	260	150	0	60	7.52	6.55	2.74	3.39	20.95	39.46	0.41	0.61	0.00	0.00
20.2	260	150	0	60	6.88	7.19	2.39	3.74	24.42	35.99	0.45	0.57	0.00	0.00
21.1	260	150	0	80	3.33	2.97	3.29	5.11	27.51	42.19	0.44	0.70	0.00	0.00
21.2	260	150	0	80	3.14	3.16	3.63	4.77	31.29	38.41	0.52	0.62	0.00	0.00
22.1	260	150	15	40	27.19	26.93	1.33	2.63	5.97	9.70	0.15	0.25	6.73	6.47
22.2	260	150	15	40	26.68	27.44	1.82	2.14	7.23	8.44	0.21	0.19	6.19	7.01
23.1	260	150	15	60	24.79	20.30	1.61	3.07	7.55	15.90	0.15	0.29	6.81	5.49
23.2	260	150	15	60	22.95	22.14	2.21	2.47	10.23	13.22	0.20	0.24	5.31	6.99
24.1	260	150	15	80	20.19	18.66	2.18	2.84	15.37	17.88	0.31	0.29	6.87	5.41
24.2	260	150	15	80	20.87	17.98	2.11	2.91	13.83	19.42	0.26	0.34	6.25	6.03
25.1	260	150	30	40	18.31	15.47	1.56	3.41	15.01	23.39	0.37	0.30	6.91	5.85
25.2	260	150	30	40	17.49	16.29	2.42	2.55	16.99	21.41	0.34	0.33	6.57	6.19
26.1	260	150	30	60	15.56	13.30	1.85	3.01	15.49	22.37	0.23	0.34	6.81	5.64
26.2	260	150	30	60	16.57	12.29	2.30	2.56	17.75	20.11	0.25	0.32	6.66	5.79
27.1	260	150	30	80	12.92	10.39	1.84	2.99	19.65	26.57	0.30	0.41	6.60	6.10
27.2	260	150	30	80	11.76	11.55	2.15	2.68	20.64	25.58	0.32	0.39	7.02	5.68

โดยที่ RUN X.1 คือการทดลองในภาชนะนั้นครั้งที่ 1 และ RUN X.2 คือการทดลองในภาชนะนั้นครั้งที่ 2 (A = อุณหภูมิ หน่วยองศาเซลเซียส B = เวลาในการเกิดปฏิกิริยา หน่วยนาที C = อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) และ D = ร้อยละปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์)

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงร้อยละมอนอพาร์ลิมิติน (MP) ร้อยละมอนอโอเลอิน (MO) ร้อยละไดพาร์ลิมิติน (DP) ร้อยละไดโอเลอิน (DO) ร้อยละไตรพาร์ลิมิติน (TP) ร้อยละไตรโอเลอิน (TO) ร้อยละกรดพาร์ลิมิติก (PA) ร้อยละกรดโอเลอิก (OA) ร้อยละไอโซพรีพิลพาร์ลิมิติต (IPP) และร้อยละไอโซพรีพิลโอเลเอต (IPO) ที่ภาวะอุณหภูมิในการทดลอง 220 องศาเซลเซียส

RUN	A	B	C	D	MP	MO	DP	DO	TP	TO	PA	OA	IPP	IPO
5.1	220	30	15	60	0.08	0.07	1.90	2.15	37.25	39.47	0.46	0.87	2.10	2.40
5.2	220	30	15	60	0.09	0.06	2.04	2.01	36.42	40.30	0.59	0.74	2.37	2.13
11.1	220	90	0	60	0.56	0.55	1.20	1.37	28.07	40.33	0.67	0.94	0.00	0.00
11.2	220	90	0	60	0.52	0.59	1.13	1.44	26.30	42.10	0.76	0.85	0.00	0.00
14.1	220	90	15	60	0.53	0.34	2.42	3.10	30.09	39.00	0.29	0.31	2.83	2.14
14.2	220	90	15	60	0.48	0.39	2.74	2.78	31.94	37.15	0.36	0.24	2.64	2.33
17.1	220	90	30	60	0.16	0.17	2.46	2.44	34.84	45.10	0.66	0.67	5.89	4.51
17.2	220	90	30	60	0.18	0.15	2.74	2.16	38.64	41.30	0.45	0.88	5.30	5.10
23.1	220	150	15	60	5.10	4.20	2.63	2.90	32.10	35.11	0.34	0.50	4.31	3.33
23.2	220	150	15	60	5.33	3.97	2.06	3.47	33.02	34.19	0.43	0.41	3.70	3.94

โดยที่ RUN X.1 คือการทดลองในภาชนะนั้นครั้งที่ 1 และ RUN X.2 คือการทดลองในภาชนะนั้นครั้งที่ 2 (A = อุณหภูมิ หน่วยองศาเซลเซียส B = เวลาในการเกิดปฏิกิริยา หน่วยนาที่ C = อัตราส่วนโดยโมลของไอโซพรีพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) และ D = ร้อยละปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์)

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงร้อยละมอนอพาร์มิติน (MP) ร้อยละมอนอโอเลอิน (MO) ร้อยละไดพาร์มิติน (DP) ร้อยละไดโอเลอิน (DO) ร้อยละไตรพาร์มิติน (TP) ร้อยละไตรโอเลอิน (TO) ร้อยละกรดพาร์มิติก (PA) ร้อยละกรดโอเลอิก (OA) ร้อยละไอโซพรีพิลพาร์มิตเตต (IPP) และร้อยละไอโซพรีพิลโอเลเอต (IPO) ที่ภาวะอุณหภูมิในการทดลอง 240 องศาเซลเซียส

RUN	A	B	C	D	MP	MO	DP	DO	TP	TO	PA	OA	IPP	IPO
5.1	240	30	15	60	0.50	0.55	2.12	2.77	42.43	40.10	0.64	0.87	4.11	3.54
5.2	240	30	15	60	0.58	0.47	1.95	2.94	39.63	42.90	0.76	0.75	4.43	3.22
11.1	240	90	0	60	0.98	0.94	2.17	2.84	39.38	50.15	0.96	0.97	0.00	0.00
11.2	240	90	0	60	0.93	0.99	2.38	2.63	34.17	55.36	1.09	0.84	0.00	0.00
14.1	240	90	15	60	0.79	9.44	2.27	2.54	27.49	40.21	0.50	0.54	8.51	6.90
14.2	240	90	15	60	1.30	8.93	2.15	2.66	28.26	39.44	0.55	0.49	8.31	7.10
17.1	240	90	30	60	0.36	0.33	2.68	3.10	41.79	37.00	0.56	0.87	6.05	5.14
17.2	240	90	30	60	0.40	0.29	2.79	2.99	36.68	42.11	0.72	0.71	5.64	5.55
23.1	240	150	15	60	11.99	10.96	2.91	2.77	21.82	24.16	0.37	0.32	4.92	4.88
23.2	240	150	15	60	11.18	11.77	2.68	3.00	22.27	23.71	0.35	0.34	5.70	4.10

โดยที่ RUN X.1 คือการทดลองในภาชนะนั้นครั้งที่ 1 และ RUN X.2 คือการทดลองในภาชนะนั้นครั้งที่ 2 (A = อุณหภูมิ หน่วยองศาเซลเซียส B = เวลาในการเกิดปฏิกิริยา หน่วยนาที่ C = อัตราส่วนโดยโมลของไอโซพรีพานอลต่อกลีเซอรอลต่อน้ำมันปาล์ม (X:5:1) และ D = ร้อยละปริมาตรของสารที่ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อิทธิฤทธิ์ พิไชยอัน
วัน เดือน ปี เกิด	31 ธันวาคม 2537
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง ในปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2559
ผลงานตีพิมพ์	เคยนำเสนอผลงานการประชุมวิชาการ The 29th Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference (TICHE2020) เมื่อวันที่ 1-2 มิถุนายน 2563