



อิทธิพลของการใช้กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมในการผลิตไบโอดีเซล

Effect of Fatty Acid Methyl Ester as a Cosolvent in Biodiesel Production

ธชา เมฆวัฒนา

Tacha Mekwattana

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Chemical Engineering

Prince of Songkla University

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายธชา เมฆวัฒนา)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายธชา เมฆวัฒนา)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ อิทธิพลผลของการใช้กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมในการผลิต
ไบโอดีเซล
ผู้เขียน นายธชา เมฆวัฒนา
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปแล้วไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันและปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันและปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน โดยการใช้ไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมในการทำปฏิกิริยา โดยในส่วนของการศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันได้ทำการทดลองโดยการใช้ไขมันปาล์มรีไฟน์เป็นสารตั้งต้น แล้วผสมกับตัวทำละลายร่วมเป็นสัดส่วนน้ำมันต่อตัวทำละลายร่วมเป็น 1:0-5 โดยโมล และได้ทำการทดลองโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียมเมทอกไซด์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาที่ 5 และ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยผลจากการทดลองพบว่าการใช้กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (FAME) เป็นตัวทำละลายร่วมทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน นั่นก็คือปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันซึ่งทำให้เกิดสบู่ขึ้นมา ซึ่งทำให้ร้อยละการเปลี่ยนของไตรกลีเซอไรด์ (%Conversion of TG) ลดลง และในการทดลองการใช้ตัวทำละลายร่วมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน พบว่าการใช้กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วม ที่สัดส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากัน พบว่าการไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม มีร้อยละการเปลี่ยนของกรดไขมันอิสระ (%Conversion of FFA) และร้อยละการเปลี่ยนของไตรกลีเซอไรด์ สูงกว่าการใช้ตัวทำละลายร่วมเข้าไปด้วย

Thesis Title	Effect of Fatty Acid Methyl Ester as a cosolvent in Biodiesel Production
Author	MR. Tacha Mekwattana
Major Program	Chemical Engineering
Academic Year	2015

ABSTRACT

In general, Biodiesel produced from the transesterification reaction and esterification reaction. This research study biodiesel production from both transesterification and esterification reaction by using biodiesel or FAME (fatty acid methyl ester) as a Cosolvent. In the part of the effect of Cosolvent in transesterification by using refined palm oil as a reactant mixed with Cosolvent in range of 0-5 molar ratio of Cosolvent: Triglyceride and used Sodium methoxide and Sodium hydroxide as catalyst at times 5, 15 min and temperature 60 °C. From experiment data, using FAME as a Cosolvent cannot enhanced transesterification reaction because FAME reacted with catalyst and became soap then decreased %Conversion of TG and using Cosolvent in esterification reaction with same ratio of methanol: Oil are higher %conversion of FFA (free fatty acid) and %conversion of TG than using Cosolvent

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชาคริต ทองอุไร ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งให้วิธีการแก้ไขปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กุลชนาฐ ประเสริฐสุทธิ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ กรรมการผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติภูมิ สุภักษ์ ภัยปัญหา กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัย รวมทั้งสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดสรร อุปกรณ์ และสารเคมีในการทำการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ธชา เมฆวัฒนา

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทต้นนำเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 ไบโอดีเซล	3
2.2 ส่วนประกอบของน้ำมันปาล์มรีไฟน์	3
2.3 ตัวทำละลายร่วม	4
2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	4
2.5 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	7
2.6 ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน	10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	15
3.1 วัสดุ	15
3.2 อุปกรณ์	16
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	17
3.4 วิธีการทำการทดลอง	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	23
4.1 การทดลองผสมน้ำมัน ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ และเมทานอล	23

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2 การทดลองใช้ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	26
4.3 การทดลองใช้ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยา เอสเตอริฟิเคชัน	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์และวิธีการคำนวณ	50
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง	59
ประวัติผู้เขียน	79

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1	3
2	4
3	25
4	26
5	27
6	28
7	30
8	31
9	33
10	34

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
11 ปริมาณ % Conversion of TG เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วม ของปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที	37
12 ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่เมื่อทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที	38
13 ปริมาณ %Conversion of FFA และ %Conversion of TG เมื่อใช้สัดส่วน เมทานอลต่อน้ำมันเท่ากัน และใช้ปริมาณตัวทำละลายร่วมที่แตกต่างกันทำปฏิกิริยา เอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	41
14 ปริมาณ %Conversion of FFA และ %Conversion of TG เมื่อใช้สัดส่วน เมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น และใช้ปริมาณตัวทำละลายร่วมที่แตกต่างกันทำปฏิกิริยา เอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	42
15 ปริมาณ %Conversion of FFA และ %Conversion of TG เมื่อใช้สัดส่วน เมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่ไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	43

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1 การวัดหาค่าประกอบต่างในน้ำมันไบโอดีเซล โดยเครื่องมือ Gas Chromatography	1
2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	4
3 ปฏิกิริยาที่เกิดในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	5
4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	6
5 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	7
6 Fischer esterification mechanism	7
7 ตัวอย่างกลไกการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	8
8 ขั้นตอนแรกของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	9
9 ขั้นตอนที่สองของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	9
10 ขั้นตอนที่สามของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	10
11 ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน	11
12 กลไกการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน	11
13 แผนผังการดำเนินงานวิจัยแบบพอสังเขป	17
14 หลังจากการผสมตัวทำละลายร่วม 4 โมล	18
15 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันกับปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	19
16 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 กับ 15 นาที	32
17 เปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 กับ 15 นาที	32
18 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 นาที	35

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
19 เปรียบเทียบปริมาณบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับ โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 นาที	35
20 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 กับ 15 นาที	36
21 เปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 กับ 15 นาที	39
22 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับ โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 15 นาที	39
23 เปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับ โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 15 นาที	40
24 เปรียบเทียบ %Conversion of FFA ของการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	44
25 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันการขนส่งเกือบทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับการใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ อย่างเช่น น้ำมันเบนซิน และดีเซล ทำให้การใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ, ภาวะโลกร้อน และ อากาศเปลี่ยนแปลง จึงจำเป็นต้องค้นหาเชื้อเพลิงทางเลือกที่อาจช่วยในการลดผลกระทบที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ ในที่นี้ไบโอดีเซล คือตัวเลือกที่เหมาะสมในการเลือกใช้เป็นพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการข้ามข้อจำกัดในการใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์

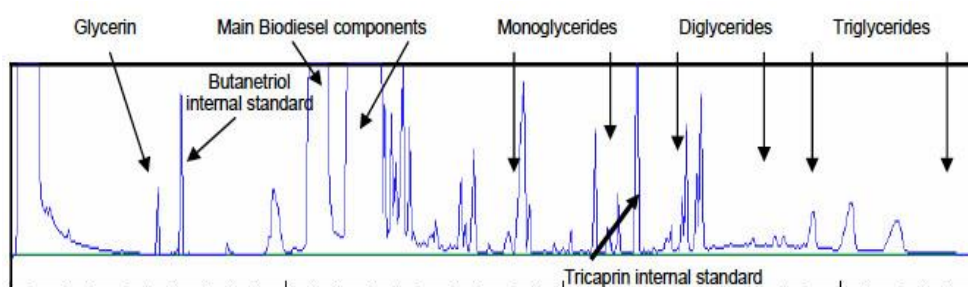
ไบโอดีเซลมักจะถูกจัดเตรียมในสถานะตัวเร่งปฏิกิริยากรด หรือ เบส ซึ่งในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวมักจะใช้กรดจำพวกซัลฟิวริก หรือ ไฮโดรคลอริก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานาน ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันก็เป็นอีกหนึ่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยจะใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์, โซเดียมเมทอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะเกิดได้ดีจะต้องเป็นปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกันซึ่งการที่จะเป็นเนื้อเดียวกันการละลายของแอลกอฮอล์จะต้องละลายได้ดีในการเกิดปฏิกิริยา

เนื่องจากน้ำมัน และแอลกอฮอล์เฟสในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลละลายผสมเข้ากันได้ไม่ดี ซึ่งการถ่ายโอนมวลระหว่างสองเฟสนี้ เป็นปัจจัยหลักต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

งานวิจัยหลายงานได้ชี้ว่า การเพิ่มตัวทำละลายร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผสมกันของทั้งสองเฟสและเพิ่มความเร็วของปฏิกิริยา เพราะสามารถลดความต้านทานการถ่ายโอนมวลระหว่างสองเฟสในของผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันให้ผสมกันได้ดีขึ้น

มีงานวิจัยที่ได้ใช้ตัวทำละลายร่วมในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอย่างเช่น Tetrahydrofuran (THF), Acetone, Ether และ Hexane ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไบโอดีเซล จากการวิจัยที่สืบค้นมาพบว่าการใช้ Acetone เป็นตัวทำละลายร่วมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของไบโอดีเซลได้สูงถึง 98% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อ แอลกอฮอล์ เป็นอัตราส่วน 1:4.5 โมล และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% โดยน้ำหนักน้ำมันดังนั้นการใช้ตัวทำละลายร่วมจึงถูกนำมาพิจารณาประยุกต์ใช้ในการการผลิตไบโอดีเซล (Encinar et al., n.d.)

ในการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาการใช้ เมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมในการผลิตไบโอดีเซลในทั้งปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน และทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน สาเหตุที่สนใจเลือกใช้ เมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมเพราะสามารถรีไซเคิลมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นการช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ตัวทำละลายร่วมและง่ายในการนำมาใช้เป็นตัวทำละลายร่วม และจากภาพประกอบ 1 เป็นการวัดหาค่าประกอบต่างจากไบโอดีเซล เมื่อใช้เครื่อง Gas Chromatography จะพบว่าทางด้านขวาจะเป็นพวกสารไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นพวกไม่มีขั้ว และทางฝั่งซ้ายเป็นกลีเซอรอล ซึ่งเป็นพวกมีขั้ว ซึ่งความเป็นขั้วของกลีเซอรอลกับเมทานอลจะมีความใกล้เคียงกัน จะพบว่าไบโอดีเซล จะมีความเป็นขั้วอยู่ระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับกลีเซอรอล เมื่อทำการผสมไบโอดีเซลกับไตรกลีเซอไรด์จะทำให้ความเป็นขั้วโดยรวมของน้ำมันเพิ่มขึ้น ใกล้เคียงกับของเมทานอลมากขึ้น



ภาพประกอบที่ 1 การวัดหาค่าประกอบต่างในน้ำมันไบโอดีเซล โดยเครื่องมือ Gas Chromatography

ที่มา : (“Sri-8610c-Gas-Chromatograph-Gc-Biodiesel-System @ Wwww.gmi-Inc.com,” n.d.)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาผลของการใช้เมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมในการผลิตไบโอดีเซล
2. เพื่อวิเคราะห์หาการใช้เมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมให้ได้ประโยชน์ที่ดีที่สุด

ที่สุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ได้องค์ความรู้ใหม่ทางด้านการผลิตไบโอดีเซล
2. ทำให้ทราบผลของการใช้เมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน และปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

บทที่ 2

ตรวจสอบเอกสาร

2.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหนึ่งทีประกอบด้วยโมโนแอลคิลเอสเทอร์ (mono-alkyl esters) ของกรดไขมันโซ่ยาว โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โซ่ตรงโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่เมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาทั้งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันและเอสเตอริฟิเคชัน (ปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์) ควบคู่กัน ไปซึ่งการจะเรียกชื่อของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้จะเรียกตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่มาทำปฏิกิริยาด้วย เช่น เมทิลเอสเทอร์ หรือ เอทิลเอสเทอร์

2.2 ส่วนประกอบของน้ำมันปาล์มรีไฟน์

น้ำมันปาล์มได้มาจากผลปาล์ม 2 ส่วนคือ เปลือกหุ้มภายนอก และเนื้อในของเมล็ด โดยในกระบวนการผลิตจะนำน้ำมันปาล์มดิบมาผ่านกระบวนการรีไฟน์จะได้เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์หรือน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Refined Palm Oil) โดยองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มรีไฟน์จะมีองค์ประกอบของกรดไขมันทั่วไป กับสารประเภทไตรกลีเซอไรด์ โดยตารางที่ 1 จะแสดงโครงสร้างกรดไขมันทั่วไป ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของกรดไขมันโดยทั่วไปที่พบในน้ำมันปาล์ม และในตารางที่ 2 จะเป็นการแสดงให้เห็นกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ตารางที่ 1 สูตรโครงสร้างของกรดไขมัน

Fatty acid name	Systematic name	Common acronym	Formula
Palmitic acid	Hexadecanoic acid	C16:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Stearic acid	Octadecenoic acid	C18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Oleic acid	cis-9-Octadecenoic acid	C18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleic acid	cis-9,cis-12-Octadecadionoic	C18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolenic acid	cis-9,cis-12,cis-15-Octadecadionoic	C18:3	$C_{18}H_{30}O_2$

ที่มา : (ชาคริต ทองอุไร 2555)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน

ชนิดกรดไขมัน น้ำมันพืช	ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน							
	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	0.5	1-2	40-48	0	4-5	37-46	9-11	0.3
น้ำมันเรพซิด	0	0	3-5	0	1-2	55-65	20-26	8-10
น้ำมันถั่วเหลือง	0	0	11-12	0	3-5	23-25	52-56	6-8
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	0	0	6	0	3-5	17-22	67-74	0

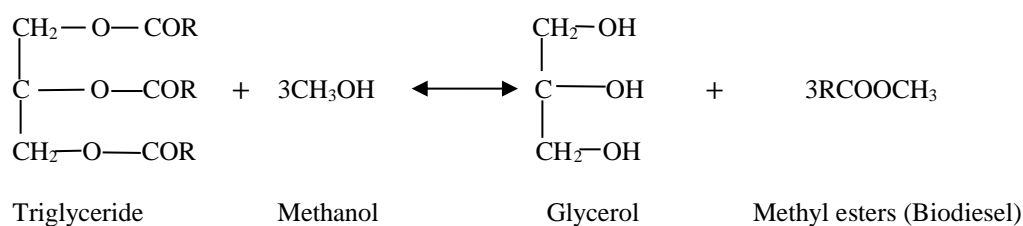
ที่มา : (ชาคริต ทองอุไร 2555)

2.3 ตัวทำละลายร่วม

ตัวทำละลายร่วมทำหน้าที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับปฏิกิริยาโดยการช่วยให้สารละลายที่แยกกันอยู่เป็น 2 เฟส สามารถละลายเข้ากันเป็นเฟสเดียว ซึ่งจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยสารที่จะเป็นตัวทำละลายร่วมจะต้องไม่ไปทำปฏิกิริยากับสารที่ทำปฏิกิริยากัน

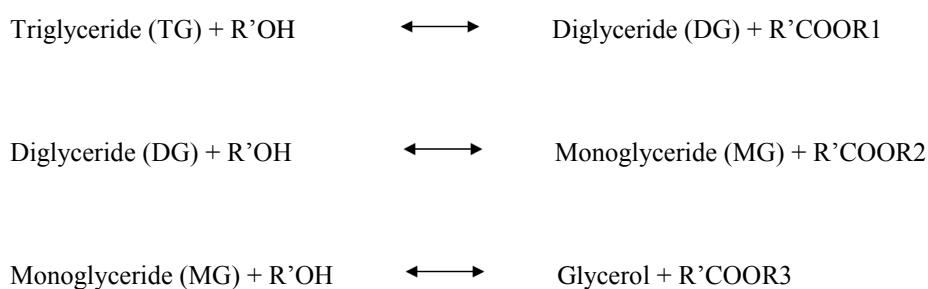
2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ในการผลิตไบโอดีเซลจะเป็นปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ 1 โมลทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ 3 โมล โดยนิยมใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อาทิ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์, โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น จะได้ผลิตภัณฑ์เป็น เอสเตอร์ 3 โมล กับ กลีเซอรอล 1 โมล โดยปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังเช่นภาพประกอบที่ 2 เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง 1 โมลไตรกลีเซอไรด์ กับ 3 โมล เมทานอล เกิดเป็น 1 โมล กลีเซอรอน กับ 3 โมล เมทิลเอสเตอร์ หรือ ไบโอดีเซล (ชาคริต ทองอุไร 2555)



ภาพประกอบที่ 2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

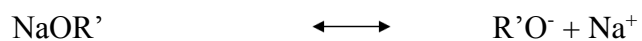
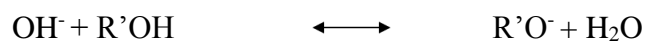
โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จะประกอบไปด้วยปฏิกิริยาผันกลับได้จำนวนหนึ่ง โดยจะแสดงดังภาพประกอบที่ 3 โดยไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ 1 โมล กลายเป็นไดกลีเซอไรด์ 1 โมล กับเอสเทอร์ 1 โมลจากนั้นไดกลีเซอไรด์ 1 โมล ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ 1 โมล กลายเป็นโมโนกลีเซอไรด์ 1 โมลกับเอสเทอร์ 1 โมลและสุดท้ายโมโนกลีเซอไรด์ก็ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ 1 โมล กลายเป็นกลีเซอรอล 1 โมล กับเอสเทอร์ 1 โมล



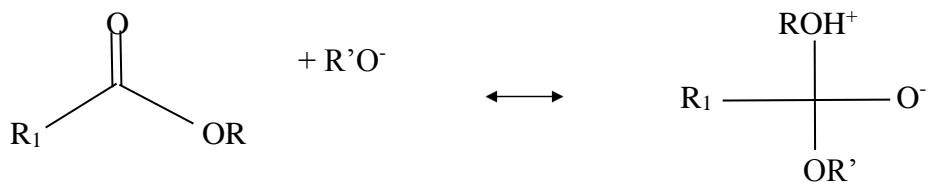
ภาพประกอบที่ 3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

และจากสมการข้างต้น จะแสดงกลไกของการเกิดปฏิกิริยาดังภาพประกอบที่ 4 โดยจะมีอยู่ 3 ขั้นตอน ขั้นแรกแอนไอออนของแอลกอฮอล์ (เมทอกไซด์ ไอออน) เข้ากระทำต่อหมู่คาร์บอนิลในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เพื่อเกิดเป็น tetrahedral intermediate จากนั้นขั้นตอนที่สอง tetrahedral intermediate ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ กลายเป็นแอนไอออนของแอลกอฮอล์ จากนั้นขั้นตอนสุดท้าย เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของ tetrahedral intermediate เพื่อก่อรูปเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์

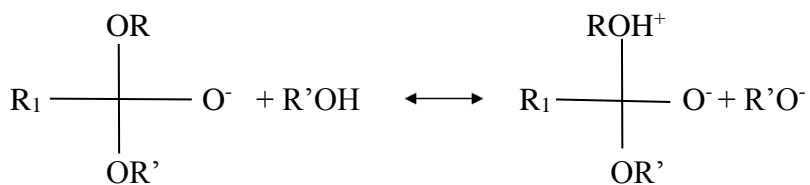
Pre-step



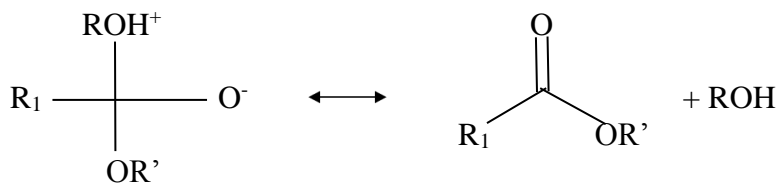
ขั้นตอนที่ 1



ขั้นตอนที่ 2



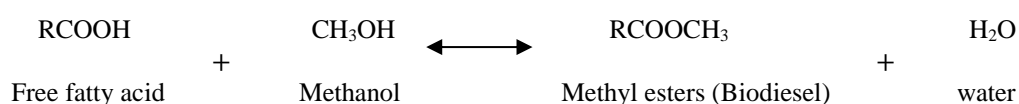
ขั้นตอนที่ 3



ภาพประกอบที่ 4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

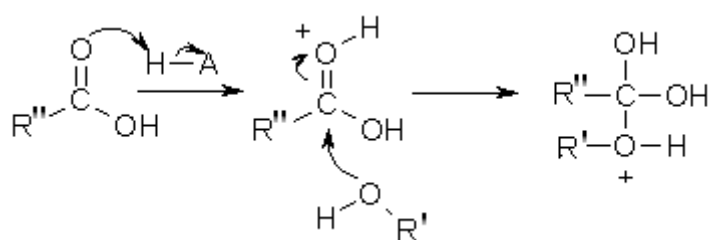
2.5 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาในการทำเอสเตอร์โดยเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่าง 1 โมล กรดคาร์บอกซิลิก กับ 1 โมล แอลกอฮอล์โซ่ตรง โดยให้ความร้อนและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดแก่เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น โดยจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น 1 โมล น้ำกับ 1 โมล เอสเตอร์โดยปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ ดังเช่นภาพประกอบที่ 5 เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง กรดไขมันอิสระกับ เมทานอล ได้ผลผลิตเป็นน้ำและเอสเตอร์ โดยเป็นผันกลับได้ที่เรียกว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งมีน้ำเป็นสารเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์หรือเอสเตอร์และเป็นปฏิกิริยาข้างเคียง ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นเอสเตอร์โดยมีร้อยละการเปลี่ยนที่สูงมากๆ (ชาคริต ทองอุไร 2555)



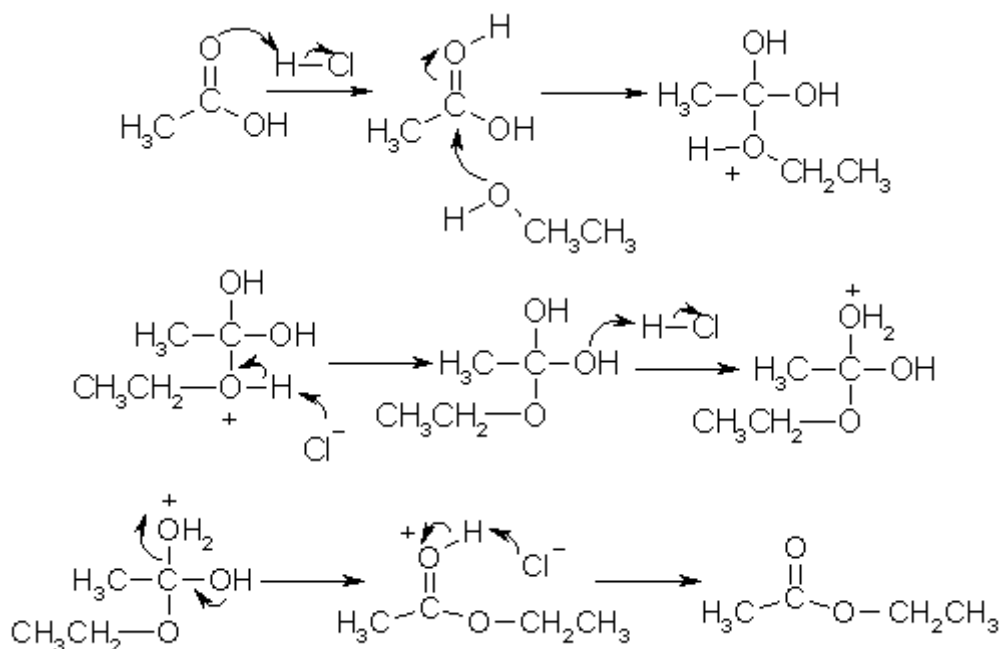
ภาพประกอบที่ 5 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันมีต้นแบบมาจาก Fischer esterification mechanism โดยมีรูปแบบพื้นฐานดังภาพประกอบที่ 6



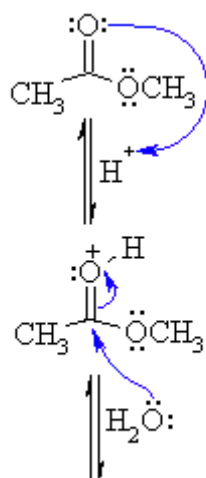
ภาพประกอบที่ 6 Fischer esterification mechanism

โดยตัวอย่างการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดแอสติกกับ เอทานอลที่มีกรดเกลือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะแสดงดังภาพประกอบที่ 7

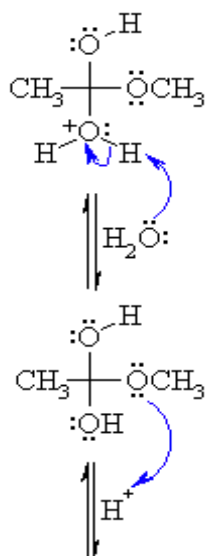


ภาพประกอบที่ 7 ตัวอย่างกลไกการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันยังมีปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้อีกคือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นกรด โดยจะมีกลไกดังนี้ ในขั้นตอนแรกเกิดปฏิกิริยากรด/เบส เนื่องจากเอสเทอร์เป็น weak nucleophile และ poor electrophile จึงต้องมีการกระตุ้นเอสเทอร์ ซึ่งการได้รับโปรตอนของคาร์บอนิลเอสเทอร์ทำให้มีค่า electrophile มากขึ้น ตามภาพประกอบที่ 8

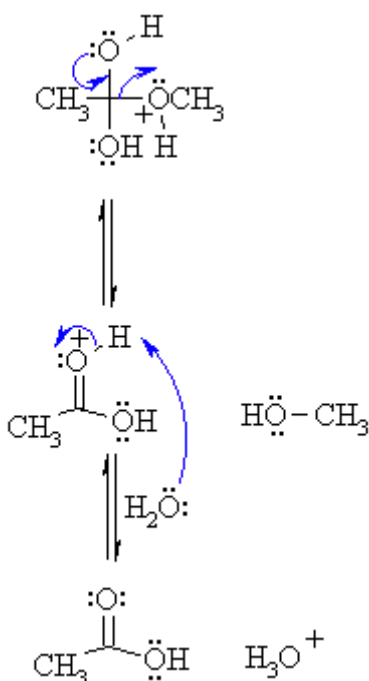


ภาพประกอบที่ 8 ขั้นตอนแรกของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
 จากนั้นในขั้นตอนที่สอง อะตอมของออกซิเจนของน้ำทำหน้าที่เป็น nucleophile
 โจมตีที่ electrophile C ตำแหน่งคาร์บอนิล ซึ่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่สู่ตำแหน่งไอออน oxanium
 เกิดเป็น tetrahedral intermediate ตามภาพประกอบที่ 9



ภาพประกอบที่ 9 ขั้นตอนที่สองของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

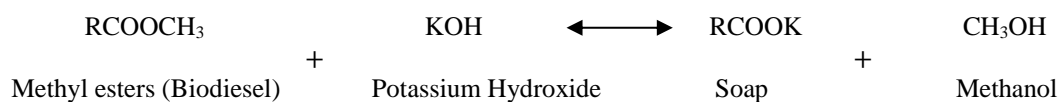
ในขั้นตอนที่สาม ปฏิกิริยากรด/เบส เกิดการดึงโปรตอนออกจากออกซิเจนที่มาจากโมเลกุลของน้ำ จากนั้นในขั้นตอนที่สี่ ปฏิกิริยากรด/เบส ต้องการที่จะปล่อย $-OCH_3$ ออกไปแต่จำเป็นต้องเปลี่ยนให้อยู่ในหมู่ที่ดีเพื่อการหลุดออกไปด้วยการให้โปรตอนก่อน ในขั้นตอนที่ห้า ใช้อิเล็กตรอนที่อยู่ข้างเคียงของออกซิเจนช่วยในการผลักหมู่ที่หลุดออกไป ซึ่งก็คือโมเลกุลเมทานอล และในขั้นตอนที่สุดท้าย ปฏิกิริยากรด/เบส เกิดการให้โปรตอนของไอออน oxonium เกิดเป็นคาร์บอนิลของกรดคาร์บอกซิลิกและได้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด ซึ่งแสดงภาพขั้นตอนข้างต้นไว้ดังภาพประกอบที่ 10



ภาพประกอบที่ 10 ขั้นตอนี่สามของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

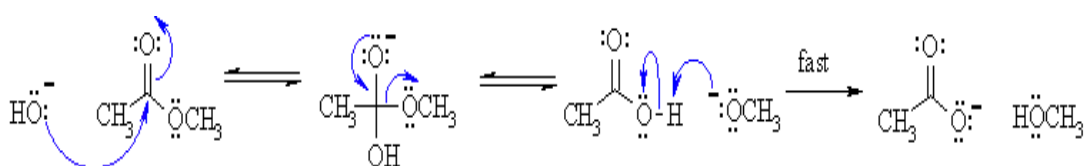
2.6 ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน

สะพอนิฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาการผลิตสบู่ซึ่ง เป็นปฏิกิริยาข้างเคียงของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันซึ่งใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเอสเตอร์จะทำปฏิกิริยากับเบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกใช้ไม่หมดและกลายเป็นสบู่ ส่งผลให้ร้อยละการเปลี่ยน (% conversion) ต่ำและสบู่ที่เกิดขึ้นเข้าไปขัดขวางการทำปฏิกิริยาและการแยกชั้นของกลีเซอรอล ออกจากเฟสไบโอดีเซล ภาพประกอบที่ 11 เป็นรูปตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน โดยเป็นปฏิกิริยาระหว่างเอสเตอร์ กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กลายเป็นสบู่กับแอลกอฮอล์โซ่ตรง (ชาคริต ทองอุไร 2555)



ภาพประกอบที่ 11 ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน

กลไกของการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันจะเป็นเช่นเดียวกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันดังภาพประกอบที่ 12 โดยในขั้นตอนแรก hydroxide nucleophiles จะโจมตีที่ electrophilic C ของคาร์บอนิลอะตอมแตกพันธะ p และเกิดเป็น tetrahedral intermediate จากนั้นในขั้นตอนที่สอง tetrahedral intermediate สลายตัวสร้างเป็นพันธะคาร์บอนิลขึ้นใหม่โดยสูญเสียหมู่แอลกอฮอล์เกิดเป็นกรดคาร์บอกซิลิก จากนั้นในขั้นตอนที่ 3 ปฏิกิริยากรด/เบส เป็นสมดุลที่เกิดขึ้นเร็วมากเมื่อแอลกอฮอล์ทำหน้าที่เป็นเบสดึงโปรตอนจากกรดคาร์บอกซิลิก



ภาพประกอบที่ 12 กลไกการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2007, E. Çağlar ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซล หรือ กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (FAME) ซึ่งผลิตจากไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน กับ แอลกอฮอล์ ในหลากหลายกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ถูกพัฒนาขึ้นมา เกือบทั้งหมด จะพบว่าการใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส จะให้ร้อยละการเปลี่ยนที่สูง ซึ่งปัญหาหลักของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน คือสารเข้าทำปฏิกิริยาดังต้นละลายเข้ากันได้ยากซึ่งนำไปสู่เวลาทำปฏิกิริยาที่นานขึ้นและค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น ซึ่งการใช้ THF มาเป็นตัวทำละลายร่วมสามารถช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิดเป็นเฟสเดียวกัน จึงทำให้ร้อยละการเปลี่ยนสูงถึง 99.98 %wt และใช้เวลาทำปฏิกิริยาที่สั้นมากประมาณ 10 นาที ซึ่งได้มีรายงานหลายฉบับได้บอกว่าเมื่อใช้เทคนิคนี้ทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลลดลง (Ça 2007)

ในปี ค.ศ. 2008, E. C. Escobar และคณะ ได้พยายามที่จะเพิ่มความเร็วให้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่นำมาผ่านการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและปรับใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายร่วมให้เหมาะสมกับ 4 ตัวแปรดังนี้ คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมต่อเมทานอล, อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรเปลี่ยนตามปริมาณน้ำมัน และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา โดยผลผลิตจากปฏิกิริยาถูกวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Thin Layer Chromatography (TLC) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Biosoft Quantiscan โดยอัตราส่วนที่พิจารณาตามกระบวนการทางเศรษฐศาสตร์และดีที่สุดสามารถทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ถึง 96.5% ซึ่งใช้สัดส่วนตัวทำละลายร่วมต่อเมทานอลเป็น 2:5 โดยปริมาตร และสัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 8:1 โดยโมล (Escobar et al. 2008)

ในปี ค.ศ. 2009, Pen และคณะ ได้ศึกษาตัวแปรในการผลิตไบโอดีเซล เช่น วัตถุดิบ, ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวทำละลายร่วม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบจากตัวแปรดังกล่าวที่มีผลต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ไม่ว่าจะเป็นปริมาณเมทิลเอสเทอร์, ความหนืด, ความเป็นกรด และปริมาณน้ำ จากการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง ในการทดลองนี้จะทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์แบบกะ ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ตัวคือ โซเดียมเมทอกไซด์, โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผลของตัวทำละลายร่วมเฮกเซน ซึ่งได้ข้อสรุปว่าโซเดียมเมทอกไซด์สามารถทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์ได้มากที่สุด โดยสามารถทำให้เกิดปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 95.5% (Pen et al. 2009)

ในปี ค.ศ. 2011, C. Jinsi และคณะ ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ของน้ำมันจากเมล็ดฝ้ายกับเอทานอล ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และใช้ THF เป็นตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ดังนี้ อัตราส่วน โดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน, อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา, ความเข้มข้นของตัวทำละลายร่วม และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดยหลังจากการทดลองพบว่าสัดส่วนที่ทำให้ได้ %Conversion สูงที่สุดที่ 88.73% คือใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง, สัดส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเป็น 14:1, อุณหภูมิที่ 78 องศาเซลเซียส, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1.25 โดยน้ำหนัก และใช้สัดส่วน THF ต่อน้ำมันที่ 1:1 โมล (Jinsi et al. 2011)

ในปี ค.ศ. 2012, I.A. Mohammed-Dabo และคณะ ได้พัฒนาการศึกษาน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำในแง่ของกรดไขมันอิสระ, ความหนืด, ค่าความร้อน, ความเป็นกรด, ค่าไอโอดีน, ค่าสะพอนิฟิเคชัน และเลขซีเทน ซึ่งพบว่าค่าทั้งหมดจะสอดคล้องกัน การวิเคราะห์น้ำมันดิบจะวิเคราะห์โดยใช้ GC-MS ซึ่งพบว่าน้ำมันนั้นจะประกอบไปด้วย กรดปาล์มติก, โอลิอิก, ไลโนลิก และ กรดสเตอริก ได้ทำการทดลองโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันสบู่ดำและใช้ตัวทำละลายร่วมโดยใช้เตตระไฮโดรฟูเลนเป็นตัวทำละลายร่วม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและพบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส, ความเร็ว 200 รอบต่อนาที, อัตราส่วน โดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 4:1, อัตราส่วนโดยโมลตัวทำละลายร่วมต่อเมทานอลเป็น 1:1 และตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.5% wt Oil และใช้เวลา 10 นาที ซึ่งสามารถทำให้ได้อัตราผลตอบแทนสูงถึง 98% ซึ่งได้ใช้ GC-MS เป็นตัววิเคราะห์ (Mohammed et al. 2012)

ในปี ค.ศ. 2013, L. Chin-Chiuau และคณะ ได้ศึกษาผลการเร่งปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างประเภทกันคือขั้นตอนแรกใช้กรดซัลฟิวริกและขั้นตอนที่ 2 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันพีชใช้แล้วซึ่งได้ทดลองโดยการใส่ตัวทำละลายร่วมและใช้รังสีไมโครเวฟให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยา โดยใช้การออกแบบแบบ Central composite design (CCD) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับปฏิกิริยา โดยสัดส่วนที่ดีที่สุดของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกใช้สัดส่วน โดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 9:1, ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลฟิวริก 1 %wt Oil, อุณหภูมิ 333 เคลวิน และเวลาทำปฏิกิริยา 7.5 นาที ในขณะที่ขั้นตอนที่สอง สัดส่วนที่ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด จะใช้สัดส่วน โดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 12:1, ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 %wt Oil, อุณหภูมิ 333 เคลวิน และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 9.5 นาที ซึ่งสามารถทำให้เกิดร้อยละการเปลี่ยนมาเป็นเอสเทอร์สูงถึง 97.4% ซึ่งทำให้เห็นถึงการทำปฏิกิริยาที่ดีขึ้น (Lin and Hsia 2013)

ในปีเดียวกัน, L. T. Thanh และคณะ ศึกษากระบวนการทำปฏิกิริยาที่เป็นเฟสเดียวกันโดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายร่วมสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจากน้ำมันพืชโดยใช้เมทานอลทำปฏิกิริยา และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งได้ศึกษาผลของตัวแปรหลักอย่างเช่น จำนวนของอะซิโตนและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, สัดส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน และทำการหาค่าปริมาณของเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ซึ่งพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือ ใช้ปริมาณอะซิโตน 25%wt และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียม 1%wt Oil, สัดส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 4.5:1 และใช้อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะนี้สามารถเกิดร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันพืชสูงถึง 98% หลังจากใช้เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที (Thanh et al. 2013)

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ตราโอลีน

3.1.1.2 กรดไขมันปาล์ม (PFAD) นำมาจาก สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน
จากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน

3.1.2 สารที่ใช้ทำปฏิกิริยา

3.1.2.1 เมทานอล ผลิตโดย P. general group Co., Ltd., Thailand

3.1.2.2 กรดซัลฟิวริก 98% ผลิตโดย P. general group Co., Ltd., Thailand

3.1.2.3 โซเดียมเมทอกไซด์ ผลิตโดย Dezhou Long Teng Chemical Co., Ltd.,
China

3.1.2.4 เมทิลเอสเทอร์ (ME) ผลิตโดย สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจาก
น้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน

3.1.3 สารเคมีเพื่อการวิเคราะห์

3.1.3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลิตโดย P. general group Co., Ltd., Thailand

3.1.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

3.1.3.3 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

3.1.3.4 อินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน ผลิตโดย Asia Pacific Specialty Chemicals
Limited

3.1.3.5 อินดิเคเตอร์โบรโมฟีนอลบลู ผลิตโดย Asia Pacific Specialty Chemicals
Limited

3.1.3.5 อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ผลิตโดย Asia Pacific Specialty Chemicals
Limited

3.1.3.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลต่อลิตร

3.1.3.7 โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร

3.1.3.8 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

3.1.3.9 โซเดียมเปอร์ไอโอดेट ผลิตโดย Fisher Scientific UK

3.1.3.10 อีเทนไดออน ผลิตโดย Loba Chemie Pvt. Ltd.

3.1.3.11 น้ำกลั่น

3.1.3.12 ไอโซโพรพานอล ผลิตโดย P. general group Co., Ltd., Thailand

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ใช้สำหรับชั่งตัวอย่างและเตรียมสารเคมี

3.2.1.2 ฮีทเตอร์เพื่อใช้ให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยา

3.2.1.3 ขวด 3 คอ 500 มิลลิลิตร เพื่อใช้ทำปฏิกิริยา

3.2.1.4 คอนเดนเซอร์

3.2.1.5 อ่างน้ำมันเพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยา

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.2.2.1 บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2.2.2 บิวเรตขนาด 10 มิลลิลิตร

3.2.2.3 ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร

3.2.2.4 ปิเปตขนาด 25 มิลลิลิตร

3.2.2.5 ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

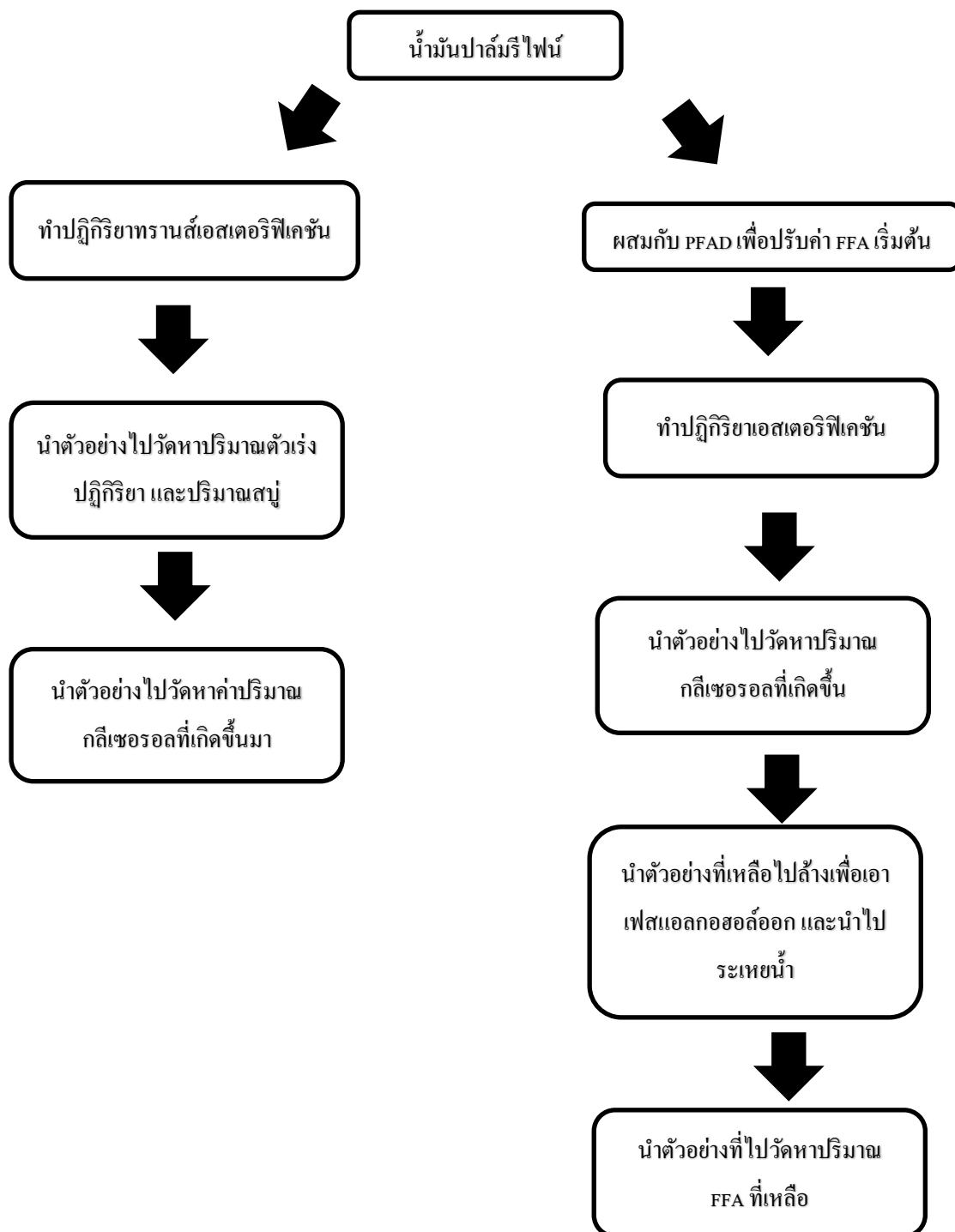
3.2.2.6 ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.2.2.7 ขวดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.2.2.8 อลูมิเนียมฟอยล์

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยจะแบ่งการทำการทดลองออกเป็นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน กับปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งในภาพประกอบที่ 13 จะแสดงแผนการดำเนินงานให้พอสังเขป



ภาพประกอบที่ 13 แผนผังการดำเนินงานวิจัยแบบพอสังเขป

3.4 วิธีการทำการทดลอง

3.4.1 การทดลองผสมตัวทำละลายร่วมกับน้ำมันและเมทานอล

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการละลายของเมทานอลโดยใช้ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ผสมกับเมทานอลและน้ำมัน ทำการผสมตัวทำละลายรวมลงไป 3, 4 และ 5 โมล ไปผสมกับเมทานอล 4 โมล กับน้ำมันปาล์มรีไฟน์ 1 โมล โดยผสมกันในกระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร โดยจะผสมให้เข้ากัน แล้วดูการละลายของเมทานอลด้วยตาเปล่าถ้ามีการเฟสเมทานอลแยกชั้นอยู่แสดงว่าการละลายไม่ดี จากนั้นก็ทำการทดลองเทียบกับการไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม ดังเช่นภาพประกอบที่ 14 เป็นภาพตัวอย่างการทำการทดลองโดยเป็นการเติมตัวทำละลายร่วม 4 โมล



ภาพประกอบที่ 14 หลังจากการผสมตัวทำละลายร่วม 4 โมล

3.4.2 การทดลองศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

เพื่อศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยได้ออกแบบการทดลองเป็นการศึกษาผลของประเภทตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมเมทอกไซด์โดยใช้ปริมาณโดยโมลที่เท่ากัน, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.5%, 0.75% และ 1% โดยน้ำหนักน้ำมัน, สัดส่วนการเติมตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันเป็น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ต่อ 1 โมลและเวลาในการทำปฏิกิริยา หลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จจะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปไทเทรตหาปริมาณตัวเร่งทำปฏิกิริยาที่เหลือ, สบู่ที่เกิดขึ้นมา และปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นมา เพื่อนำค่าตัวแปรต่างๆ ไปคำนวณและศึกษาผลของการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

3.4.3 การทดลองศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาจากการที่แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่ากรดไขมันอิสระให้มีค่าที่สูงขึ้นจากเดิมที่น้ำมันปาล์มรีไฟน์จะมีค่าของกรดไขมันอยู่ที่ประมาณ 0.01 % ต้องปรับเพิ่มให้สูงขึ้นถึงประมาณ 10 % ด้วยการนำ PFAD ซึ่งมีค่ากรดไขมันอิสระสูงถึง 97 % มาผสมเพื่อให้ น้ำมันปาล์ม ซึ่งจะทำให้มีค่ากรดไขมันอิสระสูงขึ้น หลังจากนั้นนำมาทำปฏิกิริยาโดยจะเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์โดยการให้ปริมาณรวมเป็น 250 กรัม อย่างเช่นต้องการใส่ตัวทำละลายร่วมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะต้องผสมน้ำมัน 214.92 กรัม กับ PFAD 10.08 กรัม เพื่อให้กรดไขมันอิสระเริ่มต้นเป็น 10 % จากนั้นผสมกับตัวทำละลายร่วม 25 กรัม ซึ่งปริมาณรวมกันจะเท่ากับ 250 กรัม จากนั้นก็ทำการใส่เมทานอลกับกรดซัลฟิวริกเข้าไปทำปฏิกิริยาโดยจะทำการทดลองโดยเปลี่ยนปริมาณเมทานอลตามน้ำหนักน้ำมัน กับไม่เปลี่ยนปริมาณเมทานอลกับกรดซัลฟิวริกเพื่อศึกษาการกระจายตัวของหยดเมทานอลในน้ำมัน จากนั้นก็ทำการทดลองโดยไม่ใส่ตัวทำละลายร่วมและใช้ปริมาณ โดยรวมเท่ากับตอนยังไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม แต่ยังคงใช้ปริมาณเมทานอลและกรดซัลฟิวริกเท่ากันทุกการทดลองเพื่อศึกษาผลของตัวทำละลายร่วม



ภาพประกอบที่ 15 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันกับปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

3.4.4 วิธีไทเทรตหาค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids, FFA)

3.4.4.1 ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 5 กรัม

3.4.4.2 ใส่ไอโซโพรพานอล 50 มิลลิลิตรเข้าไปเป็นตัวแทนละลาย

3.4.4.3 หยดอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด

3.4.4.4 จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนสารละลายเปลี่ยน

จากสีใสเป็นสีชมพูเมื่อถึงจุดยุติ บันทึกปริมาณสารไทเทรตที่ใช้

3.4.4.5 ปริมาณ FFA สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\%FFA = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต} \times N \times 27}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}} \quad (3.1)$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารที่ใช้ไทเทรต

3.4.5 วิธีการไทเทรตหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น

3.4.5.1 ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 5 กรัม

3.4.5.2 ใส่ไอโซโพรพานอล 50 มิลลิลิตรเข้าไปเป็นตัวแทนละลาย

3.4.5.3 หยดอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด

3.4.5.4 ไทเทรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก จนสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีใส เมื่อถึงจุดยุติจากนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ได้จากสมการที่ 3.2 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียมเมทอกไซด์ และใช้สมการ 3.3 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\text{ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ppm)} = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต} \times N \times 54 \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}} \quad (3.2)$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารที่ใช้ไทเทรต

$$\text{ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ppm)} = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต} \times N \times 40 \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}} \quad (3.3)$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารที่ใช้ไทเทรต

3.4.5.5 หยดอินดิเคเตอร์โบรโมฟีนอลบลู 3 หยด

3.4.5.6 ไทเทรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก จนสารละลายเปลี่ยนจากเหลืองเป็นสีน้ำเงินเมื่อถึงจุดยุติ จากนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณตัวสบู่ที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ 3.4

$$\text{ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (ppm)} = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต} \times N \times 291 \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}} \quad (3.4)$$

เมื่อ $N =$ ความเข้มข้นของสารที่ใช้ไทเทรต

3.4.6 วิธีไทเทรตหาปริมาณกลีเซอรอลของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

เป็นวิธีการตามมาตรฐาน AOCS Ea 6-94^[13] ซึ่งได้นำมาดัดแปลงบางส่วนให้เหมาะสม

3.4.6.1 เก็บตัวอย่างมาประมาณ 0.1000 (ใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง)

3.4.6.2 เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

3.4.6.3 ทำสารละลาย Blank โดยใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

3.4.6.4 หยดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู 7 หยด

3.4.6.5 ทำให้สารละลายเป็นกรดด้วยการหยดสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรลงไป จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง

3.4.6.6 ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ไม่มีสีเขียวปนอยู่เลย

3.4.6.7 ใช้ปิเปตดูดสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดตครึ่งละ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายตัวอย่างและสารละลาย Blank แล้วปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียม แกว่งเบาๆ จากนั้นเก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำออกมาเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แกว่งเบาๆ และตั้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที

3.4.6.8 เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 300 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู 7 หยด และไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินไม่มีสีเขียวปนอยู่เมื่อถึงจุดยุติ และสามารถคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอลได้จากสมการที่ 3.5

$$\%Glycerol = \frac{(T - B) \times N \times 9.209}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}} \quad (3.5)$$

เมื่อ B= ปริมาณที่ใช้ไทเทรต Blank
 T= ปริมาณที่ใช้ไทเทรตสารละลายตัวอย่าง
 N= ความเข้มข้นของสารที่ใช้ไทเทรต

3.4.7 วิธีไทเทรตหาปริมาณกลีเซอรอลของปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

เป็นวิธีการไทเทรตหาปริมาณกลีเซอรอลของปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันจะมีความคล้ายคลึงกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแต่จะมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่นำมาไทเทรต

3.4.7.1 เก็บตัวอย่างมาประมาณ 1.0000 (ใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง)

3.4.7.2 เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

3.4.7.3 ทำสารละลาย Blank โดยใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

3.4.7.4 หยดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู 7 หยด

3.4.7.5 ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตรจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3.4.7.6 ทำให้สารละลายเป็นกรดด้วยการหยดสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรลงไป จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง

3.4.7.7 ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ไม่มีสีเขียวปนอยู่เลย

3.4.7.8 ใช้ปิเปตดูดสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดตครั้งละ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายตัวอย่างและสารละลาย blank แล้วปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียม แก้วงเบาๆ จากนั้นเก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลายอีเทนไดออน 10 มิลลิลิตร แก้วงเบาๆ และตั้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที

3.4.7.9 เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 300 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู 7 หยด และไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินไม่มีสีเขียวปนอยู่เมื่อถึงจุดยุติ และสามารถคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอลได้จากสมการที่ 3.6

$$\%Glycerol = \frac{(T - B) \times N \times 9.209}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}} \quad (3.6)$$

เมื่อ

- B = ปริมาณที่ใช้ไทเทรต Blank
- T = ปริมาณที่ใช้ไทเทรตสารละลายตัวอย่าง
- N = ความเข้มข้นของสารที่ใช้ไทเทรต

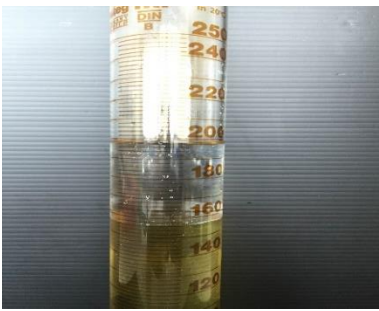

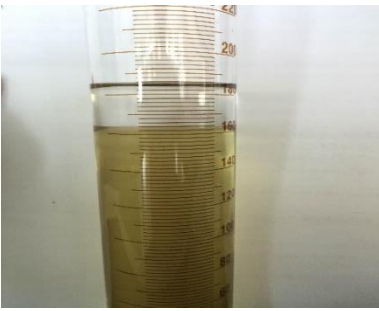
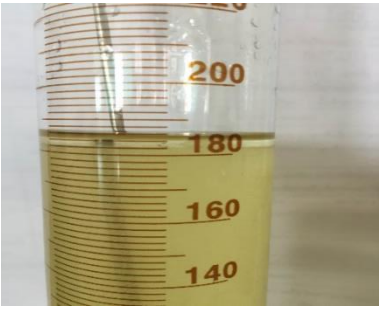
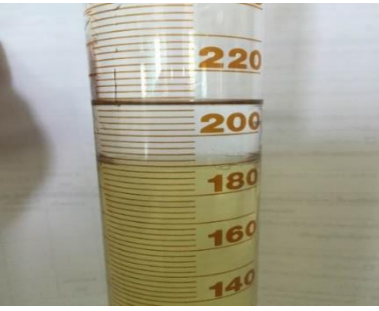

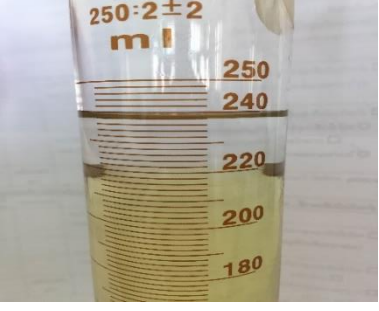
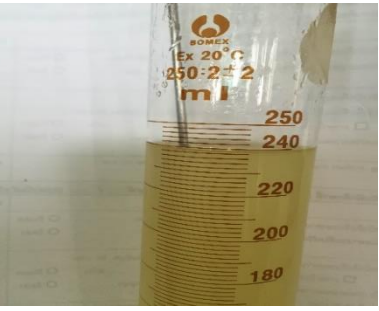
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง




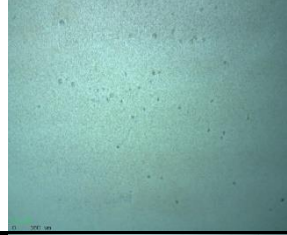
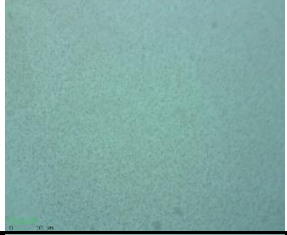






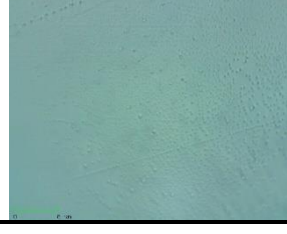
4.1 การทดลองผสมน้ำมัน ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ และเมทานอล

จากการทดลองจะได้ผลการทดลองตามตารางที่ 3 ซึ่งเป็นตารางแสดงรูปภาพการผสมเมทิลเอสเทอร์เพิ่มเข้าไปที่ 3, 4 และ 5 โมลตามลำดับเทียบกับไม่ใส่ตัวทำละลายร่วมจะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเมทิลเอสเทอร์เข้าไปการละลายของเมทานอลรวมเป็นเฟสเดียวกันจะดีขึ้นตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมเมทิลเอสเทอร์เข้าไป 5 โมล จะทำให้เมทานอลละลายเข้ากันได้ดีที่สุด ซึ่งหลังจากการผสมจะทำการเก็บตัวอย่างไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะสามารถดูการกระจายตัวของหยดเมทานอลและน้ำมัน ได้ดังตารางที่ 4 ซึ่งเป็นตารางแสดงภาพหยดของเมทานอลที่ละลายในน้ำมันและเมทิลเอสเทอร์ จะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ลงไปเพิ่มขึ้นจะทำให้หยดของเมทานอลเล็กลง และกระจายตัวดีขึ้น ซึ่งหมายความว่าเมทานอลละลายได้ดีขึ้น และสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

ตารางที่ 3 การผสมกันของน้ำมันปาล์มรีไฟน์, เมทิลเอสเทอร์ และเมทานอล

	ก่อนกวนผสมกัน	หลังจากกวนผสมกัน
No Co-solvent		
3 mole of FAME		
4 mole of FAME		
5 mole of FAME		

ตารางที่ 4 การละลายของเมทานอลในน้ำมันเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

LAB	กำลังขยาย 10 เท่า	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า
No Cosolvent			
3 mole of FAME			
4 mole of FAME			
5 mole of FAME			

4.2 การทดลองใช้ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

4.2.1 ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.1.1 ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที

โดยจากการทดลองจะได้ผลทดลองดังตารางที่ 5 ซึ่งแสดงเป็นร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมันเป็นเมทิลเอสเทอร์ (% conversion of TG) เมื่อทำการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.74%, 0.56 และ 0.37% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และทำการเติมตัวทำละลายร่วม 1, 2, 3, 4 และ 5 โมล ตามลำดับ และเทียบกับการไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม โดยทำใช้สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 ทุกการทดลอง

ตารางที่ 5 ปริมาณ % Conversion of TG เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วม ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที

สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอล	FAME (โมล)	NaOH (% โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	%Conversion of TG
1:6	0	0.74	95.45
1:6	1	0.74	93.26
1:6	2	0.74	84.92
1:6	3	0.74	81.59
1:6	4	0.74	80.65
1:6	5	0.74	77.60
1:6	0	0.56	90.03
1:6	1	0.56	84.94
1:6	2	0.56	80.87
1:6	3	0.56	76.12
1:6	4	0.56	73.15
1:6	5	0.56	72.07
1:6	0	0.37	85.17
1:6	1	0.37	80.94
1:6	2	0.37	74.72
1:6	3	0.37	71.42
1:6	4	0.37	71.36
1:6	5	0.37	65.95

จากนั้นทำการวัดหาปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ โดยจะแสดงค่าในตารางที่ 6 จากตารางจะพบว่าปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่เมื่อนำมาคูณโมลจะมีค่าตามโมลเท่ากับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใส่เข้าไป โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.74%, 0.56% และ 0.37% สามารถคำนวณเป็นจำนวนโมลได้เป็น 0.0261, 0.0196 และ 0.0131 โมล ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ได้มีการสูญเสียออกไป แต่เปลี่ยนรูปไปเป็นสบู่ซึ่งปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้ในขั้นตอนการล้างนั้นเกิดฟองสบู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ล้างยากขึ้นและยังทำให้เกิดการสูญเสียไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างมากขึ้น และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นยังหมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาที่หายไปจะมากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ลดลง

ตารางที่ 6 ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที

สัดส่วนน้ำมัน ต่อเมทานอล	FAME (โมล)	NaOH เริ่มต้น (โมล)	ปริมาณสบู่ที่ เกิดขึ้น (โมล)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ เหลืออยู่ (โมล)	โมลรวม (โมล)
1:6	0	0.0261	0.008	0.0184	0.0261
1:6	1	0.0261	0.011	0.0154	0.0260
1:6	2	0.0261	0.014	0.0125	0.0262
1:6	3	0.0261	0.017	0.0088	0.0261
1:6	4	0.0261	0.019	0.0068	0.0261
1:6	5	0.0261	0.020	0.0057	0.0260
1:6	0	0.0196	0.005	0.0144	0.0195
1:6	1	0.0196	0.008	0.0115	0.0196
1:6	2	0.0196	0.011	0.0084	0.0195
1:6	3	0.0196	0.013	0.0066	0.0197
1:6	4	0.0196	0.014	0.0053	0.0195
1:6	5	0.0196	0.015	0.0045	0.0196
1:6	0	0.0131	0.002	0.0105	0.0130
1:6	1	0.0131	0.007	0.0065	0.0130
1:6	2	0.0131	0.008	0.0055	0.0132
1:6	3	0.0131	0.009	0.0044	0.0130
1:6	4	0.0131	0.010	0.0034	0.0131
1:6	5	0.0131	0.011	0.0021	0.0131

ซึ่งจะเห็นอิทธิพลของการที่น้ำมันถูกเจือจางโดยตัวทำละลายร่วม เพราะเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมเข้าไป ทำให้ %Conversion of TG มีแนวโน้มลดลง ซึ่งการเจือจางของน้ำมันจะทำให้การสัมผัสกันระหว่างโมเลกุลของเมทานอลกับน้ำมันทำได้ยากขึ้น และตัวทำละลายร่วมสามารถทำให้ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้เกิดเป็นสบู่มากขึ้นจึงทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกใช้ไปมากขึ้น

4.2.1.2 ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 นาที

จากนั้นก็ทำการทดลองปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เป็นเวลา 15 นาที อุณหภูมิคงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6, ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.74%, 0.56% และ 0.37% โดยน้ำหนักน้ำมัน และทำการเติมตัวทำละลายร่วมที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 โมล เทียบกับการไม่ใส่ตัวทำละลายร่วมเข้าไป โดยแสดง %Conversion of TG ในตารางที่ 7 ซึ่งจะพบว่าเมื่อทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 นาที จะทำให้ %Conversion of TG มีค่ามากกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้นทำให้การสัมผัสกันของน้ำมันกับเมทานอลนานขึ้นแต่ก็ยังไม่ทำให้มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นก็ทำการหาปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นละปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ โดยแสดงค่าในตารางที่ 8 ซึ่งพบว่าปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นมากกว่าการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเติมตัวทำละลายร่วมที่มากขึ้น

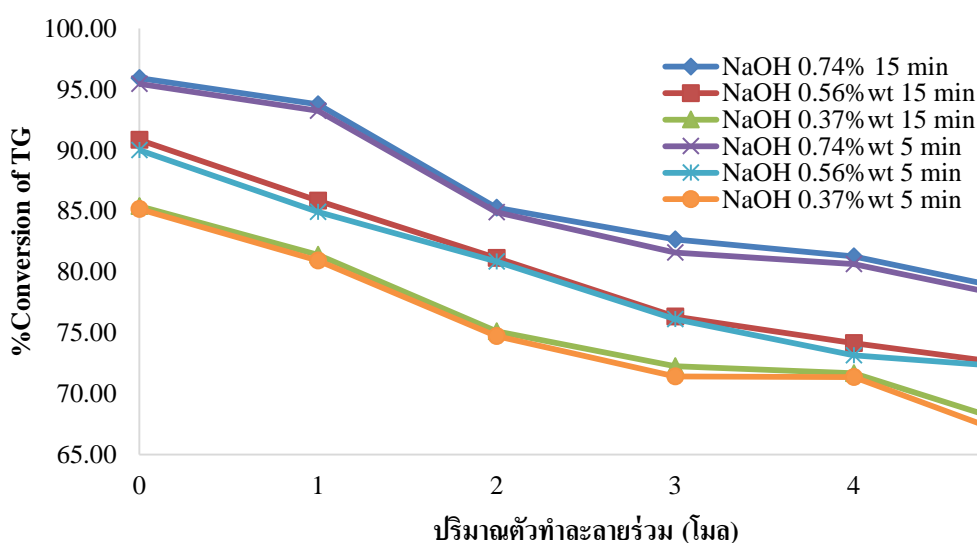
ตารางที่ 7 ปริมาณ % Conversion of TG เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วม ของ
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที

สัดส่วนน้ำมัน ต่อเมทานอล	FAME (โมล)	NaOH (% โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	%Conversion of TG
1:6	0	0.74	95.94
1:6	1	0.74	93.77
1:6	2	0.74	85.27
1:6	3	0.74	82.67
1:6	4	0.74	81.28
1:6	5	0.74	78.19
1:6	0	0.56	90.85
1:6	1	0.56	85.85
1:6	2	0.56	81.16
1:6	3	0.56	76.33
1:6	4	0.56	74.14
1:6	5	0.56	72.20
1:6	0	0.37	85.40
1:6	1	0.37	81.41
1:6	2	0.37	75.12
1:6	3	0.37	72.27
1:6	4	0.37	71.69
1:6	5	0.37	67.04

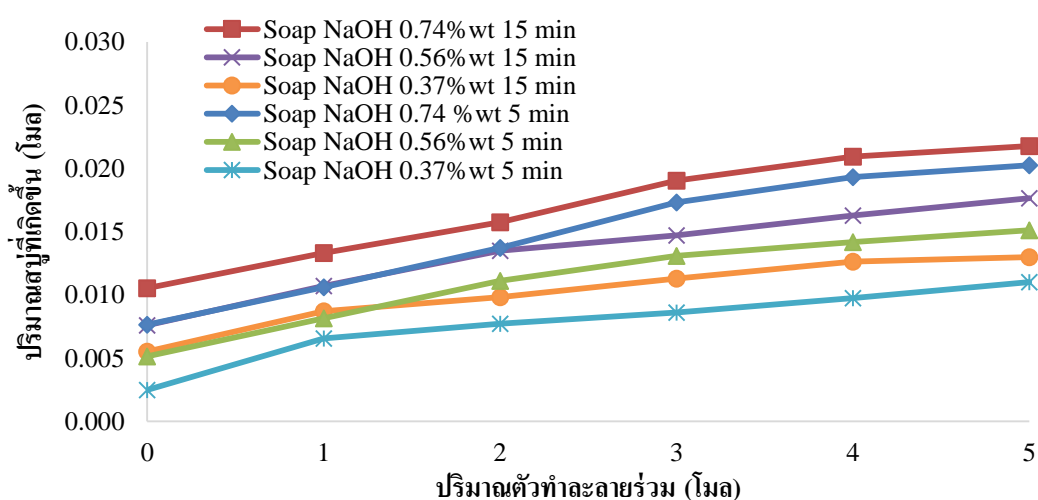
ตารางที่ 8 ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที

สัดส่วนน้ำมัน ต่อเมทานอล	FAME (โมล)	NaOH เริ่มต้น (โมล)	ปริมาณสบู่ที่ เกิดขึ้น (โมล)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ เหลืออยู่ (โมล)	โมลรวม (โมล)
1:6	0	0.0261	0.011	0.016	0.0262
1:6	1	0.0261	0.013	0.013	0.0260
1:6	2	0.0261	0.016	0.010	0.0262
1:6	3	0.0261	0.019	0.007	0.0260
1:6	4	0.0261	0.021	0.005	0.0261
1:6	5	0.0261	0.022	0.004	0.0261
1:6	0	0.0196	0.008	0.012	0.0197
1:6	1	0.0196	0.011	0.009	0.0196
1:6	2	0.0196	0.013	0.006	0.0197
1:6	3	0.0196	0.015	0.005	0.0195
1:6	4	0.0196	0.016	0.003	0.0195
1:6	5	0.0196	0.018	0.002	0.0197
1:6	0	0.0131	0.006	0.008	0.0131
1:6	1	0.0131	0.009	0.004	0.0131
1:6	2	0.0131	0.010	0.003	0.0130
1:6	3	0.0131	0.011	0.002	0.0132
1:6	4	0.0131	0.013	0.000	0.0131
1:6	5	0.0131	0.013	0.000	0.0130

จากนั้นทำการเปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 5 กับ 15 นาที ดังภาพประกอบที่ 16 และเปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นดังภาพประกอบที่ 17 จะพบว่าเมื่อทำการทดลองที่เวลานานขึ้นเวลาที่มีผลเล็กน้อยในการทำปฏิกิริยาเพราะที่ 5 กับ 15 นาที มี %Conversion of TG มากขึ้นเพียงเล็กน้อย และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นมากขึ้นเพียงเล็กน้อยเช่นกัน



ภาพประกอบที่ 16 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 กับ 15 นาที



ภาพประกอบที่ 17 เปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 กับ 15 นาที

4.2.2 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.2.1 ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที

ทำการทดลองปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิคงที่ที่ 60 องศาเซลเซียสโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและมีจำนวนโมลเท่ากันกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1%, 0.75 และ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และศึกษาการเติมตัวทำละลายร่วมที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 โมล เปรียบเทียบกับการไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม โดยแสดง %Conversion of TG ในตารางที่ 9 พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 นาที นั่นคือเมื่อมีการเติมตัวทำละลายร่วมเข้าไป ส่งผลให้ %Conversion of TG ลดลง

ตารางที่ 9 ปริมาณ % Conversion of TG เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วม ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที

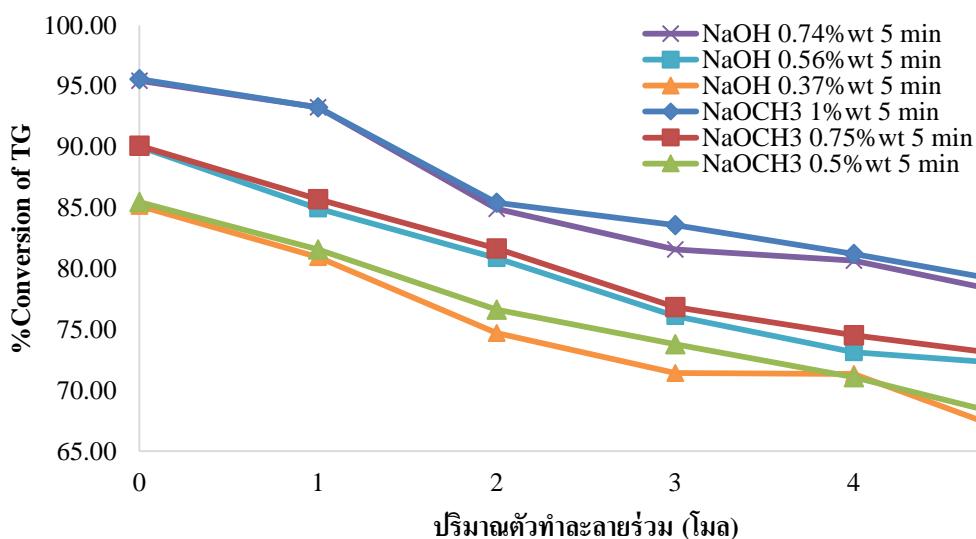
สัดส่วนน้ำมัน ต่อเมทานอล	FAME (โมล)	NaOCH ₃ (% โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	%Conversion of TG
1:6	0	1.00	95.57
1:6	1	1.00	93.27
1:6	2	1.00	85.43
1:6	3	1.00	83.57
1:6	4	1.00	81.21
1:6	5	1.00	78.58
1:6	0	0.75	90.10
1:6	1	0.75	85.72
1:6	2	0.75	81.67
1:6	3	0.75	76.85
1:6	4	0.75	74.53
1:6	5	0.75	72.66
1:6	0	0.50	85.46
1:6	1	0.50	81.59
1:6	2	0.50	76.65
1:6	3	0.50	73.81
1:6	4	0.50	71.07
1:6	5	0.50	67.43

จากนั้นทำการหาค่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น โดยแสดงค่าในตารางที่ 10 พบว่าปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 5 นาที

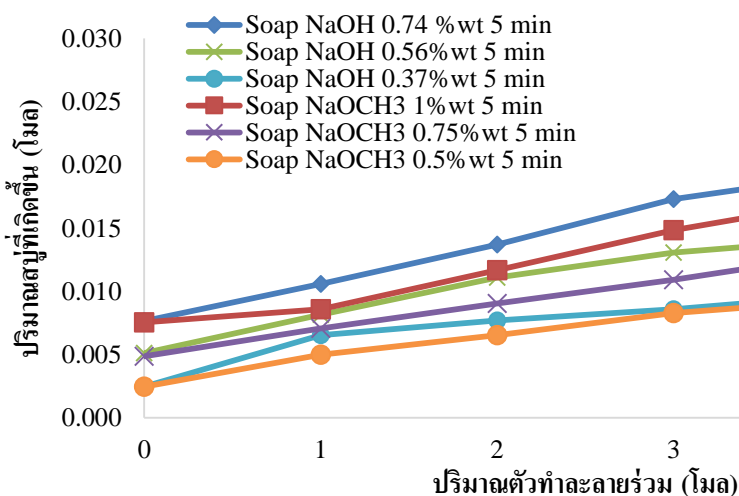
ตารางที่ 10 ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที

สัดส่วนน้ำมัน ต่อเมทานอล	FAME (โมล)	NaOCH ₃ เริ่มต้น (โมล)	ปริมาณสบู่ที่ เกิดขึ้น (โมล)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ เหลืออยู่ (โมล)	โมลรวม (โมล)
1:6	0	0.0261	0.008	0.019	0.0261
1:6	1	0.0261	0.009	0.018	0.0262
1:6	2	0.0261	0.012	0.014	0.0261
1:6	3	0.0261	0.015	0.011	0.0261
1:6	4	0.0261	0.017	0.009	0.0260
1:6	5	0.0261	0.018	0.008	0.0259
1:6	0	0.0196	0.005	0.015	0.0196
1:6	1	0.0196	0.007	0.013	0.0197
1:6	2	0.0196	0.009	0.011	0.0196
1:6	3	0.0196	0.011	0.009	0.0196
1:6	4	0.0196	0.013	0.007	0.0197
1:6	5	0.0196	0.014	0.006	0.0196
1:6	0	0.0131	0.002	0.011	0.0131
1:6	1	0.0131	0.005	0.008	0.0130
1:6	2	0.0131	0.007	0.007	0.0131
1:6	3	0.0131	0.008	0.005	0.0130
1:6	4	0.0131	0.009	0.004	0.0131
1:6	5	0.0131	0.011	0.003	0.0130

และเมื่อเปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 5 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันภาพประกอบที่ 18 จะพบว่าการใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถทำให้ %Conversion of TG มากกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นดังกล่าวประกอบที่ 19 พบว่าก็พบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์อีกเช่นกัน



ภาพประกอบที่ 18 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 นาที



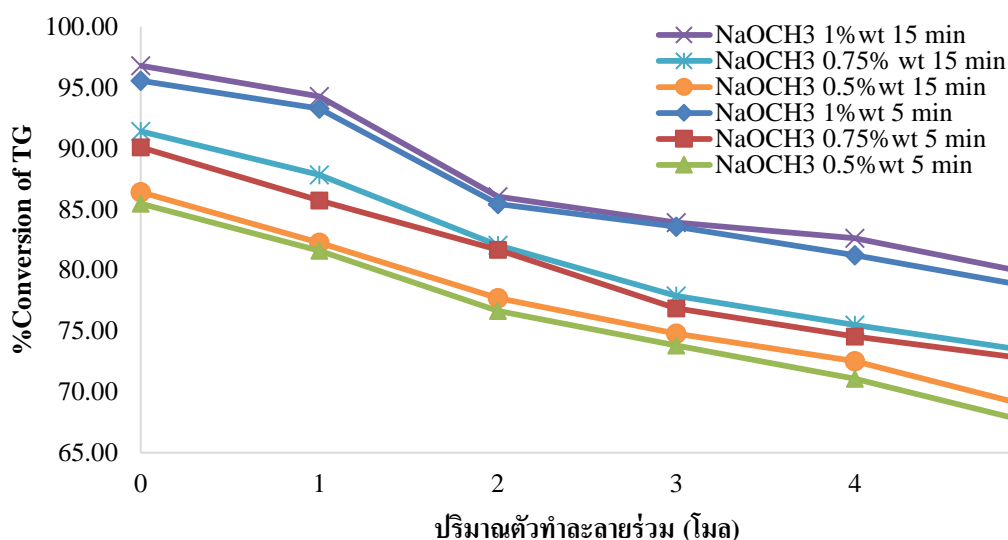
ภาพประกอบที่ 19 เปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 นาที

พบว่าการทำตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมการทดลองจะต้องทำการละลายตัวเร่งปฏิกิริยาในเมทานอลให้ละลายเข้ากันดีก่อน ที่จะผสมเข้าไปกับน้ำมัน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมี OH⁻ ซึ่งเข้าไปแยกประจุบวก H⁺ จากเมทานอล ทำให้เกิดเป็นน้ำ ซึ่งทำให้สูญเสียปริมาณเมทานอลและยังสูญเสียปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อน้ำเกิดขึ้นจะ

ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเกิดเป็นกรดไขมันอิสระกับเมทานอล และกรดไขมันอิสระก็สามารถเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันกับตัวเร่งปฏิกิริยากลายเป็นสบู่กับน้ำต่อได้อีกด้วย ซึ่งจะเห็นว่าสิ่งที่เกิดขึ้นในระบบจะทำให้การเกิดสบู่เกิดมากขึ้น แต่เมื่อทำการละลายโซเดียมเมทอกไซด์กับเมทานอล ประจุ OCH^- ของโซเดียมเมทอกไซด์จะไปแย่งประจุบวก H^+ และเกิดเป็นเมทานอล ซึ่งจะเห็นว่าไม่มีการเกิดน้ำและไม่มีการสูญเสียเมทานอลในปฏิกิริยา นั่นก็เพราะเมทอกไซด์ไอออนเป็นคู่เบสกับเมทานอล

4.2.2.2 ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 นาที

ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 15 นาที อุณหภูมิคงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6, ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1%, 0.75% และ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และเติมตัวทำละลายปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 โมล เปรียบเทียบกับการไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม โดยจะแสดง %Conversion of TG ในตารางที่ 11 และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที ดังภาพประกอบที่ 20 ก็จะพบว่าการเพิ่มเวลาทำปฏิกิริยาส่งผลเช่นเดียวกันกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 5 กับ 15 นาที



ภาพประกอบที่ 20 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 กับ 15 นาที

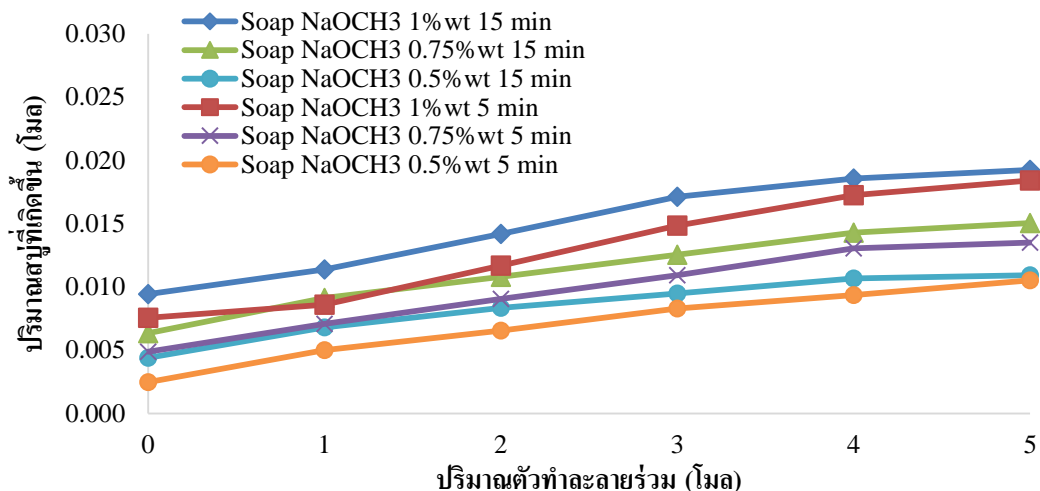
ตารางที่ 11 ปริมาณ % Conversion of TG เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วม ของ ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยา เป็นเวลา 15 นาที

สัดส่วนน้ำมัน ต่อเมทานอล	FAME (โมล)	NaOCH ₃ (% โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	%Conversion of TG
1:6	0	1.00	96.80
1:6	1	1.00	94.28
1:6	2	1.00	86.03
1:6	3	1.00	83.91
1:6	4	1.00	82.61
1:6	5	1.00	79.70
1:6	0	0.75	91.40
1:6	1	0.75	87.83
1:6	2	0.75	82.03
1:6	3	0.75	77.88
1:6	4	0.75	75.49
1:6	5	0.75	73.29
1:6	0	0.50	86.41
1:6	1	0.50	82.26
1:6	2	0.50	77.69
1:6	3	0.50	74.76
1:6	4	0.50	72.51
1:6	5	0.50	68.74

จากนั้นก็ทำการหาปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาที่เหลืออยู่โดยแสดงในตารางที่ 12 ก็ยังคงพบว่าเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกับการทำปฏิกริยาเป็นเวลา 5 นาที และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกริยาเป็นเวลา 5 กับ 15 นาที ดังภาพประกอบที่ 21 ก็พบว่าเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกับการทำปฏิกริยาโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยา ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนแล้วว่าเวลาในการทำปฏิกริยามีผลต่อ %Conversion of TG กับปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นแต่อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกริยาจะค่อนข้างน้อย

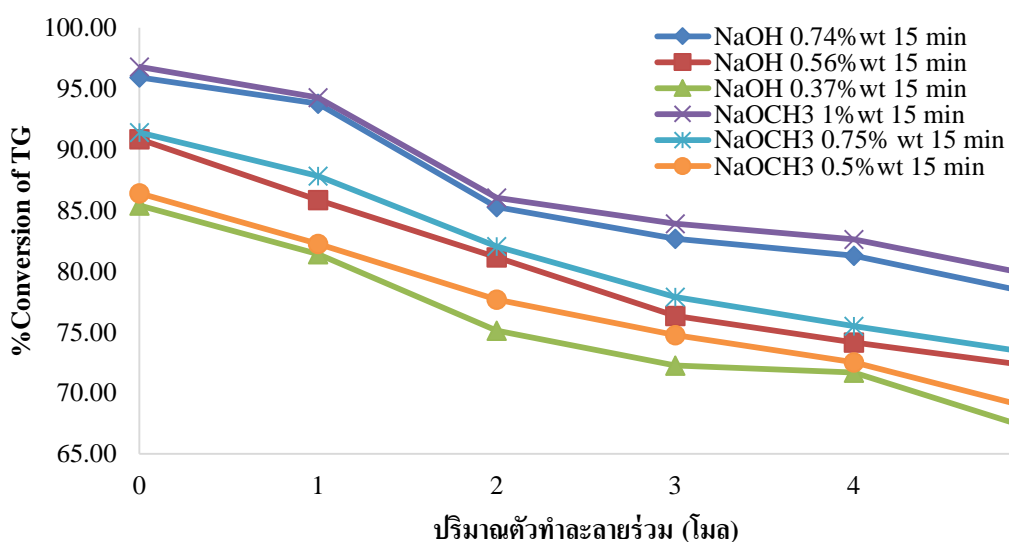
ตารางที่ 12 ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที

สัดส่วนน้ำมัน ต่อเมทานอล	FAME (โมล)	NaOCH ₃ เริ่มต้น (โมล)	ปริมาณสบู่ที่ เกิดขึ้น (โมล)	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ เหลืออยู่ (โมล)	โมลรวม (โมล)
1:6	0	0.0261	0.009	0.017	0.0263
1:6	1	0.0261	0.011	0.015	0.0262
1:6	2	0.0261	0.014	0.012	0.0260
1:6	3	0.0261	0.017	0.009	0.0260
1:6	4	0.0261	0.019	0.007	0.0258
1:6	5	0.0261	0.019	0.007	0.0261
1:6	0	0.0196	0.006	0.013	0.0195
1:6	1	0.0196	0.009	0.011	0.0197
1:6	2	0.0196	0.011	0.009	0.0195
1:6	3	0.0196	0.013	0.007	0.0196
1:6	4	0.0196	0.014	0.005	0.0197
1:6	5	0.0196	0.015	0.005	0.0196
1:6	0	0.0131	0.004	0.009	0.0131
1:6	1	0.0131	0.007	0.006	0.0132
1:6	2	0.0131	0.008	0.005	0.0130
1:6	3	0.0131	0.009	0.004	0.0131
1:6	4	0.0131	0.011	0.002	0.0130
1:6	5	0.0131	0.011	0.002	0.0130

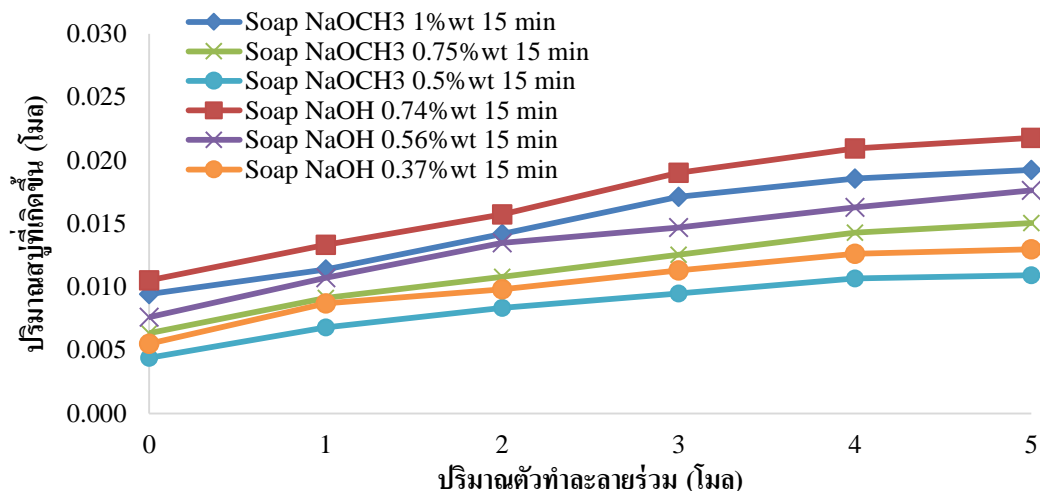


ภาพประกอบที่ 21 เปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 5 กับ 15 นาที

จากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบ %Conversion of TG กับปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันจะได้รับความสัมพันธ์ดังภาพประกอบที่ 22 และ 23 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าทั้งใน %Conversion of TG ทดที่มากกว่า และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นน้อยกว่า ซึ่งการที่สบู่เกิดขึ้นน้อยสามารถทำให้ไม่มีการสูญเสียไป โอคิเซลในขั้นตอนการล้างและจากปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน



ภาพประกอบที่ 22 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 15 นาที



ภาพประกอบที่ 23 เปรียบเทียบปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 15 นาที

จากการทดลองจะเห็นว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้นส่งผลให้ %Conversion of TG เพิ่มขึ้น แต่ก็ยังทำให้สบู่เกิดขึ้นมากด้วยเช่นกัน แต่ในการใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถช่วยในการเพิ่ม %Conversion of TG และยังสามารถช่วยลดปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม ตัวทำละลายรวมกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์นั้นพบว่าสามารถไปเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงคือปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันกลายเป็นสบู่ขึ้นมาได้ และเมื่อมีการใช้ในปริมาณที่มากขึ้น สามารถไปทำให้น้ำมันเจือจางได้ คือเมื่อมีการเติมตัวทำละลายรวมมากขึ้น โมเลกุลของเมทานอลจะเข้าไปสัมผัสกับโมเลกุลของน้ำมัน ได้ยากขึ้นจึงแสดงให้เห็นแนวโน้มที่ลดลงเหมือนกัน ทุกการทดลอง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตัวทำละลายรวมอื่นๆ ตัวทำละลายตัวอื่นไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ ซึ่งทำให้คุณสมบัติความเป็นขี้ของน้ำมันโดยรวมลดลงทำให้เมทานอลละลายได้ดีกว่า แต่การใช้ตัวทำละลายรวมตัวอื่นก็จะทำให้มีราคาต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นด้วย แต่ว่าการใช้ตัวกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายรวม สามารถรีไซเคิลกลับมาจากกระบวนการแล้วสามารถผสมกับน้ำมันตั้งต้นได้เลยซึ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดีขึ้น และตัวทำละลายรวมกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ สามารถทำให้การล้างไบโอดีเซลล้างได้ง่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นเพราะว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นแล้ว ปริมาณที่มากขึ้นเข้าไปขัดขวางการเกิดฟองของสบู่ ซึ่งทำให้ล้างง่ายขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดในการทดลองที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3 การทดลองใช้ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

4.3.1 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันโดยทำทดลองที่สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากัน และใช้ปริมาณตัวทำละลายร่วมที่แตกต่างกัน

ทำการทดลองปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิคงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส ทุกการทดลองโดยการผสมน้ำมันกับ PFAD ให้มีปริมาณ FFA เท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของน้ำมัน จากนั้นทำการทดลองโดยใช้ปริมาณเมทานอลเป็น 24% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และใช้ปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 1.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ทุกการทดลอง และเติมปริมาณตัวทำละลายร่วมเข้าไปที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 กรัม โดยให้มีปริมาณรวมกับน้ำมันเป็น 250 กรัม เท่ากันทุกการทดลอง ซึ่งจะทำให้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากันทุกการทดลองคือที่ 0.24 จากนั้นทำการศึกษา %Conversion of FFA กับ %Conversion of TG โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 13 ซึ่งจะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมทำให้ %Conversion of FFA กับ %Conversion of TG มีแนวโน้มที่ลดลงเพราะว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมเข้าไปส่งผลให้ต้องทำการลดปริมาณน้ำมันเพื่อให้ปริมาณคงที่ แต่สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันก็ยังคงที่ ทำให้น้ำมันถูกเจือจางมากขึ้น และปริมาณเมทานอลก็ลดลงด้วยตามปริมาณน้ำมัน ดังนั้นจึงทำให้อัตราการแปลงลดลง

ตารางที่ 13 ปริมาณ %Conversion of FFA และ %Conversion of TG เมื่อใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากัน และใช้ปริมาณตัวทำละลายร่วมที่แตกต่างกันทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

น้ำมัน (กรัม)	FAME (กรัม)	เมทานอล/น้ำมัน	เมทานอล (กรัม)	กรดซัลฟิวริก (กรัม)	%Conversion of FFA	%Conversion of TG
250	0	0.24	60	3.75	81.68	2.58
225	25	0.24	54	3.38	79.66	2.54
200	50	0.24	48	3	78.44	2.44
175	75	0.24	42	2.63	77.04	2.32
150	100	0.24	36	2.25	75.62	2.14
125	125	0.24	30	1.88	74.31	1.94

4.3.2 ปฏิบัติเอสเตอริฟิเคชันโดยทำการทดลองโดยใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่างกัน และใช้ปริมาณตัวทำละลายร่วมที่ต่างกัน

ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.1 แต่จะแตกต่างกันตรงที่การทดลองนี้จะใช้จำนวนเมทานอลและกรดซัลฟิวริกเท่ากันทุกการทดลองเพื่อศึกษาการกระจายตัวของหยดเมทานอลในน้ำมันที่มีปริมาณเท่ากันเพื่อให้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่าง เพราะในหัวข้อ 4.3.1 สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันจะเท่ากันทุกการทดลอง จึงทำให้เห็นผลของตัวทำละลายร่วมได้ไม่ดี ซึ่งจะแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 14 โดยจะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมสามารถทำให้ %Conversion of FFA และ %Conversion of TG มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นั่นเป็นเพราะว่าสัดส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันนั้นเพิ่มขึ้นตามการลดของปริมาณน้ำมัน เมื่อมีการเพิ่มตัวทำละลายร่วมเข้าไปทำให้สามารถลดปัญหาที่เกิดจากการที่น้ำมันถูกเจือจางโดยปริมาณตัวทำละลายร่วม

ตารางที่ 14 ปริมาณ %Conversion of FFA และ %Conversion of TG เมื่อสัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น และใช้ปริมาณตัวทำละลายร่วมที่ต่างกันทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

น้ำมัน (กรัม)	FAME (กรัม)	เมทานอล/ น้ำมัน	เมทานอล (กรัม)	กรดซัลฟิวริก (กรัม)	%Conversion of FFA	%Conversion of TG
250	0	0.24	60	3.75	81.68	2.58
225	25	0.27	60	3.75	83.07	3.15
200	50	0.30	60	3.75	83.94	3.35
175	75	0.34	60	3.75	84.59	3.50
150	100	0.40	60	3.75	85.72	3.70
125	125	0.48	60	3.75	87.36	3.79

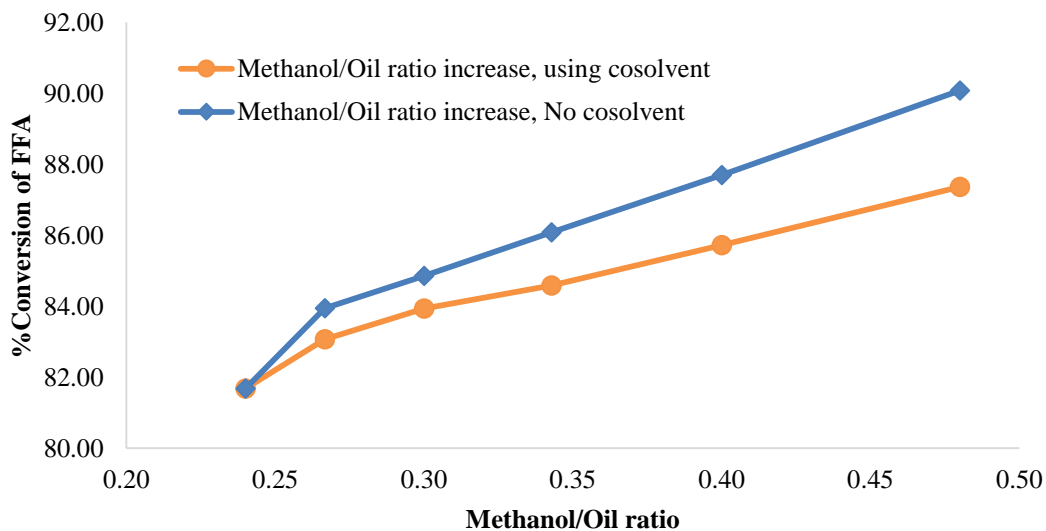
4.3.3 ปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชันโดยทำการทดลองที่สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่างกัน และไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม

ทำการทดลองโดยการใช้ปริมาณน้ำมันเช่นเดียวกันกับการทดลองในหัวข้อ 4.3.2 แต่ไม่มีการเติมทำละลายร่วมเข้าไป เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลายร่วมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยจะแสดงผลของการทดลองในตารางที่ 15 โดยจะพบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับในหัวข้อ 4.3.2

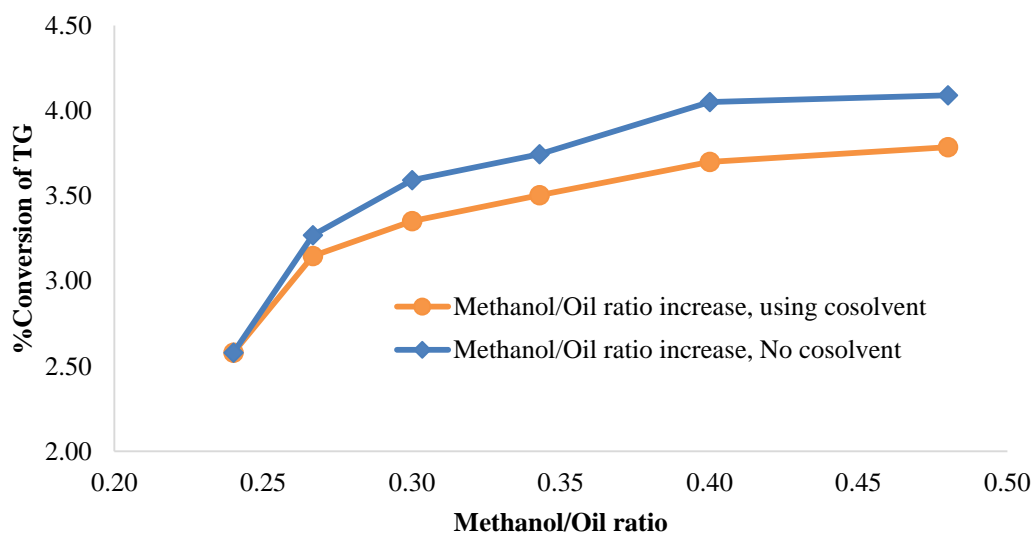
ตารางที่ 15 ปริมาณ %Conversion of FFA และ %Conversion of TG เมื่อสัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่ไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม ทำปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

น้ำมัน (กรัม)	FAME (กรัม)	เมทานอล/น้ำมัน	เมทานอล (กรัม)	กรดซัลฟิวริก (กรัม)	%Conversion of FFA	%Conversion of TG
250	0	0.24	60	3.75	81.68	2.58
225	0	0.27	60	3.75	83.95	3.27
200	0	0.30	60	3.75	84.85	3.59
175	0	0.34	60	3.75	86.08	3.75
150	0	0.40	60	3.75	87.7	4.05
125	0	0.48	60	3.75	90.08	4.09

จากนั้นเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบ %Conversion of FFA กับ %Conversion of TG ของในหัวข้อที่ 4.3.2 กับ 4.3.3 ในภาพประกอบที่ 24 กับ 25 ตามลำดับ จะพบว่ากรณีที่ใส่ตัวทำละลายร่วมเข้าไป จะให้ %Conversion of FFA กับ %Conversion of TG ที่มากกว่า เพราะมาจากการที่น้ำมันถูกเจือจางเช่นเดียวกับในการทดลองในปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน แต่หลังจากทำปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชัน ในขั้นตอนการล้างใบโอดีเซลก็ยังคงพบว่าเมื่อมีการเติมตัวทำละลายร่วมเข้าไปการล้างจะง่ายกว่าการที่ไม่เติมตัวทำละลายร่วมเข้าไป



ภาพประกอบที่ 24 เปรียบเทียบ %Conversion of FFA ของการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยา
เอสเตอริฟิเคชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบที่ 25 เปรียบเทียบ %Conversion of TG ของการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยา
เอสเตอริฟิเคชัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองผสมน้ำมัน ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ และเมทานอล

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมเข้าไปผสมกับน้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้น และเมทานอลที่ใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยา สามารถทำให้เมทานอลละลายได้ดีกว่าการไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม เนื่องจากไม่พบเมทานอลแยกชั้นเมื่อมีการใช้ตัวทำละลายร่วม 5 โมล และเมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าหยดของเมทานอลในน้ำมันมีปรากฏน้อยลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมเข้าไป

5.1.2 การใช้ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

จากผลการทดลองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 นาที พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำให้ %Conversion of TG เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมทำให้ %Conversion of TG ลดลง ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเจือจางโดยการเติมตัวทำละลายร่วม ซึ่งผลการทดลองที่ 15 นาทีก็เป็นแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการทดลองทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้ %Conversion of TG น้อยกว่าการใช้การตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียมเมทอกไซด์ แต่ก็ยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือเมื่อเพิ่มตัวทำละลายร่วมจะทำให้ %Conversion of TG ลดลง ซึ่งอีกสาเหตุที่ทำให้ %Conversion of TG ลดลงคือปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันและผลของความเข้มข้นสารเข้าทำปฏิกิริยาลดลง จากการที่มีตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ซึ่งทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใส่เข้าไป ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่ดี ซึ่งเมื่อได้ทำการไทเทรตหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น จะพบว่าการใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดสบู่มากกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โซเดียมเมทอกไซด์ จากการทดลองทั้งหมดจึงสรุปได้ว่าการใช้เมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ไม่ดี เนื่องจากการใส่ปริมาณที่มากขึ้นทำให้เกิดการเจือจางทำให้เมทานอลทำปฏิกิริยากับน้ำมันยากขึ้น และยังทำให้เกิดสบู่จากปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเมทอกไซด์จะมีสบู่ที่ต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์

ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่า หากมีการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน 2 ครั้ง ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลน์ ตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลน์ที่เติมไปในครั้งที่ 2 มีแนวโน้มจะเกิดสบู่อย่างรวดเร็วและมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อเชิงลบกับผลได้ (yield) ได้

5.1.3 การใช้ตัวทำละลายร่วมเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

จากผลการทดลอง จะพบว่าเมื่อมีการเติมปริมาณเมทานอล และกรดซัลฟิวริก ตามปริมาณน้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้นจะพบว่ามีส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 0.24 เท่ากันทุกการทดลอง จะพบว่าการเติมตัวทำละลายร่วมทำให้ปริมาณ %Conversion of TG และ %Conversion of FFA ลดลง ซึ่งการเติมตัวทำละลายร่วมมีอิทธิพลทำให้ความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยาทั้งน้ำมันและแอลกอฮอล์ต่ำลง แต่เมื่อทำการทดลองโดยใช้ปริมาณเมทานอลกับกรดซัลฟิวริกที่เท่ากันทุกการทดลอง ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยาเริ่มต้นเท่ากัน แต่สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสูงขึ้น จะพบว่า %Conversion of TG และ %Conversion of FFA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมตัวทำละลายร่วมเข้าไปมากขึ้น ซึ่งอาจมาจากสัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่สูงขึ้น หรือผลจากตัวทำละลายร่วมที่เข้าไปช่วยให้เมทานอลละลายได้ดีขึ้น แต่เมื่อได้ทำการทดลองโดยไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม และใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นเทียบเท่ากับการทดลองก่อนหน้านั้น พบว่ามี %Conversion of TG และ %Conversion of FFA ที่สูงกว่า จึงสรุปได้ว่าตัวทำละลายร่วม เมทิลเอสเทอร์ซึ่งทำให้สภาพการละลายได้ดีขึ้น แต่มีผลกระทบเชิงลบในการทำให้ความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยาลดลงนั้น อิทธิพลเชิงลบของความเข้มข้นที่ต่ำลงมีผลสูงกว่าสภาพการละลายที่ดีขึ้น ดังนั้นการใช้ตัวทำละลายร่วมในการทำปฏิกิริยาอาจให้ผลกระทบเชิงลบมากกว่าผลกระทบเชิงบวก ซึ่งต้องทบทวนการใช้รอบคอบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้เมทิลเอสเทอร์เป็นตัวทำละลายร่วมในการผลิตไบโอดีเซล ทั้งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน และในปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ สามารถรีไซเคิลจากกระบวนการผลิตมาทำการผสมกับสารตั้งต้นได้ง่าย และมีราคาที่ถูกซึ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติม ซึ่งในการขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลพบว่า การที่เพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมเข้าไปสามารถช่วยให้การล้างง่ายขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ใส่ตัวทำละลายร่วมเข้าไป ดังนั้นอาจจะประยุกต์ใช้ได้ในระดับโรงงานเพราะสามารถช่วยให้รักษาผลได้ (yield) ไว้ได้มากขึ้นทำให้ ผลิตไบโอดีเซลได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Encinar, J M, J F González, A Pardal, and G Martínez. n.d. “TRANSESTERIFICATION OF RAPESEED OIL WITH METHANOL IN THE PRESENCE OF VARIOUS CO-SOLVENTS,” no. November 2010.
- Sri-8610c-Gas-Chromatograph-Gc-Biodiesel-System @ Www.gmi-Inc.com.” n.d.
<http://www.gmi-inc.com/sri-8610c-gas-chromatograph-gc-biodiesel-system.html>.
- ชาคริต ทองอุไร. 2555. บทที่ 2 เคมีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 230-585 (BIODIESEL TECHNOLOGY). สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน. พิมพ์ที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา.
- ชาคริต ทองอุไร. 2555. บทที่ 3 วัตถุประสงค์ในการผลิตไบโอดีเซล. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 230-585 (BIODIESEL TECHNOLOGY). สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน. พิมพ์ที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา.
- Ça, Emre. 2007. “Biodiesel Production Using Co-Solvent,” no. September: 16–19.
- Escobar, Erwin C., Rex B. Demafelis, Laura J. Pham, Leonardo M. Florece and Myra G. Borines. 2008. “Biodiesel Production from *Jatropha curcas* L. Oil by Transesterification with Hexane as Cosolvent.” *Journal of Crop Science* 33(3): 1-13.
- Pen, Rosaura, Rubi Romero, Sandra Luz, Maria Jesus Ramos, Aldo Marti, Reyna Natividad, Sandra Luz Marti, and Aldo Marti. 2009. “Transesterification of Castor Oil : Effect of Catalyst and Co-Solvent Transesterification of Castor Oil : Effect of Catalyst and Co-Solvent.” *Society*, 1186–89. doi:10.1021/ie8005929.
- Jinsi, Chen, Wang Xiangyang, Hu Enzhu, Xu Yufu, Hu Xianguo, Pan Lijun and Jiang Shaotong. 2011. “Biodiesel production by transesterification cottonseed oil with ethanol using tetrahydrofuran as Cosolvent” IEEE. e-ISBN 978-1-61284-752-8.
- Mohammed, D I a, M S Ahmad, a Hamza, K Muazu, and a Aliyu. 2012. “Cosolvent Transesterification of *Jatropha Curcas* Seed Oil.” *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels* 3 (April): 42–51. doi:10.5897/JPTAF11.038.

- Lin, Chin-Chiuan, and Ming-Chien Hsia. 2013. "Optimization of Biodiesel Production from Waste Vegetable Oil Assisted by Co-Solvent and Microwave Using a Two-Step Process." *Journal of Sustainable Bioenergy Systems* 03 (01): 1–6. doi:10.4236/jsbs.2013.31001.
- Thanh, Le Tu, Kenji Okitsu, Yasuhiro Sadanaga, Norimichi Takenaka, Yasuaki Maeda, and Hiroshi Bandow. 2013. "A New Co-Solvent Method for the Green Production of Biodiesel Fuel - Optimization and Practical Application." *Fuel* 103. Elsevier Ltd: 742–48. doi:10.1016/j.fuel.2012.09.029.
- Pisarello, M. L., B. O. Dalla Costa, N. S. Veizaga and C. A. Querini. 2010. "A Volumetric Method for free and total Glycerin Determination in Biodiesel." *Ind. Eng. Chem. Res.* 49: 8935-8941.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมสารเคมีเพื่อใช้วิเคราะห์

1.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 1000 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 1000 มิลลิลิตร

1.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 80 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 1000 มิลลิลิตร

1.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 % ปริมาณ 4.932 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 1000 มิลลิลิตร

1.5 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการใส่สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98 % ปริมาณ 1.0008 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 1000 มิลลิลิตร

1.6 สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอดेट

เตรียมโดยการละลายโซเดียมเปอร์ไอโอดेट 60 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ละลายให้เข้ากัน จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ปริมาตร 60 มิลลิลิตร และจากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

1.7 สารละลายอีเทนไดออกอน

เตรียมโดยการใช้สัดส่วนของสารอีเทนไดออกอนต่อน้ำกลั่นเป็น 1:1 โดยปริมาตร

2. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA)

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบไปด้วยสารเคมีดังนี้

1.1.1 ไอโซโพรพานอล

1.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

1.1.3 อินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1.2.1 ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

1.2.2 บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

1.2.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2.3 วิธีการวิเคราะห์

1.3.1 ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 5 กรัม

1.3.2 ใส่ไอโซโพรพานอล 50 มิลลิลิตรเข้าไปเป็นตัวทำละลาย

1.3.3 หยดอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด

1.3.4 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมล

ต่อลิตร สารละลายจะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีชมพูเมื่อถึงจุดยุติ บันทึกปริมาณสารไทเทรตที่ใช้

2.4 วิธีการคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระได้จากสมการต่อไปนี้

$$\%FFA = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต} \times 0.05 \times 27}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}}$$

2.5 ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้

น้ำหนักสารตัวอย่าง 5 กรัม

ใช้ปริมาณสารไทเทรต 12 มิลลิลิตร

น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้นเท่ากับ 200 กรัม

%FFA เริ่มต้นเท่ากับ 10 %

น้ำหนักน้ำมันหลังจากทำการล้างและระเหยเอเฟสแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาออกเท่ากับ 200 กรัม

$$\%FFA = \frac{12 \times 0.05 \times 27}{5}$$

จะได้ %FFA เท่ากับ 3.24 % หลังจากนั้นสามารถคำนวณหา %Conversion of FFA ได้จากการนำค่า %FFA เริ่มต้นมาคำนวณตามสมการข้างล่างนี้ โดนสมมติให้ %FFA เริ่มต้นเท่ากับ 10%

จะได้ปริมาณ FFA เริ่มต้น เท่ากับ 25 กรัม
และได้ปริมาณ FFA สุดท้าย เท่ากับ 6.48 กรัม
สามารถคำนวณหา %Conversion of FFA

$$\%Conversion\ of\ FFA = \frac{\text{ปริมาณ FFA เริ่มต้น} - \text{ปริมาณ FFA หลังจากทำปฏิกิริยา}}{\text{ปริมาณ FFA เริ่มต้น}} \times 100$$

$$\%Conversion\ of\ FFA = \frac{25 - 6.48}{25} \times 100$$

จะได้ %Conversion of FFA เท่ากับ 74.08 %

3.การวิเคราะห์หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบไปด้วยสารเคมีดังนี้

3.1.1 ไอโซโพรพานอล

3.1.2 สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

3.1.3 อินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน

3.1.4 อินดิเคเตอร์โบรโมฟีนอลบลู

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้

3.2.1 ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

3.2.2 บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

3.2.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.3 วิธีการวิเคราะห์

3.3.1 ทำการเก็บตัวอย่างประมาณ 5 กรัม

3.3.2 ใส่ไอโซโทพานอล 50 มิลลิลิตรเข้าไปเป็นตัวทำละลาย

3.3.3 หยดอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร สารละลายจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีใส เมื่อถึงจุดยุติ

3.3.4 หยดอินดิเคเตอร์โบรโมฟีนอลบลู 3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร สารละลายจะเปลี่ยนจากเหลืองเป็นสีน้ำเงินเมื่อถึงจุดยุติ

3.4 วิธีการคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

3.4.1 คำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ได้สมการต่อไปนี้

เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โซเดียมเมทอกไซด์

$$\text{ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ppm)} = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต} \times 0.05 \times 54 \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}}$$

เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\text{ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ppm)} = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต} \times 0.05 \times 40 \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}}$$

3.4.2 คำนวณหาปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (ppm)} = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต} \times 0.05 \times 291 \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}}$$

3.5 ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้

น้ำหนักสารตัวอย่าง 5 กรัม

ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โซเดียมเมทอกไซด์ ซึ่งมีมวลโมเลกุล เท่ากับ 54 กรัมต่อโมล

สบู่ มีมวลโมเลกุล เท่ากับ 291 กรัมต่อโมล

ใช้ปริมาณสาร ไทเทรตด้วยอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 10 มิลลิลิตร

ใช้ปริมาณสาร ไทเทรตด้วยอินดิเคเตอร์โบรโมฟีนอลบลู 10 มิลลิลิตร

ปริมาณน้ำมันหลังจากทำปฏิกิริยาเท่ากับ 300 กรัม

$$\text{ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ppm)} = \frac{10 \times 0.05 \times 40 \times 1000}{5}$$

$$\text{ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (ppm)} = \frac{10 \times 0.05 \times 291 \times 1000}{5}$$

จะได้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ เท่ากับ 4000 ppm

ดังนั้น ในน้ำมัน 300 กรัม มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ เท่ากับ 1.2 กรัม

จะได้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ เท่ากับ 0.022 โมล

และจะได้ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น เท่ากับ 29100 ppm

ดังนั้น ในน้ำมัน 300 กรัม มีปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น เท่ากับ 8.73 กรัม

จะได้ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น เท่ากับ 0.03 โมล

ซึ่งการคำนวณจะถูกต้องเมื่อจำนวน โมลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เริ่มต้นมีค่า เท่ากับจำนวน โมลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือรวมกับจำนวน โมลของสบู่ที่เกิดขึ้น

4.การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอล เมื่อใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

4.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบไปด้วยสารเคมีดังนี้

4.1.1 น้ำกลั่น

4.1.2 อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

4.1.3 สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

4.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

4.1.5 สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต

4.1.6 สารละลายอีเทนไดออน

4.1.7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้

4.2.1 ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

4.2.2 ปีเปตขนาด 25 มิลลิลิตร

4.2.3 ปีเปตขนาด 10 มิลลิลิตร

4.2.4 บิวเรตขนาด 10 มิลลิลิตร

4.2.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

4.2.6 อลูมิเนียมฟอยล์

4.3 วิธีการวิเคราะห์

4.3.1 เก็บตัวอย่างมาประมาณ 0.1000 (ใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง)

4.3.2 เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

4.3.3 ทำสารละลาย Blank โดยใช้ น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

4.3.4 หยดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู 7 หยด

4.3.5 ทำให้สารละลายเป็นกรดด้วยการหยดสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรลงไป จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง

4.3.6 ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ไม่มีสีเขียวปนอยู่เลย

4.3.7 ใช้ปิเปตดูดสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดตครั้งละ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายตัวอย่างและสารละลาย Blank แล้วปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียม แก้วเบาๆ จากนั้นเก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำออกมาเติมสารละลายอีเทนไดออน 10 มิลลิลิตร แก้วเบาๆ และตั้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที

4.3.8 เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 300 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู 7 หยด และไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไม่มีสีเขียวปนอยู่เมื่อถึงจุดยุติ

4.4 วิธีการคำนวณ

สามารถคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอลได้จากสมการต่อไปนี้

$$\%Glycerol = \frac{(T - B) \times 0.025 \times 9.209}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}}$$

เมื่อ

B = ปริมาณที่ใช้ไทเทรต Blank

T = ปริมาณที่ใช้ไทเทรตสารละลายตัวอย่าง

4.5 ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้

มวลโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ เท่ากับ 283 กรัมต่อโมล

มวลโมเลกุลของกลีเซอรอล เท่ากับ 92 กรัมต่อโมล

น้ำมันเริ่มต้น เท่ากับ 180 กรัม

น้ำหนักน้ำมันรวมตัวทำละลายร่วมหลังจากทำปฏิกิริยา เท่ากับ 300 กรัม

น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต เท่ากับ 0.1200 กรัม

ใช้ปริมาณสารไทเทรต Blank เท่ากับ 10 มิลลิลิตร

ใช้ปริมาณสารไทเทรตตัวอย่าง เท่ากับ 13 มิลลิลิตร

สามารถคำนวณหา %Glycerol ได้ดังนี้

$$\%Glycerol = \frac{(13 - 10) \times 0.025 \times 9.209}{0.12}$$

จะได้ %Glycerol เท่ากับ 5.76 %

ดังนั้นจะได้ปริมาณ glycerol ในน้ำมัน 300 กรัม เท่ากับ 17.28 กรัม

และจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน 1 โมล ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับ 3 โมล เมทานอลได้เป็น 3 โมล เมทิลเอสเทอร์กับ 1 โมล กลีเซอรอล

ดังนั้นกลีเซอรอล 17.28 กรัม เท่ากับ 0.1876 โมล

และจะได้เมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 0.5628 โมล ซึ่งจะได้ 159.27 กรัม ซึ่งก็คือปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ซึ่งจะนำไปคำนวณหา %Conversion of TG ได้ดังนี้

จากน้ำมันเริ่มต้น เท่ากับ 180 กรัม จะได้ %Conversion of TG จาก

$$\%Conversion\ of\ TG = \frac{159.27}{180} \times 100$$

จะได้ %Conversion of TG เท่ากับ 88.48 %

5.การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอล เมื่อใช้ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

5.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบไปด้วยสารเคมีดังนี้

5.1.1 น้ำกลั่น

5.1.2 อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู

5.1.3 สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

5.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

5.1.5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร

5.1.6 สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต

5.1.7 สารละลายอีเทนไดออล

5.1.8 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้

5.2.1 ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

5.2.2 ปีเปตขนาด 25 มิลลิลิตร

5.2.3 ปีเปตขนาด 10 มิลลิลิตร

5.2.4 บิวเรตขนาด 10 มิลลิลิตร

5.2.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

5.2.6 อลูมิเนียมฟอยล์

5.3 วิธีการวิเคราะห์

5.3.1 เก็บตัวอย่างมาประมาณ 1.0000 (ใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง)

5.3.2 เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

5.3.3 ทำสารละลาย Blank โดยใช้ น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

5.3.4 หยดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู 7 หยด

5.3.5 ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

5.3.6 ทำให้สารละลายเป็นกรดด้วยการหยดสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรลงไป จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง

5.3.7 ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ไม่มีสีเขียวปนอยู่เลย

5.3.8 ใช้ปีเปตดูดสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดตครั้งละ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายตัวอย่างและสารละลาย blank แล้วปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียม แก้วเบาๆ จากนั้น เก็บไว้ในที่มีด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลายอีเทนไดออน 10 มิลลิลิตร แก้วเบาๆ และตั้งไว้ในที่มีด อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที

5.3.9 เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 300 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู 7 หยด และไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินไม่มีสีเขียวปนอยู่เมื่อถึงจุดยุติ

5.4 วิธีการคำนวณ

สามารถคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอลได้จากสมการต่อไปนี้

$$\%Glycerol = \frac{(T - B) \times 0.05 \times 9.209}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}}$$

เมื่อ

B = ปริมาณที่ใช้ไทเทรต Blank

T = ปริมาณที่ใช้ไทเทรตสารละลายตัวอย่าง

5.5 ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้

มวลโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ เท่ากับ 283 กรัมต่อโมล

มวลโมเลกุลของกลีเซอรอล เท่ากับ 92 กรัมต่อโมล

น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น เท่ากับ 150 กรัม

น้ำหนักน้ำมันรวมกับตัวทำละลายร่วมหลังทำปฏิกิริยาเท่ากับ 300 กรัม

น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปไทเทรต เท่ากับ 1.2000 กรัม

ใช้ปริมาณสารไทเทรต เท่ากับ 10 มิลลิลิตร

ใช้ปริมาณสารไทเทรตตัวอย่าง Blank เท่ากับ 10.50 มิลลิลิตร

สามารถคำนวณหา %Glycerol ได้ดังนี้

$$\%Glycerol = \frac{(10.5 - 10) \times 0.05 \times 9.209}{1.2000}$$

จะได้ %Glycerol เท่ากับ 0.1919 %

จะได้ปริมาณกลีเซอรอลในน้ำมันหลังจากทำปฏิกิริยา

ดังนั้นจะได้ปริมาณ glycerol ในน้ำมัน 300 กรัม เท่ากับ 0.5757 กรัม

และจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน 1 โมล ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยา

กับ 3 โมล เมทานอลได้เป็น 3 โมล เมทิลเอสเทอร์กับ 1 โมล กลีเซอรอล

ดังนั้นกลีเซอรอล 0.5757 กรัม เท่ากับ 0.0063 โมล

และจะได้เมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 0.0063 โมล ซึ่งจะได้ 5.3127 กรัม ซึ่งก็คือ

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ซึ่งจะนำไปคำนวณหา %Conversion of TG ได้ดังนี้

จากน้ำมันเริ่มต้น เท่ากับ 150 กรัม จะได้ %Conversion of TG จาก

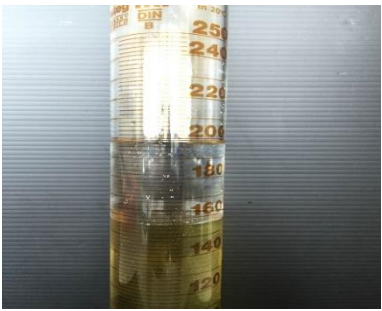

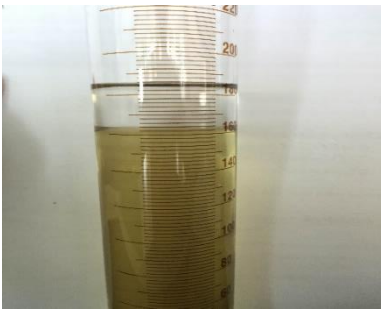
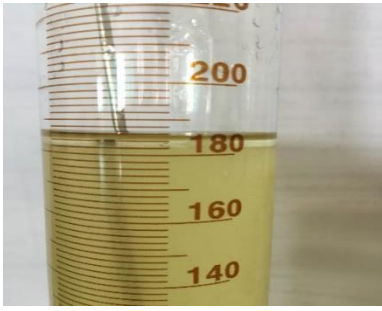


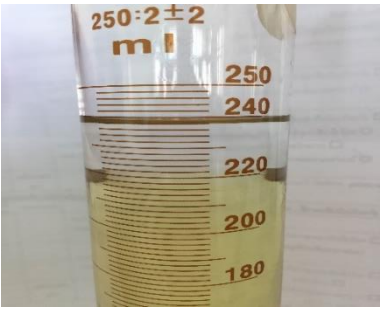
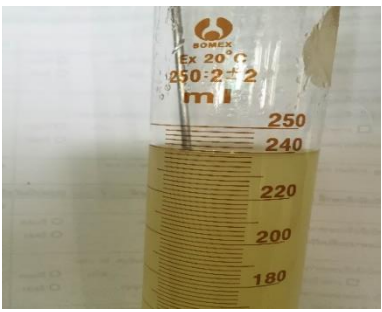
$$\%Conversion\ of\ TG = \frac{5.3127}{150} \times 100$$

จะได้ %Conversion of TG เท่ากับ 3.54 %


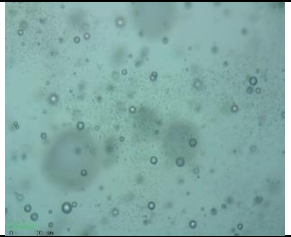
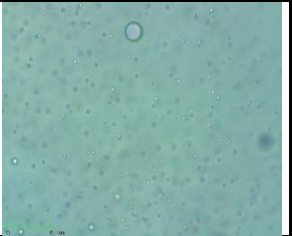
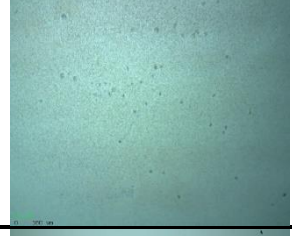
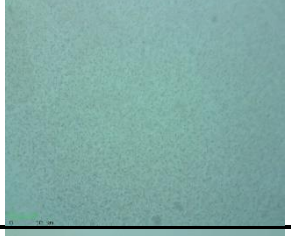
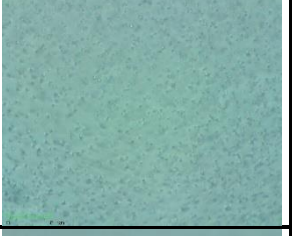






ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ภาพการผสมกันของน้ำมันปาล์มรีไฟน์, เมทิลเอสเทอร์ และเมทานอล

	ก่อนกวนผสมกัน	หลังจากกวนผสมกัน
No Co-solvent		
3 mole of FAME		
4 mole of FAME		
5 mole of FAME		

ตารางที่ ข-2 แสดงการละลายของเมทานอลในน้ำมันเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

LAB	กำลังขยาย 10 เท่า	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า
No Cosolvent			
3 mole of FAME			
4 mole of FAME			
5 mole of FAME			

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลในการคำนวณหา %Conversion of TG เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอล เป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOCH ₃ (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาตรที่ใช้ใน การคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0	1	173.44	0.1084	4.02
1	1	220.51	0.1232	3.50
2	1	267.72	0.1124	2.4
3	1	314.56	0.1196	2.12
4	1	362.04	0.1108	1.68
5	1	409.02	0.1035	1.34
0	0.75	173.06	0.1043	3.66
1	0.75	220.53	0.1043	2.76
2	0.75	267.63	0.1090	2.22
3	0.75	315.01	0.1114	1.83
4	0.75	361.04	0.1094	1.52
5	0.75	407.49	0.1071	1.28
0	0.5	172.72	0.1107	3.68
1	0.5	219.90	0.1046	2.6
2	0.5	266.47	0.1115	2.16
3	0.5	313.7	0.1124	1.78
4	0.5	360.66	0.1078	1.44
5	0.5	408.05	0.1055	1.18

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลในการคำนวณค่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ (โมล) ของทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอล เป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOCH ₃ (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	1	173.4	5.11	10.55
1	1	220.5	5.02	7.15
2	1	267.7	5.33	5.00
3	1	314.6	5.02	3.00
4	1	362.1	5.05	2.15
5	1	409.2	5.06	1.80
0	0.75	173.1	5.02	8.10
1	0.75	220.5	5.01	5.10
2	0.75	267.5	5.02	3.45
3	0.75	314.1	5.01	2.40
4	0.75	361.1	5.00	1.60
5	0.75	407.6	5.10	1.20
0	0.5	172.7	5.01	5.40
1	0.5	220.0	5.10	3.15
2	0.5	266.5	5.11	1.90
3	0.5	313.6	5.46	1.35
4	0.5	360.6	5.10	0.70
5	0.5	407.8	5.01	0.55

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลในการคำนวณหาปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (โมล) ของทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOCH ₃ (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	1	173.4	5.11	5.90
1	1	220.5	5.02	5.50
2	1	267.7	5.33	6.00
3	1	314.6	5.02	5.80
4	1	362.1	5.05	5.50
5	1	409.2	5.06	5.05
0	0.75	173.1	5.02	3.90
1	0.75	220.5	5.01	4.40
2	0.75	267.5	5.02	4.30
3	0.75	314.1	5.01	4.25
4	0.75	361.1	5.00	4.20
5	0.75	407.6	5.10	4.00
0	0.5	172.7	5.01	2.70
1	0.5	220.0	5.10	3.35
2	0.5	266.5	5.11	3.40
3	0.5	313.6	5.46	3.50
4	0.5	360.6	5.10	3.20
5	0.5	407.8	5.01	2.85

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลในการคำนวณหาค่า %Conversion of TG ของทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOCH ₃ (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาตรที่ใช้ใน การคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0	1	173.57	0.1107	4.05
1	1	220.5	0.1103	3.1
2	1	263.7	0.1022	2.2
3	1	314.94	0.1157	2.04
4	1	361.98	0.1194	1.78
5	1	409.13	0.1003	1.28
0	0.75	173.34	0.1164	4.02
1	0.75	220.46	0.1045	2.7
2	0.75	267.77	0.1056	2.14
3	0.75	314.79	0.1122	1.82
4	0.75	361.85	0.1023	1.4
5	0.75	408.92	0.1135	1.34
0	0.5	172.38	0.1111	3.66
1	0.5	219.54	0.1061	2.62
2	0.5	267.49	0.1124	2.14
3	0.5	173.57	0.1107	4.05
4	0.5	220.5	0.1103	3.1
5	0.5	263.7	0.1022	2.2

ตารางที่ ข-7 ข้อมูลในการคำนวณค่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ (โมล) ของทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอล เป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOCH ₃ (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	1	173.6	5.04	11.45
1	1	220.5	5.01	8.50
2	1	263.7	5.00	5.80
3	1	314.9	5.00	3.80
4	1	362.0	5.24	2.70
5	1	409.1	5.13	2.00
0	0.75	173.3	5.10	9.20
1	0.75	220.5	5.58	6.80
2	0.75	267.8	5.02	4.20
3	0.75	314.8	5.02	2.95
4	0.75	361.9	5.49	2.15
5	0.75	408.9	5.06	1.60
0	0.5	172.4	5.12	6.70
1	0.5	219.5	5.38	4.15
2	0.5	267.5	5.00	2.60
3	0.5	314.5	5.01	1.60
4	0.5	361.3	5.01	1.10
5	0.5	408.4	5.31	0.70

ตารางที่ ข-8 ข้อมูลในการคำนวณหาปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (โมล) ของทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOCH ₃ (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	1	173.6	5.04	4.65
1	1	220.5	5.01	4.15
2	1	263.7	5.00	4.70
3	1	314.9	5.00	5.00
4	1	362.0	5.24	5.30
5	1	409.1	5.13	4.90
0	0.75	173.3	5.10	3.05
1	0.75	220.5	5.58	3.80
2	0.75	267.8	5.02	3.60
3	0.75	314.8	5.02	3.70
4	0.75	361.9	5.49	4.20
5	0.75	408.9	5.06	3.55
0	0.5	172.4	5.12	1.55
1	0.5	219.5	5.38	2.60
2	0.5	267.5	5.00	2.60
3	0.5	314.5	5.01	2.80
4	0.5	361.3	5.01	2.75
5	0.5	408.4	5.31	2.90

ตารางที่ ข-9 ข้อมูลในการคำนวณหา %Conversion of TG เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอล เป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOH (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาตรที่ใช้ใน การคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0	0.74	172.29	0.1054	3.9
1	0.74	219.72	0.1065	3.02
2	0.74	266.86	0.1055	2.24
3	0.74	314.13	0.1098	1.92
4	0.74	360.98	0.1056	1.58
5	0.74	408.34	0.1006	1.28
0	0.56	172.23	0.1164	4.08
1	0.56	219.17	0.1045	2.72
2	0.56	266.11	0.1056	2.14
3	0.56	312.67	0.1122	1.82
4	0.56	359.98	0.1023	1.4
5	0.56	406.37	0.1135	1.34
0	0.37	172.26	0.1111	3.66
1	0.37	219.05	0.1061	2.62
2	0.37	266.22	0.1024	1.92
3	0.37	311.82	0.1039	1.6
4	0.37	359.51	0.1117	1.48
5	0.37	405.95	0.1203	1.32

ตารางที่ ข-10 ข้อมูลในการคำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ (โมล) ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOH (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	0.74	172.3	5.01	9.70
1	0.74	219.7	5.13	6.30
2	0.74	266.9	5.19	4.30
3	0.74	314.1	5.29	2.50
4	0.74	361.0	5.44	1.65
5	0.74	408.3	5.30	1.20
0	0.56	172.2	5.02	7.50
1	0.56	219.2	5.01	4.30
2	0.56	266.1	5.02	2.50
3	0.56	312.7	5.01	1.65
4	0.56	360.0	5.00	0.95
5	0.56	406.4	5.10	0.55
0	0.37	172.3	5.01	4.70
1	0.37	219.1	5.10	2.20
2	0.37	266.2	5.11	1.30
3	0.37	311.8	5.46	0.70
4	0.37	359.5	5.10	0.15
5	0.37	406.0	5.01	0.00

ตารางที่ ข-11 ข้อมูลในการคำนวณปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (โมล) ของทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOH (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	0.74	172.3	5.01	6.50
1	0.74	219.7	5.13	6.60
2	0.74	266.9	5.19	6.50
3	0.74	314.1	5.29	6.80
4	0.74	361.0	5.44	6.70
5	0.74	408.3	5.30	6.00
0	0.56	172.2	5.02	4.70
1	0.56	219.2	5.01	5.20
2	0.56	266.1	5.02	5.40
3	0.56	312.7	5.01	5.00
4	0.56	360.0	5.00	4.80
5	0.56	406.4	5.10	4.70
0	0.37	172.3	5.01	3.40
1	0.37	219.1	5.10	4.30
2	0.37	266.2	5.11	4.00
3	0.37	311.8	5.46	4.20
4	0.37	359.5	5.10	3.80
5	0.37	406.0	5.01	3.40

ตารางที่ ข-12 ข้อมูลคำนวณหาค่า %Conversion of TG ของทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOH (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณที่ใช้ใน การคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0	0.74	170.94	0.1105	4.1
1	0.74	218.4	0.1156	3.28
2	0.74	265.07	0.1118	2.38
3	0.74	312.02	0.1128	1.96
4	0.74	359.53	0.106	1.58
5	0.74	406.91	0.1168	1.48
0	0.56	172.45	0.1009	3.5
1	0.56	219.71	0.1199	3.08
2	0.56	267.76	0.1186	2.38
3	0.56	311.89	0.1147	1.86
4	0.56	360.57	0.1187	1.6
5	0.56	407.82	0.1056	1.24
0	0.37	170.12	0.1004	3.34
1	0.37	217.38	0.1164	2.88
2	0.37	264.96	0.1174	2.2
3	0.37	312.19	0.1092	1.66
4	0.37	358.42	0.1149	1.52
5	0.37	406.17	0.1001	1.08

ตารางที่ ข-13 ข้อมูลในการคำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ (โมล) ของทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาทีโดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOH (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	0.74	170.9	5.00	11.45
1	0.74	218.4	5.00	7.50
2	0.74	265.1	5.01	5.00
3	0.74	312.0	5.01	3.00
4	0.74	359.5	5.00	2.00
5	0.74	406.9	5.02	1.50
0	0.56	172.5	5.07	9.00
1	0.56	219.7	5.01	5.55
2	0.56	267.8	5.00	3.35
3	0.56	311.9	5.00	2.25
4	0.56	360.6	5.09	1.60
5	0.56	407.8	5.15	1.20
0	0.37	170.1	5.01	6.55
1	0.37	217.4	5.00	3.15
2	0.37	265.0	5.02	2.20
3	0.37	312.2	5.30	1.60
4	0.37	358.4	5.02	1.00
5	0.37	406.2	5.04	0.55

ตารางที่ ข-14 ข้อมูลในการคำนวณปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (โมล) ของทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยโมล ทุกการทดลอง

FAME (โมล)	NaOH (%โดยน้ำหนักน้ำมัน)	หลังจากการทำ ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง ที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	0.74	170.9	5.00	4.75
1	0.74	218.4	5.00	5.15
2	0.74	265.1	5.01	5.50
3	0.74	312.0	5.01	5.90
4	0.74	359.5	5.00	5.70
5	0.74	406.9	5.02	5.30
0	0.56	172.5	5.07	3.20
1	0.56	219.7	5.01	3.95
2	0.56	267.8	5.00	4.40
3	0.56	311.9	5.00	4.45
4	0.56	360.6	5.09	4.25
5	0.56	407.8	5.15	4.05
0	0.37	170.1	5.01	1.55
1	0.37	217.4	5.00	3.20
2	0.37	265.0	5.02	3.10
3	0.37	312.2	5.30	3.10
4	0.37	358.4	5.02	2.90
5	0.37	406.2	5.04	2.90

ตารางที่ ข-15 ข้อมูลในการคำนวณหา %Conversion of FFA ของเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากันทุกการทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในหัวข้อ 4.3.1

ครั้งที่ 1

ปริมาณตัวทำละลาย รวม (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างที่ นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	10	13.2
25	5.49	8.3
50	5.65	9.1
75	5.56	9.5
100	6.33	11.5
125	5.53	10.6

ครั้งที่ 2

ปริมาณตัวทำละลาย รวม (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างที่ นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0	5	7
25	5.57	8.4
50	6.1	9.7
75	5.47	9.3
100	7.21	13
125	6.09	11.55

ตารางที่ ข-16 ข้อมูลในการคำนวณหา %Conversion of TG ของเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากันทุกการทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในหัวข้อ 4.3.1

ครั้งที่ 1

ปริมาณตัวทำละลาย รวม (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างที่ นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารไทเทรตที่ ใช้ในการคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0	1.0385	0.48
25	1.0453	0.46
50	1.0247	0.38
75	1.0162	0.32
100	1.0336	0.28
125	1.0047	0.2

ครั้งที่ 2

ปริมาณตัวทำละลาย รวม (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างที่ นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารไทเทรตที่ ใช้ในการคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0	1.0341	0.52
25	1.0182	0.44
50	1.0235	0.4
75	1.0203	0.34
100	1.0283	0.26
125	1.0234	0.2

ตารางที่ ข-17 แสดงปริมาณ %Conversion of FFA ของเอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่างกัน แต่น้ำหนักโดยรวมเท่ากันทุกการทดลอง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในหัวข้อ 4.3.2

ครั้งที่ 1

สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน	น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0.24	10	13.2
0.27	5.05	6.2
0.30	5.13	6.1
0.34	5.01	5.7
0.40	5	5.4
0.48	5.01	4.7

ครั้งที่ 2

สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน	น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0.24	5	7
0.27	5.02	6.45
0.30	5.07	6.06
0.34	5.13	5.9
0.40	5.05	5.25
0.48	5.01	4.7

ตารางที่ ข-18 แสดงปริมาณ %Conversion of TG ของเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่างกัน และน้ำหนักโดยรวมแตกต่างกัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในหัวข้อ 4.3.2

ครั้งที่ 1

สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน	น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารไทเทรตที่ใช้ในการคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0.24	1.0385	0.48
0.27	1.0346	0.54
0.30	1.0182	0.5
0.34	1.0253	0.48
0.40	1.0082	0.42
0.48	1.0242	0.34

ครั้งที่ 2

สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน	น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารไทเทรตที่ใช้ในการคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0.24	1.0341	0.52
0.27	1.0413	0.56
0.30	1.0152	0.52
0.34	1.0237	0.46
0.40	1.0150	0.42
0.48	1.0100	0.38

ตารางที่ ข-19 แสดงปริมาณ %Conversion of FFA ของเอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่างกัน แต่ไม่มีการเติมตัวทำละลายร่วมทุกการทดลอง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในหัวข้อ 4.3.3

ครั้งที่ 1

สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน	น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0.24	10	13.2
0.27	4.03	4.8
0.30	4.15	4.55
0.34	3.85	4
0.40	4.04	3.65
0.48	4.04	2.95

ครั้งที่ 2

สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน	น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
0.24	5	7
0.27	4.07	4.85
0.30	4.34	5
0.34	4.04	4.15
0.40	3.9	3.6
0.48	4.24	3.15

ตารางที่ ข-20 แสดงปริมาณ %Conversion of TG ของเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่างกัน แต่ไม่มีการเติมตัวทำละลายร่วมทุกการทดลอง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในหัวข้อ 4.3.3

ครั้งที่ 1

สัดส่วนเมทานอลต่อ น้ำมัน	น้ำหนักตัวอย่างที่ นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารไทเทรตที่ ใช้ในการคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0.24	1.0385	0.48
0.27	1.0156	0.6
0.30	1.0164	0.66
0.34	1.0204	0.72
0.40	1.0124	0.76
0.48	1.0278	0.78

ครั้งที่ 2

สัดส่วนเมทานอลต่อ น้ำมัน	น้ำหนักตัวอย่างที่ นำไปไทเทรต (กรัม)	ปริมาณสารไทเทรตที่ ใช้ในการคำนวณ (T-B) (มิลลิลิตร)
0.24	1.0341	0.52
0.27	1.0252	0.62
0.30	1.1758	0.74
0.34	1.0068	0.7
0.40	1.0202	0.78
0.48	1.0115	0.78

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายธชา เมฆวัฒนา		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5710120026		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2559	

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนบัณฑิตศึกษาศึกษาวิศวกรรมศาสตร์
- ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

T. Mekwattana, C. Tongurai and N. Pitipuech 2016. Effect of Fatty Acid Methyl Ester as a cosolvent in Transesterification. Proceeding of International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2016), July 27-29, 2016, Pattaya, Thailand.