

การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูโดยใช้โซเดียม  
ไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

REDUCTION OF FREE FATTY ACID IN PORK CRACKLING FRIED  
OIL BY SODIUM HYDROXIDE AND POTASSIUM HYDROXIDE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูโดยใช้โซเดียม  
ไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

REDUCTION OF FREE FATTY ACID IN PORK CRACKLING FRIED  
OIL BY SODIUM HYDROXIDE AND POTASSIUM HYDROXIDE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**REDUCTION OF FREE FATTY ACID IN PORK CRACKLING FRIED  
OIL BY SODIUM HYDROXIDE AND POTASSIUM HYDROXIDE**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

Reduction of Free Fatty Acid in Pork Crackling Fried Oil by Sodium Hydroxide and Potassium Hydroxide

ชื่อนักศึกษา

นายภูวนัย สำราญใจ 53051230

นายสุกฤษฎี สว่างแสง 53051276

นางสาวอศนันท์ โพธิ์ศรี 53051308

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต




สาขาวิชา

เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
อ.ปัทมา ลิพหาวงศ์	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์
ชื่อนักศึกษา	นายภูวนัย สำราญใจ นายสุกฤษฎี สว่างแสง นางสาวอศนันท์ โพธิ์ศรี
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
ปีการศึกษา	2556
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ บัจฉัยที่ทำการศึกษได้แก่ ปริมาณของด่างที่ใช้ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า การลดกรดไขมันอิสระโดยใช้โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักน้ำมัน สามารถลดกรดไขมันอิสระจาก 7.60 มิลลิกรัมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เหลือ 4.54 มิลลิกรัมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีการสูญเสียน้ำมันร้อยละ 9.6 และเมื่อนำไปผลิตไบโอดีเซล จะได้ร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 84.15 โดยมีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 94.94 สำหรับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาณ 1.0% โดยน้ำหนักน้ำมัน สามารถลดกรดไขมันอิสระจาก 7.60 มิลลิกรัมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เหลือ 4.72 มิลลิกรัมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน โดยมีการสูญเสียน้ำมันร้อยละ 19.81 และเมื่อนำไปผลิตไบโอดีเซล จะได้ร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 80.50 โดยมีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 93.03

**คำสำคัญ :** น้ำมันทอดแคบหมู, การลดกรดไขมันอิสระ, ไบโอดีเซล, เมทิลเอสเทอร์

<b>Title</b>	Reduction of Free Fatty Acid in Pork Crackling Fried Oil By Sodium Hydroxide and Potassium Hydroxide	
<b>Students</b>	Poowanai	Samrahnjai
	Sukrit	Sawangseang
	Asanun	Phosri
<b>Degree</b>	Bachelor of Science	
<b>Major Program</b>	Environmental Chemistry	
<b>Academic Year</b>	2556	
<b>Advisor</b>	Asst. Prot. Dr.Usarat Thawornchaisit	

### ABSTRACT

Reduction of free fatty acid in pork crackling fried oil by sodium hydroxide and potassium hydroxide was investigated in this special project. Effects of dosage of base, reaction time and reaction temperature were studied. Result showed that acid value of 7.6 mgKOH/g was reduce to 4.5 mgKOH/g when oil was pretreated with 1.5% KOH. At this condition the pretreatment loss of oil was 9.60% w/w, % yield of 84.15 and % methyl ester of 94.94 was obtained when using pretreated oil for biodiesel production. While the acid value of 7.6 mgKOH/g in used oil was reduce to 4.7 mgKOH/g when the oil was pretreated with 1% NaOH. The loss of pretreated oil was 19.81%. In addition, % yield of 80.50 and % purity of methyl ester of 93.03 was obtained when using pretreated oil for biodiesel production.

**Keywords :** Pork crackling fried oil , Reduction of free fatty acid ,Biodiesel, Methyl ester .

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง “การศึกษาการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคปหมูโดยใช้ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์” จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้หากไม่มี ผศ.ดร. อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ที่ปรึกษาโครงการ คอยแนะแนวทางการปฏิบัติงาน มีส่วนร่วมต่อการ กำหนดขอบเขตโครงการพิเศษขึ้นนี้ ช่วยให้ผู้จัดทำขบคิดแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ขอขอบคุณ ผศ.ดร. อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ สำหรับการให้คำปรึกษา พร้อมทั้งช่วยแก้ไขข้อผิดพลาด และความเมตตา แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ อ. ปัทมา สีพหาวงศ์ กรรมการโครงการพิเศษ สำหรับการติชมการนำเสนอโครงการ ชักถามข้อสงสัย แสดงความคิดเห็น และให้คำแนะนำ เพื่อ ฝึกฝนทักษะในการนำเสนอและตอบคำถามของผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. พัทนี เจริญยิ่ง ที่สละเวลาในการวิเคราะห์  $^1\text{H-NMR}$  พร้อมทั้งแนะนำ แนววิธีการวิเคราะห์ และช่วยในการส่งวิเคราะห์

ขอขอบคุณพี่สาคร พี่ชัชชัย พี่ณัฐพล และพี่ปราณี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี ที่ ให้ความอนุเคราะห์สอนการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีสิ่งแวดล้อม ให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณ นางสาวทิพยาพร ทิมทอง นางสาวสุชาดา ประจง นางสาวอารีรัตน์ ภาณุมาศ ที่ ช่วยแนะนำการทดลอง พร้อมทั้งยังช่วยหาข้อมูลสนับสนุน และอธิบายการทดลองต่างๆด้วย และขอขอบคุณคณาจารย์ท่านอื่นๆทุกท่าน ที่อบรมให้ความรู้เสมอมา

ภูณัย	สำราญใจ
สุกฤษฎี	สว่างแสง
อัศนันท์	โพธิ์ศรี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ไขมันและน้ำมัน	3
2.1.1 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน	3
2.1.2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันและไขมัน	3
2.2 การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดใช้แล้ว	5
2.3 ไบโอดีเซล	7
2.3.1 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล	8
2.3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้	9
2.4 การกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	13
3.1.1 อุปกรณ์	13
3.1.2 สารเคมี	14

	หน้า
3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำมัน	15
3.3 การศึกษาสมบัติของน้ำมันตัวอย่าง	15
3.4 การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	16
3.4.1 การศึกษาผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	16
3.4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา	16
3.4.3 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา	17
3.5 การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	17
3.5.1 การศึกษาผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์	17
3.5.2 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา	18
3.6 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	18
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันทอดแคบหมู	20
4.2 ผลของการปรับสภาพน้ำมันทอดแคบหมูด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	21
4.2.1 ผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	21
4.2.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	24
4.2.3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	26
4.3 ผลของการปรับสภาพน้ำมันทอดแคบหมูด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	28
4.3.1 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยา	28
4.3.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	30
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	34
<b>ภาคผนวก ก</b>	36
<b>ภาคผนวก ข</b>	40

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมัน	5
3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง	15
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันทอดแคบหมูที่ใช้ในการศึกษา	20
ข - 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียของน้ำมันที่ใช้ปริมาณ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณต่างๆกัน	41
ข - 2 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของปริมาณ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการลดกรดไขมันอิสระ	41
ข - 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.75% w/w เมื่อใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างกันทำปฏิกิริยาของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์	42
ข - 4 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์	42
ข - 5 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.75% w/w เมื่อใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างกัน	42
ข - 6 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์	43
ข - 7 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียของน้ำมันที่ใช้ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณต่างๆกัน	43
ข - 8 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการลดกรดไขมันอิสระ	43
ข - 9 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.75% w/w เมื่อใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างกัน	44

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข – 10	
น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณ ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR :	
ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์	44



### VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของไขมัน	4
2.2 แผนภูมิปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร	6
2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	7
2.4 กลไกปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	7
2.5 ปฏิกิริยาสaponifiเคชัน	8
3.1 น้ำมันทอดแคบหมู	15
4.1 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g.) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w.) หลังทำการลดกรดไขมันอิสระด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ ความเข้มข้นต่างกัน	21
4.2 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล (%Yield) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณต่างกัน	22
4.3 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณต่างกัน	23
4.4 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g.) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w.) ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เวลา ในการทำปฏิกิริยาต่างกัน	24
4.5 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วย KOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน	25
4.6 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วย KOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน	25
4.7 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g.) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w.) ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อุณหภูมิต่างกัน	26
4.8 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH 0.75% โดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน	27
4.9 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วย KOH 0.75% โดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน	27
4.10 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g.) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w.) หลังทำการลดกรดไขมันอิสระด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน	28

## VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล (%Yield) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในปริมาณต่างกัน	29
4.12 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในปริมาณต่างกัน	30
4.13 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย) ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วย NaOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างกัน	30
4.14 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน	31
4.15 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน	32
ข - 1 ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$	40

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ภาวะราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นประกอบกับแหล่งน้ำมันดิบที่มีอยู่ทั่วโลกเริ่มลดลงนั้น ทำให้การค้นคว้าและพัฒนาพลังงานทดแทนต่างๆ เป็นหัวข้อที่หลายฝ่ายให้ความสนใจ ไบโอดีเซลหรือสารประกอบออลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl ester, FFAE) ที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันดีเซลจัดเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่รัฐบาล โดยกระทรวงพลังงานมีนโยบายส่งเสริมการผลิตและการใช้เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียมตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 มกราคม 2552 (กระทรวงพลังงาน, 2554) ผลจากการดำเนินนโยบายดังกล่าว ทำให้ปริมาณความต้องการใช้ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 1.7 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2553 เป็น 2.7 ล้านลิตรต่อวันในปี 2555 (กระทรวงพลังงาน, 2555)

วัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ซึ่งมีข้อดีคือปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ ให้ผลผลิตในปริมาณที่สูง แต่มีจุดอ่อนคือ อาจทำให้เกิดปัญหาการแย่งชิงวัตถุดิบระหว่างอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมด้านพลังงานทดแทน นอกจากนี้ปัญหาการแย่งชิงพื้นที่การเพาะปลูกระหว่างวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลกับอาหารของมนุษย์และสัตว์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึง (Demirbas. 2009; Escobar et al.2009) ด้วยเหตุนี้ น้ำมันพืชที่ใช้แล้วจึงเป็นวัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซลทั้งการผลิตเพื่อใช้เอง และใช้สำหรับการค้าขายทางพาณิชย์มากขึ้น ข้อจำกัดที่สำคัญคือ เนื่องจากเป็นน้ำมันพืชใช้แล้วจะทำให้มีปริมาณสิ่งเจือปน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำและกรดไขมันอิสระในปริมาณสูง ซึ่งนั่นก่อนนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล จึงจำเป็นต้องมีการปรับสภาพก่อนการผลิต เนื่องจากน้ำ และกรดไขมันอิสระจะส่งผลต่อร้อยละของผลผลิตของไบโอดีเซล (สุภกรและคณะ, 2553; Anya et al., 2013)

ในการผลิตไบโอดีเซล ค่าความเป็นกรดของวัตถุดิบ (น้ำมันพืช) ไม่ควรเกิน 4.0 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน (Ramsdhas et al., 2005) ซึ่งในกรณีที่มีค่าความเป็นกรดเกิน 4.0 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน การผลิตไบโอดีเซลควรใช้ปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนคือ Esterification – Tranesterification ซึ่งค่อนข้างสิ้นเปลืองเวลา พลังงาน และสารเคมีมากกว่าการผลิตโดยใช้ Tranesterification ขั้นตอนเดียว (วิชณีย์และคณะ, 2549) ด้วยเหตุนี้การลดกรดไขมันอิสระด้วยการทำปฏิกิริยาสะเทินด้วยด่างจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากทำได้สะดวกและง่ายกว่า งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแคบหมูซึ่งมีกรดไขมันอิสระเกิน 3% สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้ร้อยละของผลผลิตที่ได้มีค่าประมาณ 70 (ทิพภากรและคณะ, 2556) ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณของผลผลิตที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ น้ำมันทอด

แคบหมู จึงต้องมีการลดกรดไขมันอิสระออกก่อนที่จะนำไปทำการผลิต โครงการพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มร้อยละผลผลิตของ ไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแคบหมู โดยการลดกรดไขมันอิสระของวัตถุดิบที่จะใช้ผลิตไบโอดีเซลด้วยค่า

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่เหลือจากการทอดแคบหมู โดยใช้ปฏิกิริยาการสะเทินด้วยด่าง

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. น้ำมันที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำมันที่ได้จากการทอดแคบหมู ซึ่งเก็บรวบรวมเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2556

2. ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการทอดแคบหมู โดยสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความชื้น (Moisture) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ค่าไอโอดีน และ ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน

3. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดกรดไขมันอิสระ โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่

- ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.25% , 0.5% , 0.75% , 1.0% , 1.25% , 1.5% โดยน้ำหนักน้ำมัน

- ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25% , 0.5% , 0.75% , 1.0% , 1.25% , 1.5% โดยน้ำหนักน้ำมัน

- อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 60 , 75 , 90 องศาเซลเซียส

- ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 15 , 30 , 45 นาที

นำน้ำมันที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระมาวัดค่าความเป็นกรด และนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละของน้ำมันที่สูญเสีย หลังจากนั้นนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

4. การผลิตไบโอดีเซลใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 1.5 % โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนเมทานอลของน้ำมันเป็น 9 ต่อ 1

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบวิธีการอย่างง่ายในการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ใช้แล้ว

2. สามารถเพิ่มร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล (% yield ) และร้อยละของความบริสุทธิ์

( % purify ) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ไขมันและน้ำมัน

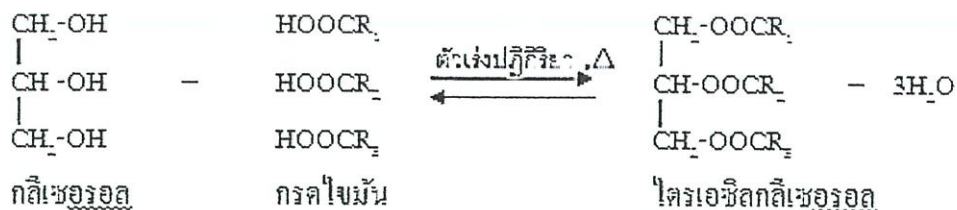
ไขมันและน้ำมันจัดเป็นสารชีวโมเลกุลจำพวกลิพิดเชิงเดี่ยว โดยทั้งไขมันและน้ำมันมีสมบัติใกล้เคียงกัน คือเป็นสารที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน หน้าที่สำคัญของไขมันและน้ำมัน คือเป็นโครงสร้างสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์และเป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิต ไขมันและน้ำมันพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ ในพืชมักพบในผลและเมล็ด เช่น มะพร้าว มะกอก ปาล์ม ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย เมล็ดทานตะวัน ในสัตว์พบในไขมันสัตว์ ซึ่งสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เช่น ไขมันวัว ไขมันแกะ เป็นต้น

#### 2.1.1 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม อีเทอร์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และปิโตรเลียมอีเทอร์ แต่ละลายได้น้อยในเมทานอล เอทานอล และอะซิโตน การทำให้ตัวทำละลายร้อนจะช่วยให้ไขมันและน้ำมันละลายในแอลกอฮอล์ และอะซิโตนดีขึ้น กรดไขมันจะมีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูงขึ้นตามจำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกรดไขมันอิ่มตัวมีจุดเดือดสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน

#### 2.1.2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันและไขมัน

ไขมันและน้ำมันมีลักษณะเป็นสารประกอบที่เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) เกิดจากกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล เข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน (fatty acids) 3 โมเลกุล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อนร่วมด้วย ดังรูปที่ 2.1 หมู่แอลคิลทั้ง 3 หมู่ใน โมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ และในหมู่แอลคิลอาจมีพันธะเดี่ยว และพันธะคู่ ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน โดยการรวมตัวของกลีเซอรอลจะควบแน่นกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) แต่ละหมู่ใน โมเลกุลของกลีเซอรอลกับหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของกรดไขมันแล้วได้หมู่โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันที่มาควบแน่นด้วยนั้นอาจมีคาร์บอนใน โมเลกุลตั้งแต่ 4 อะตอม จนถึง 24 อะตอม อาจเป็นกรด ไขมันที่อิ่มตัวหรือกรด ไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ ตั้งแต่ 1-5 แห่ง (ปาริชาติและคณะ, 2554)



## รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไขมัน

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอรินมีสูตรโมเลกุลเป็น  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  เป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ไม่มีสีไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ เป็นของเหลวหนืดละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวก ไฮโดรคาร์บอน กลีเซอรอลเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนแอลกอฮอล์ทั่วไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซิลมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา กลีเซอรอลสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาของกลีเซอรอลควรทำในสถานะที่เป็นกลางหรือด่างที่อุณหภูมิห้อง กลีเซอรอลจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังถูกออกซิไดส์ได้ง่าย

### กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยมักจะมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป มีสูตรทั่วไป คือ  $\text{R}-\text{COOH}$  ลักษณะสูตรโครงสร้างของกรดไขมันประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่เรียกว่า คาร์บอกซิล ( $\text{COOH}$ ) ซึ่งมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมตัวกันอยู่ อีกส่วนหนึ่งเรียกว่า หมู่อัลคิล (R) โดยมีธาตุคาร์บอนยึดเหนี่ยวกันเป็นพันธะ โดยปกติธาตุคาร์บอนจะมีอยู่ 4 พันธะ พันธะที่เหลือจากการจับธาตุคาร์บอนด้วยกันจะไปจับกับธาตุไฮโดรเจน กรดไขมันมีอยู่หลายชนิด ทุกชนิดจะมีหน่วยคาร์บอกซิลอยู่หนึ่งหน่วยเหมือนกัน ส่วนที่แตกต่างกัน คือ ลักษณะทางเคมีในส่วนของไฮโดรคาร์บอนทำให้กรดไขมันมีชื่อแตกต่างกันไป กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

- **กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)** หมายถึง กรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุล มี ไฮโดรเจนจับเกาะอยู่เต็มที่แล้ว ไม่สามารถรับ ไฮโดรเจนหรือธาตุอื่นใดเข้าไปในโมเลกุลได้อีก โดยที่หมู่อัลคิล (R) เท่ากับ  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$  และ n เป็นตัวเลขที่แสดงถึงจำนวนคาร์บอนอะตอม กรดไขมันชนิดนี้พบมากใน ไขมันสัตว์ น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม

- **กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)** หมายถึง กรดไขมันที่มีคาร์บอนในโมเลกุลมี ไฮโดรเจนน้อยกว่าชนิดอิ่มตัว โดยที่มีคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอมจับกันเองด้วยพันธะคู่ การมีพันธะคู่ 1 แห่งจะทำให้มีไฮโดรเจนน้อยกว่าชนิดอิ่มตัว 2 อะตอม การมีพันธะคู่อาจมีมากกว่า 1 ตำแหน่ง กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้พบมากใน ไขมันพืช ยกเว้น น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม การมีพันธะคู่มากจะทำให้ไขมันเหม็นหืนได้ง่ายเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ แต่พบว่าไขมันสัตว์มีกลิ่นหืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร็วกว่าน้ำมันพืชต่างๆที่น้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่า ทั้งนี้เพราะน้ำมันพืชมีวิตามินอี ซึ่งเป็นสารป้องกันการเติมออกซิเจนอยู่แล้วตามธรรมชาติ ตัวอย่างกรดไขมันชนิดนี้ได้แก่ กรดไลโนเลอิก โดยโครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวจะแสดง อยู่ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สูตร โครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมัน

กรดไขมัน	จำนวน ของ คาร์บอน : พันธะคู่	โครงสร้างทางเคมี	จุด หลอมเหลว (°C)	จุด เดือด (°C)
Caprylic	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	16.5	239
Capric	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	31.3	269
Lauric	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	43.6	304
Myristic	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	58	332
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	62.9	349
Palmitoleic	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	33	-
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.9	371
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	16.3	-
Linoleic	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-5	-
Linolenic	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-11	-
Arachidic	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75.2	-
Eicosenoic	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	23	-
Behenic	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	80	-
Eurcic	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	34	-

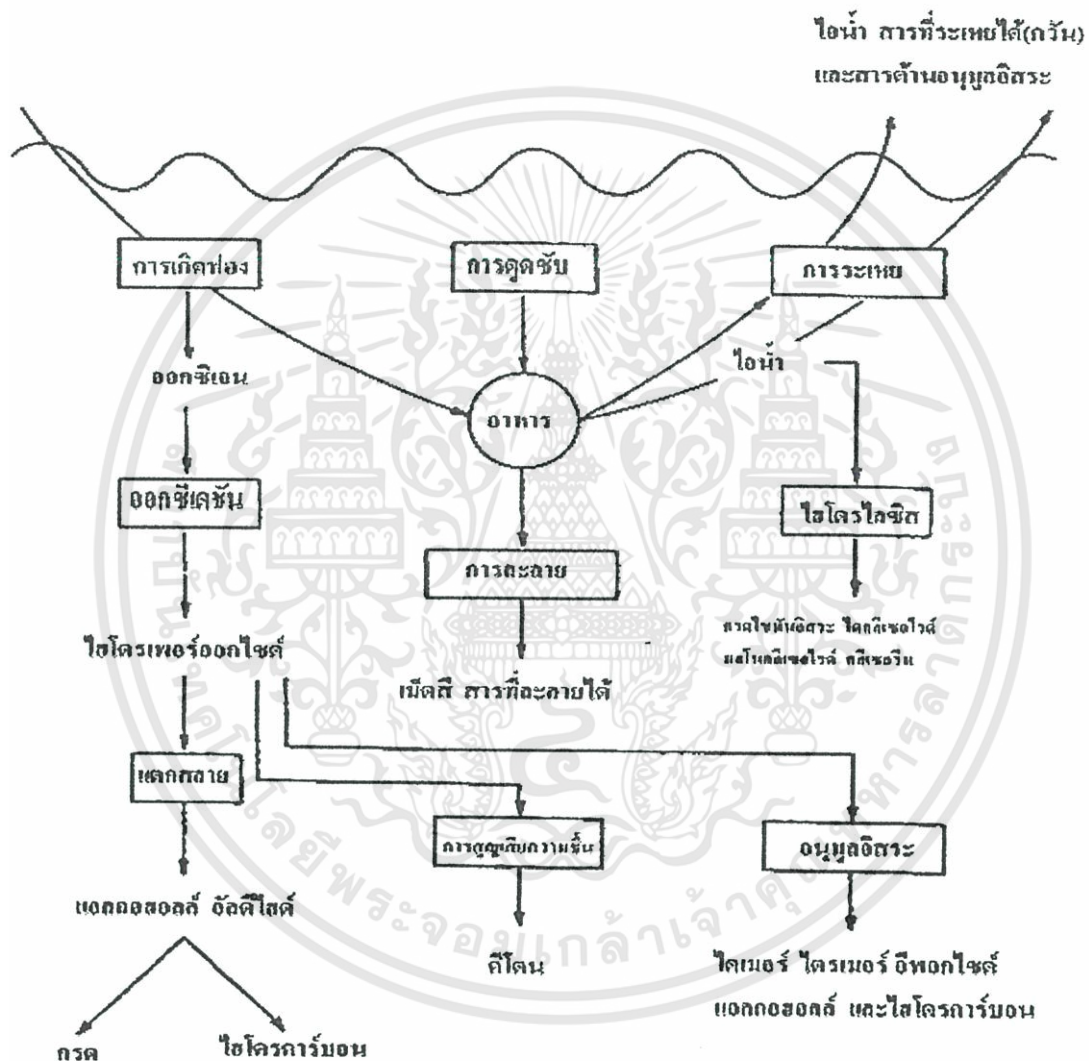
ที่มา : <http://www.wmrc.uiuc.edu/tech/small-scale-biodiesel.pdf>

## 2.2 การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดใช้แล้ว

โดยทั่วไปแล้ว น้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการทอดนั้นจะมีกรดไขมันอิสระอยู่น้อยมาก และจะมีสีเหลือง ไม่มีกลิ่นเหม็นหืน เมื่อใช้ทอดซ้ำหลายครั้ง ความร้อนที่เกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้สำหรับการทอด และความชื้นที่ระเหยออกจากอาหารที่นำมาทอด จะเร่งให้น้ำมันที่ใช้ทอดเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ พร้อมกัน (รูปที่ 2.2) คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการแตกของพันธะเอสเทอร์ของไขมัน ซึ่งทำให้ไตรกลีเซอไรด์จะค่อย ๆ แตกตัว เป็น ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ทำให้น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำมันมีจุดเกิดควันลดลง ไขมันและกรดไขมันอิสระเหล่านี้เมื่อสัมผัสกับอากาศจะเกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดได้กรดอินทรีย์ สารไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยง่าย คีโตน และอนุมูลอิสระ ได้แก่ ไคเมอร์ ไครเมอร์ อีพอกไซด์ แอลกอฮอล์และไฮโดรคาร์บอน (รูปที่ 2.2) ภายใต้อุณหภูมิสูง ในขณะที่เดียวกันไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหารจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ไดกลีเซอไรด์ มอโนกลีเซอไรด์และกลีเซอรินเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.2) นอกจากนี้อาหารที่ทอดจะละลายสารบางชนิดที่ละลายได้ในน้ำมันออกมาสู่น้ำมัน เป็นผลให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพเช่น เกิดควัน เกิดฟอง และมีสีเข้มขึ้น มีความหนืดมากขึ้น

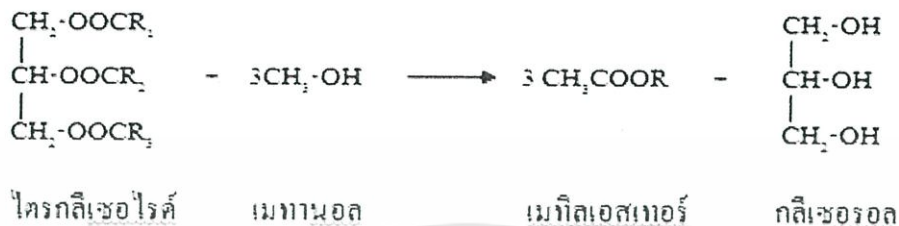


รูปที่ 2.2 แผนภูมิปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร

ที่มา Jadhav et al. (1996) อ้างถึงใน <http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning50/FT320/037.htm>

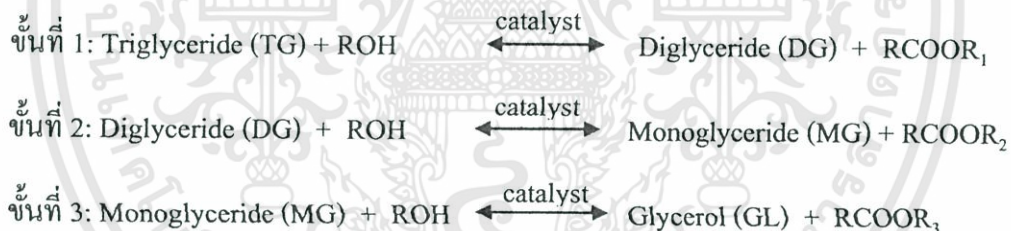
## 2.3 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยน โครงสร้างไขมันซึ่งเป็น ไตรกลีเซอไรด์ ให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

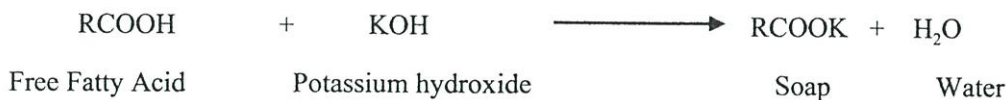
กลไกปฏิกิริยาและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยาที่ผันกลับได้จำนวนหนึ่งที่เกิดต่อเนื่องกันไป ไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนตามลำดับขั้นไปเป็น ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และสุดท้ายเป็นกลีเซอรอล (ตามสมการในรูปที่ 2.4) โดยมีเอสเทอร์เกิดขึ้นหนึ่งโมลในแต่ละขั้นตอน แม้ว่าจะปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ก็ตาม แต่สมดุลจะโน้มเอียงไปทางผลิตภัณฑ์ คือ เอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester) และกลีเซอรอลดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กลไกปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เพราะเบสมีราคาถูก ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นและให้ปริมาณอัลคิลเอสเทอร์ที่สูง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปัจจุบันคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมเมทิลเลตหรือโซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH<sub>3</sub>) และโพแทสเซียมเมทิลเลตหรือโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH<sub>3</sub>) โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีราคาถูกที่สุด หาได้ง่าย ส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะมีราคาสูงกว่า แต่ที่นิยมใช้เพราะสบู่ของโพแทสเซียมเป็นของเหลว ดังนั้นเมื่อปนเปื้อนในกลีเซอรอลจะทำให้กลีเซอรอลยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ ต่างจากสบู่ของโซเดียมซึ่งเป็นของแข็ง เมื่อปนเปื้อนในกลีเซอรอลทำให้กลีเซอรอลเป็นของแข็งตามไปด้วย ซึ่งอาจทำให้ท่ออุดตันได้ (ชาคริต ทองอุไร, 2554.) การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีข้อจำกัดสำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง เช่นน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้ทอดแล้วหรือน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสบู่โดยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) ดังรูปที่ 2.5



### รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน

#### 2.3.1 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วนั้นปกติจะประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (กระทรวงพลังงาน, 2553) ประกอบด้วย

1. **การเตรียมวัตถุดิบ** ซึ่งจะนำน้ำมันที่จะผลิตไบโอดีเซลมาทำการกรองหยาบ เพื่อเอาเศษสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ออก
2. **การไล่ความชื้น** โดยนำน้ำมันในขั้นที่ 1 ไปต้มไล่ความชื้นให้น้ำระเหย
3. **การทำปฏิกิริยาเคมี** นำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล (ความบริสุทธิ์มากกว่า 99%) โดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขั้นตอนการทำปฏิกิริยานี้จะต้องควบคุมให้สารผสมกันที่อุณหภูมิเหมาะสม และเวลาที่ใช้ประมาณ 1.5 ถึง 6 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดสารเร่งและอุณหภูมิที่ใช้
4. **การแยกชั้น** ตั้งของผสมทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินกับไบโอดีเซล โดยไบโอดีเซลจะอยู่ด้านบนและกลีเซอรินจะตกตะกอนอยู่ด้านล่าง หลังจากนั้นทำการแยกเอากลีเซอรินออก
5. **การล้าง** ซึ่งในขั้นนี้ไบโอดีเซลถูกล้างด้วยน้ำ เพื่อเอาสบู่ที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาออก และเอาสิ่งเจือปนอื่นออก
6. **การไล่ความชื้นขั้นสุดท้าย** ไบโอดีเซลจะถูกนำไปไล่ความชื้นออกด้วยการต้ม และกรองด้วยความละเอียด 1 ไมครอน เมื่อผ่านทุกขั้นตอนแล้ว ก็จะได้ไบโอดีเซลซึ่งสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลได้

## 2.3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้

### 2.3.2.1 ความชื้น

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสม เพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ในระหว่างการทำปฏิกิริยา ซึ่งสบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง และยังส่งผลทำให้ความหนืดมีค่าสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล ยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย ซึ่งความชื้นสูงกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาหรือปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ลดลง

### 2.3.2.2 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ กล่าวคือปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและสูงเกินไป จะทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำ ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ามากจะทำให้ตัวเร่งที่เกินมากไปทำปฏิกิริยากับน้ำมัน (ธีรยุทธ์, 2551) ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 0.5 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันสบู่ดำ พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 0.5 เป็น 1.0 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เฉลี่ย จะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 1.0 เป็น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เฉลี่ย จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้มีปริมาณมากเกินไปทำให้ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

### 2.3.2.3 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา ถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้สูงขึ้น เนื่องจากโอกาสที่สารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยามีมากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่ามากขึ้น (Dias et al., 2012) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต่อการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ไขมันสัตว์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2, 4 และ 8 ชั่วโมงพบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

Damoko and Cheryan (2000) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 90 นาทีแรกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 %w/w และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 พบว่าผลผลิตของร้อยละเมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเริ่มลดลงและเข้าสู่สภาวะสมดุลในระยะเวลา 60 นาที

#### 2.3.2.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล โดยความสามารถในการผสมกันระหว่าง แอลกอฮอล์และน้ำมันจะเกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ ธีรยุทธ์ (2551) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าเมื่อเพิ่ม อุณหภูมิจาก 40 เป็น 50 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม อุณหภูมิจาก 50 เป็น 60 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยจะลดลง เนื่องจากที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของเมทานอล (63 องศาเซลเซียส) ทำให้การไหลกลับ (Reflux) ของเมทานอลเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เมทานอลมีโอกาสสัมผัสกับ น้ำมันลดลงและได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ลดลง

#### 2.3.2.5 อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล โดยเมทานอลถูกนำไปใช้ในระดัการวิจัยและ โรงงานอุตสาหกรรมในทางทฤษฎี พบว่า ต้องใช้เมทานอล 3 โมลต่อไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล หรือเพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ 3 โมล และ กลีเซอรอล 1 โมล (ใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน เป็น 3:1) ในกรณีของน้ำมันบริสุทธิ์ พบว่า อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 จะให้ผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด (Meher et al, 2006) ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วและสมบูรณ์มากขึ้น สำหรับ น้ำมันที่ใช้แล้ว พบว่าต้องใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันมากกว่า 6:1 จึงจะทำให้ได้ปริมาณ เอสเทอร์มาก เนื่องจากน้ำมันที่ใช้แล้วมีความหนืดสูงกว่า ทำให้ต้องใช้ปริมาณเมทานอลมาก เพื่อ ละลายน้ำมันและทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำมันกับเมทานอล (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553)

#### 2.3.2.6 การปั่นกววน

การปั่นกววนมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากการปั่นกววนมีส่วน ช่วยในการเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำมันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยามีการผสมกัน เนื่องจากน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่ใช้นั้นไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ตามธรรมชาติและ สารทั้งสองชนิดมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน ถ้าไม่มีการปั่นกววนปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น เฉพาะบริเวณรอยต่อของชั้นน้ำมันกับแอลกอฮอล์เท่านั้น ดังนั้นการปั่นกววนจะช่วยทำให้ปฏิกิริยา เกิดได้มากขึ้นและเร็วขึ้น แต่ถ้าการปั่นกววนมากกว่าค่าหนึ่งแล้วจะไม่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วไป กว่านั้น เนื่องจากค่า นั้นเป็นค่าการสัมผัสของน้ำมันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากที่สุด (Rashid, 2008)

## 2.4 การกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน

ปริมาณกรดไขมันอิสระจะส่งผลกระทบต่อร้อยละผลผลิต (%yield) ของไบโอดีเซล (Anya et al., 2013) หากต้องการที่จะเพิ่มปริมาณของไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ จำเป็นต้องทำการปรับสภาพน้ำมันเพื่อลดกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซล โดยวิธีการลดกรดไขมันอิสระสามารถทำได้ดังนี้

1. การทำปฏิกิริยาสะเทินด้วยด่าง ซึ่งถือเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยการเติมด่างเข้าไปในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงๆ โดยกรดไขมันอิสระจะกลายเป็นสบู่และสามารถดึงออกไปได้ แต่วิธีนี้จะสูญเสียน้ำมันออกไปมากกว่าวิธีอื่นๆ จึงเหมาะสำหรับน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระอยู่ไม่เกิน 4 % (ชาคริต ทองอุไร, 2554)

2. การกลั่นลำดับส่วนภายใต้สุญญากาศ วิธีการนี้สามารถแยกกรดไขมันอิสระออกมาได้ และกรดไขมันอิสระที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ และยังสามารถนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้อีกด้วย แต่่ววิธีนี้จะใช้พลังงานสูงมากจึงจะสามารถแยกกรดไขมันอิสระออกมาได้ (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่, ม.ป.ป.)

3. การสกัดด้วยตัวทำละลาย วิธีการนี้นอกจากแยกกรดไขมันอิสระได้แล้ว ยังสามารถแยกสารให้สีและกลิ่นออกไปได้ด้วย โดยสามารถลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะกอกได้ด้วยเฟอร์ฟูรอล และยังสามารถแยกกลีเซอรอลไรค์อิมตัว และไม่อิมตัวออกจากกันได้ด้วย โดยการลดกรดไขมันอิสระโดยการสกัดนี้ พังเป็นที่สนใจในงานวิจัยต่างๆ (ชาคริต ทองอุไร, 2554)

4. การทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน เหมาะสำหรับน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระอยู่สูงมากๆ (สุภกรและคณะ, 2553) คือการใช้กระบวนการเอสเตอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดเพื่อนเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้กลายเป็นเอสเตอร์ก่อน แล้วใช้กระบวนการทรานเอสเตอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง ซึ่งจะให้ผลที่สูงที่สุด

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภิเทพ สุวงศ์เครือ และคณะ (ม.ป.ป.) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันผสมโดยการลดกรดไขมันอิสระ โดยนำไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้กลายเป็นสบู่ โดยศึกษาที่ความเข้มข้น 10 % , 20 % , 30 % โดยน้ำหนัก และใช้ปริมาณสารละลาย 0.4 , 0.5 , 0.6 มิลลิลิตร โดยพบว่าปริมาณที่เหมาะสมคือที่ 30% โดยน้ำหนัก และที่ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ที่สภาวะดังกล่าวจะทำให้ให้น้ำมันมีค่ากรดไขมันอิสระลดลงจาก 1.65 % เหลือ 0.3 %

วิชัย ออมทรัพย์สิน และคณะ (2549) ได้ศึกษาการลดกรดไขมันอิสระน้ำมันปาล์มดิบ ที่มีค่ากรดไขมันอิสระ 6.2% โดยใช้สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 20 , 25 , 30 , 35 , 40 และ 45 Baume และปริมาณ 4 6 8 และ 10% v/w พบว่า สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 45 Baume และ

ปริมาณ 10% v/w สามารถลดกรดไขมันอิสระได้มากถึง 2.3% และปริมาณน้ำมันเหลือ 81.29% และถ้าใช้ปริมาณ 4% v/w พบว่าปริมาณน้ำมันเหลือมาก 93.39% แต่ค่ากรดไขมันอิสระลดลงน้อยเพียง 0.6% (6.2% เหลือ 5.6%) เวลาที่เหมาะสมในการลดกรด 20-30 นาที และความเร็ว 250-300 รอบ/นาที สำหรับการลดกรดไขมันอิสระน้ำมันปาล์มดิบค่ากรดไขมันอิสระ 3.1% พบว่า สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 45 Baume อัตรา 10% v/w สามารถลดกรดไขมันอิสระได้มากที่สุด 1.86% และปริมาณน้ำมันเหลือ 82%

**สุภกร บุญยีน และคณะ (2553)** ศึกษาผลของกรดไขมันอิสระที่มีผลต่อปริมาณของไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้โดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งได้ศึกษาในน้ำมันใช้แล้ว น้ำมันไก่ ไขมันวัว และน้ำมันปาล์มที่มีค่ากรดไขมันอิสระที่ต่างกัน พบว่า น้ำมันใช้แล้วจะมีค่าความเป็นกรดอยู่ที่ 13.07 mg KOH/g สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ 78.49 % ของน้ำหนักน้ำมัน ส่วนน้ำมันไก่ ไขมันวัว และน้ำมันปาล์ม มีค่าความเป็นกรดอยู่ที่ 2.17 , 2.59 , 2.28 mg KOH/g ซึ่งสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ 94.67 % , 94.89 % และ 93.37 % ของน้ำหนักน้ำมัน

**ชาตรีและคณะ (2554)** ศึกษาการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดใช้แล้ว ที่มีกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 1.97 และ 3.30 % ใช้กลีเซอรอล 20% เมทานอล 2.5% และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.50 และ 0.72% โดยน้ำหนักสารป้อนตามลำดับ ใช้เวลาผสมเพื่อทำปฏิกิริยาสะเทิน 15 นาที จะลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงเหลือ 0.23 และ 0.57 % ตามลำดับ และเมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต่อไป จะได้ความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์เท่ากับ 98.62 และ 98.95 % และได้ร้อยละผลผลิต (%yield) 94.54 และ 93.76 % ตามลำดับ

**Kombe et al. (2011)** ศึกษาการลดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการสองชนิด คือการปรับสภาพด้วยกรด และการสะเทินด้วยด่าง โดยการปรับสภาพด้วยกรดใช้เมทานอล 0.60 w/w ค่อน้ำหนักน้ำมัน และใช้กรดซัลฟิวริกที่ 2% ค่อน้ำหนักน้ำมัน โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองที่ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนการสะเทินด้วยด่างจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวนเท่ากับค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมัน พบว่า เมื่อใช้การปรับสภาพด้วยกรด จะสามารถลดค่าความเป็นกรดได้จาก 5.96% เหลือ 0.3% โดยสูญเสียน้ำมันไปร้อยละ 4 ส่วนการสะเทินด้วยด่างจะสามารถลดค่าความเป็นกรดจาก 5.96% เหลือ 0.14% โดยจะสูญเสียน้ำมันไปร้อยละ 19

**Anya et al. (2013)** ศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระต่อร้อยละผลผลิตของไบโอดีเซลจากน้ำมันสะเดา (Neem Oil) ที่ผลิตโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.48 mg KOH/g เป็น 1.53 mg KOH/g ทำให้ %yield มีค่าลดลงจากร้อยละ 80-85 เหลือเพียงร้อยละ 30

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 อุปกรณ์

##### 1. อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างน้ำมัน

- 1.1 ชุดกรองลดความดัน
- 1.2 ปีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
- 1.3 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 2 (Filter paper)

##### 2. อุปกรณ์ในการกำจัดกรดไขมันอิสระ

- 2.1 เครื่องให้ความร้อนและกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก รุ่น C-MAG HS7 ( Stirrer Hotplate)  
บริษัท Thai Pure Science Co., Ltd.
- 2.2 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง รุ่น ED224S บริษัท Sartorius
- 2.3 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Contact Thermometers)  
บริษัท ไอทีเอส (ไทยแลนด์) จำกัด
- 2.4 กรวยแยก (Separatory funnel)
- 2.5 เครื่องแก้วต่างๆ (Glassware)

##### 3. อุปกรณ์สำหรับผลิตไบโอดีเซล

- 3.1 เครื่องให้ความร้อนและกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก รุ่น C-MAG HS7 ( Stirrer  
Hotplates ) บริษัท Thai Pure Science Co., Ltd.
- 3.2 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง รุ่น ED224S บริษัท Sartorius
- 3.3 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Contact Thermometers)  
บริษัท ไอทีเอส (ไทยแลนด์) จำกัด
- 3.4 เครื่องกรองลดความดัน (Filtration pressure)
- 3.5 เครื่องควบแน่น (Condenser)
- 3.6 ขวดก้นกลมสามคอ (3-neck round-bottomed flask )
- 3.7 กรวยแยก (Separatory funnel)
- 3.8 เครื่องแก้วต่างๆ (Glassware)

- 3.9 แม่เหล็ก (Magnet)
- 3.10 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 3.11 กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universalpaper)
- 3.12 กระดาษกรองWhatmanเบอร์ 43 (Filter paper)
- 3.13 ขาตั้ง+ที่จับคอนเดนเซอร์+ห่วงเหล็ก (Stand+Clamp+ Iron ring)
- 3.14 อ่างน้ำร้อน (Water bath)
- 4. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์
  - 4.1 หลอดNMR ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร
  - 4.2 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ BRUKER รุ่น Avance DPX 300 ด้วยความถี่ 300 เมกะเฮิร์ต สเปกตรัม  $^1\text{H-NMR}$  ปรากฏตำแหน่งสัญญาณของ  $\text{CHCl}_3$  ที่  $\delta$  7.25 ppm

### 3.1.2 สารเคมี

1. สารเคมีสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
  - 1.1 น้ำมันทอดแคบหมู
  - 1.2 เมทานอล
  - 1.3 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แอนไฮดรัส 99.99 เปอร์เซ็นต์
  - 1.4 โพแทสเซียมเดียมซัลเฟต
  - 1.5 ถ่านกัมมันต์ขนาด 12.01 เมช
2. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์
  - 2.1 คลอโรฟอร์ม ( $\text{CHCl}_3$ )
3. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด
  - 3.1 ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์
  - 3.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N
  - 3.3 ฟีนอล์ฟทาลิน
4. สารเคมีสำหรับการกำจัดกรดไขมันอิสระ
  - 4.1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
  - 4.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์

### 3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำมัน

ตัวอย่างน้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันที่เหลือจากการทอดแคบหมูของกลุ่มแคบหมูไร้มันสมุนไพร ตำบลคลองหก อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเก็บรวบรวมโดยทิพภาพรและคณะ (2556) เมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2556 (รูปที่ 3.1) นำมากรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 2 เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่ปนเปื้อนมากับน้ำมัน ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาสมบัติและการปรับสภาพเพื่อลดกรดไขมันอิสระต่อไป



รูปที่ 3.1 น้ำมันทอดแคบหมู

### 3.3 การศึกษาสมบัติของน้ำมันตัวอย่าง

น้ำมันที่เตรียมได้จากข้อที่ 3.2 จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง

สมบัติ	หน่วยวัด	วิธีวิเคราะห์
ความชื้น (moisture)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C และชั่งน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด (acid values)	มิลลิกรัม KOH/กรัม	ไทเทรชัน (titration) (กระทรวงพลังงาน, 2553)
ค่าไอโอดีน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	Hanus Method (นิธิยา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

#### 3.4.1 การศึกษาผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

1. นำน้ำมันไปต้มที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 15 นาที เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมัน ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
2. ชั่งน้ำมันมา 150 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C พร้อมกับปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
3. ละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.25% โดยน้ำหนักของน้ำมันในน้ำกลั่น ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆเติมสารละลายที่เตรียมได้ลงในน้ำมันในข้อ 2 ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด เทน้ำมันที่ได้ใส่ลงในกรวยแยก ทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นเวลา 1 คืน ไขชั้นสารละลายส่วนล่างที่เป็นสบู่ทิ้งและนำน้ำมันส่วนบนไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียไป (pretreatment loss) ตามสมการที่ 3.1 น้ำมันที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป

$$\text{Pretreatment loss (\%)} = \frac{\text{wt. of crude oil} - \text{wt. of pretreated oil}}{\text{wt. of crude oil}} \times 100 \quad (3.1)$$

5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้จาก 0.25% เป็น 0.5% , 0.75% , 1.0% , 1.25% และ 1.5%

#### 3.4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา

1. นำน้ำมันไปต้มที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 15 นาที เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมัน ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
2. ชั่งน้ำมันมา 150 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C พร้อมกับปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
3. ละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.4.1 ในน้ำกลั่น ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆเติมสารละลายที่เตรียมได้ลงในน้ำมันในข้อ 2 ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด เทน้ำมันที่ได้ใส่ลงในกรวยแยก ทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นเวลา 1 คืน ไขชั้นสารละลายส่วนล่างที่เป็นสบู่ทิ้งและนำน้ำมันส่วนบนไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียไป (pretreatment loss) ตามสมการที่ 3.1 น้ำมันที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป
5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 60 °C เป็น 75 °C และ 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

1. นำน้ำมันไปต้มที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 15 นาที เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมัน ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
2. ชั่งน้ำมันมา 150 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.4.2 พร้อมกับปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
3. ละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.4.1 ในน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆเติมสารละลายที่เตรียมได้ลงในน้ำมันในข้อ 2 ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด เทน้ำมันที่ได้ใส่ลงในกรวยแยก ทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นเวลา 1 คืน ไซซ์สารละลายส่วนล่างที่เป็นสบู่ทิ้งและนำน้ำมันส่วนบนไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียไป (pretreatment loss) ตามสมการที่ 3.1 น้ำมันที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป
5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 15 นาที เป็น 30 นาที และ 45 นาที

### 3.5 การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### 3.5.1 การศึกษาผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. นำน้ำมันไปต้มที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 15 นาที เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมัน ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
2. ชั่งน้ำมันมา 150 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C พร้อมกับปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
3. ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.25% โดยน้ำหนักของน้ำมันในน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆเติมสารละลายที่เตรียมได้ลงในน้ำมันในข้อ 2 ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด เทน้ำมันที่ได้ใส่ลงในกรวยแยก ทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นเวลา 1 คืน ไซซ์สารละลายส่วนล่างที่เป็นสบู่ทิ้งและนำน้ำมันส่วนบนไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียไป (pretreatment loss) ตามสมการที่ 3.1 น้ำมันที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป
5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้จาก 0.25% เป็น 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.25% และ 1.5%

### 3.5.2 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

1. นำน้ำมัน ไปต้มที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 15 นาที เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมัน ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
2. ชั่งน้ำมันมา 150 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.5.2 พร้อมกับปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
3. ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.5.1 ในน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆเติมสารละลายที่เตรียมได้ลงในน้ำมันในข้อ 2 ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด เทน้ำมันที่ได้ใส่ลงในกรวยแยก ทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นเวลา 1 คืน ไขชั้นสารละลายส่วนล่างที่เป็นสบู่ทิ้ง และนำน้ำมันส่วนบน ไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียไป (pretreatment loss) ตามสมการที่ 3.1 น้ำมันที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป
5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 15 นาที เป็น 30 นาที และ 45 นาที

### 3.6 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ชั่งน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าขมา 100 กรัม นำมาผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อ้างอิงรายละเอียดวิธีการและสภาวะในการผลิตจากงานวิจัยของทิพยาพรและคณะ (2556) โดยสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นดังนี้

- อัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน = 9 : 1
- อุณหภูมิ = 60 °C
- KOH = 2 % โดยน้ำหนักน้ำมัน
- เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา = 120 นาที

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ จะถูกนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณร้อยละของผลผลิต (%yield) ตามสมการ (3.2) และวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H}$  Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy ( $^1\text{H-NMR}$ ) และคำนวณร้อยละความบริสุทธิ์ (% purity) ตามสมการที่ (3.3)

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{wt. of biodiesel produced}}{\text{wt. of pretreated oil}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\text{Methyl ester purity (\%)} = \frac{100 \times (2 \times \text{Peak area of } -\text{OCH}_3)}{3 \times \text{Peak area of } \alpha\text{-CH}_2} \quad (3.3)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษากำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมูด้วยการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง ก่อนนำไปผลิตไบโอดีเซล บัจจุบันที่ทำการศึกษาคือตัวแปรต้นได้แก่ ชนิดของด่าง ความเข้มข้นของด่าง เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา น้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพถูกนำไปผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันทอดแคบหมู

น้ำมันตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ เป็นน้ำมันที่เหลือจากการทอดแคบหมู ซึ่งเก็บรวบรวมโดยทิพยาพรและคณะ (2556) ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2556 เมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันทอดแคบหมูที่ใช้ในการศึกษา

สมบัติ	ค่าที่วัดได้	
	การศึกษาค้างนี้	ทิพยาพรและคณะ (2556)
ค่าความชื้น (%)	$0.058 \pm 0.005$	$0.013 \pm 0.004$
ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)	$7.60 \pm 0.091$	$5.98 \pm 0.061$
ไอโอดีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	$65.42 \pm 7.510$	$61.26 \pm 10.460$

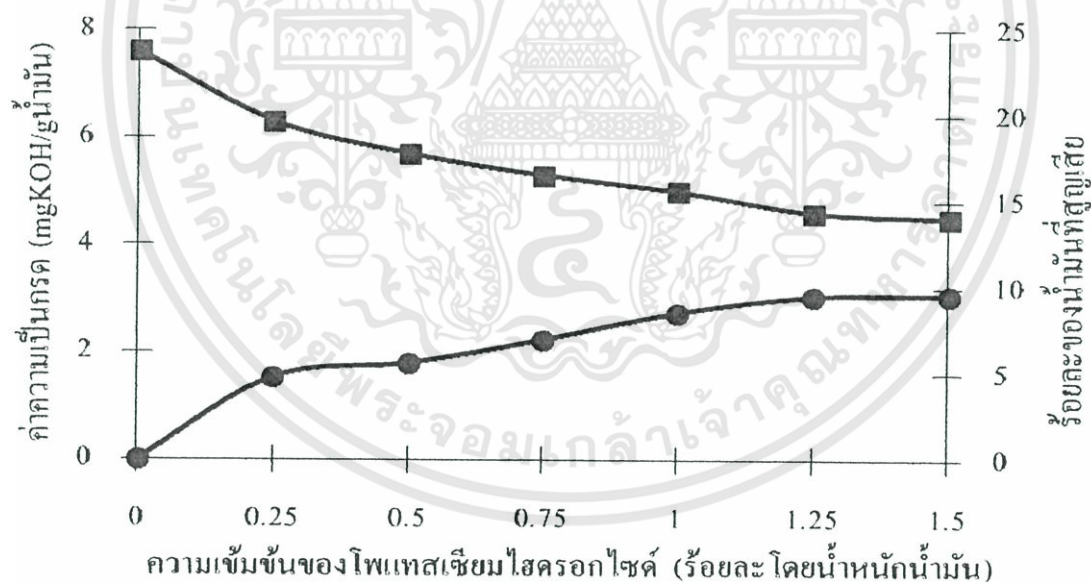
จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันทอดแคบหมูที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง  $0.058 \pm 0.005\%$  และมีค่าความเป็นกรด  $7.60 \pm 0.091$  มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมไขมัน ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยของทิพยาพรและคณะ (2556) ทั้งนี้ความชื้นที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดมาจากฝาที่ใช้ปิดถังเก็บตัวอย่างน้ำมัน ไม่สนิท ซึ่งความชื้นดังกล่าวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน (<http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning50/FT320/037.htm>) ทำให้ได้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนในน้ำมันตัวอย่างของการศึกษาค้างนี้กับการศึกษาของทิพยาพรและคณะ (2556) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการเก็บรักษานั้นไม่มีผลทำให้สมบัติของน้ำมันในค้างนี้เปลี่ยนแปลง

## 4.2 ผลของการปรับสภาพน้ำมันทอดแคบหมูด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

### 4.2.1 ผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

การลดกรดไขมันอิสระด้วยการทำให้เป็นกลางโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.25 , 0.5 , 0.75 , 1.0 , 1.25 และ 1.5 % โดยน้ำหนักน้ำมัน (จำนวน 2 ซ้ำ ) โดยให้ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที ตั้งไว้ให้เกิดสบู่ จากนั้นแยกสบู่ซึ่งน้ำหนักน้ำมันที่ผ่านการลดกรด วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด และนำไปผลิตไบโอดีเซล ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ KOH ต่อการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมู (รูปที่ 4.1) พบว่าน้ำมันมีค่าความเป็นกรดลดลงจาก 7.60 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม น้ำมัน (ก่อนการปรับสภาพ) เหลือ 6.27 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม น้ำมัน เมื่อใช้ KOH ในปริมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้พบว่าน้ำมันมีค่าความเป็นกรดลดลงเหลือ 5.72, 5.27, 4.99, 4.63 และ 4.51 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม น้ำมัน เมื่อเพิ่มปริมาณ KOH เป็น 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.25% และ 1.5%w/w ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมีค่าลดลงเนื่องจากเบสที่เติมลงไปนั้นจะไปทำปฏิกิริยาสะเทินกับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน ทำให้เกิดเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ (Kombe et al., 2011)



รูปที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g, ■) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w, ●) หลังทำการลดกรดไขมันอิสระด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

สำหรับปริมาณน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าการใช้ปริมาณ KOH เพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพ (pretreated oil) หรือน้ำมันคงเหลือน้อยลง ดังจะเห็นได้จากการใช้ KOH ในปริมาณ 0.25%w/w ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน (pretreatment loss) ไปร้อยละ 4.81 เมื่อ

เพิ่มปริมาณ KOH เป็นร้อยละ 0.5 , 0.75 , 1.0 , 1.25 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ร้อยละของการสูญเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เป็น 5.64% , 7.00% , 8.57% , 9.52% และ 9.60% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของวิชฌย์และคณะ (2549) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณ NaOH เข้มข้น 45 Baume จาก 4% เป็น 6, 8 และ 10% ช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบจาก 5.57% เป็น 3.9% แต่ทำให้เกิดการสูญเสียไขมันปาล์มดิบหลังลดกรดไขมันอิสระมากขึ้นจาก 6.6% เป็น 18.7% โดยน้ำมันที่สูญเสียไปเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (saponification) และการเกิดอิมัลชัน (emulsification) ของน้ำมัน (Bhosle and Subramanian, 2005 อ้างถึงใน Kombe et al., 2011) จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันออกไปพร้อมทั้งลดค่าความเป็นกรดในน้ำมันด้วย

เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพมาผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอ้างอิงสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาจากงานวิจัยของทิพภาพรและคณะ (2556) ซึ่งกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 9:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% w/w และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2

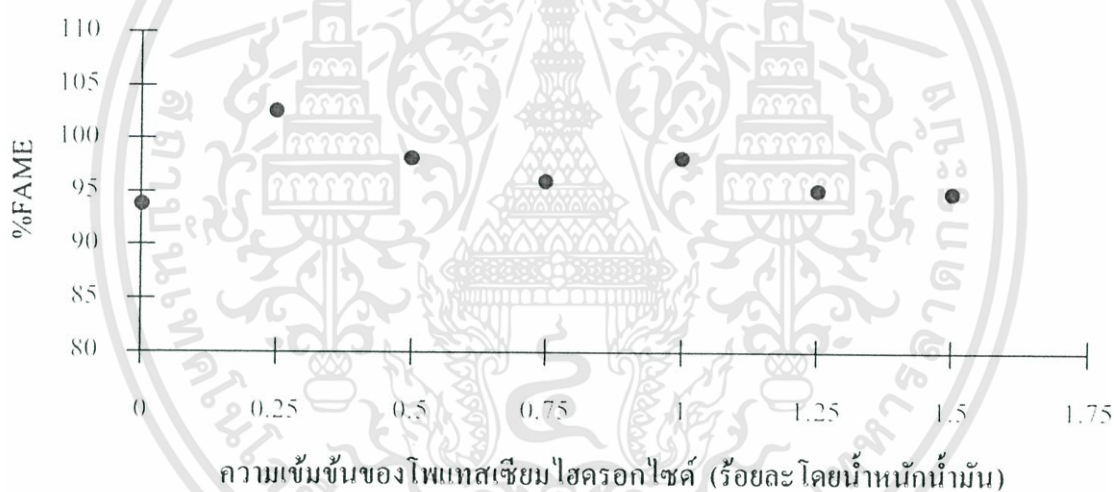


รูปที่ 4.2 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล (% Yield) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณต่างกัน

จากรูปที่ 4.2 พบว่าน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาใช้ผลิตไบโอดีเซล จะทำให้ได้ร้อยละของผลผลิต (% Yield) มากขึ้น โดยน้ำมันที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระด้วย KOH ปริมาณ 0.25% ให้ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 78.04 ในขณะที่น้ำมันที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับ KOH ในปริมาณ 0.5% 0.75% 1% 1.25% และ 1.5% จะสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ร้อยละ 79.86 , 81.86 , 82.75 , 84.05 และ 84.15 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของสุภกรและคณะ

(2553) ที่พบการเพิ่มขึ้นของร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลจาก 78.49% เป็น 93.37% เมื่อน้ำมันมีค่าความเป็นกรดลดลงจาก 13.07 เป็น 2.28 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน ทั้งนี้การใช้ KOH ในปริมาณมากขึ้น ทำให้น้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพมีกรดไขมันอิสระลดลง และเมื่อน้ำมันดังกล่าวมาผลิตไบโอดีเซล เกิดเป็นไบโอดีเซลได้มากขึ้น (Freedman et al., 1984 อ้างถึงใน Kombe et al., 2011)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) เพื่อหาค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (% methyl ester purity) ที่ผลิตได้จากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณแตกต่างกันพบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.3) โดยน้ำมันที่ปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณ 0.25 %, 0.5 %, 0.75 %, 1.0 %, 1.25 % และ 1.5 % โดยน้ำหนัก จะมีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อยู่ที่ 102.56 , 98.18 , 96.04 , 98.10 , 95.18 และ 94.94 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันตั้งต้นก่อนนำมาผลิตไบโอดีเซลไม่ได้มีผลต่อความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้



รูปที่ 4.3 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณต่างกัน

#### 4.2.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

การลดกรดไขมันอิสระด้วยการทำให้เป็นกลางโดยใช้ปริมาณ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.75 % โดยน้ำหนักน้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 , 30 และ 45 นาที (จำนวน 2 ซ้ำ ) ตั้งทิ้งไว้แล้วทำการแยกชั้นสบู่ทิ้ง นำน้ำมันที่เหลือไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด และนำไปผลิตไบโอดีเซล โดยผลการทดลองที่ได้อธิบายดังนี้



รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g , ■ ) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w , ● ) ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำมันด้วย KOH ในปริมาณ 0.75% โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่ได้ทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันที่ได้มีค่าแตกต่างกัน (รูปที่ 4.4) โดยน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าความเป็นกรดระหว่าง 5.26-5.72 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 15 - 45 นาที นอกจากนี้พบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระยะเวลา 15 นาที จะมีร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียอยู่ที่ร้อยละ 7.00 และเมื่อเปลี่ยนเป็น 30 นาที และ 45 นาทีแล้ว ร้อยละของน้ำมันที่สูญเสียจะอยู่ที่ 6.90 และ 5.49 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล (%yield) และความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (%FAME) ที่ได้จากการนำน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพมาผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ค่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า %yield และ % FAME ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.5-4.6) โดยร้อยละของผลผลิตมีค่าระหว่าง 79.5-80.9 และความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีค่าระหว่าง 95-96% เมื่อใช้เวลาในการทำ

ปฏิกิริยาสะเทินด้วยต่างนาน 15-45 นาที ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.5 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วย KOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน

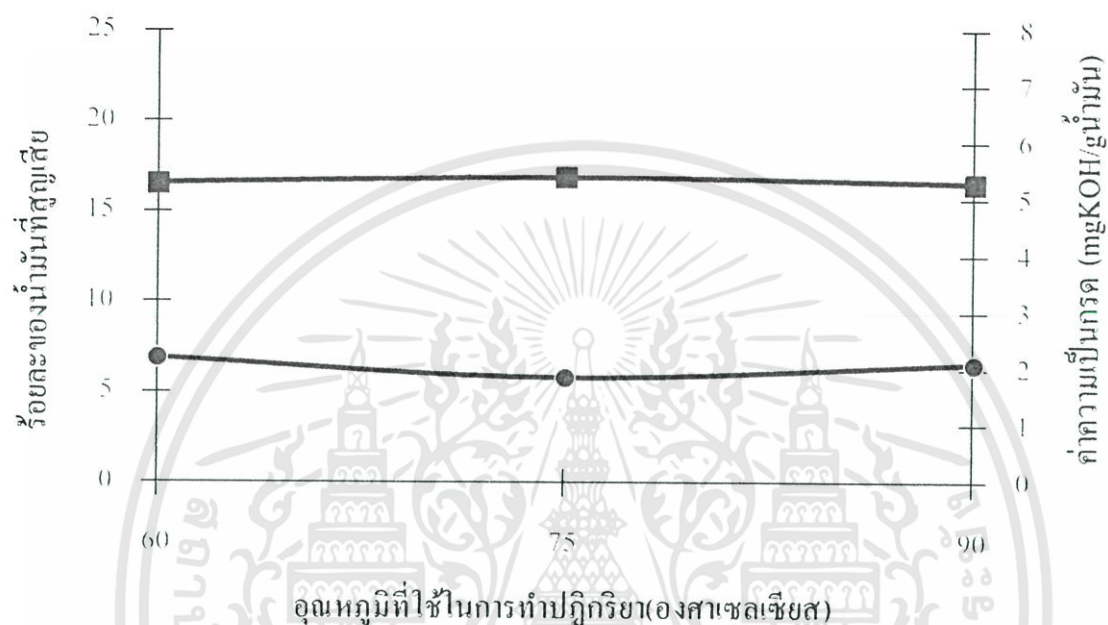


รูปที่ 4.6 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วย KOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

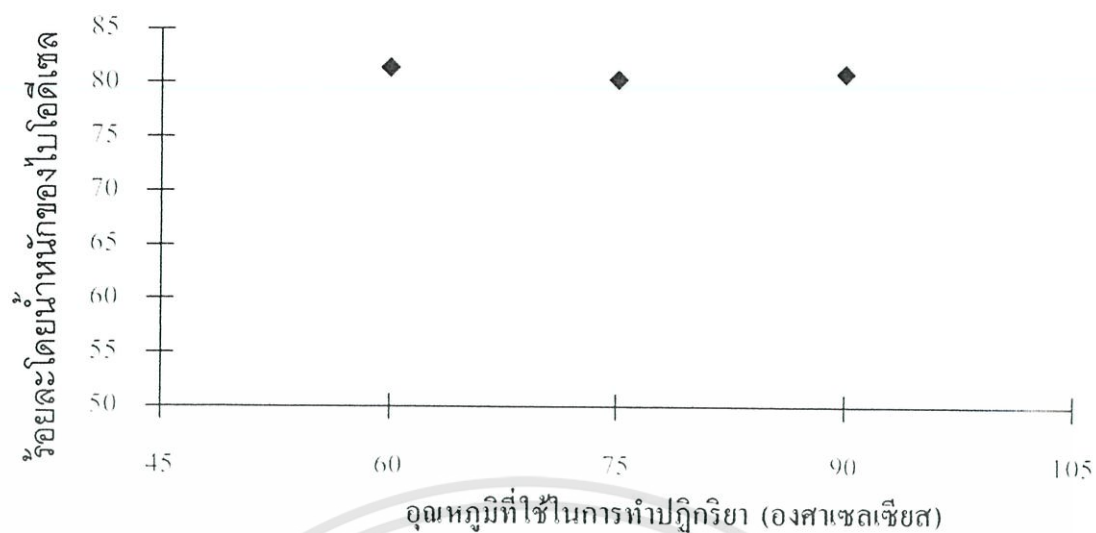
#### 4.2.3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

การลดกรดไขมันอิสระด้วยการทำให้เป็นกลางโดยใช้ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.75 % โดยน้ำหนักน้ำมัน ทำปฏิกิริยานาน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 60 , 75 และ 90 องศาเซลเซียส (จำนวน 2 ซ้ำ ) ตั้งทิ้งไว้แล้วทำการแยกชั้นสบู่ทิ้ง นำน้ำมันที่เหลือไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด และนำไปผลิตไบโอดีเซล โดยผลการทดลองที่ได้อธิบายดังรูปที่ 4.7-4.9

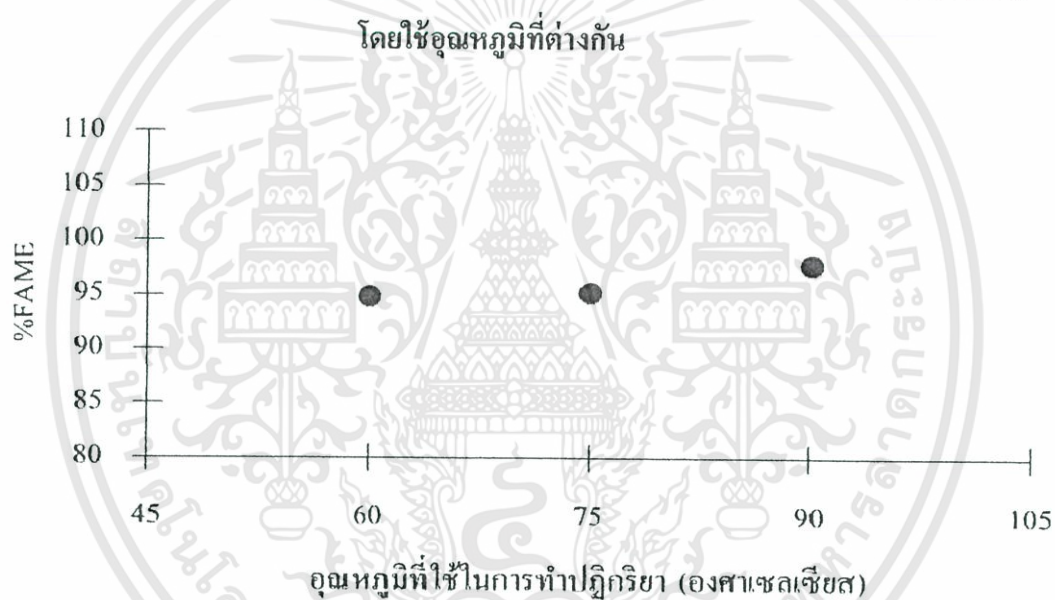


รูปที่ 4.7 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g, ■) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w, ●) ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่างกัน

จากรูปที่ 4.7 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนการปรับสภาพน้ำมันด้วย KOH ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันและร้อยละการสูญเสียของน้ำมัน น้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณ 0.75% นาน 15 นาที มีค่าความเป็นกรดระหว่าง 5.26-5.36 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมไขมัน และมีปริมาณการสูญเสียน้ำมันระหว่าง 5.8-6.9% เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 , 75 และ 90 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่าร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล (%yield) ที่ได้จากการนำน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิต่างกันมาผลิตไบโอดีเซลนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.8) โดยร้อยละของผลผลิตมีค่าประมาณ 81-82 ในขณะที่ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 94.9% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น 95.2% และ 97.8% ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.8 ร้อยละของผลผลิตไอโอดีเซดที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH 0.75%

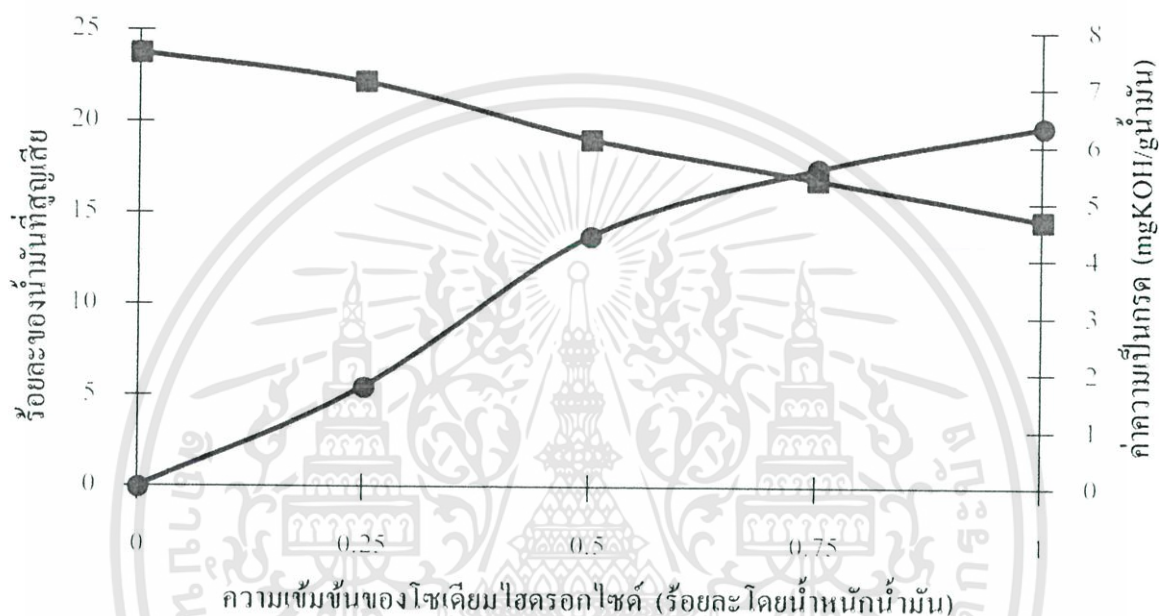


รูปที่ 4.9 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH 0.75% โดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน

### 4.3 ผลของการปรับสภาพน้ำมันทอดแคบหมูด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### 4.3.1 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยา

การลดกรดไขมันอิสระด้วยการทำให้เป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน (จำนวน 2 ชั่วโมง) โดยให้ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้แล้วทำการแยกชั้นสบู่ทิ้ง นำน้ำมันที่เหลือไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด และนำไปผลิตไบโอดีเซล โดยผลการทดลองที่ได้อธิบายดังนี้

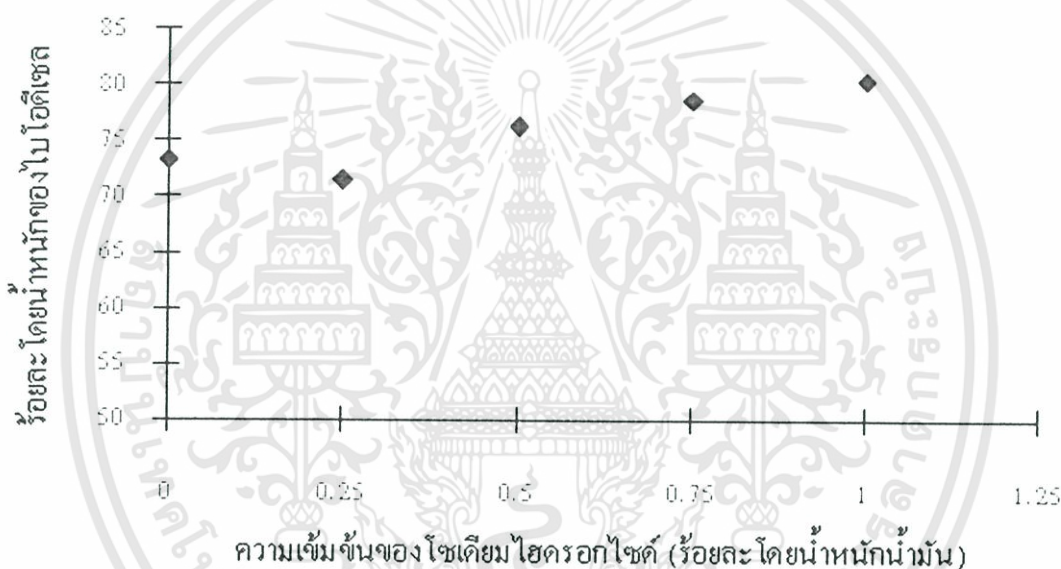


รูปที่ 4.10 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g, ■) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w, ●) หลังทำการลดกรดไขมันอิสระด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ NaOH ต่อการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดแคบหมู (รูปที่ 4.10) พบว่าน้ำมันมีค่าความเป็นกรดลดลงจาก 7.60 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม น้ำมัน (ก่อนการปรับสภาพ) เหลือ 7.07 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม น้ำมัน เมื่อใช้ KOH ในปริมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้พบว่าน้ำมันมีค่าความเป็นกรดลดลงเหลือ 6.07, 5.36 และ 4.72 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม น้ำมัน เมื่อเพิ่มปริมาณ NaOH เป็น 0.5%, 0.75% และ 1.0% ตามลำดับ ซึ่งเหตุผลการลดลงของกรดไขมันอิสระเป็นไปในทำนองเดียวกับที่อธิบายไว้ในผลการใช้ KOH เป็นตัวสะเทิน นอกจากนี้พบว่าน้ำมันที่เหลือหลังจากการปรับสภาพจะมีการสูญเสียออกไปเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 % โดยน้ำหนัก จะสูญเสียน้ำมันไปร้อยละ 5.49 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ซึ่งที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5, 0.75 และ 1.0% จะมีร้อยละของน้ำมันที่สูญเสีย 13.76, 17.46, และ 19.81 ตามลำดับ โดยเมื่อ

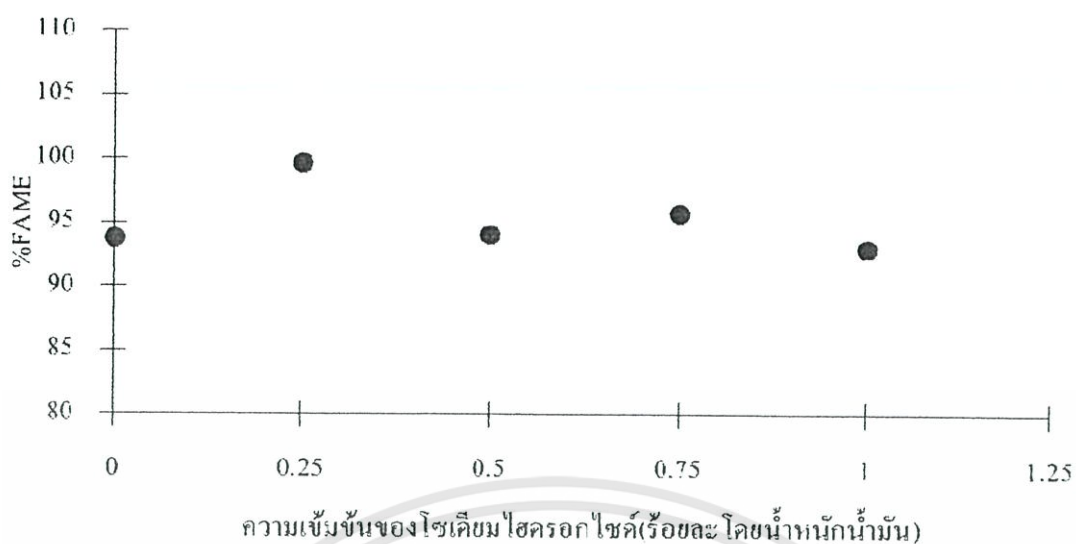
นำไปเปรียบเทียบกับ โพลีเอสเตอร์ไฮดรอกไซด์แล้วจะพบว่า ที่ความเข้มข้นของเบสทั้งสองชนิดเท่ากัน จะเห็นได้ว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์จะสามารถลดค่าความเป็นกรดได้ดีกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่จุดอ่อนของโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ ร้อยละการสูญเสียน้ำมันมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารปรับสภาพ

เมื่อพิจารณาร้อยละของผลผลิต (% Yield) ที่ผลิตได้จากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในปริมาณแตกต่างกัน พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มในการทำนองเดียวกับที่พบเมื่อใช้ KOH เป็นสารปรับสภาพ กล่าวคือร้อยละของผลผลิต (% Yield) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 73.3 % เมื่อใช้ NaOH ปริมาณ 0.25% ในการปรับสภาพ เป็น 76.3% , 78.8% และ 80.5% เมื่อใช้ NaOH ปริมาณ 0.5% 0.75% และ 1% (รูปที่ 4.11) อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละของผลผลิตที่ได้จากน้ำมันที่ปรับสภาพด้วย NaOH มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากน้ำมันที่ปรับสภาพด้วย KOH ในปริมาณเท่ากัน



รูปที่ 4.11 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล (%Yield) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในปริมาณต่างกัน

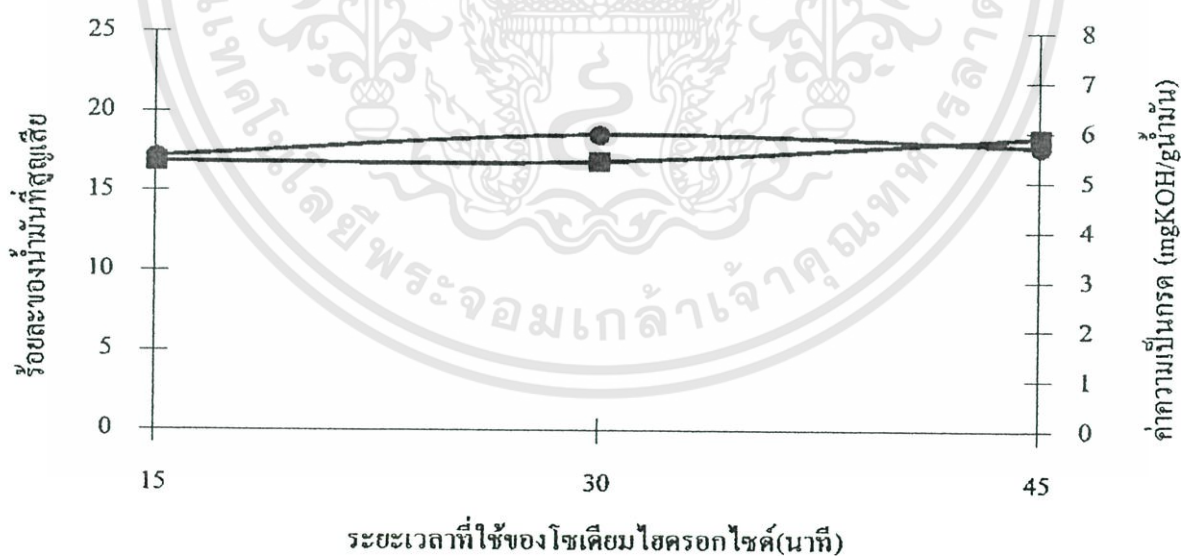
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (รูปที่ 4.12) พบว่า ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก และมีค่าใกล้เคียงกับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ไม่ได้ลดกรดไขมันอิสระ ซึ่งมีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ 93.83 สำหรับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25%, 0.5% , 0.75 % และ 1.0 % โดยน้ำหนัก จะมีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อยู่ที่ 99.70, 94.13, 95.74 และ 93.03 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในปริมาณต่างกัน

#### 4.3.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

การลดกรดไขมันอิสระด้วยการทำให้เป็นกลางโดยใช้ปริมาณ NaOH 0.75 % โดยน้ำหนักน้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที (จำนวน 2 ซ้ำ) ตั้งทิ้งไว้แล้วทำการแยกชั้นสบู่ทิ้ง นำน้ำมันที่เหลือไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด และนำไปผลิตไบโอดีเซล โดยผลการทดลองที่ได้อธิบายดังนี้



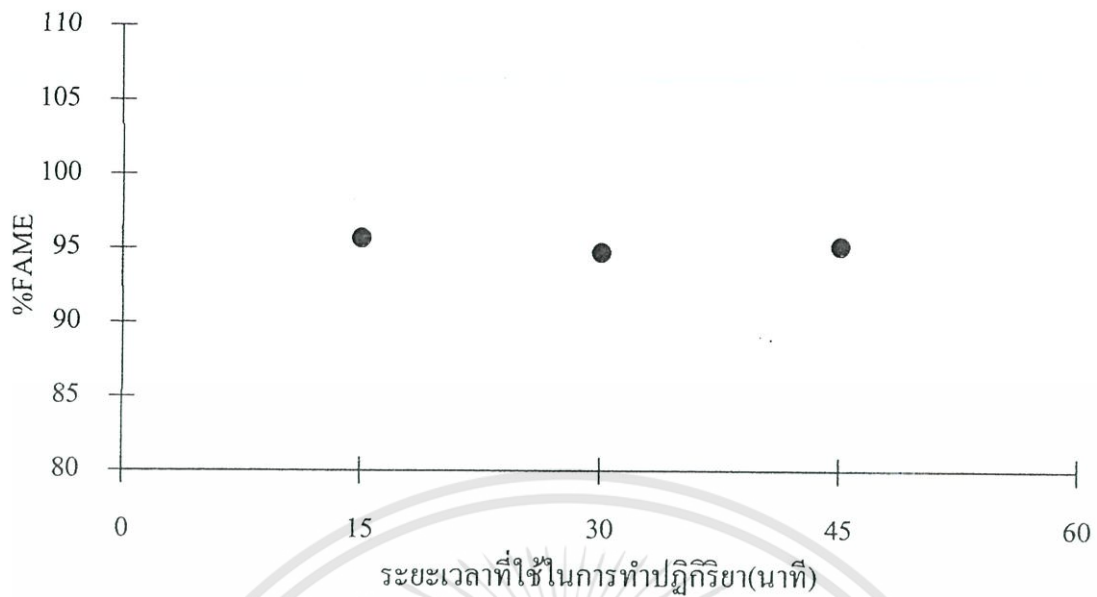
รูปที่ 4.13 ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g, ■) และปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย (%w/w, ●) ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วย NaOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำมันด้วย KOH ในปริมาณ 0.75% โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่ได้ทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันที่ได้

มีค่าแตกต่างกัน (รูปที่ 4.13) โดยน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าความเป็นกรดระหว่าง 5.35-5.91 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมไขมัน เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 15 - 45 นาที นอกจากนี้พบว่าปริมาณการสูญเสียไขมันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระยะเวลา 15 นาที จะมีร้อยละของไขมันที่สูญเสียอยู่ที่ร้อยละ 17.18 และเมื่อเปลี่ยนเป็น 30 นาที และ 45 นาทีแล้ว ร้อยละของไขมันที่สูญเสียจะอยู่ที่ 18.58 และ 17.83 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล (%yield) และความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (%FAME) ที่ได้จากการนำน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่เวลาต่างๆ มาผลิตไบโอดีเซล พบว่า %yield มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจาก 80.92 เป็นร้อยละ 78.78 และ 75.80 เมื่อใช้เวลาในการปรับสภาพน้ำมันนานขึ้นจาก 15 นาที เป็น 30 และ 45 นาที ตามลำดับ (รูปที่ 4.14) ในขณะที่ % FAME ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.14 ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน



รูปที่ 4.15 ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ที่ผลิตจากน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่เหลือจากการทอดแคบหมู โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งศึกษาปริมาณของไบโอดีเซล และปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ โดยจากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. น้ำมันทอดแคบหมู มีความชื้นอยู่ร้อยละ  $0.058 \pm 0.005$  มีค่าความเป็นกรด  $7.60 \pm 0.091$  mgKOH/g และค่าไอโอดีนอยู่ที่  $65.42 \pm 7.51$  กรัม ไอโอดีน/ 100 กรัมไบโอดีเซล

2. ค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลกระทบต่อค่าความเป็นกรดของน้ำมัน โดยค่าความเป็นกรดจะมีแนวโน้มลดลง แต่สำหรับค่าร้อยละของน้ำมันที่สูญเสีย จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของด่างเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบที่ค่าความเป็นกรดเท่ากันแล้ว โซเดียมไฮดรอกไซด์จะสามารถลดค่าความเป็นกรดได้ดีกว่า แต่จะสูญเสียน้ำมันมากกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยสามารถลดกรดไขมันอิสระได้จาก 7.60 mgKOH/g น้ำมันเหลือ 4.54 mgKOH/g น้ำมัน สำหรับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1.5% และลดได้เหลือ 4.72 mgKOH/g น้ำมัน สำหรับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0%

3. เมื่อเพิ่มปริมาณของด่างที่ใช้ ร้อยละของน้ำมันที่สามารถผลิตได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะมีค่าความเป็นกรดลดลง แต่ค่าความบริสุทธิ์จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของด่างที่ใช้

4. ระยะเวลาและอุณหภูมิ จะไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดในน้ำมัน และปริมาณของน้ำมันที่สูญเสีย โดยเมื่อนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลแล้ว ปริมาณไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน รวมไปถึงค่าความบริสุทธิ์ของน้ำมันด้วย

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการใช้เทคนิคการลดกรดไขมันอิสระแบบอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบหาวิธีที่ดีที่สุดในการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน

2. ควรมีการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลดกรดไขมันอิสระ เพื่อนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล และเปรียบเทียบผลกับการไม่ลดกรดไขมันอิสระ

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. 2553. มติคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ครั้งที่ 3/2553 วันพฤหัสบดีที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2553 ณ ห้องประชุมบลูรอด - นิธิพัฒน์ ชั้น 11 อาคาร 7 กระทรวงพลังงาน
- กระทรวงพลังงาน. 2553. มติคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ครั้งที่ 31/2555 วันศุกร์ที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2555 ณ ห้องประชุม 2 ชั้น 15 ศูนย์เอนเนอร์ยี คอมเพล็กซ์ (ENCO) อาคาร บี
- กระทรวงพลังงาน. 2554. มติคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ครั้งที่ 26/2554 เมื่อวันจันทร์ที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2554 ณ ห้องประชุม 2 ชั้น 15 ศูนย์เอนเนอร์ยี คอมเพล็กซ์ (ENCO) อาคารบี
- ชาคริต ทองอุไร. 2554. การปรับปรุงสภาพน้ำมันก่อนเข้าทำปฏิกิริยา (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/21429> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2557.
- ชาคริต ทองอุไร. 2554. การลดกรดด้วยกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/21853> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2557.
- ทิพดาพร พิมทอง, สุชาดา ประจง, อารีรัตน์ ภาณุมาศ. 2556. การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแคบหมู โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2556
- ธีรยุทธ์ ธรรมวิจิตร. 2551. การหาสถานะที่เหมาะสมทางสถิติสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสดโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี พ.ศ. 2551.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน, วัชร ศรีรักษา, เกริกชัย ธนรัชย์, วราวุธ ชูธรรมธัช. 2549. การศึกษาวิธีกำจัดยางเหนียวและลดกรดไขมันอิสระ (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.doa.go.th/palm/pdf/performance1/research/degumming.pdf> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม 2556.
- ศูนย์วิจัยน้ำมันปาล์มกระบี่. ม.ป.ป. การศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์หองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันสืบค้นจาก <http://www.doa.go.th/palm/performance1.html> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 29 มกราคม 2557

- สุภกร บุญยี่น, สมลักษณ์ เรื่องสุทธรินฤภาพ, จิรดา สิงขรรัตน์, และนภัทร ทวีกาญจน์. 2553. อิทธิพลของกรดไขมันอิสระ ต่อการผลิตไบโอดีเซล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 18(2): 37-41.
- อภิเทพ สว่างศรีเครือ, ณัฐวุฒิ ศศิธร, วิทยา ปั่นสุวรรณ, ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์. ม.ป.ป. การศึกษาทดลองปรับสภาพเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระและความหนืดสำหรับเชื้อเพลิงผสมสบู่ดำ-น้ำมันเบนซิน สืบค้นจาก <http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4611026.pdf> สืบค้นข้อมูลวันที่ 27 ธันวาคม 2556.
- Demirbas.A. 2009. Political, Economic And Environmental Impacts Of Biofuels. *Applied Energy*, 86 : 108-117.
- Anya, A.U., Chioma, N. N. & Obinna, O. 2012. Optimized Reduction of Free Fatty Acid Content on Neem Seed Oil for Biodiesel Production. *Journal of Basic and Applied Chemistry*, 2 : 21-28.
- Darnoko, D. and Cheryan, M., 2000. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor. University of Illinois, Department of Food Science and Human Nutrition. Year 2000.
- Dias, M., Junqueira, T., Cavalett, O., Cunha, M.P., Jesus, C., Rossell, C., Filho, R., Bonomi, A., 2012. Integrated Versus Stand-Alone Second Generation Ethanol Production From Sugarcane Bagasse And Trash. *Bioresource Technology*, 103 : 152-161.
- Escobar, J.C., Lora, E.S., Venturini, O.J., Yanez, E.E., Castillo, E.F., Almazan, O. 2009. Biofuel: Environment, Technology And Food Security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 : 1275-1287.
- Jadhav et al. (1996). อ้างถึงใน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน. ม.ป.ป.(ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning50/FT320/037.htm> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 12 มกราคม 2557.
- Kombe, G.G., Temu, A.K., Rajabu, H.M., Mrema, G.D., 2011 High Free Fatty Acid (FFA) Feedstock Pre-Treatment Method for Biodiesel Production. *Second International Conference on Advances in Engineering and Technology*.
- Miher, L.C., Sagar, D.V., Naik S.N., 2006. Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification. *Renewable and Sustainable Energy*, 10 : 248-268
- Ramadhass, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C. 2005. Biodiesel Production From High FFA Rubber Seed Oil. *Fuel*, 84 : 335-340.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rashis, U., Anwar, F., Jamil, A., Bhatti, A.N., 2008. **Jatropha Curcas Seed Oil as a Viable Source for Biodiesel.** *Pakistan Journal of Botany*, 42 : 575-582

Small Scale Biodiesel Production. n.d. **Waste Management and Research Center** (ออนไลน์).  
สืบค้นจาก <http://www.wmrc.uiuc.edu/tech/small-scale-biodiesel.pdf> สืบค้นข้อมูลเมื่อ  
วันที่ 12 มกราคม 2557 .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์สมบัติบางประการของไบโอดีเซล

#### 1. การหาความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

1. ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) 10 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร 500 ml แล้วทำการปรับปริมาตร
2. บีบเปิดมา 10 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ 2 ขวด
3. เติมฟีนอล์ฟทาลินอินดิเคเตอร์จำนวน 3 หยด
4. ไทเทรตด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หาคะมูลที่แน่นอน

ครั้งที่	ปริมาตร KOH ที่ใช้
1	11.90
2	12.00
เฉลี่ย	11.95

การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP)

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{\text{G/MW}}{204.223} &= \frac{\text{MV}/1000}{\frac{M \times 500}{1000}} \end{aligned}$$

$$\text{ได้ } = 0.9793 \text{ โมล/ลิตร}$$

การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

จาก 1 Mol KOH จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 Mol KHP

$$M_{\text{Koh}} \times V_{\text{Koh}} = M_{\text{Khp}} \times V_{\text{Khp}}$$

$$M_{\text{Koh}} \times 11.95 = 0.9793 \times 10$$

$$\text{จะได้ } 0.081 \text{ โมล / ลิตร}$$

2. การหาค่าความเป็นกรดของน้ำมันตัวอย่าง อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตามกรมพัฒนาพลังงาน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2553) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

ชั่งน้ำมัน 5 กรัม เติมสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ปริมาณ 2 มิลลิลิตร นามาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว

ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน	ปริมาตรที่ใช้	ค่าความเป็นกรด
1	5.110	8.40	7.47
2	5.055	8.60	7.73
3	5.080	8.50	7.60

การหาค่าความเป็นกรด สามารถคำนวณได้จากสมการ ก.1

$$A.V. = \frac{56.1 \times N \times V}{m} \quad (ก.1)$$

โดย A.V. คือค่าความเป็นกรด (mg koh/ g น้ำมัน )

N คือค่าความเข้มข้นของ KOH ( นอร์มอล , N )

m คือค่าน้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง

V คือค่าปริมาตร KOH ที่ใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} A.V. &= \frac{56.1 \times 0.081 \times 8.50}{5.080} \\ &= 7.60 \text{ mgKOH/g น้ำมัน} \end{aligned}$$



$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(b-a) \times N \times 126.9 \times 100}{1000 \times \text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้}} \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ

1 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์  
ทำปฏิกิริยาพอดีกับไอโอดีน 0.01269 โมลาร์

$N$  = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 นอร์

มอล

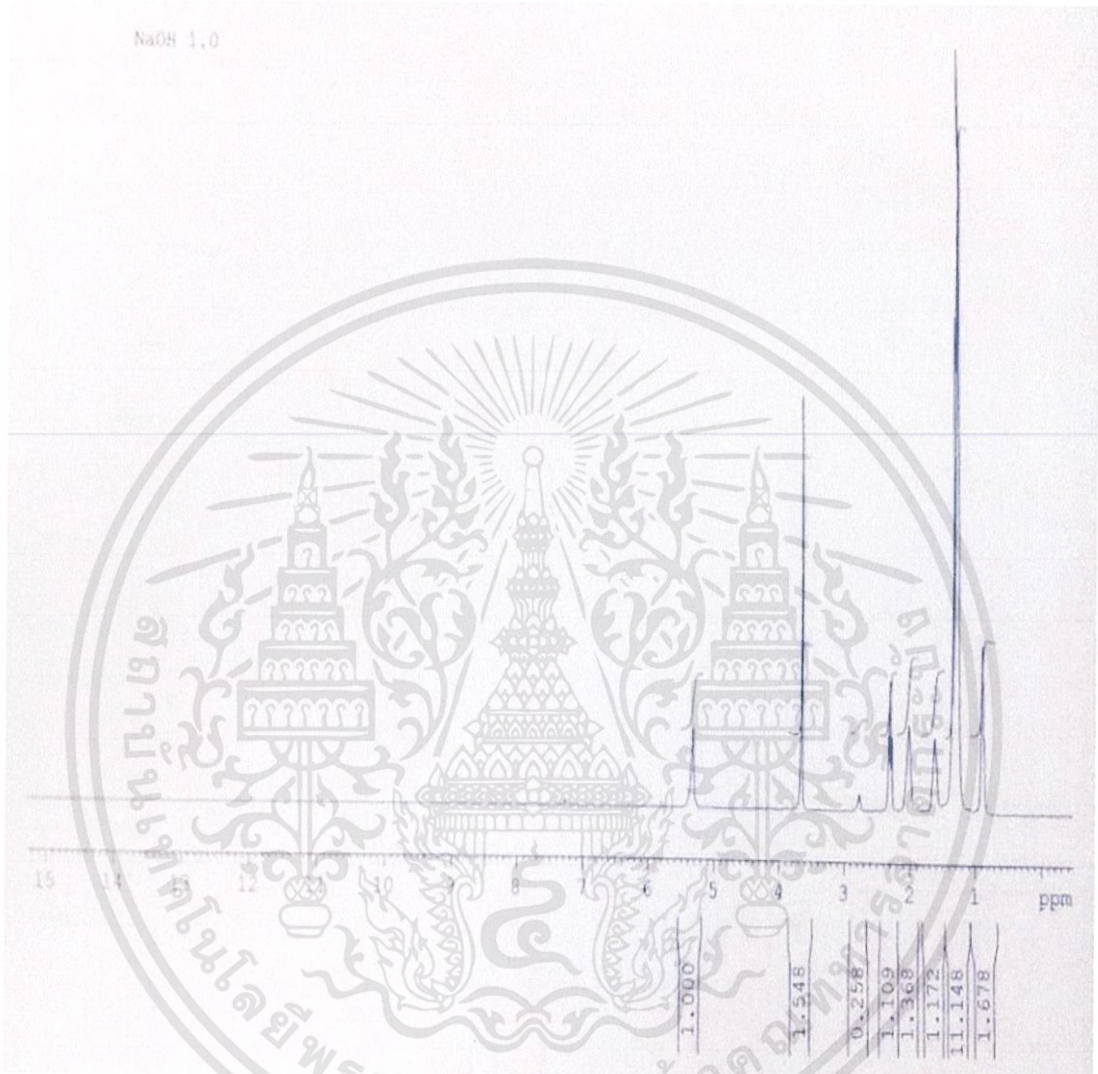
$b$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน ที่ใช้ไทเทรตแบลงก์ (mL)

$a$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน ที่ใช้ไทเทรตน้ำมัน (mL)



## ภาคผนวก ข

### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์



รูปที่ ข - 1 ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข - 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสีย ของน้ำมันที่ใช้ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณต่างๆกัน

ปริมาณ KOH (% w/w)	น้ำหนักน้ำมัน เริ่มต้น (g)	น้ำหนักน้ำมัน สุดท้าย (g)	%น้ำมัน ที่สูญเสีย	น้ำหนักน้ำมัน ที่ใช้ไทเทรต (g)	ปริมาณ KOH ที่ ใช้ (ml)	ค่าความเป็น กรด (mgKOH/g)
0.25	150.210	142.996	4.81	5.003	6.90	6.27
0.5	150.052	141.592	5.64	5.007	6.30	5.72
0.75	150.181	139.680	7.00	5.003	5.80	5.27
1.0	150.173	137.319	8.57	5.002	5.50	4.99
1.25	150.251	135.970	9.52	5.000	5.10	4.63
1.5	150.092	135.691	9.60	5.004	5.00	4.54

ตารางที่ ข - 2 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละ เมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของปริมาณ โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการลดกรดไขมันอิสระ

ปริมาณของโพแทสเซียมไฮ- ดรอกไซด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	น้ำหนัก น้ำมันปรับ สภาพ (g)	น้ำหนัก ไบโ อดีเซล	%yield	-OCH <sub>3</sub>	α-CH <sub>2</sub>	%FAME
0.25	100.052	78.080	78.04	1.940	1.261	102.56
0.5	100.122	79.957	79.86	1.723	1.170	98.18
0.75	100.027	81.882	81.86	2.066	1.434	96.04
1.0	100.051	82.792	82.75	1.824	1.240	98.10
1.25	100.082	84.118	84.05	2.073	1.452	95.18
1.5	100.017	84.164	84.15	2.001	1.405	94.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข - 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสีย ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.75% w/w เมื่อใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างกัน

ระยะเวลา (นาท)	น้ำหนักน้ำมัน เริ่มต้น (g)	น้ำหนักน้ำมัน สุดท้าย (g)	%น้ำมันที่สูญเสีย	น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ไตรเทอร์ต (g)	ปริมาณ KOH ที่ใช้ (ml)	ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)
15	150.034	139.504	7.02	5.009	5.80	5.26
30	150.124	139.789	6.89	5.014	5.90	5.35
45	150.078	141.783	5.53	5.000	6.30	5.72

ตารางที่ ข - 4 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (นาท)	น้ำหนักน้ำมันปรับสภาพ(g)	น้ำหนักไบโอดีเซล	%yield	-OCH <sub>3</sub>	α-CH <sub>2</sub>	%FAME
15	100.035	80.948	80.92	2.066	1.434	96.04
30	100.125	80.260	80.16	1.728	1.210	95.21
45	100.040	79.518	79.48	2.060	1.423	96.74

ตารางที่ ข - 5 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสีย ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.75% w/w เมื่อใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างกัน

อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักน้ำมัน เริ่มต้น (g)	น้ำหนักน้ำมัน สุดท้าย (g)	%น้ำมันที่สูญเสีย	น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ไตรเทอร์ต (g)	ปริมาณ KOH ที่ใช้ (ml)	ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)
60	150.114	139.734	6.92	5.012	5.80	5.26
75	150.016	141.256	5.84	5.001	5.90	5.36
90	150.052	140.212	6.56	5.015	5.80	5.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข - 6 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละ เมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาของ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยาของโพลีเอทิลีนไฮ- ดรอกไซด์ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนัก น้ำมันปรับ สภาพ (g)	น้ำหนัก ไบโอ ดีเซล	%yield	-OCH <sub>3</sub>	α-CH <sub>2</sub>	%FAME
60	100.021	81.477	81.46	2.066	1.434	96.04
75	100.017	80.414	80.40	1.728	1.210	95.21
90	100.028	80.963	80.94	2.060	1.423	96.74

ตารางที่ ข - 7 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสีย ของน้ำมันที่ใช้ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณต่างๆกัน

ปริมาณ KOH (% w/w)	น้ำหนัก น้ำมัน เริ่มต้น (g)	น้ำหนัก น้ำมัน สุดท้าย (g)	%น้ำมัน ที่สูญเสีย	น้ำหนักน้ำมัน ที่ใช้ไทรเทอร์ด (g)	ปริมาณ KOHที่ ใช้ (ml)	ค่าความเป็น กรด (mgKOH/g)
0.25	150.107	141.827	5.52	5.008	7.80	7.07
0.5	150.074	129.359	13.81	5.011	6.70	6.07
0.75	150.041	123.776	17.51	5.005	5.90	5.36
1.0	150.088	120.358	19.82	5.007	5.20	4.72

ตารางที่ ข - 8 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละ เมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการลดกรดไขมันอิสระ

ปริมาณของโพลีเอทิลีนไฮ- ดรอกไซด์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	น้ำหนัก น้ำมันปรับ สภาพ (g)	น้ำหนัก ไบโอ ดีเซล	%yield	-OCH <sub>3</sub>	α-CH <sub>2</sub>	%FAME
0.25	100.105	71.535	71.46	1.702	1.138	99.70
0.5	100.030	76.303	76.28	1.875	1.328	94.126
0.75	100.015	78.762	78.75	1.663	1.158	95.73
1.0	100.050	80.520	80.48	1.548	1.109	93.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข - 9 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สูญเสีย ของน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.75% w/w เมื่อใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยาต่างกัน

ระยะเวลา (นาท)	น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น (g)	น้ำหนักน้ำมันสุดท้าย (g)	%น้ำมันที่สูญเสีย	น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ไทรเทรต (g)	ปริมาณ KOH ที่ใช้ (ml)	ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)
15	150.082	124.312	17.18	5.003	5.90	5.35
30	150.066	122.196	18.58	5.007	5.90	5.35
45	150.025	123.250	17.85	5.005	6.50	5.91

ตารางที่ ข - 10 น้ำหนักของไบโอดีเซล และพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค H-NMR : ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (นาท)	น้ำหนักน้ำมันปรับสภาพ (g)	น้ำหนักไบโอดีเซล	%yield	-OCH <sub>3</sub>	α-CH <sub>2</sub>	%FAME
15	100.021	80.937	80.92	1.663	1.153	95.73
30	100.054	78.823	78.78	1.393	0.983	94.77
45	100.038	75.829	75.80	1.829	1.284	95.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้