

การใช้น้ำทะเลเข้มข้นทดแทนน้ำในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

นางสาวสุมิตรา นามประดิษฐ์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

USING CONCENTRATED SEAWATER IN PLACE OF WATER IN BIODIESEL
PURIFICATION PROCESS

Miss Sumittra Nampradidkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้น้ำทะเลเข้มข้นทดแทนน้ำในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์
โดย	นางสาวสุมิตรา นามประดิษฐ์กุล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ ไชยิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สุชาดา นุตรนาค)

สมิตรา นามประดิษฐ์กุล: การใช้น้ำทะเลเข้มข้นทดแทนน้ำในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์. (USING CONCENTRATED SEAWATER IN PLACE OF WATER IN BIODIESEL PURIFICATION PROCESS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.สมใจ เพ็งปรีชา, 104 หน้า.

การศึกษาในครั้งนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยการใช้น้ำทะเลเข้มข้นแทนน้ำในกระบวนการล้างไบโอดีเซล เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล ในการทดลองสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอล ในอัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที หลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุด แยกกลีเซอรอลออกและนำไบโอดีเซลมาล้างด้วยน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30, 60, 90, และ 120 ส่วนในพันส่วน (‰) ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล คือการใช้อัตราส่วนระหว่างไบโอดีเซลและน้ำทะเลความเค็ม 120‰ เท่ากับ 1:1 ทำการล้าง 1 ครั้ง ระยะเวลาเขย่า 30 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลลดลงจาก 5500 ppm เหลือ 30 ppm โดยกระบวนการนี้ทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลใกล้เคียงกับการล้างด้วยน้ำ และทำให้ค่าความเป็นกรด ปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกรีเซอรอลทั้งหมด อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้กระบวนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลสามารถป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำทะเลหลังจากการล้างไบโอดีเซล และลดปริมาณการใช้น้ำและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2554.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5287299320 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : BIODIESEL / GLYCEROL / PURIFICATION / SEAWATER

SUMITTRA NAMPRADIDKUL : USING CONCENTRATED SEAWATER IN PLACE OF WATER IN BIODIESEL PURIFICATION PROCESS.

ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D., 104 pp.

This research has been performed in order to determine the optimum condition of biodiesel purification by using concentrated seawater in place of water to reduce water-used and wastewater from purification process. In this study, the biodiesel was produced by transesterification of refined palm oil with methanol at 1:6 molar ratio of oil to methanol, 1% wt of sodium hydroxide and reaction temperature of 65°C for 90 minutes. After glycerol layer was separated, the glycerol content in biodiesel was removed by wash with concentrated seawater. The seawaters of 30, 60, 90 and 120 part per thousands (‰) in salinity were studied. The result shown that the optimum condition to purify biodiesel were 1:1 volume ratio of biodiesel to concentrated seawater of 120‰, one time of washing, 30 seconds of shaking time at room temperature, the glycerol content in biodiesel could be reduced from 5500 ppm to 30 ppm. This process gave the quality of biodiesel product were similar to water washing. The value of acid number, free and total glycerol were fit with the standard specification value. Moreover, this process could prevent the formation of emulsion, reduced water-used and wastewater from biodiesel purification process.

Field of Study : Environmental Science..... Student's Signature

Academic Year : 2011..... Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำในการวิจัย ให้กำลังใจ ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นเพื่อปรับปรุงการทำวิจัยให้สมบูรณ์ รวมถึงการตรวจแก้รายงานวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ และดร.สุชาดา บุตรนาค กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทบวงมหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ ทุนเสนอผลงานวิจัยและทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำทะเลมาใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ นางสาวนิสากรณ์ แสงประทุม ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในระหว่างการทำวิจัย และขอขอบคุณ นางสาวจันทร์লেখา ภูทองคำ นางสาวอามีนีย์ บริบูรณ์สุข เพื่อนร่วมวิจัยในหัวข้อไบโอดีเซล สำหรับมิตรภาพ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และร่วมแก้ปัญหาตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำเอกสารต่างๆ และคอยดูแลในการใช้ห้องปฏิบัติการ รวมถึงให้คำแนะนำตลอดการทำวิจัย ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนกระทั่งทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา ให้ความเข้าใจและเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สถานการณ์พลังงานทดแทน.....	4
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล.....	5
2.2.1 คำจำกัดความ.....	5
2.2.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล.....	5
2.2.3 คุณสมบัติและมาตรฐานของไบโอดีเซล.....	8
2.2.4 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	13
2.3 ปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืช.....	14
2.3.1 กลไกการเกิดปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	15
2.3.2 ชนิดของตัวเร่งปฏิริยา.....	16
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิริยา.....	18
2.3.4 กระบวนการทำให้บริสุทธิ์.....	23

บทที่	หน้า
2.4 อิมัลชันของน้ำและน้ำมัน.....	29
2.4.1 ลักษณะของอิมัลชัน.....	29
2.4.2 อิมัลซิฟายเออร์.....	29
2.4.3 สบู.....	30
2.5 น้ำทะเล.....	31
2.5.1 องค์ประกอบของธาตุและสารประกอบในน้ำทะเล.....	32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์.....	37
3.1.1 วัสดุดิบ.....	37
3.1.2 สารเคมี.....	37
3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์.....	38
3.2 ตัวอย่างน้ำทะเลที่ใช้ในการทำวิจัย.....	38
3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.3.1 การเตรียมน้ำทะเล.....	38
3.3.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	39
3.3.3 การศึกษาปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้.....	39
3.3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดย การใช้น้ำทะเล.....	39
3.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้น้ำทะเลล้างซ้ำ.....	41
3.3.6 การวิเคราะห์ไบโอดีเซล.....	41
3.3.7 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการล้างไบโอดีเซล.....	43
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	44
4.1 ผลของการศึกษาปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้.....	44
4.2 ผลของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยการใช้น้ำทะเล.....	46
4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการล้าง.....	46

บทที่	หน้า
4.2.2 ผลของระยะเวลาการแช่ยา.....	47
4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลและน้ำทะเล.....	48
4.2.4 ผลของเมทานอลในไบโอดีเซล.....	49
4.3 ประสิทธิภาพของการใช้น้ำทะเลล้างซ้ำ.....	51
4.4 ผลของการวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด และ ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล.....	52
4.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการล้างไบโอดีเซล.....	54
4.5.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำล้างไบโอดีเซล.....	54
4.5.2 คุณภาพน้ำล้างไบโอดีเซล.....	55
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	59
5.1.1 การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำทะเล.....	59
5.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพไบโอดีเซล.....	60
5.1.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการล้าง.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	60
รายการอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก.....	71
ภาคผนวก ข.....	72
ภาคผนวก ค.....	83
ภาคผนวก ง.....	92
ภาคผนวก จ.....	97
ภาคผนวก ฉ.....	100
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่างๆ.....	7
2.2	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล.....	10
2.3	ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550.....	11
2.4	การเปรียบเทียบชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล.....	17
2.5	การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	26
2.6	ธาตุกลุ่มที่มีปริมาณมากในน้ำทะเล.....	33
2.7	ธาตุกลุ่มที่มีปริมาณน้อยในน้ำทะเล.....	34
3.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการล้าง ไบโอดีเซล.....	43
4.1	เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่มีและไม่มีเมทานอล เมื่อนำมา ล้างด้วยน้ำทะเล และเปรียบเทียบผลกับการล้างด้วยน้ำ.....	49
4.2	ปริมาณกลีเซอรอลอิสระ กลีเซอรอลทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) และค่า ความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียม/กรัม) ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลที่ ความเค็มต่างๆ เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำ.....	53
4.3	ลักษณะน้ำล้างไบโอดีเซลและน้ำทะเลก่อนและหลังการล้างไบโอดีเซล.....	56
ข1	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างๆ.....	74
ข2	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มที่ อุณหภูมิห้องและ 50 องศาเซลเซียส.....	74
ข3	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มที่ระยะเวลา เขย่าต่างกัน.....	76
ข4	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มใน อัตราส่วนที่ต่างกัน.....	78
ง1	ร้อยละโดยมวลของกลีเซอรอลอิสระในไบโอดีเซล.....	94
ง2	ร้อยละโดยมวลของโมโนกลีเซอไรด์ในไบโอดีเซล.....	94

ตารางที่		หน้า
ง3	ร้อยละโดยมวลของไดกลีเซอไรต์ในไบโอดีเซล.....	95
ง4	ร้อยละโดยมวลของไตรกลีเซอไรต์ในไบโอดีเซล.....	95
ง5	ร้อยละโดยมวลของกลีเซอรอลทั้งหมดในไบโอดีเซล.....	96
จ1	ค่าความเป็นกรดในไบโอดีเซลจากการล้างด้วยน้ำและน้ำทะเลความเค็มต่างๆ.	99
ฉ1	คุณภาพของน้ำและน้ำทะเลหลังจากการล้างไบโอดีเซล.....	103

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ปฏิกริยาระหว่างกลีเซอรอลและกรดไขมัน.....	7
2.2	ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์.....	15
2.3	กลไกการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	15
2.4	ปฏิกริยาในการเตรียมสารประกอบอัลคอกซี.....	16
2.5	ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์.....	18
2.6	ปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ.....	18
2.7	ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	19
2.8	แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซลผ่านปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา.....	22
2.9	เปรียบเทียบโครงสร้างของของเหลวไอออนิกกับเกลือ.....	27
2.10	ลักษณะของอิมัลชัน.....	29
2.11	ปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์.....	30
2.12	โครงสร้างของสบู่.....	30
2.13	ลักษณะของไมเซลล์ของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ.....	31
2.14	สัดส่วนของเกลือในน้ำทะเลและสัดส่วนของไอออนต่างๆ ที่ละลายในน้ำทะเล..	33
4.1	ลักษณะของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้.....	44
4.2	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างๆ.....	45
4.3	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเล แต่ละความเค็ม ที่ อุณหภูมิห้อง และ 50 องศาเซลเซียส.....	46
4.4	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลทั้ง 4 ความเค็ม ที่ ระยะเวลาเขย่า 15 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, 3 นาที, 5 นาที, และ 10 นาที.....	47
4.5	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็ม ตาม อัตราส่วนระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำทะเลที่ต่างกัน.....	48
4.6	ลักษณะของไบโอดีเซลและน้ำทะเลหลังจากการล้างด้วยน้ำทะเล.....	50
4.7	เปอร์เซ็นต์การกำจัดกลีเซอรอลในไบโอดีเซลโดยใช้น้ำทะเลซ้ำในการล้าง.....	52

ภาพที่		หน้า
4.8	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง.....	54
ค1	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30‰ (1).....	83
ค2	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30‰ (2).....	84
ค3	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 60‰ (1).....	85
ค4	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 60‰ (2).....	86
ค5	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 90‰ (1).....	87
ค6	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 90‰ (2).....	88
ค7	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 120‰ (1)....	89
ค8	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 120‰ (2)....	90
ค9	GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำ.....	91

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	American Society for the Testing of Materials
Btu	หน่วยทางความร้อน (British Thermal Units) หมายถึง พลังงานที่ใส่ให้กับน้ำ 1 ปอนด์ ทำให้มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 ^o F
DES	Deep Eutectic Solvents เป็นสารละลายไอออนิกที่ประกอบด้วยสารในกลุ่ม quaternary ammonium salts เช่น choline chloride (ChCl) กับสารอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสารผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสารบริสุทธิ์
EN	European Standards
FAAE	เอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Alkyl Ester)
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
FFA	กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)
lb/gal	ความหนาแน่นของสารในหน่วย ปอนด์/แกลลอน (pound/gallon)
MPa	เมกกะปาสคาล หน่วยวัดความดันในระบบเอสไอ มีค่าเท่ากับ 10 ⁶ ปาสคาล (Pascal; Pa)
MSTFA	N-methy-N-(trimethylsilyl) trifluoroacetamide
N	นอร์มัล (normal) หน่วยความเข้มข้นพื้นฐานของปริมาณสารเป็นสมมูลย์ (equivalent; eq) หมายถึง จำนวนกรัมสมมูลย์ของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร
ppm	ส่วนในล้าน (parts per million) หน่วยวัดความเข้มข้นปริมาณตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ล้านส่วน
‰	สัญลักษณ์ permille แทนหน่วยวัดความเค็มของน้ำ เท่ากับ ส่วนในพันส่วน (parts per thousand; ppt) หมายถึง ปริมาณตัวถูกละลายในสารละลาย 1 พันส่วน
% wt	ร้อยละโดยมวล หรือ เปอร์เซ็นต์ไดน้ำหนัก หมายถึง น้ำหนักของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 หน่วยน้ำหนัก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ปริมาณน้ำมันสำรองของโลกมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ราคาของพลังงานหลักอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงมีการปรับตัวสูงขึ้น รวมถึงการเพิ่มขึ้นของปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม ทำให้มีการแสวงหาแหล่งพลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลได้ หนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจคือไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นสารประเภทเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ซึ่งมีสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ จากคุณสมบัติของไบโอดีเซลใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ทำให้สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้โดยตรงโดยไม่เกิดผลกระทบต่อระบบต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้ไบโอดีเซลสามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) และไม่เป็นพิษ (Non-toxic) โอดีเซลจากการเผาไหม้มีมลพิษน้อยกว่าน้ำมันดีเซล มีการสันดาปสมบูรณ์ คาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลจึงเป็นเชื้อเพลิงสะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (พนัส งามกนกวรรณ, 2549) วิธีการที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซลคือ กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (พิศมัย เจนวนิชปัญญกุลและลลิตา อัตนโต, 2549) ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีนี้จะก่อให้เกิดน้ำเสียจากการใช้น้ำในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลหลังจากการแยกกลีเซอรอลออกแล้ว วัตถุประสงค์ของการล้างไบโอดีเซลคือเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ เช่น กลีเซอรอล กรดไขมันอิสระ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ แอลกอฮอล์ น้ำ และสบู่ (Saleh และคณะ, 2010) นอกจากนี้สบู่จะทำให้เกิดอิมัลชันของน้ำและไบโอดีเซล ทำให้แยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลยาก ทั้งยังก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีสภาพอิมัลชันปริมาณมากซึ่งจะก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

แนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการนำน้ำทะเลซึ่งเป็นสารละลายเกลือในธรรมชาติมาใช้ในกระบวนการ โดยน้ำทะเลจะมีองค์ประกอบของเกลือที่ละลายน้ำอยู่ในรูปของไอออนบวกและไอออนลบ คุณสมบัติของเกลือที่พบในน้ำทะเล สามารถทำลายเสถียรภาพและลดสภาพอิมัลชันในน้ำเสียได้ (Kuo และ Lee, 2010) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจนำน้ำทะเลมาใช้ในกระบวนการทำ

ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์และมีคุณภาพตามมาตรฐาน พร้อมกับกำจัดสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลลดอิมัลชันในน้ำล้างและลดการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้น้ำทะเลทดแทนการใช้น้ำ เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐาน
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำและน้ำทะเลที่ความเค็มต่างกัน
3. เพื่อป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำล้าง ลดปริมาณการใช้น้ำและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. น้ำทะเลที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำทะเลเข้มข้นที่มีความเค็ม 120‰ จากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำ
4. ทำการวิเคราะห์สารปนเปื้อนในไบโอดีเซลหลังจากการล้างด้วยน้ำทะเล โดยวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลอิสระ กลีเซอรอลทั้งหมด ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน EN 14105
5. ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำและน้ำทะเลหลังจากล้างไบโอดีเซล

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน
2. ศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ ได้แก่ ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง, ระยะเวลาการเขย่า และอัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อน้ำทะเลในการล้าง

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลและล้างด้วยน้ำ
4. วิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลอิสระ กลีเซอรอลทั้งหมด ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซลที่ได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์และมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่กำหนด จากการใช้น้ำทะเลในขั้นตอนการล้าง
2. ไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลสามารถกำจัดกลีเซอรอลในไบโอดีเซลได้ใกล้เคียงกับการล้างด้วยน้ำ
3. สามารถป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำล้าง ลดปริมาณการใช้น้ำและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์พลังงานทดแทน

ประเทศไทยมีการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ขาดแคลน ตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เมื่อสงครามสงบลงและน้ำมันจากปิโตรเลียมมีราคาถูกและหาได้ง่าย จึงเลิกให้ความสนใจ จนกระทั่งเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันของโลกในปี 2514 จึงเริ่มกลับมาให้ความสนใจเรื่องพลังงานทดแทนมากขึ้น โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียนที่สามารถหาหรือผลิตได้ในท้องถิ่น เช่น น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ รวมไปถึงน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยการผสมน้ำมันพืชในน้ำมันดีเซล และ/หรือ น้ำมันก๊าด แต่ยังไม่มีการนำมาใช้งานจริง จนกระทั่งปี 2544 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงเกิดขึ้นอีกครั้งและมีแนวโน้มว่าราคาน้ำมันจะปรับตัวสูงขึ้น จึงมีการพัฒนาและคิดค้นวิธีการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลอีกครั้ง (พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล, 2544)

สถานการณ์พลังงานในปี 2554 ประเทศไทยมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำเร็จรูป ประมาณ 115.75 ล้านลิตรต่อวัน โดยมีการใช้น้ำมันดีเซลคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 45.5 ของปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงสำเร็จรูปที่ใช้ในประเทศ ซึ่งมีการใช้เพิ่มขึ้นจากปี 2553 ร้อยละ 3.8 (กระทรวงพลังงาน, สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2554) ทำให้ต้องมีการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ แต่ด้วยความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้น รวมถึงผลกระทบจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลทั้งในภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม และภายในครัวเรือน จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจึงมีการพัฒนาพลังงานทดแทนที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถผลิตจากวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศไทย เพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นการสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศในด้านอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม (กระทรวงพลังงาน, 2549)

พลังงานทดแทนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และประเภทที่สองคือ พลังงานทดแทนที่สามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ซึ่งพลังงานทดแทนในประเภทที่สองจะ

สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงาน และลดปัญหามลพิษที่เกิดจากการใช้พลังงานได้ โดยประเทศไทยจะมีความได้เปรียบเพราะเป็นประเทศเกษตรกรรม มีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชพลังงานได้หลายชนิด เช่น ปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2552) การพัฒนาและคิดค้นการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากพืชพลังงานเหล่านี้เป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ซึ่งไบโอดีเซลเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในการใช้น้ำมันดีเซล โดยหนึ่งในยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของประเทศไทย คือการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ โดยรัฐบาลมีความพยายามในการพัฒนาและใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนในเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะการใช้ไบโอดีเซล กระทรวงพลังงานได้กำหนดเป้าหมายให้มีการผลิตและใช้ไบโอดีเซล 8.5 ล้านลิตรต่อวัน เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล 10 เปอร์เซ็นต์ ในปีพ.ศ. 2555 (นเรศ สัตยารักษ์และคณะ, 2549)

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล

2.2.1 คำจำกัดความ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานหมุนเวียน สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์หรือน้ำมันใช้แล้ว โดยไบโอดีเซลจะมีองค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Alkyl Ester: FAAE) ซึ่งนำไปใช้ได้โดยตรงหรือผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ และเนื่องจากคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ทำให้ไบโอดีเซลได้รับการพิจารณาแล้วว่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลได้ (Ma และ Hanna, 1999; Demirbas, 2003)

2.2.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำน้ำมันจากพืชชนิดต่างๆ หรือไขมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล (ศิวะพงศ์ เพ็ชรสงค์, 2550) วัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ได้แก่ น้ำมันพืช, ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้วมีรายละเอียดดังนี้

2.2.2.1 น้ำมันพืช

วัตถุดิบหลักที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน เมล็ดเรพมะพร้าว ถั่วเหลือง ดอกทานตะวัน หรือสบู่ดำ ในน้ำมันพืชแต่ละชนิดประกอบด้วยกรดไขมันอิสระที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 14-20 อะตอม ซึ่งจะมีจำนวนและความไม่อิ่มตัว (ตำแหน่งของพันธะคู่) แตกต่างกันไป สำหรับประเทศไทยสามารถผลิตไบโอดีเซลได้จากปาล์มน้ำมันและมะพร้าว ซึ่งพบว่าปาล์มน้ำมันมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด เพราะเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชชนิดอื่น ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยมีผลผลิตปาล์มน้ำมันจำนวนมาก ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ ในขณะที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูง (ชัชวาล คำวงศ์ และคณะ, 2550; Rashid และ Anwar, 2008)

2.2.2.2 ไขมันสัตว์

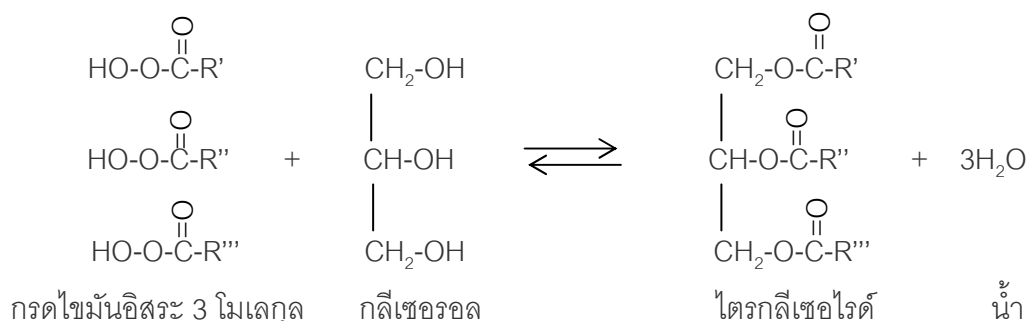
ไขมันจากสัตว์ที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ไขมันจากไก่ น้ำมันหมู และไขมันจากวัว มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันอิ่มตัว ทำให้เป็นไขได้ง่ายเมื่ออากาศเย็นขึ้น นอกจากนี้ไขมันสัตว์จะมีกลิ่นเหม็นหืนได้ง่ายเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิธรรมดา การใช้ไขมันสัตว์ในการผลิตไบโอดีเซลมีข้อดีคือ ราคาไม่แพง หาได้ง่าย แต่ข้อเสียคือไบโอดีเซลที่ได้จะมีคุณสมบัติการไหลเทต่ำ แต่สามารถแก้ไขได้ด้วยการกลั่นแยกส่วนก่อนนำไปทำปฏิกิริยา

2.2.2.3 น้ำมันใช้แล้ว

เป็นวัตถุดิบที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากในปัจจุบันประชากรมีการบริโภคอาหารจานด่วนที่ปรุงด้วยการทอดสูงชัน ทำให้มีน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณมาก ซึ่งจำเป็นต้องหาวิธีการจัดการอย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข ก่อนนำมาผลิตจะต้องมีกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำมันออก โดยการกรอง การกลั่นเอาน้ำออก การฟอกสี เป็นต้น แม้ว่าการนำน้ำมันที่ใช้แล้วมาผลิตไบโอดีเซลจะเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ราคาไม่แพง แต่การที่น้ำมันที่ใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันกลั่นบริสุทธิ์ จะไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลร่วมกับเบสโดยตรง เพราะจะเกิดสบู่ปะปนออกมาด้วย (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553)

น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ เป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยกรดไขมันที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว ไตรกลีเซอไรด์เกิดจากการทำปฏิกิริยา

ระหว่างกลีเซอรอล 1 โมเลกุลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล (ภาพที่ 2.1) โดยที่สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันทั้งสามชนิด (R1, R2, R3) ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์อาจจะเหมือนหรือแตกต่างกัน



ภาพที่ 2.1 ปฏิกริยาระหว่างกลีเซอรอลและกรดไขมัน

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/triglyceride.JPG>

กรดไขมันที่อยู่ในไขมันหรือน้ำมันจะมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ (12 - 24 อะตอม) มีองค์ประกอบของปริมาณกรดไขมันอยู่ในโครงสร้าง ประมาณ 94-96 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไตรกลีเซอไรด์ จึงทำให้น้ำมันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดในน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	น้ำมัน	น้ำมัน	น้ำมัน	น้ำมันดอก	น้ำมันหมู
	ปาล์ม	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ทานตะวัน	
กรดลอริก (12:0)	0.1	46.5	0.1	0.0	0.1
กรดไมริสติก (14:0)	1.0	19.2	0.1	0.0	1.4
กรดปาล์มมิติก (16:0)	42.8	9.8	10.2	6.08	23.6
กรดสเตียริก (18:0)	4.5	3.0	3.7	3.26	14.2
กรดโอเลอิก (18:1)	40.5	6.9	22.8	16.93	44.2
กรดไลโนเลอิก (18:2)	10.1	2.2	53.7	73.73	10.7
กรดไลโนเลอิก (18:3)	0.2	0.0	8.6	0.0	0.4

ที่มา: Ma และ Hanna (1999)

สัญลักษณ์ในตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนคาร์บอนและพันธะคู่ในน้ำมันชนิดต่างๆ ถูกแสดงโดยตัวเลขก่อนและหลัง (:) เช่น (16:0) หมายถึง กรดปาล์มมีดิกที่มีจำนวนคาร์บอน 16 อะตอม และไม่มีพันธะคู่ เป็นกรดไขมันอิ่มตัว หรือ (18:1) หมายถึง กรดโอเลอิกที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม และมีพันธะคู่ 1 คู่ เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว บางครั้งกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันพืช อาจไม่มีโครงสร้างเป็นไตรกลีเซอไรด์ แต่จะอยู่ในรูปของกรดไขมันอิสระ ซึ่งจากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหมูซึ่งเป็นไขมันจากสัตว์มีลักษณะเป็นไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันอิ่มตัว และมีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่าน้ำมันจากพืช น้ำมันจากสัตว์จึงแข็งตัวได้เร็วกว่า หากนำไปใช้ในเครื่องยนต์จะทำให้เกิดปัญหาในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำได้ (ไกรพัฒน์ จินขจร, 2550)

2.2.3 คุณสมบัติและมาตรฐานของไบโอดีเซล (พูลพร แสงบางปลา, 2537; กระทรวงพลังงาน, 2549; พันธ์ งามกนกวรรณ, 2549; กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2550; Ma และ Hanna, 1999; Demirbas, 2007)

ไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เนื่องจากองค์ประกอบและโครงสร้างของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลแตกต่างกัน ทำให้ไบโอดีเซลยังคงมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล คุณสมบัติทั่วไปของไบโอดีเซล มีดังนี้

- ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ในสารตั้งต้นที่ผลิตไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ทำให้ไม่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดขึ้นจากไอเสียที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์
- ไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลร้อยละ 10-12 ทำให้เมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ไอเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก และมีควันดำต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล
- ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงมีค่าการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้สะดวกและปลอดภัยในการเก็บ บรรจุและขนส่ง
- ไบโอดีเซลสามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradable) และไม่เป็นพิษ (non-toxic)
- ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี

- น้ำมันดีเซลไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุล ขณะที่ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ในน้ำมันพืช ทำให้ไบโอดีเซลไม่เสถียร เกิดการออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซล และมีระยะเวลาเก็บรักษาหลังการผลิตสั้นกว่าน้ำมันดีเซล
- หากนำไบโอดีเซลไปใช้กับเครื่องยนต์ที่ไม่มีการดัดแปลง ไอเสียที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) สูงกว่าน้ำมันดีเซล

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล มีมาตรฐานในการกำหนดส่วนประกอบทางเคมีและความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน แสดงในตารางที่ 2.2

ในการนำไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง หรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ ได้ เพื่อให้เหมาะสมต่อสภาพเครื่องยนต์และสภาพการใช้งาน ซึ่งมีการกำหนดสัญลักษณ์ สำหรับบ่งบอกลักษณะของไบโอดีเซล เช่น ไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์ จะใช้สัญลักษณ์ B100 หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีไบโอดีเซลอย่างเดียว นำมาใช้ได้โดยไม่ต้องผสม แต่ถ้าเป็นไบโอดีเซลผสมจะใช้สัญลักษณ์ BXX หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยไบโอดีเซลร้อยละ XX และดีเซลร้อยละ 100-XX เช่น B 5 หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่ประกอบไบโอดีเซลร้อยละ 5 ผสมกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 95 ดังนั้นไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ จะใช้สัญลักษณ์ B แล้วตามด้วยตัวเลขที่แสดงปริมาณร้อยละของไบโอดีเซลที่ใช้ผสม (Gerpen, 2004)

จากการที่ไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ และมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของไบโอดีเซลทั้งทางเคมีและกายภาพเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งาน จึงมีการกำหนดคุณสมบัติมาตรฐานของไบโอดีเซล โดยหน่วยงานทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น มาตรฐานของไบโอดีเซล ในสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐาน ASTM D6751 สหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐาน EN 14214 ส่วนในประเทศไทยต้องมีคุณภาพเป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (ไกรพัฒน์ จินขจร, 2550)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซล
มาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง	ASTM D975	ASTM PS 121
ส่วนประกอบของน้ำมัน	C10-C21 HC	C12-C22 FAME
ค่าความร้อนต่ำ (Btu/gal)	131,295	117,093
ค่าความหนืดที่ 40 °C	1.3-4.1	1.9-6.0
ความถ่วงจำเพาะ ที่ 15.6 °C (kg/l)	0.85	0.88
ความหนาแน่นที่ 15 °C (lb/gal)	7.049	7.328
ปริมาณน้ำ	161 ppm	0.05 %wt
ปริมาณคาร์บอน (%wt)	87	77
ปริมาณไฮโดรเจน (%wt)	13	12
ปริมาณออกซิเจน, by dif. %wt	0	11
กำมะถัน (%wt)	0.05	0.0 - 0.0024
จุดเดือด (°C)	188-343	182-338
จุดวาบไฟ (°C)	60-80	100-170
จุดขุ่นมัว (°C)	-15 to 5	-3 to 12
จุดไหลเท (°C)	-35 to -15	-15 to 10
ค่าซีเทน	40-55	48-65
Stoichiometric air/fuel ratio wt./wt.	15	13.8
BOCLE Scuff (grams)	3,600	>7,000

ที่มา: Tyson (2001)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2550

ข้อกำหนด	ปริมาณ	วิธีทดสอบ
เมทิลเอสเทอร์ (%wt)	> 96.5	EN 14103
ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C (kg/m ³)	860 - 900	ASTM D 1298
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกส์)	3.5 - 5.0	ASTM D 445
จุดวาบไฟ (°C)	> 120	ASTM D 93
กำมะถัน (%wt)	< 0.0010	ASTM D 2662
กากถ่าน (%wt) (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)	< 0.30	ASTM D 4530
จำนวนซีเทน	> 51	ASTM D 613
เถ้าซิลิเฟต (%wt)	< 0.02	ASTM D 874
ปริมาณน้ำ (%wt)	< 0.050	ASTM D 2709
สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (%wt)	< 0.0024	ASTM D 5452
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	< 96.5	ASTM D 130
ความเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (ชั่วโมง)	> 6	EN 14112
ค่าความเป็นกรด (มิลลิลิตรกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	< 0.80	ASTM D 664
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม)	< 120	EN 14111
กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (%wt)	< 12.0	EN 14113
เมทานอล (%wt)	< 0.20	EN 14110
โมนอกลิเซอไรด์ (%wt)	< 0.80	EN 14105
ไดกลีเซอไรด์ (%wt)	< 0.20	EN 14105
ไตรกลีเซอไรด์ (%wt)	< 0.20	EN 14105
กลีเซอรอลอิสระ (%wt)	< 0.02	EN 14105

ตารางที่ 2.3 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ต่อ)

ข้อกำหนด	ปริมาณ	วิธีทดสอบ
กลีเซอรอลทั้งหมด (%wt)	< 0.25	EN 14105
โลหะกลุ่ม 1 โซเดียมและโปแตสเซียม (mg/kg)	< 5.0	EN 14108
โลหะกลุ่ม 2 แคลเซียมและแมกนีเซียม (mg/kg)	< 5.0	EN 14105
ฟอสฟอรัส (%wt)	< 5.0	ASTM D 4951
สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน	

ที่มา: ราชกิจจานุเบกษา (2550)

การตรวจสอบมาตรฐานของไบโอดีเซลในตารางที่ 2.3 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (รติกร อลงกรณ์โชติกุล, 2549; ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข, 2550)

2.2.3.1 การตรวจสอบคุณสมบัติทั่วไปของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์

คุณสมบัติทั่วไปที่เป็นข้อกำหนดคุณสมบัติที่ดีของน้ำมัน ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ ปริมาณกำมะถัน ปริมาณกากถ่าน จำนวนซีเทน ปริมาณแอลกอฮอล์ปริมาณน้ำ สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด การกัดกร่อนแผ่นทองแดง ค่าความเป็นกรด และปริมาณโลหะกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2

2.2.3.2 การตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์

1) ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ แสดงถึงสัดส่วนของปริมาณกรดไขมันในเอทิลเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันทั้งหมด

2) ปริมาณเมทานอล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรอลอิสระ และกลีเซอรอลทั้งหมด ถูกกำหนดให้มีปริมาณน้อย โดยจะบอกถึงความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและกระบวนการแยกกลีเซอรอล

3) การทดสอบความมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และค่าไอโอดีน เนื่องจากไบโอดีเซลสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพการเก็บรักษา

2.2.4 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้โดยตรงและการผสม (direct use and blending) ไมโครอิมัลชัน (microemulsions) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (thermal cracking or pyrolysis) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) (Ma และ Hanna, 1999; Srivastava และ Prasad, 2000; Fukada และคณะ, 2001; Khan, 2002; Yusuf และคณะ, 2011) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.4.1 การใช้โดยตรงและการผสม (direct use and blending)

การใช้โดยตรง เป็นการนำน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน

ส่วนการใช้แบบผสม เป็นการผสมระหว่างน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์กับน้ำมันดีเซล น้ำมันก๊าด เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมันพืชทั้งโดยตรงและ/หรือการผสม ยังมีคุณสมบัติของน้ำมันที่ต่างจากน้ำมันดีเซล จึงก่อปัญหาต่อเครื่องยนต์ การสันดาปไม่สมบูรณ์ เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูง มีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและโพลีเมอไรเซชันในระหว่างการเก็บรักษา (Fukada และคณะ, 2001)

2.2.4.2 ไมโครอิมัลชัน (microemulsion)

ไมโครอิมัลชัน คือ คอลลอยด์ที่กระจายตัวในสภาวะที่สมดุล โดยมีขนาดอนุภาคประมาณ 1-150 นาโนเมตร เกิดขึ้นจากการที่ของเหลวสองชนิดซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่ละลายในกันและกัน ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งไมโครอิมัลชันจะถูกใช้กับตัวทำละลาย เช่น เมทานอล, เอทานอล, 1-บิวทานอล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืช เมื่อนำไปใช้งานจะมีปัญหาของการสะสมคาร์บอนรอบๆ หัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์ (Schwab และคณะ, 1987; Ma และ Hanna, 1999; Yusuf และคณะ, 2011)

2.2.4.3 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (thermal cracking)

กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน หรือ ไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นการย่อยสลายน้ำมันพืช โดยการให้ความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน กระบวนการนี้จะควบคุมได้ยาก เนื่องจากความหลากหลายของเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในกระบวนการนี้ คือ น้ำมันพืช น้ำมันจากไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ หรือ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยกระบวนการนี้สามารถลดความหนืดของน้ำมันได้ แต่ไม่สามารถลดค่าความไม่อิ่มตัวได้ (Piocch และคณะ, 1993; Ma และ Hanna, 1999)

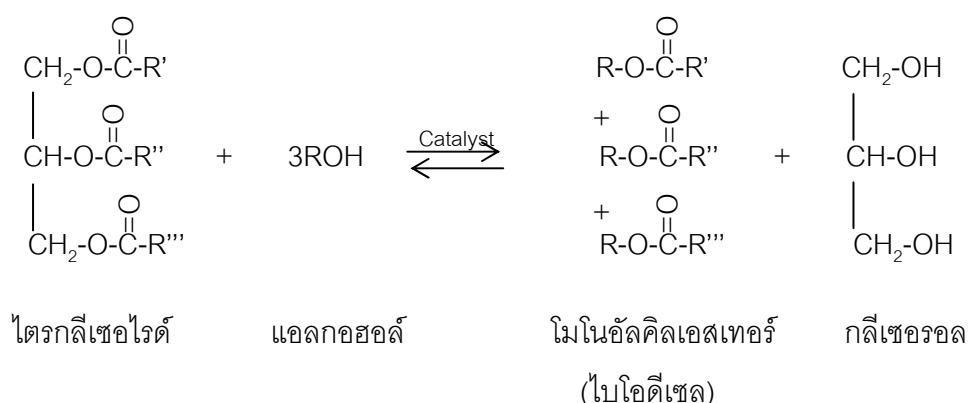
2.2.4.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification)

เนื่องจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ทั่วไปเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีความหนืดสูง เพราะมวลโมเลกุลใหญ่ จึงต้องนำมาทำให้มวลโมเลกุลเล็กลงโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันหรือแอลกอฮอล์ไลซิส เป็นการทำปฏิกิริยาเพื่อแตกพันธะของเอสเทอร์ (-COO-) ในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ด้วยแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล (Ma และ Hanna, 1999; Rashid และ Anwar, 2008; Yusuf และคณะ, 2011)

จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้งหมด ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลที่ได้มีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ และมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน (Fukada และคณะ, 2001; Gerpen, 2005; Yusuf และคณะ, 2011)

2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืช

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบในน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอล โดยมีการใช้กรด, เบส, เอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรืออาจจะทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็ได้



เมื่อ R', R'', R''' คือ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมัน

R คือ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของแอลกอฮอล์

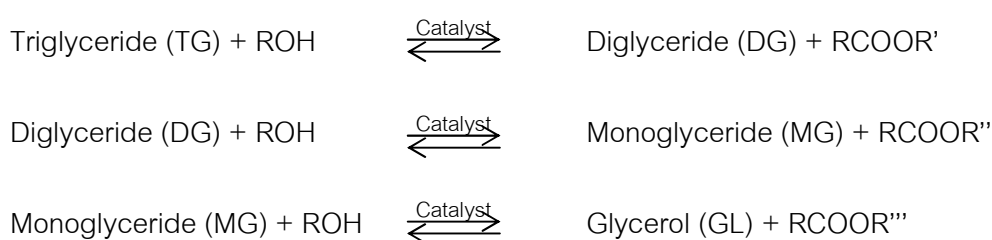
ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

ที่มา: Ma และ Hanna (1999)

ตามสมการการเกิดปฏิกิริยาจากภาพที่ 2.2 พบว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ต้องใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:3 แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มากเกินไป เพื่อบังคับสมดุลของปฏิกิริยาให้เลื่อนไปทางขวา เพื่อทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น (Fukada และคณะ; Leung, 2001)

แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ เมทานอล, เอทานอล, โพรพานอล, และ บิวทานอล โดยส่วนมากจะนิยมใช้เมทานอล เนื่องจากมีราคาถูก และจากการที่เมทานอลเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก ทำให้เมทานอลสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดี และเข้าทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว (Marchetti และคณะ, 2007)

2.3.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ที่มา: Fukada และคณะ (2001)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (ภาพที่ 2.3) ประกอบด้วยปฏิกิริยาแบบลำดับขั้น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก ไตรกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เปลี่ยนเป็น ไตรกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ ตามลำดับ ในขั้นตอนสุดท้ายจะได้เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะได้เอสเทอร์ 1 โมล ออกมา (Demirbas, 2009)

2.3.2 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Fukada และคณะ; Leung, 2001; Marchetti และคณะ, 2007; Balat และ Balat, 2010; Ramadhas และคณะ, 2011)

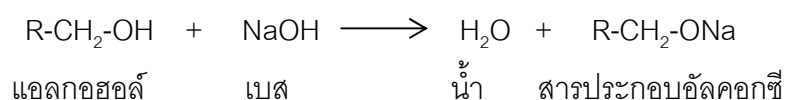
การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ดีขึ้น โดยสามารถแบ่งชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดังนี้

2.3.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

กรดที่นิยมใช้ในปฏิกิริยา ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ปริมาณมาก แต่ต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง (55-80 °C) และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา ประมาณ 3-4 ชั่วโมง หรืออาจใช้เวลามากกว่า 1 วันจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์

2.3.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

เบสที่นิยมใช้ในปฏิกิริยา ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยก่อนทำปฏิกิริยา ควรเปลี่ยนรูปจากเบสไปเป็น สารประกอบอัลคอกไซด์ก่อน โดยละลายเบสด้วยแอลกอฮอล์ก่อนนำไปทำปฏิกิริยากับน้ำมัน สมการการเกิดปฏิกิริยาแสดงใน ภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาในการเตรียมสารประกอบอัลคอกไซด์

ที่มา: Marchetti และคณะ (2007)

ข้อจำกัดของการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารตั้งต้นของปฏิกิริยาต้องมีกรดไขมันน้อยกว่าร้อยละ 3 เพราะถ้ามีกรดไขมันอิสระสูง จะทำให้เกิดสบูระหว่างการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้ยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอล

2.3.2.3 เอนไซม์ไลเปส

เป็นการทำปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อดีของการใช้เอนไซม์ ไลเปสคือ ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่กำจัดยาก สามารถนำเอนไซม์ไลเปสกลับมาใช้ได้อีก การแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลทำได้ง่ายกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง แต่ข้อเสียคือเอนไซม์ไลเปสมีราคาค่อนข้างแพง การนำไปใช้ในปริมาณมากไม่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีขึ้น แต่จะทำให้สิ้นเปลือง

2.3.2.4 การใช้แอลกอฮอล์ในสภาวะเหนือวิกฤต

เป็นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง (350°C, 45 MPa) เพื่อให้แอลกอฮอล์อยู่ในสภาวะเหนือวิกฤต โดยระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาจะสั้นกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์สูง สามารถลดขั้นตอนในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ แต่วิธีนี้จะต้องใช้พลังงานสูงมากเพื่อให้แอลกอฮอล์มีสภาวะเหนือวิกฤต

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

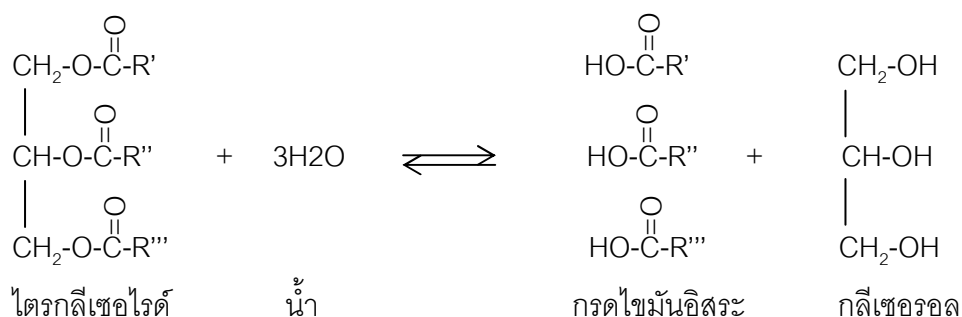
ตัวแปร	กรด	เบส	เอนไซม์	แอลกอฮอล์ ในสภาวะ เหนือวิกฤต
อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (°C)	55-80	60-70	30-40	239-385
กรดไขมันอิสระในวัตถุดิบ	เอสเทอร์	สบู่	เอสเทอร์	เอสเทอร์
ผลของปริมาณน้ำต่อปฏิกิริยา	มีผล	มีผล	ไม่มีผล	-
ปริมาณผลิตภัณฑ์	ปกติ	ปกติ	สูงมาก	ดี
กระบวนการนำกลีเซอรอล	ยาก	ยาก	ง่าย	-
การทำเมทิลเอสเทอร์ให้บริสุทธิ์	การล้าง	การล้าง	-	-
ราคาของตัวเร่งปฏิกิริยา	ถูก	ถูก	แพง	ปานกลาง

ที่มา: Marchetti และคณะ (2007)

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.3.3.1 น้ำและความชื้น

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การมีน้ำหรือความชื้นในสารตั้งต้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (ภาพที่ 2.5) ซึ่งจะเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตั้งต้น หากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้เกิดสบู่ก่อให้เกิดผลเสียต่อปฏิกิริยา ดังนั้นสารตั้งต้นจำเป็นต้องปราศจากน้ำก่อนจะนำมาทำปฏิกิริยา

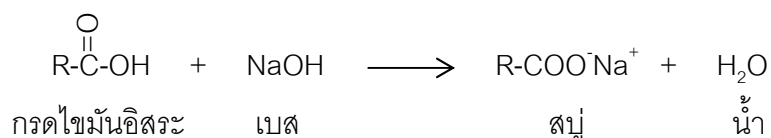


ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา: http://mhchem.org/221/COTW/fats_and_oils/f2.gif

2.3.3.2 กรดไขมันอิสระ

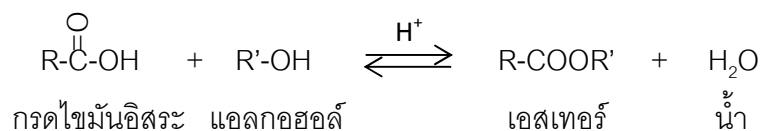
กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid: FFA) ที่มีอยู่ในน้ำมันที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้น สำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่ง น้ำมันที่นำมาใช้ควรมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 3 เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันมากเกินไป กรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่และน้ำ (ภาพที่ 2.6) โดยสบู่ที่เกิดขึ้นจะลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังทำให้ความหนืดของไบโอดีเซลสูงขึ้น ส่งผลให้แยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลยากขึ้น ทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลลดลง



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

ที่มา: Atadashi และคณะ (2011)

สำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระมากกว่าร้อยละ 3 สามารถลดค่าความเป็นกรดของน้ำมัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันก่อน (ภาพที่ 2.7) แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยา โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป (Fukuda และคณะ, 2001; Ramadhas และคณะ, 2005)



ภาพที่ 2.7 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ที่มา: <http://www.vcharkarn.com/uploads/98/98647.jpg>

2.3.3.3 อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้น

จากสมการการเกิดปฏิกิริยา (ภาพที่ 2.1) จะเห็นว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมัน เท่ากับ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ อัตราส่วนโดยโมลที่สูงขึ้นจะผลักดันให้ปฏิกิริยาเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น สำหรับปฏิกิริยาที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปจะนิยมใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมัน เท่ากับ 6:1 ซึ่งสามารถให้ผลิตภัณฑ์สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.3.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา

การเลือกใช้ชนิดและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลสูง เพราะหากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไปจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลง ในการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้นแล้ว แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระแล้วเกิดเป็นสบู่ในระหว่างการทำปฏิกิริยา โดยเฉพาะการทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Rashid และ Anwar, 2008; Balat และ Balat, 2010)

2.3.3.5 เวลาในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันโดยตรงกับเวลา กล่าวคือ เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น จะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามอัตรา

การเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูงในระยะแรกของปฏิกิริยาและลดลงเมื่อเวลาเพิ่ม ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมจึงทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง (Meher และคณะ, 2006)

2.3.3.6 คุณหมุมิในการทำปฏิกิริยา

คุณหมุมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดขึ้นที่ คุณหมุมิต่างๆ กัน เมื่อคุณหมุมิสูงขึ้น แอลกอฮอล์จะทำปฏิกิริยาได้ง่าย ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น แต่คุณหมุมิที่ใช้ไม่ควรเกินจุดเดือดของแอลกอฮอล์ เพราะจะทำให้แอลกอฮอล์ระเหยออกไป ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง (Meher และคณะ, 2006)

2.3.3.7 อัตราการกวนผสม

การกวนผสมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพราะน้ำมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล จะไม่ละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสม เพื่อให้เนื้อสารสัมผัสกัน ปฏิกิริยาจึงจะเกิดเป็นไบโอดีเซล (Rashid และ Anwar, 2008)

ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2544) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์, น้ำมันปาล์มใช้แล้ว, น้ำมันปาล์มแยกกัมและลดกรดชนิดบีมรวม (เกรดบี), ไขปาล์มสเตียรีน, และ superhard stearin การผลิตใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบกะ โดยใช้เมทานอลและโซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลผลิตที่ได้ตรวจสอบด้วย thin layer chromatography ผลการศึกษาพบว่าเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่ได้ มีความบริสุทธิ์เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผลิตในสภาวะที่เหมาะสม คือสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 และโซดาไฟ 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันวัตถุดิบ คุณหมุมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60-80 องศาเซลเซียส โดยมีการกวน 15-30 นาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อ 3-4 ชั่วโมง

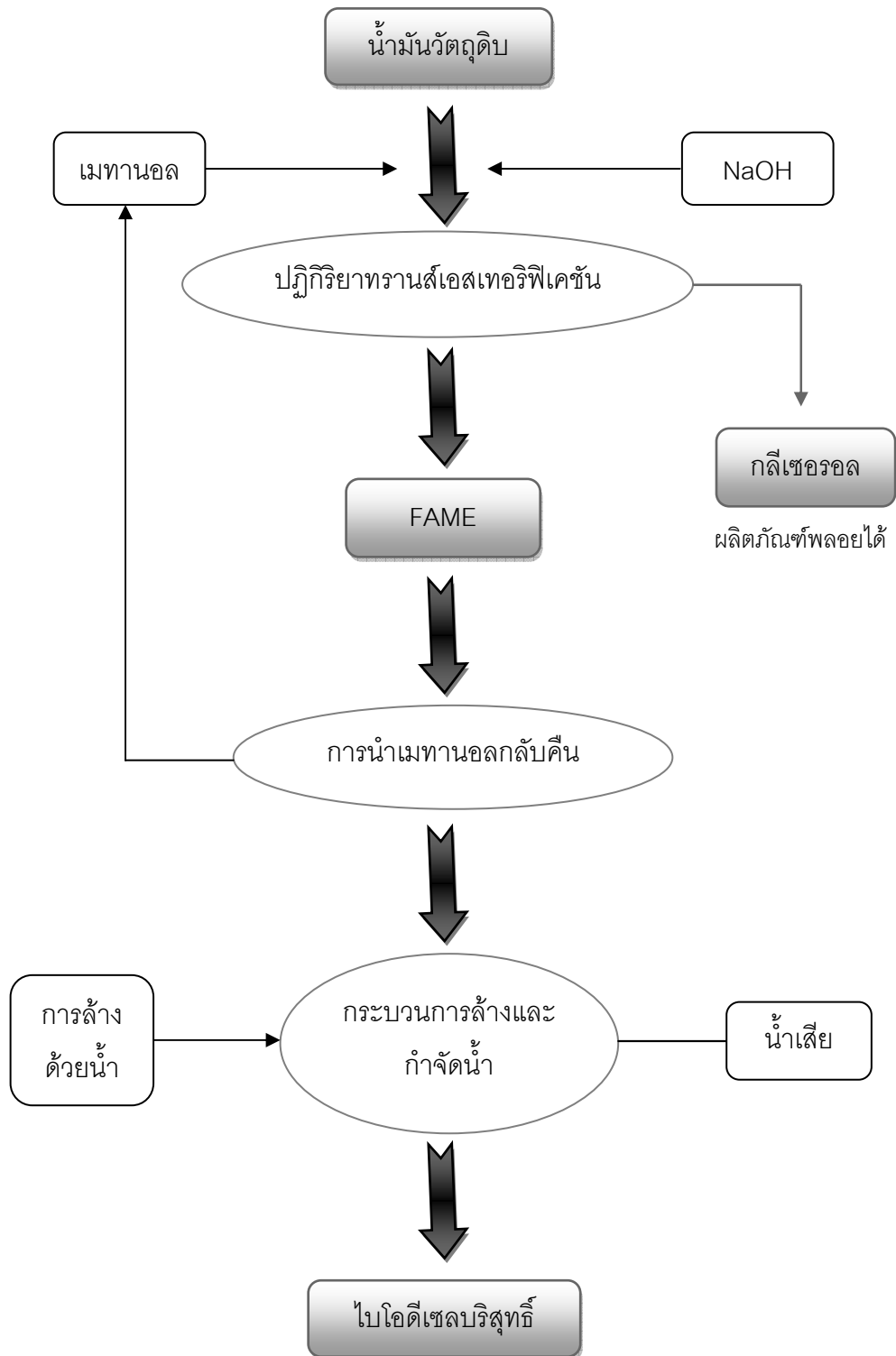
Kumar และคณะ (2003) ได้ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นไฮดรอกไซด์หรือกรดซัลฟิวริกที่คุณหมุมิ 60-80 องศาเซลเซียส โดยปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา คุณหมุมิในการทำปฏิกิริยา ระยะเวลา รวมไปถึงสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน โดยใช้น้ำในการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับ

เมทานอล เท่ากับ 1:6 โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะให้ผลผลิตเอสเทอร์สูงประมาณ 93-98 เปอร์เซ็นต์

Saka และ Kuadianam (2001) ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดเรพ โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยทำที่สภาวะของอุณหภูมิ และความดันเหนือจุดวิกฤตของเมทานอล อุณหภูมิที่ใช้คือ 350 องศาเซลเซียส และ 400 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 45-65 เมกะปาสคาล และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันเมล็ดเรพต่อเมทานอลเป็น 1:42 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 240 วินาที และที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 วินาที จะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 98%

Felizardo และคณะ (2006) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้วผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน สำหรับการทำปฏิกิริยาด้วยน้ำมันที่ใช้แล้ว, เมทานอล, และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ชุดการทดลองจะใช้อัตราส่วนโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้แล้วระหว่าง 3.6 และ 5.4 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่าง 0.2 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน ในส่วนของค่าความเป็นกรดของน้ำมันวัตถุดิบเท่ากับ 0.42 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกรัม ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 4.8 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูงสุด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณเมทานอลหรือตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้การแยกเมทิลเอสเทอร์ง่ายขึ้น และทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์ที่บริสุทธิ์มากกว่า 98%

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ที่นิยมมากที่สุด คือการทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว ใช้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อย สามารถเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นไบโอดีเซลได้ง่าย ไม่ต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูงในการทำปฏิกิริยา และมีการสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างการทำปฏิกิริยาน้อย (Rashid และ Anwar, 2008; Ferella และคณะ, 2010) โดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเริ่มจากการนำน้ำมันพืชมาปรับอุณหภูมิ โดยการอุ่นน้ำมันให้อุณหภูมิเหมาะสมกับการทำปฏิกิริยากับเมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกสารต่างๆ ออกจากสารเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) โดยผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (พนัส งามกนกวรณ, 2549) แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไปแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ที่มา: http://www.oiltek.co.th/images/p_biochart_t.gif

2.3.4 กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

เมื่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสิ้นสุดลง จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ เมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอล ซึ่งการแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซล สามารถทำได้โดยการตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น เนื่องจากไบโอดีเซลและกลีเซอรอลมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ความหนาแน่นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลเท่ากับ 880 และ 1050 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (Atadashi และคณะ, 2010) กลีเซอรอลซึ่งมีความหนาน้ำหนักมากกว่าจะอยู่ที่ชั้นด้านล่าง ทำให้สามารถแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลได้ อย่างไรก็ตามไบโอดีเซลที่ได้ยังมีการปนเปื้อนด้วยแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด กลีเซอรอล น้ำ และสบู่ สารปนเปื้อนเหล่านี้จะทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลลดลง ดังนั้นไบโอดีเซลที่จะนำมาใช้ได้จึงควรผ่านกระบวนการที่ทำให้บริสุทธิ์เสียก่อน (Atadashi และคณะ, 2010) กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์สามารถทำได้หลายวิธี แบ่งได้เป็นการล้างแบบเปียก การล้างแบบแห้ง และการใช้เมมเบรน (Berrios และ Skelton, 2008; Leung, 2010) มีรายละเอียดดังนี้

2.3.4.1 การล้างแบบเปียก

การล้างแบบเปียก เป็นวิธีการที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการกำจัดสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล ลักษณะวิธีการล้างเปียกมี 3 แบบ ได้แก่ การล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน, น้ำอ่อน (น้ำผสมกรด เช่น กรดซัลฟิวริก, กรดไฮโดรคลอริก, และกรดฟอสฟอริก) หรือการล้างด้วยสารละลายอินทรีย์ (เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์) โดยการล้างด้วยน้ำอ่อนเป็นวิธีที่นิยมใช้ ด้วยคุณสมบัติความมีขั้วในโมเลกุลของน้ำ ทำให้น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ซึ่งไบโอดีเซลเป็นสารที่ไม่มีขั้วจึงไม่สามารถละลายในน้ำได้ ในขณะที่สารปนเปื้อนในไบโอดีเซล เช่น กลีเซอรอล, เมทานอล, โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารมีขั้ว ดังนั้นสารปนเปื้อนเหล่านั้นจึงสามารถละลายในน้ำได้ และคุณสมบัติที่เหมาะสมของน้ำหรือสารละลายที่ใช้ในกระบวนการประมาณ 50-80 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเอสเทอร์ของกรดไขมันอิ่มตัวและช่วยทำให้เกิดอิมัลชันลดลง (Leung และคณะ; Atadashi และคณะ; Saleh และคณะ, 2010)

ในส่วนของปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการล้างไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน ขึ้นอยู่กับปริมาณของกลีเซอรอลที่ปนเปื้อน ถ้าปริมาณกลีเซอรอลก่อนนำไปล้างลดลง จะใช้ปริมาณน้ำในการล้างลดลงด้วย จากการศึกษาของ Leung และคณะ (2001) พบว่าภายหลัง

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การตั้งไบโอดีเซลทิ้งไว้ประมาณ 10-20 ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลลดลงได้

Karaosmanoglu และคณะ (1996) ศึกษาการทำไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรพกับเมทานอลผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบวิธีการล้าง 3 วิธี ได้แก่ การล้างด้วยน้ำอุ่น, การละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์, และการล้างด้วยน้ำอุ่นและกรดซัลฟิวริก (อัตราส่วน 1:1) ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่ดีที่สุดคือการล้างด้วยน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ได้ไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์ประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์

Suprihastuti และ Aswati (2007) ศึกษากระบวนการล้างไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งโดยการล้างด้วยน้ำ ซึ่งเป็นการล้างขั้นตอนเดียวในถังกวน สามารถลดปริมาณกลีเซอรอลจากร้อยละ 0.9931 เหลือเพียงร้อยละ 0.09 ล้างเป็นเวลา 20 นาที โดยเติมน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรไบโอดีเซล และเมื่อล้างน้ำ 300 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไบโอดีเซล ปริมาณกลีเซอรอลจะลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 0.05 และมี pH เท่ากับ 7.3 และเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีปริมาณกลีเซอรอลตามมาตรฐาน คือมีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 0.02 ต้องมีการล้างหลายๆครั้ง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การกำจัดกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซล ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการล้าง และอัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายของไบโอดีเซล อุณหภูมิการล้างสูงและอัตราส่วนของตัวทำละลายสูง จะกำจัดกลีเซอรอลได้มากกว่า

2.3.4.2 การล้างแบบแห้ง

เป็นการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน, การใช้ผงแมกนีเซียมซิลิเกต หรือการใช้ตัวดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์, ดินกัมมันต์ เป็นต้น ในการกำจัดสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลแทนการใช้น้ำ วิธีนี้จะทำให้ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลลดลง และสามารถกำจัดสบู่ได้บ้าง โดยการล้างแบบแห้งจะใช้หลักการดูดซับในการกำจัดสารปนเปื้อน วิธีการล้างแบบนี้จะไม่มีการใช้น้ำ ทำให้ไม่เกิดน้ำเสียออกมาจากกระบวนการ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการล้างแบบแห้งประมาณ 65 องศาเซลเซียส และกระบวนการดูดซับจะสิ้นสุดใน 20 – 30 นาที (Kucek และคณะ, 2007; Berrios และ Skelton, 2008)

Gerpen และ Menges (2004) ศึกษาการใช้แมกนีซอลเป็นตัวดูดซับในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลแทนการใช้น้ำ โดยสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองและไขมัน

ไว้ แล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติกับไบโอดีเซลที่ได้จากการล้างด้วยน้ำพบว่า ปริมาณกลีเซอรอล น้ำ สบู่ คาร์บอน ซัลเฟอร์ที่เจือปนในน้ำมันมีค่าน้อยกว่าไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการล้างโดยใช้น้ำ และทำให้คุณสมบัติอื่นๆ ของไบโอดีเซลดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการลดน้ำเสียที่เกิดจากการล้าง ไบโอดีเซลด้วย

Berrios และ Skelton (2008) ได้ศึกษาการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดย เปรียบเทียบการใช้น้ำล้างไบโอดีเซล การดูดซับด้วยแมกนีเซียมซิลิเกต และการใช้เทคนิคการ แลกเปลี่ยนไอออน ผลการศึกษาพบว่าทั้ง 3 กระบวนการสามารถกำจัดกลีเซอรอลและสบู่ ออกจากไบโอดีเซลได้ และเมื่อพิจารณาปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซล การใช้แมกนีเซียมซิลิเกตเป็น ตัวดูดซับและการใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออนสามารถดูดซับเอาเมทานอลออกไปได้บางส่วน โดยที่การใช้น้ำล้างไบโอดีเซลเป็นวิธีที่สามารถลดปริมาณกลีเซอรอลและสารปนเปื้อนอื่นๆ ให้มีค่า เป็นไปตามมาตรฐานที่ EN 14214 กำหนดไว้ได้

2.3.4.3 การใช้เมมเบรน

การใช้เมมเบรนเป็นกระบวนการที่อาศัยเยื่อเมมเบรนในการแยกสารที่ แตกต่างออกจากสารละลายซึ่งจะยินยอมให้สารบางชนิดเท่านั้นที่ผ่านเข้าออกได้ โดยอาศัย แรงดันเป็นตัวผลักดัน องค์ประกอบ โครงสร้าง หรือความสามารถในการการมีประจุของเยื่อ เมมเบรนอาจจะเหมือนหรือแตกต่างกัน การขนส่งผ่านเมมเบรนจะอาศัยการพาความร้อนหรือการ แพร่กระจายของโมเลกุล ที่เกิดจากสนามไฟฟ้า ความดัน หรืออุณหภูมิ โดยการใช้เมมเบรนในการ ทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ จะทำให้ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์สูง (Saleh, 2011) นอกจากนี้ยังเป็น วิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งยังไม่ก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการ

He และคณะ (2006) ทดลองการใช้เมมเบรนชนิดโพลีซัลโฟนเมมเบรน และเส้นใยโพลีอะคลิไลไนไทรด์ และเทคนิคการสกัดเพื่อทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยไบโอดีเซลที่ ได้จากเมมเบรนชนิดโพลีซัลโฟนเมมเบรน จะมีความบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความหนืด (3.906 มิลลิเมตร/วินาที²) ความหนาแน่น (0.876 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) และ ปริมาณน้ำ (ร้อยละ 0.042 โดยน้ำหนัก) ซึ่งตรงตามมาตรฐาน ASTM D6751 โดยผู้ทดลองตั้ง ข้อสังเกตว่าผลการทดลองเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

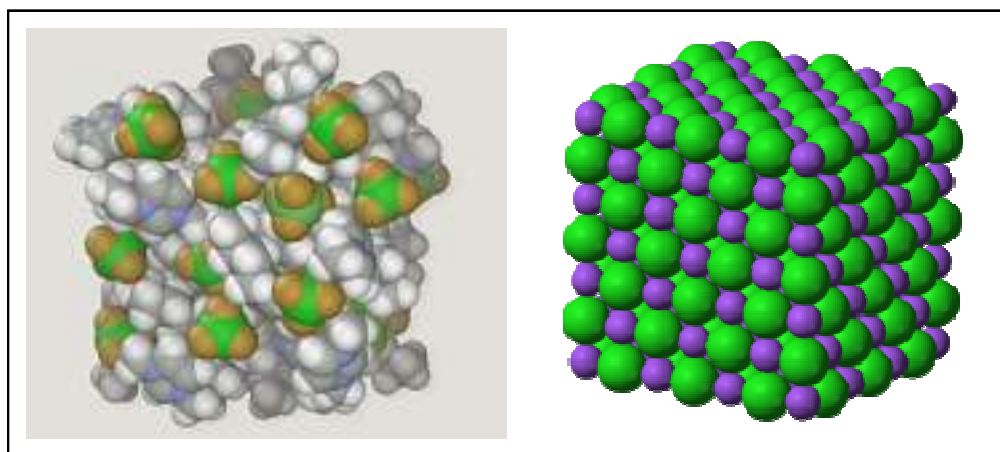
วิธีการล้าง	ข้อดี	ข้อเสีย
การล้างแบบเปียก	<ul style="list-style-type: none"> - มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนสูง - ลดปริมาณเมทานอล, สบู่, กลีเซอรอลอิสระให้อยู่ในมาตรฐาน - การล้างด้วยน้ำอ่อน (น้ำผสมกรด) จะกำจัดสารปนเปื้อนประเภท แคลเซียม และแมกนีเซียมได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - สูญเสียไบโอดีเซลระหว่างการล้างเนื่องจากเกิดอิมัลชันขึ้นในกระบวนการ ทำให้การแยกไบโอดีเซลจากน้ำได้ยาก - เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อน - เพิ่มต้นทุนและระยะเวลาการผลิต
การล้างแบบแห้ง	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้น้ำ - ลดปริมาณกลีเซอรอลอิสระ เมทานอล และสบู่ - ประหยัดเวลาและพลังงานในการผลิต 	<ul style="list-style-type: none"> - สิ้นเปลืองวัสดุที่นำมาดูดซับ - ต้องการวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพและมีคุณภาพ - อาจมีสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนปนเปื้อนในไบโอดีเซล - คุณสมบัติของไบโอดีเซลบางตัวเกินมาตรฐานที่กำหนด
การใช้เมมเบรน	<ul style="list-style-type: none"> - ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์สูง - ใช้พลังงานในระบบน้อย - ไม่เกิดอิมัลชัน และไม่ก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการ - ลดต้นทุนในกระบวนการแยกและกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ 	<ul style="list-style-type: none"> - เมมเบรนประเภทสารอินทรีย์มีโครงสร้างไม่แข็งแรง ความสมดุลต่ำ - ไม่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ - ถ้ามีสารปนเปื้อนมากจะเกิดการอุดตันได้ง่าย

ที่มา: Berrios และ Skelton (2008), Leung และคณะ (2010), Atadashi และคณะ (2012)

นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวิธีการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยสารเคมีหรือตัวทำละลายอื่นๆ ได้แก่

2.3.4.4 ของเหลวไอออนิก (Ionic Liquids: ILs)

ของเหลวไอออนิก เป็นเกลือจำพวกหนึ่งที่มีไอออนลบในโมเลกุลเป็นสารอินทรีย์ และไอออนบวกซึ่งเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ มีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเกลือทั่วไปที่มีสภาพหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง ของเหลวไอออนิกเป็นสารเคมีสีเขียวกลุ่มใหม่ที่ออกแบบและสังเคราะห์ขึ้น เพื่อลดการใช้หรือสังเคราะห์ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นสารที่เป็นพิษและก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากลักษณะเฉพาะจากการสังเคราะห์ขึ้นมา โครงสร้างของของเหลวไอออนิกจะมีขนาดใหญ่และไม่สมมาตรเมื่อเปรียบเทียบกับเกลือทั่วไป (Welton, 1999; Velkenburg และคณะ, 2006) โครงสร้างของของเหลวไอออนิกแสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 เปรียบเทียบโครงสร้างของของเหลวไอออนิก (ซ้าย) กับเกลือโซเดียมคลอไรด์ (ขวา)
ที่มา: <http://upload.wikimedia.org>

ในการศึกษาของ Hayyan และคณะ (2010) ใช้เกลือแอมโมเนียม (โคลินคลอไรด์) ซึ่งเป็นของเหลวไอออนิก ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย เพื่อสกัดกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของ DES กับไบโอดีเซลที่แยกกลีเซอรอลได้ดีที่สุดคือ 1:1 และส่วนประกอบของ DES ที่เหมาะสมคือ 1:1 (เกลือแอมโมเนียม:

กลีเซอรอล) ซึ่งทำให้ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลอยู่ในมาตรฐาน EN 14214 และ ASTM D 6751

คุณสมบัติของของเหลวไอออนิกจะขึ้นอยู่กับการแทนที่ของประจุบวกและประจุลบของสาร โดยของเหลวไอออนิก สามารถเป็นได้ทั้งกรด เบส สารที่ชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำ และสารที่ละลายได้ในน้ำ มีความดันไอต่ำ ไม่ใช่ของเหลวไวไฟ มีเสถียรภาพทางความร้อน คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ความสามารถในการละลายแตกต่างกันในสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ ทำให้ของเหลวไอออนิกได้รับความสนใจเพื่อทำหน้าที่แทนตัวทำละลายอินทรีย์ระเหยง่ายแบบดั้งเดิม (Huddleston และคณะ, 1998; 2001) จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น เป็นเคมีสังเคราะห์, ตัวเร่งปฏิกิริยา, ใช้ในเทคโนโลยีการแยก เป็นต้น การที่เกลือสามารถอยู่ในรูปของของเหลวที่อุณหภูมิห้องได้เนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งมีแรงน้อยกว่าพันธะไอออนิก ทำให้เกลืออื่นๆทั่วไปยังคงสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และสามารถหลอมเหลวได้เมื่ออยู่ในอุณหภูมิสูง เช่น โซเดียมคลอไรด์

จากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ที่กล่าวมาข้างต้น การล้างด้วยน้ำเป็นวิธีที่นิยมใช้ เพราะเป็นวิธีการที่สะดวกและไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล ทั้งยังมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในชุมชนและอุตสาหกรรม แต่การล้างไบโอดีเซลให้สะอาดต้องใช้น้ำปริมาณมาก ทำให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นอิมัลชัน เนื่องจากการปนเปื้อนของสบู่ที่เกิดจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Gerpen, 2005; Saleh และคณะ, 2010) เมื่อปล่อยน้ำเสียสู่ภายนอกจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จะก่อให้เกิดน้ำเสียประมาณ 10 ลิตร (Karaosmanoglu และคณะ, 1996; Demisbas และคณะ, 2003)

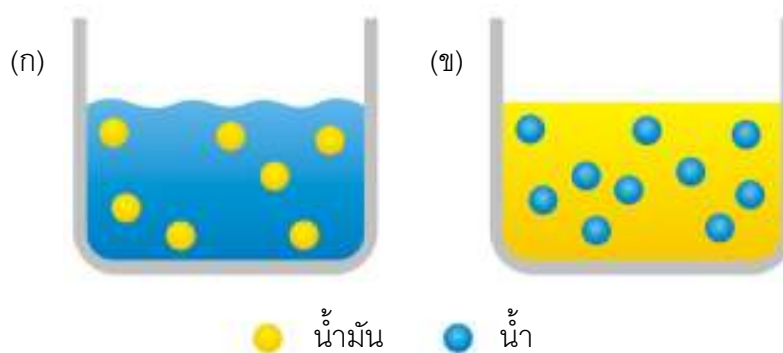
การรายงานของ Jurawat และคณะ (2010) พบว่าประเทศไทยมีการผลิตไบโอดีเซลประมาณ 350,000 ลิตรต่อวัน ก่อให้เกิดน้ำเสียมากกว่า 70,000 ลิตรต่อวัน ซึ่งปนเปื้อนด้วยสารต่างๆ จากการทำปฏิกิริยา และมีสภาพเป็นอิมัลชัน ทำให้คุณภาพของน้ำเปลี่ยนไป เช่น น้ำมี pH สูงขึ้นเนื่องจากสบู่, ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยา, ปริมาณของแข็งแขวนลอย เป็นต้น ซึ่งการบำบัดน้ำจะทำได้ยากและเมื่อมีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจะไปยังยังการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ

2.4 อิมัลชันของน้ำและน้ำมัน

2.4.1 ลักษณะของอิมัลชัน

อิมัลชันเป็นลักษณะการกระจายตัวของคอลลอยด์ เกิดจากของเหลวสองชนิดที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันไม่ได้ ในสภาวะปกติเมื่อนำมารวมจะแยกกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงตึงระหว่างผิวขึ้น แต่เมื่อมีการเขย่าหรือการกวน ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวที่กระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ ของเหลวจะผสมเป็นเนื้อเดียวกันแค่ชั่วคราว และจะแยกชั้นเหมือนเดิม เช่น ไขมันหรือน้ำมันซึ่งเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วจะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันกับน้ำ

วิธีการทำให้น้ำมันกับน้ำรวมกันได้ต้องใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์สารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเกาะที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับน้ำมัน สามารถเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ และอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน โดยจะทำให้อนุภาคของน้ำมันสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำ หรืออนุภาคของน้ำแขวนลอยในน้ำมันได้ (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 ลักษณะของอิมัลชัน

(ก) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (ข) อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/emulsion.jpg>

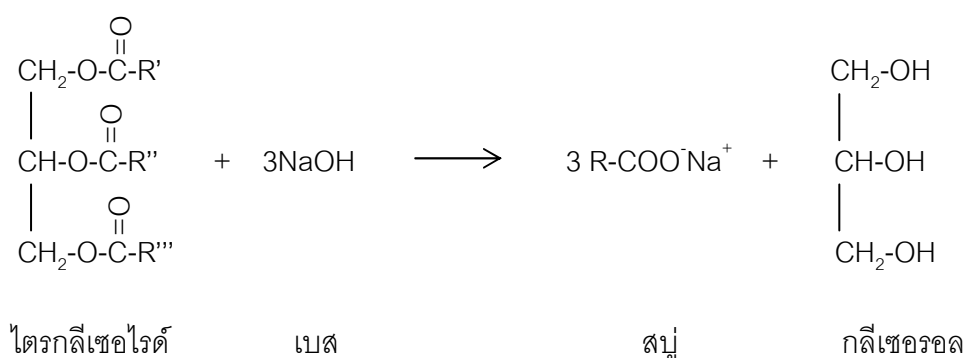
2.4.2 อิมัลซิฟายเออร์

อิมัลซิฟายเออร์ เป็นสารที่สามารถลดแรงตึงผิวได้ ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้อนุภาคของของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกันรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากการละลายของสารผสมจะเกิดจากความต่างขั้วกัน ดังนั้นเพื่อให้สารสามารถผสมกันได้ ต้องใช้สารที่มี

โครงสร้างด้านหนึ่งมีขั้ว และอีกด้านหนึ่งไม่มีขั้ว ตัวอย่างของสารอิมัลซิฟายเออร์ของน้ำและน้ำมัน ได้แก่ สบู่ ซึ่งจะทำให้เกิดการรวมกันของน้ำและน้ำมันได้

2.4.3 สบู่

สบู่เป็นสารที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน โดยใช้ไขมันพืชกับเบสเป็นวัตถุดิบตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือสบู่และกลีเซอรอล ตามภาพที่ 2.11 โดยลักษณะของสบู่ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเบสที่ใช้ (ตรัยรัตน์ อ.วิคุณประเสริฐ, 2554; Wade, 2010)

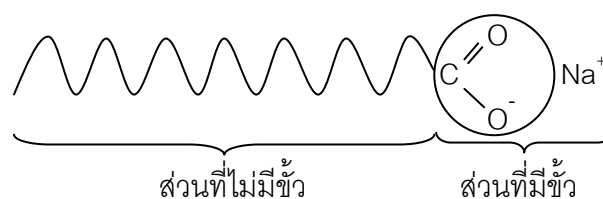


ภาพที่ 2.11 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา: http://ebook.nfe.go.th/nfe_ebook/data_o_ebook/html/021/144.files/image002.jpg

2.4.3.1 โครงสร้างของสบู่

โมเลกุลของสบู่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เป็นส่วนที่มีขั้ว สามารถละลายได้ดีในน้ำ เป็นส่วนของเกลือโซเดียมคาร์บอกซิเลตหรือโพแทสเซียมคาร์บอกซิเลต และส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว มีลักษณะเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน โครงสร้างเช่นนี้ เรียกว่า Amphiphile (ภาพที่ 2.12) เมื่อละลายในน้ำจะรวมตัวกัน

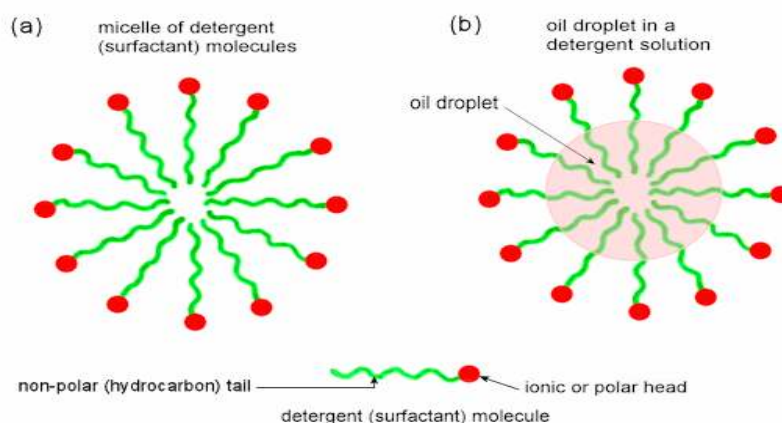


ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของสบู่

ที่มา: <http://dc218.4shared.com/doc/XZe3D2JF/preview.html>

2.4.3.2 การทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์

เนื่องจากในโครงสร้างของสบู่ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยส่วนหัวที่มีขั้วจะหันเข้าหาน้ำ และส่วนหางจะหันเข้าหาน้ำมันซึ่งไม่ละลายในน้ำ ดังนั้นสบู่จึงทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้น้ำกับน้ำมันรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยสบู่จะอยู่ที่ผิวสัมผัสของสารแล้วโมเลกุลของสบู่จำนวนหนึ่งยังสามารถเกาะกลุ่มกันเองในน้ำโดยรวมส่วนหางซึ่งไม่ชอบน้ำเข้าหากันสร้างเป็นอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กระดับนาโนเมตร ทำให้เกิดเป็นหยดน้ำมันเล็กๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำเรียกว่าไมเซลล์ (ภาพที่ 2.13)



ภาพที่ 2.13 ลักษณะของไมเซลล์ของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ

ที่มา: <http://www.scidatdaruni.org/images/micelle.gif>

อิมัลชันสามารถสลายตัวโดยผ่านทางหลายกลไกด้วยกัน ได้แก่ การลอยตัวและแยกชั้นของอนุภาคน้ำมัน (creaming), การเกาะกลุ่มกันของอนุภาคน้ำมัน (flocculation), การรวมตัวกันของอนุภาคน้ำมันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น (coalescence), และการเกิดออกสวัสตร์ิฟเพนนิ่ง (Ostwald ripening)

2.5 น้ำทะเล

น้ำทะเล คือน้ำเค็มในทะเลหรือมหาสมุทร ซึ่งปกคลุมผิวโลกประมาณสามในสี่ส่วนของแหล่งน้ำตามธรรมชาติทั้งหมด คิดเป็นประมาณร้อยละ 97.2 ของน้ำบนผิวโลกทั้งหมด โดยทั่วไปจะมีความเค็มเฉลี่ยประมาณ 35 ส่วนในพันส่วน (parts per thousand: ppt) โดยในทุกๆ 1 ลิตรของน้ำทะเลจะมีเกลือละลายอยู่ 35 กรัม ความหนาแน่นของน้ำทะเลมีค่าอยู่ระหว่าง 1,020 – 1,030 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

2.5.1 องค์ประกอบของธาตุและสารประกอบในน้ำทะเล

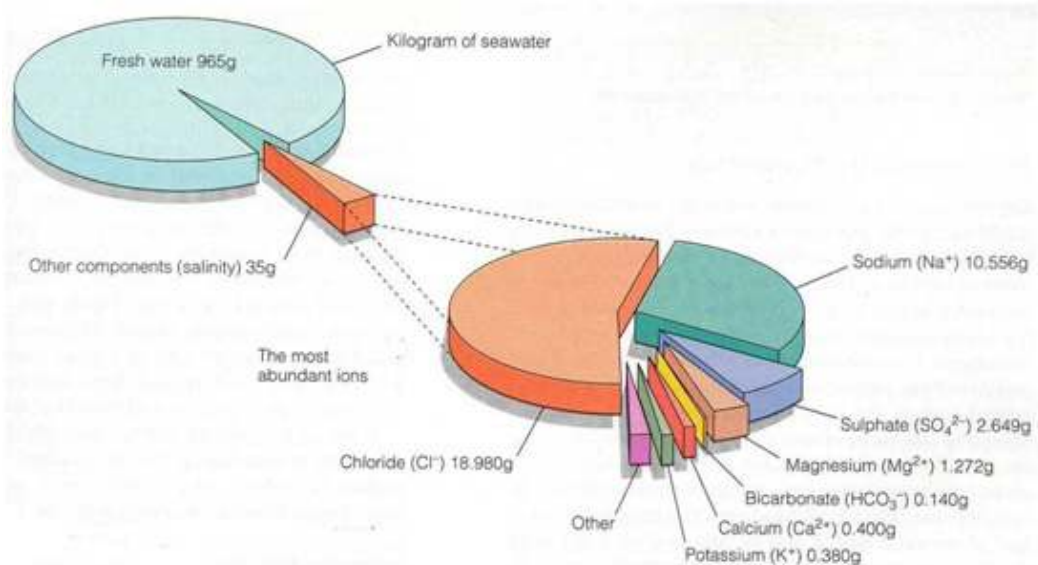
น้ำทะเลประกอบด้วย น้ำคิดเป็นร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก และส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 3.5 จะเป็นสารต่างๆที่ละลายในน้ำทะเล (ภาพที่ 2.14) และเนื่องจากคุณสมบัติของน้ำในการเป็นตัวทำละลายที่ดี ทำให้เกลือหลายชนิดสามารถละลายได้ ความเค็มของน้ำทะเลเกิดจากเกลือที่ละลายในน้ำ ซึ่งเกลือที่ละลายน้ำจะอยู่ในรูปของไอออนบวกหรือไอออนลบ (Duxbury และคณะ, 2002) ทำให้น้ำทะเลมีคุณสมบัติเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolytic solution) โดยสามารถจำแนกองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในน้ำทะเลออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

2.5.1.1 กลุ่มที่มีปริมาณมาก (major constituents)

ธาตุที่สำคัญมีอยู่ 6 ชนิด เกลือของธาตุเหล่านี้เมื่อนำมารวมกันจะคิดเป็น 99.9 เปอร์เซ็นต์ของเกลือที่ละลายในทะเลทั้งหมด ได้แก่ Chloride (Cl^-), Sodium (Na^+), Sulphate (SO_4^{2-}), Magnesium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}) และ Potassium (K^+) เท่ากับ 55.07, 30.62, 7.72, 3.68, 1.17 และ 1.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งจะพบโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนรวมกันประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ของไอออนเกลือที่มีอยู่ในน้ำ (Duxbury และคณะ., 2002) (ตารางที่ 2.6)

2.5.1.2 กลุ่มที่มีปริมาณน้อย (minor constituents)

ธาตุที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ppm โดยน้ำหนัก ธาตุในกลุ่มนี้จะมีปริมาณน้อยในธรรมชาติ ซึ่งจะไม่ผลต่อการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำทะเล แต่มีความสำคัญในขบวนการเกี่ยวกับอินทรีย์ และชีวเคมีที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรทำให้ปริมาณไม่คงที่ อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลง ได้จึงจัดว่าเป็น nonconservative constituents ส่วนสารในกลุ่มที่มีปริมาณมากจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่จึงจัดว่าเป็น conservative constituents (ตารางที่ 2.7)



ภาพที่ 2.14 สัดส่วนของเกลือในน้ำทะเล และสัดส่วนของไอออนต่างๆที่ละลายในน้ำทะเล
ที่มา: Garrison (2007)

ตารางที่ 2.6 ธาตุกลุ่มที่มีปริมาณมากในน้ำทะเล

ไอออน	กรัม/กิโลกรัม หรือ ppt	อัตราส่วนที่คงที่ กรัม/กิโลกรัม/ Cl %
คลอไรด์, Cl ⁻	19.353	-
โซเดียม, Na ⁺	10.762	0.5561
ซัลเฟต, SO ₄ ²⁻	2.709	0.1400
แมกนีเซียม, Mg ²⁺	1.293	0.0668
แคลเซียม, Ca ²⁺	0.411	0.02125
โพแทสเซียม, K ⁺	0.399	0.0206

*หมายเหตุ องค์ประกอบปริมาณมากในน้ำทะเลที่ความเค็ม 35‰ และอัตราส่วนที่คงที่เมื่อเทียบกับค่าคลอไรด์
ที่มา: Riley และ Chester (1971)

ตารางที่ 2.7 ธาตุกลุ่มที่มีปริมาณน้อยในน้ำทะเล

ไอออน	กรัม/กิโลกรัม หรือ ppt	อัตราส่วนที่คงที่ กรัม/กิโลกรัม/ CI %
โบรไมด์, Br ⁻	0.0673	0.00348
สตรอนเทียม, Sr ²⁺	0.0079	0.00041
โบรอน, B ⁺	0.00445	0.00023
ฟลูออไรด์, F ⁻	0.00128	6.67 × 10 ⁻⁵

*หมายเหตุ องค์ประกอบปริมาณมากในน้ำทะเลที่ความเค็ม 35‰ และอัตราส่วนที่คงที่เมื่อเทียบกับค่าคลอไรด์ที่
ที่มา: Riley และ Chester (1971)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมธวัจน์ รุ่งศิริวรพงศ์ (2552) ศึกษาการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้ตัวดูดซับร่วมกับ
และสารละลายเกลืออิมิตัว โดยสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ทำการล้างไบโอดีเซลด้วย
สารละลายเกลืออิมิตัว 3 ชนิด ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ และเพอร์ริกซัลเฟต
พบว่าสารละลายเกลืออิมิตัวที่ดีที่สุดคือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อทำการล้างที่อัตราส่วนระหว่าง
ไบโอดีเซลต่อสารละลายเกลืออิมิตัวของโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 1:1 เป็นเวลา 30 วินาที สามารถ
ลดปริมาณสบู่จาก 3500 ppm เหลือ 28 ppm โดยในขั้นตอนนี้สารละลายหลังการล้างไม่มี
อิมัลชันเกิดขึ้นจากการล้าง จากนั้นนำไบโอดีเซลมาดูดซับ โดยซิลิกาเจล ถ่านกัมมันต์ และดิน
กัมมันต์ กระบวนการนี้ให้คุณภาพของไบโอดีเซลเทียบเท่ากับกระบวนการล้างด้วยน้ำ และมี
ปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมดตามมาตรฐานที่กำหนด

อเนก สาระอินทร์ และคณะ (2553) ศึกษาการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยการเติม
เกลืออะลูมิเนียม ในการทำลายเสถียรภาพและลดสภาพอิมัลชันของน้ำเสียจากการผลิต
ไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวมีการปนเปื้อนด้วยสบู่ ทำให้น้ำมันและน้ำรวมตัวกันเป็น
คอลลอยด์แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไบโอดีเซล โดยเกลืออะลูมิเนียมที่ใช้ในการ
ทดลองคือ สารส้ม และโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ผลการศึกษาพบว่า สารทั้งสองชนิดมี
ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างตะกอนกับไขมันและน้ำมันออกจากน้ำ
ล้างทำให้เกิดเป็นชั้นน้ำใส นอกจากนี้การใช้สารส้มทำให้ค่าไขมันและน้ำมัน ค่าซีไอดี และค่า

ของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 97, 60, และ 97 ในขณะที่การใช้โพสโอะลูมิเนียมคลอไรด์ สามารถลดได้ร้อยละ 99, 70, และ 97 ตามลำดับ

Lin และคณะ (2005) ศึกษาความสามารถในการละลายของสบู่โซเดียมในสารละลายเกลือ โดยเปรียบเทียบระหว่างเกลืออนินทรีย์ (โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมเปอร์คลอเรต) กับเกลืออินทรีย์ (เตตระอัลคิลแอมโมเนียมโบรไมด์) ผลการทดลองพบว่า โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมเปอร์คลอเรต มีคุณสมบัติ salting-out ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของสบู่โซเดียมออกจากน้ำ ความเข้มข้นของสบู่ในน้ำลดลง ในขณะที่เตตระอัลคิลแอมโมเนียมโบรไมด์ มีคุณสมบัติ salting-in ทำให้ความเข้มข้นของสบู่ในน้ำเพิ่มขึ้น

Refaat และคณะ (2008) ศึกษาภาวะที่เป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว เพื่อลดต้นทุนการผลิตและลดของเสียและมลพิษที่เกิดจากน้ำมันที่ใช้แล้ว ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล (1:3, 1:6, และ 1:9) ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH และ NaOH, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันวัตถุดิบ) ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1-3 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส หลังปฏิกิริยาสิ้นสุดแยกกลีเซอรอลออก และทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยน้ำอุ่น (50 องศาเซลเซียส) ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลคือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันวัตถุดิบ) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ร้อยละของผลผลิตที่ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วเกือบใกล้เคียงกับน้ำมันพืชกลั่นบริสุทธิ์ (96.15 เปอร์เซ็นต์) โดยไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วหรือน้ำมันพืชกลั่นบริสุทธิ์มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

Kuo และ Lee (2010) ศึกษาการใช้น้ำทะเลเทียม (แหล่งของเกลือ NaCl และ $MgSO_4$) ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟเพื่อทำลายเสถียรภาพของอิมัลชัน 3 ชนิด ได้แก่ 1) น้ำมันในน้ำ 2) อิมัลชันของน้ำมันมะกอก 3) อิมัลชันของน้ำมันในน้ำผสมกับน้ำมันมะกอก ตามลำดับ โดยศึกษาลักษณะของอิมัลชัน และผลของคลื่นไมโครเวฟต่ออัตราการทำลายเสถียรภาพของอิมัลชัน และประสิทธิภาพในการแยกอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ การใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่ 700 วัตต์ ฉายรังสีเป็นระยะเวลา 40 วินาที ระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ 60 นาที หลังจากเติมน้ำทะเลเทียม 12, 32, และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ จะได้ประสิทธิภาพการแยกจากการทำลายอิมัลชัน 93.1, 92.5, และ 93.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสรุปได้

ว่าเสถียรภาพของอิมัลชันจะไวต่อการเปลี่ยนแปลง pH คือถ้า pH ของสารละลายลดลง ประสิทธิภาพของการทำลายเสถียรภาพของอิมัลชันจะเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น

Hayyan และคณะ (2010) ใช้เกลือแอมโมเนียม (โคลินคลอไรด์) ซึ่งเป็นของเหลวไอออนิก ทำหน้าที่เป็นตัวทำลาย เพื่อสกัดกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มผ่าน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะศึกษาผล ของอัตราส่วนของตัวทำลาย กับไบโอดีเซล และส่วนประกอบของ DES ต่อประสิทธิภาพการสกัด ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของ DES กับไบโอดีเซลที่แยกกลีเซอรอลได้ดีที่สุดคือ 1:1 และ ส่วนประกอบของ DES ที่เหมาะสมคือ 1:1 (เกลือแอมโมเนียม : กลีเซอรอล) ซึ่งทำให้ปริมาณ กลีเซอรอลในไบโอดีเซลอยู่ในมาตรฐาน EN 14214 และ ASTM D 6751

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำทะเลในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ และเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำ รวมถึงการป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำล้าง ลดปริมาณการใช้น้ำและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

3.1 สารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

- น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

3.1.2 สารเคมี

- เมทานอล: analytical grade; Merck
- โซเดียมไฮดรอกไซด์: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- กรดไฮโดรคลอริก: analytical grade; Merck
- 2-โพรพานอล: commercial grade;
- โทลูอีน: analytical grade; Merck
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- สารมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
- เอทานอล: analytical grade; Merck
- โบรโมฟีนอลบลู: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- ฟีนอลเรด: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- ฟีนอล์ฟทาลีน: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- เฮปแทน: analytical grade; Merck
- p-Naptholbenzein
- EN 14105 standard and internal standard solution: analytical grade; Sigma-Aldrich
- MSTFA: derivatization grade; Sigma-Aldrich

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography): Varian CP-3800
- เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน: EYELA SB-651
- เครื่องปั่นเหวี่ยง: sigma 4-15
- อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดเขย่า: Memmert WB-22
- เครื่องเขย่า: GFL-306
- เครื่องให้ความร้อน: IKA Model C-MAGH S7
- เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง: Precisa-BJ 1000 c
- เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง: METTER TOLEDO AB204-5
- เครื่องวัดความเค็ม
- กระดาษกรอง เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร: Whatman
- ชุดการกลั่น
- ชุดเครื่องแก้ว

3.2 ตัวอย่างน้ำทะเลที่ใช้ในการวิจัย

ตัวอย่างน้ำทะเลที่นำมาใช้ในการวิจัย เป็นน้ำทะเลที่มีความเค็ม 120‰ โดยเป็นน้ำทะเลสำหรับเจือจางเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยง ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมน้ำทะเล

ทำการกรองน้ำทะเลเพื่อคัดแยกเอาเศษผงที่แขวนลอยในน้ำทะเลออก หลังจากนั้น ทำการเตรียมน้ำทะเล 4 ความเค็มสำหรับการนำมาใช้ในการทดลอง โดยการเจือจางน้ำทะเลความเค็ม 120‰ ด้วยการเติมน้ำปราศจากไอออน แล้วปรับปริมาตรเพื่อให้ได้ น้ำทะเลที่มีความเค็มเท่ากับ 30, 60, 90, และ 120‰ วัดความเค็มของน้ำทะเลหลังการเจือจางด้วยเครื่องวัดความเค็ม

3.3.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับเมทานอล เท่ากับ 1:6 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ชั่งน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 500 กรัม ลงในขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร นำไป ต่อกับเครื่องควมแน่น ให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ประมาณ 5-10 นาที ขณะเดียวกันละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมในเมทานอล 144.8 มิลลิลิตร (วิธีการคำนวณอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลแสดงในภาคผนวก ก) แล้วเติมลงใน น้ำมันปาล์มที่อุ่นไว้ช้าๆ ทำการกวนผสมด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 90 นาที ในขณะที่ทำ ปฏิกิริยาต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้ เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำของผสมที่ ได้จากการทำปฏิกิริยาเทลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ของผสมแยกชั้น หลังจากนั้นแยกกลีเซอรอลซึ่งอยู่ที่ชั้นล่างออก เก็บไบโอดีเซลที่ชั้นบนไว้เพื่อนำไปทำการทดลองใน หัวข้อถัดไป

3.3.3 การศึกษาปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้

นำไบโอดีเซลจากข้อ 3.3.2 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างไบโอดีเซล ที่ ระยะเวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, และ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอล ตามวิธีการ ไทเทรตในข้อ 3.3.6.1

3.3.4 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการ ใช้น้ำทะเล

3.3.4.1 ผลของอุณหภูมิในการล้าง

นำไบโอดีเซลจากข้อ 3.3.2 มา 50 มิลลิลิตรล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90, และ 120 ‰ ที่อุณหภูมิห้อง และที่ 50 °C โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซล กับน้ำทะเลเท่ากับ 1:1 เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีเพื่อให้ของผสมแยกชั้น เก็บตัวอย่าง ไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมารอง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอล ตามวิธีการไทเทรตในข้อ 3.3.6.1

3.3.4.2 ผลของระยะเวลาในการเขย่า

นำไบโอดีเซลจากข้อ 3.3.2 มา 50 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90, และ 120% โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลกับน้ำทะเล เท่ากับ 1:1 หลังจากนั้นทำการเขย่าที่อุณหภูมิที่เหมาะสม จากข้อ 3.3.4.1 เป็นระยะเวลา 15, 30, 60 (1 นาที), 180 (3 นาที), 300 (5 นาที), และ 600 วินาที (10 นาที) ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ของผสมแยกชั้น เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมารอง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอล ตามวิธีการไทเทรตในข้อ 3.3.6.1

3.3.4.3 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างไบโอดีเซลและน้ำทะเล

นำไบโอดีเซลจากข้อ 3.3.2 มา 50 มิลลิลิตรล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90, และ 120% โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลกับน้ำทะเล เท่ากับ 10:1, 9:1, 8:1, 7:1, 6:1, 5:1, 4:1, 3:1, 2:1, 1:1, และ 1:2 ตามลำดับ ทำการล้างที่อุณหภูมิที่เหมาะสม จากข้อ 3.3.4.1 ด้วยระยะเวลาเขย่าจากข้อ 3.3.3.2 ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ของผสมแยกชั้น เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมารอง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอล ตามวิธีการไทเทรตในข้อ 3.3.6.1

3.3.4.4 ผลของเมทานอลในไบโอดีเซลต่อการล้าง

หลังจากแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลแล้ว แบ่งไบโอดีเซลจากข้อ 3.3.2 ไปกำจัดเมทานอลที่คงเหลือในไบโอดีเซลโดยการใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน ประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไบโอดีเซลที่กำจัดเมทานอลแล้ว 50 มิลลิลิตร มาล้างด้วยน้ำทะเล ที่อุณหภูมิ, ระยะเวลาการเขย่า, และอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำทะเลที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.1-3.3.4.3 ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ของผสมแยกชั้น เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมารอง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอล ตามวิธีการไทเทรตในข้อ 3.3.6.1

3.3.4.5 การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำ

นำไบโอดีเซลจากข้อ 3.3.2 มา 50 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสครั้งละ 50 มิลลิลิตร ทำการล้างซ้ำจนกว่าไบโอดีเซลและน้ำ

หลังจากการล้างจะใส ๑๑ ปริมาตรน้ำที่ใช้ในการล้าง เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอล ตามวิธีการไทเทรตในข้อ 3.3.6.1

3.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้น้ำทะเลล้างซ้ำ

จากการทดลอง 3.3.4 จะได้ความเค็มของน้ำทะเล คุณหมุมในการล้าง ระยะเวลาการเขย่า และอัตราส่วนโดยปริมาตรที่เหมาะสม หลังจากนั้นทำการทดลองโดยนำน้ำทะเลมาใช้ซ้ำ โดยเมื่อล้างครั้งแรกแล้ว กรองน้ำจากการล้างเพื่อนำมาล้างไบโอดีเซลตัวถัดไป ทำซ้ำจนใช้น้ำทะเลล้างซ้ำครบ 5 ครั้ง ในแต่ละครั้งของการล้างเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมากรอง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอรอล ตามวิธีการไทเทรตในข้อ 3.3.6.1

3.3.6 การวิเคราะห์ไบโอดีเซล

3.3.6.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลโดยวิธีการไทเทรชัน

การวิเคราะห์หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือและปริมาณกลีเซอรอล มีวิธีการ ดังนี้

1) ชั่งตัวอย่างไบโอดีเซล 10 กรัม (ถ้าเป็นไบโอดีเซลที่ยังไม่ผ่านการล้าง ชั่ง 5 กรัม) ละลายใน 2-โพรพานอล 100 มิลลิลิตร เติม 1% ฟีนอลเรด ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลายแล้วนำไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลือง กำหนดปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต มีค่าเป็น "A"

2) หลังจากนั้นเติม 0.04% โบรโมฟีนอลบลู ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย และนำไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง กำหนดปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต มีค่าเป็น "B"

3) นำค่า A และ B ไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือและปริมาณกลีเซอรอล (การเตรียมสารเคมีและวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข)

3.3.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมดโดยการ ใช้เทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี

การหาปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด โดยการให้เครื่อง
แก๊สโครมาโทกราฟี CP-3800 Varian ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน EN14105 โดยใช้
Flame Ionization Detector (FID) เป็นตัวตรวจวัด มีรายละเอียดอุปกรณ์ดังนี้

- อินเจคเตอร์ : on-column, 1 μ L, reversed liner
- คอลัมน์ : Glycerides Ultimetel (Varian) 10m x 0.32 mm(ID) x
0.1 μ m (film thickness) with guard column 2m x 0.53 mm(ID)
- ดีเทคเตอร์ : FID, 380 องศาเซลเซียส

การเตรียมไบโอดีเซลเพื่อวิเคราะห์ ทำโดยการชั่งตัวอย่างไบโอดีเซล 100
มิลลิกรัม (\pm 0.1 มิลลิกรัม) ในขวดแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร เติม internal standard¹ และ internal
standard² ปริมาณ 80 และ 100 ไมโครลิตร ตามลำดับ และเติม MSTFA 100 ไมโครลิตร ปิดฝา
ขวดทันทีและเขย่าให้เข้ากัน ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15-20 นาที หลังจากนั้นเติมเฮปเทน 8 มิลลิลิตร
ลงไป เขย่าให้เข้ากัน

ดูดสารตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร ฉีดเข้าไปในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ที่
อุณหภูมิเตาอบ (oven temperature) เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น 1 นาที อุณหภูมิจะ
เพิ่มขึ้น 15 องศาเซลเซียสต่อนาที จนเป็น 180 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 7 องศาเซลเซียสต่อนาที
เป็น 230 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 370 องศาเซลเซียส (ประมาณ 5
นาที) แก๊สตัวนำที่ใช้คือ ฮีเลียม ที่มีอัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิตรวจวัดถูกตั้งไว้ที่
380 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 36 นาที (กราฟ GC Chromatogram และการ
คำนวณปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค และ ง)

3.3.6.3 การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด (acid number)

นำตัวอย่างไบโอดีเซลไปล้างน้ำเพื่อกำจัดสบู่ส่วนที่เหลือแล้วนำไปเข้า
เครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ไบโอดีเซล น้ำ และสบู่
เกิดการแยกชั้น ดูดไบโอดีเซลที่ชั้นบนมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด ดังวิธีการดังนี้

1) ทำ blank โดยการปิเปต Titration solvent 25 มิลลิลิตร และ p-Naptholbenzein 0.125 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปไทเทรตด้วย

2) ชั่งตัวอย่างไปโอติเซล 1 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ในขวดรูปชมพู่ ปิเปต Titration solvent 25 มิลลิลิตร และ p-Naptholbenzein 0.125 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3) หลังจากนั้นนำ blank และสารผสมไปไทเทรตด้วย สารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียว จุดปริมาตรสารมาตรฐานปฐมภูมิที่ใช้ในการไทเทรตไว้ แล้วนำไปคำนวณหาค่าความเป็นกรด (การเตรียมสารเคมีและวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ)

3.3.7 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการล้างไปโอติเซล

เก็บตัวอย่างน้ำล้างไปโอติเซล น้ำทะเลทั้งก่อนและหลังการล้างไปโอติเซล สังเกตลักษณะทางกายภาพของน้ำและน้ำทะเลหลังการล้าง นำมาตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบส ความเค็ม ของแข็งทั้งหมด และซีโอติ เพื่อนำมาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนไป แล้วนำตามวิธีมาตรฐาน ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการล้างไปโอติเซล

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ความเป็นกรด-เบส	pH meter
ความเค็ม	Refractometer
ของแข็งทั้งหมด*	อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C
ซีโอติ*	วิธีฟลักซ์แบบปิด

(*วิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ฉ)

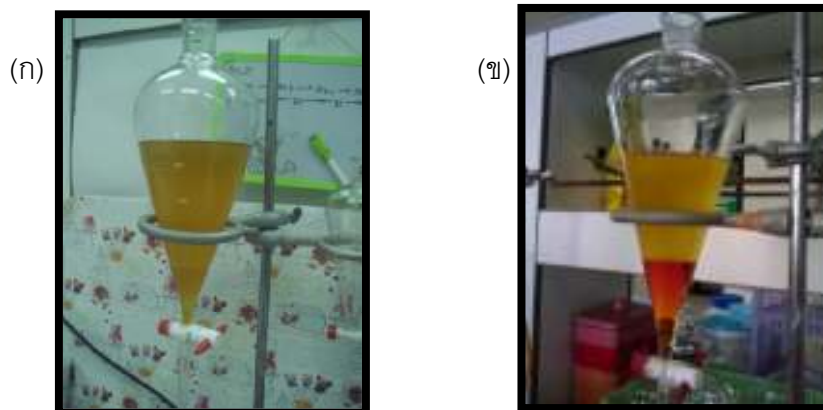
บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษาการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยการล้างด้วยน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30, 60, 90, และ 120‰ ในการทดลองเป็นการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง, ผลของระยะเวลา, และอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างของไบโอดีเซลและน้ำทะเล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล ศึกษาผลของเมทานอลในไบโอดีเซลต่อการกำจัดกลีเซอรอล และวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมดของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับการล้างด้วยน้ำ โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้

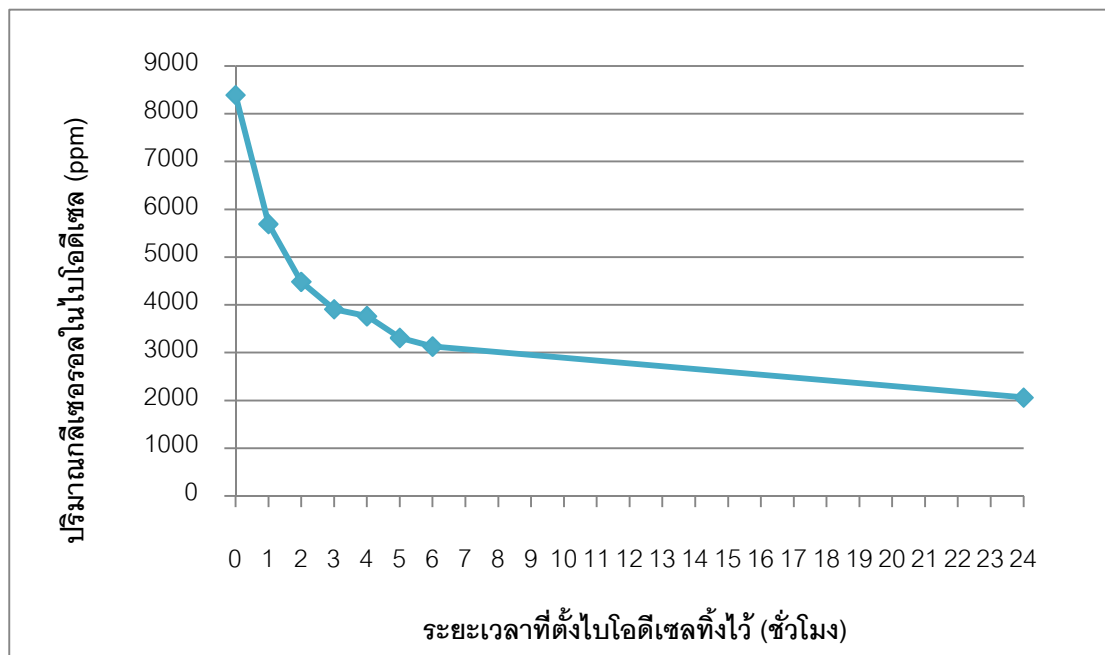
หลังจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว เปลี่ยนถ่ายผลิตภัณฑ์ที่ได้ใส่ในกรวยแยก โดยในช่วงแรกผลิตภัณฑ์ที่ได้จะยังไม่เกิดการแยกชั้น ดังแสดงในภาพที่ 4.1(ก) แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ โดยชั้นของไบโอดีเซลจะอยู่ที่ชั้นด้านบน ในขณะที่กลีเซอรอลจะอยู่ที่ชั้นด้านล่าง (ภาพที่ 4.1(ข)) เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลจากชั้นด้านบนนำมาหาปริมาณกลีเซอรอลทันที และเก็บตัวอย่างอีกครั้งหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1, 2, 3, 4, 5, 6, และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ แสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้

(ก) ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด

(ข) การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอล



ภาพที่ 4.2 ปริมาณกัลลีเซอรอลในใบชาเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4.2 แสดงปริมาณกัลลีเซอรอลในใบชาหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1, 2, 3, 4, 5, 6, และ 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าในช่วง 1 ชั่วโมงแรกปริมาณกัลลีเซอรอลจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงชั่วโมงที่ 6 ปริมาณกัลลีเซอรอลจะลดลงอย่างช้าๆ จนครบเวลา 24 ชั่วโมงที่ทำการศึกษา ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากการที่อุณหภูมิของใบชาและกัลลีเซอรอลลดลงเมื่อเวลาผ่านไปหลังจากการทำปฏิกิริยา เพราะอุณหภูมิ มีผลต่อความสามารถในการละลายของกัลลีเซอรอล (Lalita Attanatho และคณะ, 2004)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับจากการศึกษาของ Leung และคณะ (2006) ที่พบว่าหลังจากตั้งผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 10-20 ชั่วโมง ปริมาณกัลลีเซอรอลในใบชาจะลดลง และการศึกษาของ Rostami และคณะ (2011) ที่ศึกษาความสามารถในการละลายของใบชา- กัลลีเซอรอล-เมทานอล ที่อุณหภูมิ 20, 30, และ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ความสามารถในการละลายของสารทั้ง 3 ชนิดลดลง เมื่ออุณหภูมิต่ำลง และถึงแม้ว่ากัลลีเซอรอลกับใบชาจะไม่ละลายในกันและกัน แต่กัลลีเซอรอลสามารถละลายในใบชาได้ดีกว่าใบชาละลายในกัลลีเซอรอล ดังนั้นจึงมีความสามารถแยกกัลลีเซอรอลออกจากใบชาได้อย่างสมบูรณ์ โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของใบชาและ

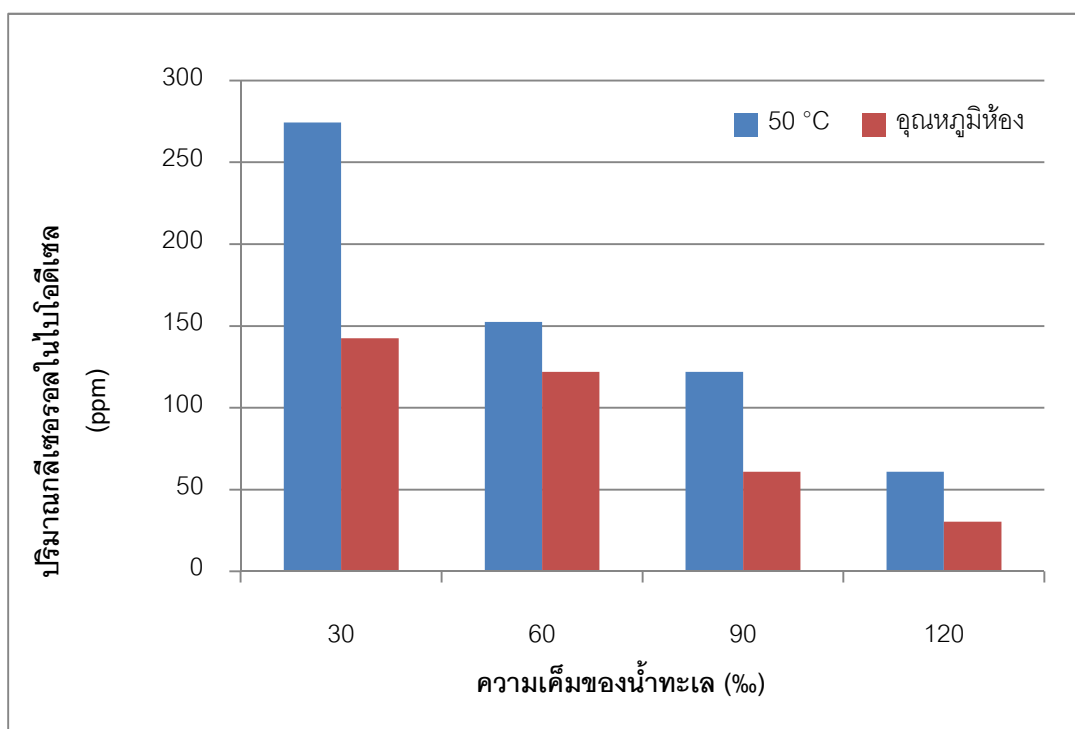
กลีเซอรอล และที่อุณหภูมิสูง กลีเซอรอลจะสามารถละลายในเมทานอลได้มากขึ้น ทำให้ขั้นตอนในกระบวนการแยกกลีเซอรอลและการทำให้บริสุทธิ์ยากขึ้น (Franca และคณะ, 2009)

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการใช้น้ำทะเล

หลังจากตั้งทิ้งให้เกิดการแยกชั้นประมาณ 15-30 นาที ทำการแยกกลีเซอรอลออก ทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซล แล้วนำไปหาปริมาณกลีเซอรอลโดยการไทเทรต พบว่าไบโอดีเซลที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีปริมาณกลีเซอรอล ประมาณ 5500 ppm เนื่องจากไบโอดีเซลที่ได้ยังมีการปนเปื้อนของสารอื่น เช่น กลีเซอรอล, เมทานอล, โซเดียมไฮดรอกไซด์, สบู่และน้ำ ซึ่งจะนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำทะเล ผลการทดลองที่ได้แสดงดังนี้

4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการล้าง

ผลของอุณหภูมิในการล้างไบโอดีเซลจะเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.3

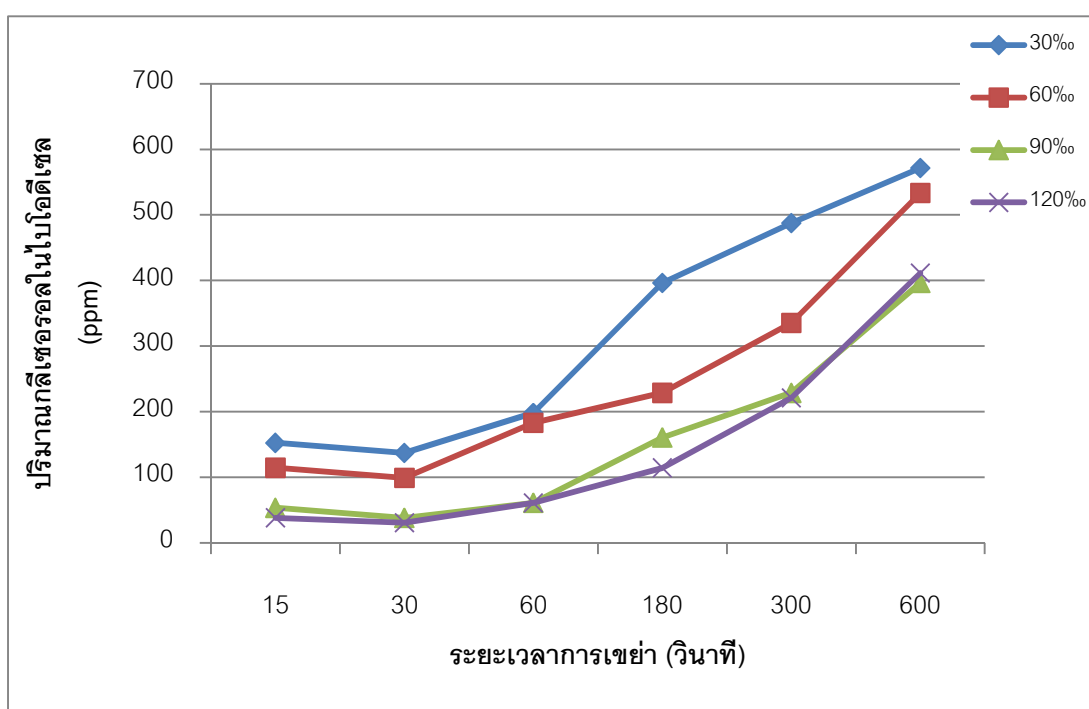


ภาพที่ 4.3 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเล แต่ละความเค็ม ที่อุณหภูมิห้อง และ 50 องศาเซลเซียส

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิในการล้างไบโอดีเซลระหว่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลที่อุณหภูมิห้อง มีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากความสามารถในการละลายของกลีเซอรอลในไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิห้องจึงมีความเหมาะสมต่อการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล

4.2.2 ผลของระยะเวลาในการเขย่า

ระยะเวลาการเขย่าที่ทำการศึกษา ได้แก่ 15, 30, 60 (1 นาที), 180 (3 นาที), 300 (5 นาที), และ 600 (10 นาที) วินาที ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำทะเลเท่ากับ 1:1 ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.4



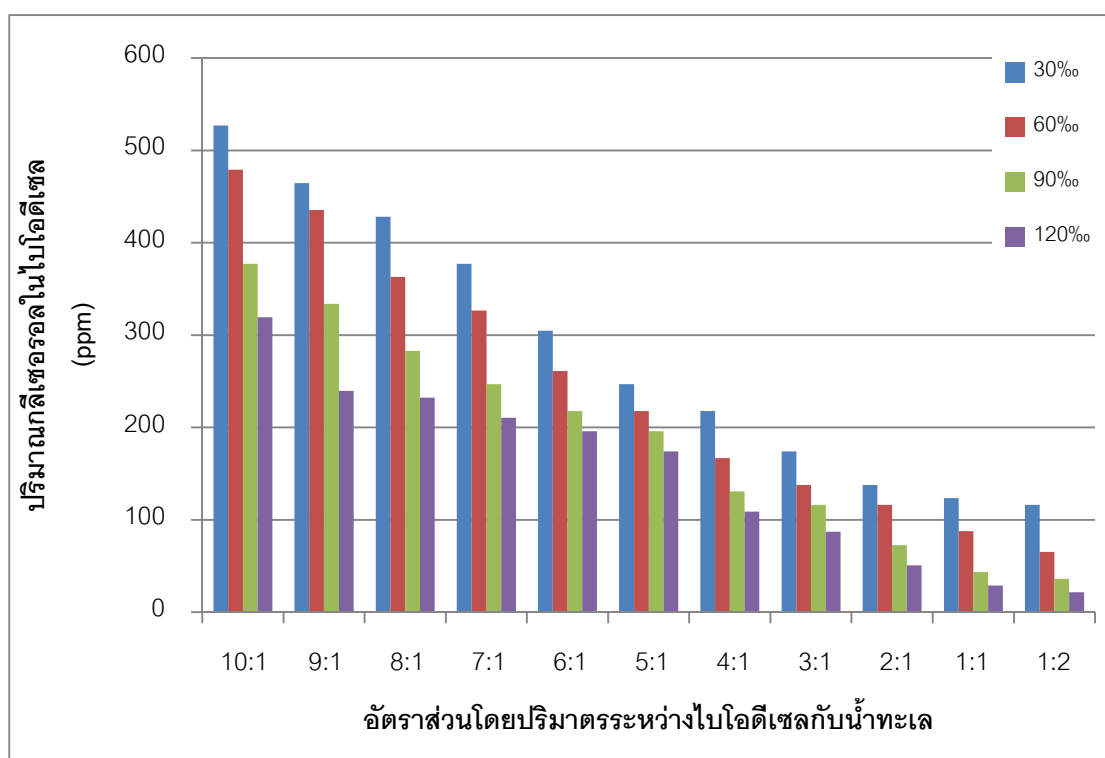
ภาพที่ 4.4 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลทั้ง 4 ความเค็ม ที่ระยะเวลาเขย่า 15 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, 3 นาที, 5 นาที, และ 10 นาที

จากภาพที่ 4.4 เมื่อพิจารณากราฟในส่วนของระยะเวลาเขย่า พบว่าหลังจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90 และ 120 % ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาเขย่านานขึ้น และระยะเวลาเขย่าที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลเหลือน้อยที่สุดคือ 15-30 วินาที

เมื่อพิจารณาผลของความเค็มต่อปริมาณกลีเซอรอล ที่ระยะเวลาเขย่าเดียวกัน พบว่า ไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30% จะมีปริมาณกลีเซอรอลที่เหลือในไบโอดีเซลมากที่สุด รองลงมาคือไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 60% ในขณะที่การล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 90 และ 120% มีปริมาณกลีเซอรอลที่เหลือในไบโอดีเซลใกล้เคียงกัน

4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างไบโอดีเซลและน้ำทะเล

ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างไบโอดีเซลและน้ำทะเลที่ทำการทดลอง ได้แก่ 10:1, 9:1, 8:1, 7:1, 6:1, 5:1, 4:1, 3:1, 2:1, 1:1 และ 1:2 โดยใช้ระยะเวลาเขย่า 30 วินาที ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็ม ตามอัตราส่วนระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำทะเลที่ต่างกัน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำทะเลในการล้างน้อยลง โดยปริมาณกลีเซอรอลที่กำหนดไม่ควรเกิน 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หรือคิดเป็นประมาณ 200 ppm ซึ่งจะเห็นว่าอัตราส่วนโดยปริมาตรที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลอยู่ในมาตรฐานของทุกความเค็ม คือ 3:1, 2:1,

1:1, และ 1:2 เมื่อพิจารณาลักษณะความขุ่นของน้ำทะเลหลังการล้าง พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างไบโอดีเซลและน้ำทะเลสูง น้ำทะเลหลังจากการล้างจะมีความขุ่นมากกว่า เพราะเป็นไปได้ที่บางส่วนของไบโอดีเซลจะถูกไฮโดรไลซ์หลังจากการล้างและการเขย่า และเพราะไบโอดีเซลเป็นสารไม่มีขั้ว เมื่อถูกล้างด้วยน้ำทะเล จะเกิดอิมัลชันซึ่งเป็นสาเหตุของความขุ่นของน้ำทะเลหลังการล้าง โดยอัตราส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90 และ 120‰ ได้แก่ 1:1 และ 1:2 ซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำเสียจากการล้าง การใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำทะเล 1:1 จะก่อให้เกิดปริมาณน้ำเสียน้อยกว่า 1:2

4.2.4 ผลของเมทานอลในไบโอดีเซล

จากผลการทดลองที่ 4.2.1-4.2.3 จะได้สภาวะการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลที่เหมาะสม คือ การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลที่อุณหภูมิห้อง ในอัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลและน้ำทะเลเท่ากับ 1:1 และใช้ระยะเวลาในการเขย่า 30 วินาที นำสภาวะดังกล่าวมาทดลองเพื่อศึกษาผลของเมทานอลต่อปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซล ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่มีและไม่มีเมทานอล เมื่อนำมาล้างด้วยน้ำทะเล และเปรียบเทียบผลกับการล้างด้วยน้ำ

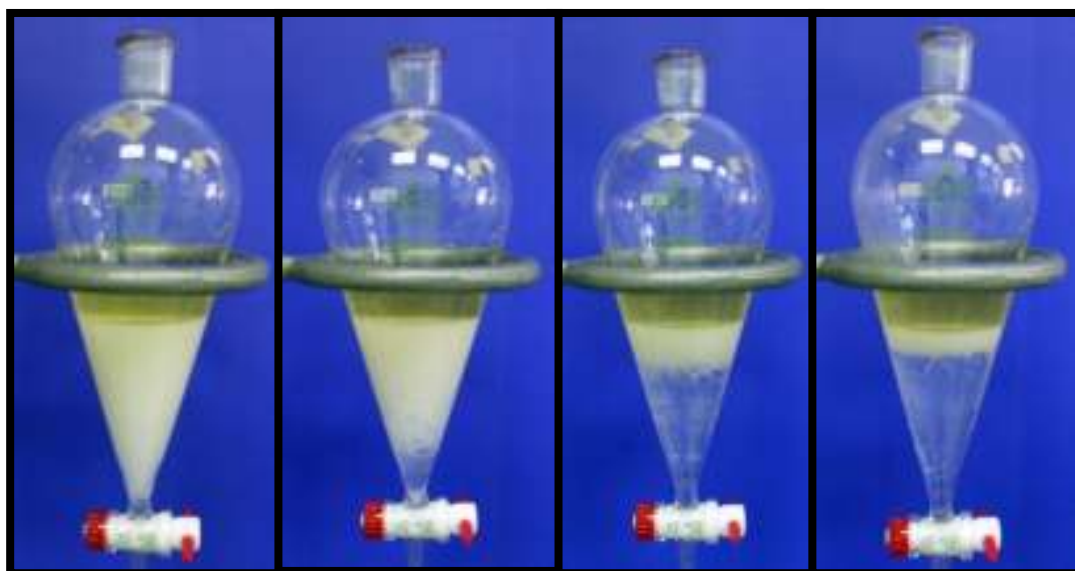
ไบโอดีเซลที่มีเมทานอล	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)	ไบโอดีเซลที่ไม่มีเมทานอล	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)
ก่อนล้าง	5500.00	ก่อนล้าง	1500
ล้างด้วย 30‰	137.16	ล้างด้วย 30‰	58.06
ล้างด้วย 60‰	99.06	ล้างด้วย 60‰	29.03
ล้างด้วย 90‰	38.10	ล้างด้วย 90‰	14.51
ล้างด้วย 120‰	30.48	ล้างด้วย 120‰	14.51
ล้างด้วยน้ำ	0.00	ล้างด้วยน้ำ	0.00

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่มีและไม่มีเมทานอล พบว่าไบโอดีเซลที่ไม่มีเมทานอลจะมีปริมาณกลีเซอรอลทั้งก่อนและหลังการล้างด้วยน้ำทะเลน้อยกว่า

ไบโอดีเซลที่มีเมทานอล แสดงว่าเมทานอลมีผลต่อปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซล สอดคล้องกับการศึกษาของ Rostami และคณะ (2011) ที่พบว่ากลีเซอรอลละลายได้ดีขึ้นเมื่อมีปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลสูง

ในการศึกษานี้จะพิจารณาสภาวะที่มีเมทานอลในไบโอดีเซล โดยพบว่าปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่มีเมทานอล เมื่อนำมาล้างด้วยน้ำทะเลภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สามารถลดปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลได้ ด้วยการล้างเพียง 1 ครั้ง และใช้ปริมาณน้ำทะเลเท่ากับปริมาณไบโอดีเซลที่จะล้าง ในขณะที่การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ ต้องใช้น้ำอุ่นในการล้างประมาณ 10 เท่าของไบโอดีเซล จึงจะสามารถกำจัดกลีเซอรอลได้หมด

จากผลการทดลองที่ 4.2.1 – 4.2.3 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90 และ 120‰ คือ การใช้ระยะเวลาการเขย่า 30 วินาที ในอัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลต่อน้ำทะเลเท่ากับ 1:1 ที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ 4.2.4 จะเห็นว่าปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลหลังจากทำการล้าง 1 ครั้ง ด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90 และ 120‰ ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลลดลงจาก 5500 เหลือ 137.16, 99.06, 38.10, และ 30.48 ppm ตามลำดับ ลักษณะของไบโอดีเซลและน้ำทะเลจากการล้างแสดงในภาพที่ 4.6



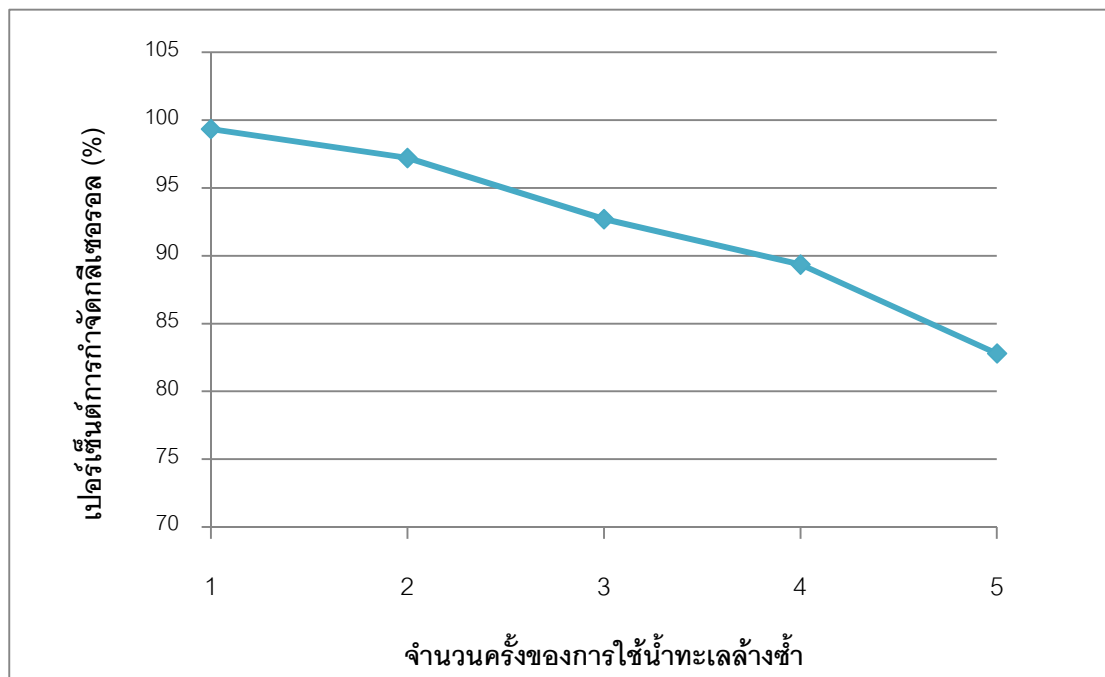
ภาพที่ 4.6 ลักษณะของไบโอดีเซลและน้ำทะเลหลังจากการล้างด้วยน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30, 60, 90, และ 120‰ (จากภาพซ้ายไปขวา) ตามลำดับ

ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะของไบโอดีเซลและน้ำทะเลหลังจากการล้างจะเห็นการแบ่งของเหลวเป็น 3 ชั้น โดยชั้นบนจะเป็นชั้นไบโอดีเซล ที่ชั้นกลางจะเป็นสบู่ที่ตกตะกอนออกมาและชั้นล่างจะประกอบไปด้วยน้ำทะเล, กลีเซอรอล, เมทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยา และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะของน้ำทะเลหลังการล้างไบโอดีเซล จะเห็นได้ว่าเมื่อความเค็มของน้ำทะเลสูงขึ้น จะตกตะกอนสบู่ออกมาจากไบโอดีเซลและน้ำล้างได้มากกว่าน้ำทะเลที่ความเค็มต่ำกว่า สังเกตได้จากลักษณะของน้ำทะเลหลังการล้างไบโอดีเซล ที่น้ำทะเลความเค็ม 120‰ น้ำทะเลหลังการล้างจะใสกว่าและเห็นการแยกชั้นได้มากกว่า ทำให้สามารถนำน้ำทะเลหลังจากการล้างไปบำบัดได้ง่ายกว่า ดังนั้นความเค็มของน้ำทะเลที่เหมาะสมในการนำมาล้างไบโอดีเซลในการศึกษาครั้งนี้คือ 120‰

ในส่วนของสบู่ที่ตกตะกอนออกมาเกิดจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดระหว่างการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การที่สบู่สามารถตกตะกอนออกจากไบโอดีเซลและน้ำล้าง แสดงว่าน้ำทะเลหรือเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลมีผลต่อการตกตะกอนและความสามารถในการละลายของสบู่ สอดคล้องกับการศึกษาของ Lin และคณะ (2005) ที่ศึกษาคุณสมบัติของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อความสามารถในการละลายของสบู่โซเดียม โดยจากการศึกษาพบว่า เมื่อเติมเกล็ดดังกล่าวลงในน้ำที่มีสบู่โซเดียมละลายอยู่ เกล็ดซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีจะแตกตัวเป็นไอออนแย่งจับกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้ความสามารถในการละลายของสบู่โซเดียมลดลง โดยจะทำให้สบู่ตกตะกอนออกมาจากน้ำ

4.3 ประสิทธิภาพของการใช้น้ำทะเลล้างซ้ำ

เมื่อได้สภาวะการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลที่เหมาะสมแล้ว คือ การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลความเค็ม 120‰ อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำทะเล คือ 1:1 ใช้ระยะเวลาการเขย่า 30 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลองโดยนำน้ำทะเลมาล้างไบโอดีเซลซ้ำภายใต้สภาวะดังกล่าว โดยเมื่อล้างครั้งแรกแล้ว กรองน้ำจากการล้างเพื่อแยกสบู่ออก และนำมาล้างไบโอดีเซลตัวถัดไป ทำซ้ำจนกระทั่งใช้น้ำทะเลล้างซ้ำครบ 5 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดกลีเซอรอลของน้ำทะเลที่นำมาใช้ซ้ำ จะคำนวณปริมาณกลีเซอรอลโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดกลีเซอรอลเนื่องจากไบโอดีเซลที่นำมาล้าง จะทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล 1 ครั้งต่อการล้าง 1 ครั้ง ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การกำจัดกลิ่นเซอรอลในไบโอดีเซลโดยใช้น้ำทะเลซ้ำในการล้างแต่ละครั้ง

จากภาพที่ 4.7 การใช้น้ำทะเลล้างไบโอดีเซลซ้ำมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดกลิ่นเซอรอลลดลง โดยครั้งที่ 1-5 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดกลิ่นเซอรอล เท่ากับ 99.34, 97.21, 92.70, 89.35, และ 82.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการนำน้ำทะเลมาใช้ซ้ำทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่นเซอรอลลดลง แต่เมื่อพิจารณาปริมาณกลิ่นเซอรอลจากการล้างแต่ละครั้งพบว่ายังอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด แสดงว่าสามารถนำน้ำทะเลมาใช้ซ้ำในการล้างไบโอดีเซลได้อย่างน้อยที่สุด 5 ครั้ง

4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph: CP-3800 Varian) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน EN 14105: 2003 และวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดโดยวิธีการไทเทรชัน ซึ่งทำการวิเคราะห์ในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90, และ 120‰ เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำและค่ามาตรฐานที่กำหนด ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.2 (กราฟ GC Chromatogram แสดงในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) และค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม) ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลที่ความเค็มต่างๆ เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำ

ตัวแปร	กลีเซอรอล	โมโน กลีเซอไรด์	ได กลีเซอไรด์	ไตร กลีเซอไรด์	กลีเซอรอล ทั้งหมด*	ค่าความ เป็นกรด**
ล้างด้วยน้ำ	0.00	0.364	0.028	-	0.105	0.0264
ล้างด้วย 30‰	0.00	0.679	0.033	-	0.178	0.0527
ล้างด้วย 60‰	0.00	0.650	0.033	-	0.198	0.0523
ล้างด้วย 90‰	0.00	0.622	0.033	-	0.163	0.0527
ล้างด้วย 120‰	0.00	0.641	0.033	-	0.168	0.0525

*วิธีการคำนวณปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด แสดงในภาคผนวก ง, หน้า 92

**วิธีการคำนวณ แสดงในภาคผนวก จ, หน้า 97

จากการวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลอิสระ ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และปริมาณกลีเซอรอลทั้งหมด และค่าความเป็นกรดในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำและน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90, และ 120‰ ที่แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมดในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำกับน้ำทะเลพบว่าปริมาณกลีเซอรอลและไดกลีเซอไรด์ในไบโอดีเซลใกล้เคียงกัน ในขณะที่ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และปริมาณกลีเซอรอลทั้งหมด ในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลมีค่าสูงกว่าแต่ปริมาณดังกล่าวไม่เกินกำหนดของมาตรฐานของไบโอดีเซลที่กำหนดซึ่งต้องมีปริมาณกลีเซอรอลอิสระ ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอลทั้งหมด และค่าความเป็นกรด น้อยกว่า 0.02, 0.8, 0.2, 0.2 และ 0.25 ร้อยละโดยน้ำหนัก และ 0.08 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม ตามลำดับ (ราชกิจจานุเบกษา, 2550)

4.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการล้างไบโอดีเซล

การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล ยังคงอยู่ในลักษณะของการล้างเปียก ซึ่งจะก่อให้เกิดน้ำเสีย หรือทำให้คุณภาพน้ำทะเลเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลหลังจากการล้าง กับการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นตามวิธีการปกติ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ และคุณภาพน้ำที่เกิดขึ้น ผลการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

4.5.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำล้างไบโอดีเซล

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)



ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง

(ก) ล้างด้วยน้ำ (ข)-(จ) ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30, 60, 90 และ 120‰ ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.8(ก) การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ ไบโอดีเซลจะมีสีเหลืองขุ่น ในขณะที่น้ำล้างที่ออกมาจากการล้างจะมีสีขาวขุ่น ไม่มีตะกอนเกิดขึ้น โดยในน้ำหลังจากการล้างจะประกอบด้วยกลีเซอรอล เมทานอล สบู่และสารปนเปื้อนอื่นๆ เนื่องจากกลีเซอรอลและเมทานอลเป็นสารประกอบที่มีขี้ มีองค์ประกอบของหมู่ ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ในขณะที่ไบโอดีเซลเป็นสารที่ไม่มีขี้ ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ แต่เมื่อมีการผสมกันอาจมีการแขวนลอยในน้ำได้ ทำให้น้ำล้างไบโอดีเซลมีลักษณะที่ค่อนข้างขุ่น (Zawadzki และ Shrestha, 2009)

อีกสาเหตุหนึ่งมาจากการปนเปื้อนของสบู่ที่เกิดจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน โดยสบู่มีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ จะทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างน้ำกับไบโอดีเซล ทำให้น้ำเสียจากการล้างไบโอดีเซลมีสภาพเป็นอิมัลชัน

ในขณะที่การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล จะสังเกตเห็นการแยกชั้นของสารผสมที่ได้เป็น 3 ชั้น (ภาพที่ 4.8(ข-จ)) โดยชั้นบนจะเป็นชั้นไบโอดีเซล จะมีสีเหลืองใส ที่ชั้นกลางจะเป็นตะกอนสีขาวขุ่น และชั้นล่างสุดจะเป็นส่วนน้ำที่ค่อนข้างใส ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำทะเล, กลีเซอรอล, เมทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยา โดยภาพที่ 4.8(ข) และ 4.8(ค) จะเห็นลักษณะของตะกอนสีขาวที่แขวนลอยอยู่ในน้ำทะเลด้านล่าง ในขณะที่ภาพที่ 4.8(ง) และ 4.8(จ) จะมีการแยกชั้นของตะกอนกับส่วนน้ำใสได้อย่างชัดเจน

ลักษณะเหล่านี้เกิดจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล ไอออนของเกลือซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำทะเล (เช่น NaCl , KCl , MgCl_2 , MgSO_4) จะแตกตัวเข้าจับและแย่งจับกับโมเลกุลของน้ำแทนที่สบู่ เนื่องจากเกลือมีคุณสมบัติในการละลายน้ำสูงกว่าสบู่ ดังนั้นความสามารถในการละลายน้ำของสบู่จึงลดลง ทำให้สบู่ที่แขวนลอยอยู่ในไบโอดีเซลตกตะกอนแยกชั้นออกมา ในขณะที่กลีเซอรอล, เมทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยา เป็นสารที่มีขั้วสามารถละลายได้ดีในน้ำ ทำให้ละลายลงมากับชั้นน้ำ จึงสามารถกำจัดสารปนเปื้อนเหล่านั้นออกจากไบโอดีเซลได้ (Lin และคณะ, 2005) โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Rios และคณะ (1998) ที่ศึกษาผลของเกลืออนินทรีย์ต่อความเสถียรของของเหลวอิมัลชัน เกลือที่ใช้ในการศึกษาคือ CaCl_2 และ AlCl_3 พบว่าการเติมเกลืออนินทรีย์ จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของคอลลอยด์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ กลายเป็นตะกอนน้ำมัน ซึ่งทำให้ความขุ่นของน้ำลดลง และลดเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำได้

4.5.2 คุณภาพน้ำ

หลังจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำและน้ำทะเล เก็บตัวอย่างน้ำทะเลหลังจากการล้างไบโอดีเซลในส่วนที่เป็นน้ำใส มาวิเคราะห์ค่า pH, ความเค็ม, ของแข็งทั้งหมด, และซีโอดี เพื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำล้างจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ แต่เนื่องจากในน้ำทะเลมีปริมาณไอออนหลายชนิดละลายอยู่ จึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งก่อนและหลังการล้าง เพื่อหาความแตกต่างของคุณภาพน้ำ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าคุณภาพน้ำของน้ำเสียจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลดีกว่าจากการล้างด้วยน้ำ

ตารางที่ 4.3 ลักษณะน้ำล้างไบโอดีเซลและน้ำทะเลก่อนและหลังการล้างไบโอดีเซล

พารามิเตอร์	ค่าจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ				
	น้ำล้าง	น้ำทะเลจากการล้าง			
		30‰	60‰	90‰	120‰
pH	10.854	8.166	8.218	8.241	8.183
ความเค็ม (‰)	-	28	55	85	116
ของแข็งทั้งหมด* (mg/L)	18000	4000	6667	26667	60667
ซีไอดี* (mg/L)	27606	15152	7707	5246	3080

*ค่าการวิเคราะห์ในน้ำทะเลแสดงในค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำทะเลก่อนและหลังการนำมาล้าง ไบโอดีเซล (แสดงในตารางที่ ๑1)

จากผลการทดลอง 4.5.1 และ 4.5.2 พบว่าลักษณะของน้ำเสียจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ มีสภาพเป็นอิมัลชัน เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสบู่ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว โครงสร้างโมเลกุลของสบู่เป็นโครงสร้างเกล็ดของกรดคาร์บอกซาลิก ($R-COO^-Na^+$) ทำให้โมเลกุลของสบู่จะมีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่ขั้ว เมื่อไบโอดีเซลถูกล้างด้วยน้ำ จะสามารถสร้างพันธะกับน้ำมันและน้ำได้ โดยสบู่จะอยู่ในรูปของไมเซลล์แขวนลอยอยู่ในน้ำ น้ำล้างจึงเกิดสภาพเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Lin และ Lin, 2007; Yang, 2007) ซึ่งสบู่ที่เกิดขึ้นนี้มีผลทำให้ pH, ปริมาณของแข็งละลายน้ำ และซีไอดีของน้ำล้างไบโอดีเซลสูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำทะเล ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ในการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล จะเกิดการตกตะกอนของสบู่ซึ่งแยกชั้นออกจากน้ำทะเลและไบโอดีเซลหลังการล้างไปแล้วบางส่วน ทำให้ pH ของน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำทะเลหลังการล้างลดลงจากเดิม (ตะกอนจากเกล็ดและสบู่) ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการรวมตัวของตะกอนสบู่ที่แยกออกไปแล้ว และจากการที่เกลือในน้ำทะเลดึงน้ำที่เกิดระหว่างการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันออกมา ทำให้น้ำทะเลเกิดการเจือจางเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความเค็มของน้ำทะเลหลังการล้างที่ลดลงจากเดิม

จากผลการทดลองการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยการใช้ น้ำทะเล พบว่าการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการล้างด้วยน้ำ อย่างไรก็ตามการใช้น้ำทะเลล้างไบโอดีเซลสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการล้างและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้

โดยการล้างเพียง 1 ครั้ง ในอัตราส่วน 1:1 สามารถกำจัดกลีเซอรอล สบู่ และสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลได้ โดยระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการนี้จะสั้นกว่าการล้างด้วยน้ำ

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการใช้ของเหลวไอออนิกในการสกัดกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลในการศึกษาของ Hayyan และคณะ (2010) โดยการใช้เกลือแอมโมเนียม (โคลิโนคลอไรด์) สามารถลดปริมาณกลีเซอรอลให้อยู่ในมาตรฐานได้ แต่ของเหลวไอออนิกต้องสังเคราะห์จากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต้องมีการเตรียมสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอล รวมถึงกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ ในไบโอดีเซลได้ ในขณะที่น้ำทะเลที่นำมาทดลองมีองค์ประกอบของเกลือไอออนิกที่พบตามธรรมชาติ ทำให้ง่ายต่อการนำมาใช้งานโดยเกลือไอออนิกที่พบมากคือ โซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นเกลืออนินทรีย์ที่ได้รับการศึกษาว่ามีคุณสมบัติ salting-out ทั้งยังมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และจากการศึกษาของเมธวัจน์ รุ่งศิริวรรณพงศ์ (2552) ที่ศึกษากระบวนการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์โดยการใช้สารละลายเกลืออิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ พบว่าการใช้สารละลายเกลืออิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ สามารถลดปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซล จาก 3500 ppm เหลือเพียง 28 ppm สามารถกำจัดสบู่ออกจากไบโอดีเซลได้ สามารถลดปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมดในไบโอดีเซลให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด โดยประสิทธิภาพในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการใช้สารละลายเกลืออิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ใกล้เคียงกับการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

ในส่วนของคุณภาพน้ำจากน้ำเสียหลังการใช้น้ำทะเลล้างไบโอดีเซล จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพจะเห็นว่า การแยกเฟสของไบโอดีเซลและน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำทะเลที่มีความเค็มสูงขึ้น ซึ่งจะได้ชัดเจนจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลความเค็ม 120% ที่ทำให้ส่วนของน้ำทะเลหลังการล้างใสกว่าที่ความเค็มอื่นๆ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการลดสภาพอิมัลชันที่เป็นปัญหาสำคัญจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำได้ ในการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลจะสามารถแยกตะกอนสบู่ออกจากไบโอดีเซลและน้ำ ทำให้ค่า pH, ความเค็ม, ของแข็งทั้งหมด, และซีไอดีเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ อเนก สภาวะอินทร์ และคณะ (2553) ที่ศึกษาการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยการเติมเกลืออะลูมิเนียม ในการทำลายเสถียรภาพและลดสภาพอิมัลชันของน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลร่วมกับการปรับค่า pH ของน้ำเสีย ซึ่งสามารถลดปริมาณซีไอดีและของแข็งแขวนลอย มาอยู่ในระดับที่สามารถนำไปบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ รวมถึงสามารถป้องกันการเกิดสบู่ได้ และในการศึกษาของ Kuo และ Lee (2010) ที่ศึกษากระบวนการลดสภาพ

อิมัลชันในน้ำเสียโดยการใช้น้ำทะเลเทียม ซึ่งเป็นแหล่งของเกลืออนินทรีย์ (NaCl และ MgSO_4) ร่วมกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ พบว่าหลังการเติมเกลืออนินทรีย์ลงในน้ำเสีย pH ของน้ำเสียมีค่าลดลง โดยสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการลดเสถียรภาพของอิมัลชัน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ จะทำให้ประสิทธิภาพในการแยกเฟสของน้ำมันและน้ำดีขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำทะเล

การศึกษากการใช้ น้ำทะเลเข้มข้นทดแทนน้ำในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเมทานอล ในอัตราส่วนโดยโมลน้ำมันกับเมทานอล เท่ากับ 1:6 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที หลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ตั้งสารผสมทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นแยกชั้นกลีเซอรอลที่อยู่ชั้นล่างออก และนำไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมาทดลอง

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้บริสุทธิ์ด้วยน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30, 60, 90, และ 120% โดยศึกษาอุณหภูมิในการล้าง, ระยะเวลาการเขย่า, และอัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลและน้ำทะเลในการล้าง ผลการศึกษาแสดงสภาวะที่เหมาะสมในการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล คือ การล้างโดยใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลและน้ำทะเล เท่ากับ 1:1 โดยเขย่า 30 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งสามารถทำให้ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลลดลงจาก 5500 ppm เหลือ 137, 99, 38 ,และ 30 ppm ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะของไบโอดีเซลและน้ำทะเลหลังการล้าง พบว่าเมื่อความเค็มของน้ำทะเลสูงขึ้น สบู่ซึ่งแขวนลอยอยู่ในไบโอดีเซลจะตกตะกอนออกมาและมีการแยกชั้นออกมาอย่างชัดเจน ดังนั้นการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลความเค็ม 120% มีความเหมาะสมในการทดลองครั้งนี้ เพราะสามารถลดปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลได้ ลักษณะของน้ำเสียหลังการล้างจะค่อนข้างใสกว่าน้ำทะเลความเค็มอื่นๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ซ้ำหรือผ่านการบำบัดได้ง่ายกว่า โดยในการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลความเค็ม 120% สามารถนำมาใช้ล้างไบโอดีเซลซ้ำได้อย่างน้อย 5 ครั้ง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรอลจะลดลงจาก 99 เปอร์เซ็นต์ เหลือประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาผลของเมทานอลในไบโอดีเซล พบว่าเมื่อนำไบโอดีเซลไปกำจัดเมทานอลก่อนนำมาล้างด้วยน้ำทะเลจะสามารถลดปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลได้มากกว่า แสดงว่าเมทานอลมีผลต่อความสามารถในการละลายของกลีเซอรอลในไบโอดีเซล และเมื่อ

เปรียบเทียบปริมาณของกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำทะเล พบว่า การล้างด้วยน้ำจะต้องใช้น้ำปริมาณมากจึงจะกำจัดกลีเซอรอลและสบู่ในไบโอดีเซลได้ จาก การทดลองล้างไบโอดีเซล 50 มิลลิลิตร จะใช้น้ำในการล้างประมาณ 500 มิลลิลิตร ในขณะที่การ ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลสามารถลดปริมาณกลีเซอรอลและกำจัดสบู่ในไบโอดีเซลได้โดยการ ล้างครั้งแรก ในอัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำทะเลเป็น 1:1 ดังนั้นการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล สามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้ถึงประมาณ 10 เท่า

5.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพไบโอดีเซล

ในส่วนของ การวิเคราะห์สารปนเปื้อนในไบโอดีเซล ปริมาณกลีเซอรอลอิสระและ กลีเซอรอลทั้งหมด โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ และค่าความเป็นกรด โดยวิธีการไทเทรชัน พบว่า ปริมาณกลีเซอรอลอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และปริมาณกลีเซอรอล ทั้งหมด รวมถึงค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเล คือน้อยกว่า 0.02, 0.8, 0.2, 0.2 และ 0.25 ร้อยละโดยน้ำหนัก และ 0.08 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ ในมาตรฐานของไบโอดีเซลที่กำหนดโดยกรมธุรกิจพลังงาน

5.1.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการล้าง

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำหลังการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำธรรมดา พบว่า pH และซีโอดี ของน้ำทะเลหลังการล้างไบโอดีเซลต่ำกว่าน้ำ ธรรมดา ในขณะที่ความเค็มและของแข็งทั้งหมดของน้ำทะเลหลังการล้างมีค่าเปลี่ยนแปลง เล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำทะเลก่อนนำไปล้าง

ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าน้ำทะเลมีประสิทธิภาพในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ สามารถลดปริมาณกลีเซอรอล กำจัดสบู่และสารปนเปื้อนอื่นในไบโอดีเซลได้ และยังทำให้ ไบโอดีเซลมีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดด้วย นอกจากนี้สามารถป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำ ล้างไบโอดีเซล ซึ่งจะทำได้สามารถนำน้ำทะเลหลังจากการล้างไปบำบัดได้ง่ายขึ้น และยังสามารถ ลดการใช้น้ำและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการได้ประมาณ 10 เท่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การนำน้ำทะเลไปใช้ในการล้างไบโอดีเซล ต้องตรวจสอบและควบคุมการใช้ อย่าง ระมัดระวัง เนื่องจากน้ำทะเลจะมีองค์ประกอบของเกลือไอออนิกซึ่งมีธาตุที่เป็นโลหะเป็น

ส่วนประกอบ เช่น โซเดียม, แมกนีเซียม เนื่องจากอาจมีการตกค้างของธาตุโลหะในไบโอดีเซล โดยจะทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลในส่วนของปริมาณโลหะกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 เกินมาตรฐานได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย หลังจากทำการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลแล้ว สามารถล้างด้วยน้ำอุ่นซ้ำได้อีกครั้งเพื่อกำจัดเกลือ, ธาตุโลหะ หรือสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่ตกค้างในไบโอดีเซลได้

- ในการเก็บรักษาน้ำทะเลสำหรับล้างไบโอดีเซล เนื่องจากในน้ำทะเลจะมีธาตุปริมาณน้อยบางตัวที่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อน ดังนั้นควรเลือกภาชนะกักเก็บให้เหมาะสม โดยเลือกใช้เป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน

- พัฒนาระบบการบำบัดน้ำทะเลจากการล้างให้สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดปริมาณน้ำทะเลที่ต้องนำมาใช้ และ/หรือ สามารถปล่อยสู่ธรรมชาติได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

- พัฒนาระบบการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเลร่วมกับการใช้ตัวดูดซับที่เหมาะสม เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์มากขึ้น

- หาสารละลายเกลือชนิดใหม่ที่ไม่มีส่วนประกอบของธาตุโลหะ ที่สามารถนำมาใช้ล้างไบโอดีเซลได้หลายครั้งโดยที่ประสิทธิภาพไม่ลดลง และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในการควบคุมปริมาณโลหะในไบโอดีเซล

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ไกรพัฒน์ จินชจร. 2550. ไบโอดีเซล. ใน พลังงานหมุนเวียน, หน้า 37-55, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ชัชวาล คำวงศ์, ณัฐวิทย์ พงศ์พันธ์, นฤกุลกิจ ทูนกาศ, วิลาวัลย์ ปันอิน ,และ วิไลวรรณ วีนะกุล. 2550. ไบโอดีเซล (Biodiesel) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.thaienergydata.in.th/econtent/upload_pic/1190645300.pdf [15 มิถุนายน 2553]
- ชาคริต ทองอุไร, สันหทัย กลิ่นพิกุล, จรัญ บุญกาญจน์, และ พิมพรรณ เกียรติชิมกุล. 2544. การผลิตไบโอดีเซลจากผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมัน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงขลานครินทร์ 23, ฉบับพิเศษ: 831-841.
- ตรัยรัตน์ อ.วิคุณประเสริฐ. 2554. ความเป็นมาของสบู่ (1) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.truelookpanya.com/plook> [21 มกราคม 2555]
- ตรัยรัตน์ อ.วิคุณประเสริฐ. 2554. ความเป็นมาของสบู่ (2) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.truelookpanya.com/plook> [21 มกราคม 2555]
- นเรศ สัตยารักษ์ และคณะ. 2549. ทิศทางพลังงานไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานประชาสัมพันธ์ กระทรวงพลังงาน.
- ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550. ราชกิจจานุเบกษา 124 (ตอนพิเศษ 62 ง).
- พนัส งามกนกวรรณ. 2549. เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/news/ไบโอดีเซล.pdf [15 มิถุนายน 2553]
- พลังงาน, กระทรวง. 2551. นโยบายพลังงาน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.energy.go.th/moen/Index.aspx?MenuID=11> [15 มิถุนายน 2553]
- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. ยุทธศาสตร์พลังงานทดแทน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/> [1 มีนาคม 2554]
- พลังงาน, กระทรวง. สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2552. วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 83 (มกราคม-มีนาคม) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS83.pdf> [13 มกราคม 2554]

- พลังงาน, กระทรวง. สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2554. วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 94 (ตุลาคม-ธันวาคม) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS94.pdf> [17 มกราคม 2555]
- พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล และ ลลิตา อัตนโก. 2549. รอบรู้...เรื่องราวไบโอดีเซล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- พูลพร แสงบางปลา. 2537. ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เมธวัจน์ รุ่งศิริวรรณพงศ์. 2552. การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้ตัวดูดซับและสารละลายเกลืออิมิตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์โพลีเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กระทรวง. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2553. ประมวลสนทศพร้อมใช้ เรื่อง “เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR13.pdf> [15 มีนาคม 2555]
- วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กระทรวง. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2550. การผลิตและการตรวจสอบมาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.tistr.or.th/tistr/source/techn/bio200712.pdf> [19 กันยายน 2553]
- ศิระพงษ์ เพ็ชรสงค์. 2550. Biodiesel & พลังงานทางเลือก. กรุงเทพมหานคร: Sci & tech.
- อเนก สาระอินทร์, วิรัช ทวีปรีดา, อุดมผล พิษไพบูลย์, และ ชัยศรี สุขสาโรจน์. 2553. การทำลายเสถียรภาพและการลดอิมัลชันของน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยเกลืออะลูมิเนียม. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย 24, 1: 57-66.

ภาษาอังกฤษ

- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., and Aziz, A. A. 2011. Biodiesel separation and purification: a review. Renewable Energy 36: 437-443.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R. A., and Sulaiman, N. M. N. 2011. Refining technologies for the purification of crude biodiesel. Applied Energy 88: 4239-4251.

- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R. A., and Sulaiman, N. M. N. 2012. The effects of water on biodiesel production and refining technologies: a review. Renewable and Sustainable Energy reviews 16: 3456-3470.
- Attanatho, L., Magmae, S., and Jenvanitpanjakul, P. 2004. Factors affecting the synthesis of biodiesel from crude palm kernel oil. Sustainable Energy and Environment (December): 359-361.
- Balat, M., and Balat, H., 2010. Progress in biodiesel processing. Applied Energy 87: 1815-1853.
- Berrios, M. and Skelton, R. L. 2008. Comparison of purification methods for biodiesel. Chemical Engineering Journal 144: 459-465.
- Brandariz, I. 2006. Salting coefficient of trithanolamine in major seawater salts. Fluid Phase Equilibria 239: 12-15.
- Chongkhong, S., Tongurai, C., and Chetpattananondh, P. 2009. Continuous esterification for biodiesel production from palm fatty acid distillate using economical process. Renewable Energy 34: 1059-1063.
- Demirbas, A. 2003. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey. Energy Conversion and Management 44: 2093-2109.
- Demirbas, A. 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterification and other methods. Progress in Energy and Combustion Science 31: 466-487.
- Demirbas, A. 2007. Importance of biodiesel as transportation fuel. Energy Policy 35: 4661-4670.
- Deng, R., Xie, L., Lin, H., Liu, J., and Han, W. 2009. Integration of thermal energy and seawater desalination. Energy 35: 4368-4374.
- Dennis, Y. C., Leung X. W., Leung, M. K. H. 2010. A review on biodiesel using catalyzed transesterification. Applied Energy 87: 1083-1095.
- Duxbury, A. B., Duxbury, A. C., and Sverdrup, K. A. 2002. Fundamentals of oceanography. 4th ed. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

- Felizardo, P., et al. 2006. Production of biodiesel from waste frying oils. Waste Management 26: 487-494.
- Ferella, F., Mazziotti Di Celso, G., De Michelis, I., Stanisci, V., and Vegli, F. 2010. Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production. Fuel 89: 36-42.
- Franca, B. B., Pinto, F. M., Pessoa, F. L. P., and Uller, A. M. C. 2009. Liquid-liquid equilibria for Castor oil biodiesel+glycerol+alcohol. Journal of Chemical and Engineering Data 54: 2359-2364.
- Fukada, H., Kondo, A., and Noda, H. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oil. Journal of Bioscience and Bioengineering 92: 405-416.
- Gerpen, J. V., 2004. Biodiesel production and fuel Quality [Online]. Available from: <http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/BiodieselEd/publication/01.pdf> [2010, November 12]
- Gerpen, J.V., 2005. Biodiesel processing and production. Fuel Processing Technology 86: 1097-1107.
- Gerpen, J.V., and Menges, K. 2004. Evaluation of magnesol R60 as an alternative to water washing during biodiesel production. Final report to the Dallas Group of America. Department of mechanical engineering, Iowa State University.
- Gerpen, J.V., Shanks, B., and Pruszko, R. 2004. Biodiesel production technology: August 2002-January 2004 [Online]. Available from: <http://www.osti.gov/bridge> [2010, September 10]
- Gomes, M. C. S., Pereira, N. C., and Davantel de Berros, S. T. 2010. Separation of biodiesel and glycerol using ceramic membranes. Journal of Membrane Science 352: 271-276.
- Hayyan, M., Mjalli, F. S., Hashim, M. A. and AlNashef, I. 2010. A novel technique for separating glycerine from palm oil-based biodiesel using ionic liquids. Fuel Processing Technology 91: 116-120.

- He, H. Y., Guo, X., and Zhu, S. L. 2006. Comparison of membrane extraction with tradition extraction methods for biodiesel production. Journal of the American Oil Chemists' Society 83: 457–460.
- Huddleston, J. G., Willauer, H. D., Swatloski, R. P., Visser, A. E., and Rogers, R. D. 1998. Room temperature ionic liquids as novel media for clean liquid–liquid extraction. Chemical Communication: 1765–1766.
- Huddleston, J. G., Visser, A. E., Reichert, W. M., Willauer, H. D., Broker, G. A., and Rogers, R. D. 2001. Characterization and comparison of hydrophilic and hydrophobic room temperature ionic liquids incorporating the imidazolium cation. Green Chemistry 3: 156–164.
- Jaruwat Pattaraluk, Songkorn Kongjao, and Mali Hunsom. 2010. Management of biodiesel waste water by the combined process of chemical recovery and electrochemical treatment. Energy Conversion and Management 51: 531-537.
- Karaosmanoglu, F., Cigizoglu, K. B., Tuter M., and Ertekin, S. 1996. Investigation of the refining step of biodiesel production. Energy & Fuels 10: 890-895.
- Keskin, S., Kayrak-Talay, D., Akman, U., and Hortacsu, O. 2007. A review of ionic liquids toward supercritical fluid applications. Journal of Supercritical Fluids 43: 150-180.
- Khan, A. K. 2002. Research into biodiesel kinetics & catalyst development. Master's Thesis. Department of Chemical Engineering, the University of Queensland.
- Koh, M. Y., and Mohd.Ghazi, T. I. 2011. A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. Renewable and Sustainable Energy reviews 15: 2240-2251.
- Kucek, K. T. 2007. Ethanolysis of Refined Soybean Oil Assisted by Sodium and Potassium Hydroxides. Journal of the American Oil Chemists' Society 84: 385-392.
- Kumar, S., Gupta, A. K., and Naik, S. 2003. Conversion of non-edible oil into biodiesel. Journal of Science and Industrial Research 62: 124-132.

- Kuo, C. H., and Lee, C. L. 2010. Treatment of oil/water emulsions using seawater-assisted microwave irradiation. Separation and Purification Technology 74: 288-293.
- Leung, D. Y. C. 2001. Development of a clean biodiesel fuel in Hong Kong recycled oil. Journal of Water, Air, and Soil Pollution 130: 277–282.
- Leung, D. Y. C., and Guo, Y. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. Fuel Processing Technology 87: 883-890.
- Leung, D. Y. C., Wu, X., and Leung, M. H. K. 2010. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. Applied Energy 87: 1083-1095.
- Libes, S. M. 2009. Introduction to marine biogeochemistry. 2nd ed. California: Academic Press.
- Lin, B., McCormick, A. V., Davis, H. T., and Strey, R. 2005. Solubility of sodium soap in aqueous salt solution. Journal of Colloid and Interface Science 291: 543-549.
- Lin, C. Y., and Lin, S. A. 2007. Effect of emulsification variables on fuel properties of two- and three-phase biodiesel emulsions. Fuel 86: 210-217.
- Ma, S., and Hanna, M. A. 1999. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology 70: 1-15.
- Marchetti, J. M., Miguel, V. U., and Errazu, A.F. 2007. Possible methods for biodiesel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11: 1300-1311.
- Meher, L. C., Sagar, D., and Naik, S. N. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 10: 1-21.
- Mei, Z., Xu, J., and Sun, D. 2011. O/W nano-emulsions with tunable PIT induced by inorganic salts. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 375: 102-108.
- Muniyappa, P. R., Brammer, S. C., and Nouredini, H. 1996. Improved conversion of plant oils and animal fats into biodiesel and co-product [Online]. Available from: http://digitalcommons.unl.edu/chemeng_biomaterials/20 [2012, April 10]

- Pioch, D., et al. 1993. Biofuels from catalytic cracking of tropical vegetable oils. Oleagineux 48: 289-291.
- Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., and Muraleecharan, C. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. Fuel 84: 335-340.
- Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., and Muraleedharan, C. 2011. Biodiesel. In A. S. Ramadhas (ed.), Alternative fuel for transportation, pp. 42-80. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Rashid, U., and Anwar, F. 2008. Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. Fuel 87: 265-273.
- Refaat , A. A., Attia, N. K., Sibak, H. A., El Sheltawy, S. T., and El Diwani, G. I. 2008. Production optimization and quality assessment of biodiesel from waste vegetable oil. International Journal of Environmental Science and Technology 5: 75-82.
- Riley, J. P., and Chester, R. 1971. Introduction to marine chemistry. London and New York: Academic Press. 465 p.
- Rios, G., Pazos, C., and Coca, J. 1998. Destabilization of cutting oil emulsions using inorganic salts as coagulants. Colloid and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects 138: 383-389.
- Rostami, M., Mahmoudi, M., and Raeissi, S. 2011. Experimental investigation and modeling of liquid-liquid equilibria in biodiesel+glycerol+methanol. 2nd International Conference on Chemical Engineering and Applications 23: 71-75.
- Saka, S., and Kuadianam, D. 2001. Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol. Fuel 180: 225-231.
- Saleh, J. 2011. A membrane separation process for biodiesel purification. Master's thesis. Department of Chemical and Biological Engineering, Faculty of Graduate and Postdoctoral, University of Ottawa.
- Saleh, J., Tremblay, A. Y., and Dube, M. A. 2010. Glycerol removal from biodiesel using membrane separation technology. Fuel 89: 2260-2266.

- Schwab, A. W., Bagby M. O., and Freedman, B. 1987. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. Fuel 66: 1372-1378.
- Srivastava, A., and Prasad, R. 2000. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable and Sustainable Energy reviews 4: 111-133.
- Suprihustuti, S. R., and Aswati, M. 2007, Optimization of biodiesel washing by water extraction. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (October): 24-26.
- Tyson, K. S. 2001. Biodiesel handling and use Guidelines [Online]. Available from: http://www.angelfire.com/ks3/go_diesel/files042803/biodiesel_handling.pdf [2011, September 19]
- Wade, L. G. Jr. 2010. Organic chemistry. 7th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Wall, J. 2009. Comparison of methods for the purification of biodiesel [Online]. Available from: <http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/ionexchangethesis.pdf> [2012, April 10]
- Welton, T. 1999. Room temperature ionic liquids: solvents for synthesis and catalysis. Chemical Reviews 99: 2071–2084.
- Whitby, C. P., Fischer, F. E., Fornasiero, D., and Ralton, J. 2011. Shear-induced coalescence of oil-in-water Pickering emulsions. Journal of Colloid and Interface Science 361: 170-177.
- Yusuf, N. N. A. N., Kamarudin, S. K., and Yaakub, Z. 2011. Overview on the current trends in biodiesel production. Energy Conversion and Management 52: 2741-2751.
- Zawadzki, A., and Shrestha, D. S. 2009. Glycerol sensing in biodiesel using turbidimetry. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural Engineers) 52, 4: 1261-1265.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล

การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีวิธีการดังนี้

กำหนด:

$$\text{มวลโมเลกุลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์} = 839.10 \text{ กรัมต่อโมล}$$

$$\text{มวลโมเลกุลของเมทานอล} = 32 \text{ กรัมต่อโมล}$$

ในการทดลองกำหนดอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 โดยใช้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เริ่มต้น 500 กรัม

การคำนวณ:

$$\text{น้ำมันปาล์ม 1 โมล มีน้ำหนัก} = 1 \times 839.10 = 839.10 \text{ กรัม}$$

$$\text{เมทานอล 6 โมล มีน้ำหนัก} = 6 \times 32 = 192 \text{ กรัม}$$

ถ้าใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 839.10 กรัม จะต้องใช้เมทานอลปริมาณ 192 กรัม

$$\text{ดังนั้นถ้าใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 500 กรัม จะใช้เมทานอลปริมาณ } \frac{500 \times 192}{839.10} = 114.408 \text{ กรัม}$$

แต่เมทานอลที่ใช้อยู่ในสถานะของเหลว ต้องเปลี่ยนจากน้ำหนัก (กรัม) เป็นปริมาตร (มิลลิลิตร) จาก ความหนาแน่นของเมทานอล เท่ากับ 0.79 กรัมต่อมิลลิลิตร

การคำนวณ:

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรเมทานอล} &= \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ความหนาแน่น}} \\ &= \frac{114.408}{0.79} = 144.82 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น ถ้าใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 500 กรัม ต้องใช้เมทานอล 144.82 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมีและวิธีการคำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ และปริมาณกลีเซอรอล

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.01 N

เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.83 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนสารละลายมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร หาความเข้มข้นของกรดโดยนำไปไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่รู้ความเข้มข้น เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดคลอริก

การหาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก: ตวงกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมไว้ 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมฟีนอล์ฟทาลีน ประมาณ 2-3 หยด นำไปไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่รู้ความเข้มข้น ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

$$\text{- การคำนวณ: จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

กำหนดให้	C1	= ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)
	V1	= ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
	C2	= ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ต้องการ (N)
	V2	= ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (25 มิลลิลิตร)

1.2 การเตรียมอินดิเคเตอร์

1) 1% ฟีนอลเรด

ซึ่ง ฟีนอลเรด 0.25 กรัม ละลายใน 2-โพรพานอล 50 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร

2) 0.04% โบรโมฟีนอลบลู

ซึ่ง โบรโมฟีนอลบลู 0.04 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

2. การคำนวณ

2.1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือในไบโอดีเซล

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ (กรัม) ต่อน้ำหนักไบโอดีเซล (กรัม)

$$= \frac{\text{"A"} \times 0.01 \times 40.0}{W \times 1000}$$

กำหนดให้ “A” = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตในขั้นตอนที่ 1 (มิลลิลิตร)
 W = น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซลที่ใช้ (กรัม)
 40.0 = มวลโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซล

ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)

$$= \frac{\text{"B"} \times 0.01 \times 303.4}{W \times 1000}$$

กำหนดให้ “B” = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตในขั้นตอนที่ 2 (มิลลิลิตร)
 W = น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซลที่ใช้ (กรัม)
 303.4 = มวลโมเลกุลของสบู่

ตารางที่ ข1 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ (hr)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้(mL)	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย
0	1	5.00	11.8	8396.47	8388.09
	2	5.01	11.8	8379.71	
1	1	5.00	8.0	5692.52	5692.52
	2	5.00	8.0	5692.52	
2	1	5.00	6.3	4482.86	4482.86
	2	5.00	6.3	4482.86	
3	1	5.01	5.5	3905.79	3909.70
	2	5.00	5.5	3913.61	
4	1	5.01	5.3	3763.76	3763.76
	2	5.01	5.3	3763.76	
5	1	5.00	4.6	3273.20	3308.78
	2	5.00	4.7	3344.36	
6	1	5.01	4.4	3124.64	3127.77
	2	5.00	4.4	3130.89	
24	1	5.01	2.9	2059.42	2061.48
	2	5.00	2.9	2063.54	

ตารางที่ ข2 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มที่อุณหภูมิห้อง และ 50 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	ความเค็มของ น้ำทะเล (‰)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้(mL)	ปริมาณ กลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย	
ก่อนล้าง	-	1	5.74	9.9	5256.82	5390.95
		2	5.02	9.1	5525.07	

ตารางที่ ข2 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มที่อุณหภูมิห้อง และ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

อุณหภูมิ	ความเค็มของน้ำทะเล (‰)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย	
50 °C	30	1	10.00	0.90	274.31	274.31	
		2	10.00	0.90	274.31		
	60	1	10.00	0.50	152.39	152.39	
		2	10.00	0.50	152.39		
	90	1	10.00	0.40	121.92	121.92	
		2	10.00	0.40	121.92		
	120	1	10.00	0.20	60.96	60.96	
		2	10.00	0.20	60.96		
	อุณหภูมิห้อง	30	1	10.00	0.60	152.39	152.39
			2	10.00	0.60	152.39	
60		1	10.00	0.40	121.92	121.92	
		2	10.00	0.40	121.92		
90		1	10.00	0.20	60.96	60.96	
		2	10.00	0.20	60.96		
120		1	10.00	0.10	30.48	30.48	
		2	10.00	0.10	30.48		

ตารางที่ ข3 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มที่ระยะเวลาเขย่าต่างกัน

ระยะเวลา เขย่า	ความเค็มของ น้ำทะเล (‰)		น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	ปริมาณ กลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย	
ก่อนล้าง	-	1	5.02	9.10	5470.58	5417.44	
		2	5.00	8.80	5364.30		
15 วินาที	30	1	10.00	0.45	137.16	152.39	
		2	10.00	0.55	167.63		
	60	1	10.00	0.35	106.68	114.30	
		2	10.00	0.40	1121.92		
	90	1	10.00	0.15	45.72	53.34	
		2	10.00	0.20	60.96		
	120	1	10.00	0.10	30.48	38.10	
		2	10.00	0.15	45.72		
	30 วินาที	30	1	10.00	0.50	152.39	137.16
			2	10.00	0.40	121.92	
60		1	10.00	0.35	106.68	99.06	
		2	10.00	0.30	91.44		
90		1	10.00	0.15	45.71	38.10	
		2	10.00	0.10	30.48		
120		1	10.00	0.10	30.48	30.48	
		2	10.00	0.10	30.48		
60 วินาที		30	1	10.00	0.70	213.35	198.11
			2	10.00	0.60	182.87	
	60	1	10.00	0.60	182.87	182.87	
		2	10.0	0.60	182.87		

ตารางที่ ข3 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มที่ระยะเวลาเขย่าต่างกัน (ต่อ)

ระยะเวลา เขย่า	ความเค็มของ น้ำทะเล (‰)		น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้(mL)	ปริมาณ กลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย
60 วินาที (ต่อ)	90	1	10.00	0.20	60.96	60.96
		2	10.00	0.20	60.96	
	120	1	10.00	0.20	60.96	60.96
		2	10.00	0.20	60.96	
180 วินาที	30	1	10.00	1.30	396.23	396.23
		2	10.00	1.30	396.23	
	60	1	10.00	0.80	243.85	228.59
		2	10.0	0.70	213.35	
	90	1	10.00	0.50	152.39	160.01
		2	10.00	0.55	167.63	
	120	1	10.00	0.40	121.92	114.30
		2	10.00	0.35	106.68	
300 วินาที	30	1	10.00	1.60	487.66	487.66
		2	10.00	1.60	487.66	
	60	1	10.00	1.10	335.27	335.27
		2	10.00	1.10	335.27	
	90	1	10.00	0.70	213.35	228.59
		2	10.00	0.80	243.83	
	120	1	10.00	0.70	213.35	220.97
		2	10.00	0.75	228.59	
600 วินาที	30	1	10.00	1.85	563.86	571.48
		2	10.00	1.90	579.10	

ตารางที่ ข3 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มที่ระยะเวลาเขย่าต่างกัน (ต่อ)

ระยะเวลา เขย่า	ความเค็มของ น้ำทะเล (‰)		น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้(mL)	ปริมาณ กลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย
600 วินาที (ต่อ)	60	1	10.00	1.70	518.14	533.38
		2	10.00	1.80	548.62	
	90	1	10,00	1.20	365.75	396.23
		2	10,0	1.40	426.71	
	120	1	10.00	1.30	496.23	411.47
		2	10.00	1.40	426.71	

ตารางที่ ข4 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มในอัตราส่วนที่ต่างกัน

อัตราส่วน	ความเค็มของ น้ำทะเล (‰)		น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้(mL)	ปริมาณ กลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย
ก่อนล้าง	-	1	5.04	9.00	5183.50	5246.36
		2	5.02	9.20	5309.22	
10:1	30	1	10.00	1.80	5183.50	537.01
		2	10.00	1.90	5309.22	
	60	1	10.00	1.60	522.50	478.96
		2	10.00	1.70	551.52	
	90	1	10.00	1.30	464.44	377.36
		2	10.00	1.30	493.47	
	120	1	10.00	1.00	377.36	319.30
		2	10.00	1.20	348.33	

ตารางที่ ๗๔ ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มในอัตราส่วนที่ต่างกัน (ต่อ)

อัตราส่วน	ความเค็มของน้ำทะเล (‰)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย	
9:1	30	1	10.00	1.60	464.44	464.44	
		2	10.00	1.60	464.44		
	60	1	10.00	1.60	464.44	435.41	
		2	10.00	1.40	406.39		
	90	1	10.00	1.10	319.30	333.82	
		2	10.00	1.20	348.33		
	120	1	10.00	0.85	246.73	239.48	
		2	10.00	0.80	232.22		
	8:1	30	1	10.00	1.45	420.90	428.16
			2	10.00	1.50	435.41	
60		1	10.00	1.20	348.33	362.84	
		2	10.00	1.30	377.36		
90		1	10.00	1.00	290.28	283.02	
		2	10.00	0.95	275.76		
120		1	10.00	0.80	232.22	232.22	
		2	10.00	0.80	232.22		
7:1		30	1	10.00	1.30	377.36	377.36
			2	10.00	1.30	377.36	
	60	1	10.00	1.15	333.82	326.56	
		2	10.00	1.10	319.30		
	90	1	10.00	0.90	261.25	246.73	
		2	10.00	0.80	232.22		

ตารางที่ ข4 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มในอัตราส่วนที่ต่างกัน (ต่อ)

อัตราส่วน	ความเค็มของน้ำทะเล (‰)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย	
7:1 (ต่อ)	120	1	10.00	0.75	217.71	210.45	
		2	10.00	0.70	203.19		
6:1	30	1	10.00	1.00	290.28	304.79	
		2	10.00	1.10	319.30		
	60	1	10.00	0.90	261.25	261.25	
		2	10.00	0.90	261.25		
	90	1	10.00	0.80	232.22	217.71	
		2	10.00	0.70	203.19		
	120	1	10.00	0.70	203.19	195.94	
		2	10.00	0.65	188.68		
	5:1	30	1	10.00	0.80	232.22	246.73
			2	10.00	0.90	261.25	
60		1	10.00	0.80	232.22	217.71	
		2	10.00	0.70	203.19		
90		1	10.00	0.65	188.68	195.94	
		2	10.00	0.70	203.19		
120		1	10.00	0.60	174.17	174.17	
		2	10.00	0.60	174.17		
4:1		30	1	10.00	0.80	232.22	217.71
			2	10.00	0.70	203.19	
	60	1	10.00	0.55	159.65	166.91	
		2	10.00	0.60	174.17		

ตารางที่ ข4 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้าง10.00ด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มในอัตราส่วนที่ต่างกัน (ต่อ)

อัตราส่วน	ความเค็มของน้ำทะเล (‰)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย	
4:1 (ต่อ)	90	1	10.00	0.45	130.62	130.62	
		2	10.00	0.45	130.62		
	120	1	10.00	0.35	101.60	108.85	
		2	10.00	0.40	116.11		
3:1	30	1	10.00	0.60	174.17	174.17	
		2	10.00	0.60	174.17		
	60	1	10.00	0.45	130.62	137.88	
		2	10.00	0.50	145.14		
	90	1	10.00	0.40	116.11	116.11	
		2	10.00	0.40	116.11		
	120	1	10.00	0.35	101.60	87.08	
		2	10.00	0.25	72.57		
	2:1	30	1	10.00	0.50	145.14	123.37
			2	10.00	0.45	130.62	
60		1	10.00	0.40	116.11	116.11	
		2	10.00	0.40	116.11		
90		1	10.00	0.30	87.08	72.57	
		2	10.00	0.20	58.06		
120		1	10.00	0.15	43.54	50.80	
		2	10.00	0.20	58.06		
1:1		30	1	10.00	0.45	130.62	123.37
			2	10.00	0.40	116.11	

ตารางที่ ข4 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลแต่ละความเค็มในอัตราส่วนที่ต่างกัน (ต่อ)

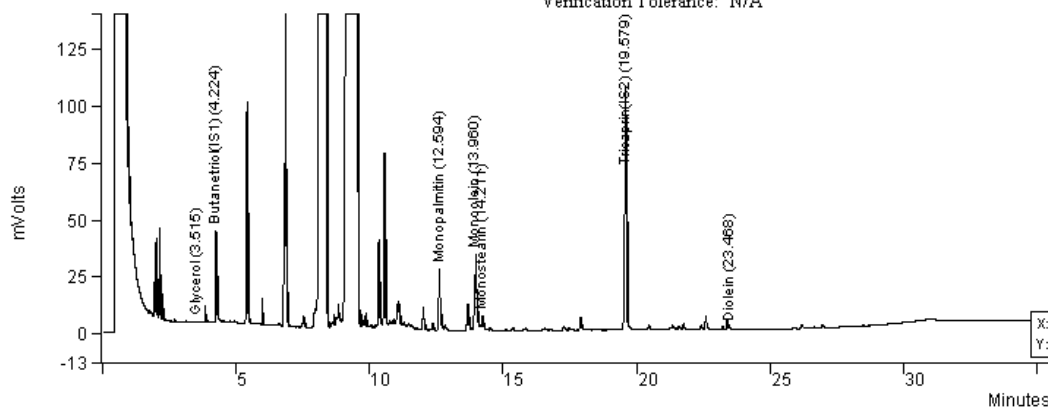
อัตราส่วน	ความเค็มของน้ำทะเล (‰)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)	ค่าเฉลี่ย
1:1 (ต่อ)	60	1	10.00	0.30	87.08	87.08
		2	10.00	0.30	87.08	
	90	1	10.00	0.15	43.54	43.54
		2	10.00	0.15	43.54	
	120	1	10.00	0.10	29.03	29.03
		2	10.00	0.10	29.03	
2:1	30	1	10.00	0.35	101.60	116.11
		2	10.00	0.45	130.62	
	60	1	10.00	0.20	58.06	65.31
		2	10.00	0.25	72.57	
	90	1	10.00	0.15	43.54	36.28
		2	10.00	0.10	29.03	
	120	1	10.00	0.10	29.03	21.77
		2	10.00	0.05	14.51	

ภาคผนวก ค

GC Chromatogram

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\ptt glycerin\30ppt251054.4 Operator (Calc): ton
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 12/03/2012 15:25:32
 Sample ID: 30ppt251054.4 Times Calculated: 9
 Operator (Inj): ton Instrument (Calc): 30ppt251054.4 1;20;03 pm-front.mth
 Injection Date: 12/03/2012 13:20:03 Run Mode: Analysis
 Injection Method: c:\star\ven14105.mth Peak Measurement: Peak Area
 Run Time (min): 35.775 Calculation Type: Percent
 Workstation: Calibration Level: N/A
 Instrument (Inj): gc Verification Tolerance: N/A

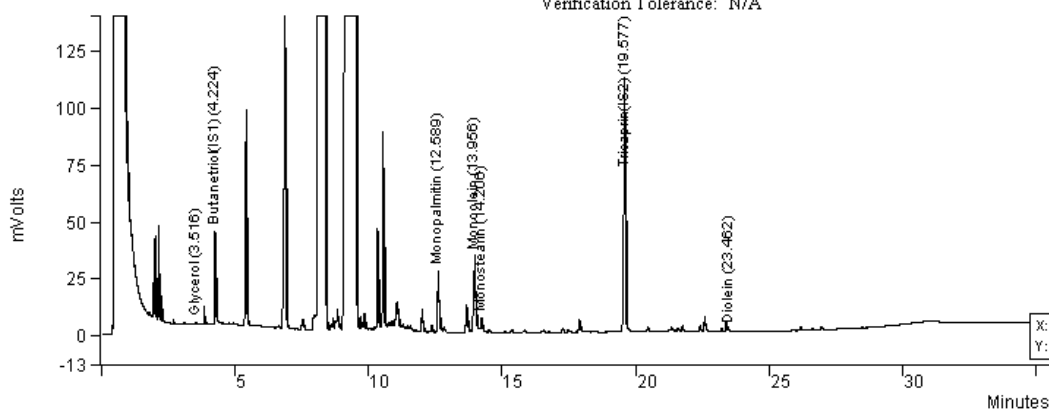


Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Glycerol	0.0932	3.515	0.015	936	0.00	BB	0.0		0
2	Butanetriol(IS1)	9.4957	4.224	0.024	95405	0.00	BB	2.0		0
3	Monopalmitin	11.5026	12.594	0.094	115569	0.00	BB	3.5		0
4	Monoolein	18.0519	13.960	-0.040	181372	0.00	VV	4.2		0
5	Monostearin	3.6744	14.211	-0.089	36917	0.00	VV	4.3		0
6	Tricaprin(IS2)	44.3386	19.579	-0.223	445482	0.00	BB	3.8		0
7	Diolein	0.2024	23.468	-0.132	2033	0.00	VB	0.0		0
Totals		87.3588		-0.351	877714					

ภาพที่ ค1 GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30‰ (1)

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\ptt_glycerin\30ppt251054.5 Operator (Calc): ton
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 12/03/2012 15:24:57
 Sample ID: 30ppt251054.5 Times Calculated: 8
 Operator (In): ton Calculation Method: 30ppt251054.5 2;20;07 pm-front.mth
 Injection Date: 12/03/2012 14:20:07 Instrument (Calc): gc
 Injection Method: c:\star\en14105.mth Run Mode: Analysis
 Run Time (min): 35.773 Peak Measurement: Peak Area
 Workstation: Calculation Type: Percent
 Instrument (In): gc Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A

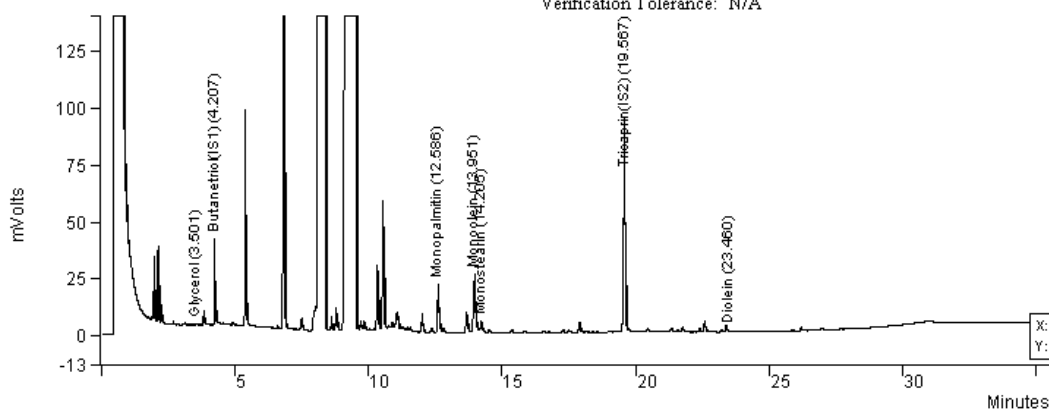


Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Glycerol	0.0855	3.516	0.016	878	0.00	BB	2.0		0
2	Butanetriol(S1)	9.4345	4.224	0.024	96887	0.00	BB	2.0		0
3	Monopalmitin	11.3670	12.589	0.089	116733	0.00	BB	3.6		0
4	Monoolein	18.1092	13.956	-0.044	185973	0.00	VV	4.3		0
5	Monostearin	3.6000	14.206	-0.094	36970	0.00	VV	4.2		0
6	Tricaprin(S2)	44.2010	19.577	-0.225	453922	0.00	BB	3.6		0
7	Diolein	0.2325	23.462	-0.138	2388	0.00	VB	0.0		0
Totals		87.0297		-0.372	893751					

ภาพที่ ค2 GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 30‰ (2)

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\ptt_glycerin\60ppt2510543 Operator (Calc): ton
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 12/03/2012 18:00:33
 Sample ID: 60ppt251054.3 Times Calculated: 4
 Operator (In): ton Calculation Method: 60ppt251054.3 5;05;24 pm-front.mth
 Injection Date: 12/03/2012 17:05:24 Instrument (Calc): gc
 Injection Method: c:\star\en14105.mth Run Mode: Analysis
 Run Time (min): 35.773 Peak Measurement: Peak Area
 Workstation: Calculation Type: Percent
 Instrument (In): gc Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A

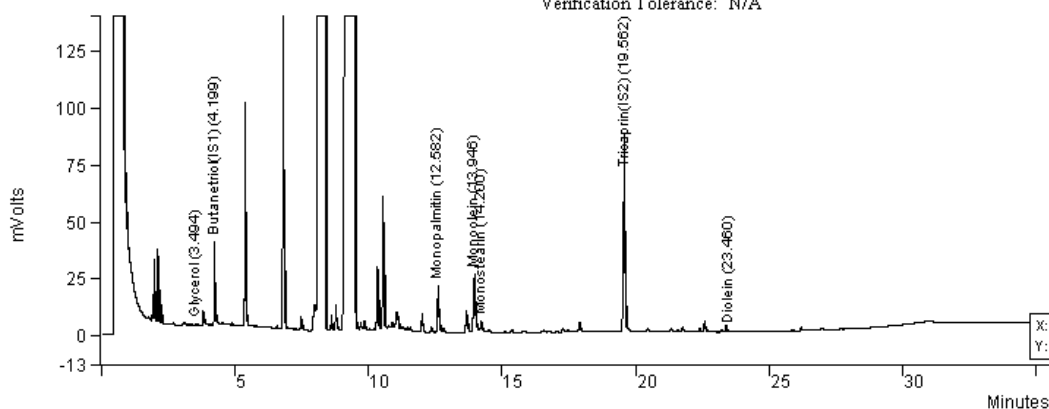


Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Glycerol	0.1229	3.501	0.001	1000	0.00	BB	2.0		0
2	Butanetriol(1S1)	10.1491	4.207	0.007	82563	0.00	BB	1.7		0
3	Monopalmitin	10.8513	12.586	-0.014	88275	0.00	BB	3.4		0
4	Monoolein	17.3899	13.951	-0.049	141466	0.00	VV	4.2		0
5	Monostearin	3.6294	14.205	-0.095	29525	0.00	VV	4.4		0
6	Tricaprin(1S2)	44.8150	19.567	-0.235	364568	0.00	BB	3.5		0
7	Diolein	0.1973	23.460	-0.040	1605	0.00	VB	0.0		0
Totals		87.1549		-0.425	709002					

ภาพที่ ค3 GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 60‰ (1)

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\ptt_glycerin\60ppt251054.4 Operator (Calc): ton
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 12/03/2012 18:50:34
 Sample ID: 60ppt251054.4 Times Calculated: 3
 Operator (In): ton Calculation Method: 60ppt251054.4 5;59;26 pm-front.mth
 Injection Date: 12/03/2012 17:59:26 Instrument (Calc): gc
 Injection Method: c:\star\en14105.mth Run Mode: Analysis
 Run Time (min): 35.775 Peak Measurement: Peak Area
 Workstation: Calculation Type: Percent
 Instrument (In): gc Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A

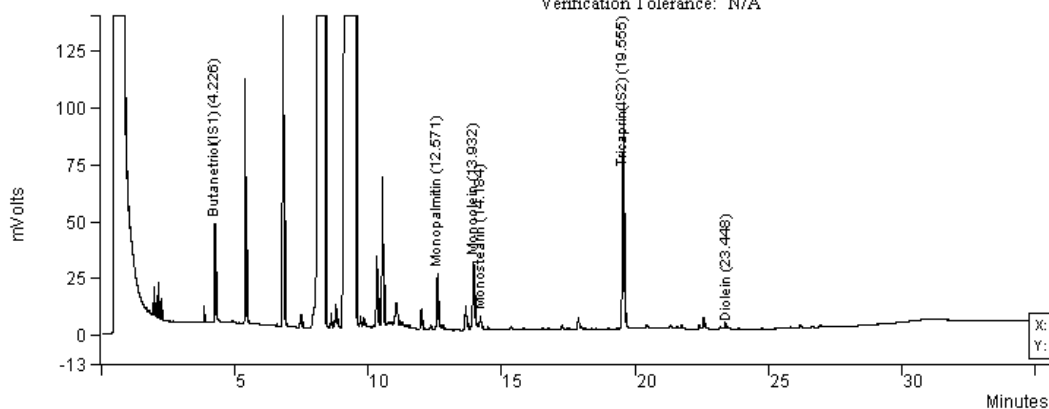


Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Glycerol	0.1186	3.494	-0.006	927	0.00	BB	2.0		0
2	Butanetriol(S1)	9.7473	4.199	-0.001	76191	0.00	BB	1.6		0
3	Monopalmitin	10.8661	12.582	-0.018	84937	0.00	BB	3.3		0
4	Monoolein	17.5275	13.946	-0.054	137007	0.00	VV	4.0		0
5	Monostearin	3.7236	14.200	-0.100	29106	0.00	VV	4.2		0
6	Tricaprin(S2)	44.8967	19.562	-0.240	350943	0.00	BB	3.6		0
7	Diolein	0.1895	23.460	-0.140	1481	0.00	VB	0.0		0
Totals		87.0693		-0.559	680592					

ภาพที่ ค4 GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 60‰ (2)

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\ptt_glycerin\90ppt251054.1 Operator (Calc): ton
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 20/03/2012 08:14:22
 Sample ID: 90ppt251054.1 Times Calculated: 4
 Operator (In): ton Calculation Method: 90ppt251054.1 11;37;27 am-front.mth
 Injection Date: 17/03/2012 11:37:27 Instrument (Calc): gc
 Injection Method: c:\star\en14105.mth Run Mode: Analysis
 Run Time (min): 35.775 Peak Measurement: Peak Area
 Workstation: Calculation Type: Percent
 Instrument (In): gc Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A

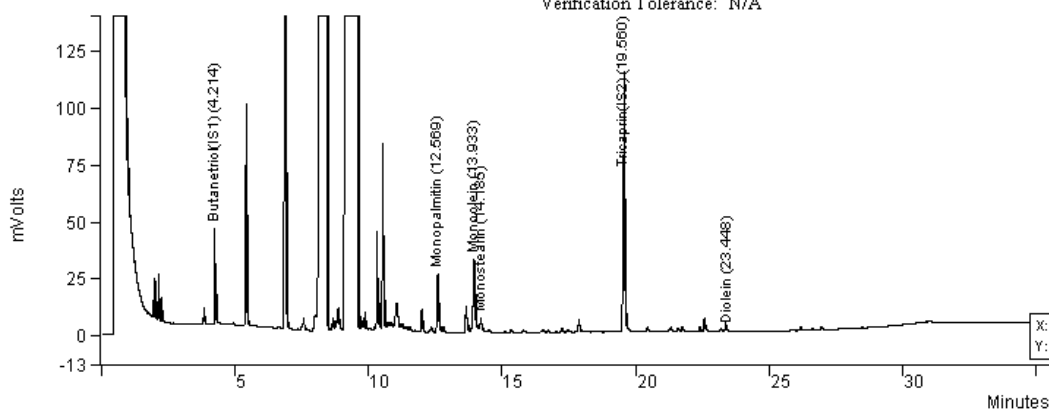


Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Butanetriol(S1)	10.1659	4.226	-0.164	94697	0.00	BB	1.7		0
2	Monopalmitin	10.3203	12.571	-0.029	96136	0.00	BB	3.3		0
3	Monoolein	17.4849	13.932	-0.068	162875	0.00	VV	4.2		0
4	Monostearin	3.8260	14.184	-0.116	35640	0.00	VV	4.3		0
5	Tricaprin(S2)	46.2707	19.555	-0.247	431020	0.00	BB	3.9		0
6	Diolein	0.1668	23.448	-0.152	1554	0.00	VB	0.0		0
Totals		88.2346		-0.776	821922					

ภาพที่ ค5 GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 90‰ (1)

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\ptt_glycerin\90ppt251054.3 Operator (Calc): ton
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 20/03/2012 08:22:23
 Sample ID: 90ppt251054.3 Times Calculated: 6
 Operator (In): ton Calculation Method: 90ppt251054.3 1;33;08 pm-front.mth
 Injection Date: 17/03/2012 13:33:08 Instrument (Calc): gc
 Injection Method: c:\star\en14105.mth Run Mode: Analysis
 Run Time (min): 35.775 Peak Measurement: Peak Area
 Workstation: Calculation Type: Percent
 Instrument (In): gc Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A

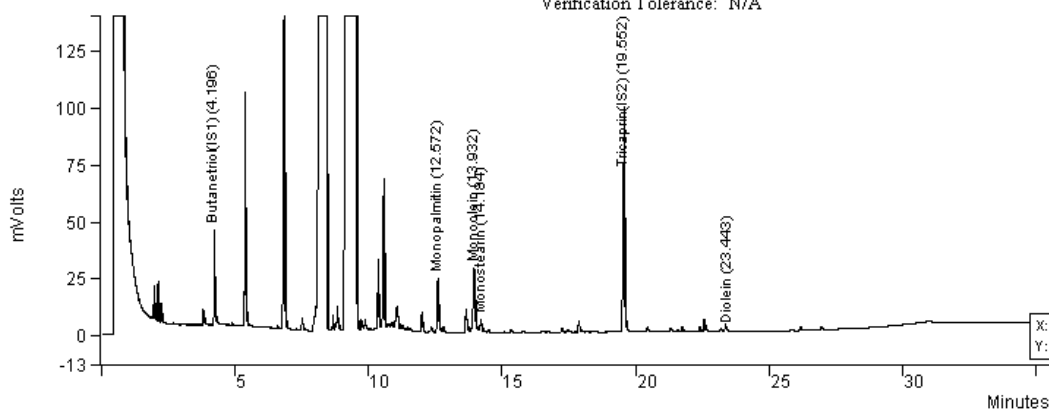


Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Butanetriol(IS1)	10.2505	4.214	-0.176	101880	0.00	BB	1.9		0
2	Monopalmitin	10.3166	12.569	-0.031	102537	0.00	BB	3.5		0
3	Monoolein	17.6442	13.933	-0.067	175366	0.00	VV	4.2		0
4	Monostearin	3.7043	14.185	-0.115	36818	0.00	VV	4.3		0
5	Tricaprin(IS2)	45.7479	19.560	-0.242	454689	0.00	BB	3.5		0
6	Diolein	0.2239	23.448	-0.152	2225	0.00	VB	0.0		0
Totals		87.8874		-0.783	873515					

ภาพที่ ค6 GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 90‰ (2)

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\ptt_glycerin\120ppt251054.2 Operator (Calc): ton
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 20/03/2012 08:19:57
 Sample ID: 120ppt251054.2 Times Calculated: 4
 Operator (In): ton Calculation Method: 120ppt251054.2 3;33;04 pm-front.mth
 Injection Date: 17/03/2012 15:33:04 Instrument (Calc): gc
 Injection Method: c:\star\en14105.mth Run Mode: Analysis
 Run Time (min): 35.773 Peak Measurement: Peak Area
 Workstation: Calculation Type: Percent
 Instrument (In): gc Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A

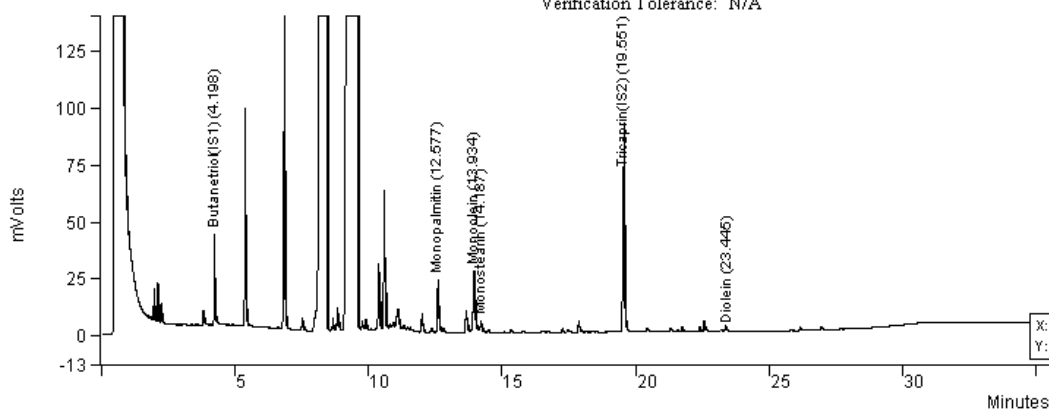


Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Butanetriol(IS1)	9.9886	4.196	-0.004	87204	0.00	BB	1.7		0
2	Monopalmitin	10.5452	12.572	-0.028	92063	0.00	BB	3.3		0
3	Monoolein	17.5779	13.932	-0.068	153461	0.00	VV	4.2		0
4	Monostearin	3.7028	14.184	-0.116	32327	0.00	VV	4.2		0
5	Tricaprin(IS2)	45.7814	19.552	-0.250	399687	0.00	BB	3.6		0
6	Diolein	0.1936	23.443	-0.157	1690	0.00	VB	0.0		0
Totals		87.7895		-0.623	766432					

ภาพที่ ค7 GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 120‰ (1)

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\ptt_glycerin\120ppt251054.3 Operator (Calc): ton
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 20/03/2012 08:21:05
 Sample ID: 120ppt251054.3 Times Calculated: 5
 Operator (In): ton Calculation Method: 120ppt251054.3 4;33;50 pm-front.mth
 Injection Date: 17/03/2012 16:33:50 Instrument (Calc): gc
 Injection Method: c:\star\en14105.mth Run Mode: Analysis
 Run Time (min): 35.773 Peak Measurement: Peak Area
 Workstation: Calculation Type: Percent
 Instrument (In): gc Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A



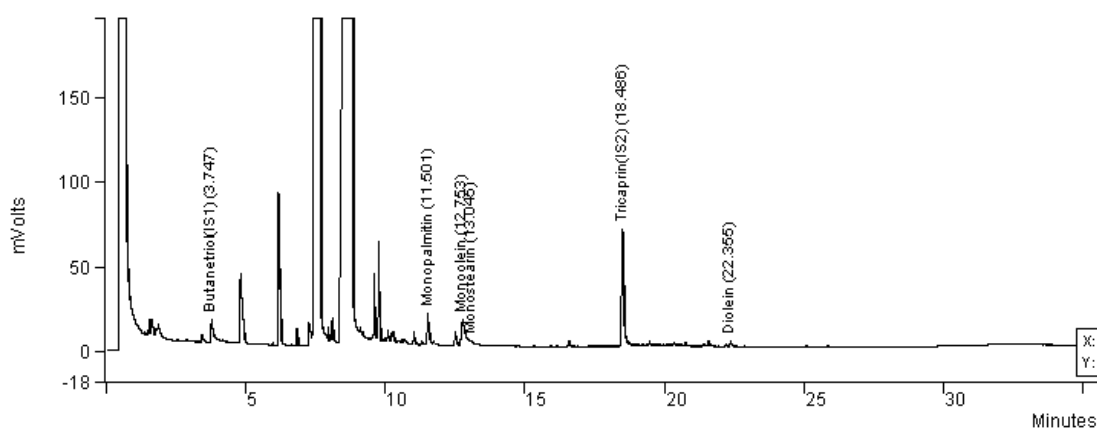
Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Butanetriol(IS1)	9.9086	4.198	-0.002	83697	0.00	BB	1.7		0
2	Monopalmitin	11.0022	12.577	0.077	92934	0.00	BB	3.3		0
3	Monoolein	17.3954	13.934	-0.066	148626	0.00	VV	4.2		0
4	Monostearin	3.6933	14.187	-0.113	31196	0.00	VV	4.2		0
5	Tricaprin(IS2)	45.4500	19.551	-0.251	383910	0.00	BB	3.7		0
6	Diolein	0.1929	23.445	-0.315	1630	0.00	VB	0.0		0
Totals		87.8424		-0.670	741993					

ภาพที่ ค8 GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลความเค็ม 120‰ (2)

Environmental Science, Chulalongkorn U.

Data File: c:\star\joe\water_2;31;19 pm.run
 Channel: Front = FID RESULTS
 Sample ID: water
 Operator (Inj): jo
 Injection Date: 23/03/2010 14:31:19
 Injection Method: c:\star\en14105.mth
 Run Time (min): 35.775
 Workstation: gc
 Instrument (Inj): gc

Operator (Calc): jo
 Calc Date: 26/03/2010 15:58:54
 Times Calculated: 3
 Calculation Method: water_2;31;19 pm-front.mth
 Instrument (Calc): gc
 Run Mode: Analysis
 Peak Measurement: Peak Area
 Calculation Type: Percent
 Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A



Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Butanetriol(IS1)	11.4475	3.747	-0.003	101593	0.00	BV	5.5		0
2	Monopalmitin	9.6626	11.501	-0.040	85752	0.00	VV	3.9		0
3	Monoolein	17.6284	12.753	0.017	156446	0.00	VV	8.0		0
4	Monostearin	2.6362	13.045	-0.048	23395	0.00	VB	5.9		0
5	Tricaprin(IS2)	41.5535	18.486	-0.006	368774	0.00	VP	4.2		0
6	Diolein	1.8888	22.355	0.031	16763	0.00	GR	0.0		0
Totals		84.8170		-0.049	752723					

ภาพที่ ๑๙ GC chromatogram ของไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำ¹

¹เมธวัจนี รุ่งศิริวรรณพงศ์. 2552. การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้ตัวดูดซับและสารละลายเกลืออิมิตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์ โพลีเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย., หน้า 65.

ภาคผนวก ง

การคำนวณปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด

อัตราส่วนร้อยละโดยมวลของกลีเซอรอลอิสระในตัวอย่างไบโอดีเซลคำนวณโดยสมการต่อไปนี้

$$G = [a_g (A_g / A_{ei1}) + b_g] \times (M_{ei1} / m) \times 100$$

กำหนดให้:	G	= ร้อยละโดยมวลของกลีเซอรอลอิสระ
	A_g	= พื้นที่ใต้กราฟของกลีเซอรอล
	A_{ei1}	= พื้นที่ใต้กราฟของ internal standard 1
	M_{ei1}	= น้ำหนักของ internal standard 1 (มิลลิกรัม)
	m	= น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซล (มิลลิกรัม)
	a_g and b_g	= ค่าคงที่จากการวิเคราะห์ความถดถอยของกลีเซอรอล

อัตราส่วนร้อยละโดยมวลของโมโน-, ได-, และไตรกลีเซอไรด์ ในตัวอย่างไบโอดีเซลคำนวณตามสมการต่อไปนี้

$$M = [a_m (\sum A_{mi} / A_{ei2}) + b_m] \times (M_{ei2} / m) \times 100$$

$$D = [a_d (\sum A_{di} / A_{ei2}) + b_d] \times (M_{ei2} / m) \times 100$$

$$T = [a_t (\sum A_{ti} / A_{ei2}) + b_t] \times (M_{ei2} / m) \times 100$$

กำหนดให้:	M, D, T	= ร้อยละโดยมวลของโมโน-, ได-, และไตรกลีเซอไรด์
	$\sum A_{mi}, \sum A_{di}, \sum A_{ti}$	= ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟของโมโน-, ได-, และไตรกลีเซอไรด์
	A_{ei2}	= พื้นที่ใต้กราฟของ internal standard 2
	M_{ei2}	= น้ำหนักของ internal standard 2 (มิลลิกรัม)
	m	= น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซล (มิลลิกรัม)
	a_m and b_m	= ค่าคงที่จากการวิเคราะห์ความถดถอยของโมโนกลีเซอไรด์
	a_d and b_d	= ค่าคงที่จากการวิเคราะห์ความถดถอยของไดกลีเซอไรด์
	a_t and b_t	= ค่าคงที่จากการวิเคราะห์ความถดถอยของไตรกลีเซอไรด์

ร้อยละโดยมวลของปริมาณกลีเซอรอลทั้งหมดในตัวอย่างไม่โอดีเซล คำนวณตามสมการต่อไปนี

$$GT = G + 0.255 M + 0.146 D + 0.103 T$$

กำหนดให้:

GT	=	ร้อยละโดยมวลของปริมาณกลีเซอรอลทั้งหมดในตัวอย่าง
G	=	ร้อยละโดยมวลของกลีเซอรอลอิสระในตัวอย่าง
M	=	ร้อยละโดยมวลของโมโนกลีเซอไรต์ในตัวอย่าง
D	=	ร้อยละโดยมวลของไดกลีเซอไรต์ในตัวอย่าง
T	=	ร้อยละโดยมวลของไตรกลีเซอไรต์ในตัวอย่าง

ตารางที่ ง1 ร้อยละโดยมวลของกลีเซอรอลอิสระในไบโอดีเซล

ตัวอย่าง		พท.ได้ กราฟ (ตัวอย่าง)	พท.ได้ กราฟ (IS1)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (mg)	กลีเซอรอล อิสระ	ค่าเฉลี่ย	SD.
ล้างด้วย SW 30‰	1	936	95405	99.8	0.00	0.00	-
	2	878	96887	99.8	0.00		
ล้างด้วย SW 60‰	1	1000	82563	99.6	0.00	0.00	-
	2	927	76191	99.6	0.00		
ล้างด้วย SW 90‰	1	0.00	94697	99.7	0.00	0.00	-
	2	0.00	101880	99.7	0.00		
ล้างด้วย SW 120‰	1	0.00	87204	99.8	0.00	0.00	-
	2	0.00	83697	99.8	0.00		
ล้างด้วยน้ำ		0.00	101593	100.0	0.00	0.00	-

*sw = น้ำทะเล (seawater)

ตารางที่ ง2 ร้อยละโดยมวลของโมโนกลีเซอไรด์ในไบโอดีเซล

ตัวอย่าง		พท.ได้ กราฟ (ตัวอย่าง)	พท.ได้ กราฟ (IS2)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (mg)	โมโน- กลีเซอไรด์	ค่าเฉลี่ย	SD.
ล้างด้วย SW 30‰	1	335529	445546	99.8	0.679	0.679	0.000105
	2	341746	453922	99.8	0.679		
ล้างด้วย SW 60‰	1	259266	364568	99.6	0.649	0.650	0.002217
	2	251050	350943	99.6	0.652		
ล้างด้วย SW 90‰	1	284651	431020	99.7	0.610	0.622	0.016750
	2	314721	454689	99.7	0.634		
ล้างด้วย SW 120‰	1	277851	399687	99.8	0.636	0.641	0.008061
	2	272756	383910	99.8	0.647		
ล้างด้วยน้ำ		265593	368774	100.0	0.394	0.394	-

ตารางที่ 3 ร้อยละโดยมวลของไดกลีเซอไรต์ในไบโอดีเซล

ตัวอย่าง		พท. ได้ กราฟ (ตัวอย่าง)	พท. ได้ กราฟ (IS2)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (mg)	ได- กลีเซอไรต์	ค่าเฉลี่ย	SD.
ล้างด้วย SW 30%	1	2027	445546	99.8	0.033	0.0333	0.00043
	2	2388	453922	99.8	0.034		
ล้างด้วย SW 60%	1	1605	364568	99.6	0.033	0.0328	0.00011
	2	1481	350943	99.6	0.033		
ล้างด้วย SW 90%	1	1554	431020	99.7	0.032	0.0327	0.00078
	2	2225	454689	99.7	0.033		
ล้างด้วย SW 120%	1	1690	399687	99.8	0.033	0.0327	0.00001
	2	1630	383910	99.8	0.033		
ล้างด้วยน้ำ		16763	368774	100.0	0.0280	0.0280	-

ตารางที่ 4 ร้อยละโดยมวลของไตรกลีเซอไรต์ในไบโอดีเซล

ตัวอย่าง		พท. ได้ กราฟ (ตัวอย่าง)	พท. ได้ กราฟ (IS2)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (mg)	ไตร- กลีเซอไรต์	ค่าเฉลี่ย	SD.
ล้างด้วย SW 30%	1	-	445546	99.8	-	-	-
	2	-	453922	99.8	-		
ล้างด้วย SW 60%	1	-	364568	99.6	-	-	-
	2	-	350943	99.6	-		
ล้างด้วย SW 90%	1	-	431020	99.7	-	-	-
	2	-	454689	99.7	-		
ล้างด้วย SW 120%	1	-	399687	99.8	-	-	-
	2	-	383910	99.8	-		
ล้างด้วยน้ำ		-	473250	99.7	-	-	-

ตารางที่ 5 ร้อยละโดยมวลของกลีเซอรอลทั้งหมดในไบโอดีเซล

ตัวอย่าง		กลีเซอรอล อิสระ	โมโน-	ได-	ไตร-	กลีเซอรอล ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ย	SD.
ล้างด้วย SW 30%	1	0.00	0.679	0.033	-	0.178	0.178	0.00004
	2	0.00	0.679	0.034	-	0.178		
ล้างด้วย SW 60%	1	0.00	0.649	0.033	-	0.170	0.171	0.00055
	2	0.00	0.652	0.033	-	0.171		
ล้างด้วย SW 90%	1	0.00	0.610	0.032	-	0.160	0.163	0.00439
	2	0.00	0.634	0.033	-	0.167		
ล้างด้วย SW 120%	1	0.00	0.636	0.033	-	0.167	0.168	0.00206
	2	0.00	0.647	0.033	-	0.170		
ล้างด้วยน้ำ		0.00	0.394	0.028	-	0.105	0.105	-

ภาคผนวก จ

การเตรียมสารเคมีและวิธีการคำนวณหาค่าความเป็นกรด (acid number)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Standard alcoholic potassiumhydroxide: Std. alc.KOH) เข้มข้น 0.1 โมลาร์

- 1) ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.6 กรัม ละลายใน 2-โพรพานอล 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งสารมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) 0.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
- 3) หาความเข้มข้นของ Std. alc.KOH: ปิเปต KHP 25 มิลลิลิตร ไทเทรตกับ Std. alc.KOH โดยใช้ p-Naptholbenzein เป็นอินดิเคเตอร์

$$\text{- การคำนวณ: จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

กำหนดให้

C1 = ความเข้มข้นของ KHP

C2 = ความเข้มข้นของ Std. alc.KOH

V2 = ปริมาตรของ Std. alc.KOH ที่ใช้ไทเทรต

$$\text{จากสูตร } \frac{C_1V}{1000} = \frac{g}{M}$$

$$\text{ดังนั้น } C_1 = \frac{g}{M} \times \frac{1000}{V}$$

โดยที่

g = น้ำหนักของ KHP ที่ชั่งจากข้อ 2)

M = มวลโมเลกุลของ KHP (204.23 กรัม)

V = ปริมาตรของ KHP (100 มิลลิลิตร)

$$\text{ดังนั้น } \left(\frac{g}{M} \times \frac{1000}{V} \right) V_1 = C_2V_2$$

1.2 การเตรียม Titration solvent

เติมโทลูอีน 250 มิลลิลิตร ลงใน 2-โพรพานอล 247.5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.3 p-Naptholbenzein indicator

ชั่ง p-Naptholbenzein 0.5 กรัม ละลายในสารละลายสำหรับไทเทรต 100 มิลลิลิตร

2. การคำนวณค่าความเป็นกรด

การคำนวณหาค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{[(A-B) \times M \times 56.1]}{W}$$

กำหนดให้

A	= ปริมาตรของ Std. alc.KOH ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
B	= ปริมาตรของ Std. alc.KOH ที่ใช้ในการไทเทรต แบลงค์ (มิลลิลิตร)
M	= ความเข้มข้นของ Std. alc.KOH (โมลาร์)
W	= น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซล (กรัม)

ตารางที่ ๑1 ค่าความเป็นกรดในไบโอดีเซลจากการล้างด้วยน้ำและน้ำทะเลความเค็มต่างๆ

กระบวนการทำให้บริสุทธิ์		นน.ตัวอย่าง (g)	ปริมาณใช้ที่ไทเทรต (mL)	แบลنگก์	ค่าความเป็นกรด (mg/L)	ค่าเฉลี่ย
ล้างด้วยน้ำ	1	1.0000	0.045	0.040	0.0264	0.0264
	2	1.0019	0.045	0.040	0.0264	
ล้างด้วยน้ำทะเล 30‰	1	1.0021	0.050	0.040	0.0527	0.0527
	2	1.0011	0.050	0.040	0.0527	
ล้างด้วยน้ำทะเล 60‰	1	1.0034	0.050	0.040	0.0526	0.0523
	2	1.0154	0.050	0.040	0.0520	
ล้างด้วยน้ำทะเล 90‰	1	1.0031	0.050	0.040	0.0526	0.0527
	2	1.0000	0.050	0.040	0.0528	
ล้างด้วยน้ำทะเล 120‰	1	1.0056	0.050	0.040	0.0525	0.0525
	2	1.0043	0.050	0.040	0.0526	

ภาคผนวก จ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

1 การวิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอย (Total Solids: TS)

1.1 วิธีการวิเคราะห์

- 1) นำถ้วยกระเบื้องไปอบให้แห้ง ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งโดยเครื่องชั่งละเอียด กำหนดให้น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเท่ากับ A กรัม
- 2) ตวงตัวอย่างน้ำประมาณ 10-15 มิลลิลิตร (ปริมาณน้ำที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ)
- 3) นำถ้วยกระเบื้องที่เติมน้ำแล้วไปอบให้แห้งในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 103-105°C นานประมาณ 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก กำหนดให้น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเท่ากับ B กรัม

1.2 การคำนวณ

$$\text{TS (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง}}$$

2 การวิเคราะห์ซีโอดี

2.1 การเตรียมสารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย ความเข้มข้น 0.0167 โมลาร์

ซึ่งสารมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) โพแทสเซียมไดโครเมต 4.913 กรัม ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้น เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร เติมนอร์ควิวิคซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรเท่ากับ 1000 มิลลิลิตร

2) กรดซัลฟิวริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver Sulfate; Ag_2SO_4) 0.88 กรัมต่อกรดซัลฟิวริก 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้การละลายนาน 1 - 2 วัน ซิลเวอร์ซัลเฟตจึงจะละลาย

3) เฟอโรอินอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10 - Phenanthroline Monohydrate ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) 1.485 กรัม และไอออน (II) ซัลเฟตแอปตาไฮเดรต ($\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.695 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Standard Ferrous Ammonium Sulfate Solution) เข้มข้น 0.25 นอร์มัล

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต(FAS) [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$] 98 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็นและเจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร

หาความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนใช้ โดยการนำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง

5) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท

ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHP) ซึ่งอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่แล้วที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 425 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร (สารละลายนี้จะมีค่าซีไอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.2 วิธีวิเคราะห์

1) หลอดแก้วที่ใช้หาค่าซีไอดีมีหลายขนาด การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับค่าซีไอดีที่มีในตัวอย่างน้ำ ดังนั้นเลือกขนาดหลอดแก้วแล้วเติมปริมาตรน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต แล้วค่อยๆเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้เกิดชั้นกรดที่กั้นหลอดปิดฝาให้แน่น แล้วกลับไปกลับมาเพื่อให้สารละลายผสมดี

- 2) นำหลอดแก้วไปเข้าตู้อบที่ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 3) เทสารละลายจากหลอดแก้วลงขวดรูปชมพู่ ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด เติมเฟอร์โรอิน 1-2 หยด คนให้เข้ากัน แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต จนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง
- 4) ทำ แบลงค์ โดยใช้สารเคมีและน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากับน้ำตัวอย่างน้ำ

2.3 การคำนวณ

$$\text{COD} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง}}$$

กำหนดให้	A	= ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)
	B	= ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)
	N	= ความเข้มข้นของ FAS (N)

ตารางที่ ๑1 คุณภาพของน้ำและน้ำทะเลหลังจากการล้างไบโอดีเซล

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ล้าง ไบโอดีเซล	พารามิเตอร์		
	pH		
	ก่อนล้างไบโอดีเซล	หลังล้างไบโอดีเซล	ปริมาณที่ เปลี่ยนแปลง
น้ำจืด	7.108	10.854	3.746
น้ำทะเล 30‰	7.880	8.166	0.286
น้ำทะเล 60‰	7.738	8.218	0.480
น้ำทะเล 90‰	7.554	8.214	0.687
น้ำทะเล 120‰	7.528	8.183	0.655
	ความเค็ม (‰)		
น้ำจืด	-	-	-
น้ำทะเล 30‰	30	28	2
น้ำทะเล 60‰	60	55	5
น้ำทะเล 90‰	90	85	5
น้ำทะเล 120‰	120	116	4
	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)		
น้ำจืด	1333	18000	16667
น้ำทะเล 30‰	56000	52000	4000
น้ำทะเล 60‰	118667	112000	6667
น้ำทะเล 90‰	186667	160000	26667
น้ำทะเล 120‰	270667	210000	60667
	ซีไอดี (mg/L)		
น้ำจืด	0	27606	27606
น้ำทะเล 30‰	623	15777	15152
น้ำทะเล 60‰	1870	95777	7707
น้ำทะเล 90‰	2078	7324	5246
น้ำทะเล 120‰	3117	6197	3080

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุมิตรา นามประดิษฐ์กุล เกิดวันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2547 และสำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 หลังจากนั้นศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2554

การประชุมวิชาการ

11-13 มกราคม 2555 “Using concentrated seawater in biodiesel purification process”
Pure and Applied Chemistry International Conference 2012
(PACCON 2012) Chiang Mai University