



โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ผลของความเข้มข้นของเกลือในน้ำทะเลที่มีต่อกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์
Effect of salts concentration in seawater for the purification of biodiesel

ชื่อนิสิต นางสาวปานไพลินท รุจิพรรณ

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของความเข้มข้นของเกลือในน้ำทะเลที่มีผลต่อ
กระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

Effect of salts concentration in seawater for the purification of
biodiesel

โดย

นางสาวปานไพลินท รุจิพรรณ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง ผลของความเข้มข้นของเกลือในน้ำทะเลที่มีผลต่อกระบวนการสร้างไบโอดีเซลให้กับวิสุทธี
โดย นางสาวปานไพลินท รุจิพรรณ

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

.....
.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศิริ ชิตางกูร)

ประธานกรรมการ

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

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วชิรวงศ์กวิน)

กรรมการ

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

.....
.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 12 เดือน พ.ก. พ.ศ. 59

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ

ดีมาก

ดี

พอใช้

ชื่อโครงการ ผลของความเข้มข้นของเกลือในน้ำทะเลที่มีผลต่อกระบวนการ
ล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์
ชื่อนิสิตในโครงการ น.ส.ปานไพลินท รุจิพรรณ เลขประจำตัว 5533113623
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. สมใจ เพ็งปรีชา
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของเกลือที่มีในน้ำทะเลต่อกระบวนการ
ทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ ด้วยการใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมซัลเฟต
แทนน้ำในกระบวนการล้างเพื่อลดปริมาณการใช้ น้ำ และลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น โดย
สังเคราะห์ไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล ใน
อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:6 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ของ
น้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120
นาที หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด แยกกลีเซอรินออก แล้วนำไบโอดีเซลมาล้างด้วยสารละลายเกลือที่มี
ความเข้มข้น 0.3, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์ พบว่าสารละลายเกลือแมกนีเซียมซัลเฟตมี
ความสามารถในการกำจัดกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซลได้ดีกว่า โดยที่ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0
โมลาร์ จะมีปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลจาก 2651.07 ppm เหลือเพียง 168.50 และ
119.68 ppm ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ นอกจากนี้การใช้สารละลาย
แมกนีเซียมซัลเฟตในกระบวนการล้างไบโอดีเซลยังป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำล้าง จึงสามารถ
ลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้

คำสำคัญ: การล้างไบโอดีเซล, น้ำทะเล, แมกนีเซียมซัลเฟต, อิมัลชัน

Title Effect of salts concentration in seawater for the purification of biodiesel

Student name Miss Panpailin Rujiphan ID 5533113623

Advisor Assoc. Prof. Somchai Pengprecha, Ph.D.,
Department of Chemistry, Faculty of Science,
Chulalongkorn University, Academic year 2015

Abstract

Waste oil emulsion in waste water is generated in biodiesel purification process. This emulsion doesn't only affect the efficacy of wastewater treatment but also influence the water quality of the effluent. To solve this problem, salt solution can be used in biodiesel purification process. In this study, sodium chloride and magnesium sulfate, two main components in seawater, were used to reduce water-usage and wastewater from purification process. 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 120 minutes. After glycerin layer was separated, the glycerin content in biodiesel was removed by washing with 0.3, 0.5, 1.0 and 2.0 M of sodium chloride and magnesium sulfate solution, respectively. The results showed that magnesium sulfate solution (1.0 and 2.0 M) can reduce the glycerin content in biodiesel from 2651.07 ppm to 168.50 and 119.68 ppm respectively, that required by ASTM D 6584 standard (200 ppm). Moreover, this process could prevent the formation of emulsion, reducing water-usage and wastewater from biodiesel purification process.

Keyword: biodiesel purification, seawater, magnesium sulfate, emulsion

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนวคิด คำแนะนำในการวิจัย ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นเพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศิริ ชิตางกูร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วชิรวงศ์กวิน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์นำทะเลมาใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ นางสาวสรีรัตน์ ทองศรีเกตุ นางสาวอภิชญา เทียงตรง นายเทพดินทร์ เชื้อประเสริฐ และนายภูมิ สังก์สุวรรณ นิสิตปริญญาโท ที่กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะ และให้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคต่างในการใช้เครื่องมือสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ให้ความเข้าใจ และเป็นกำลังใจเสมอมาโดยตลอด

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญรูปภาพ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ญ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....3	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล.....4	4
2.1.1 คำจำกัดความ.....4	4
2.1.2 ประเภทของไบโอดีเซล.....4	4
2.1.3 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล.....5	5
2.1.4 คุณสมบัติและมาตรฐานของไบโอดีเซล.....6	6
2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล..... 10	10
2.2.1 การใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending)..... 10	10
2.2.2 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking)..... 11	11
2.2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)..... 11	11
2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน..... 11	11
2.3.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน..... 13	13

2.3.2	ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	13
2.3.3	กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	15
2.4	อิมัลชันของน้ำและน้ำมัน.....	18
2.4.1	ลักษณะของอิมัลชัน.....	18
2.4.2	สบู่.....	19
2.4.3	น้ำกระด้าง.....	20
2.5	น้ำทะเล.....	20
2.5.1	องค์ประกอบของธาตุและสารประกอบในน้ำทะเล.....	21
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1	สารเคมี.....	24
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย.....	24
3.3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.3.1	การสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	25
3.3.2	เปรียบเทียบการใช้น้ำและน้ำทะเลในกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	25
3.3.3	เปรียบเทียบเกลือในน้ำทะเลที่มีผลต่อกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	25
3.3.4	ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้เกลือในน้ำทะเลล้างซ้ำ.....	26
3.3.5	การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลโดยวิธีไทเทรชัน.....	26
3.3.6	การวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบสของน้ำหลังการล้างไบโอดีเซล.....	27
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
4.1	ผลการเปรียบเทียบการใช้น้ำและน้ำทะเลในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	28
4.2	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไอออนบวกในน้ำทะเลที่ใช้ในกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	30
4.2.1	ลักษณะทางกายภาพ.....	30

4.2.2 วิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซล	32
4.2.3 ประสิทธิภาพของการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลาย แมกนีเซียมซัลเฟตล้างซ้ำ	33
4.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการล้างไบโอดีเซล	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการทดลอง	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	39
ภาคผนวก	42
ประวัติผู้วิจัย	45

ภาควิชาเคมี
 คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์	1
ภาพที่ 2.1	ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ	12
ภาพที่ 2.2	ปฏิกิริยาย่อยของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	13
ภาพที่ 2.3	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์	13
ภาพที่ 2.4	แสดงการเกิดอิมัลชันในลักษณะต่างๆ	18
ภาพที่ 2.5	ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน.....	19
ภาพที่ 2.6	โครงสร้างของสบู่.....	19
ภาพที่ 2.7	ลักษณะของไมเซลล์ของอิมัลชัน.....	20
ภาพที่ 2.8	ปฏิกิริยาการเกิดโคลสบู่.....	20
ภาพที่ 2.9	สัดส่วนของเกลือและไอออนต่างๆที่ละลายในน้ำทะเล	21
ภาพที่ 4.1	ลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลเมื่อล้างด้วยน้ำอุ่นและน้ำทะเล.....	29
ภาพที่ 4.2	ลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลและสารละลายเกลือหลังการล้าง	31
ภาพที่ 4.3	เปอร์เซ็นต์การกำจัดกลีเซอรอลในไบโอดีเซลโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์และ แมกนีเซียมซัลเฟตในการล้างซ้ำแต่ละครั้ง	34
ภาพที่ 4.4	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง.....	35

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่างๆ ในน้ำมัน.....	6
ตารางที่ 2.2	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล	8
ตารางที่ 2.3	ลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550	9
ตารางที่ 2.4	การเปรียบเทียบชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล	12
ตารางที่ 2.5	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการล้างแบบเปียกและการล้างแบบแห้ง	17
ตารางที่ 2.6	แสดงธาตุกลุ่มที่มีปริมาณมากในน้ำทะเล	22
ตารางที่ 2.7	แสดงกลุ่มธาตุที่มีปริมาณน้อยในน้ำทะเล	22
ตารางที่ 4.1	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลก่อนและหลังการล้าง.....	28
ตารางที่ 4.2	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และ สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้นต่างๆ	32
ตารางที่ 4.3	ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำล้างไบโอดีเซล.....	35
ตารางที่ ก1	ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลหลังกระบวนการล้างด้วยสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมซัลเฟต	43

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

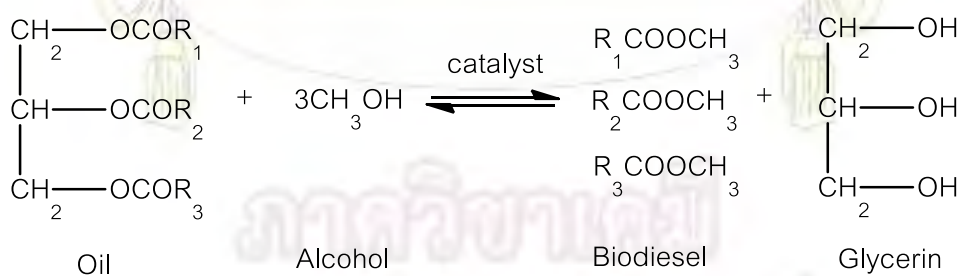
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ปริมาณน้ำมันสำรองของโลกมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ราคาของพลังงานหลักอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงมีการปรับตัวสูงขึ้น รวมถึงการเพิ่มขึ้นของปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ทำให้มีการแสวงหาแหล่งพลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันปิโตรเลียมอย่างน้ำมันดีเซลได้ หนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจคือ ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สำคัญต่อระบบอุตสาหกรรมและการคมนาคมเป็นอย่างมาก เนื่องจากไบโอดีเซลมีสมบัติเหมือนน้ำมันดีเซล (Ma และ Hanna, 1998) นอกจากนี้ไบโอดีเซลสามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ และไอเสียจากการเผาไหม้ให้มลพิษต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากมีการสันดาปสมบูรณ์ เกิดฝุ่นละอองแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำ (Bowman และคณะ, 2006) กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลนั้นมาจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีนี้จะมีการปนเปื้อนของสารต่างๆออกมากับไบโอดีเซลด้วย เช่น กลีเซอรอล เมทานอล สบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้าง (Jehad และคณะ, 2010) จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการล้างในขั้นตอนการผลิตเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ให้ไบโอดีเซล

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการที่ทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกลั่น การใช้ตัวดูดซับ การล้างโดยใช้น้ำ เป็นต้น โดย Berrios และ Skelton (2008) ได้ศึกษาวิธีการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยเปรียบเทียบระหว่าง 3 กระบวนการ ได้แก่ การใช้น้ำล้างไบโอดีเซล การดูดซับด้วยแมกนีเซียมซิลิเกต และการใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน พบว่าการใช้น้ำล้างไบโอดีเซลเป็นวิธีที่สามารถลดปริมาณกลีเซอรินและสารปนเปื้อนอื่นๆ ให้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่ ASTM D 6584 กำหนดไว้ได้ แต่การล้างไบโอดีเซลให้สะอาดนั้นต้องใช้ปริมาณน้ำมาก ทำให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสบู่ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ ต่อมา Kuo และ Lee (2010) ได้ศึกษาการใช้น้ำทะเลเทียมร่วมกับคลื่นไมโครเวฟเพื่อทำลายเสถียรภาพของอิมัลชัน พบว่าน้ำทะเลซึ่งเป็นสารละลายเกลือในธรรมชาติจะมีองค์ประกอบของเกลือละลายอยู่ในรูปไอออนบวกและไอออนลบ สามารถทำลายเสถียรภาพและลดสภาพอิมัลชันในน้ำเสียได้

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจจะศึกษาชนิดของเกลือในน้ำทะเลที่มีต่อผลการลดสภาพอิมัลชันในน้ำล้าง โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาชนิดและความเข้มข้นของเกลือในน้ำทะเล ที่มีต่อกระบวนการล้างไบโอดีเซล
2. ป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำล้าง ลดปริมาณการใช้น้ำและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. น้ำทะเลที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำทะเลเข้มข้นที่มีความเค็ม 120% โดยใช้เครื่องวัดความเค็มของเกลือในน้ำ จากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ทำการเตรียมสารละลายเกลือแมกนีเซียมซัลเฟต และเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยใช้สารเคมี
4. ทำการวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลหลังจากการล้างด้วยน้ำ น้ำทะเล สารละลายเกลือแมกนีเซียมซัลเฟตและและ เกลือโซเดียมคลอไรด์
5. ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายเกลือทั้ง 2 ชนิด

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกลีเซอรินในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำทะเลและล้างด้วยน้ำ
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้น้ำทะเล ได้แก่ ชนิด และความเข้มข้นของเกลือในน้ำทะเล
4. วิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซล และตรวจสอบความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลหลังจากการล้างด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี
5. วิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังกระบวนการล้างไบโอดีเซล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบชนิดของเกลือในน้ำทะเลที่มีผลมากที่สุดในการล้างไบโอดีเซลบริสุทธิ์
2. สามารถป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำล้าง ลดปริมาณการใช้น้ำและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล

2.1.1 คำจำกัดความ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานเชื้อเพลิงหมุนเวียนที่ใช้แทนน้ำมันดีเซล ผลิตจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือมาจากน้ำมันที่ใช้แล้ว ผ่านกระบวนการทางเคมี เกิดสารที่มีองค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Alkyl Ester: FFAE) ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง หรือผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่างๆ (Ma และ Hanna, 1990)

2.1.2 ประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่ผลิตในประเทศไทยแบ่งได้ 3 ประเภท (อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย, 2006)

2.1.2.1 ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้ มาจากน้ำมันของพืช หรือไขมันจากสัตว์โดยตรง เช่น ใช้ไขมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือ น้ำมันจากไขสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆ ไม่ต้องปรับปรุงสมบัติของน้ำมันอีก แต่น้ำมันพืชจะมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมันในเครื่องยนต์ฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์

2.1.2.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

เป็นการผสมน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์กับ “น้ำมันก๊าด” หรือ “น้ำมันดีเซล” เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ “น้ำมันดีเซล” มากขึ้น เช่น ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันมะพร้าว เรียกว่า โคโคดีเซล (Cocodiesel) ซึ่งเหมาะกับกรณีที่ต้องใช้น้ำมันอย่างเร่งด่วน และใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้งานหนัก ตลอดจนใช้งานในภูมิอากาศเขตร้อน อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมเท่ากับ 20:80 แต่เนื่องจากปัจจุบันราคาของน้ำมันก๊าดค่อนข้างสูง ปริมาณน้ำมันก๊าดที่ใส่ลงไปจึงน้อยลง ทำให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้

2.1.2.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มาจากปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) ผลิตได้โดยการนำน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์ ไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ “น้ำมันดีเซล” มากที่สุดทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ประเภทดีเซล ได้น้ำมันที่มีความคงตัวมากขึ้น สามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งเติมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เช่น B5 (ไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5:95) หรือ B100 ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น แต่ปัญหาคือ ต้นทุนการผลิตมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลประเภทอื่นๆ

2.1.3 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

2.1.3.1 น้ำมันพืช

วัตถุดิบหลักที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง มะพร้าว หรือสบู่ดำ ซึ่งน้ำมันพืชแต่ละชนิดนั้นจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกัน โดยจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 14-20 อะตอมที่มีความไม่อิ่มตัวอยู่สูง โดยปาล์มเป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น คือมีต้นทุนการผลิตต่ำ ให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง อีกทั้งยังทนต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติ (ซ้ชวาล คำวงศ์และคณะ, 2550)

2.1.3.2 ไขมันสัตว์

ไขมันจากสัตว์ที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ไขมันไก่ น้ำมันหมู และไขมันจากวัว มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระที่มีความไม่อิ่มตัวอยู่สูง ทำให้เป็นไขง่ายเมื่ออุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ไขมันสัตว์ยังเหม็นหืนง่ายเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำไปผลิตไบโอดีเซลจึงทำให้ได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติการไหลเทต่ำ แต่สามารถแก้ไขได้ด้วยการกลั่นแยกส่วนของไขมันออกไปก่อนจะนำไปทำปฏิกิริยา

2.1.3.3 น้ำมันใช้แล้ว

เป็นวัตถุดิบที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปัจจุบันประชากรมีการบริโภคอาหารที่ปรุงด้วยการทอดสูงขึ้น ทำให้มีน้ำมันพืชที่ใช้แล้วปริมาณมาก ซึ่งจำเป็นจะต้องหาวิธีการจัดการอย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข ก่อนนำมาผลิตจะต้องมีกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆในน้ำมันออก โดยการกรอง การกลั่น หรือการฟอกสี แม้ว่าน้ำมันเหล่านี้จะมีราคาที่ไม่สูงมากนัก มันมีปริมาณกรด

ไขมันอิสระอยู่จำนวนมาก จึงไม่เหมาะสำหรับการผลิตไบโอดีเซลร่วมกับเบสโดยตรง เพราะจะเกิดสบู่ปนออกมาเป็นจำนวนมาก

กรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันหรือไขมันจะมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ตั้งแต่ 12-24 อะตอม มีปริมาณกรดไขมันอยู่ในโครงสร้าง ประมาณ 94-96 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไตรกลีเซอไรด์ จึงทำให้น้ำมันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกันไป องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่างๆ ในน้ำมัน

กรดไขมัน (ร้อยละ) ชนิดน้ำมัน	กรดไขมันอิ่มตัว				กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
	ลอริก	ไมริสติก	ปาล์มิติก	สเตียริก	โอเลอิก	ไลโนเลอิก	ไลโนเลนิก
น้ำมันหมู	22.7	11.5	19.0	26.0	8	7.9	-
น้ำมันมะพร้าว	43.8	23.4	13.6	9.6	3.7	2.3	-
น้ำมันถั่วลิสง	-	-	12.7	41.1	2.1	36.6	1.6
น้ำมันรำ	-	0.3	17.6	40.3	26.0	32.1	1.4
น้ำมันถั่วเหลือง	-	-	10.5	3.4	16	46.9	6.1

ที่มา: Ma และ Hanna (1999)

2.1.4 คุณสมบัติและมาตรฐานของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เนื่องจากองค์ประกอบและโครงสร้างของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลแตกต่างกัน ทำให้ไบโอดีเซลยังมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล คุณสมบัติทั่วไปของไบโอดีเซล (กระทรวงพลังงาน, 2550; กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2550; Ma และ Hanna, 1990; Demirbas, 2007) มีดังนี้

1. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาด เนื่องจากสารตั้งต้นที่ผลิตไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ จึงไม่มีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยจากไอเสียเครื่องยนต์
2. ไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้าง ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ มีควันดำต่ำและมีปริมาณฝุ่นละอองน้อยกว่าการใช้้ำมันดีเซล

3. ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงมีค่าการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้สะดวกและปลอดภัยในการเก็บ บรรจุและขนส่ง
4. ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี
5. ไบโอดีเซลสามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) และไม่เป็นพิษ (Non-toxic)
6. ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุลมาก ทำให้มันไม่เสถียรสามารถเกิดการออกซิเดชันได้ง่าย และมีระยะเวลาเก็บรักษาหลังการผลิตที่สั้นกว่าน้ำมันดีเซล
7. ไบโอดีเซลเมื่อใช้กับเครื่องยนต์ที่ไม่มีการตัดแปลง ไอเสียที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) สูงกว่าน้ำมันดีเซล

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล มีมาตรฐานการกำหนดส่วนประกอบทางเคมีและความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และไบโอดีเซลที่ใช้ในประเทศไทยต้องมีคุณภาพเป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซล
มาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง	ASTM D975	ASTM PS 121
ส่วนประกอบของน้ำมัน	C10-C21 HC	C12-C22 FAME
ค่าความร้อน (Btu/gal)	131,295	117,093
ความหนืดที่ 40 °C	1.3-4.1	1.9-0.6
ความถ่วงจำเพาะที่ 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)

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550

ข้อกำหนด	ปริมาณ	วิธีทดสอบ
เมทิลเอสเทอร์ (%wt)	>96.5	EN 14103
ความหนาแน่นที่ 15 °C (Kg/m ³)	860-900	ASTM D 1298
ความหนืดที่ 40 °C	3.5-5.0	ASTM D 445
จุดวาบไฟ (°C)	>120	ASTM D 93
กำมะถัน (%wt)	<0.0010	ASTM D 2662
กากถ่าน (%wt)	<0.30	ASTM D 4530
ค่าซีเทน	>51	ASTM D 613
เถ้าซิลิเกต (%wt)	<0.02	ASTM D 874
ปริมาณน้ำ (%wt)	<0.050	ASTM D 2709
สิ่งเจือปนทั้งหมด (%wt)	<0.0024	ASTM D 5452
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	<96.5	ASTM D 130
เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 110 °C (ชั่วโมง)	>6	EN 14112
ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	<0.80	ASTM D 664
ค่าไอโอดีน (mg I ₂ /100g)	<120	EN 14111
กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (%wt)	<12.0	EN 14113
เมทานอล (%wt)	<0.20	EN 14110
โมนอกลิเซอไรด์ (%wt)	<0.80	EN14105
ไดกลิเซอไรด์ (%wt)	<0.20	EN 14105
ไตรกลิเซอไรด์ (%wt)	<0.20	EN 14105
กลีเซอรอลอิสระ (%wt)	<0.20	EN 14105

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)ลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550

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

ที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2550)

2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) (Ma และ Hanna, 1999; Fukada และคณะ, 2001; Khan และคณะ, 2011) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending)

การใช้โดยตรง เป็นการนำน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน

การใช้แบบผสม คือการนำน้ำมันดีเซลมาผสมกับน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามการใช้ น้ำมันพืชทั้งโดยตรงและการผสม ยังมีคุณสมบัติของน้ำมันต่างจากน้ำมันดีเซล จึงก่อให้เกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์ การสันดาปไม่สมบูรณ์ เนื่องจากในน้ำมันพืชมีความหนืดสูง และมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง จึงไม่นิยมใช้วิธีนี้ (Fukada และคณะ, 2001)

2.2.2 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking)

กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน หรือ ไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นการย่อยสลายน้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์ โดยการให้ความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่กระบวนการนี้จะควบคุมได้ยาก เนื่องจากความหลากหลายของเส้นทางการเกิดปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยกระบวนการนี้สามารถลดความหนืดของน้ำมันได้ แต่ไม่สามารถลดค่าความไม่อิ่มตัวได้ (Ma และ Hanna, 1999)

2.2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันหรือแอลกอฮอล์ไลซิส คือการทำปฏิกิริยาเพื่อแตกพันธะเอสเทอร์ (-COO-) ในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ด้วยแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอริน ซึ่งจะมีมวลโมเลกุลเล็กลง โดยไบโอดีเซลจะอยู่ในรูปของเอสเทอร์

จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ได้กล่าวมาข้างต้น ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลที่ได้มีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด และมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนมากนัก

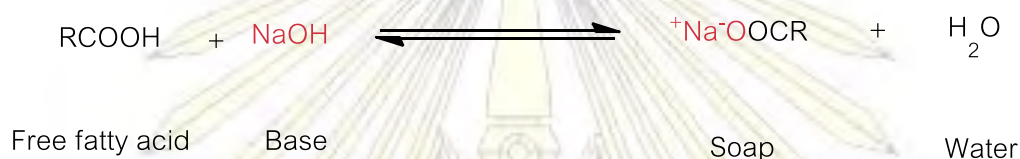
2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบในน้ำมันพืช แอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลในรูปมอนอแอลคิลเอสเทอร์ และกลีเซอริน โดยมีกรดเบส หรือเอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรืออาจทำได้โดยไม่ใช้ตัวเร่งก็ได้ เกิดปฏิกิริยาดังภาพ 1.1

ตามสมการการเกิดปฏิกิริยาจากภาพที่ 1.1 พบว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ต้องใช้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน เท่ากับ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้สามารถผันกลับได้ จึงต้องใช้ปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินไป เพื่อบังคับสมดุลของปฏิกิริยาให้เกิดไปทางขวา ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้นได้ (Musa, 2015)

แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในปฏิกิริยา ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้เมทานอล เนื่องจากมีราคาถูก ไม่ก่อให้เกิดสารผสมในขั้นตอนการนำกลับมาใช้ซ้ำ อีกทั้งเมทานอลยังเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้ง่ายและเร็วกว่าแอลกอฮอล์ชนิดอื่น (Marchetti และคณะ, 2007)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมีหลายชนิด ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เบส เอนไซม์ไลเปส และการใช้แอลกอฮอล์ในสภาวะเหนือวิกฤต โดยจากตารางที่ 2.4 จะเห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสถูกนำมาใช้ในการศึกษามากที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำและราคาถูก เมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น แต่ตัวเร่งชนิดนี้ก็ยังมีความข้อจำกัดอยู่คือมันจะทำให้เกิดสบูระหว่างทำปฏิกิริยาได้ โดยผ่านปฏิกิริยาสะaponification ของกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมัน ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งจะทำให้ยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจาก กลีเซอริน (Marchetti และคณะ, 2007)



ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาสะaponification ของกรดไขมันอิสระ

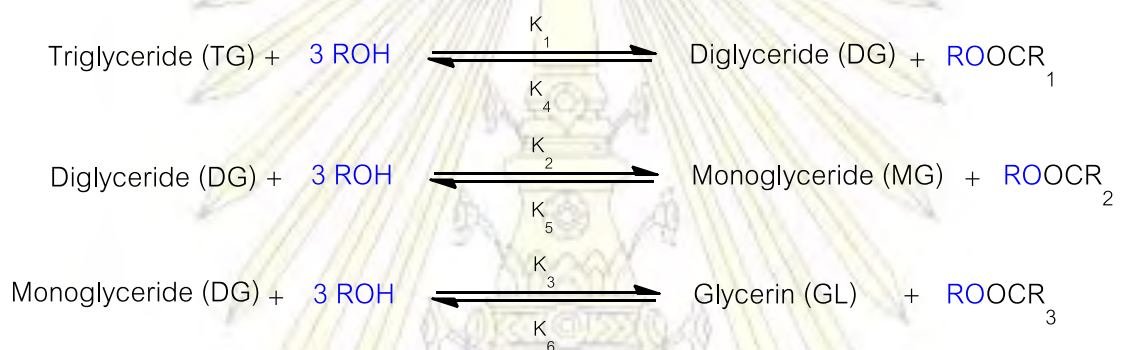
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

ตัวแปร	กรด	เบส	เอนไซม์	แอลกอฮอล์ในสภาวะเหนือวิกฤต
อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (°C)	55-80	60-70	30-40	239-385
กรดไขมันอิสระในวัตถุดิบ	เอสเทอร์	สบู่	เอสเทอร์	เอสเทอร์
ผลของปริมาณน้ำในปฏิกิริยา	มีผล	มีผล	ไม่มีผล	
ปริมาณผลิตภัณฑ์	ปกติ	ปกติ	สูงมาก	ดี
กระบวนการนำกลับกลีเซอรอล	ยาก	ยาก	ง่าย	
การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์	การล้าง	การล้าง		
ราคาของตัวเร่งปฏิกิริยา	ถูก	ถูก	แพง	ปานกลาง

ที่มา: Marchetti และคณะ (2007)

2.3.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันประกอบด้วย ปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับ (reversible reaction) 3 ขั้นตอนย่อย ดังภาพที่ 2.2 ในขั้นตอนแรกไตรกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ และมอนอกลิเซอไรด์ ตามลำดับ ในขั้นตอนสุดท้ายจะได้เป็นเอสเทอร์ออกมาทั้งหมด 3 โมล และกลีเซอริน 1 โมล ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันมีหลายอย่างด้วยกัน เช่น ปริมาณน้ำและความชื้นในน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา

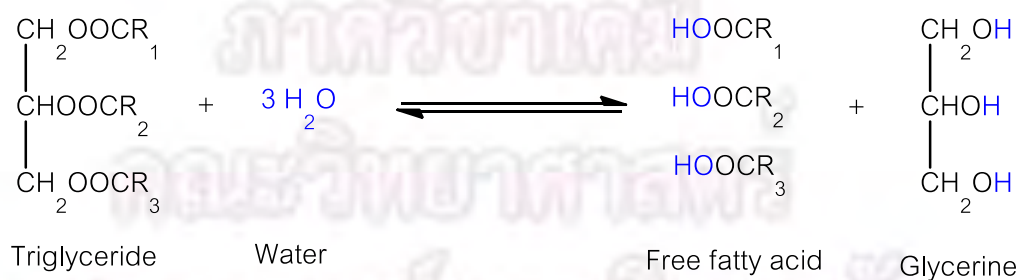


ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาย่อยของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.3.2.1 น้ำและความชื้น

การมีน้ำหรือความชื้นในสารตั้งต้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งจะทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากขึ้น กรดไขมันอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับเบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่ขึ้นมา ทำให้เกิดไบโอดีเซลลดลง ดังนั้นจึงควรกำจัดความชื้นที่อยู่ในน้ำมันออกก่อนนำมาทำปฏิกิริยา โดยการนำไปอุ่นเพื่อไล่ความชื้นออก



ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์

2.3.2.2 กรดไขมันอิสระ

น้ำมันที่นำมาใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซลจะต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหมาะสม โดยปฏิกิริยาที่ใช้เบสเป็นตัวเร่ง จะต้องมีความเข้มข้นกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 1 เนื่องจากการมีกรดไขมันอิสระมากเกินไปจะทำให้เกิดสบู่และน้ำ ดังภาพที่ 2.1 ได้ โดยสบู่ที่เกิดขึ้นจะลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังทำให้ความหนืดของไบโอดีเซลสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรินยากขึ้น

สำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันมากกว่าร้อยละ 1 ต้องใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ดังภาพที่ 2.1 เพื่อลดความเป็นกรดของน้ำมัน จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งต่อไป

2.3.2.3 อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้น

จากสมการการเกิดปฏิกิริยาดังภาพที่ 1.1 จะเห็นว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมัน เท่ากับ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดแบบผันกลับได้ อัตราส่วนโดยโมลที่สูงขึ้นจะผลักดันให้ปฏิกิริยาเกิดผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้อัตราส่วนอยู่ที่ 6:1 ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลสูง เพราะหากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามากหรือน้อยเกินไป จะได้ผลิตภัณฑ์ลดลง หากเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไป มันจะเกิดปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระทำให้เกิดสบู่ โดยเฉพาะในการทำปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งเป็นเบส

2.3.2.5 เวลาในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันโดยตรงกับเวลา หากใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากก็จะทำให้เกิดไบโอดีเซลมากขึ้นด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูงในระยะแรกของปฏิกิริยาและลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

2.3.2.6 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เพราะหากสูงเกินไปจะทำให้แอลกอฮอล์ระเหยออกไป อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงลดลงได้

2.3.3 กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

เมื่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสิ้นสุดลง จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน ซึ่งจะแยกออกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นบนจะเป็นชั้นของเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ส่วนชั้นล่างจะเป็นกลีเซอริน เนื่องจากไบโอดีเซลมีความหนาแน่นต่ำกว่ามันจึงอยู่ชั้นบนนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อแยกกลีเซอรินออกไปแล้ว ในชั้นของไบโอดีเซลก็ยังมีสารปนเปื้อนของแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ กลีเซอรอล น้ำ และสบู่ที่เกิดขึ้น ซึ่งสารปนเปื้อนเหล่านี้จะทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลลดลง จึงต้องนำไบโอดีเซลเหล่านั้นมาผ่านกระบวนการที่ทำให้บริสุทธิ์เสียก่อน โดยกระบวนการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การล้างแบบเปียก และการล้างแบบแห้ง มีรายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 การล้างแบบเปียก

การล้างแบบเปียกเป็นวิธีการที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการกำจัดสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล ลักษณะวิธีการล้างแบบเปียกมี 3 แบบ ได้แก่ การล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ล้างด้วยน้ำอ่อน (น้ำผสมกรด) และการล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ โดยการล้างด้วยน้ำอ่อนถือเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติความมีขั้วในโมเลกุลน้ำ ทำให้น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีในการละลายสารปนเปื้อนอย่าง กลีเซอรอล เมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีอยู่ในไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี ตามหลักของ “like dissolve like” ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการใช้น้ำในการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จะอยู่ที่ประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส โดยมีการกวน 15-30 นาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อ 3-4 ชั่วโมง

Karaosmanoglu และคณะ (1996) ศึกษาการทำไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรพ โดยใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อให้เกิดไบโอดีเซลที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการล้างแบบเปียก 3 วิธีด้วยกัน คือ การล้างด้วยน้ำอ่อน การล้างด้วยน้ำผสมกรดซัลฟิวริก (อัตราส่วน 1:1) และการละลายในตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ จากผลการทดลองพบว่าวิธีการล้างที่ดีที่สุดคือการล้างด้วยน้ำอ่อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ไบโอดีเซลร้อยละ 86 และทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ถึง 99 เปอร์เซ็นต์

2.3.3.2 การล้างแบบแห้ง

เป็นการกำจัดสารปนเปื้อนแบบไม่ใช้น้ำ เช่น การใช้ตัวดูดซับ การใช้ผงแมกนีเซียมซิลิเกต การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน วิธีเหล่านี้จะทำให้ปริมาณกลีเซอรอลและสบู่ในไบโอดีเซลลดลงได้ โดยอาศัยหลักการของการดูดซับ วิธีการล้างแบบแห้งนี้ จะไม่ทำให้เกิดน้ำ

เสียออกมาจากระบวนการ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการล้างแบบแห้งประมาณ 65 องศาเซลเซียส และใช้เวลาประมาณ 20-30 นาทีในการดูดซับสารปนเปื้อนออกไป

Gomes และคณะ (2010) ได้ศึกษาการทำไปโอติเซลให้บริสุทธิ์โดยเปรียบเทียบการใช้น้ำล้างไปโอติเซล การใช้ตัวดูดซับจากแป้งและน้ำตาลที่ได้มาจากธรรมชาติ โดยมีน้ำมันทานตะวันเป็นสารตั้งต้น ผลการศึกษาพบว่าการใช้ตัวดูดซับในกระบวนการทำไปโอติเซลให้บริสุทธิ์ช่วยลดปริมาณสารปนเปื้อนในไปโอติเซลได้ดีกว่าการใช้น้ำล้าง และที่สำคัญมันยังช่วยลดปริมาณน้ำเสียที่ออกมา จากกระบวนการได้อีกด้วย

จากกระบวนการทำไปโอติเซลให้บริสุทธิ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของการล้างแบบเปียกและแบบแห้ง โดยเปรียบเทียบดังตารางที่ 2.5 พบว่าการล้างด้วยน้ำเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนในไปโอติเซล ซึ่งมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แต่การล้างแบบใช้น้ำนั้นต้องใช้น้ำในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนจากกระบวนการ และน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นอิมัลชัน เนื่องจากมีสบู่ปนเปื้อนมาจากการเกิดปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน ซึ่งเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการล้างแบบเปียกและการล้างแบบแห้ง

วิธีการล้าง	ข้อดี	ข้อเสีย
การล้างแบบเปียก	<ul style="list-style-type: none"> -มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนสูง และเป็นวิธีการที่ง่าย -การล้างด้วยน้ำที่ผสมกรด จะสามารถกำจัดสารปนเปื้อนอย่าง แคลเซียมและแมกนีเซียมได้ -ลดปริมาณเมทานอล สบู กลิเซอรอลอิสระให้อยู่ในมาตรฐาน -สามารถผสมกับตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อกำจัดสารที่มีขี้ดดำได้ 	<ul style="list-style-type: none"> -ใช้น้ำในปริมาณมากทำให้เกิดน้ำเสียออกจากกระบวนการมากเช่นกัน -เกิดกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมาก และมีมลพิษเกิดขึ้นจากสบู่ จึงมีการสูญเสียไบโอดีเซล -เพิ่มต้นทุนและระยะเวลาในการผลิต
การล้างแบบแห้ง	<ul style="list-style-type: none"> -เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้น้ำ -ลดปริมาณกรดไขมันอิสระ และสบู่ -ประหยัดเวลาและพลังงานในกระบวนการล้าง 	<ul style="list-style-type: none"> -สิ้นเปลืองตัวดูดซับที่ใช้ในการล้าง -ต้นทุนสูงกว่าการล้างแบบเปียก -ต้องมีการกำจัดกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซลก่อนจะใช้ตัวดูดซับ -ไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการล้างแบบแห้งยังมีสมบัติเกินที่มาตรฐานกำหนดไว้ -อาจมีสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนปนเปื้อนในไบโอดีเซล

ที่มา: Stojkovic และคณะ (2014)

2.4 อิมัลชันของน้ำและน้ำมัน

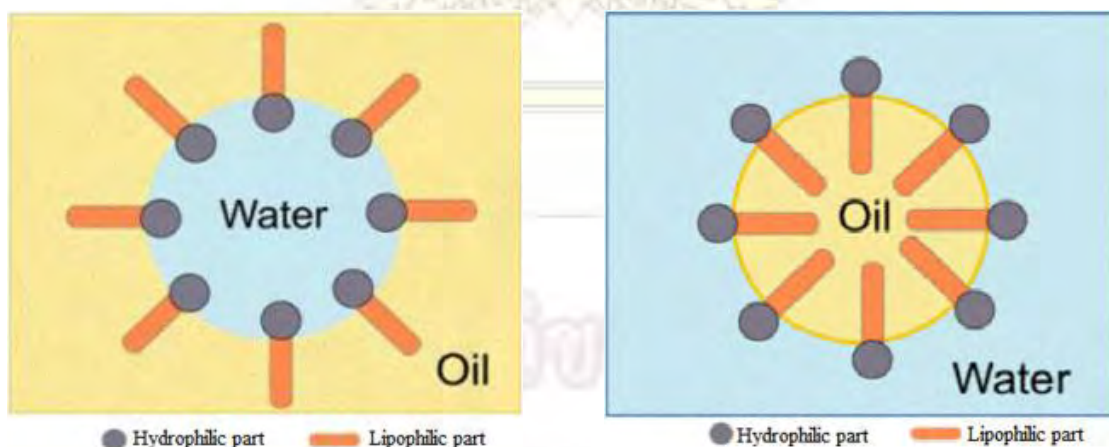
2.4.1 ลักษณะของอิมัลชัน

อิมัลชันคือการกระจายตัวของคอลลอยด์ในสารละลาย โดยเกิดจากของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ ในสภาวะปกติจะแยกออกเป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงตึงระหว่างผิว แต่เมื่อมีการกวนหรือการเขย่าจะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆในกันและกันได้ เนื่องจากการเขย่านั้นจะเพิ่มพลังงานและพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง โดยจะมองเห็นเป็นสารเนื้อเดียวกันเพียงแค่วินาที เมื่อเวลาผ่านไปจะแยกชั้นเหมือนเดิม เช่น น้ำและน้ำมัน โมเลกุลของน้ำจะมีขั้วจึงไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับโมเลกุลของน้ำมัน ซึ่งไม่มีขั้วนั่นเอง

อิมัลชันสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามลักษณะการกระจายตัว คือ อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion, O/W) ซึ่งจะทำให้อนุภาคของน้ำมันแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ และอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion, W/O) ทำให้น้ำสามารถแขวนลอยได้ในน้ำมัน ดังภาพที่ 2.4 โดยวิธีการทำให้น้ำและน้ำมันรวมตัวกันได้คือต้องเติมสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ หรือสารช่วยลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเป็นตัวกลางในการเชื่อมระหว่างน้ำกับน้ำมันเข้าด้วยกันที่บริเวณผิวสัมผัส เช่น สบู

(ก) น้ำในน้ำมัน

(ข) น้ำมันในน้ำ



ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดอิมัลชันในลักษณะต่างๆ

ที่มา: Khan และคณะ (2011)

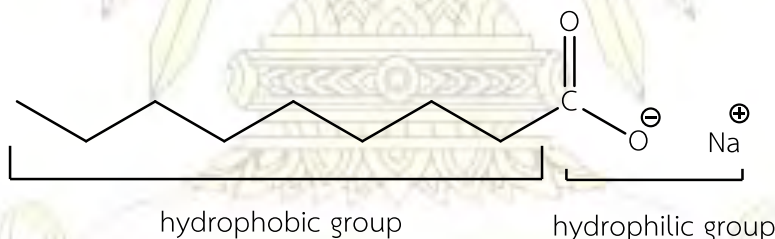
2.4.2 สบู่

สบู่เป็นสารที่สังเคราะห์ได้จากการนำน้ำมันพืชและเบสมาผ่านปฏิกิริยาสะapon นิฟิเคชัน ได้เป็นเบสและกลีเซอรอล ดังภาพที่ 2.5 โดยลักษณะของสบู่ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเบสที่ใช้



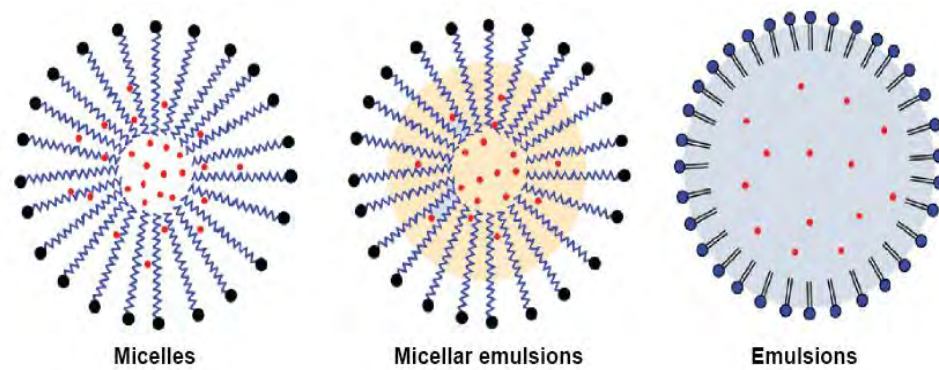
ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน

โมเลกุลของสบู่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) เป็นส่วนที่ของเกลือโซเดียมคาร์บอกซิเลตหรือโพแทสเซียมคาร์บอกซิเลต ซึ่งสามารถละลายได้ดีในน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว มีลักษณะเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน โครงสร้างเช่นนี้ เรียกว่า amphiphile ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของสบู่

เนื่องจากโครงสร้างของสบู่จะประกอบไปด้วยส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยส่วนหัวหรือส่วนที่มีขั้วจะหันเข้าหาน้ำ และส่วนหางจะหันเข้าหาน้ำมันซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังนั้นสบู่จึงทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ คือเป็นตัวประสานให้น้ำกับน้ำมันรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยสบู่จะอยู่ที่บริเวณผิวสัมผัสของสาร ซึ่งโมเลกุลของสบู่จำนวนหนึ่งสามารถรวมตัวกันเองในน้ำ โดยรวมส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากัน และหันส่วนหัวออกไปในน้ำ เกิดเป็นอนุภาคทรงกลมขนาดเล็ก รัศมีนาโนเมตร แขนงลอยเป็นหยดน้ำมันเล็กๆ เรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) ดังภาพที่ 2.7

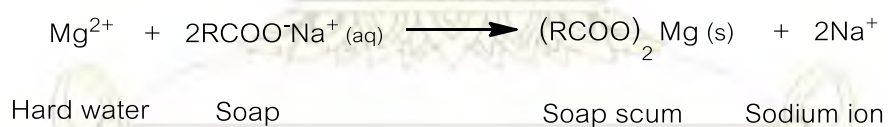


ภาพที่ 2.7 ลักษณะของไมเซลล์ของอิมัลชัน

ที่มา: Zhang และคณะ (2015)

2.4.3 น้ำกระด้าง

น้ำกระด้าง (hard water) คือ น้ำที่ไม่ทำให้สบู่เกิดฟอง หรือเกิดฟองน้อย และมีตะกอนสบู่เกิดขึ้นแทน หรือที่เรียกว่า ไคลสบู่ โดยในน้ำกระด้างจะมีองค์ประกอบของ แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน หรือซัลเฟตไอออน ละลายอยู่ เช่น น้ำคลอง น้ำบ่อน้ำประปา น้ำบาดาล น้ำทะเล เป็นต้น ไอออนเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยากับสบู่จะทำให้เกิดเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ตกตะกอนสบู่ออกมา ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ปฏิกิริยาการเกิดไคลสบู่

2.5 น้ำทะเล

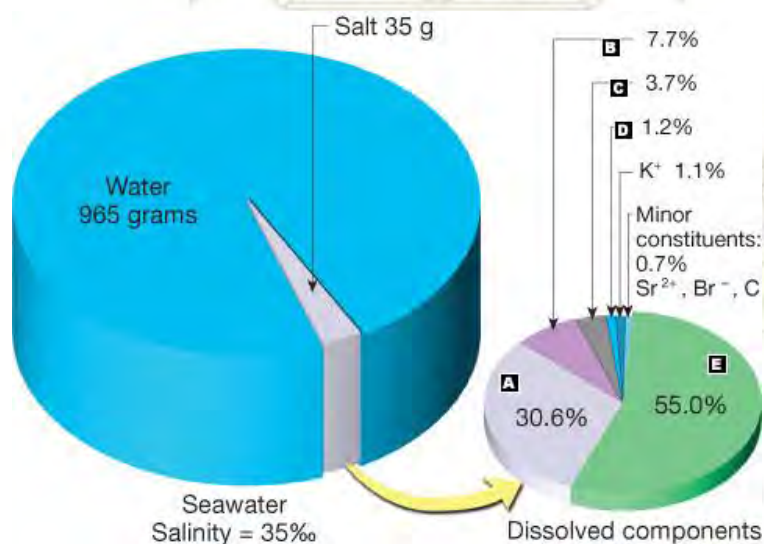
น้ำทะเล คือน้ำเค็มในมหาสมุทร ปกคลุมผิวโลกประมาณสามในสี่ส่วนของแหล่งน้ำตามธรรมชาติทั้งหมด คิดเป็นประมาณร้อยละ 97.2 ของน้ำบนผิวโลกทั้งหมด โดยทั่วไปจะมีความเค็มเฉลี่ยประมาณ 35 ส่วนในพันส่วน (parts per thousand: ppt) หรือในน้ำทะเล 1 ลิตรจะมีเกลือละลายอยู่ 35 กรัมนั่นเอง

2.5.1 องค์ประกอบของธาตุและสารประกอบในน้ำทะเล

น้ำทะเลประกอบด้วยน้ำร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก และส่วนที่เหลือเป็นสารชนิดต่างๆที่ละลายในน้ำทะเล (ภาพที่ 2.9) ซึ่งสารเหล่านั้นจะเป็นไอออนของเกลือชนิดต่างๆที่ละลายน้ำได้ ส่งผลให้น้ำทะเลเค็มนั่นเอง โดยจะเป็นได้ทั้งไอออนบวกและไอออนลบ (Duxbury และคณะ, 2002) ทำให้น้ำทะเลมีคุณสมบัติเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสามารถจำแนกองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในน้ำทะเลได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่มีปริมาณมาก (major constituents) คิดเป็น 99.9 เปอร์เซ็นต์ของเกลือที่ละลายในทะเลทั้งหมด เช่น คลอไรด์ (Cl^-) โซเดียม (Na^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นต้น ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งมีสัดส่วนคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเข้ามา จัดเป็น conservative constituents

กลุ่มที่มีปริมาณน้อย (minor constituents) จะมีความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ppm โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่มีผลต่อการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำทะเล แต่ก็มี ความสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการชีวเคมีที่เกิดขึ้นในมหาสมุทร เช่น การหายใจของพืชในน้ำ ทำให้ปริมาณไม่คงที่ อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ จึงจัดเป็น non-conservative constituent (ตารางที่ 2.7)



ภาพที่ 2.9 สัดส่วนของเกลือและไอออนต่างๆที่ละลายในน้ำทะเล

ที่มา: wps.prenhall.com

ตารางที่ 2.6 แสดงธาตุกลุ่มที่มีปริมาณมากในน้ำทะเล

ไอออน	mg/kg (ppm)	mmol/kg
คลอไรด์ (Cl ⁻)	19352.71	545.87
โซเดียม (Na ⁺)	10781.45	468.96
ซัลเฟต (SO ₄ ²⁻)	2712.35	28.23
แมกนีเซียม (Mg ²⁺)	1283.73	52.81
แคลเซียม (Ca ²⁺)	412.08	10.28
โพแทสเซียม (K ⁺)	399.1	10.21

ที่มา: Pawlowicz และคณะ (2015)

ตารางที่ 2.7 แสดงกลุ่มธาตุที่มีปริมาณน้อยในน้ำทะเล

ไอออน	mg/kg (ppm)	mmol/kg
โบรมีน (Br ⁻)	67.29	0.8421
คาร์บอเนต (CO ₃ ²⁻)	14.34	0.2389
สตรอนเซียม (Sr ²⁺)	7.94	0.0907
ฟลูออรีน (F ⁻)	1.30	0.0683

ที่มา: Pawlowicz และคณะ (2015)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fan และคณะ (2013) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยมีโคลิโนไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นของเหลวไอออนิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ การใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ โดยมีอัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลืองต่อเมทานอลเท่ากับ 1:9 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เท่ากับ 60 °C และ 2.5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจะเกิดไบโอดีเซลร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังพบว่า โคลิโนไฮดรอกไซด์สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ถึง 5 ครั้ง และไม่ทำให้เกิดสบู่ในกระบวนการผลิตเมื่อเทียบกับเบสชนิดอื่น

Mendow และคณะ (2012) ศึกษากระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยใช้ น้ำที่ อิ่มตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดปัญหาในการเกิดสบู่หลังกระบวนการล้าง ผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้น้ำในการล้างไบโอดีเซลครั้งแรก แล้วตามด้วยน้ำที่อิ่มตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นกรดอ่อน จะช่วยลดการกัดกร่อนได้มากกว่าเมื่อเทียบกับกรดตัวอื่น และได้เมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 104 (ร้อยละผลได้ทางทฤษฎีเท่ากับ 105.22) เมื่อใช้ NaOCH_3 ละลายในเมทานอลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Lin และคณะ (2005) ศึกษาความสามารถในการละลายของสบู่โซเดียม ในสารละลายเกลือ โดยเปรียบเทียบระหว่างเกลืออนินทรีย์สองชนิด ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และ โซเดียมเปอร์คลอเรต (NaClO_4) เกลืออินทรีย์อย่างเตตระอัลคิลแอมโมเนียมโบรไมด์ ผลการทดลองพบว่า โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมเปอร์คลอเรต มีคุณสมบัติ salting-out ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของสบู่โซเดียมออกมาจากน้ำ ความเข้มข้นของสบู่ในน้ำจึงลดลง ในขณะที่เตตระอัลคิลแอมโมเนียมโบรไมด์ มีคุณสมบัติเป็น salting-in ทำให้ความเข้มข้นของสบู่ในน้ำเพิ่มขึ้น

Hayyan และคณะ (2010) ศึกษาการใช้เกลือแอมโมเนียมซึ่งเป็นของเหลวไอออนิกเป็นตัวทำละลายในการสกัดกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซล ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะศึกษาผลของอัตราส่วนของเกลือแอมโมเนียมที่เป็นตัวทำละลายกับไบโอดีเซล และส่วนประกอบของเกลือแอมโมเนียมต่อประสิทธิภาพการสกัด ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนเกลือแอมโมเนียมกับไบโอดีเซลที่แยกกลีเซอรินได้ดีที่สุดคือ 1:1 และส่วนประกอบของเกลือแอมโมเนียมต่อกลีเซอรินที่เหมาะสม คือ 1:1 ซึ่งทำให้ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลอยู่ในมาตรฐาน EN 14214 และ ASTM D 6751

Kuo และ Lee (2010) ศึกษาการใช้น้ำทะเลเทียม ซึ่งเป็นแหล่งของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมซัลเฟต ร่วมกับการใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อทำลายเสถียรภาพของอิมัลชัน 3 ชนิด ได้แก่ อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ อิมัลชันของน้ำมันมะกอก และอิมัลชันของน้ำมันในน้ำผสมกับน้ำมันมะกอก ตามลำดับ โดยศึกษาลักษณะของอิมัลชัน และผลของคลื่นไมโครเวฟต่ออัตราการทำลายเสถียรภาพของอิมัลชัน และประสิทธิภาพในการแยกชั้นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือการใช้คลื่นไมโครเวฟ 700 วัตต์ ฉายรังสีเป็นเวลา 40 วินาที ตั้งทิ้งไว้ 60 นาที หลังจากเติมน้ำทะเลเทียม 12, 32 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ จะได้ประสิทธิภาพการแยกจากการทำลายอิมัลชันเท่ากับ 93.1, 92.5 และ 93.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

- น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ยี่ห้อหยก
- เมทานอล: analytical grade; Merck
- โซเดียมไฮดรอกไซด์: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- กรดไฮโดรคลอริก: analytical grade; Merck
- 2-โพรพานอล: commercial; Merck
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- สารมาตรฐานปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
- เอทานอล: analytical grade; Merck
- อิริโอโครม แบลค ที อินดิเคเตอร์
- สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต
- สารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ
- สารละลายแอมโมเนียคลอไรด์ ในแอมโมเนียไฮดรอกไซด์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย

- เครื่องชั่งไฟฟ้า: Mettler; PB3200-S
- เครื่องกลั่นระเหยแบบหมุน: Bushi R-200
- เครื่องให้ความร้อน: IKA Model C-MAGH S7
- เครื่องวัดความเค็ม
- กระดาษกรอง เบอร์ 1
- ชุดกลั่น
- ชุดเครื่องแก้ว

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับเมทานอล เท่ากับ 1:6 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ชั่งน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 500 กรัม ลงในขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร นำไปต่อกับเครื่องควบแน่น ให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ประมาณ 5-10 นาที ขณะเดียวกันละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมลงในเมทานอล 144.8 มิลลิลิตร (อัตราส่วน เท่ากับ 1:6) แล้วเติมลงในน้ำมันปาล์มที่อุ่นไว้ช้าๆ กวนผสมด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาให้เทลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้ของผสมแยกชั้น หลังจากนั้นแยกกลีเซอรินซึ่งอยู่ที่ชั้นล่างออก เก็บไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนไว้เพื่อนำไปทำการทดลองในหัวข้อถัดไป

3.3.2 เปรียบเทียบการใช้น้ำและน้ำทะเลในกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

นำไบโอดีเซลจากข้อ 3.3.1 แบ่งใส่กรวยแยก 2 กรวย กรวยละ 25 มิลลิลิตร กรวยที่ 1 ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน กรวยที่ 2 ล้างด้วยน้ำทะเล จากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการล้าง 1 ครั้ง โดยใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่อน้ำล้างเท่ากับ 1:1 เขย่าเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีเพื่อให้ของผสมแยกชั้น เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมากรอง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอริน ตามวิธีการไทเทรตในหัวข้อ 3.3.5

3.3.3 เปรียบเทียบเกลือในน้ำทะเลที่มีผลต่อกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

นำไบโอดีเซลจากข้อ 3.3.1 แบ่งใส่กรวยแยก 2 ชุด ชุดที่ 1 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 โมลาร์ ชุดที่ 2 ล้างด้วยสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเข้มข้น 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 โมลาร์ ทำการล้าง 1 ครั้ง โดยใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่อน้ำล้างเท่ากับ 1:1 เขย่าเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีเพื่อให้ของผสมแยกชั้น เก็บ

ตัวอย่างไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมากรอง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอริน ตามวิธีการไทเทรตในหัวข้อ 3.3.5

3.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้เกลือในน้ำทะเลล้างซ้ำ

ทำการทดลองโดยนำสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอิ่มตัวมาใช้ล้างซ้ำ โดยเมื่อล้างครั้งแรกแล้ว กรองน้ำจากการล้างเพื่อนำมาล้างไบโอดีเซลตัวถัดไป ทำซ้ำจนใช้สารละลายล้างซ้ำครบ 5 ครั้ง ในแต่ละครั้งของการล้าง ให้เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมากรอง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอริน ตามวิธีการไทเทรตในหัวข้อ 3.3.5

3.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลโดยวิธีไทเทรชัน

1). ชั่งไบโอดีเซล 5 กรัม ละลายใน 2-โพรพานอล 100 มิลลิลิตร เติมฟีนอลเรด 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลายแล้วนำไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลือง กำหนดปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต เป็น “A”

2). หลังจากนั้นเติมโบรมอฟีนอลบลู 0.04 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย และนำไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง กำหนดปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต เป็น “B”

3). นำค่า A และ B ไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือและปริมาณกลีเซอรินดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

$$C = \frac{A \times 0.01 \times 40}{W \times 1000} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

โดย

C = ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือในไบโอดีเซล (กรัมของเบสต่อกรัมไบโอดีเซล)

A = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักของไบโอดีเซล (กรัม)

40 = มวลโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$S = \frac{B \times 0.01 \times 303.4}{W \times 1000} \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

โดย

- S = ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซล (ppm)
 B = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)
 W = น้ำหนักของไบโอดีเซล (กรัม)
 303.4 = มวลโมเลกุลของสบู่โซเดียม

3.3.6 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบสของน้ำหลังการล้างไบโอดีเซล

เก็บตัวอย่างน้ำล้างไบโอดีเซลหลังจากล้างด้วยน้ำ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ อิมิตัว และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอิมิตัว สังเกตลักษณะทางกายภาพ แล้วนำมาตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบสด้วย pH meter

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการเปรียบเทียบการใช้ น้ำและน้ำทะเลในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

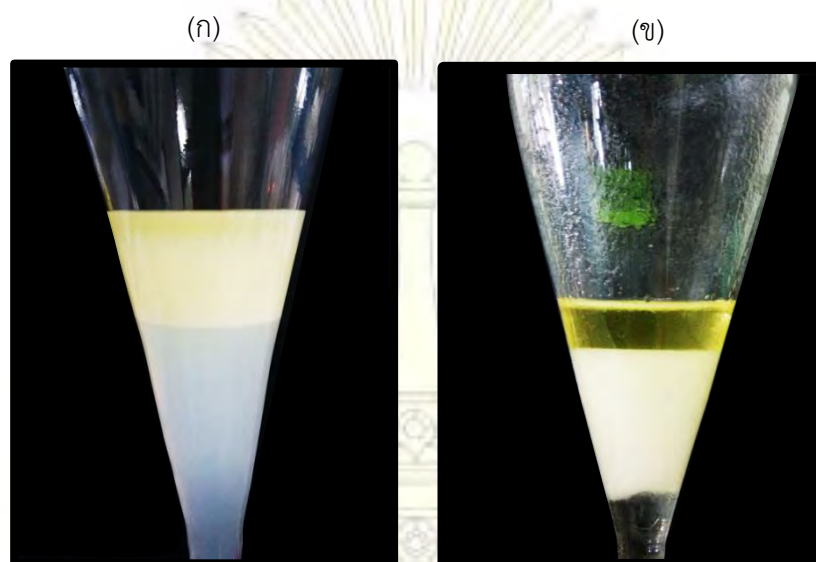
จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมันปาล์มเท่ากับ 1:6 หลังจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว จึงนำไบโอดีเซลที่ได้เข้าสู่กระบวนการล้างเพื่อทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยศึกษาการล้างด้วยน้ำและน้ำทะเล 1 ครั้ง ในอัตราส่วนโดยปริมาตรของไบโอดีเซลและน้ำที่ล้าง เท่ากับ 1:1 ที่อุณหภูมิห้อง แล้วเขย่าเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลก่อนและหลังการล้าง

การทดลองที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาตร HCl (มิลลิลิตร)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (ppm)
น้ำมันไบโอดีเซลก่อนกระบวนการล้าง				
1	5.06	1.6	961.27	1020.28
2	5.07	1.8	1079.29	
น้ำมันไบโอดีเซลหลังจากการล้างด้วยน้ำ				
1	5.14	0.6	354.86	328.22
2	5.04	0.5	301.59	
น้ำมันไบโอดีเซลหลังจากการล้างด้วยน้ำทะเล				
1	5.01	0.1	60.67	60.61
2	5.02	0.1	60.56	

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า เมื่อล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำจะมีปริมาณกลีเซอรินลดลงจาก 1020.28 ppm เหลือ 328.22 ppm ในขณะที่การล้างด้วยน้ำทะเลสามารถลดปริมาณกลีเซอรินเหลือเพียง 60.61 ppm ซึ่งมีปริมาณไม่เกินตามที่ ASTM D 6584 กำหนดไว้ คือไม่

ควรเกิน 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หรือคิดเป็นประมาณ 200 ppm (Hayyan และคณะ, 2010) แสดงว่าน้ำทะเลมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรินสูงกว่าการใช้น้ำธรรมดาบ้าง



(ก) ล้างด้วยน้ำ

(ข) ล้างด้วยน้ำทะเล

ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลเมื่อล้างด้วยน้ำและน้ำทะเล

จากภาพที่ 4.1(ก) คือ การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ ไบโอดีเซลจะมีสีเหลืองขุ่น ส่วนน้ำที่ล้างออกมาจะมีสีขาวขุ่น และไม่มีตะกอนเกิดขึ้น โดยในน้ำหลังการล้างจะประกอบไปด้วย กลีเซอรอล เมทานอล สบู่ และสารปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่มีขี้ผึ้ง มีองค์ประกอบของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ แต่ไบโอดีเซลเป็นสารที่ไม่มีขี้ผึ้ง จึงไม่สามารถละลายในน้ำได้ โดยสบู่จะเป็นอิมัลซิฟายเออร์ ทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างสารมีขี้ผึ้งกับไบโอดีเซลที่ไม่มีขี้ผึ้งเข้าด้วยกัน ทำให้ไบโอดีเซลมีลักษณะขุ่น เกิดเป็นอิมัลชันนั่นเอง (Zawadzki และ Shrestha, 2009)

ในขณะที่การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล (ภาพที่ 4.1(ข)) จะสังเกตการแยกของสารผสมออกเป็น 3 ชั้น โดยชั้นบนจะเป็นชั้นของไบโอดีเซล มีสีเหลืองใส ที่ชั้นกลางจะเป็นตะกอนสีขาวขุ่นของสบู่ และชั้นล่างสุดจะเป็นส่วนที่ค่อนข้างใส ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำทะเล กลีเซอรอล เมทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หลุดจากปฏิกิริยา

ลักษณะดังกล่าวเกิดจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทะเล โดยไอออนของเกลือที่มีอยู่ในน้ำทะเล เช่น NaCl , MgCl_2 , KCl และ MgSO_4 จะแตกตัวเป็นไอออน เข้าไปแย่งจับกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้มีปริมาณน้ำที่ไปรวมตัวกับสบู่ได้น้อยลง ส่งผลให้สบู่รวมตัวกันด้วยแรงทางไฟฟ้า

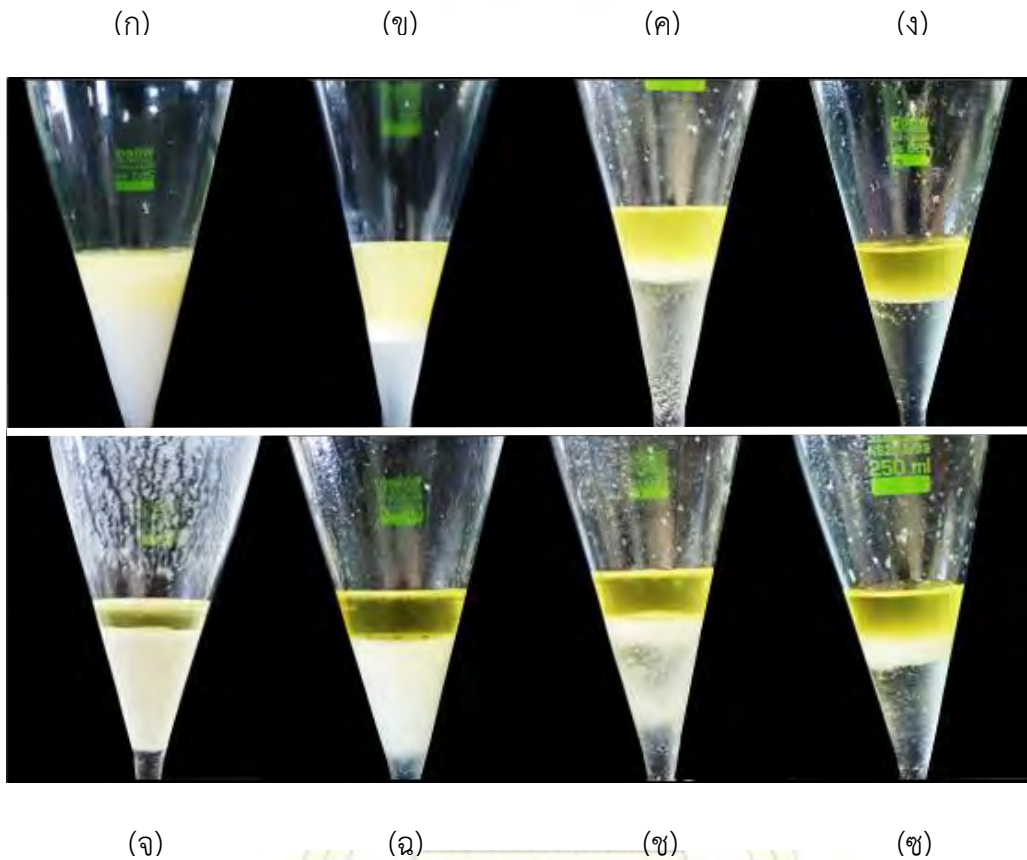
เกิดเป็นตะกอนของสบู่แยกชั้นออกมาดังที่เห็นในภาพที่ 4.1(ข) (Lin และคณะ, 2005) ในขณะที่กลีเซอรอล เมทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยา เป็นสารที่มีขี้ผึ้งสามารถละลายในน้ำได้ดี จึงพบอยู่ในชั้นล่างสุดซึ่งเป็นชั้นของน้ำ ทำให้สามารถกำจัดสารปนเปื้อนเหล่านั้นออกจากไบโอดีเซลได้ ผลการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Rios และคณะ (1998) ที่ศึกษาผลของเกลืออนินทรีย์ต่อความเสถียรของของเหลวอิมัลชัน ซึ่งเกลือที่ใช้ในการศึกษาคือ CaCl_2 และ AlCl_3 พบว่าการเติมเกลืออนินทรีย์ จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของคอลลอยด์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ กลายเป็นตะกอนน้ำมัน ซึ่งจะทำให้ความขุ่นของน้ำลดลง และลดเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำได้

4.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไอออนบวกในน้ำทะเลที่ใช้ในกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

น้ำทะเลประกอบด้วยเกลือหลายชนิด โดยมีเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มากที่สุด รองลงมาคือ เกลือแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้นำเกลือทั้งสองชนิดมาใช้ในกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์แทนการใช้น้ำและน้ำทะเล โดยใช้เกลือที่มีความเข้มข้น 0.3, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์ เขย่าเป็นเวลา 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นดังภาพที่ 4.2

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลและสารละลายเกลือหลังการล้าง

(ก) - (ง) ล้างด้วย NaCl เข้มข้น 0.3, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์ ตามลำดับ

(จ) - (ช) ล้างด้วย $MgSO_4$ เข้มข้น 0.3, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์ ตามลำดับ

ภาพที่ 4.2 (ก)-(ง) แสดงลักษณะของไบโอดีเซล และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ หลังจากที่ถูกล้างด้วยโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.3, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์ ตามลำดับ จะเห็นว่า ที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ไบโอดีเซลจะมีลักษณะขาวขุ่น เนื่องจากเกิดอิมัลชันจำนวนมากใน กระบวนการล้าง แต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นของไบโอดีเซลและสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะ เริ่มใสและเห็นการแยกชั้นที่ชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดตะกอนสีขาวของสบู่ เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์ คือ เกลือที่มีคุณสมบัติเป็น “salting-out” และจะแสดงคุณสมบัตินี้ เมื่อมีความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น กล่าวคือ โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน จะเข้าไปรวมตัว กับโมเลกุลของน้ำมากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่รวมตัวกับโมเลกุลของสบู่มีน้อยลง ส่งผลให้สบู่ รวมตัวกันด้วยแรงทางไฟฟ้า เกิดเป็นตะกอนของสบู่แยกชั้นออกมา ซึ่งจะมองเห็นตะกอนได้

ชัดเจนที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ แสดงว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการตกตะกอนและความสามารถในการละลายของสปู่ดังภาพที่ 4.2 (ค)

เมื่อใช้แมกนีเซียมซัลเฟตในกระบวนการล้างไบโอดีเซลดังภาพที่ 4.2 (จ)-(ซ) จะเห็นว่าไม่เกิดอิมัลชันในไบโอดีเซล ถึงแม้จะใช้ความเข้มข้นของสารละลายเพียง 0.3 โมลาร์ เนื่องจากแมกนีเซียมไอออนจะรวมตัวกับหมู่คาร์บอกซิลิกในกรดไขมันแทนโซเดียมไอออน เกิดเป็นตะกอนที่เรียกว่า ไคลสปู่ ไบโอดีเซลจึงมีลักษณะใส แต่เมื่อพิจารณาที่ชั้นของสารละลายแมกนีเซียมไอออน จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ตะกอนสีขาวของสปู่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มได้มากขึ้น จากปรากฏการณ์ salting-out ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ส่วนที่ความเข้มข้นต่ำๆ เกลือแมกนีเซียมซัลเฟตยังไม่แสดงคุณสมบัติของการเป็น salting-out แต่จะเกิดตะกอนของ สปู่แมกนีเซียมหรือเรียกว่า ไคลสปู่ ขึ้นมาแทน ทำให้ตะกอนมีลักษณะกระจายตัว ไม่รวมกันเป็นกลุ่มนั่นเอง

4.2.2 วิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซล

ในชั้นของไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองที่ 4.2.1 จะนำมาทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลหลังจากกระบวนการล้าง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกลีเซอรอลในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้นต่างๆ

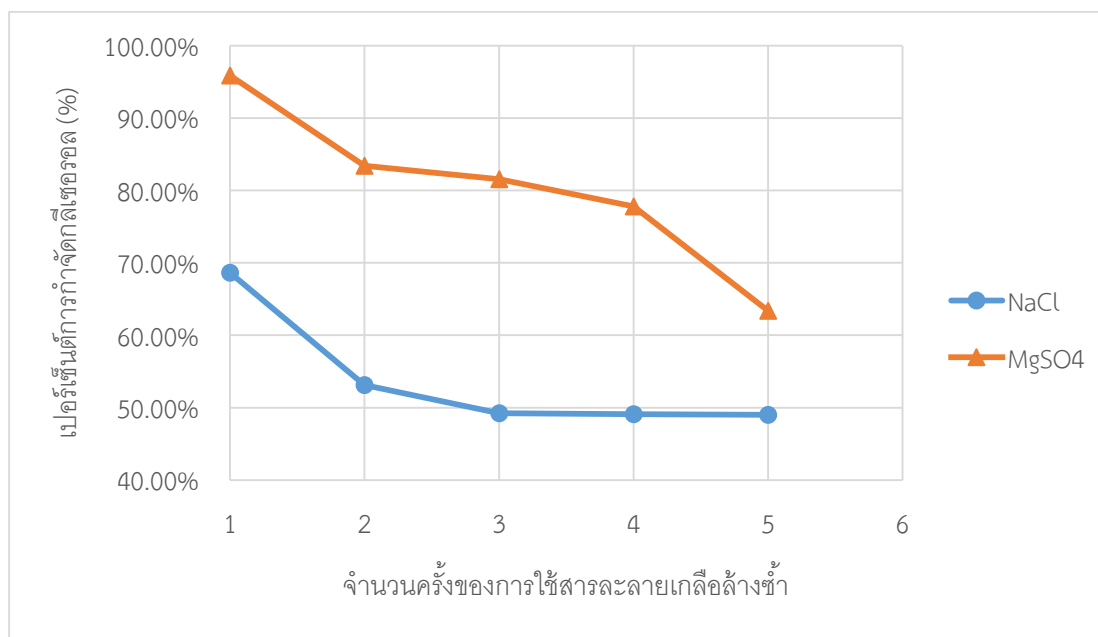
ความเข้มข้นของ สารละลายโซเดียม คลอไรด์ (mol/L)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ความเข้มข้นของ สารละลาย แมกนีเซียมซัลเฟต (mol/L)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)
0.0	2651.07	0.0	2651.07
0.3	404.51	0.3	400.82
0.5	399.94	0.5	319.56
1.0	375.81	1.0	168.50
2.0	249.18	2.0	119.68

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ไบโอดีเซลที่ล้างด้วยสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตจะมีปริมาณกลีเซอรินน้อยกว่า โดยที่ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 โมลาร์ จะมีปริมาณกลีเซอรินตามที่ ASTM D 6584 กำหนดไว้ (ไม่เกิน 200 ppm) ในขณะที่การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ล้างไบโอดีเซลจะไม่สามารถกำจัดกลีเซอรินให้มีปริมาณตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ได้

4.2.3 ประสิทธิภาพของการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตล้างซ้ำ

เมื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยนำน้ำมันปาล์มผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ิฟิเคชัน ที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลและน้ำมันปาล์มเท่ากับ 1:6 หลังจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว จึงนำไบโอดีเซลที่ได้เข้าสู่กระบวนการล้างเพื่อทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ใช้อัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำล้าง เท่ากับ 1:1 เขย่าเป็นเวลา 30 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยนำสารละลายเกลือทั้งสองชนิดล้างไบโอดีเซลซ้ำภายใต้สภาวะดังกล่าว เมื่อล้างครั้งแรกแล้ว กรองสารละลายเกลือจากการล้างเพื่อแยกตะกอนสบู่ออกไป และนำมาล้างไบโอดีเซลตัวถัดไป ทำซ้ำจนกระทั่งครบ 5 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดกลีเซอรินของสารละลายเกลือแต่ละชนิดที่นำมาใช้ซ้ำ จากนั้นคำนวณปริมาณกลีเซอรินโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดกลีเซอริน เนื่องจากไบโอดีเซลที่นำมาล้าง จะมาจากการสังเคราะห์ไบโอดีเซล 1 ครั้งต่อการล้าง 1 ครั้ง ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.3

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรฟิลล์ในใบโอดีเซลโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์และแมกนีเซียมซัลเฟตในการล้างซ้ำแต่ละครั้ง

จะเห็นว่า การใช้สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตล้างใบโอดีเซลซ้ำมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรฟิลล์ที่ลดลง โดยครั้งที่ 1 - 5 มีความสามารถในการกำจัดคลอโรฟิลล์เท่ากับ 95.90, 83.41, 81.54, 77.80 และ 63.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกับการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรฟิลล์ลดลงเช่นกัน โดยครั้งที่ 1 - 5 มีความสามารถในการกำจัดคลอโรฟิลล์เท่ากับ 68.65, 53.12, 49.23, 49.08 และ 49.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าสารละลายเกลือทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟิลล์ได้ลดลงเมื่อนำมาใช้ล้างซ้ำ แต่สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรฟิลล์ที่สูงกว่า ถึงแม้จะใช้ล้างซ้ำถึง 5 ครั้ง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงลดลง

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการล้างใบโอดีเซล

การทำใบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยสารละลายเกลือ ยังคงอยู่ในลักษณะของการล้างแบบเปียก ซึ่งจะก่อให้เกิดน้ำเสีย จึงทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังจากการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอิ่มตัว และน้ำธรรมดา เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ และความเป็นกรด-เบสของน้ำล้างที่เกิดขึ้น ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลและน้ำหลังการล้าง

(ก) ล้างด้วยน้ำ

(ข) ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิตัว

(ค) ล้างด้วยสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอิมิตัว

ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำล้างไบโอดีเซล

พารามิเตอร์	น้ำล้าง	สารละลายเกลืออิมิตัว	
		โซเดียมคลอไรด์	แมกนีเซียมซัลเฟต
ความเป็นกรด-เบส (pH)	9.44	7.21	6.85

จากภาพที่ 4.4 พบว่าลักษณะของน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ มีสภาพเป็นอิมัลชัน เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสบู่ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว โครงสร้างโมเลกุลของสบู่เป็นโครงสร้างเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก ($R-COO^-Na^+$) ทำให้โมเลกุลของสบู่จะมีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่ขั้ว เมื่อไบโอดีเซลถูกล้างด้วยน้ำ จึงสามารถสร้างพันธะกับน้ำมันและน้ำได้ โดยสบู่จะแขวนลอยอยู่ในรูปของไมเซลล์ ส่วนน้ำล้างจะมีเกิดสภาพเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ส่งผลให้ pH ของน้ำล้างสูงกว่าปกติ

ในขณะที่การล้างไบโอดีเซลด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอิ่มตัว จะไม่ทำให้เกิดอิมัลชัน แต่จะเกิดตะกอนของสบู่แยกชั้นออกจากไบโอดีเซลและสารละลายเกลือแทน ส่งผลให้ pH ของน้ำหลังการล้างใกล้เคียงกับน้ำธรรมดา ซึ่งมีค่าไม่สูงมากนัก จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าการล้างไบโอดีเซลด้วยสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอิ่มตัว จะเกิดการแยกชั้นของไบโอดีเซล ตะกอนสบู่ และสารละลายเกลืออย่างชัดเจน ทำให้ส่วนของสารละลายที่แยกออกมาใสกว่าการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการลดอิมัลชันที่เป็นปัญหาสำคัญจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำได้ ทำให้ง่ายต่อการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั่นเอง



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้น้ำทะเลเข้มข้นทดแทนการใช้น้ำในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลและน้ำล้างเท่ากับ 1:1 และล้างเพียง 1 ครั้ง พบว่าสามารถทำให้ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลลดลงจาก 1020.28 ppm เหลือเพียง 60.61 ppm และเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลจะพบว่าสบู่ที่แขวนลอยอยู่ในไบโอดีเซลจะตกตะกอนออกมาและมีการแยกชั้นอย่างชัดเจน ดังนั้นการล้างไบโอดีเซลโดยใช้น้ำทะเลเข้มข้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้น้ำธรรมดา

จากนั้นทำการศึกษาชนิดเกลือที่เป็นองค์ประกอบในน้ำทะเล พบว่าเกลือที่มีมากที่สุดคือ โซเดียมคลอไรด์ รองลงมาคือ แมกนีเซียมซัลเฟต จึงได้นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต มาใช้ในกระบวนการล้างไบโอดีเซล เพื่อศึกษาว่าเกลือชนิดใดมีผลต่อกระบวนการล้างมากที่สุด โดยจะศึกษาสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้น 0.3, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์ ใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลและน้ำล้างเท่ากับ 1:1 และล้างเพียง 1 ครั้ง พบว่าสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมีความสามารถในการกำจัดกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซลได้ดีกว่า โดยที่ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 โมลาร์ จะมีปริมาณกลีเซอรินลดลงจาก 2651.07 ppm เหลือเพียง 168.50 และ 119.68 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินที่ ASTM D 6584 กำหนดไว้ (ไม่เกิน 200 ppm) ในขณะที่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ยังมีปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลเกินตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ อีกทั้งสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตยังสามารถลดปริมาณอิมัลชันในไบโอดีเซลและน้ำล้างได้มากกว่า เนื่องจากมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการตกตะกอนของสบู่ 2 ปัจจัย คือ แมกนีเซียมไอออนเป็นน้ำกระด้างที่ทำให้มีโคลสบู่แยกชั้นออกมา และมีคุณสมบัติการเป็น “salting-out” ที่ความเข้มข้นสูงๆนั่นเอง

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำหลังการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำธรรมดา สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอิ่มตัว พบว่า การใช้สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตอิ่มตัวในการล้างไบโอดีเซล จะทำให้เกิดการแยกชั้นของไบโอดีเซล ตะกอน

สบู่ และสารละลายเกลืออย่างชัดเจน ทำให้ส่วนของสารละลายที่แยกออกมาใสว่าการล้างแบบอื่นๆ

ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าเกลือแมกนีเซียมซัลเฟตที่ในน้ำทะเล มีประสิทธิภาพในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ สามารถลดปริมาณกลีเซอริน สบู่ และสารปนเปื้อนอื่นๆในไบโอดีเซลได้ และทำให้ไบโอดีเซลมีปริมาณกลีเซอรินตามที่มาตรฐานกำหนด นอกจากนี้มันสามารถป้องกันการเกิดอิมัลชันในน้ำล้างไบโอดีเซล ทำให้กระบวนการบำบัด และการนำสารละลายกลับมาใช้ทำได้ง่ายขึ้น เป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. แมกนีเซียม และโซเดียมเป็นธาตุโลหะ จึงต้องตรวจสอบ และควบคุมการใช้อย่างระมัดระวัง เนื่องจากอาจมีการตกค้างในไบโอดีเซล ทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลในส่วนของปริมาณโลหะกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 เกินที่มาตรฐานกำหนดไว้
2. พัฒนาการบำบัดและการนำกลับมาใช้ซ้ำของน้ำล้าง ให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรินได้สูงขึ้น
3. ศึกษาการใช้ของเหลวไอออนิกแทนการใช้น้ำและสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ในกระบวนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550. *ราชกิจจานุเบกษา* (ตอนพิเศษ 62 ง)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การผลิตและการตรวจสอบมาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น. แหล่งที่มา: <http://www.tistr.or.th/tistr/source/techn/bio200712.pdf> (20 กุมภาพันธ์ 2559)

ชัชวาล คำวงศ์, ญัฐวิทย์ พงศ์พันธุ์, นุฎกกิจ ทูนกาศ, วิลาวัลย์ ปิ่นอิน, และวิไลวรรณ วินะกุล. ไบโอดีเซล (Biodiesel). แหล่งที่มา: http://www.thaienergydata.in.th/encontent/upload_pic/1190645300.pdf (15 กุมภาพันธ์ 2559)

อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย ไบโอดีเซล (Biodiesel). แหล่งที่มา: <http://www.vcharkarn.com/varticle/409> (15 กุมภาพันธ์ 2559)

ภาษาอังกฤษ

Berrios, M.; Skelton, R. L. Comparison of Purification Methods for Biodiesel. *Chem. Eng. J.* **2008**, *144*, 459-465.

Bowman, M.; Hilligoss, D.; Rasmussen, S.; Thomas, R. Biodiesel: A Renewable and Biodegradable Fuel. *Hydrocarb. Process.* **2006**, *85*, 103-106.

Duxbury, A. B.; Duxbury, A. C.; Sverdrup, K. A. *Fundamentals of Oceanography*, 4th ed.; McGraw-Hill: Boston, **2002**.

Fan, M.; Huang, J.; Yang, J.; Zhang, P. Biodiesel Production by Transesterification Catalyzed by an Efficient Choline Ionic Liquid Catalyst. *Appl. Energ.* **2013**, *108*, 333-339.

Fukada, H.; Kondo, A.; Noda, H. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oil. *J. Biosci. Bioeng.* **2001**, *92*, 405-416.

- Gomes, M. C. S.; Pereira, N. C.; Davantel de Berros, S. T. Separation of Biodiesel and Glycerol using Ceramic Membranes. *J. Membrane Sci.* **2010**, *352*, 271-276.
- Hayyan, M.; Majalli F. S.; Hashim, M. A.; Alnashef I. A novel technique for separating glycerine from palm oil-based biodiesel using ionic liquids. *Fuel Process Technol.* **2010**, *91*, 116-120.
- Jehad, S.; Marc, M. D.; Andre, Y. T. Effect of Soap, Methanol, and Water on Glycerol Particle Size in Biodiesel Purification. *Energy Fuels.* **2010**, *24*, 6179–6186
- Karaosmanoglu, F.; Cigizoglu, K. B.; Tuter, M.; Ertekin, S. Investigation of the Refining Step of Biodiesel Production. *Energ. Fuel.* **1996**, *10*, 890-895.
- Khan, B. A.; Akhtar, N.; Khan, H. M. S.; Waseem, K.; Mahmood, T.; Rasul, A.; Iqbal, M.; Khan, H. Basics of Pharmaceutical Emulsions: A Review. *Afr. J. Pharm. Pharmaco.* **2011**, *25*, 2715-2725.
- Kuo, C.H.; Lee, C.H. Treatment of oil/water emulsions using seawater-assisted microwave irradiation. *Sep. Purif. Technol.* **2010**, *74*, 288–293.
- Lin, B.; McCormick, A. V.; Davis, H. T.; Strey R. Solubility of Sodium Soaps in Aqueous Salt Solutions. *J. Colloid Interf. Sci.* **2005**, *291*, 543-549.
- Ma, F.; Hanna, M. A. Biodiesel Production: A Review. *Bioresour. Technol.* **1999**, *70*, 1–15.
- Marchetti, J. M.; Miguel, V. U.; Errazu, V. U. Possible Method for Biodiesel Production. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **2007**, *11*, 1300-1311.
- Mendow, G.; Veizaga, N.S.; Sánchez, B.S.; Querini, C.A. Biodiesel Production by Two-Stage Transesterification with Ethanol by Washing with Neutral Water and Water Saturated with Carbon Dioxide. *Bioresource Technol.* **2012**, *118*, 598-602.
- Musa, I. A. The Effects of Alcohol to Oil Molar Ratios and the Type of Alcohol on Biodiesel Production Using Transesterification Process. *Egypt. J. Pet.* **2016**.
- Pawlowicz, R. Electrical Properties of Sea Water: Theory and Applications. *Environm. Sci.* **2015**.1-10.

Stojković, I. J.; Stamenković, O. S.; Povrenović, D. S.; Veljković, V. B. Purification Technologies for Crude Biodiesel Obtained by Alkali-catalyzed Transesterification. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **2014**, *32*, 1-15.

Tayson, K. S. Biodiesel Handling and use Guidelines [Online]. Available from: http://www.angelfire.com/ks3/go_diesel/files042803/biodiesel_handing.pdf (accessed Feb 23, 2016).

Zhang, T.; Wang, H.; Ye, Y.; Zhang, X.; Wu, B. Micellar Emulsions Composed of Mpeg-PCL /MCT as Novel Nanocarriers for Systemic Delivery of Genistein: a Comparative Study with Micelles. *Int. J. Nanomed.* **2015**, *10*, 6175-6184.





ภาคผนวก

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลหลังกระบวนการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมซัลเฟต

ความเข้มข้น	สาร	ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาตรกรด HCl (มิลลิลิตร)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (ppm)
0.3 M	NaCl	1	5.12	0.8	474.06	404.52
			5.14	0.8	472.22	
		2	6.33	0.9	431.37	
			6.32	0.9	432.06	
		3	6.89	0.7	308.24	
			6.87	0.7	309.14	
	MgSO ₄	1	5.01	0.8	484.47	400.82
			5.05	0.8	480.63	
		2	5.06	0.6	359.76	
			5.03	0.6	361.91	
		3	5.04	0.6	361.19	
			5.1	0.6	356.94	
0.5 M	NaCl	1	5.03	0.7	422.23	399.94
			5.03	0.7	422.23	
		2	5.1	0.7	416.43	
			5.13	0.6	354.85	
		3	5.05	0.7	420.55	
			5.01	0.6	363.35	
	MgSO ₄	1	5.04	0.6	361.19	319.56
			5.1	0.6	356.94	
		2	5.09	0.5	298.04	
			5.03	0.5	301.59	
		3	5.06	0.5	299.80	
			5.06	0.5	299.80	

ความเข้มข้น	สาร	ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาตรกรด HCl (มิลลิลิตร)	ปริมาณกลีเซอริน(ppm)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (ppm)
1.0 M	NaCl	1	5.1	0.7	416.43	375.81
			5.12	0.7	414.80	
		2	5.14	0.6	354.16	
			5.15	0.6	353.48	
		3	5.07	0.6	359.05	
			5.1	0.6	356.94	
	MgSO4	1	5.08	0.3	179.17	168.50
			5.07	0.3	179.53	
		2	5.15	0.3	176.74	
			5.14	0.3	177.08	
		3	5.07	0.3	179.53	
			5.1	0.2	118.98	
2.0 M	NaCl	1	5.04	0.4	240.79	249.27
			5.09	0.4	238.43	
		2	5.08	0.4	238.90	
			5.07	0.5	299.21	
		3	5.08	0.4	238.90	
			5.07	0.4	239.37	
	MgSO4	1	5.08	0.2	119.45	119.68
			5.08	0.2	119.45	
		2	5.06	0.2	119.92	
			5.07	0.2	119.68	
		3	5.07	0.2	119.68	
			5.06	0.2	119.92	

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวปานไพลินท รุจิพรรณ เกิดวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง เมื่อปีการศึกษา 2554 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 2/1 ถ. โสภณ ซอย 8 ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง รหัสไปรษณีย์ 21150 อีเมล panpailin_pare@hotmail.com



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

