

เชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

โดยใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ



นางสาวเพ็ญพดู ศิริรัตนประเสริฐ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Palm oil based microemulsion biofuel using  
non-ionic ester surfactant

Miss Penpato Siriruttanaprasert



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering  
Department of Environmental Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2016  
Copyright of Chulalongkorn University



หัวข้อวิทยานิพนธ์	เชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดย
	ใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ
โดย	นางสาวเพ็ญพศุ ศิริรัตน์ประเสริฐ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปฐวิภาณ ปัญญาพลกุล)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ฝาริโน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.เชาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล)

เพ็ญพฐ ศิริรัตนประเสริฐ : เชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ (Palm oil based microemulsion biofuel using non-ionic ester surfactant) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุธา ขาวเขียว, หน้า.

การนำน้ำมันปาล์มมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจ โดยน้ำมันปาล์มมีความหนืดสูง เมื่อนำไปใช้งานโดยตรงจะก่อให้เกิดปัญหาต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีลดความหนืดของน้ำมันปาล์มก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งไมโครอิมัลชันเป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถลดความหนืดของน้ำมันปาล์มได้ โดยการผสมของเหลว 2 ชนิดที่มีเฟสต่างกัน ได้แก่ น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมร่วมกับน้ำมันดีเซล) เป็นเฟสที่ไม่มีขั้วและแอลกอฮอล์ (เอทานอลผสมร่วมกับบิวทานอล) เป็นเฟสที่มีขั้ว ให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นสารเชื่อมประสาน เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ได้จัดอยู่ในไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 หรือชนิดน้ำในน้ำมัน โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลเอต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์สังเคราะห์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อพฤติกรรมวัฏภาค ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ และสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ จากผลการศึกษา พบว่า เมทิลโอเลเอตและเมทิลเอสเทอร์สามารถทำให้วัฏภาคของน้ำมันปาล์มที่ผสมร่วมกับน้ำมันดีเซลและเอทานอลที่ผสมร่วมกับบิวทานอลรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ และค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ความหนาแน่น จุดไหลเท และ ค่าความร้อน มีค่าใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล และจากการประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ดังนั้นการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันสามารถใช้เมทิลเอสเทอร์ทดแทนเมทิลโอเลเอตได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

# # 5770447421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: PALM OIL / BIOFUEL / MICROEMULSION / ESTER SURFACTANT / METHYL ESTER / ETHYL ESTER

PENPATO SIRIRUTTANAPRASERT: Palm oil based microemulsion biofuel using non-ionic ester surfactant. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., pp.

Palm oil is an alternative energy source that is considered for the production of renewable fuel. However, the direct use of palm oil can cause durability problems in the engine because of its high viscosity. Microemulsification is one of the alternative methods that can be used to reduce palm oil viscosity. Microemulsions involve mixing two immiscible liquid, non-polar oil phase and polar alcohol phase, with surfactants and co-surfactants as stabilizers. Microemulsion-based biofuel is a Winsor Type II (water in oil). The objective of this research is to study the effect of 3 types of ester surfactants (methyl oleate, methyl ester and ethyl ester) on the microemulsion phase behavior, kinematic viscosity and fuel properties. Both methyl ester and ethyl ester were prepared from palm oil through transesterification of the mixture using sodium hydroxide based catalyst. The results showed that methyl oleate and methyl ester are surfactants from a single phase. The kinematic viscosity, density, pour point and heat of combustion of microemulsion biofuels were in line with biodiesel. From our cost prediction for the production of microemulsion biofuels we found that using methyl ester in this procedure causes the lowest cost. In summary, the production of biofuels by microemulsion can use methyl ester instead of methyl oleate.

Department: Environmental  
Engineering

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Field of Study: Environmental  
Engineering

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล รองศาสตราจารย์ ดร. ชนาธิป ผาวิโน และ ดร. เขาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมทั้งให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางการแก้ไขต่างๆ เพื่อความสมบูรณ์ของงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. อัมพิรา เจริญแสง ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณ คุณรามนรี เนตรวิเชียร ที่ช่วยให้คำแนะนำในระหว่างการดำเนินการทดลอง พร้อมทั้งช่วยอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์ สารเคมีในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบพระคุณ บริษัทวีระสุวรรณ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลและเครื่องมือแก๊สโครโมโทกราฟี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดระยะเวลาการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัยเป็นอย่างสูง ที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	1
สารบัญภาพ .....	2
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 น้ำมันดีเซล.....	4
2.1.1 น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์รอบหมุนสูง .....	4
2.1.2 น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์รอบหมุนปานกลางหรือช้า.....	4
2.2 เชื้อเพลิงชีวภาพ.....	5
2.2.1 เชื้อเพลิงแข็ง.....	5
2.2.2 เชื้อเพลิงเหลว.....	5
2.2.3 เชื้อเพลิงก๊าซ .....	6
2.3 น้ำมันพืช.....	6
2.3.1 น้ำมันปาล์ม .....	10

2.4 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	11
2.4.1 การใช้โดยตรงและการผสม.....	11
2.4.2 ไพโรไลซิส.....	12
2.4.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน .....	12
2.4.4 ไมโครอิมัลชัน .....	13
2.5 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน .....	14
2.5.1 กลไกการเกิดไมโครอิมัลชัน.....	14
2.5.2 รูปแบบของไมโครอิมัลชัน.....	14
1) ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 1 .....	15
2) ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 .....	15
3) ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 3 .....	15
4) ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 4 .....	16
2.5.3 แผนภาพสามเหลี่ยม .....	16
2.6 สารลดแรงตึงผิว.....	17
2.6.1 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว.....	18
1) สารลดแรงตึงผิวประจุลบ.....	18
2) สารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	18
3) สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและลบ .....	18
4) สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ .....	18
2.6.2 เอชแอลบี .....	19
2.6.3 สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ.....	20
1) เมทิลโอเลเอต .....	20
2) เอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม.....	20

2.7 สารลดแรงตึงผิวร่วม .....	22
2.8 แอลกอฮอล์.....	22
2.8.1 เอทานอล.....	22
2.8.2 บิวทานอล .....	23
2.9 สมบัติของเชื้อเพลิง .....	24
2.9.1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ .....	24
2.9.2 ความหนาแน่น.....	24
2.9.3 ความถ่วงจำเพาะ .....	24
2.9.4 จุดขุ่น .....	25
2.9.5 จุดไหลเท .....	25
2.9.6 จุดวาบไฟ .....	25
2.9.7 เลขซีเทน .....	25
2.9.8 ค่าความร้อน.....	26
2.9.9 กากคาร์บอน .....	26
2.9.10 ปริมาณน้ำ.....	26
2.9.11 ปริมาณเถ้า.....	26
2.9.12 ปริมาณกำมะถัน.....	27
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	29
2.10.1 งานวิจัยที่ใช้สารลดแรงตึงผิวของกลุ่มผู้วิจัยเดียวกัน .....	38
2.11 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	42
3.1 แผนการทดลอง .....	42
3.2 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี .....	45

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	45
3.2.2 สารเคมี.....	46
3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	48
3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 : สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ .....	48
3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 : หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	52
3.3.3 การทดลองช่วงที่ 3 : ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	54
3.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 : ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน .....	57
1) ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	58
2) จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	59
3) จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	59
4) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	59
5) กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	59
3.3.5 การทดลองช่วงที่ 5 : ประเมินต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเบื้องต้น.....	60
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	61
4.1 ผลการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม .....	61
4.2 ผลการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วย วิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม.....	65
4.2.1 ผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุต่อการหาสัดส่วนที่เหมาะสม .....	65
4.2.2 ผลของน้ำมันต่อการหาสัดส่วนที่เหมาะสม.....	67
4.3 ผลการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	70
4.3.1 ผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุต่อค่าความหนืด เชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส .....	70
4.3.2 ผลของน้ำมันต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส .....	71

4.3.3 ผลของสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลเอเทอร์ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	73
4.3.4 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์.....	74
4.4 ผลการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	75
4.4.1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	75
4.4.2 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	75
4.4.3 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	77
4.4.4 ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	79
4.4.5 กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	80
4.5 ผลการประเมินต้นทุนเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน.....	84
บทที่ 5 สรุปผลวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	86
5.1 สรุปผลวิจัย.....	86
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	88
5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	88
.....	89
รายการอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก.....	96
ภาคผนวก ข.....	102
ภาคผนวก ค.....	114
ภาคผนวก ง.....	117
ภาคผนวก จ.....	119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	128

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ.....	8
ตารางที่ 2.2 พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตที่ได้ของปาล์ม ถั่วเหลือง และมะพร้าวใน ประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2555 – 2557 .....	9
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล .....	11
ตารางที่ 2.4 ค่าเอชแอลบีตามการนำไปใช้งาน .....	20
ตารางที่ 2.5 ค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล.....	27
ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของไมโครอิมัลชันในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพของกลุ่มผู้วิจัยเดียวกัน ....	38
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ศึกษาในงานวิจัย.....	43
ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์ของการทดลองตามตัวแปรที่ศึกษา .....	43
ตารางที่ 3.3 โครงสร้างและสมบัติของสารที่ศึกษาในงานวิจัย .....	46
ตารางที่ 3.4 ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิง ชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม .....	51
ตารางที่ 3.5 ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลองศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิง ชีวภาพ.....	54
ตารางที่ 3.6 เครื่องมือและวิธีการที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	56
ตารางที่ 3.7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลองศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	57
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในเอสเทอร์.....	64
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	77
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	78
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล.....	82
ตารางที่ 4.5 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน .....	84
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยคำนวณจาก องค์ประกอบที่มีเกรดความบริสุทธิ์สูงและเกรดการค้า.....	85

## สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1	โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช .....	7
ภาพที่ 2.2	องค์ประกอบของผลปาล์ม .....	10
ภาพที่ 2.3	การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	13
ภาพที่ 2.4	รูปแบบการเกิดไมโครอิมัลชัน .....	15
ภาพที่ 2.5	แผนภาพสามเหลี่ยม .....	17
ภาพที่ 2.6	โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว.....	17
ภาพที่ 2.7	ปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์.....	21
ภาพที่ 2.8	ปฏิกิริยาการเกิดเอทิลเอสเทอร์.....	21
ภาพที่ 3.1	แผนดำเนินการทดลอง.....	43
ภาพที่ 3.2	ขวด 3 คอ ที่ต่อกับเครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์ .....	50
ภาพที่ 3.3	ขั้นตอนสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์.....	51
ภาพที่ 3.4	ขั้นตอนหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม .....	53
ภาพที่ 3.5	หลอดวัดความหนืดชนิดแคนนอนเฟนส์กี.....	55
ภาพที่ 3.6	ขั้นตอนการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	56
ภาพที่ 4.1	สมมูลมวลของการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ .....	62
ภาพที่ 4.2	สมมูลมวลของการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ .....	63
ภาพที่ 4.3	ผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ .....	66
ภาพที่ 4.4	ผลของสารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลตต่อเฟสน้ำมันปาล์มผสมดีเซล .....	68
ภาพที่ 4.5	ผลของสารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์ต่อเฟสน้ำมันปาล์มผสมดีเซล .....	68
ภาพที่ 4.6	ผลของสารลดแรงตึงผิวเอทิลเอสเทอร์ต่อเฟสน้ำมันปาล์มผสมดีเซล .....	69
ภาพที่ 4.7	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	71
ภาพที่ 4.8	เปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	72

ภาพที่ 4.9	เปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	73
ภาพที่ 4.10	ความสัมพันธ์ของค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	74
ภาพที่ 4.11	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	80
ภาพที่ 4.12	กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	81





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานปิโตรเลียมในรูปของเชื้อเพลิงด้านการคมนาคมและการขนส่งเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2558 มีการใช้เชื้อเพลิงในรูปของน้ำมันดีเซลคิดเป็นร้อยละ 45.88 ของการใช้เชื้อเพลิงด้านการคมนาคมและการขนส่งทั้งหมด (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน, 2558) แต่เนื่องจากในประเทศไม่มีแหล่งพลังงานปิโตรเลียมเพียงพอที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการ ดังนั้นต้องพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ รัฐบาลจึงสนับสนุนให้พัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีพืชน้ำมันเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเป็นพลังงานทดแทน เพื่อลดการนำเข้าและช่วยสร้างความมั่นคงด้านพลังงานภายในประเทศ ซึ่งปาล์มจัดเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากมีการเพาะปลูกปริมาณมากภายในประเทศ อีกทั้งเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกสูง (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2550) แต่การนำไปใช้โดยตรงยังก่อให้เกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์ เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสกับเท่า 45 เซนติสโตกส์ ซึ่งสูงกว่าน้ำมันดีเซล 10 เท่า จึงเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้เกิดได้ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งน้ำมันปาล์มระเหยตัวได้ช้า ทำให้เครื่องยนต์ติดยาก เกิดเขม่าเกาะที่หัวฉีด กระบอกสูบและวาล์ว (Arpornpong และคณะ, 2014) ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งมีด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่ การใช้โดยตรงและการผสม (direct use and blending) ไพโรไลซิส (pyrolysis) ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) และไมโครอิมัลชัน (microemulsion) (Ma และ Hanna, 1999)

วิธีไมโครอิมัลชัน เป็นวิธีการผสมของเหลว 2 ชนิด ที่มีขั้วต่างกันซึ่งไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาศัยสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นสารเชื่อมประสาน เช่น การผสมระหว่างน้ำมันซึ่งเป็นเฟสที่ไม่มีขั้วและแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นเฟสที่มีขั้ว ให้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เชื้อเพลิงที่ได้โปร่งใส และมีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamically stable) พฤติกรรมการเกิดวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเป็นรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 หรือชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) ไมโครอิมัลชันที่ได้มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 1 ถึง 150 นาโนเมตร (Srivastava และ Prasad, 2000) ข้อดีของวิธีไมโครอิมัลชัน คือ เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน ไม่เกิดของเสียที่ต้องกำจัดหรือบำบัดต่อ สามารถลดปริมาณเขม่าและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ภายใต้อุณหภูมิสูง (thermal  $\text{NO}_x$ ) ข้อเสียของวิธีไมโครอิมัลชัน คือ ค่าความร้อนและ

ค่าเลขซีเทนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลต่อการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพในเครื่องยนต์เกิดขึ้นช้า ต้องใช้เชื้อเพลิงชีวภาพปริมาณมากเพื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Do และคณะ, 2011)

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยเชื้อเพลิงชีวภาพมีองค์ประกอบดังนี้ สารลดแรงตึงผิวที่ได้มาจากธรรมชาติกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลเอต เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งทั้งเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์สังเคราะห์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยมีน้ำมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลเป็นเฟสที่ไม่มีขั้ว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอลเป็นเฟสที่มีขั้ว ผสมองค์ประกอบทั้งหมดให้เข้ากัน เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการเกิดไมโครอิมัลชันด้วยแผนภาพสามเหลี่ยม หลังจากนั้นศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน และกากคาร์บอน เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล และทำการประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของโครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุต่อการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้

1.2.2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

## 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์สามารถใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวทดแทนเมทิลโอเลเอตได้ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของสารทั้ง 3 ชนิด มีความคล้ายคลึงกัน เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 หรือชนิดน้ำในน้ำมัน และการใช้แอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอล สามารถช่วยลดปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้ เนื่องจากบิวทานอลมีสมบัติไฮโดรโฟบิกสูง สามารถรวมตัวกับน้ำมันซึ่งเป็นเฟสที่ไม่มีขั้วได้ดี นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการชั้น 4 ตึกปฏิบัติการรวมวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

1.4.1 น้ำมันเป็นตัวแทนของเฟสที่ไม่มีขั้ว น้ำมันที่ศึกษา คือ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล หรือน้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร

1.4.2 ศึกษาสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลเอต เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ และออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมเท่ากับ 1 ต่อ 8 โดยโมล

1.4.3 แอลกอฮอล์เป็นตัวแทนของเฟสที่มีขั้ว แอลกอฮอล์ที่ศึกษา คือ แอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร

1.4.4 ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล โดยสมบัติที่ศึกษา ได้แก่ ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (kinematic viscosity) ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น (density) จุดขุ่น (cloud point) จุดไหลเท (pour point) ค่าความร้อน (heat of combustion) และกากคาร์บอน (carbon residue)

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้แนวทางในการเลือกสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

1.5.2 ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีศักยภาพใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำมันดีเซล (diesel fuel)

น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กันมากในภาคการคมนาคมและการขนส่ง ได้มาจากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม จัดเป็นเชื้อเพลิงประเภทใช้แล้วหมดไป (nonrenewable resources) ประกอบด้วยไฮโดรเจน และคาร์บอนอะตอมสายโซ่ตรงจำนวน 13 ถึง 14 อะตอม นอกจากนี้อาจพบกำมะถันและไนโตรเจนได้ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศหลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (Esteban และคณะ, 2012) น้ำมันดีเซลมีจุดเดือดระหว่าง 150 ถึง 360 องศาเซลเซียส ให้พลังงานความร้อนประมาณ  $155 \times 10^6$  จูล หรือคิดเป็น 147,000 บีทียู นำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ที่มีแรงอัดสูง (high compression) และสามารถจุดระเบิดเองได้ (self-ignition engine) โดยความร้อนจากการอัดตัวของอากาศภายในกระบอกสูบแรงอัดสูงเป็นตัวจุดเชื้อเพลิงให้เกิดการลุกไหม้โดยไม่ต้องใช้หัวเทียน (ธนศรี เสนิงค์ ณ ออยุธยา, 2545) น้ำมันดีเซลสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งานออกได้เป็น 2 ประเภท (ประณต กุลประสูตร, 2553) ได้แก่

##### 2.1.1 น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์รอบหมุนสูง (automotive diesel oil)

น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์รอบหมุนสูง หรือน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว เหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบหมุนเกิน 1,000 รอบต่อนาที เนื่องจากเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูง ดังนั้นน้ำมันต้องมีคุณภาพที่ดีระเหยตัวได้เร็ว เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องยนต์ จากประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 กำหนดให้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์รอบหมุนสูงต้องมีค่าเลขซีเทนเกิน 47 เพื่อให้เชื้อเพลิงสามารถจุดระเบิดได้เร็วภายในระยะเวลาอันสั้น ตัวอย่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องยนต์ดีเซลรถยนต์นั่ง รถเพื่อการพาณิชย์ เรือขนาดเล็ก และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

##### 2.1.2 น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์รอบหมุนปานกลางหรือช้า (industrial diesel oil)

น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์รอบหมุนปานกลางหรือช้า หรือน้ำมันดีเซลหมุนช้า เหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบหมุน 500 ถึง 1,000 รอบต่อนาที คุณภาพน้ำมันที่ใช้ในงานในเครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องเทียบเท่าน้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์ที่มีรอบ

หมุนสูง จากประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 กำหนดให้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์รอบหมุนปานกลางหรือช้าต้องมีค่าเลขซีเทนเกิน 45 ตัวอย่างเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้งานน้ำมันประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม และเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่

โดยในปัจจุบันน้ำมันดีเซลสามารถผลิตได้จากกระบวนการที่หลากหลายมากขึ้น นอกเหนือจากการกลั่นปิโตรเลียม ตัวอย่างเช่น การใช้แอลกอฮอล์สายสั้น หรือกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีน้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบตั้งต้น (Esteban และคณะ, 2012)

## 2.2 เชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพจัดเป็นพลังงานทดแทน (renewable resources) ได้จากชีวมวล (biomass) ของพืชและสัตว์ ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และอาจมีส่วนประกอบธาตุอื่นๆ ในปริมาณน้อย เช่น ไนโตรเจน เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมได้ (นคร ทิพย์วงศ์, 2558) ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ มีหลายสถานะสะดวกต่อการนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ต่างๆ รวมทั้งช่วยลดปริมาณมลพิษทางอากาศและภาวะเรือนกระจกได้ เนื่องจากภายหลังการเผาไหม้ก่อให้เกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่ายในปริมาณน้อย (Esteban และคณะ, 2012) สำหรับในประเทศไทยข้อดีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ คือ ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพสามารถแบ่งตามสถานะได้เป็น 3 ประเภท (buranasak, 2009) ได้แก่

### 2.2.1 เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้งานในสถานะที่เป็นของแข็ง ตัวอย่างเช่น ไม้ ฟางข้าว เปลือกพืชและสัตว์ เป็นต้น

### 2.2.2 เชื้อเพลิงเหลว

เชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะของเหลวภายใต้อุณหภูมิห้องและความดันปกติ สามารถจำแนกเชื้อเพลิงได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) แอลกอฮอล์ เป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย โดยแอลกอฮอล์ที่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ เอทานอลและบิวทานอล ซึ่งแอลกอฮอล์ทั้ง 2 ชนิด ได้มาจากกระบวนการหมักทางชีวภาพที่มีสารตั้งต้นเป็นชีวมวล

2) น้ำมันจากพืชและสัตว์ เป็นน้ำมันมีวัตถุดิบตั้งต้นจากพืชน้ำมันและไขสัตว์ โดยสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง หรือนำไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันก่อนนำไปใช้งาน

3) น้ำมันจากขยะ มีวัตถุดิบตั้งต้นจากขยะชีวมวล น้ำมันที่ได้มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันปิโตรเลียม

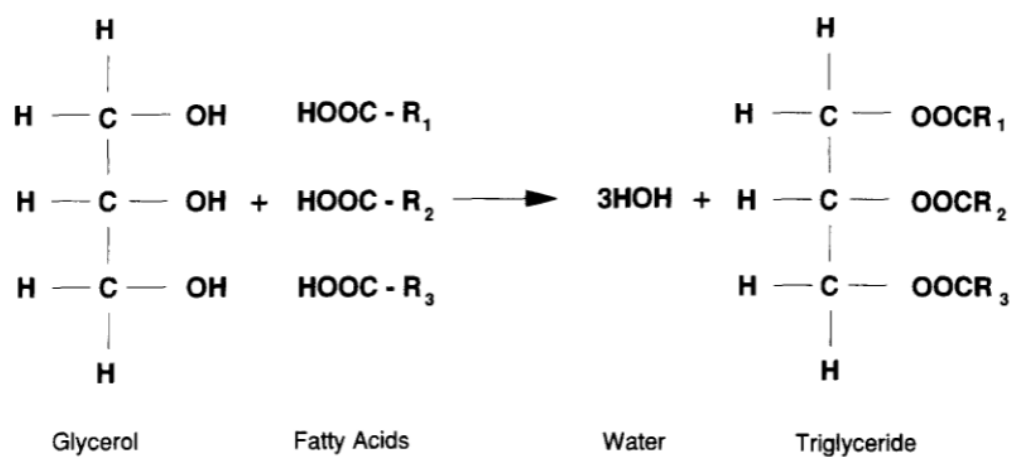
### 2.2.3 เชื้อเพลิงก๊าซ

เชื้อเพลิงก๊าซเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซภายใต้ความดันปกติ เช่น ก๊าซมีเทน ได้จากกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยมีสารตั้งต้นคือ ขยะมูลฝอยจากชุมชนหรือมูลของสัตว์

โดยปัจจุบันเชื้อเพลิงชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างมากจากภาครัฐ จากแผนพัฒนาพลังงานและพลังงานทางเลือกปี พ.ศ. 2558 ถึง 2579 ของกระทรวงพลังงาน ส่งเสริมให้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน ซึ่งในแผนได้กำหนดเป้าหมายเพิ่มปริมาณการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ภายในประเทศ จากปี พ.ศ. 2557 ที่มีกำลังผลิต 2.89 ล้านลิตร ให้เป็น 19 ล้านลิตรต่อวัน ในปีพ.ศ. 2579 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

### 2.3 น้ำมันพืช (vegetable oil)

น้ำมันพืชประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน รวมตัวเป็นสารประกอบที่เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ  $C_3H_5$  เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์กับกรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุล (Ma และ Hanna, 1999) โดยกรดไขมันของน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ความยาวของสายคาร์บอน ซึ่งในน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนจำนวน 12 ถึง 18 อะตอม กรดไขมันอิ่มตัว เช่น ปาล์มมิติก (palmitic,  $C_{16} : 0$ ) และสเตียริก (stearic,  $C_{18} : 0$ ) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่อย่างน้อย 1 พันธะภายในโมเลกุล เช่น โอเลอิก (oleic,  $C_{18} : 1$ ) ไลโนเลอิก (linoleic,  $C_{18} : 2$ ) และไลโนเลนิก (linolenic,  $C_{18} : 3$ ) กรดไขมันคิดเป็นร้อยละ 94 ถึง 96 ของน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นกรดไขมันจึงเป็นตัวกำหนดลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำมันพืช (นคร ทิพยาวงศ์, 2558) เช่น น้ำมันพืชที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวจำนวนมากมีค่าความหนืดสูง



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช

(Ali และ Hanna, 1994)



ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

องค์ประกอบกรดไขมัน	น้ำมันพืช				
	ปาล์ม	ถั่วเหลือง	มะพร้าว	ถั่วลิสง	ละหุ่ง
C<12:0	-	-	15.0	-	-
C12:0	0.2	0.1	47.5	-	-
C14:0	1.1	0.2	18.1	-	-
C16:0	44.0	10.7	8.8	8.1	1.5
C18:0	4.5	3.9	2.6	1.5	1.7
อื่นๆ (เช่น C20:0, C22:0, C24:0)	0.4	0.2	0.1	4.2	0.6
กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด	50.2	15.0	92.1	13.8	3.8
C16:1	0.1	0.3	-	-	-
C18:1	39.2	22.8	6.2	49.9	4.8
C18:2	10.1	50.8	1.6	35.4	6.5
อื่นๆ (เช่น C18:3, C20:1, C22:1, C24:0)	0.4	6.8	Trace	Trace	84.2
กรดไขมันไม่อิ่มตัว ทั้งหมด	49.7	80.7	7.8	85.3	96.2

ที่มา : พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล และ ลลิตา อัตนโถ, 2549

น้ำมันพืชมีศักยภาพเทียบได้กับน้ำมันดีเซลสามารถนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันพืชมีข้อดี คือ สามารถย่อยสลายเองได้ ปฏิกริยาการเผาไหม้น้ำมันพืชส่วนใหญ่เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากในน้ำมันมีองค์ประกอบของออกซิเจน อีกทั้งในน้ำมันพืชมีองค์ประกอบของซัลเฟอร์และอะโรมาติกในปริมาณน้อย ดังนั้นมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีปริมาณน้อยกว่าน้ำมันดีเซล (Melo-Espina และคณะ, 2015) แต่เนื่องจากน้ำมันพืชประกอบด้วยโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ น้ำมันพืชจึงมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก โดยน้ำมันปาล์มมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล 10 เท่า ส่งผลให้น้ำมันฉีดเป็นฝอยได้ยากเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งน้ำมันพืชระเหยตัวได้ช้าและมีเลขซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การจุดระเบิดเกิดได้ยาก เหลือเป็นคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด แหวนและวาล์ว (พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล



และ ลลิตา อัตนโณ, 2549) นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุลทำให้น้ำมันที่เป็นไขที่อุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิสูงสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้จากน้ำมันที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสดุกลเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นของเหลวเหนียวข้น (นคร ทิพยาวงศ์, 2558) เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน เช่น การลดความหนืด เพิ่มอัตราการระเหย และเพิ่มค่าซีเทน ก่อนนำน้ำมันพืชไปใช้งานกับเครื่องยนต์

พืชน้ำมันหลายชนิดมีศักยภาพสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ดังนั้นในการเลือกพืชน้ำมันต้องพิจารณาปัจจัยด้านหลายด้าน เช่น องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน ปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมัน และปริมาณผลผลิตต้องสามารถรองรับกำลังการผลิตที่จะเกิดขึ้นได้ สำหรับในประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมัน 6 ชนิด ได้แก่ ปาล์ม ถั่วเหลือง มะพร้าว ถั่วลิสง ละหุ่ง และงา (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2550) และจากสถิติการเกษตรของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2557 มีพืชน้ำมัน 3 ชนิดที่ได้รับความนิยมเพาะปลูกภายในประเทศ ได้แก่ ปาล์ม ถั่วเหลือง และมะพร้าว

**ตารางที่ 2.2** พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตที่ได้ของปาล์ม ถั่วเหลือง และมะพร้าวในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2555 – 2557

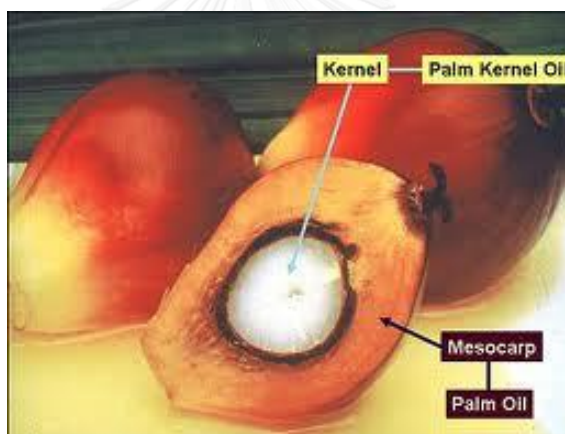
พืชน้ำมัน	พ.ศ. 2555		พ.ศ. 2556		พ.ศ. 2557	
	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิตต่อ ไร่ (กิโลกรัม)	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิตต่อ ไร่ (กิโลกรัม)	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิตต่อ ไร่ (กิโลกรัม)
1. ปาล์ม	4,386	3,057	4,484	3,287	4,594	3,014
2. ถั่วเหลือง	247	261	195	274	189	278
3. มะพร้าว	1,337	793	1,308	775	1,300	773

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557

จากตารางที่ 2.2 ปาล์มเป็นพืชน้ำมันที่เพาะปลูกมากที่สุดในประเทศไทย และให้ผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกสูงสุด ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงปริมาณเพียงพอ สามารถนำมาพิจารณาเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

### 2.3.1 น้ำมันปาล์ม (palm oil)

ปาล์มมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอสิส กินีเอ็นซิส (*Elaeis guineensis*) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวปาล์มติก และกรดไขมันไม่อิ่มตัวโอเลอิก น้ำมันปาล์มสกัดได้จากผลของปาล์ม โดยใน 1 ผล มีน้ำมันประมาณร้อยละ 56 สามารถแบ่งน้ำมันตามส่วนของผลที่สกัดได้เป็น 2 ส่วน ที่มีสมบัติทางเคมีแตกต่างกันอย่างมาก ได้แก่ น้ำมันปาล์มที่สกัดจากเปลือกหุ้มภายนอก (mesocarp) น้ำมันจากส่วนนี้มีกรดไขมันที่มีคาร์บอน 16 อะตอม เป็นองค์ประกอบหลัก อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวเท่ากับ 50 ต่อ 50 และน้ำมันเมล็ดในปาล์มสกัดจากเนื้อในของเมล็ด (palm kernel) มีกรดไขมันที่มีคาร์บอน 12 อะตอม เป็นองค์ประกอบหลัก อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวเท่ากับ 82 ต่อ 16 ส่งผลให้น้ำมันเมล็ดในปาล์มมีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำมันมะพร้าว (พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และลลิตา อัดนโถ, 2549)



ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบของผลปาล์ม

(นิธิยา รัตนাপนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2550)

น้ำมันปาล์มที่สกัดได้มีลักษณะเป็นของเหลว เรียกว่า น้ำมันปาล์มโอเลอีน ปนอยู่กับส่วนที่เป็นของแข็ง เรียกว่า ปาล์มสเตียรีน ซึ่งในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันเพื่อใช้ในการบริโภค มีกระบวนการเพิ่มเติมในการทำน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์ โดยแยกส่วนที่เป็นของเหลวออกจากส่วนที่เป็นของแข็ง กำจัดกรด สี และ กลิ่น โดยน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำมันปาล์มโอเลอีนที่ใช้เพื่อการบริโภค น้ำมันปาล์มไม่สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงได้ เนื่องจากมีสมบัติบางประการของน้ำมันที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

สมบัติของน้ำมัน	หน่วย	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันดีเซล
ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	เซนติสโตกส์	39.6	3.06
จุดขุ่น	องศาเซลเซียส	31.0	-
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส	-	-16
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	267	76
เลขซีเทน	-	42.0	50
ค่าความร้อน	เมกกะจูล/กิโลกรัม	39.6	43.8

ที่มา: American Standard Testing Method (ASTM), 2013 และ

Srivastava และ Prasad, 2000

## 2.4 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

เนื่องจากน้ำมันมีความหนืดสูง ระเหยตัวช้า และเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำ หากนำไปใช้งานโดยตรงจะก่อให้เกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการนำน้ำมันพืชมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งมีทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ การใช้โดยตรงและการผสม (direct use and blending) ไพโรไลซิส (pyrolysis) ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) และไมโครอิมัลชัน (microemulsion) (Ma และ Hanna, 1999)

### 2.4.1 การใช้โดยตรงและการผสม

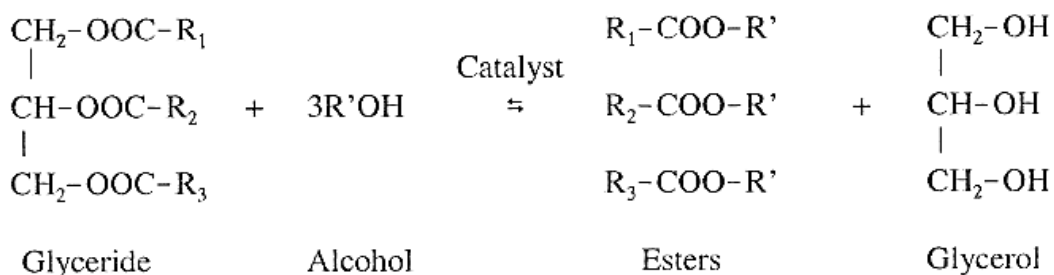
การใช้โดยตรง คือ วิธีการนำน้ำมันพืชไปใช้โดยตรงกับเครื่องยนต์ การผสม คือ วิธีที่นำน้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่างๆ โดยวิธีการใช้โดยตรงและการผสมไม่ต้องเติมสารเคมี ข้อดีของวิธีการใช้โดยตรงและการผสม คือ เป็นการนำน้ำมันจากธรรมชาติที่พร้อมใช้ประโยชน์อยู่แล้วมาใช้งาน ซึ่งน้ำมันเหล่านี้มีค่าความร้อนสูงคิดเป็นร้อยละ 80 ของน้ำมันดีเซล (Ma และ Hanna, 1999) ข้อเสียของวิธีการใช้โดยตรงและการผสม คือ วิธีนี้ลดค่าความหนืดของน้ำมันพืชไม่ได้ถึงแม้ผสมน้ำมันดีเซล น้ำมันพืชยังคงมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์สูงไม่ปฏิบัติตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งน้ำมันที่มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์สูง ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนั้นวิธีการใช้โดยตรงและการผสมนี้ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ในระยะยาว (Srivastava และ Prasad, 2000)

### 2.4.2 ไพโรไลซิส

ไพโรไลซิสเป็นปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ให้กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 450 ถึง 550 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่ไร้ออกซิเจนหรือออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นกับองค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้น ซึ่งน้ำมันพืชและไขมันสัตว์สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในวิธีนี้ได้ (Ma และ Hanna, 1999) วิธีไพโรไลซิสที่มีน้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบตั้งต้น เป็นปฏิกิริยาการสลายตัวของโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกลุ่มแอลเคน (alkane) และแอลคีน (alkene) ในปริมาณร้อยละ 60 ของมวลตั้งต้น และอาจพบองค์ประกอบของอะโรมาติกและคาร์บอกซิลิกในปริมาณน้อย (นคร ทิพยาวงศ์, 2558) ข้อดีของวิธีไพโรไลซิส คือ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ปริมาณซัลเฟอร์ ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์สามารถนำเชื้อเพลิงมาใช้งานได้ ข้อเสียของวิธีไพโรไลซิส คือ วิธีนี้ทำให้ออกซิเจนถูกกำจัดออกจากโมเลกุลของเชื้อเพลิงชีวภาพ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณออกซิเจนต่ำ เมื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพมักเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหลากหลายยากต่อการควบคุมคุณภาพ และผลิตภัณฑ์มีความคล้ายคลึงกับก๊าซโซลีนมากกว่าน้ำมันดีเซล สำหรับสมบัติเชื้อเพลิงด้านจุดไหลเท คาร์บอนตกค้าง และปริมาณแก็บไม่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (Srivastava และ Prasad, 2000)

### 2.4.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ให้กลายเป็นอัลคิลเอสเทอร์ (alkyl ester) และมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ (Do และคณะ, 2011) ดังภาพที่ 2.3 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยานี้ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ บิวทานอล โดยเมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเมทานอลมีสมบัติความเป็นขั้วสูง มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย และราคาถูก (Ma และ Hanna, 1999)



ภาพที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

(Ma และ Hanna, 1999)

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีหลายชนิด เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้รับความนิยม คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นคร ทิพยาวงศ์, 2558) ข้อดีของวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ข้อเสียของวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ สมบัติด้านจุดขุ่นและจุดไหลเทมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้กลีเซอรอลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นสารไม่บริสุทธิ์ซึ่งกลีเซอรอลไม่บริสุทธิ์ยากต่อการนำไปจัดการ (Attaphong และคณะ, 2012)

#### 2.4.4 ไมโครอิมัลชัน

ไมโครอิมัลชันเป็นวิธีการผสมระหว่างของเหลว 2 ชนิด ที่ต่างขั้วกันซึ่งไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (microscopically heterogeneous) เช่น น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสที่ไม่มีขั้ว และแอลกอฮอล์มวลโมเลกุลต่ำซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสที่มีขั้ว ให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยอาศัยสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นสารเชื่อมประสาน เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ข้อดีของวิธีไมโครอิมัลชัน คือ เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน ไม่เกิดของเสียที่ต้องกำจัดหรือบำบัดต่อ และสามารถลดปริมาณเขม่าและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ภายใต้อุณหภูมิสูงได้ (thermal NO<sub>x</sub>) (Do และคณะ, 2011) ข้อเสียของวิธีไมโครอิมัลชัน คือ เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้อยกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบ (Srivastava และ Prasad, 2000)

## 2.5 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน (microemulsion)

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน เชื้อเพลิงที่ได้มีความคงตัวทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic stability) โดยไมโครอิมัลชันมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 ถึง 150 นาโนเมตร ซึ่งเป็นขนาดเล็กกว่าความยาวหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสง เมื่อส่องแสงผ่านจึงไม่เกิดการกระจายของแสง และเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นของเหลวใส แต่ถ้านำไปส่องกล้องจุลทรรศน์พบไมโครอิมัลชันแบ่งเป็น 2 ภูมิภาค คือ ภูมิภาคภายใน (internal phase) และภูมิภาคภายนอก (external phase) (Acosta และคณะ, 2007) ขนาดของไมโครอิมัลชันขึ้นกับขั้นตอนการเตรียมและองค์ประกอบของเชื้อเพลิง ขนาดที่แตกต่างกันมีผลต่อสมบัติด้านความคงตัวและความหนืดของเชื้อเพลิง (Arpornphong และคณะ, 2014)

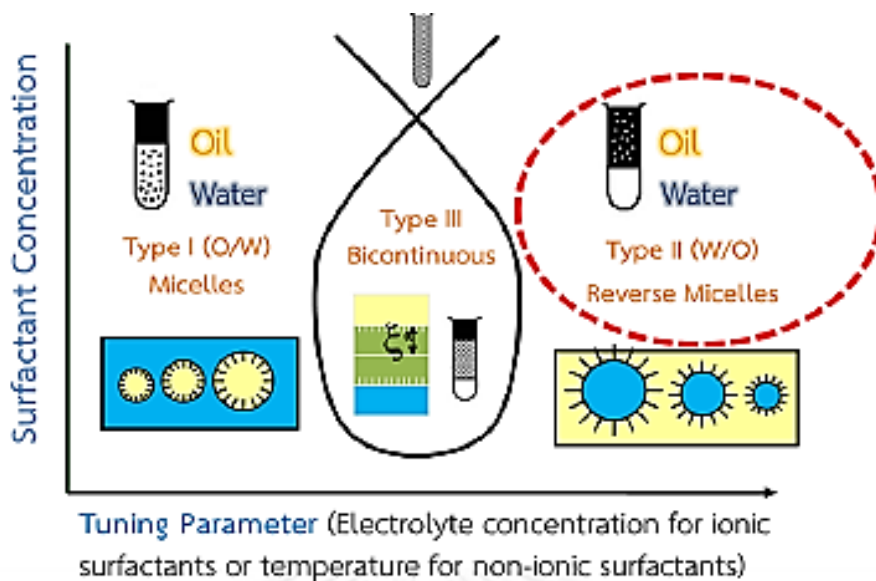
องค์ประกอบที่สำคัญสำหรับกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ได้แก่ น้ำมันเป็นเฟสที่ไม่มีขั้ว สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์เป็นเฟสที่มีขั้ว

### 2.5.1 กลไกการเกิดไมโครอิมัลชัน

ในระบบที่มีของเหลว 2 ชนิดที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว พร้อมทั้งให้พลังงานกับระบบโดยการเขย่า การให้พลังงานแก่ระบบนั้นถือเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว (surface free energy) ของของเหลวทั้ง 2 ชนิด ของเหลวจะเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็ก สารลดแรงตึงผิวสามารถก่อให้เกิดฟิล์มล้อมรอบอนุภาคที่แตกออก เกิดเป็นไมโครอิมัลชันที่มีภูมิภาคภายในและภายนอก (Lee, 2010) โดยรูปแบบของการเกิดไมโครอิมัลชันขึ้นกับ สมบัติและสัดส่วนของน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ (Dantas และคณะ, 2001)

### 2.5.2 รูปแบบของไมโครอิมัลชัน

รูปแบบของไมโครอิมัลชันมีหลายรูปแบบขึ้นกับ ชนิดของสารลดแรงตึงผิว ความเข้มข้นทางประจุไฟฟ้าในสารละลาย (electrolytic concentration) และอุณหภูมิในการเกิดไมโครอิมัลชัน (Acosta และ, 2007) ดังภาพที่ 2.4 โดยสามารถแบ่งประเภทของไมโครอิมัลชันตามรูปแบบวินเซอร์ (Winsor type) (Nguyen และคณะ, 2010) ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่



ภาพที่ 2.4 รูปแบบการเกิดไมโครอิมัลชัน

(Aosta และคณะ, 2007)

### 1) ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 1 (Winsor Type I)

ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 1 เกิดจากสารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในชั้นน้ำ โดยมีโมเลกุลของน้ำมันบางส่วนเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำ เกิดไมโครอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) หรือ ไมเซลล์ (micelle) ซึ่งการเกิดไมโครอิมัลชันรูปแบบนี้มีปริมาณของน้ำมากเกินไปในระบบ และสารลดแรงตึงผิวมีค่าเอชแอลบีมากกว่า 7

### 2) ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 (Winsor Type II)

ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 เกิดจากสารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในชั้นน้ำมัน โดยมีโมเลกุลของน้ำบางส่วนเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำมัน เกิดไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) หรือ รีเวิร์สไมเซลล์ (reverse micelle) ตรงข้ามกับการเกิดไมโครอิมัลชันแบบที่ 1 ซึ่งการเกิดไมโครอิมัลชันแบบที่ 2 มีปริมาณของน้ำมันมากเกินไปในระบบ และสารลดแรงตึงผิวมีค่าเอชแอลบีน้อยกว่า 7

### 3) ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 3 (Winsor Type III)

ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 3 ประกอบด้วย 3 เฟส ได้แก่ เฟสของน้ำ เฟสของน้ำมัน และเฟสสมดุล ซึ่งเฟสสมดุลนี้เป็นเฟสที่มีการเกิดไมโครอิมัลชัน เฟสสมดุลอยู่ตรงกลางระหว่างเฟสของน้ำและน้ำมัน การเกิดเฟสสมดุลเนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีค่าความชอบน้ำลดลง ส่งผลให้แรงตึงผิวระหว่างเฟสน้ำและน้ำมัน

ลดลงด้วย เกิดเป็นชั้นกลางของระบบ สารลดแรงตึงผิวสามารถเข้าทำปฏิกิริยาเกิดไมโครอิมัลชันที่เฟสสมดุล

#### 4) ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 4 (Winsor Type IV)

ไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 4 เป็นรูปแบบที่ไมโครอิมัลชันกลายเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นมาก ส่งผลให้สามารถรวมเฟสน้ำและน้ำมันเข้ากันได้ โดยไมโครอิมัลชันรูปแบบที่ 4 มีความหนืดสูง

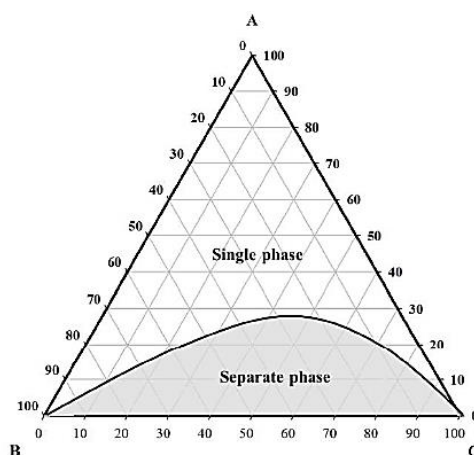
ในงานนี้ไมโครอิมัลชันที่ศึกษา จัดอยู่ในไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 (Winsor Type II) โดยใช้น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นเฟสของน้ำมัน และแอลกอฮอล์แทนเฟสน้ำซึ่งเป็นเฟสที่มีขั้ว

#### 2.5.3 แผนภาพสามเหลี่ยม (ternary phase diagram)

แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าศึกษาภูมิภาคและความเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน โดยแผนภาพนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนขององค์ประกอบในเชื้อเพลิงต่อภูมิภาคที่เกิดขึ้น (Attaphong และ Sabatini, 2013) ซึ่ง 3 องค์ประกอบที่อยู่แต่ละแกนของแผนภาพมีดังนี้ แกนบีแสดงปริมาณของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล แกนเอแสดงปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม และแกนซีแสดงปริมาณแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลและบิวทานอล ผลรวมปริมาณของทั้ง 3 แกน คิดเป็นร้อยละ 100 ดังสมการที่ 2.1

$$X\%A + Y\%B + X\%C = 100 \quad \dots (2.1)$$



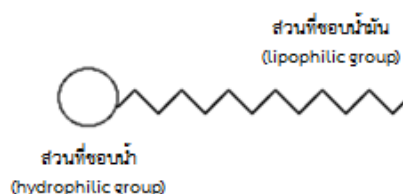


ภาพที่ 2.5 แผนภาพสามเหลี่ยม

จากภาพที่ 2.5 แสดงแผนภาพสามเหลี่ยมซึ่งสามารถจำแนกเฟสของสารได้เป็น 2 เฟส ได้แก่ เฟสที่สารรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ในเฟสนี้เกิดไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 หรือชนิดน้ำในน้ำมัน เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีความคงตัวทางอุณหพลศาสตร์ และเฟสที่สารละลายแยกชั้นกัน ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ดังนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพต้องเลือกสัดส่วนที่เหมาะสม ที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถกลายเป็นเนื้อเดียวกันและมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณมากที่สุด

## 2.6 สารลดแรงตึงผิว (surfactant)

สารลดแรงตึงผิวจัดเป็นสารประเภทแอมฟิฟิลิก (amphiphilic) แบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ บริเวณส่วนหัวที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีขั้วหรือไอออน สามารถรวมตัวกับโมเลกุลที่มีขั้วได้ดี และบริเวณส่วนหางที่ชอบน้ำมัน (lipophilic group) ประกอบด้วยโมเลกุลที่ไม่มีขั้วหรือไฮโดรคาร์บอนสายยาว สามารถรวมตัวกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้วได้ดี ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งโครงสร้างที่ประกอบด้วย 2 ส่วนที่แตกต่างกัน ช่วยทำให้สาร 2 ชนิด ที่ไม่รวมตัวกัน ให้กลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Rosen, 2004)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

### 2.6.1 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งประเภทได้ตามประจุของบริเวณส่วนหัวที่มีขั้ว ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด (Rosen, 2004) ดังนี้

#### 1) สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (anionic surfactant)

สารลดแรงตึงผิวประจุลบ โครงสร้างบริเวณส่วนหัวที่มีขั้วแสดงประจุลบ เมื่อละลายน้ำเกิดการแตกตัวให้ประจุลบ สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้มีมากในธรรมชาติ ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวประจุลบ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) กรดซัลโฟนิค (sulfonic acid) และฟอสเฟต เป็นต้น

#### 2) สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (cationic surfactant)

สารลดแรงตึงผิวประจุบวก โครงสร้างบริเวณส่วนหัวที่มีขั้วแสดงประจุบวก เมื่อละลายน้ำเกิดการแตกตัวให้ประจุบวก ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวประจุบวก เช่น เกลือของเอมีน (salt of a long chain amine) และกลุ่มของเอมีน เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวประจุบวกไม่สามารถทำงานในสภาวะที่มีความเป็นด่างสูงได้ โดยพีเอชของสารละลายต้องมีค่าไม่เกิน 10 เนื่องจากสภาวะที่มีความเป็นด่างสูง สารลดแรงตึงผิวเกิดการสูญเสียประจุบวก ทำให้เกิดการตกตะกอน

#### 3) สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและลบ (zwitterionics surfactant)

สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและลบ สามารถแสดงได้ทั้งประจุบวกและลบ ขึ้นกับพีเอชของสารละลาย ถ้าสารละลายมีพีเอชน้อยกว่า 7 สารลดแรงตึงผิวแสดงประจุบวก และถ้ามีพีเอชของสารละลายมากกว่า 7 สารลดแรงตึงผิวแสดงประจุลบ ตัวอย่างเช่น สารลดแรงตึงผิวในกลุ่มกรดอะมิโน

#### 4) สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (nonionic surfactant)

สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ โครงสร้างบริเวณส่วนหัวไม่แสดง เมื่อละลายน้ำจึงไม่เกิดการแตกตัวของประจุ ดังนั้นจึงมีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ เช่น เอสเทอร์ของกรดไขมัน โพลีออกซีเอทิลีน (polyoxyethylene) และแอลกอฮอล์อีเทอร์ (ethoxylate alcohol)

### 2.6.2 เอชแอลบี (hydrophile lipophile balance, HLB)

เอชแอลบีเป็นค่าที่บ่งบอกสมดุลระหว่างสัดส่วนที่ชอบน้ำและสัดส่วนที่ชอบน้ำมัน ภายในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งค่าเอชแอลบีสามารถนำมาเป็นหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกชนิดของสารลดแรงตึงผิวได้ และสามารถบ่งบอกประเภทของไมโครอิมัลชันที่เกิดขึ้นได้ สำหรับสารลดแรงตึงผิวประจุลบสามารถคำนวณค่าเอชแอลบีได้ตามสมการของกิฟฟิน (Giffin formula) ดังนี้ (Rosen, 2004)

$$HLB = 20 \times \frac{MW_H}{MW_H + MW_L} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $MW_H$  คือ มวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (กรัม/โมล)  
 $MW_L$  คือ มวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำมัน (กรัม/โมล)

โดยเอชแอลบีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 20 ถ้าค่าเอชแอลบีเท่ากับ 0 หมายถึง สารทั้งหมดเป็นโมเลกุลชอบน้ำมัน และเมื่อโมเลกุลมีส่วนที่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นค่าเอชแอลบีเพิ่มสูงขึ้นด้วย ที่ค่าเอชแอลบีเท่ากับ 20 หมายถึง สารทั้งในโมเลกุลชอบน้ำ ละลายน้ำได้ดี ซึ่งค่าเอชแอลบีสามารถนำมากำหนดรูปแบบของไมโครอิมัลชันได้ ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีค่าเอชแอลบีต่ำ แนวโน้มรูปแบบไมโครอิมัลชันที่เกิดขึ้น คือ ชนิดน้ำในน้ำมัน แต่ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีค่าเอชแอลบีสูง แนวโน้มรูปแบบไมโครอิมัลชันที่เกิดขึ้น คือ ชนิดน้ำมันในน้ำ ดังนั้นควรเลือกสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าเอชแอลบีให้เหมาะสมกับการใช้งาน (Uniqema, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าเอชแอลบีตามการนำไปใช้งาน

ค่าเอชแอลบี	การนำไปใช้งาน
1 - 3	สารกันการเกิดฟอง (antifoaming agent)
3 - 6	อิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsifier)
7 - 8	สารทำให้เปียก (wetting agent)
8 - 18	อิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsifier)
13 - 15	สารทำความสะอาด (detergent)
15 - 18	สารทำละลาย (solubilizer)

### 2.6.3 สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันมีการใช้สารลดแรงตึงผิวหลากหลายชนิด โดยในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาสารลดแรงตึงผิวชนิดกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลอิต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้สามารถทำงานได้ดีในระบบน้ำมัน อีกทั้งไม่ต้องเติมเกลือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยสารลดแรงตึงผิวที่นำมาศึกษามีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน สามารถสังเคราะห์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีสารตั้งต้นมาจากธรรมชาติ ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

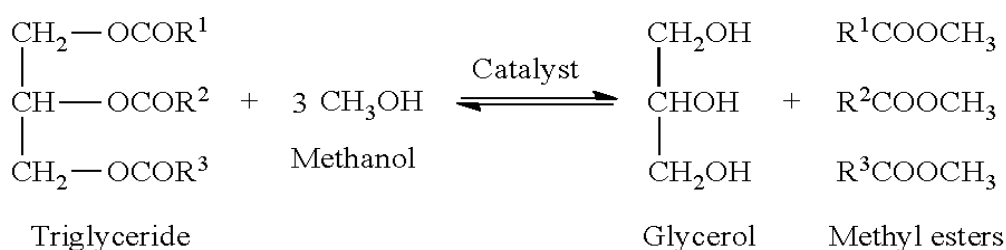
#### 1) เมทิลโอเลอิต

เมทิลโอเลอิต หรือเมทิลเอสเทอร์ของกรดโอเลอิก (methyl ester of oleic acid) สามารถสังเคราะห์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีไตรโอเลอินและเมทานอลเป็นสารตั้งต้น จัดเป็นโครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอน 18 อะตอม (Ebiura และคณะ, 2005) เมื่อนำมาใช้ในงานผลิตเชื้อเพลิงด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน เมทิลโอเลอิตสามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ และเกิดเป็นไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 หรือชนิดน้ำในน้ำมัน ไมโครอิมัลชันที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่และใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าน้อย (Arpornphong และคณะ, 2014)

#### 2) เอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม

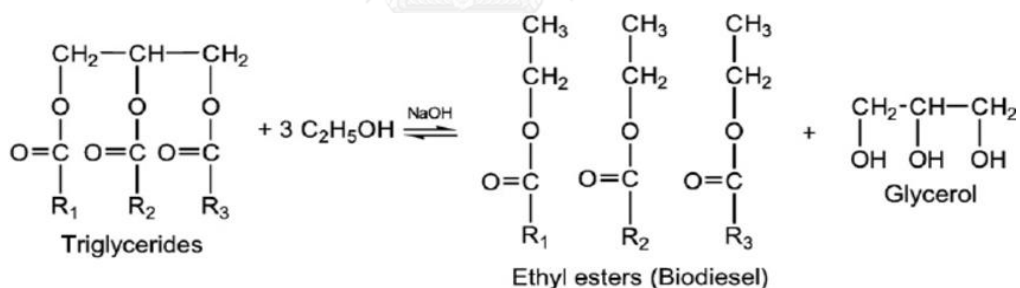
เอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม ได้มาจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล

เอทานอล และบิวทานอล โดยมีด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าหมู่ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเมทานอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือเมทิลเอสเทอร์ และถ้าหมู่ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเอทานอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือเอทิลเอสเทอร์ โดยสมบัติของเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่ได้ขึ้นกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ความยาวของสายคาร์บอน โครงสร้างแบบเส้นตรงหรือกิ่ง และจำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Knothe, 2005)



ภาพที่ 2.7 ปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์

(Silva และคณะ, 2009)



ภาพที่ 2.8 ปฏิกิริยาการเกิดเอทิลเอสเทอร์

(Silva และคณะ, 2009)

เมทานอลได้รับความนิยมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมากกว่าเอทานอล เนื่องจากราคาถูกและภายหลังจากการเกิดปฏิกิริยา กลีเซอรอลแยกชั้นออกจากเมทิลเอสเทอร์ได้ง่ายกว่าเอทิลเอสเทอร์ สำหรับการแยกชั้นกลีเซอรอลออกจากเอทิลเอสเทอร์ต้องอาศัยน้ำเป็นตัวช่วยแยก แต่เนื่องจากเอทานอลมีข้อดีเอทานอล คือ สังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เอทานอลจึงได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้งาน (Chotwchien และคณะ, 2009)

## 2.7 สารลดแรงตึงผิวร่วม (cosurfactant)

สารลดแรงตึงผิวร่วมทำหน้าที่ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวในการช่วยลดแรงตึงระหว่างผิว โดยสารลดแรงตึงผิวร่วมช่วยเพิ่มพลังงานเอนโทรปีให้กับระบบ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างเฟสเกิดได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเกิดโครงสร้างที่เป็นเจลและผลึกของเหลวในเชื้อเพลิงชีวภาพได้อีกด้วย สารลดแรงตึงผิวร่วมที่นิยมใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน คือ สารกลุ่มแอลกอฮอล์ ตัวอย่างเช่น บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ซึ่งเมื่อเติมสารเหล่านี้ลงไป ในเชื้อเพลิงชีวภาพสายยาวของคาร์บอนในโมเลกุลแอลกอฮอล์ทำงานร่วมกับเฟสของน้ำมัน เพิ่มความเสถียรในการเกิดไมโครอิมัลชัน (Lee, 2010) ถ้าเติมสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีสายคาร์บอนยาวมาก ทำให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้น (Arpongphong และคณะ, 2014)

## 2.8 แอลกอฮอล์ (alcohol)

แอลกอฮอล์เป็นอินทรีย์สาร ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยออกซิเจนจับตัวอยู่ในรูปอนุโมเลกุลไฮดรอกซิล ส่งผลให้แอลกอฮอล์มีสมบัติความเป็นขั้ว ตัวอย่างของ แอลกอฮอล์เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล เป็นต้น ซึ่งในงานด้านการผลิตเชื้อเพลิงด้วยไมโครอิมัลชันแอลกอฮอล์มีหน้าที่ลดความหนืดของเชื้อเพลิง ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ช่วยลดอุณหภูมิในการเผาไหม้ ส่งผลให้สามารถลดปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงได้ ในขณะที่แอลกอฮอล์ทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงด้วย

### 2.8.1 เอทานอล

เอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพสังเคราะห์ได้จากทั้งกระบวนการทางเคมีที่มีสารตั้งต้นเป็นอนุพันธ์จากปิโตรเลียม และกระบวนการทางชีวภาพที่มีสารตั้งต้นเป็นผลผลิตทางการเกษตร ตัวอย่างเช่น อ้อย มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล เป็นต้น (นคร ทิพยาวงศ์, 2558) ข้อดี คือ เอทานอลมีค่าความหนืดที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (Chotwichien และคณะ, 2009) ข้อเสีย คือ เอทานอลมีสมบัติความเป็นไฮโดรโฟบิกต่ำ การละลายในน้ำมันจึงเกิดได้น้อย ดังนั้นในเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลเป็นองค์ประกอบ ที่อุณหภูมิตำ่ น้ำมันเกิดการแยกชั้น ซึ่งเป็นปัญหาต่อการนำไปใช้งาน นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่ได้ มีจุดวาบไฟ และเลขซีเทนกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การจุดระเบิดในเครื่องยนต์เกิดได้ช้า (Xing-cai และคณะ, 2004)

## 2.8.2 บิวทานอล

บิวทานอลหรือบิวทิลแอลกอฮอล์ จัดเป็นแอลกอฮอล์ที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ สังเคราะห์ได้จากทั้งกระบวนการทางเคมีและทางชีวภาพเช่นเดียวกับการผลิตเอทานอล ข้อดี คือ บิวทานอลมีสมบัติไฮโดรโฟบิกสูง ดังนั้นสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี เชื้อเพลิงที่มีบิวทานอลเป็นองค์ประกอบ ที่อุณหภูมิตำน้ำมันมักไม่เกิดการแยกชั้น นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนและเลขซีเทนที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ข้อเสีย คือ บิวทานอลมีค่าความหนืดสูง ส่งผลให้เชื้อเพลิงมีค่าความหนืดสูงด้วยเช่นกัน (Atmanli และคณะ, 2015)



## 2.9 สมบัติของเชื้อเพลิง (fuel properties)

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้ด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน สามารถนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ได้นั้น เชื้อเพลิงชีวภาพต้องมีสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

### 2.9.1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (kinematic viscosity)

ความหนืดเชิงจลนศาสตร์เป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นการบ่งบอกความสามารถในการต้านทานการไหลของน้ำมัน สามารถวัดด้วยหลอดแคนนอนเฟนส์กี (cannon fenske) มีหน่วยเป็นเซนติสโตกส์ (Do และคณะ, 2011) ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ขึ้นกับอุณหภูมิ ดังนั้นในการวัดค่าความหนืดจำเป็นต้องระบุอุณหภูมิกำกับไว้ด้วย ที่อุณหภูมิสูงความหนืดเชิงจลนศาสตร์มีค่าลดลง (Attaphong และ Sabatini, 2013) โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีความหนืดเชิงจลนศาสตร์สูงส่งผลเสียต่อการทำงานของเครื่องยนต์

### 2.9.2 ความหนาแน่น (density)

ความหนาแน่นเป็นสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพ บ่งบอกอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยกำหนดให้อุณหภูมิคงที่ ซึ่งความหนาแน่นสามารถนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณและใช้ประเมินสมบัติการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ความหนาแน่นวิเคราะห์ด้วยหลักการชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำมาคำนวณ มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร เชื้อเพลิงที่มีค่าความหนาแน่นสูงมีมวลสูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูง เครื่องยนต์ต้องใช้กำลังที่มากซึ่งอาจก่อให้เกิดควันดำได้

### 2.9.3 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะเป็นค่าที่บ่งบอกอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นหรือน้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อความหนาแน่นหรือน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่ปริมาตรและอุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงมีการกำหนดอุณหภูมิมาตรฐานที่ 15.6 องศาเซลเซียส (ประณต กุลประสูตร, 2553) ความถ่วงจำเพาะนี้สามารถใช้บ่งชี้ประเภทของเชื้อเพลิงแบบคร่าวๆ และบอกปริมาณความร้อนที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (นคร ทิพย์วงศ์, 2558) วิเคราะห์ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก ค่าความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย เชื้อเพลิงที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูง น้ำมันมีองค์ประกอบของอะโรมาติกใน



ปริมาณสูง เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนที่สูงแต่มีค่าซีเทนต่ำ ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

#### 2.9.4 จุดขุ่น (cloud point)

จุดขุ่นเป็นจุดที่บ่งบอกอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงเริ่มมีลักษณะขุ่น ที่อุณหภูมิจุดขุ่นเชื้อเพลิงเริ่มเกิดการตกผลึกและก่อตัวเป็นของแข็ง จุดขุ่นเป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดที่สามารถนำเชื้อเพลิงไปใช้งานได้ (นคร ทิพย์าวงศ์, 2558) วิเคราะห์ด้วยวิธีการสังเกต ทำการควบคุมอุณหภูมิของเชื้อเพลิงจากนั้นทำการลดอุณหภูมิลง จนถึงอุณหภูมิหนึ่งที่เชื้อเพลิงเริ่มขุ่น มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ถ้านำเชื้อเพลิงไปใช้งานในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดขุ่น อาจเกิดการอุดตันตามเส้นท่อและไส้กรองได้

#### 2.9.5 จุดไหลเท (pour point)

จุดไหลเทเป็นจุดที่บ่งบอกอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงสามารถไหลภายใต้น้ำหนักของเชื้อเพลิงตัวเอง (ประณต กุลประสูตร, 2553) โดยจุดไหลเทมีค่าต่ำกว่าจุดขุ่น สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีการสังเกต ทำการควบคุมอุณหภูมิของเชื้อเพลิงจากนั้นทำการลดอุณหภูมิลง จนถึงอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดผลึกและไข ทำการลดอุณหภูมิต่อจนกระทั่งเชื้อเพลิงเกิดการแข็งตัวไม่สามารถไหลได้อีกต่อไป มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

#### 2.9.6 จุดวาบไฟ (flash point) มหาวิทยาลัย

จุดวาบไฟเป็นจุดที่อุณหภูมิต่ำที่สุดของเชื้อเพลิง ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนเชื้อเพลิงสามารถกลายเป็นไอได้ และเมื่อถูกเปลวไฟเกิดการลุกวาบขณะหนึ่ง จุดวาบไฟมีผลต่อการป้องกันอัคคีภัยขณะขนส่งและเก็บรักษาเชื้อเพลิง แต่ไม่ได้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ จุดวาบไฟวิเคราะห์ได้จากองค์ประกอบของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

#### 2.9.7 เลขซีเทน (cetane number)

เลขซีเทนบ่งบอกคุณภาพของการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ นับตั้งแต่เชื้อเพลิงเริ่มเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนถึงระยะเวลาที่ติดไฟ เลขซีเทนหาได้จากการคำนวณดัชนีซีเทน ค่าที่ได้ไม่มีหน่วย เลขซีเทนควรมีค่าสูงเพื่อเชื้อเพลิงเกิดการจุดติดไฟได้ภายในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดได้ง่าย ไม่เกิดการน็อก และเป็นการช่วยประหยัดเชื้อเพลิง (นคร ทิพย์าวงศ์, 2558) แต่ก็ไม่ควรมีค่าสูงเกินไปเพราะจะทำให้

เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง หรือมีค่าต่ำเกินไป เพราะการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงต้องใช้ระยะเวลาที่นานและใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากเพื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ (ประณต กุลประสูตร, 2553)

### 2.9.8 ค่าความร้อน (heat of combustion)

ค่าความร้อนแสดงถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยใช้ออกซิเจน วิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ค่าความร้อนมีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อกิโลกรัม ถ้าเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนน้อย ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก เนื่องจากต้องใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากในการเผาไหม้ (Arpomphong และ Sabatini, 2014)

### 2.9.9 กากคาร์บอน (carbon residue)

กากคาร์บอน คือ ปริมาณของคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้แล้วตกค้างอยู่ในห้องเผา สามารถบอกแนวโน้มของคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงและอัตราการระเหยได้ ถ้าเชื้อเพลิงมีอัตราการระเหยที่เร็ว พบคาร์บอนตกค้างในปริมาณน้อย (ประณต กุลประสูตร, 2553) สามารถวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนักของของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหลือจากการเผาด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ คาร์บอนตกค้างมีหน่วยเป็นร้อยละของคาร์บอนโดยน้ำหนักของเชื้อเพลิง ถ้ามีคาร์บอนตกค้างปริมาณมาก ไอเสียมักเป็นควันดำ

### 2.9.10 ปริมาณน้ำ (water content)

ปริมาณน้ำแสดงถึงปริมาณของน้ำที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิง วิเคราะห์ด้วยวิธีคาร์ล ฟิชเชอร์ ไทเทรต มีหน่วยเป็นร้อยละของน้ำโดยปริมาตรเชื้อเพลิง ถ้าในเชื้อเพลิงมีน้ำเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลง ส่งผลให้ปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดภายใต้อุณหภูมิสูงลดลงด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามก็เป็นการเพิ่มปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนด้วยเช่นกัน

### 2.9.11 ปริมาณเถ้า (ash content)

ปริมาณเถ้าเป็นของแข็งที่เหลือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักเถ้าของเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ปริมาณเถ้ามีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ถ้ามีปริมาณเถ้ามาก ส่งผลต่ออุปกรณ์ของเครื่องยนต์เกิดการสึกหรอได้ง่าย เช่น ตัวปั๊ม หัวฉีด และแหวนลูกสูบ (ประณต กุลประสูตร, 2553)

### 2.9.12 ปริมาณกำมะถัน (sulphur content)

ปริมาณกำมะถันที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิง เมื่อกำมะถันเกิดการเผาไหม้จะได้ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $\text{SO}_3$ ) สามารถทำปฏิกิริยาต่อกับน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) เกิดผลิตภัณฑ์เป็นกรดซัลฟูริก ค่าความเป็นกรดที่ได้นี้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ปริมาณกำมะถันมีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ถ้าในเชื้อเพลิงมีปริมาณกำมะถันมาก อุปกรณ์เครื่องยนต์ เช่น กระบอกสูบ และแหวนลูกสูบเกิดการกัดกร่อน (ประณต กุลประสูตร, 2553)

ตารางที่ 2.5 ค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

สมบัติของเชื้อเพลิง	หน่วย	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซล
ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	เซนติสโตกส์	1.9 - 4.1	1.9 - 6.0
ความหนาแน่น	กรัมต่อมิลลิลิตร	0.81 - 0.87	0.83 - 0.90
จุดขุ่น	องศาเซลเซียส	-15	-5
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส	-17	-9
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	52	93
เลขซีเทน	-	45	47
กากคาร์บอน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	0.35	0.30
ปริมาณน้ำ	ร้อยละโดยปริมาตร	0.05	0.05
ปริมาณเถ้า	ร้อยละโดยน้ำหนัก	0.01	0.02
ปริมาณกำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	0.05	0.015

ที่มา: American Standard Testing Method (ASTM), 2013

สมบัติทุกตัวของเชื้อเพลิงชีวภาพมีความสำคัญต่อการนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้งานกับเครื่องยนต์ แต่เนื่องจากในการศึกษามีข้อจำกัด โดยสมบัติที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ความร้อน และกากคาร์บอน

สำหรับความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ เลขซีเทน ปริมาณน้ำ ปริมาณเถ้า และปริมาณกำมะถันไม่ได้ทำการศึกษา เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกค่าที่บ่งบอกอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นหรือน้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อความหนาแน่นหรือน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่ปริมาตรและ

อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้จากความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ ปริมาณเถ้าสามารถคาดการณ์ได้จากกากคาร์บอน ดังนั้นจึงไม่ได้ทำการศึกษา สำหรับจุดวาบไฟที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Pensky-Martens closed cup tester เลขซีเทนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง cetane number analyzer ไม่มีเครื่องมือที่ใช้ในศึกษา ส่วนปริมาณน้ำที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Karl fische tritator . ในช่วงเวลาที่ทำงานวิจัยนี้ เครื่องมือไม่อยู่ในสภาพที่พร้อมทำการศึกษาได้ และปริมาณกำมะถันที่ไม่ศึกษา เพราะเนื่องจากสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันไม่มีองค์ประกอบของกำมะถัน ดังนั้นจึงไม่ทำการศึกษา



## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dantas และคณะ (2001) ศึกษาการผลิตพลังงานทางเลือกด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชที่ต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันละหุ่ง โดยองค์ประกอบของไมโครอิมัลชันมีดังนี้ น้ำเป็นตัวแทนของเฟสที่มีขี้ สารลดแรงตึงผิว ประจุลบโซเดียมลอริลซัลเฟตและสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุไดเอทานอลเอไมด์ เอทิลโพรพิลเป็น สารลดแรงตึงผิวร่วม และไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อ ไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ธรรมชาติของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนระหว่าง สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และองค์ประกอบของน้ำมัน โดยองค์ประกอบที่เหมาะสมใน การผลิตเชื้อเพลิงด้วยวิธีไมโครอิมัลชันมีดังนี้ น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วนระหว่าง สารลดแรงตึงผิวไดเอทานอลเอไมด์ต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ 0.5 ได้เชื้อเพลิงที่มี สมบัติทางกายภาพและทางเคมีใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด สามารถนำมาใช้เป็นพลังงาน ทางเลือกได้

วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน และคณะ (2548) ศึกษาปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพ ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ในงานนี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณร้อยละ 1.0 1.2 และ 1.4 โดยน้ำหนักปาล์ม ความเร็วในการทำปฏิกิริยา 350 400 และ 450 รอบต่อนาที เมทานอลร้อยละ 20 โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที จากผลการศึกษาพบว่า การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ มีค่ากรดไขมันอิสระร้อยละ 0.93 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักปาล์ม ความเร็วในการทำปฏิกิริยา 350 รอบต่อนาที ปริมาณผลผลิต สูงสุดที่ได้ร้อยละ 89.47 และ 90.67 ตามลำดับ ค่าความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 98.97 และ 96.16 ตามลำดับ และจากผลการศึกษสมบัติของเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงที่ได้เป็นไปตาม เกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเอเอสทีเอ็มและมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

Chotwchien และคณะ (2009) ศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงผสม ระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซลและบิวทานอลกับน้ำมันดีเซล โดยในงานนี้ศึกษาไบโอดีเซลที่ได้จาก กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และบิวทิลเอสเทอร์ จากผลการศึกษาความสามารถในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของ เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่า เมทิลเอสเทอร์สามารถรวมตัวกับน้ำมัน ดีเซลได้ดีที่สุด เนื่องจากเอทิลเอสเทอร์และบิวทิลเอสเทอร์มีหมู่ฟังก์ชันที่พร้อมเกิดปฏิกิริยาอื่นได้อีก การรวมตัวกับน้ำมันจึงเกิดได้ไม่ดี และเชื้อเพลิงที่ใช้บิวทานอลเป็นสารเติมแต่งมีความเสถียรต่อการ

เปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ โดยพบว่าเชื้อเพลิงสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง เนื่องจากบิวทานอลสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดีกว่าเอทานอล และจากผลการศึกษาระดับของเชื้อเพลิงพบว่า แอลกอฮอล์ที่เติมลงไปนั้นมีผลทำให้ค่าความหนืดและเลขซีเทนลดลง เชื้อเพลิงที่ใช้บิวทานอลเป็นสารเติมแต่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

Do และคณะ (2011) ศึกษาวิเคราะห์ ความหนืด และสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันพืช 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันสาหร่าย น้ำมันคาร์โนลา และน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้อยู่ในรูปรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชันซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ แอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิวโอเลิลแอลกอฮอล์และโอเลิลเอมีน สารลดแรงตึงผิวร่วมไดเอทิลเฮกซานอล ไดเอทิลไนเตรต ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันสาหร่ายหรือน้ำมันคาร์โนลา และโอเลิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิว ไมโครอิมัลชันที่ได้มีความเสถียรทางอุณหภูมิ จุดขุ่นและจุดไหลเทเป็นไปตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็มน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ผลการศึกษาน้ำมันปาล์มพบว่าน้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ที่อุณหภูมิประมาณ 6.1 ถึง 6.5 องศาเซลเซียส ไมโครอิมัลชันมีลักษณะเป็นของแข็ง และจากผลการศึกษาระดับของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนประมาณร้อยละ 10 ซึ่งน้อยกว่าน้ำมันดีเซล การปลดปล่อยมลพิษหลังการเผาไหม้พบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ไม่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนพบการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล ในงานวิจัยนี้ได้สัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสมดังนี้ น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลร้อยละ 50 โดยปริมาตร และแอลกอฮอล์ร้อยละ 24 โดยปริมาตร ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงที่ได้เป็นไปตามมาตรฐาน

Attaphong และคณะ (2012) ศึกษาผลการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันคาร์โนลาด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวประจุลบกลุ่มคาร์บอซิเลตที่มีส่วนขยายภายในโครงสร้าง 4 ชนิด ที่มีความแตกต่างทางโครงสร้างแบบโซ่ตรงและโซ่กิ่ง และจำนวนหมู่ฮิโทกซิเลต ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อสมบัติไฮโดรโฟบิกของสารลดแรงตึงผิว จากผลการทดลองพบว่า สารลดแรงตึงผิวประจุลบกลุ่มคาร์บอซิเลตที่มีส่วนขยายภายในโครงสร้าง สามารถเกิดรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชันได้โดยไม่ต้องมีการเติมเกลือ โดยสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างแบบเส้นตรงและมีจำนวนหมู่ฮิโทกซิเลตน้อย ต้องการปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่น้อยในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพกลายเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างแบบดังกล่าวมีสมบัติไฮโดรโฟบิกสูง และที่อุณหภูมิสูงเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันหมู่ฮิโทกซิเลต ส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีสมบัติไฮโดรโฟบิกเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จะลดลง ศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วมที่แตกต่างกันระหว่าง

ออกทานอลที่มีโครงสร้างแบบเส้นตรงและไดเอทิลเฮกซานอลที่มีโครงสร้างแบบเส้นกิ่งพบว่า โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพกลายเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากไดเอทิลเฮกซานอลเป็นไอโซเมอร์ของออกทานอล ผลของอัตราส่วนระหว่าง สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมไม่มีผลต่อการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพกลายเป็นเนื้อเดียวกัน และศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่า ค่าความหนืดที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม น้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยค่าความหนืดลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และการเติมสารเติมแต่ง ไม่มีผลต่อการทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นเนื้อเดียวกันเพียงแต่ช่วยปรับปรุง คุณภาพของน้ำมันให้ดีขึ้น โดยเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ทำหน้าที่ช่วยป้องกันการแข็งตัวของ เชื้อเพลิง และไดเทอร์บิวทิลเปอร์ออกไซด์ทำหน้าที่เพิ่มเลขซีเทน ในงานวิจัยนี้ได้เลือกสัดส่วนที่ เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันดังนี้ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันคาร์โนลาต่อน้ำมัน ดีเซล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1 ต่อ 8 โดยโมล ที่ปริมาตรน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ร้อยละ 75 5 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ

Estaban และคณะ (2012) ศึกษาอุณหภูมิต่อความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันพืช ซึ่ง ทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ น้ำมันพืชที่ศึกษา ได้แก่ น้ำมันเรพซีด น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดองุ่น และน้ำมัน ไบโอดีเซล จากผลการศึกษาพบว่า น้ำมันพืชมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ น้ำมันพืชมีความหนืดและความหนาแน่นสูง โดยอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของน้ำมันพืชในกรณีที่ใช้ น้ำมันพืชอย่างเดียว อุณหภูมิต้องไม่น้อยกว่า 120 องศาเซลเซียส ก่อนนำน้ำมันพืชเข้าสู่ห้องเผาไหม้จึงมี ความเหมาะสมต่อลักษณะทางกายภาพของน้ำมันพืชทั้งด้านความหนืดและความหนาแน่นในการ นำไปใช้งานกับเครื่องยนต์

Nguyen และคณะ (2012) ศึกษาเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันผสมระหว่างคาร์โนลาทกับ ดีเซล และการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ไมโครอิมัลชันในงานนี้ประกอบด้วย น้ำมันคาร์โนลาผสม กับน้ำมันดีเซล โอลีอีลเอมีนเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม แอลกอฮอล์ ผสมระหว่างเอทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าบิวทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มี ค่าความร้อนสูง จากผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ผสมในปริมาณ ร้อยละ 30 โดยปริมาตร ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงลดลงมากแต่ในขณะเดียวกันปริมาณมลพิษ อากาศเพิ่มขึ้น ดังนั้นต้องเติมแอลกอฮอล์ผสมในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิง และปริมาณมลพิษอากาศลดลงควบคู่กัน และสัดส่วนของแอลกอฮอล์ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถ

ช่วยลดปริมาณของสารลดแรงตึงผิว โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันในงานวิจัยนี้มีความเสถียรในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -10 ถึง 70 องศาเซลเซียส สมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละอองที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล

Attaphong และ Sabatini (2013) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้ สารลดแรงตึงผิวประจุลบคาร์บอกซิเลตที่มีส่วนขยายภายในโครงสร้าง และสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ แอลกอฮอล์อีทอกซิเลตที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง โอลิเอิลแอลกอฮอล์ และซอร์บิแทน จากผลการศึกษาพบว่า สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนเป็นสารที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับอัตราส่วนระหว่างโครงสร้างต่อส่วนหัวที่มีขั้ว ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวมากที่สุดเพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ส่วนแอลกอฮอล์อีทอกซิเลตใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุด เนื่องจากมีโครงสร้างของสายคาร์บอนที่ยาวและมีจำนวนหมู่อีทอกซิเลตน้อย ส่งผลให้สารลดแรงตึงผิวมีสมบัติไฮโดรโฟบิกสูงสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี ผลการศึกษาการผสมสารลดแรงตึงผิวพบว่า การผสมสารลดแรงตึงผิวมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของสารลดแรงตึงผิวและลดการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิของไมโครอิมัลชัน โดยอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสม ได้แก่ 1 ต่อ 8 โดยโมลของสารลดแรงตึงผิวที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากต่อสารลดแรงตึงผิวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย ผลการศึกษาน้ำมันที่ต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันคาร์โนลา น้ำมันสาหร่ายและน้ำมันละหุ่ง พบว่า กรดไขมันมีผลต่อวัฏภาคและการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพ น้ำมันสาหร่ายผสมกับน้ำมันดีเซลใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด เนื่องจากในน้ำมันสาหร่ายประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงส่งผลให้ค่าไฮโดรโฟบิกสูงด้วย การรวมตัวกับแอลกอฮอล์จึงเกิดได้ยาก ส่วนน้ำมันสาหร่ายผสมน้ำมันละหุ่งให้ผลการทดลองคล้ายกับน้ำมันคาร์โนลา แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงน้ำมันคาร์โนลาใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวน้อยกว่า เนื่องจากน้ำมันคาร์โนลามีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า ผลการศึกษาการใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 และ 95 พบว่า น้ำมันละหุ่งมีความเหมาะสมต่อการใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 มากกว่าร้อยละ 99 และผลการศึกษาการเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน สารเติมแต่งไดเทอร์บิวทิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ช่วยเพิ่มเลขซีเทน และสารเติมแต่งเอทิลีนไกลคอลบิวทิลเอเทอร์เป็นสารช่วยป้องกันการแข็งตัวของเชื้อเพลิง ส่งผลให้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ได้มีสมบัติตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม น้ำมันดีเซลประเภทที่ 2

Dantas Neto และคณะ (2013) ศึกษาผลของไมโครอิมัลชันที่ผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล ต่อการปลดปล่อยก๊าซไอเสียเมื่อนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยองค์ประกอบ



ของไมโครอิมัลชันในงานนี้ ได้แก่ เฟสน้ำมันซึ่งผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลร้อยละ 5 และ 20 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวประจุลบโพลีฟอสเฟต และน้ำ ผลการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันพบว่า ค่าความหนืด ความหนาแน่น และจุดวาบไฟไม่อยู่ในเกณฑ์น้ำมันดีเซล โดยค่าความหนาแน่นและจุดวาบไฟอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ และผลการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซไอเสียพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสามารถลดปริมาณการปล่อยปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ เนื่องจากออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากน้ำที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันช่วยลดอุณหภูมิการเผาไหม้ แต่อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันนี้ทำให้ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง

Yoshimoto และคณะ (2013) ศึกษาอิทธิพลของบิวทานอลที่เติมลงไปนํ้ามันปาล์มเมทิลเอสเทอร์ผสมกับน้ำมันดีเซลต่อการเผาไหม้เครื่องยนต์ จากผลการศึกษาพบว่า น้ำมันปาล์มเมทิลเอสเทอร์มีจุดไหลเทที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียส และเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิของจุดไหลเทลดต่ำลง โดยจุดไหลเทต่ำที่สุดเมื่อผสมน้ำมันปาล์มเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 20 โดยปริมาตร น้ำมันดีเซล และเอทานอลร้อยละ 40 โดยมวล ซึ่งจุดไหลเทมีค่าเท่ากับ -10 องศาเซลเซียส และจากผลการศึกษาการเติมบิวทานอลต่อไอเสียที่เกิดขึ้น พบว่า ปริมาณไอเสียลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

นิจวรรณ อนันตรกิตติ (2556) ศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อสมบัติของเชื้อเพลิงจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยไมโครอิมัลชันในงานนี้ประกอบด้วยเฟสน้ำมันซึ่งผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ที่มีค่า 1 ถึง 12 ต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลซึ่งมีโครงสร้างแบบเส้นตรงและไดเอทิลเฮกซานอลซึ่งมีโครงสร้างแบบเส้นกิ่งในอัตราส่วน 1 ต่อ 8 โดยโมล เอทานอลและไบโอเอทานอลเป็นเฟสที่มีขี้ จากผลการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วนน้ำมันสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอลร้อยละ 75 5 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับเป็นอัตราส่วนที่เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยเชื้อเพลิงที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลกับออกทานอล และเชื้อเพลิงที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับไดเอทิลเฮกซานอล ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นไปตามมาตรฐาน และค่าความหนืดในเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ไบโอเอทานอลมีค่าต่ำกว่าเอทานอล และจากผลการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมลพิษพบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล

อีไอ 1 ออกทานอล และเอทานอล พบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณต่ำที่สุด

ศิริณี เพ็งปรีชา (2556) ศึกษาผลของลักษณะของน้ำมันพืชต่อลักษณะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยการใช้สารแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โดยในงานนี้ได้รีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วย เฟสน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง ผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 และ 5 โอลีลแอลกอฮอล์ และเมทิลโอเลเอต ออกทานอลและเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมเท่ากับ 1 ต่อ 8 โดยโมล และเอทานอลเป็นเฟสที่มีขั้ว จากผลการศึกษาที่อัตราส่วนน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์เท่ากับ 75 5 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยพบว่าชนิดของน้ำมันไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากอะตอมของคาร์บอนในน้ำมันแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจากผลการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซไอเสียพบว่า น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพปล่อยก๊าซไอเสียน้อยที่สุด

Arpornphong และคณะ (2014) ศึกษาผลการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุที่มีความยาวสายคาร์บอนเท่ากับ 18 อะตอมที่โครงสร้างแตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ โอลีลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัว สเตียริวแอลกอฮอล์เป็นลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างกรดไขมันอิ่มตัว เมทิลโอเลเอตเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัว และมีหมู่เอสเทอร์เป็นหมู่ฟังก์ชัน และสารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ฮิโทกซิลเลต 10 ตัวหรือบริจด์ 10 จากผลการศึกษาพบว่า บริจด์ 10 ซึ่งมีหมู่ฮิโทกซิลเลตเพิ่มสมบัติความเป็นขั้วให้กับสารลดแรงตึงผิว ส่งผลให้ค่าไฮโดรโฟบิกลดลง ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด เพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนของโครงสร้างกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ไม่แตกต่างกัน ศึกษาผลของขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคด้วยเทคนิคการกระเจิงแสงดีแอลเอสพบว่า ไมโครอิมัลชันที่ใช้เมทิลโอเลเอตเป็นสารลดแรงตึงผิวมีขนาดใหญ่และใกล้เคียงกัน ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันศึกษาจากค่าความหนืดเชิงกลศาสตร์พบว่า ค่าความหนืดขึ้นกับ 2 ปัจจัย ได้แก่ แรงระหว่างโมเลกุล และ ขนาดของอนุภาคไมโครอิมัลชัน เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้บริจด์ 10 เป็นสารลดแรงตึงผิว มีแรงระหว่างโมเลกุลที่มีพันธะไฮโดรเจนสูง ดังนั้นโครงสร้างไมโครอิมัลชันที่ได้มีความแข็งแรง ค่าความหนืดมีค่าสูงสุด และเมทิลโอเลเอตให้ค่าความหนืดของ

เชื้อเพลิงต่ำที่สุด โดยค่าความหนืดลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในงานวิจัยได้ศึกษาผลของ สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ออกทานอล และ เดคานอล พบว่า เมื่อเพิ่มความยาวของสาย คาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวร่วม ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้้น้อยลง เนื่องจากสายคาร์บอน ที่ยาวเป็นการเพิ่มคุณสมบัติไฮโดรโฟบิก การรวมตัวกับน้ำมันเกิดได้ดีขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็เป็นการเพิ่มแรงวัลเดอรัวาล์วซึ่งเป็นระหว่างโมเลกุลด้วยเช่นกัน ขนาดไมโครอิมัลชันที่ได้มีจึงขนาดเล็กกลง ส่งผลให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพสูงขึ้น โดยในงานวิจัยนี้แนะนำให้ใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิล โอลิเอตในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

Kibbey และคณะ (2014) ศึกษาการคาดการณ์อุณหภูมิที่มีผลต่อความหนืดของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลด้วยวิธีรีเวิร์สไมโครอิมัลชัน โดยใช้เซฟรอน โมเดล (Chevon model) ซึ่งสามารถคาดการณ์ความหนืดจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนาแน่นของรีเวิร์สไมโครอิมัลชัน โดยรีเวิร์สไมโครอิมัลชันในงานนี้ประกอบด้วย น้ำมันพืช 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันคาร์โนลา น้ำมันสาหร่าย และน้ำมันปาล์มที่สกัดได้จากเมล็ด ผสมกับน้ำมันดีเซล โอริวเอมีนเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมเท่ากับ 1 ต่อ 4 โดยโมล และเอทิลแอลกอฮอล์เป็นเฟสที่มีขี้ อุณหภูมิที่ใช้ศึกษาได้แก่ 5 10 25 และ 40 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่า การคาดการณ์ความหนืดที่ให้ผลที่ดีนั้น ไมโครอิมัลชันต้องมีลักษณะเป็นของเหลวที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยค่าความหนืดขึ้นกับองค์ประกอบที่เป็นของเหลว ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มค่าความหนืดของไมโครอิมัลชันเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนผลของขนาดอนุภาคมีผลน้อยต่อค่าความหนืดในระบบที่ไม่มีน้ำ และถ้าในระบบมีน้ำเกินร้อยละ 4 การคาดการณ์ความหนืดเกิดการคลาดเคลื่อนได้

ณัฐพร สรรสุชาติ (2557) ศึกษาการใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ซึ่งมีองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวภาพดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโลเรต ซอร์บิแทนโมนโอลลีเอต และซอร์บิแทนไตรโอลลีเอต สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมเท่ากับ 1 ต่อ 8 โดยโมล และเอทานอล ที่อัตราส่วนน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์สามารถใช้แทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้ โดยไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยซอร์บิแทนโมนโอลลีเอตและออกทานอล ใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพ

รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากซอร์บิแทนโมโนโอเลอเตมีสายคาร์บอนที่ยาวสามารถรวมตัวกับน้ำมัน และออกทานอลได้ดี และเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยซอร์บิแทนโมโนโอเลอเตมีค่าความหนืดน้อยที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวมีพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลน้อย ส่งผลให้ได้ไมโครอิมัลชันที่มีขนาดใหญ่การเคลื่อนตัวของอนุภาคเป็นไปได้ง่าย ดังนั้นค่าความหนืดที่ได้จึงน้อย และจากผลการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงพบว่า ชนิดของสารลดแรงตึงผิวไม่มีผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ และค่าที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

ศศิวิมล วิชาตี (2557) ศึกษาผลของไกลคอลอีเทอร์ซึ่งเป็นสารเติมแต่งต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ในงานนี้สารเติมแต่งที่ศึกษา ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ และเอทิลอะซิเตต และมีองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันดังนี้ น้ำมันผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 โดยปริมาตร ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 เป็นสารลดแรงตึงผิว บิวทานอลและออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอลเป็นเฟสที่miscible ผลการศึกษาการเติมสารเติมแต่ง พบว่า สารเติมแต่งสามารถปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเติมสารเติมแต่ง คือ สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 ต่อ 5 โดยโมล เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความหนืด จุดขุ่นและจุดไหลเทลดลง และผลการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์และเอทิลอะซิเตต พบการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณน้อยกว่าน้ำมันดีเซล

Atmanli และคณะ (2015) ศึกษาผลของอัตราส่วนบิวทานอลที่เป็นส่วนประกอบในเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืช ต่อรูปแบบของน้ำมันและการปลดปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ในงานนี้ผลิตน้ำมันด้วยวิธีการผสม 3 องค์ประกอบ ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันฝ้าย และบิวทานอล ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้เท่ากับ -15 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาพบว่า บิวทานอลมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงด้านความหนาแน่น ค่าความหนืดจลศาสตร์ ในขณะที่เดียวกันลดค่าความร้อนและเลขซีเทนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และผลการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซไอเสียพบว่า น้ำมันมีส่วนผสมของบิวทานอลในอัตราส่วนที่สูง พบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และฝุ่นละอองในปริมาณน้อยมาก

Apichartyothin (2015) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้เอทานอลและบิวทานอลในของผสมระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล โดยไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มที่แยกไขผสมกับน้ำมันดีเซล แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลและบิวทานอลทำหน้าที่ในการลดความหนืด เมทิลโอเลเอตและกรดไขมัน เมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมกับ 1 ต่อ 8 โดยโมล ผลการศึกษาการใช้ น้ำมันปาล์มที่แตกต่างกันพบว่า น้ำมันปาล์มที่ไม่แยกไขใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่น้อยกว่าน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพกลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ได้มีความหนืดที่น้อยกว่าน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ผลการศึกษาการใช้แอลกอฮอล์ผสมในเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันพบว่า บิวทานอลมีสมบัติไฮโดรโฟบิกสูง เมื่อเติมลงไปสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ลดลงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการเติมเอทานอล แต่ในขณะเดียวกันความหนืดของเชื้อเพลิงลดลงได้น้อยเมื่อเทียบกับการใช้เอทานอล ดังนั้นเพื่อให้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีสมบัติที่ดีต้องเลือกอัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อบิวทานอลที่เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้เลือกอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร

Attaphong และคณะ (2015) ศึกษาวิฤภาค สมบัติของเชื้อเพลิง และลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ น้ำมันพืช และน้ำมันดีเซล ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้มีความแตกต่างกันทางโครงสร้างและปริมาณ ไมโครอิมัลชันในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย แอลกอฮอล์เป็นเฟสที่มีขั้ว ได้แก่ เมทานอล เอทานอล 1-โพรพานอล 2-โพรพานอล 1-บิวทานอล และ 2-บิวทานอล น้ำมันคาร์โนลาผสมน้ำมันดีเซล โอเลอิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิว ไดเอทิลเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทิลไกลคอลบิวทิลอีเทอร์และไดเทอร์บิวทิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง ผลการศึกษาแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่า วิฤภาคของไมโครอิมัลชันเป็นเนื้อเดียวกันในช่วงอุณหภูมิที่กว้างเมื่อใช้แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย ได้แก่ เมทานอล เอทานอล และโพรพานอล ส่วนบิวทานอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากสามารถละลายได้ดีในน้ำมันคาร์โนลา และแอลกอฮอล์ผสมช่วยทำให้ไมโครอิมัลชันมีความเสถียรในช่วงอุณหภูมิต่ำ ผลการศึกษาแอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้แอลกอฮอล์โครงสร้างเส้นตรงและมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อย หลังการเผาไหม้มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเขม่าที่น้อย ส่วนการมีน้ำเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอลกอฮอล์นั้นสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ แต่การมีน้ำก็เป็นการเพิ่มความหนืดให้กับเชื้อเพลิงชีวภาพเช่นกัน เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ได้มีสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐาน

เอเอสทีเอ็มน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และไบโอดีเซล โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ก่อให้เกิดมลพิษน้อยกว่าน้ำมันดีเซล

### 2.10.1 งานวิจัยที่ใช้สารลดแรงตึงผิวของกลุ่มผู้วิจัยเดียวกัน

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของไมโครอิมัลชันในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพของกลุ่มผู้วิจัยเดียวกัน

ผู้วิจัย	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	แอลกอฮอล์
นิจวรรณ (2556)	1. น้ำมันปาล์ม 2. น้ำมันดีเซล	1. สารลดแรงตึงผิว กลุ่มเอทิลีนออกไซด์ 2. แพลนทาแคร์1200	1. ไอโซออกทานอล 2. ออกทานอล	1. เอทานอล 2. ไบโอดีเซล
ศิริณี (2556)	1. น้ำมันปาล์ม 2. น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว 3. น้ำมัน ถั่ว เหลือง 4. น้ำมันดีเซล 5. น้ำมันไบโอดีเซล	1. สารลดแรงตึงผิว เอทิลีนออกไซด์ 1, 5 2. โอลิอีลแอลกอฮอล์ 3. เมทิลโอลลีเอต	1. ออกทานอล 2. เอทิลีนไกลคอล บิวทิลอีเทอร์	เอทานอล
ณัฐพร (2557)	1. น้ำมันปาล์ม 2. น้ำมันดีเซล	สารลดแรงตึงผิวกลุ่ม ซอร์บิแทนเอสเทอร์	1. บิวทานอล 2. เฮกซานอล 3. ออกทานอล	เอทานอล
ศศิวิมล (2557)	1. น้ำมันปาล์ม 2. น้ำมันดีเซล	เอทิลีนออกไซด์ 1	1. บิวทานอล 2. ออกทานอล	เอทานอล
เพ็ญพฐ (2559)	1. น้ำมันปาล์ม 2. น้ำมันดีเซล 3. น้ำมันไบโอดีเซล	1. เมทิลโอลลีเอต 2. เมทิลเอสเทอร์ 3. เอทิลเอสเทอร์	ออกทานอล	1. เอทานอล 2. บิวทานอล

จากงานวิจัยการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันของผู้วิจัยกลุ่มเดียวกันที่ผ่านมา ดังตารางที่ 2.6 พบว่า สารลดแรงตึงผิวที่ศึกษา คือ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ เนื่องจากสามารถ

ทำงานได้ดีในระบบที่มีน้ำมัน อีกทั้งเมื่อนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไม่ต้องการเกลือเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถแบ่งประเภทของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ไม่ได้มีสารตั้งต้นมาจากธรรมชาติ และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่มีสารตั้งต้นมาจากธรรมชาติ ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ไม่ได้มีสารตั้งต้นมาจากธรรมชาติ คือ เอทิลีนออกไซด์ โดยเอทิลีนออกไซด์ 1 มีค่าเอชแอลบีเท่ากับ 3.2 ใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดในกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ เพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่มีสารตั้งต้นมาจากธรรมชาติ มีความน่าสนใจต่อการศึกษา เพราะเนื่องจากสามารถย่อยสลายเองได้ ได้แก่ เมทิลโอเลเอต มีค่าเอชแอลบีเท่ากับ 3.98 ซึ่งใกล้เคียงกับเอทิลีนออกไซด์ ดังนั้นเมทิลโอเลเอตในปริมาณน้อยสามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน และสารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทน แต่เนื่องด้วยซอร์บิแทนมีค่าเอชแอลบีสูง โดยซอร์บิแทนโมโนโอเลเอตมีค่าเอชแอลบีเท่ากับ 4.3 ซึ่งน้อยที่สุดในกลุ่มซอร์บิแทน ซึ่งสูงกว่าเมทิลโอเลเอต ดังนั้นต้องใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่มากกว่าเพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้

ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่มีสารตั้งต้นมาจากธรรมชาติ แต่เนื่องจากเมทิลโอเลเอตมีราคาสูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพมีราคาสูง ดังนั้นจึงสนใจศึกษาสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างคล้ายเมทิลโอเลเอต แต่มีราคาที่ถูกลงกว่า เพื่อลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

## 2.11 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีวัตถุดิบตั้งต้นมาจากธรรมชาติ สามารถย่อยสลายเองได้ กลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลเอต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสมบัติใกล้เคียงมาตรฐานน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งวิธีไมโครอิมัลชันเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ไม่เกิดผลพลอยได้หลังจากการทำปฏิกิริยา การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดเขม่า ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้เมทิลโอเลเอตเป็นสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเมทิลโอเลเอตเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างของกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวและมีหมู่เอสเทอร์เป็นหมู่ฟังก์ชัน สามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดอนุภาคไมโครอิมัลชันที่มีขนาดใหญ่และใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลโอเลเอตเป็นสารลดแรงตึงผิวมีค่าความหนืดน้อย (Arpompong และคณะ, 2014) สำหรับเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์สังเคราะห์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีน้ำมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น และด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถนำมาเป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล และบิวทานอลกับน้ำมันดีเซลได้ โดยเชื้อเพลิงที่ได้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Chotwichien และคณะ, 2009) ที่อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เมื่อนำมาผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันส่งผลให้ค่าหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเอเอสทีเอ็มน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 สำหรับอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยที่อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1 ต่อ 8 โดยโมล เป็นอัตราส่วนที่เตรียมง่ายในห้องปฏิบัติการ (Attaphong และคณะ, 2012) สำหรับการเลือกใช้แอลกอฮอล์ที่ทำหน้าที่ลดความหนืด บิวทานอลมีสมบัติไฮโดรโฟบิกที่สูง เมื่อเติมลงไปสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี ส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ลดลงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการเติมเอทานอล แต่ในขณะเดียวกันความหนืดของเชื้อเพลิงลดลงได้น้อยเมื่อเทียบกับการใช้เอทานอล ดังนั้นเพื่อให้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีสมบัติที่ดีเลือกอัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อบิวทานอล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร (Apichartyothin 2015) เชื้อเพลิงชีวภาพที่เกิดไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 ชนิดน้ำในน้ำมัน และมีสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเอเอสทีเอ็มน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซล (Attaphong และคณะ, 2012)

งานวิจัยนี้มีองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวภาพดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล ที่อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวที่ได้มาจากธรรมชาติกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลเอต



เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม 1 ต่อ 8 โดยโมล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลและบิวทานอลในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล โดยมีการเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ



### บทที่ 3

#### แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

##### 3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ที่ประกอบด้วยน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลเอต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอล ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิตั้งแต่ห้องปฏิบัติการชั้น 4 ตึกปฏิบัติการรวมวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ช่วงการทดลอง ดังนี้

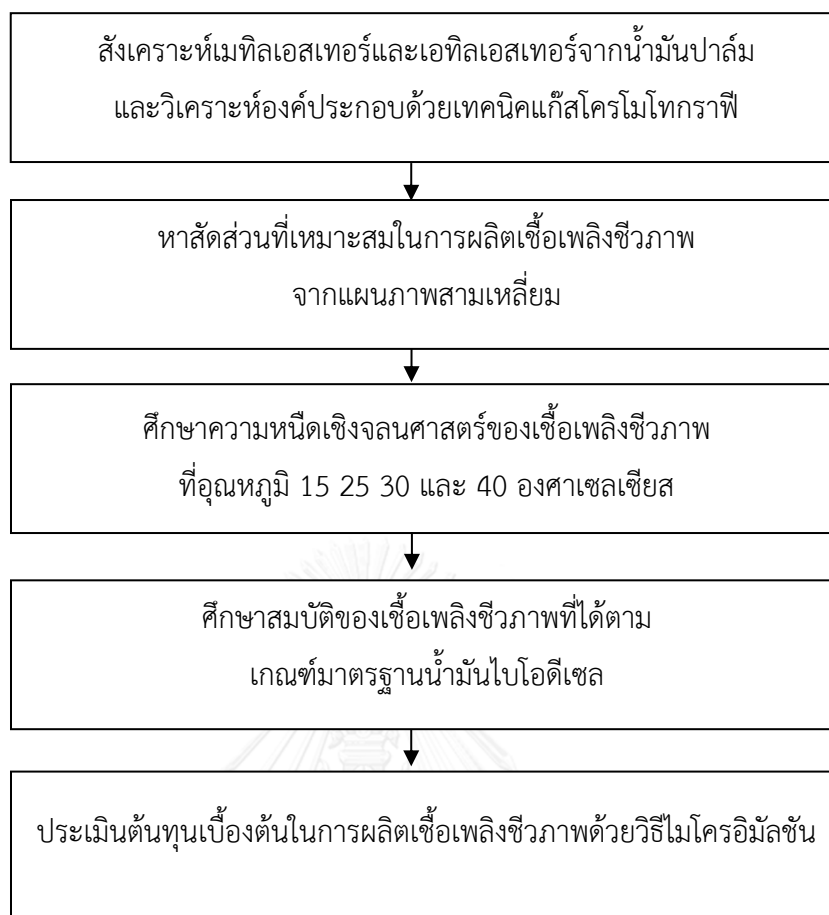
การทดลองช่วงที่ 1 สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม และวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคแก๊สโครโมโทกราฟี

การทดลองช่วงที่ 2 หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน จากแผนภาพสามเหลี่ยม

การทดลองช่วงที่ 3 ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

การทดลองช่วงที่ 4 ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล โดยสมบัติที่วิเคราะห์ ได้แก่ ความหนาแน่น จุดชุน จุดไหล ค่าความร้อน และกากคาร์บอน

การทดลองช่วงที่ 5 ประเมินต้นทุนเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ 3.1 แผนดำเนินการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ศึกษาในงานวิจัย

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ เมทิลโอลิเอต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์</li> <li>- น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล</li> <li>- สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ภูมิภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน</li> <li>- ความหนืดเชิงจลนศาสตร์</li> <li>- สมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1 ต่อ 8 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่อสารเติมแต่ง 1 ต่อ 3 ต่อ 5 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร</li> </ul>

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์ของการทดลองตามตัวแปรที่ศึกษา

การทดลอง	เฟสน้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารเติมแต่ง
MODI	น้ำมันปาล์มผสมดีเซล	เมทิลโอลิเอต	-
MOBI	น้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล	เมทิลโอลิเอต	-
MODP	น้ำมันปาล์มผสมดีเซล	เมทิลโอลิเอต	เติมสารเติมแต่ง
MEDI	น้ำมันปาล์มผสมดีเซล	เมทิลเอสเทอร์	-
MEBI	น้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล	เมทิลเอสเทอร์	-
MEDP	น้ำมันปาล์มผสมดีเซล	เมทิลเอสเทอร์	เติมสารเติมแต่ง
EEDI	น้ำมันปาล์มผสมดีเซล	เอทิลเอสเทอร์	-
EEBI	น้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล	เอทิลเอสเทอร์	-
EEDP	น้ำมันปาล์มผสมดีเซล	เอทิลเอสเทอร์	เติมสารเติมแต่ง

### 3.2 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี

#### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร
- 2) ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (test tube rack)
- 3) หลอดแคมนอนเฟนส์กี (canon fenske)
- 4) หลอดหยดสาร (pasteur pipette)
- 5) แท่งแก้วคนสาร (stirring rod)
- 6) ปิเปต (pipette) ขนาด 1 มิลลิลิตร
- 7) ปิเปต (pipette) ขนาด 5 มิลลิลิตร
- 8) ปิเปต (pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 9) ไมโครปิเปต (micropipette) ขนาด 20-200 ไมโครลิตร บริษัทไปโอฮิต
- 10) ไมโครปิเปต (micropipette) ขนาด 200-1,000 ไมโครลิตร บริษัทไปโอฮิต
- 11) ไมโครปิเปตทิว (micropipette tips)
- 12) ปีกเกอร์ (beaker) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
- 13) ปีกเกอร์ (beaker) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 14) ปีกเกอร์ (beaker) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 15) ปีกเกอร์ (beaker) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
- 16) กระบอกตวง (cylinder) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 17) กระบอกตวง (cylinder) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
- 18) ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (vial) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
- 19) ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (vial) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
- 20) ขวด 3 คอ (three-neck flask) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
- 21) เครื่องควบแน่น (condenser)
- 22) กรวยแยก (separatory funnel) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
- 23) กรวยบุคเนอร์ (buchner funnel)
- 24) ขวดสุญญากาศ (buchner flask) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
- 25) ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump)
- 26) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- 27) อะแดปเตอร์สำหรับเทอร์โมมิเตอร์ (thermometer adapter)
- 28) กระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH paper)
- 29) กระดาษกรอง (paper filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร บริษัททวอทแมน

- 30) เครื่องให้ความร้อนชนิดมีแม่เหล็ก (stirrer hotplates) บริษัท เวฟ ไฮแอนติฟิค
- 31) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (digital balance meter) รุ่น ดราก้อน 204 บริษัทเมทเลอว์ โทเลโด
- 32) เครื่องผสมสาร (vortex mixer) บริษัท บรานสตีด อินเตอร์เนชันแนล
- 33) เครื่องควบคุมความเย็น (cooling controller) บริษัท โตเกียว ริกะกิไค จำกัด
- 34) เครื่องทำความร้อน (heating controller) บริษัทกิบไทย จำกัด

### 3.2.2 สารเคมี

- 1) น้ำมันปาล์มบริษัทมรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
- 2) น้ำมันดีเซล วี เพาเวอร์ ไนโตรพลัส บริษัทเชลล์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 3) น้ำมันไบโอดีเซลบริษัทวีระสุวรรณ จำกัด
- 4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 บริษัทคาร์โล เออร์บา
- 5) โซเดียมซัลเฟต เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.0 บริษัทคาร์โล เออร์บา
- 6) เมทานอล เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 บริษัทวิดบีเบิลยูอาร์ อินเตอร์เนชันแนล
- 7) เอทานอล เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 บริษัทคาร์โล เออร์บา
- 8) เอทานอล เกรดการค้าที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95
- 9) บิวทานอล เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 บริษัทบริษัทคาร์โล เออร์บา
- 10) ออกทานอล เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 บริษัทแอกคลอด
- 11) เมทิลโอเลียด เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 70 บริษัทซิกม่า อัลดริช จำกัด
- 12) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 บริษัทเคมีคอล ฮับ จำกัด

ตารางที่ 3.3 โครงสร้างและสมบัติของสารที่ศึกษาในงานวิจัย

chemical	formula	density (g/ml)	molecular weight (g/mol)	viscosity 40 °C (cSt)
<b>surfactant</b>				
methyl oleate	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOCH}_3$	0.87	296.49	4.68
methyl ester	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOCH}_3$	0.85	286.20	5.06
ethyl ester	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOCH}_2\text{CH}_3$	0.84	286.20	5.65
<b>cosurfactant</b>				
octanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH}$	0.83	130.23	6.00
<b>alcohol (polar phase)</b>				
ethanol	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	0.79	46.07	1.20
butanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$	0.80	74.00	3.64
<b>oil (non-polar phase)</b>				
palm oil	-	0.90	-	45.34
diesel oil	-	0.82	-	4.10
biodiesel oil	-	0.87	-	6.00
<b>additive</b>				
Propyleneglycol	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	0.90	104.00	1.50
ethyl ether				

### 3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 : สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม และวิเคราะห์องค์ประกอบ

สังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันปาล์ม โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์มีอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 9 ต่อ 1 โดยโมล การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์มีอัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 12 ต่อ 1 โดยโมล

1) สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ โดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 กรัม ละลายในเมทานอลปริมาตร 43 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน

2) นำน้ำมันปาล์มปริมาตร 112 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวด 3 คอ (three neck flask) ที่ต่อกับเครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์ (reflux condenser) ดังภาพที่ 3.2 จากนั้นให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมันปาล์มอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3) นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลที่เตรียมไว้ ผสมลงในน้ำมันปาล์ม กวนสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลายแบบแม่เหล็กที่อัตราเร็วในการกวน 350 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที หลังจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เมทิลเอสเทอร์ที่รวมตัวกับกลีเซอรอล

4) แยกเมทิลเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลด้วยกรวยแยก โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 480 นาที ซึ่งกลีเซอรอลเป็นของเหลวสีน้ำตาลมีความหนาแน่นมากกว่าเมทิลเอสเทอร์แยกตัวอยู่ด้านล่าง

5) นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จำนวน 3 รอบ หรือจนกระทั่งพีเอชของเมทิลเอสเทอร์มีค่าประมาณ 7 ในขั้นตอนนี้เป็นการทำงานบริสุทธิ์ เพื่อกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

6) เติมโซเดียมซัลเฟตปริมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลายแบบแม่เหล็กที่อัตราเร็วในการกวน 350 รอบต่อนาที เพื่อเป็นการกำจัดน้ำส่วนที่เหลือออก เป็นระยะเวลา 480 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 เพื่อแยกโซเดียมซัลเฟตออกจากเมทิลเอสเทอร์

7) ให้ความร้อนเมทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที เพื่อระเหยเมทานอลและน้ำที่เหลืออยู่ให้หมดไป

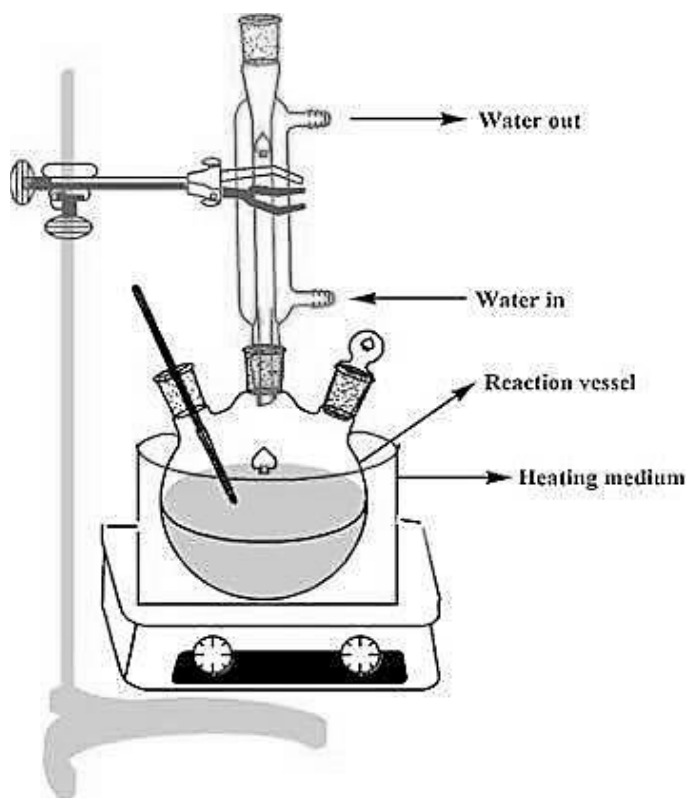


8) สังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ โดยทำการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 กรัม ในเอทานอล 85 มิลลิลิตร ส่วนในขั้นตอนการทดลองขั้นตอนอื่นนั้นคล้ายกับการสังเคราะห์ เมทิลเอสเทอร์ ต่างกันตรงขั้นตอนการแยกเอทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ออกจากกลีเซอรอล เท่านั้น โดยการแยกเอทิลเอสเทอร์ต้องมีเดิมน้ำกลั่นเพื่อให้การแยกตัวเกิดได้ดีขึ้น

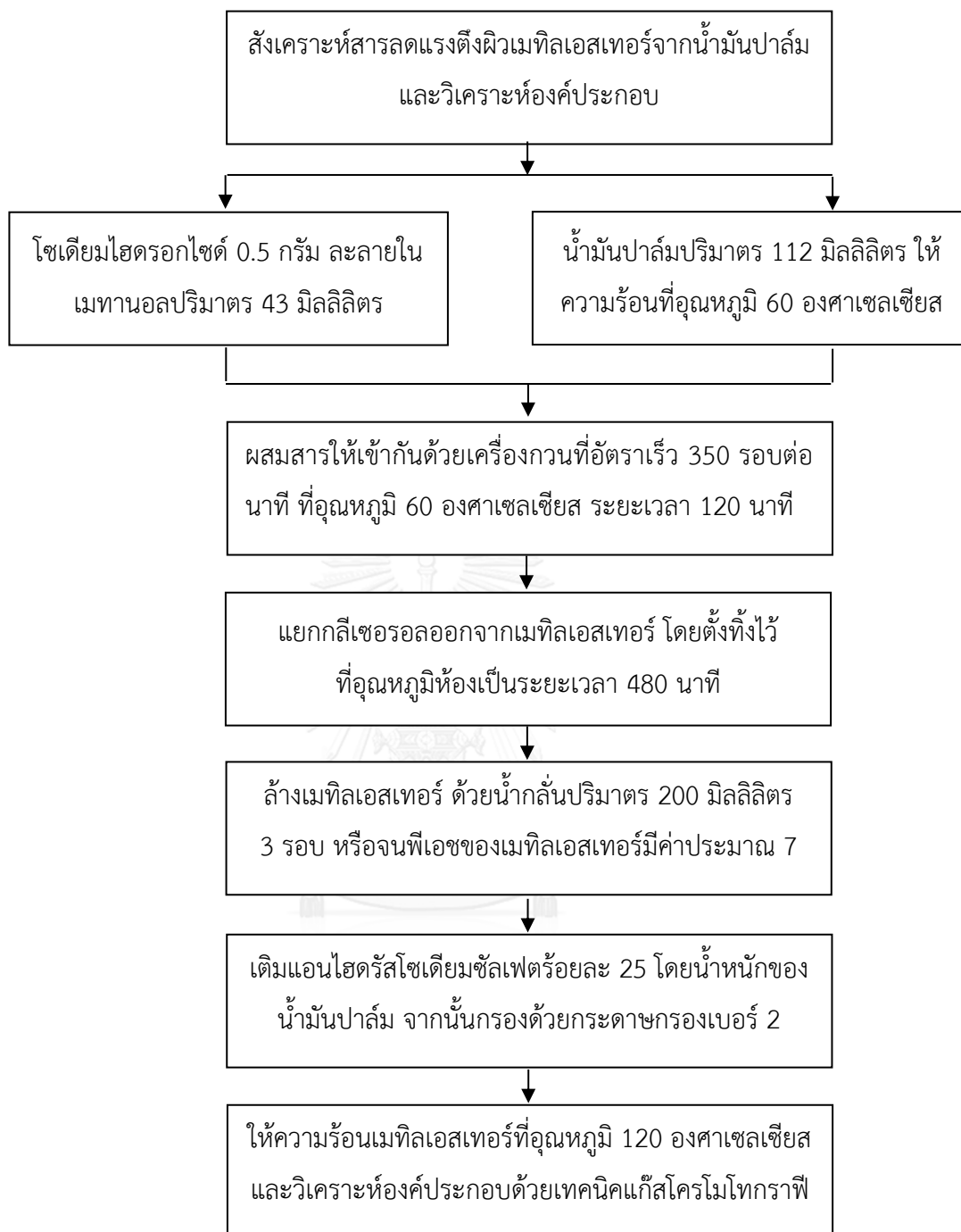
9) วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ ด้วย เทคนิคแก๊สโครโมโทกราฟี โดยมีเอฟไอดีเป็นตัวตรวจวัดสัญญาณ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ บริษัทวีระสุวรรณ จำกัด

10) คำนวณค่าเอชแอลปีจากองค์ประกอบของกรดไขมันที่วิเคราะห์ได้ ตาม สมการของกิฟฟิน (ดังสมการที่ 2.2)





ภาพที่ 3.2 ชุด 3 คอ ที่ต่อกับเครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์  
(Chotwchien และคณะ, 2009)



**ภาพที่ 3.3** ขั้นตอนสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์  
จากน้ำมันปาล์ม และวิเคราะห์องค์ประกอบ

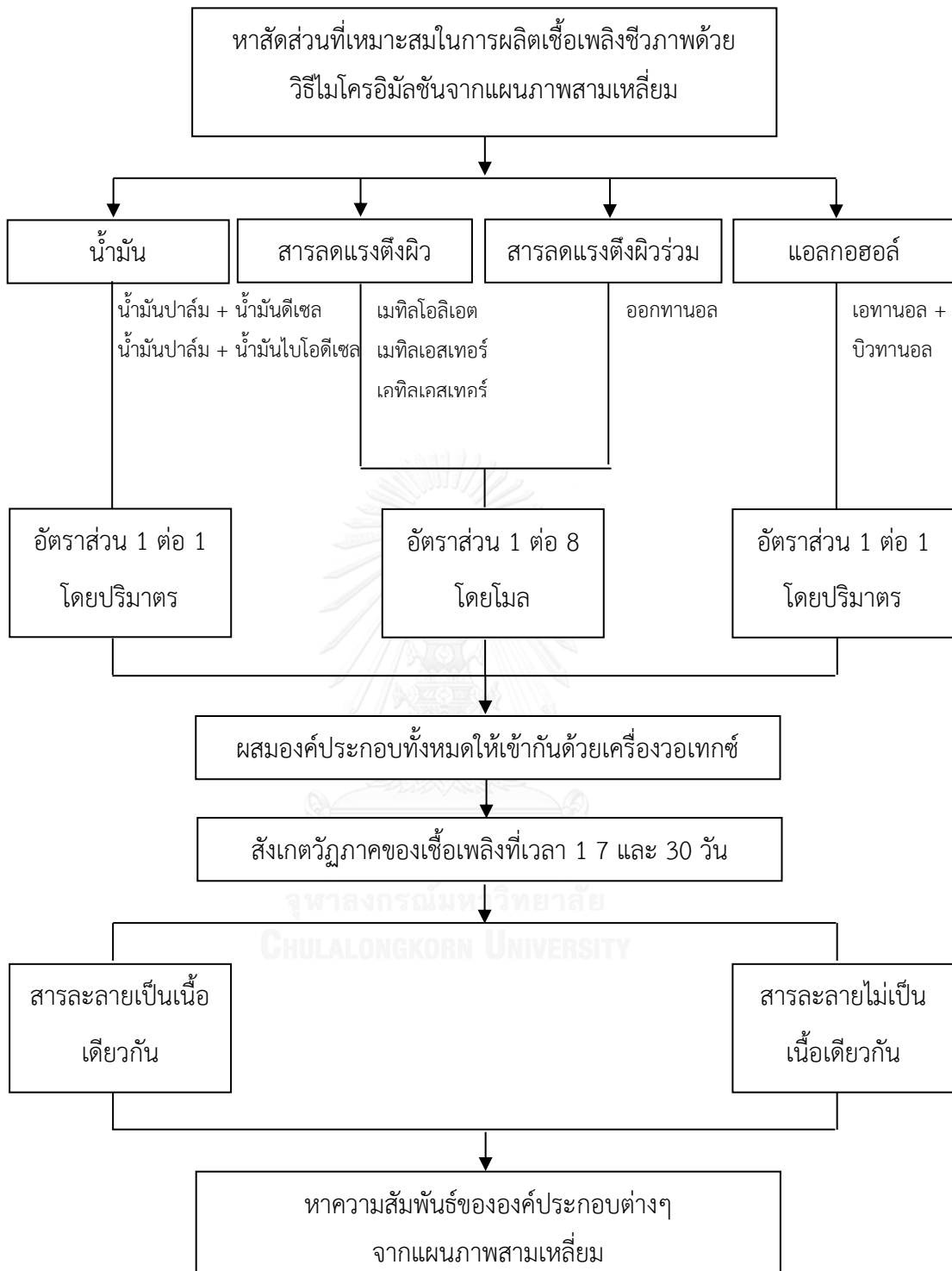
**หมายเหตุ :** การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 กรัม ในเอทานอล 85 มิลลิลิตร ส่วนในขั้นตอนการทดลองนั้นคล้ายกับการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

### 3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 : หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม

- 1) เตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มเอสเทอร์ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลอเตต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ ผสมกับบอออกทานอลที่ทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมในอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1 ต่อ 8 โดยโมล โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวร่วมตั้งแต่ 0.12 ถึง 2.0 โมลาร์
- 2) เตรียมน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร 1 มิลลิลิตร
- 3) เตรียมแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลและบิวทานอลในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร
- 4) ผสมสารทั้งหมดให้เข้ากันด้วยเครื่องวอกเทกซ์
- 5) ทำตามตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 4 โดยเปลี่ยนปริมาตรของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 2:5 3:5 4:5 5:5 5:4 5:3 5:2 และ 5:1 ตามลำดับ
- 6) ตั้งเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 7 และ 30 วัน และสังเกตวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เกิดขึ้น
- 7) นำผลการทดลองที่ได้ หาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม

### ตารางที่ 3.4 ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ เมทิลโอเลอเตต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ - น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล
ตัวแปรตาม	- วิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร - อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1 ต่อ 8 โดยโมล - อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม  
ด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม

### 3.3.3 การทดลองช่วงที่ 3 : ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

นำสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2 มาศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิง ด้วยหลอดแคณนอนเฟนส์กี โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1) เทเชื้อเพลิงชีวภาพใส่หลอดวัดความหนืดชนิดแคณนอนเฟนส์กี ดังภาพที่ 3.5 ควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (ใช้เครื่องควบคุมความเย็นที่อุณหภูมิ 15 และ 25 องศาเซลเซียส และใช้เครื่องทำความร้อนที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส)

2) ดูดเชื้อเพลิงชีวภาพให้อยู่เหนือบนขีดของหลอดแคณนอนเฟนส์กีหรือจุดเอเล็กน้อย หลังจากนั้นจับเวลา เมื่อเชื้อเพลิงชีวภาพเคลื่อนที่จากจุดเอจนถึงขีดล่างของหลอดแคณนอนเฟนส์กีหรือจุดบีจึงหยุดเวลา

3) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4) ทำการทดลองตามข้อที่ 1 ถึง 4 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

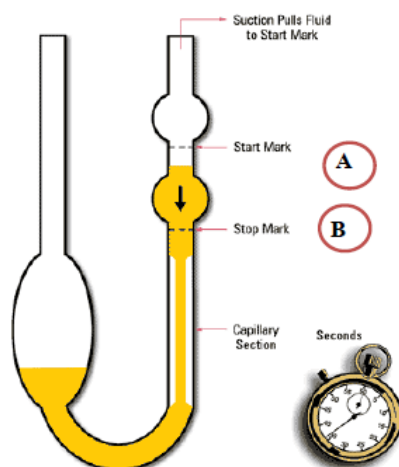
5) คำนวณหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ จากเวลาที่เชื้อเพลิงชีวภาพใช้ในการเคลื่อนที่ ดังสมการที่ 3.1

$$\mu = K \times t \quad \dots (3.1)$$

เมื่อ	$\mu$	คือ	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์)
	K	คือ	ค่าความหนืดคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01606 (เซนติสโตกส์ต่อวินาที)
	t	คือ	เวลาที่สารเคลื่อนที่ในหลอดแคณนอนเฟนส์กี (วินาที)

6) ศึกษาผลของสารเติมแต่งต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยนำเชื้อเพลิงชีวภาพมาเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ที่อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งเท่ากับ 1 ต่อ 3 ต่อ 5 โดยโมล และทำการวัดความหนืดตามข้อที่ 1 ถึง 5

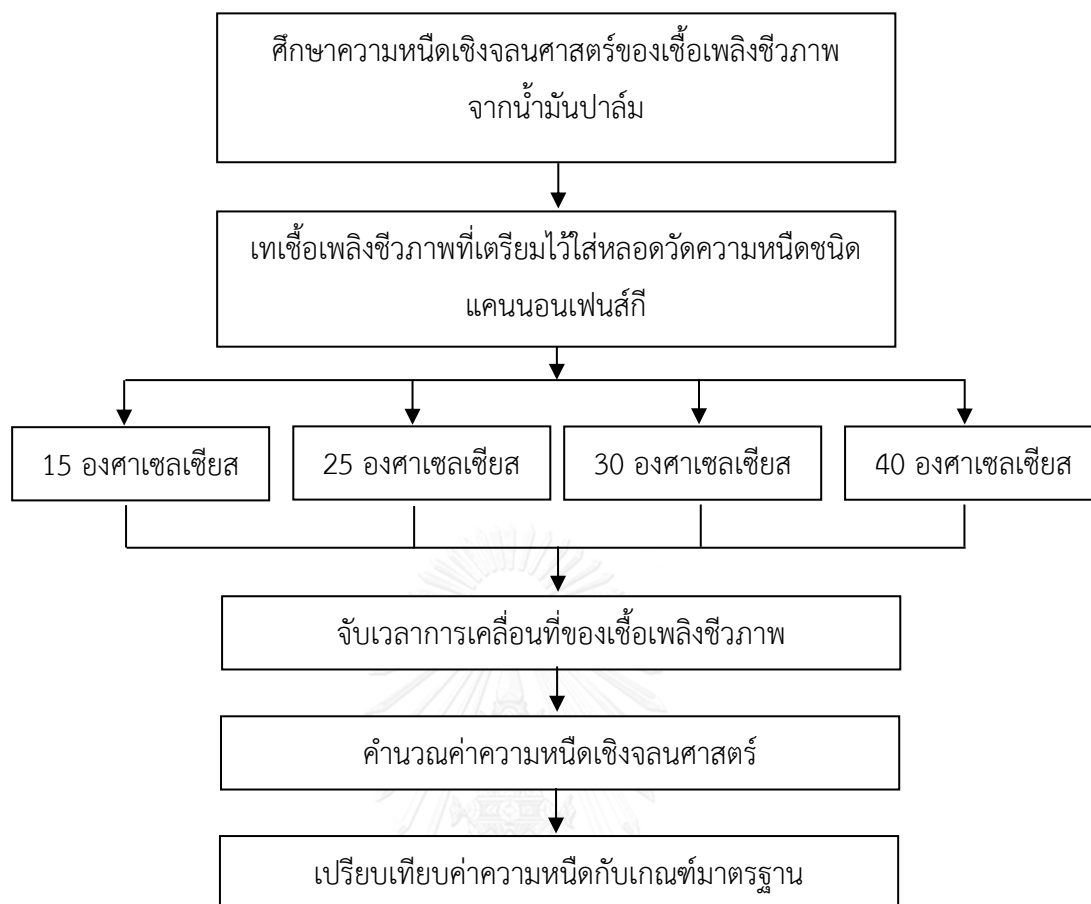
7) เปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล



ภาพที่ 3.5 หลอดวัดความหนืดชนิดแคนนอนเฟนส์กี  
(นิจวรรณ อนันตรกิตติ, 2556)

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลองศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ เมทิลโอเลียด เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์</li> <li>- น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล</li> <li>- สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์</li> <li>- อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1 ต่อ 8 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่อสารเติมแต่ง 1 ต่อ 3 ต่อ 5 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร</li> </ul>



ภาพที่ 3. 6 ขั้นตอนการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ



### 3.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 : ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

นำสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2 มาวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล โดยสมบัติที่วิเคราะห์ได้แก่ ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน และกากคาร์บอน

ตารางที่ 3.6 เครื่องมือและวิธีการที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

สมบัติ	หน่วย	เครื่องมือ	วิธีวิเคราะห์
ความหนาแน่น	กรัมต่อมิลลิลิตร	digital analytical balance	weighing
จุดขุ่น	องศาเซลเซียส	cooling bath	ประยุกต์จาก ASTM D2500
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส	cooling bath	ประยุกต์จาก ASTM D2500
ค่าความร้อน	เมกะจูลต่อ กิโลกรัม	AC-350 automatic calorimeter	ASTM D240
กากคาร์บอน	ร้อยละโดย น้ำหนัก	AC-350 automatic calorimeter	weighing

ที่มา : ASTM International, 2013 และ Arpornpong และ Sabatini, 2013

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลองศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ เมทิลโอเลต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์</li> <li>- เฟสน้ำมันซึ่งผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล</li> <li>- สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความหนาแน่น</li> <li>- จุดขุ่น</li> <li>- จุดไหลเท</li> <li>- ค่าความร้อน</li> <li>- กากคาร์บอน</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1 ต่อ 8 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่อสารเติมแต่ง 1 ต่อ 3 ต่อ 5 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร</li> </ul>

### 1) ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ซึ่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นบันทึกผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการที่ 3.2 และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \dots (3.2)$$

เมื่อ	$\rho$	คือ	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัมต่อมิลลิลิตร)
	$M$	คือ	มวลของเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัม)
	$V$	คือ	ปริมาตรของเชื้อเพลิงชีวภาพ (มิลลิลิตร)

## 2) จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

นำเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นค่อยๆ ลดอุณหภูมิลง สังเกตการเกิดผลึกหรือไข และตั้งเชื้อเพลิงชีวภาพไว้ที่อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเกิดผลึก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วบันทึกผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าจุดขุ่นที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

## 3) จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ

นำเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 9 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงโดยใช้น้ำแข็งและเกลือเป็นตัวช่วย สังเกตการไหลของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยอุณหภูมิที่เกิดจุดไหลเทเชื้อเพลิงไม่สามารถไหลได้ นำหลอดทดลองที่ใส่เชื้อเพลิงชีวภาพเอียงในแนวนอนประมาณ 5 วินาทีที่อุณหภูมิที่เกิดจุดไหลเท สังเกตผลการทดลองที่ได้ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าจุดไหลเทที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

## 4) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ วิเคราะห์โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งใช้วิธีการเผาด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

## 5) กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

กากคาร์บอนวิเคราะห์ได้จากการชั่งน้ำหนักปริมาณที่เหลือจากการเผาเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

### 3.3.5 การทดลองช่วงที่ 5 : ประเมินต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเบื้องต้นด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

ประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันได้จากการคำนวณต้นทุนขององค์ประกอบที่ใช้ (บาทต่อลิตร) กับปริมาณขององค์ประกอบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (ลิตร) จากองค์ประกอบทั้งหมดในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และนำต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกัน



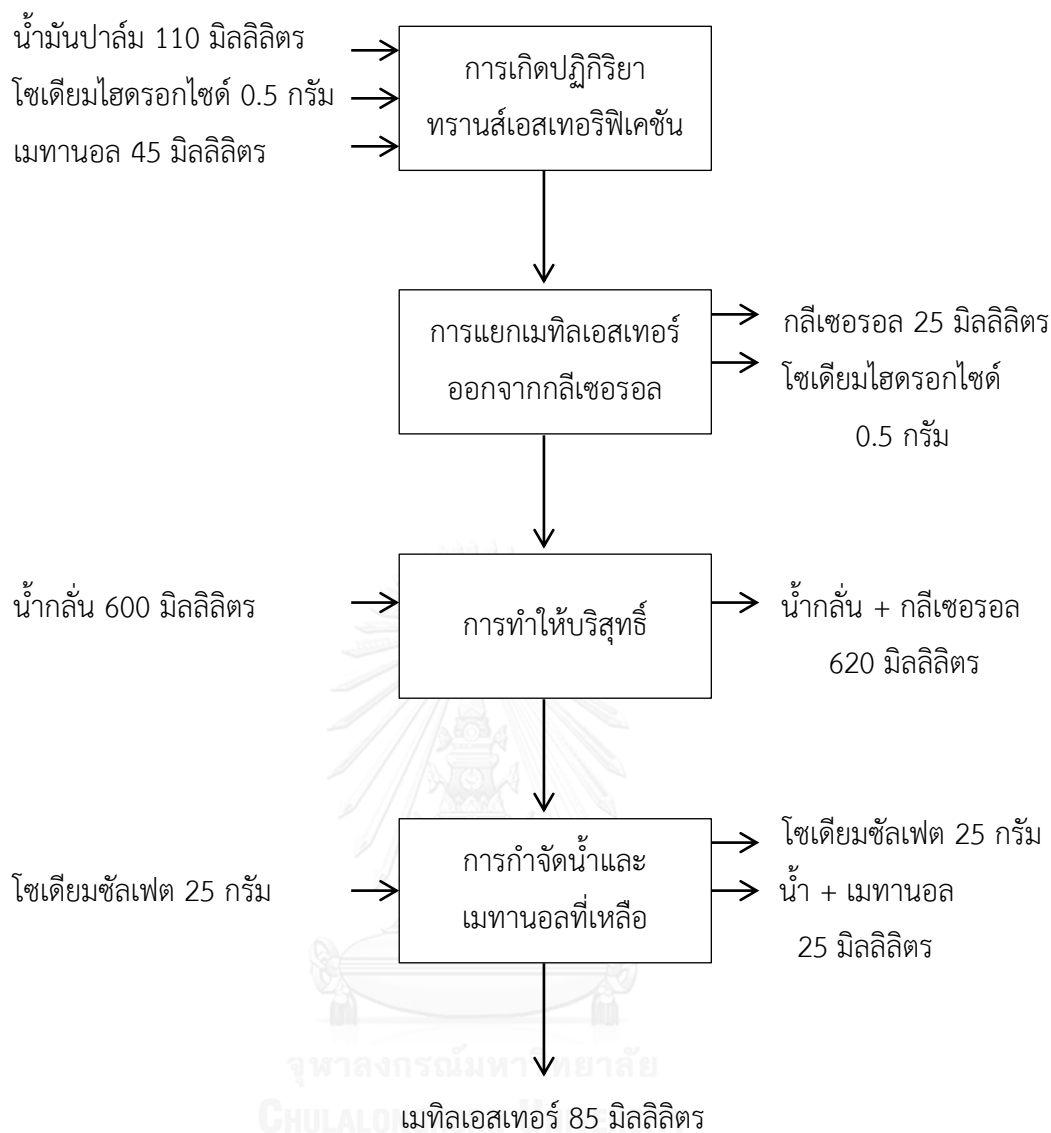
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ศึกษาผลการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลเป็นเฟสที่ไม่มีขั้ว สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลียด เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ โดยในงานวิจัยนี้สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และศึกษาองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ มีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม แอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอลเป็นเฟสที่มีขั้ว และสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ผสมองค์ประกอบทั้งหมดให้เข้ากัน ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม หลังจากนั้นศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล และประเมินต้นทุนเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

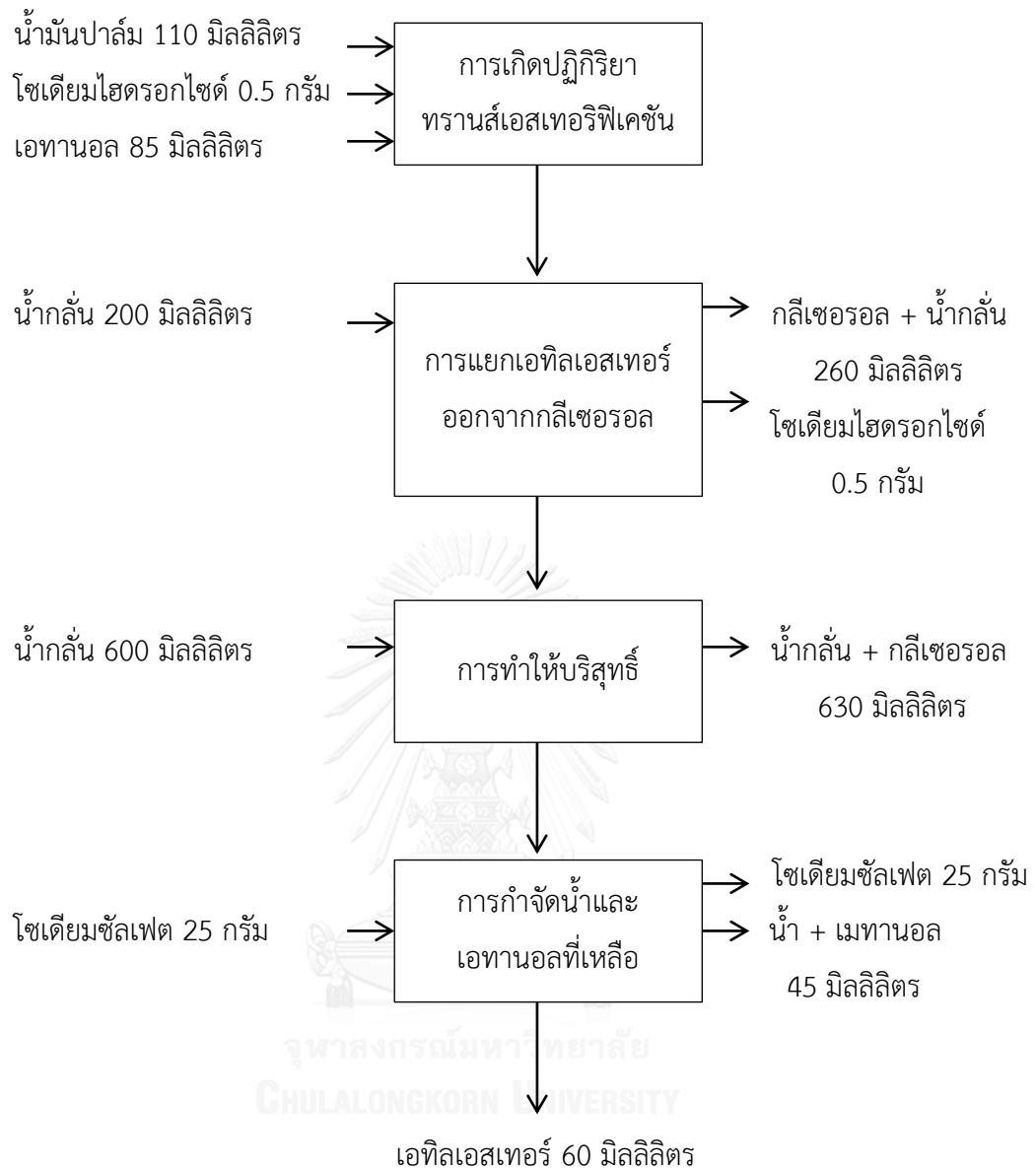
#### 4.1 ผลการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม

ผลการศึกษา พบว่า การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยมีน้ำมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นปริมาตร 110 มิลลิลิตร หลังผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตร 85 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 4.1 คิดเป็นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 72.98 โดยมีค่าความบริสุทธิ์เท่ากับร้อยละ 86.70 และการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยมีน้ำมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นปริมาตร 110 มิลลิลิตร หลังผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตร 60 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 4.2 คิดเป็นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 50.91 สำหรับค่าความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเทอร์ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้เนื่องจากไม่มีสารเอทิลเอสเทอร์มาตรฐาน



ภาพที่ 4.1 สมดุลมวลของการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

หมายเหตุ : น้ำมันปาล์ม 110 มิลลิลิตร เท่ากับ 99 กรัม  
เมทิลเอสเทอร์ 85 มิลลิลิตร เท่ากับ 72.25 กรัม



ภาพที่ 4.2 สมดุลมวลของการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์

หมายเหตุ : น้ำมันปาล์ม 110 มิลลิลิตร เท่ากับ 99 กรัม  
เอทิลเอสเทอร์ 60 มิลลิลิตร เท่ากับ 50.40 กรัม

ผลการวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ จากการนำเมทิลเอสเทอร์ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครโมโทกราฟี พบว่า เอสเทอร์มีองค์ประกอบของกรดไขมันดังตารางที่ 4.1 โดยองค์ประกอบหลักของกรดไขมัน ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัวปาล์มมิติกร้อยละ 35.47 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวโอเลอิกร้อยละ 40.57 และจากการคำนวณค่าเอสแอลบีจากองค์ประกอบของกรดไขมัน พบว่า เมทิลเอสเทอร์มีค่าเอสแอลบีเท่ากับ 4.14 และเอทิลเอสเทอร์มีค่าเอสแอลบีเท่ากับ 5.12 ซึ่งค่าเอสแอลบีของทั้งเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์อยู่ในเกณฑ์ค่าเอสแอลบี 3 ถึง 6 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการก่อให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพเกิดเป็นไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 หรือชนิดน้ำมัน

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในเอสเทอร์

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	ร้อยละ
	อะตอม	องค์ประกอบ
กรดลอริก (Lauric acid)	C12:0	0.3058
กรดไมริสติก (Myristic acid)	C14:0	0.8155
กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid)	C16:0	35.4740
กรดปาล์มมิตอเลอิก (Palmitoleic acid)	C16:1	0.1019
กรดสเตียริก (Stearic acid)	C18:0	2.9562
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	C18:1	40.5708
กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid)	C18:2	19.6738
กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid)	C18:3	0.1019

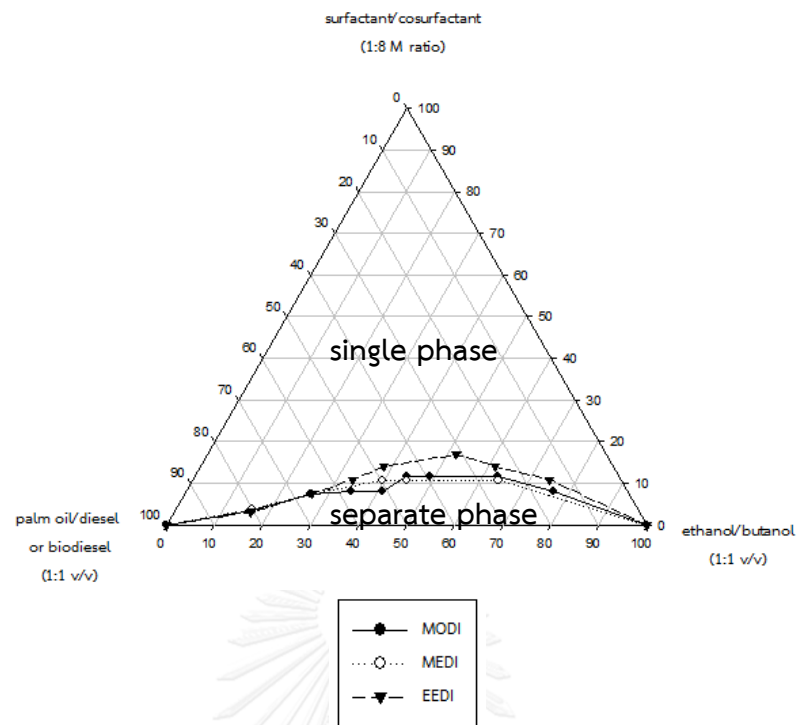


## 4.2 ผลการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม

ศึกษาการหาสัดส่วนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิห้อง ด้วยการนำสัดส่วนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนขององค์ประกอบต่อการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพจากแผนภาพสามเหลี่ยม ซึ่งแผนภาพสามเหลี่ยมสามารถแสดงสัดส่วนที่เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ (single phase) โดยสัดส่วนนี้เป็นสัดส่วนที่จะนำมาพิจารณาเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพต่อไป และสัดส่วนที่เชื้อเพลิงชีวภาพไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ (separate phase)

### 4.2.1 ผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุต่อการหาสัดส่วนที่เหมาะสม

ผลการศึกษา พบว่า จากภาพที่ 3.4 เมื่อแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นเฟสที่มีขั้วมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นสารเชื่อมประสานระหว่างน้ำมันซึ่งเป็นเฟสที่ไม่มีขั้วและแอลกอฮอล์มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย โดยเมทิลโอเลตและเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่ใกล้เคียงสามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ แต่เอทิลเอสเทอร์ต้องใช้ปริมาณที่มากกว่า เนื่องจากเมทิลโอเลตและเมทิลเอสเทอร์มีค่าเอชแอลบีใกล้เคียงกันได้แก่ 3.98 และ 4.14 ตามลำดับ ส่วนเอทิลเอสเทอร์มีค่าเอชแอลบีมีค่าเท่ากับ 5.12 ซึ่งค่าเอชแอลบีเป็นค่าที่บ่งบอกสมดุระหว่างสัดส่วนที่ชอบน้ำและสัดส่วนที่ชอบน้ำมันภายในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 2004) โดยค่าเอชแอลบีเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสัดส่วนโมเลกุลที่ชอบน้ำในโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว ที่เอทิลเอสเทอร์มีค่าเอชแอลบีมากกว่าเนื่องจากภายในโมเลกุลประกอบด้วยสัดส่วนที่ชอบน้ำมากกว่าเมทิลโอเลตและเมทิลเอสเทอร์ ดังนั้นเมื่อเอทิลเอสเทอร์มีปริมาณของสัดส่วนที่ชอบน้ำมากกว่า ปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่ใช้เพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ จึงมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นด้วย (Arpornpong และคณะ, 2014)



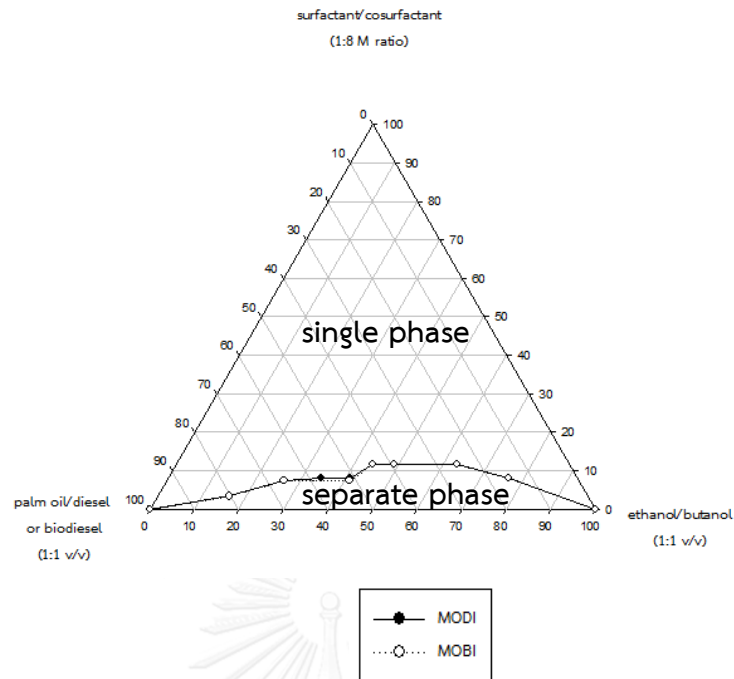
ภาพที่ 4.3 ผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ  
ต่อการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพ

#### 4.2.2 ผลของน้ำมันต่อการหาสัดส่วนที่เหมาะสม

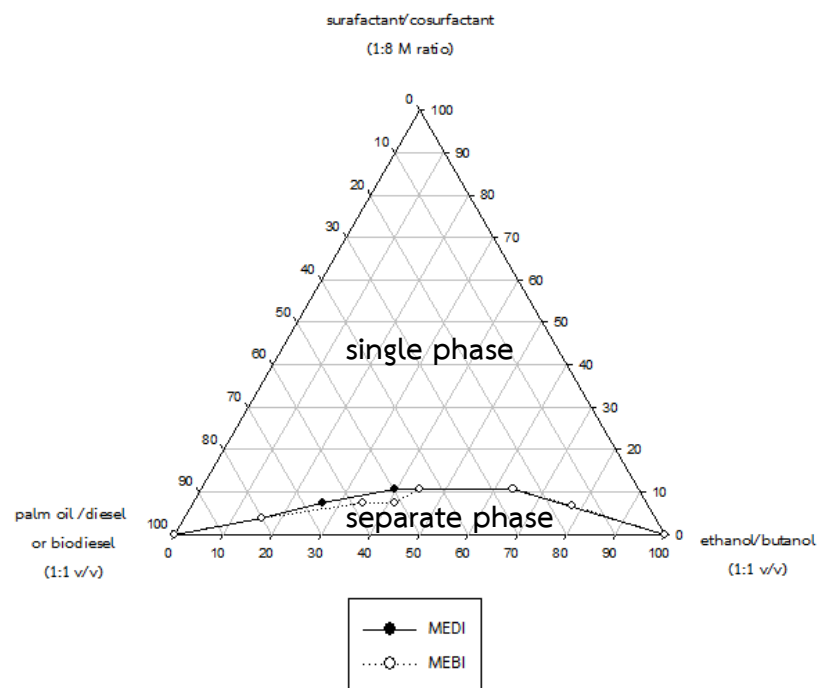
ผลการศึกษา พบว่า การใช้ไขมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซลไม่มีผลต่อกระทบต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพ ดังภาพที่ 4.4 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำไบโอดีเซลที่ศึกษา คือ ไบโอดีเซลบี 20 หมายถึง น้ำมันมีสัดส่วนของดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 80 ต่อ 20 โดยปริมาตร ดังนั้นน้ำมันไบโอดีเซลจึงมีองค์ประกอบและสมบัติที่คล้ายกับน้ำมันดีเซล การเปลี่ยนน้ำมันจากน้ำมันปาล์มผสมดีเซลเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลจึงไม่มีผลต่อการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

โดยในการพิจารณาเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน มีหลักเกณฑ์ดังนี้ สัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพต้องเป็นสัดส่วนที่เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยมีปริมาตรของน้ำมันในสัดส่วนที่มากและมีปริมาตรของแอลกอฮอล์และสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่น้อย ซึ่งปริมาตรของแอลกอฮอล์เป็นข้อจำกัดในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยแอลกอฮอล์ไม่ควรมีปริมาตรเกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร เพราะออกซิเจนในโมเลกุลของแอลกอฮอล์มีผลต่อการลดลงของความคาร์บอนในเชื้อเพลิงชีวภาพ (Arpongphong และคณะ, 2014) ดังนั้นการเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจึงได้กำหนดให้แอลกอฮอล์มีปริมาตรคงที่ที่ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

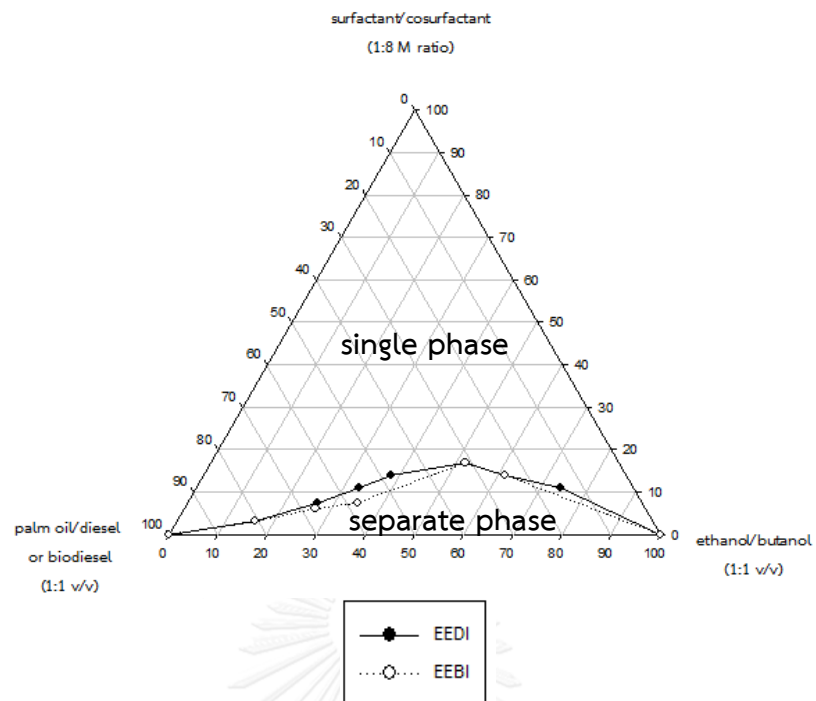
งานวิจัยนี้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ร้อยละ 70 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ ซึ่งมีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ที่อัตราส่วน สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมเท่ากับ 1 ต่อ 8 โดยโมล ร้อยละ 10 โดยปริมาตร และ แอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ร้อยละ 20 โดยปริมาตร



ภาพที่ 4.4 ผลของสารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลตต่อเฟสน้ำมันปาล์มผสมดีเซล  
หรือไบโอดีเซลในการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพ



ภาพที่ 4.5 ผลของสารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์ต่อเฟสน้ำมันปาล์มผสมดีเซล  
หรือไบโอดีเซลในการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพ



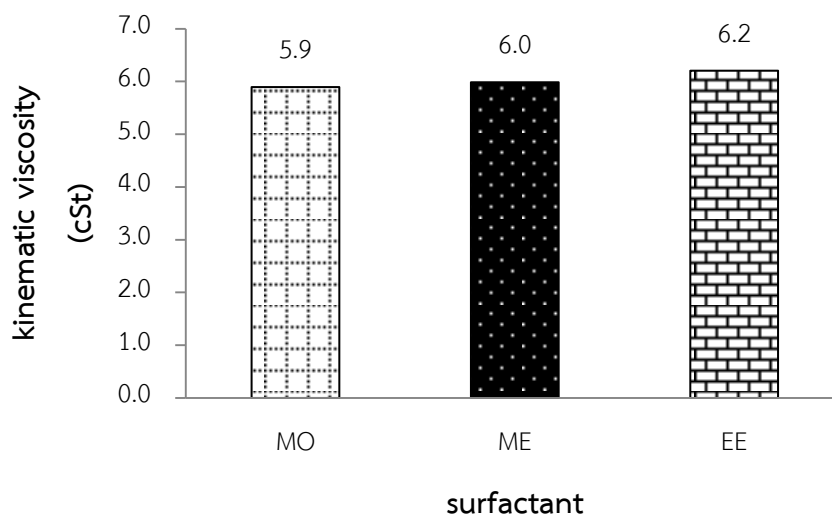
ภาพที่ 4. 6 ผลของสารลดแรงตึงผิวเอทิลเอสเทอร์ต่อเฟสน้ำมันปาล์มผสมดีเซล หรือไปโอดีเซลในการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพ

### 4.3 ผลการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพที่นำมาศึกษาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์มีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์ม ผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ร้อยละ 70 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลียด เมทิลเอสเทอร์และ เอทิลเอสเทอร์ ซึ่งมีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อ สารลดแรงตึงผิวร่วมเท่ากับ 1 ต่อ 8 โดยโมล ร้อยละ 10 โดยปริมาตร หรือเติมสารเติมแต่งโพรพิลีน ไกลคอลเอทิลอีเทอร์อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งเท่ากับ 1 ต่อ 3 ต่อ 5 ร้อยละ 10 โดยปริมาตร และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

#### 4.3.1 ผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

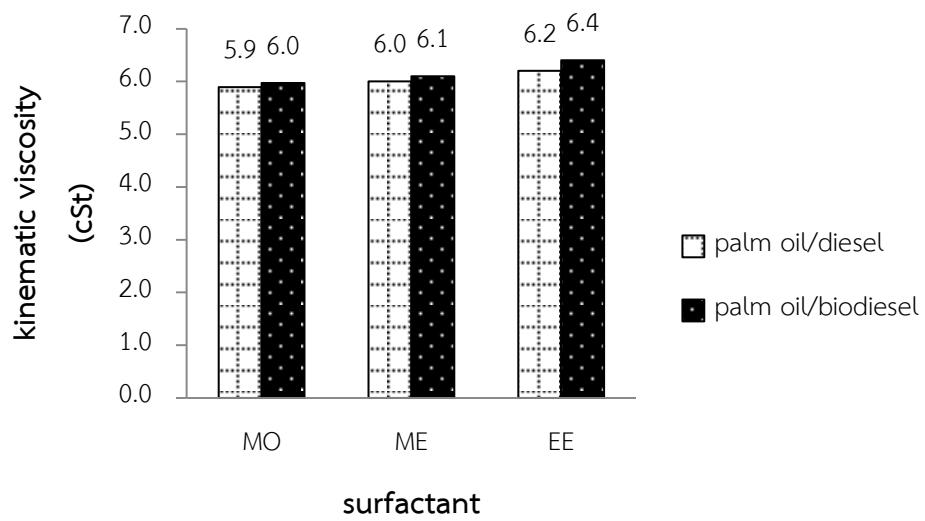
ผลการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์สูงสุดเท่ากับ 6.2 เซนติสโตกส์ เชื้อเพลิงชีวภาพที่มี เมทิลโอเลียดและเมทิลเอสเทอร์มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 5.9 และ 6.0 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.7 เนื่องจากค่าหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพขึ้นกับแรงระหว่างโมเลกุล (Arpornpong และคณะ, 2014) ซึ่งในสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด เอทิลเอสเทอร์มีแรงพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลมากที่สุด ดังนั้นค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวจึงมีค่าสูงสุด โดยค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลียดและเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่า 1.9 ถึง 6.0 เซนติสโตกส์ (ASTM, 2013)



ภาพที่ 4.7 ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ

#### 4.3.2 ผลของน้ำมันต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษา พบว่า เมื่อเปลี่ยนน้ำมันจากน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซล ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.8 เนื่องจากค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมีความแตกต่างกัน โดยน้ำมันดีเซลมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์เท่ากับ 4.1 เซนติสโตกส์ ซึ่งต่ำกว่าค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเท่ากับ 5.1 เซนติสโตกส์ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลมาเป็นองค์ประกอบในไมโครอิมัลชัน เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จึงมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของน้ำมันเป็นน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซล



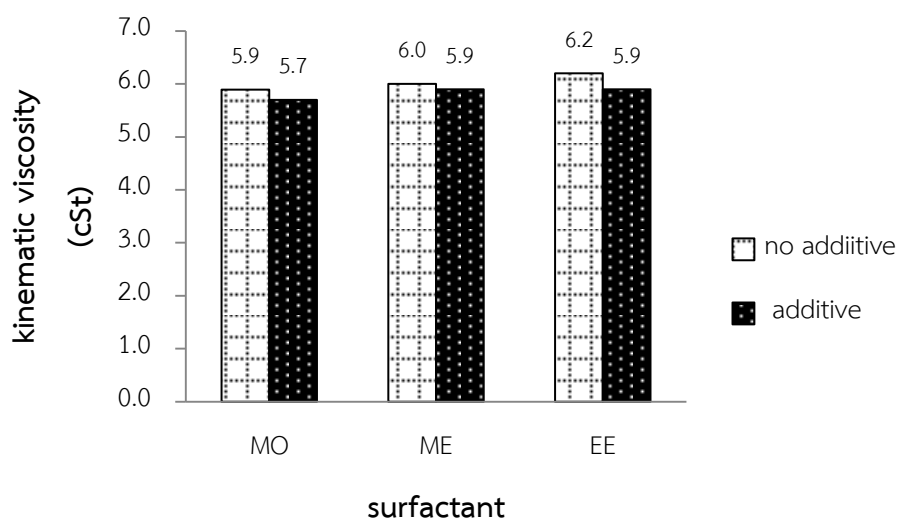
ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ  
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสต่อเฟสน้ำมันที่ต่างกัน





#### 4.3.3 ผลของสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

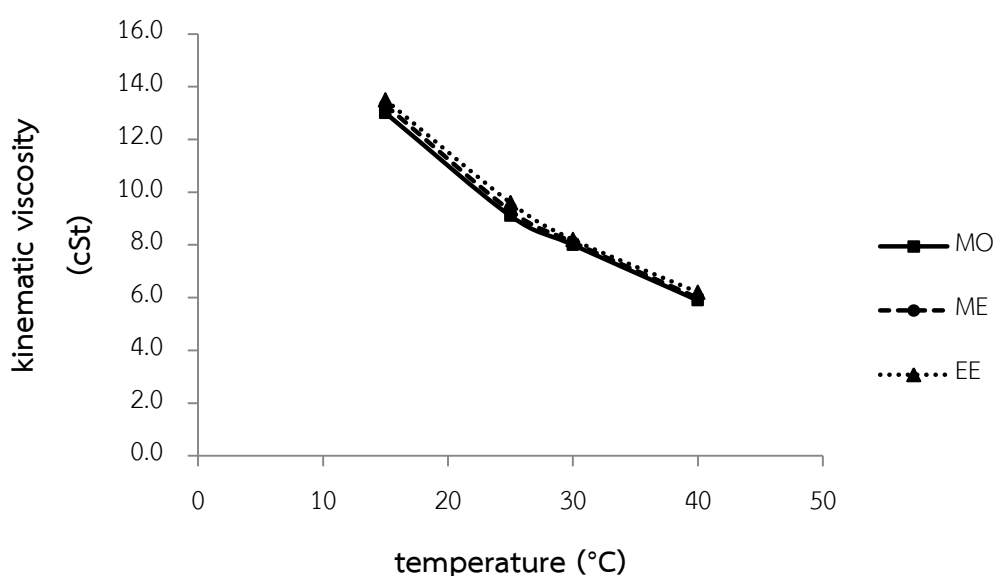
ผลการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ลดลง ดังภาพที่ 4.9 เนื่องจากสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ซึ่งจัดเป็นสารกลุ่มออกซิเจนเนต (oxygenate compound) ภายในโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (R-OH) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วสามารถรวมตัวกับแอลกอฮอล์ได้ดี และหมู่ฟังก์ชันอีเทอร์ (R-O-R) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ไม่มีขั้วสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี ซึ่งการเติมสารเติมแต่งจึงสามารถช่วยให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น การเคลื่อนที่ของอนุภาคเกิดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพจึงลดลง (ศศิวิมล วิชาตี, 2557) โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุร่วมกับเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่า 1.9 ถึง 6.0 เซนติสโตกส์ (ASTM, 2013)



ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีการเติมและไม่เติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์

#### 4.3.4 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์

ผลการศึกษา พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิง โดยค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.10 เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ เชื้อเพลิงชีวภาพมีแรงยึดเหนี่ยวอนุภาคสูง ซึ่งส่งผลให้อนุภาคจัดเรียงตัวกันอย่างแน่นหนา การเคลื่อนที่ของอนุภาคจึงเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์จึงมีค่าสูง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น ความร้อนที่มีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคลดลง อนุภาคเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ลดลงด้วย (Do และคณะ, 2011)



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

#### 4.4 ผลการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสัดส่วนตามการทดลองช่วงที่ 2 มาศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น จุดชุน จุดไหลเท ค่าความร้อน และกากคาร์บอน และนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

##### 4.4.1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ผลการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยนี้ทั้งหมดมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.83 กรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งในส่วนของสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และสารเติมแต่ง และในส่วนของน้ำมันมีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน โดยสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลต เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.87 0.85 และ 0.84 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ออกทานอลซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.83 กรัมต่อมิลลิลิตร สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.90 กรัมต่อมิลลิลิตร อีกทั้งค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยก็มีค่าใกล้เคียงกันด้วย โดยน้ำมันดีเซลมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.82 กรัมต่อมิลลิลิตร และน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.87 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยนี้จึงมีค่าที่เท่ากัน

เมื่อนำค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเท่ากับ 0.83 กรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.83 ถึง 0.90 กรัมต่อมิลลิลิตร (ASTM, 2013) พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยมีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

##### 4.4.2 จุดชุนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ผลการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวพบจุดชุนที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 4 องศาเซลเซียส และเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีอุณหภูมิจุดชุนเท่ากัน คือ 6 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.2 เนื่องจากจุดชุนของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุแต่ละสารแตกต่างกัน โดยเมทิลโอเลตที่ต่ำกว่า -9 องศาเซลเซียสยังไม่พบจุดชุน ส่วนเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์พบจุดชุนที่อุณหภูมิ 13 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นเชื้อเพลิง

ชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวจึงพบจุดขุ่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว

เมื่อทำการเปลี่ยนน้ำมันจากน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า ไม่มีผลต่อจุดขุ่น ดังตารางที่ 4.2 เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ศึกษา คือ บี 20 ซึ่งมีการผสมน้ำมันดีเซลต่อไบโอดีเซลในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยปริมาตร ดังนั้น น้ำมันไบโอดีเซลจึงมีสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซล การเปลี่ยนชนิดของเฟสน้ำมันจึงไม่มีผลต่อจุดขุ่น

เมื่อเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งพบจุดขุ่นที่อุณหภูมิสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง เนื่องจากอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งมีค่าเท่ากับ 1 ต่อ 3 ต่อ 5 ซึ่งที่อัตราส่วนนี้เชื้อเพลิงชีวภาพมีสารเติมแต่งในอัตราส่วนที่มากเกินไป (ศศิวิมล วิชาดี, 2557) ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีการเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์พบจุดขุ่นที่อุณหภูมิสูง

เมื่อนำค่าจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลที่มีอุณหภูมิจุดขุ่นเท่ากับหรือน้อยกว่า -5 องศาเซลเซียส (ASTM, 2013) พบว่า อุณหภูมิจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยนี้มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากน้ำมันปาล์มที่เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพมีจุดขุ่นที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส (Srivastava และ Prasad, 2001) ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มจึงมีจุดขุ่นที่สูง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวอย่างที่	อุณหภูมิจุดขุ่น (องศาเซลเซียส)									
	ทดลอง	9	8	7	6	5	4	3	2	1
MODI	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓
MOBI	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓
MEDI	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MEBI	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EEDI	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EEBI	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ใส่สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์										
MODP	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MEDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EEDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ : ✓ คือ อุณหภูมิที่เกิดจุดขุ่น  
x คือ อุณหภูมิที่ยังไม่เกิดจุดขุ่น

#### 4.4.3 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ผลการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวพบจุดไหลเทที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ -9 องศาเซลเซียส และเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีอุณหภูมิจุดไหลเทเท่ากัน คือ -6 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.3 เนื่องจากจุดไหลเทของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุแต่ละสารแตกต่างกัน โดยเมทิลโอเลตที่อุณหภูมิ -9 องศาเซลเซียสยังไม่พบจุดไหลเท ส่วนเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์พบจุดไหลเทที่อุณหภูมิ 4 และ 0 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวจึงพบจุดไหลเทที่อุณหภูมิต่ำที่สุด

เมื่อทำการเปลี่ยนน้ำมันจากน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า ไม่มีผลต่อจุดไหลเท ดังตารางที่ 4.3 เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ศึกษา คือ บี 20 ซึ่งมีการผสมน้ำมันดีเซลต่อไบโอดีเซลในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยปริมาตร

ดังนั้นน้ำมันไบโอดีเซลจึงมีสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซล การเปลี่ยนชนิดของเฟสน้ำมันจึงไม่มีผลต่อจุดไหลเท

เมื่อเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพมีอุณหภูมิของจุดไหลเทที่ต่ำลง ดังตารางที่ 4.3 เนื่องจากสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ที่สารที่มีจุดเยือกแข็งต่ำกว่า -35 องศาเซลเซียส สามารถช่วยป้องกันการแข็งตัวของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งจึงพบอุณหภูมิจุดไหลเทได้ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่เติมสารเติมแต่ง (ศศิวิมล วิชาดี, 2557)

เมื่อนำค่าจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลที่มีอุณหภูมิจุดไหลเทเท่ากับหรือน้อยกว่า -9 องศาเซลเซียส (ASTM, 2013) พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิว และเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมกับการเติมสารเติมแต่ง มีจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวอย่างที่	อุณหภูมิจุดไหลเท (องศาเซลเซียส)										
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	>-9	
MODI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
MOBI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
MEDI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
MEBI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
EEDI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
EEBI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
ใส่สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์											
MODP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
MEDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
EEDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

หมายเหตุ : ✓ คือ อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงชีวภาพไหลเทได้

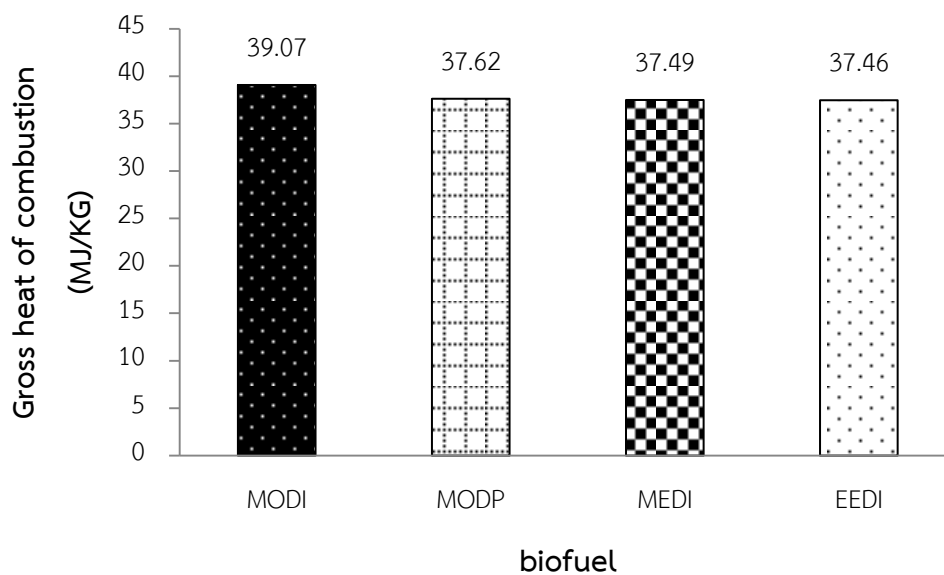
× คือ อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงชีวภาพไม่สามารถไหลเทได้

#### 4.4.4 ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ผลการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวมีค่าความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 39.07 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีค่าความร้อนเท่ากับ 37.49 และ 37.46 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.11

เมื่อเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ พบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารเติมแต่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 39.07 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนเท่ากับ 37.62

เปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพกับค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลที่มีค่าเท่ากับ 42.6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเท่ากับ 41.2 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (Do และคณะ, 2011) พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธีไมโครอิมัลชันมีค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งออกซิเจนมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลง (Arpornpong และคณะ, 2014) และการเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ซึ่งเป็นสารกลุ่มออกซิเจนเนต ภายในโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยออกซิเจนเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่เติมสารเติมแต่ง ซึ่งการที่เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล ทำให้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพต้องใช้ปริมาณของเชื้อเพลิงที่มากกว่า เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่เท่ากัน



ภาพที่ 4.11 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

#### 4.4.5 กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

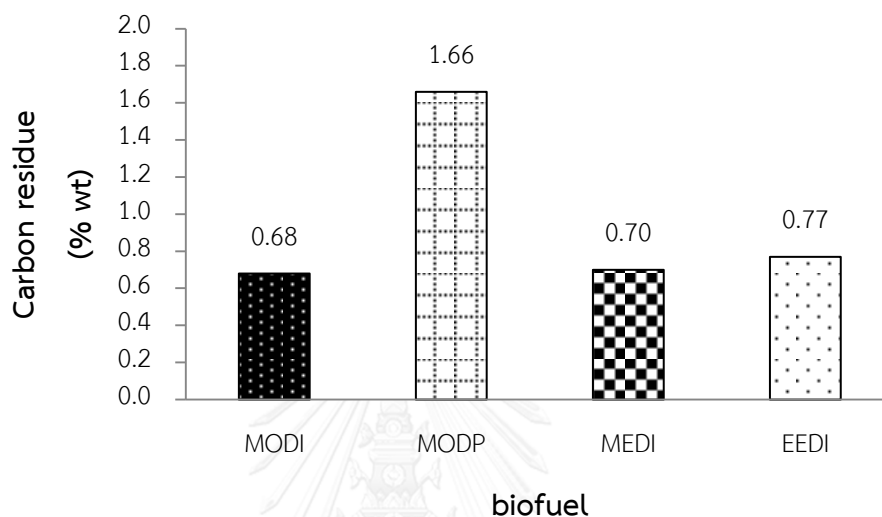
ผลการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลียด เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ มีปริมาณของกากคาร์บอนที่ใกล้เคียงกัน โดยปริมาณกากคาร์บอนที่ได้เท่ากับร้อยละ 0.68 0.70 และ 0.77 ของคาร์บอนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.12 เนื่องจากน้ำมันที่ศึกษา คือ น้ำมันชนิดเดียวกัน อีกทั้งสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุที่ศึกษามีจำนวนของอะตอมคาร์บอนที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่ากากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยนี้จึงใกล้เคียงกัน

เมื่อเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณของกากคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีปริมาณร้อยละของกากคาร์บอนเท่ากับ 0.68 คาร์บอนโดยน้ำหนัก และเมื่อเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ปริมาณกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับร้อยละ 1.66 ของคาร์บอนโดยน้ำหนัก

นำค่ากากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำไบโอดีเซล ที่มีค่ากากคาร์บอนไม่เกินร้อยละ 0.30 คาร์บอนโดยน้ำหนัก (ASTM, 2013)



พบว่า ปริมาณกาบคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งการมีปริมาณกาบคาร์บอนมากอาจเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เชื้อเพลิงที่มีกาบคาร์บอนในปริมาณมาก อัตราการระเหยตัวของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้ช้า อาจก่อให้เกิดควันดำหลังจากการเผาไหม้ได้



ภาพที่ 4.12 กาบคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ ผลของน้ำมันที่ต่างกัน และผลของสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ความร้อน และกาบคาร์บอน โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

การทดลอง	สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ				
	ความหนืดเชิง จลนศาสตร์	ความ หนาแน่น	จุดขุ่น	จุดไหลเท	กาก คาร์บอน
MODI	✓	✓	×	✓	×
MOBI	✓	✓	×	✓	-
MODP	✓	✓	×	✓	×
MEDI	✓	✓	×	×	×
MEBI	✓	✓	×	×	-
MEDP	✓	✓	×	✓	-
EEDI	×	✓	×	×	×
EEBI	×	✓	×	×	-
EEDP	✓	✓	×	✓	-

หมายเหตุ : ✓ คือ เชื้อเพลิงที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน  
 × คือ เชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน  
 - คือ ไม่ได้ทำการทดลอง

ผลการเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลพบว่า ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลียดและเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (1.9 ถึง 6.0 เซนติสโตกส์) ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวต้องใช้ร่วมกับสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์เพื่อให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้งานจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์ สำหรับค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพในทุกการทดลองมีค่าเท่ากัน คือ 0.83 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (0.83 ถึง 0.87 กรัมต่อมิลลิลิตร) จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพในทุกการทดลองไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (-5 องศาเซลเซียส) จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลียดเป็นสารลดแรงตึงผิวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (-5 องศาเซลเซียส) ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวต้องมีการเติมสารเติมแต่งโพรพิลีน

ไกลคอลเอทิลอีเทอร์เพื่อให้จุดไหลเทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสมบัติด้านจุดขุ่นและจุดไหลเทไม่อยู่ในเกณฑ์ ในการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิต่ำ ต้องระวังเชื้อเพลิงชีวภาพอุดตันเส้นท่อ ซึ่งจะเป็นปัญหาต่อการใช้งานเครื่องยนต์ และค่ากาคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพทุกการทดลองไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ร้อยละ 0.30 คาร์บอนโดยน้ำหนัก) ซึ่งการมีปริมาณกาคาร์บอนมากทำให้อัตราการระเหยตัวของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้ช้า อาจก่อให้เกิดควันดำหลังจากการเผาไหม้ได้

เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอทิลเอตเป็นสารลดแรงตึงผิวพบสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน น้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุด ได้แก่ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น และจุดไหลเท เชื้อเพลิงที่มีเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวพบสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และความหนาแน่น และถ้ามีการใช้งานร่วมกับสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์สมบัติด้านจุดไหลเทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวพบสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลน้อยที่สุด โดยมีค่าความหนาแน่นเท่านั้นที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ถ้ามีการใช้งานร่วมกับสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์สมบัติด้านค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และจุดไหลเทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

#### 4.5 ผลการประเมินต้นทุนเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ด้วยการคำนวณจากราคาต้นทุนขององค์ประกอบกับปริมาณขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนการผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 343.00 บาทต่อลิตร และเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 287.00 บาทต่อลิตร เนื่องจากต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยนี้ขึ้นกับราคาของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ โดยเมทิลโอเลตมีราคาสูงที่สุดเท่ากับ 2,280.00 บาทต่อลิตร ส่วนเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์มีราคาเท่ากับ 313.18 และ 981.33 บาทต่อลิตร ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวจึงต้นทุนที่สูงที่สุด

ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีการเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ พบว่าราคาต้นทุนสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง เนื่องจากสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์มีราคาเท่ากับ 3,200.00 บาทต่อลิตร จึงส่งผลให้ต้นทุนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีการเติมสารเติมแต่งสูงขึ้น

#### ตารางที่ 4.5 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพ	ราคาต้นทุนการผลิต (บาทต่อลิตร)
<b>เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง</b>	
MODI	343.00
MOBI	343.00
MEDI	287.00
MEBI	287.00
EEDI	311.00
EEBI	311.00
<b>เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีการเติมสารเติมแต่ง</b>	
MODI	467.00
MEDI	329.00
EEDP	345.00

โดยการประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันในงานวิจัยนี้ ประเมินจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเลือกใช้อุณหภูมิและความบริสุทธิ์สูง ดังนั้นราคาต้นทุนของแต่ละองค์ประกอบในเชื้อเพลิงชีวภาพจึงมีราคาสูงด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งออกทานอลซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้ต้นทุนผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันมีราคาที่สูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันควรเลือกใช้อุณหภูมิและความบริสุทธิ์เกรดทางการค้า โดยได้คำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากองค์ประกอบที่มีเกรดทางการค้า พบว่า ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงอย่างมาก ดังตารางที่ 4.6 เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนการผลิตสูงสุดเท่ากับ 46 บาท ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 41 บาท

จากการประเมินการประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ด้วยการคำนวณจากราคาต้นทุนขององค์ประกอบที่มีเกรดความบริสุทธิ์สูงและเกรดทางการค้า พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนการผลิตสูงสุด และต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงชีวภาพที่คำนวณจากองค์ประกอบที่มีเกรดทางการค้ามีราคาใกล้เคียงกับราคาของเชื้อเพลิงชีวภาพที่นิยมใช้กันทั่วไปที่ผลิตด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ซึ่งมีราคาเท่ากับ 40 บาทต่อลิตร

**ตารางที่ 4.6** เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยคำนวณจากองค์ประกอบที่มีเกรดความบริสุทธิ์สูงและเกรดการค้า

ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพ	ราคาต้นทุนการผลิต (บาทต่อลิตร)	
	คำนวณราคาจากองค์ประกอบที่มีความบริสุทธิ์สูง	คำนวณราคาจากองค์ประกอบที่มีเกรดทางการค้า
	MODI	343.00
MEDI	287.00	41.00
EEDI	311.00	41.00

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

#### 5.1 สรุปผลวิจัย

งานวิจัยนี้สังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ พร้อมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน หลังจากนั้นทำการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยการใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ ศึกษาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ และประเมินต้นทุนเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ศึกษามีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลอิต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วน 1 ต่อ 8 โดยโมล สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งเท่ากับ 1 ต่อ 3 ต่อ 5 โดยโมล และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร จากผลการศึกษสามารถสรุปผลได้ดังนี้

เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยมีน้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบตั้งต้น และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เมทิลเอสเทอร์คิดเป็นร้อยละ 72.98 ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 86.70 และเอทิลเอสเทอร์คิดเป็นร้อยละ 50.91 ผลการวิเคราะห์กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในเอสเทอร์ พบว่า มีกรดไขมันอิ่มตัวปาล์มมิติกร้อยละ 35.47 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวโอเลอิกร้อยละ 40.51 เป็นองค์ประกอบหลัก และจากการคำนวณค่าเอชแอลบีจากกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ พบว่า เมทิลเอสเทอร์มีค่าเอชแอลบีเท่ากับ 4.14 และเอทิลเอสเทอร์มีค่าเอชแอลบีเท่ากับ 5.12 ซึ่งค่าเอชแอลบีของทั้งเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์อยู่ในเกณฑ์ 3 ถึง 6 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการก่อให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพสามารถเกิดไมโครอิมัลชันรูปแบบวินเซอร์แบบที่ 2 หรือชนิดน้ำในน้ำมัน

การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยการใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลโอเลอิต เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ พบว่า เมทิลโอเลอิตและเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันสามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ เนื่องจากมีค่าเอชแอลบีใกล้เคียงกัน แต่เอทิลเอสเทอร์ต้องใช้

ปริมาณที่มากกว่า และการเปลี่ยนน้ำมันจากน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซลพบว่า ไม่มีผลต่อการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ ได้แก่ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลร้อยละ 70 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 10 โดยปริมาตร และแอลกอฮอล์ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

การศึกษาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลโอเลตและเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อเปลี่ยนน้ำมัน พบว่า น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพต่ำกว่าน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซล และการเติมสารเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์สามารถช่วยลดความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลโอเลตและเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน และกาบคาร์บอนเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์มีค่าความหนาแน่น และจุดไหลเทที่ผ่านมาตรฐาน โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยสมบัติด้านจุดไหลเท และเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล

การประเมินต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันเบื้องต้น พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนการผลิตที่สูงที่สุด เนื่องจากต้นทุนการผลิตในงานวิจัยนี้ ขึ้นกับราคาต้นทุนของสารลดแรงตึงผิว และการเติมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพนั้น ทำให้ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพสูงขึ้นด้วย เนื่องจากโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์มีราคาสูง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา มีข้อเสนอแนะดังนี้

- 5.2.1 การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์ ควรพิจารณาเปรียบเทียบกับสารที่มีขายตามท้องตลาดกับสารที่สังเคราะห์ขึ้นเอง เพื่อลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ
- 5.2.2 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ควรเลือกใช้องค์ประกอบต่างๆที่มีความบริสุทธิ์เกรดการค้า เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ
- 5.2.3 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่า จุดชุ่นและปริมาณเถ้าไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ดังนั้นควรปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อให้สมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล
- 5.2.4 ควรทดสอบการนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้งานกับเครื่องยนต์ โดยเครื่องยนต์ที่มีความเหมาะสมต่อเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ เครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบหมุนสูง (มีความเร็วเกิน 1,000 รอบต่อนาที) เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และควรศึกษาการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศควบคู่ไปด้วย

## 5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธีไมโครอิมัลชันสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมได้ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล อีกทั้งช่วยลดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศหลังการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ โดยช่วยลดปริมาณเขม่าและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ภายใต้อุณหภูมิสูง แต่เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพมีราคาที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาน้ำมันดีเซล ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มเอสเทอร์ 3 ชนิด ที่มีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึง เมื่อนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพทำให้สมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่ราคาต้นทุนของสารลดแรงตึงผิวแตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันที่เชื้อเพลิงมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล และมีต้นทุนการผลิตที่ลดลง โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้นี้มีความเหมาะสมต่อเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบหมุนสูง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



## รายการอ้างอิง

### ภาษาอังกฤษ

- Acosta, E. J., Harwell, J. H., Scamehorn, J. F. and Sabatini, D. A. 2007. Handbook for cleaning/decontamination of surfaces. Elsevier Science.
- Ali, Y. and Hanna, M. A. 1994. Alternative diesel fuels from vegetable oil. Bioresource Technology 50, 153-163.
- Apichartyothin, W. 2015. Formation of vegetable oil based microemulsion biofuel with ethanol/butanol in palm oil/diesel blends. Master of Science's Thesis, The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University.
- Arpornpong, N., Attaphong, C., Charoensaeng, A., Sabatini, D. A. and Khaodhiar, S. 2014. Ethanol-in-palm oil/diesel microemulsion-based biofuel: Phase behavior, viscosity and droplet size. Fuel 132, 101-106.
- ASTM international. 2013. Standards & publications [online]. Available from: <http://www.astm.org/Standard/standards-and-publications.html> [1 March 2016]
- Atmanlı, I. E. and Yüksel, B. 2015. Effects of higher ratios of n-butanol addition to diesel/vegetable oil blends on performance and exhaust emissions of a diesel engine. Journal of the Energy Institute 88, 209-220.
- Attaphong, C., Do, L. and Sabatini, D. A. 2012. Vegetable oil-based microemulsions using carboxylate-based extended surfactants and their potential as an alternative renewable biofuel. Fuel 94, 606-613.
- Attaphong, C. and Sabatini, D. A. 2013. Phase behaviors of vegetable oil-based microemulsion fuels: The effects of temperatures, surfactants, oils, and water in ethanol. energy&fuels 27, 6773-6780.
- Attaphong, C., Singh, V., Balakrishnan, A., Do, L. D., Arpornpong, N. and Parthasarathy, R. N. 2015. Phase behaviors, fuel properties and combustion characteristics of alcohol vegetable oil diesel microemulsion fuels. International Journal of Green Energy.

- Buranasak, M. 2009. Biogas energy. Technology Bio 36(205).
- Chotwichien, A., Luengnaruemitchai, A. and Jai-In, S. 2009. Utilization of palm oil alkyl esters as an additive in ethanol–diesel and butanol–diesel blends. Fuel 88, 1618-1624.
- Dantas Neto, A. A., Fernandes, M. R., Barros Neto, B. E. L., Castro Dantas, T. N. and Moura, M. C. P. A. 2013. Effect of biodiesel-based microemulsions on the exhaust emissions of a diesel engine. Brazilian journal of petrolume and gas 7(4), 141-153.
- Dantas, T. N. C., Silva, A. C. and Neto, A. A. D. 2001. New microemulsion systems using diesel and vegetable oils. Fuel 80, 75-81.
- Do, L. D., Singh, V., Chen, L., Kibbey, T. C. G., Gollahalli, S. R. and Sabatini, D. A. 2011. Algae, canola, or palm oils-diesel microemulsion fuels: Phase behaviors, viscosity, and combustion properties. International Journal of Green Energy 8(7), 748-767.
- Ebiura, T., Echizen, T., Ishikawa, A., Murai, K. and Baba, T. 2005. Selective transesterification of triolein with methanol to methyl oleate and glycerol using alumina loaded with alkali metal salt as a solid-based catalyst. Applied Catalysis A: General 283, 111-116
- Esteban, B. J.-R., Riba, J. R., Baquero, G., Rius, A. and Puig, R. 2012. Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. biomass and bioenergy 42, 164-171
- Kibbey, T. C. G., Chen, L., Do, L. D. and Sabatini, D. A. 2014. Predicting the temperature-dependent viscosity of vegetable oil/diesel reverse microemulsion fuels. Fuel 116, 432-437.
- Knothe, G. 2005. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. Fuel Processing Technology 86, 1059-1070.
- Lee, K. L. 2010. Applications and use of microemulsions [online]. Available from: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1108/1108.2794.pdf> [1 February 2016]
- Ma, F. and Hanna, M. A. 1999. Biodiesel production: A review. Bioresource Technology 70, 1-15.

- Melo-Espinosa, E. A., Piloto-Rodríguez, R., Goyos-Pérez, L., Sierens, R. and Verhelst, S. 2015. Emulsification of animal fats and vegetable oils for their use as diesel engine fuel: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews 47, 623-633.
- Nguyen, T., Abraham, J., Ramallo, M., Wagner, D. and McLennan, J. 2012. Formulation of canola-diesel microemulsion fuels and their selective diesel engine performance. J Am Oil Chem Soc 89, 1905-1912.
- Nguyen, T., Do, L. and Sabatini, D. A. 2010. Biodiesel production via peanut oil extraction using diesel-based reverse-micellar microemulsions. Fuel 89, 2285-2291.
- Rosen, M. J. 2004. Surfactants and interfacial phenomena. 3<sup>rd</sup> ed. Hoboken, N. J.: Wiley-Interscience.
- Silva, G. P. D., Mack, M. and Contiero, J. 2009. Glycerol: A promising and abundant carbon source for industrial microbiology. Biotechnology advances 27(1), 30-39.
- Srivastava, A. and Prasad, R. 2000. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4, 111-133.
- Uniqema Ltd. 2005. The hlb system [online]. Available from: [http://cme.nuk.edu.tw/files/personal\\_subject/412\\_cad10de8.pdf](http://cme.nuk.edu.tw/files/personal_subject/412_cad10de8.pdf) [1 february 2016]
- Xing-cai, L., Jian-guang, Y., Wu-gao, Z. and Zhen, H. 2004. Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol–diesel blend fuel. Fuel 83, 2013-2020.
- Yoshimoto, Y., Kinoshita, E., Shanbu, L. and Ohmura, T. 2013. Influence of 1-butanol addition on diesel combustion with palm oil methyl ester/gas oil blends. Energy 61, 44-51.

## ภาษาไทย

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015\\_Final\\_version.pdf](http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf) [1 กุมภาพันธ์ 2559]

- ณัฐพร สรสุชาติ. 2557. การใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธเนศร์ เสนิงค์ ณ อยุธยา. 2545. ดีเซลเบนซินเรื่องหมูหมู. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มติชน.
- นคร ทิพยาวงค์. 2558. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงสภาพชีวมวล ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิจวรรณ อนันตรกิตติ. 2556. ผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิตยา รัตนพนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2550. ปาล์มน้ำมัน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2887/palm-%E0%B8%9B%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B9%8C%E0%B8%A1%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99> [15 กุมภาพันธ์ 2559]
- ประณต กุลประสูตร. 2553. เครื่องยนต์ดีเซล. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และ ลลิตา อัดนโถ. 2549. รอบรู้เรื่องราว ไบโอดีเซล. สมุทรปราการ: พิมพ์พินิจการพิมพ์.
- วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน, วัชร ศรีรักษา, เพ็ญศิริ จำรัสฉาย, วราวุธ ชูธรรมรัช และ ชาย ไชรวิน. 2558. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (biodiesel production from crude palm oil) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th/palm/pdf/performance1/research/crude%20palm%20oil.pdf> [1 กุมภาพันธ์ 2559]
- ศศิวิมล วิชาดี. 2557. ผลของไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริณี เพ็งปรีชา. 2556. ผลของลักษณะของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงชนิดไม่มีประจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน. 2558. สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทยช่วง 10 เดือนแรกของปี 2558 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

[http://www.eppo.go.th/info/Situation/monthly/2015\\_10.pdf](http://www.eppo.go.th/info/Situation/monthly/2015_10.pdf) [18 มีนาคม 2559]

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน. 2550. การผลิตไบโอดีเซล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/index2.php> [1 มีนาคม 2559]

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2557 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

[http://www.oae.go.th/download/journal/trends\\_FEB2557.pdf](http://www.oae.go.th/download/journal/trends_FEB2557.pdf) [18 มีนาคม 2559]









ภาคผนวก ก

การสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์  
จากน้ำมันปาล์ม และวิเคราะห์องค์ประกอบ

CHULALONGKORN UNIVERSITY



### ก-1 คำนวณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้

คำนวณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสมการ

$$\text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่เป็นสารตั้งต้น (กรัม)}} \times 100$$

#### 1) คำนวณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้} &= \frac{0.85 \times 85 \text{ (กรัม)}}{0.90 \times 110 \text{ (กรัม)}} \times 100 \\ &= 72.98 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เท่ากับ 72.98

#### 2) คำนวณร้อยละของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้} &= \frac{0.84 \times 60 \text{ (กรัม)}}{0.90 \times 110 \text{ (กรัม)}} \times 100 \\ &= 50.91 \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้เท่ากับ 50.91

## ก-2 คำนวณน้ำหนักโมเลกุลของปาล์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตาราง ก-1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิคแก๊สโครโมโทกราฟี

fatty acid composition	carbon number	molecular weight (g/mol)	% composition	molecular weight of methyl ester
Lauric acid	C12:0	214.35	0.3058	0.6555
Myristic acid	C14:0	242.40	0.8155	1.9768
Palmitic acid	C16:0	270.46	35.4740	95.9430
Palmitoleic acid	C16:1	268.44	0.1019	0.2736
Stearic acid	C18:0	298.51	2.9562	8.8245
Oleic acid	C18:1	296.50	40.5708	120.2926
Linoleic acid	C18:2	294.48	19.6738	57.9354
Linolenic acid	C18:3	292.46	0.1019	0.2981
			$\Sigma=100.00$	$\Sigma=286.1994$

น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 286.1994 กรัมต่อโมล

กำหนดให้น้ำมันปาล์มทั้งร้อยละ 100 ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ทั้งหมด

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม} &= (\text{น้ำหนักโมเลกุลเมทิลเอสเทอร์} \times 3) - \text{น้ำหนัก} \\
 &\quad \text{โมเลกุลของไฮโดรเจน 4 อะตอม} \\
 &= (286.1994 \times 3) - 4 \\
 &= 854.5982 \text{ กรัมต่อโมล}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์มในงานวิจัยนี้เท่ากับ 854.5982 กรัมต่อโมล

### ก-3 คำนวณค่าเฮลป์ของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุ

คำนวณค่าเฮลป์ของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ชนิดไม่มีประจุตามสมการของ กิฟฟิน (Giffin formula)

$$HLB = 20 \times \frac{MW_H}{MW}$$

เมื่อ  $MW_H$  คือ มวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (กรัม/โมล)

$MW$  คือ มวลโมเลกุลทั้งหมด (กรัม/โมล)

#### 1) คำนวณค่าเฮลป์ของเมทิลโอลิเอต

โดย เมทิลโอลิเอตมีมวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำเท่ากับ 59.04 กรัม/โมล

เมทิลโอลิเอตมีมวลโมเลกุลทั้งหมดเท่ากับ 296.5 กรัม/โมล

$$\begin{aligned} HLB &= 20 \times \frac{59.04}{296.5} \\ &= 3.98 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าเฮลป์ของเมทิลโอลิเอตเท่ากับ 3.98

## 2) คำนวณค่าเอชแอลบีของเมทิลเอสเทอร์

เมทิลเอสเทอร์จัดเป็นสารลดแรงตึงผิวที่องค์ประกอบผสมตั้งนั้นในการหาค่าเอชแอลบี จึงคิดเป็นค่าเฉลี่ย

$$HLB = (\%wt_1 \times HLB_1) + (\%wt_2 \times HLB_2) + (\%wt_3 \times HLB_3) + \dots$$

ตารางก-2 คำนวณค่าเอชแอลบีของเมทิลเอสเทอร์

fatty acid composition	carbon number	MW <sub>H</sub> (g/mol)	MW (g/mol)	HLB	% HLB
Lauric acid	C12:0	59.04	214.35	5.5087	0.0168
Myristic acid	C14:0	59.04	242.40	4.8713	0.0397
Palmitic acid	C16:0	59.04	270.46	4.3659	1.5488
Palmitoleic acid	C16:1	59.04	268.44	4.3987	0.0045
Stearic acid	C18:0	59.04	298.51	3.9556	0.1169
Oleic acid	C18:1	59.04	296.50	3.9825	1.6157
Linoleic acid	C18:2	59.04	294.48	4.0098	0.7889
Linolenic acid	C18:3	59.04	292.46	4.0375	0.0041
					Σ=4.1355

ดังนั้น ค่าเอชแอลบีของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 4.14

### 3) คำนวณค่าเอชแอลบีของเอทิลเอสเทอร์

เอทิลเอสเทอร์จัดเป็นสารลดแรงตึงผิวที่องค์ประกอบผสมตั้งนั้นในการหาค่าเอชแอลบี จึงคิดเป็นค่าเฉลี่ย

$$HLB = (\%wt_1 \times HLB_1) + (\%wt_2 \times HLB_2) + (\%wt_3 \times HLB_3) + \dots$$

ตาราง ก-3 คำนวณค่าเอชแอลบีของเอทิลเอสเทอร์

fatty acid composition	carbon number	MW <sub>H</sub> (g/mol)	MW (g/mol)	HLB	% HLB
Lauric acid	C12:0	73.03	214.35	6.8113	0.0208
Myristic acid	C14:0	73.03	242.40	6.0231	0.0491
Palmitic acid	C16:0	73.03	270.46	5.3982	1.9157
Palmitoleic acid	C16:1	73.03	268.44	5.4388	0.0055
Stearic acid	C18:0	73.03	298.51	4.8910	0.1446
Oleic acid	C18:1	73.03	296.50	4.9241	1.9986
Linoleic acid	C18:2	73.03	294.48	4.9579	0.9758
Linolenic acid	C18:3	73.03	292.46	4.9921	0.0051
					Σ=5.1154

ดังนั้น ค่าเอชแอลบีของเอทิลเอสเทอร์เท่ากับ 5.12

ภาคผนวก ข  
การหาคัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม  
ด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข-1 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม**

กำหนดให้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร

เมทิลโอเลตความเข้มข้น 0.125 โมลต่อลิตร

ออกทานอลความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

แอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร 1 มิลลิลิตร

หาปริมาตรของเมทิลโอเลต

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของเมทิลโอเลต} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\
 &= \frac{0.125 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 296.49 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 0.01 \text{ ลิตร}}{0.70 \times 0.874 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\
 &= 0.6058 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรของเมทิลโอเลตเท่ากับ 0.6058 มิลลิลิตร

หาปริมาตรของออกทานอล

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของออกทานอล} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\
 &= \frac{1 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 130.23 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 0.01 \text{ ลิตร}}{0.99 \times 0.825 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\
 &= 1.5940 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรของออกทานอลเท่ากับ 1.5940 มิลลิลิตร

หาผลรวมของปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมดที่ใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรเชื้อเพลิงทั้งหมด} &= 5 + 1 + 2.1998 \\
 &= 8.1998 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

คำนวณร้อยละของน้ำมัน

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของน้ำมัน} &= \frac{\text{ปริมาณน้ำมัน} \times 100}{\text{ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด}} \\ &= \frac{5 \times 100}{8.1998} \\ &= 60.9771 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

คำนวณร้อยละของเมทิลโอลิเอต

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเมทิลโอลิเอต} &= \frac{\text{ปริมาณเมทิลโอลิเอต} \times 100}{\text{ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด}} \\ &= \frac{0.6058 \times 100}{8.1998} \\ &= 7.3880 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

คำนวณร้อยละของออกทานอล

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของออกทานอล} &= \frac{\text{ปริมาณออกทานอล} \times 100}{\text{ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด}} \\ &= \frac{1.5940 \times 100}{8.1998} \\ &= 19.4395 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

คำนวณร้อยละของแอลกอฮอล์

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแอลกอฮอล์} &= \frac{\text{ปริมาณแอลกอฮอล์} \times 100}{\text{ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด}} \\ &= \frac{1 \times 100}{8.1998} \\ &= 12.1954 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

หาผลรวมร้อยละของปริมาณเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมร้อยละของปริมาณเชื้อเพลิงชีวภาพ} &= 60.9771 + 7.3880 + 19.4395 + \\ &= 12.1954 \\ &= 100 \text{ โดยปริมาตร} \end{aligned}$$



## ข-2 ตัวอย่างการคำนวณเชื้อเพลิงชีวภาพที่ปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

กำหนดให้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ร้อยละ 70 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่อัตราส่วน 1 ต่อ 8 โดยโมล ร้อยละ 10 โดยปริมาตร (เมทิลโอเลตความเข้มข้น 0.125 โมลต่อลิตร และออกทานอลความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร) แอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร 1 มิลลิลิตร

หาปริมาตรของเมทิลโอเลต

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของเมทิลโอเลต} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\
 &= \frac{0.125 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 296.49 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 0.01 \text{ ลิตร}}{0.70 \times 0.874 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\
 &= 0.6058 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรของเมทิลโอเลตเท่ากับ 0.6058 มิลลิลิตร

หาปริมาตรของออกทานอล

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของออกทานอล} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\
 &= \frac{1 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 130.23 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 0.01 \text{ ลิตร}}{0.99 \times 0.825 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\
 &= 1.5940 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรของออกทานอลเท่ากับ 1.5940 มิลลิลิตร

หาผลรวมปริมาตรของเมทิลโอเลตและออกทานอล

$$\begin{aligned}
 \text{ผลรวมปริมาตรของเมทิลโอเลตและออกทานอล} &= 1.5940 + 0.6058 \\
 &= 2.1998 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

คำนวณปริมาตรของเมทิลโอเลตที่ใช้

ผลรวมปริมาตรเมทิลโอเลตและออกทานอล 2.1998 มิลลิลิตร มีเมทิลโอเลต 0.6058 มิลลิลิตร

ถ้าผลรวมปริมาตรเมทิลโอเลตและออกทานอล 1.0000 มิลลิลิตร มีเมทิลโอเลต 0.2754 มิลลิลิตร

คำนวณปริมาตรของออกทานอลที่ใช้

ผลรวมปริมาตรเมทิลโอเลตและออกทานอล 2.1998 มิลลิลิตร มีออกทานอล 1.5940 มิลลิลิตร

ถ้าผลรวมปริมาตรเมทิลโอเลตและออกทานอล 1.0000 มิลลิลิตร มีออกทานอล 0.7246 มิลลิลิตร

ผลรวมของปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพ} &= \text{ปริมาตรน้ำมัน} + \text{ปริมาตรสาร} \\
 &\quad \text{ลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม} + \\
 &\quad \text{ปริมาตรแอลกอฮอล์} \\
 &= 7 + 0.2754 + 0.7246 + 2 \\
 &= 10 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ผลรวมของปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

**ข-3 ผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน  
จากแผนภาพสามเหลี่ยม**

**ตาราง ข-1** ผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล เมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอล

บิวทานอล/เอทานอล	เมทิลโอเลต/ออกทานอล	น้ำมันปาล์ม/น้ำมันดีเซล
0	0	100
16	3	80
26	7	66
35	7	58
41	8	51
46	8	46
49	12	39
55	12	33
63	12	25
77	8	15
100	0	0

ตาราง ข-4 ผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซล เมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอล

บิวทานอล/เอทานอล	เมทิลโอเลต/ออกทานอล	น้ำมันปาล์ม/ น้ำมันไบโอดีเซล
0	0	100
16	3	80
26	7	66
35	7	58
41	7	51
46	7	46
49	12	39
55	12	33
63	12	25
77	8	15
100	0	0

ตาราง ข-5 ผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล เมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอล

บิวทานอล/เอทานอล	เมทิลเอสเทอร์/ออกทานอล	น้ำมันปาล์ม/น้ำมันดีเซล
0	0	100
16	4	80
26	7	66
33	11	56
40	11	50
45	11	45
50	11	40
56	11	33
64	11	25
77	7	15
100	0	0

ตาราง ข-6 ผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซล เมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอล

บิวทานอล/เอทานอล	เมทิลเอสเทอร์/ออกทานอล	น้ำมันปาล์ม/ น้ำมันไบโอดีเซล
0	0	100
16	4	80
27	6	67
35	7	58
41	7	51
45	11	45
50	11	40
56	11	33
64	11	25
78	7	16
100	0	0

ตาราง ข-7 ผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล เอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอล

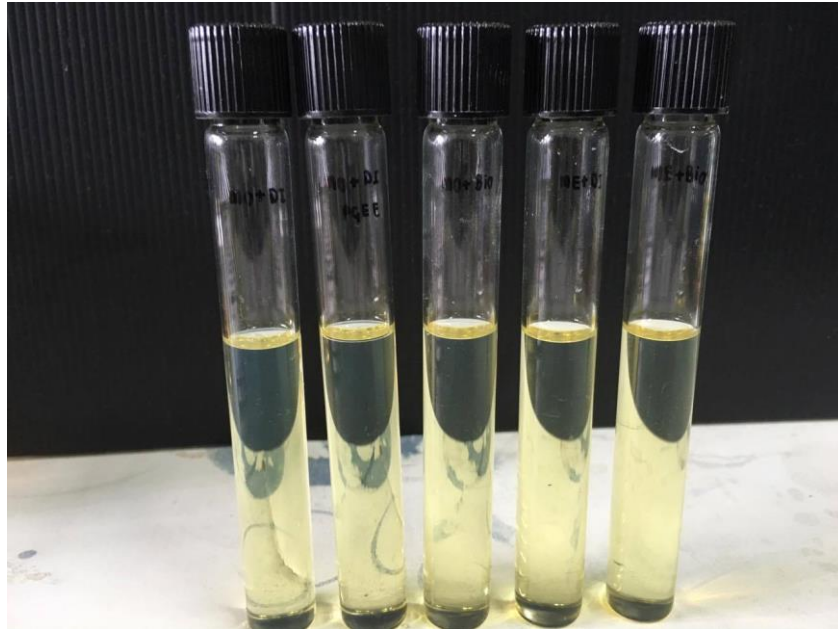
บิวทานอล/เอทานอล	เอทิลเอสเทอร์/ออกทานอล	น้ำมันปาล์ม/น้ำมันดีเซล
0	0	100
16	3	81
26	8	66
33	11	56
38	14	48
43	14	43
46	17	37
52	17	31
61	14	25
74	11	15
100	0	0

ตาราง ข-8 ผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันไบโอดีเซล เอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลและบิวทานอล

บิวทานอล/เอทานอล	เอทิลเอสเทอร์/ออกทานอล	น้ำมันปาล์ม/ น้ำมันไบโอดีเซล
0	0	100
16	3	81
27	6	67
35	8	58
39	11	49
43	14	43
46	17	37
52	17	31
61	14	25
78	8	15
100	0	0



ข-4 ผลการทดลองเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นเนื้อเดียวกันและแยกชั้นกัน



ภาพที่ ข-1 เชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ ข-2 เชื้อเพลิงชีวภาพที่แยกชั้นกัน

ภาคผนวก ค  
การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ  
จากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ค-1 ผลการทดลองหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ**

**ตาราง ค-1 ผลการทดลองหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส**

ตัวอย่างที่ทดลอง	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์				ส่วน เบี่ยงเบน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
MODI	5.03	5.07	5.07	5.06	0.03
MOBI	5.65	5.67	5.62	5.65	0.02
MEDI	5.88	5.93	5.88	5.89	0.03
MEBI	5.94	5.97	5.99	5.97	0.02
EEDI	5.94	6.01	6.01	5.99	0.04
EEBI	6.05	6.04	6.09	6.06	0.02
<b>ใส่สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์</b>					
MODP	5.69	5.72	5.78	5.73	0.05
MOBP	5.89	5.91	5.91	5.90	0.01
MEDP	5.93	5.88	5.91	5.90	0.02
MEBP	5.97	5.97	5.96	5.97	0.01
EEDP	5.96	5.93	5.94	5.94	0.02
EEBP	6.02	6.04	5.99	6.02	0.02

**ตาราง ค-2 ผลการทดลองหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส**

ตัวอย่างที่ทดลอง	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์				ส่วน เบี่ยงเบน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
MODI	8.05	8.09	7.98	8.04	0.06
MOBI	8.19	8.24	8.27	8.23	0.04
MEDI	8.03	8.13	8.14	8.10	0.06
MEBI	8.30	8.25	8.27	8.28	0.02
EEDI	8.22	8.25	8.27	8.25	0.02
EEBI	8.25	8.35	8.32	8.31	0.05

ตาราง ค-3 ผลการทดลองหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ทดลอง	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์				ส่วน เบี่ยงเบน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
MODI	9.17	9.17	9.11	9.15	0.04
MOBI	9.48	9.46	9.38	9.44	0.05
MEDI	9.28	9.28	9.31	9.29	0.02
MEBI	9.40	9.43	9.33	9.38	0.05
EEDI	9.60	9.49	9.59	9.56	0.06
EEBI	9.67	9.72	9.78	9.72	0.06

ตาราง ค-4 ผลการทดลองหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ทดลอง	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์				ส่วน เบี่ยงเบน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
MODI	12.94	12.94	13.01	12.97	0.04
MOBI	13.19	13.23	13.20	13.21	0.02
MEDI	13.30	13.30	13.27	13.29	0.02
MEBI	13.36	13.46	13.39	13.40	0.05
EEDI	13.52	13.55	13.54	13.54	0.02
EEBI	13.92	13.96	13.96	13.95	0.02



ภาคผนวก ง  
การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

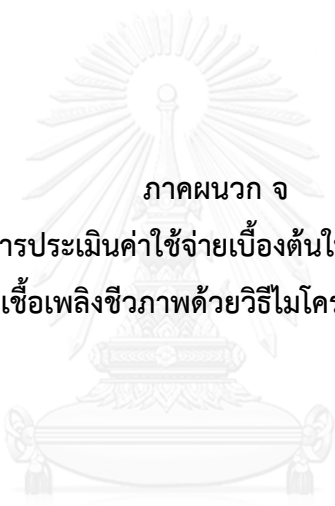
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ง-1 ผลการทดลองหาปริมาณกาคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตาราง ง-1 ผลการทดลองหาปริมาณกาคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวอย่างที่ ทดลอง	น้ำหนักของ เชื้อเพลิง (กรัม)	ปริมาณกาค าร์บอน (กรัม)	ปริมาณกาค าร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนัก คาร์บอน)
MODI	0.4989	0.0034	0.6800
MODP	0.4968	0.0084	1.6600
MEDI	0.5063	0.0035	0.7000
EEDI	0.5028	0.0037	0.7700





ภาคผนวก จ  
การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิต  
เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จ-1 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตสารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์  
 ตาราง จ-1 ต้นทุนการผลิตสารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์

น้ำมันและสารเคมี	ราคาของน้ำมันและ สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ใน การทดลอง	ต้นทุนการผลิต (บาท)
เมทิลเอสเทอร์			
น้ำมันปาล์ม	42.00 บาท/ลิตร	0.1100 ลิตร	4.62
โซเดียมไฮดรอกไซด์	320.00 บาท/กิโลกรัม	0.0005 กิโลกรัม	0.16
เมทานอล	152.00 บาท/ลิตร	0.0450 ลิตร	6.84
โซเดียมซัลเฟต	600.00 บาท/กิโลกรัม	0.0250 กิโลกรัม	15.00
			$\Sigma = 26.62$ (ต้นทุน ต่อ 0.085 ลิตร )
			$\Sigma = 313.18$ (ต้นทุน ต่อ 1 ลิตร)
เอทิลเอสเทอร์			
น้ำมันปาล์ม	42.00 บาท/ลิตร	0.1100 ลิตร	4.62
โซเดียมไฮดรอกไซด์	320.00 บาท/กิโลกรัม	0.0005 กิโลกรัม	0.16
เอทานอล	460.00 บาท/ลิตร	0.0850 ลิตร	39.10
โซเดียมซัลเฟต	600.00 บาท/กิโลกรัม	0.0250 กิโลกรัม	15.00
			$\Sigma = 58.88$ (ต้นทุน ต่อ 0.060 ลิตร )
			$\Sigma = 981.33$ (ต้นทุน ต่อ 1 ลิตร)



## จ-2 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตาราง จ-2 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิว

ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพ	สารเคมีที่ใช้	ราคาสารเคมี (บาท/ลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ (ลิตร)	ต้นทุนการผลิต (บาท)	
MODI/MOBI	น้ำมันปาล์ม	42.00	0.0035	0.15	
	น้ำมันดีเซล	28.23	0.0035	0.10	
	เมทิลโอเลต	2440.00	$2.75 \times 10^{-4}$	0.67	
	ออกทานอล	2280.00	$7.25 \times 10^{-4}$	1.65	
	เอทานอล	70.00	0.0010	0.07	
	บิวทานอล	785.00	0.0010	0.79	
					$\Sigma = 3.43$ (ต้นทุนต่อ 0.010 ลิตร )
				$\Sigma = 343.00$ (ต้นทุนต่อ 1 ลิตร)	
MODP/MOBP	น้ำมันปาล์ม	42.00	0.0035	0.15	
	น้ำมันดีเซล	28.23	0.0035	0.10	
	เมทิลโอเลต	2440.00	$3.12 \times 10^{-4}$	0.76	
	ออกทานอล	2280.00	$3.08 \times 10^{-4}$	0.70	
	โพรพิลีนไกลคอล	3200.00	$3.79 \times 10^{-4}$	1.21	
	เอทิลอีเทอร์				
	เอทานอล	70.00	0.0010	0.07	
	บิวทานอล	785.00	0.0010	0.79	
				$\Sigma = 3.78$ (ต้นทุนต่อ 0.010 ลิตร )	
				$\Sigma = 378.00$ (ต้นทุนต่อ 1 ลิตร)	

ตาราง จ-3 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว

ตัวอย่างเชื้อเพลิง ชีวภาพ	สารเคมีที่ใช้	ราคาสารเคมี (บาท/ลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ (ลิตร)	ต้นทุนการผลิต (บาท)
MEDI/MEBI	น้ำมันปาล์ม	42.00	0.0035	0.15
	น้ำมันดีเซล	28.23	0.0035	0.10
	เมทิลเอสเทอร์	313.18	$2.08 \times 10^{-4}$	0.07
	ออกทานอล	2280.00	$7.91 \times 10^{-4}$	1.80
	เอทานอล	70.00	0.0010	0.07
	บิวทานอล	785.00	0.0010	0.79
				$\Sigma = 2.98$ (ต้นทุนต่อ 0.010 ลิตร ) $\Sigma = 298.00$ (ต้นทุนต่อ 1 ลิตร)
MEDP/MEBP	น้ำมันปาล์ม	42.00	0.0035	0.15
	น้ำมันดีเซล	28.23	0.0035	0.10
	เมทิลเอสเทอร์	313.18	$3.13 \times 10^{-4}$	0.07
	ออกทานอล	2280.00	$3.41 \times 10^{-4}$	0.78
	โพรพิลีนไกลคอล	3200.00	$4.19 \times 10^{-4}$	1.34
	เอทิลอีเทอร์			
	เอทานอล	70.00	0.0010	0.07
	บิวทานอล	785.00	0.0010	0.79
				$\Sigma = 3.30$ (ต้นทุนต่อ 0.010 ลิตร ) $\Sigma = 330.00$ (ต้นทุนต่อ 1 ลิตร)

ตาราง จ-4 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว

ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพ	สารเคมีที่ใช้	ราคาสารเคมี (บาท/ลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ (ลิตร)	ต้นทุนการผลิต (บาท)
EEDI/EEBI	น้ำมันปาล์ม	42.00	0.0035	0.15
	น้ำมันดีเซล	28.23	0.0035	0.10
	เอทิลเอสเทอร์	981.33	$2.10 \times 10^{-4}$	0.24
	ออกทานอล	2280.00	$7.89 \times 10^{-4}$	1.80
	เอทานอล	70.00	0.0010	0.07
	บิวทานอล	785.00	0.0010	0.79
				$\Sigma = 3.15$
				(ต้นทุนต่อ 0.010 ลิตร )
				$\Sigma = 315.00$
				(ต้นทุนต่อ 1 ลิตร)
EEDP/EEBP	น้ำมันปาล์ม	42.00	0.0035	0.15
	น้ำมันดีเซล	28.23	0.0035	0.10
	เอทิลเอสเทอร์	981.33	$2.41 \times 10^{-4}$	0.24
	ออกทานอล	2280.00	$3.40 \times 10^{-4}$	0.78
	โพรพิลีนไกลคอล	3200.00	$4.18 \times 10^{-4}$	1.34
	เอทิลอีเทอร์			
	เอทานอล	70.00	0.0010	0.07
	บิวทานอล	785.00	0.0010	0.79
				$\Sigma = 3.47$
				(ต้นทุนต่อ 0.010 ลิตร )
				$\Sigma = 347.00$
				(ต้นทุนต่อ 1 ลิตร)

หมายเหตุ : ราคาน้ำมันดีเซล 28.23 บาท ซึ่งใกล้เคียงกับราคาน้ำมันไบโอดีเซล (B20) 28.72 บาท

จ-3 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตสารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์  
โดยประเมินจากองค์ประกอบที่มีเกรดการค้า

ตาราง จ-5 ต้นทุนการผลิตสารลดแรงตึงผิวเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์โดยประเมินจาก  
องค์ประกอบที่มีเกรดการค้า

น้ำมันและสารเคมี	ราคาของน้ำมันและ สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ใน การทดลอง	ต้นทุนการผลิต (บาท)
เมทิลเอสเทอร์			
น้ำมันปาล์ม	15.72 บาท/ลิตร	0.1100 ลิตร	1.73
โซเดียมไฮดรอกไซด์	12.22 บาท/กิโลกรัม	0.0005 กิโลกรัม	0.01
เมทานอล	13.62 บาท/ลิตร	0.0450 ลิตร	0.61
โซเดียมซัลเฟต	2.93 บาท/กิโลกรัม	0.0250 กิโลกรัม	0.07
			$\Sigma = 2.42$ (ต้นทุนต่อ 0.085 ลิตร )
			$\Sigma = 28.48$ (ต้นทุน ต่อ 1 ลิตร)
เอทิลเอสเทอร์			
น้ำมันปาล์ม	15.72 บาท/ลิตร	0.1100 ลิตร	1.73
โซเดียมไฮดรอกไซด์	12.22 บาท/กิโลกรัม	0.0005 กิโลกรัม	0.01
เอทานอล	25.15 บาท/ลิตร	0.0850 ลิตร	2.13
โซเดียมซัลเฟต	2.93 บาท/กิโลกรัม	0.0250 กิโลกรัม	0.07
			$\Sigma = 3.94$ (ต้นทุนต่อ 0.060 ลิตร )
			$\Sigma = 65.67$ (ต้นทุน ต่อ 1 ลิตร)

จ-4 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยประเมินจากองค์ประกอบที่มี  
เกรดการค้า

ตาราง จ-6 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวโดยประเมินจาก  
องค์ประกอบที่มีเกรดการค้า

ตัวอย่างเชื้อเพลิง ชีวภาพ	สารเคมีที่ใช้	ราคาสารเคมี (บาท/ลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ (ลิตร)	ต้นทุนการผลิต (บาท)
MODI	น้ำมันปาล์ม	15.72	0.0035	0.06
	น้ำมันดีเซล	12.92	0.0035	0.05
	เมทิลโอเลต	151.92	$2.75 \times 10^{-4}$	0.08
	ออกทานอล	289.88	$7.25 \times 10^{-4}$	0.21
	เอทานอล	31.43	0.0010	0.03
	บิวทานอล	34.58	0.0010	0.03
				$\Sigma = 0.46$
				(ต้นทุนที่ 0.010 ลิตร )
				$\Sigma = 46.00$
				(ต้นทุนที่ 1 ลิตร)

ตาราง จ-7 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีเมทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวโดยประเมินจากองค์ประกอบที่มีเกรดการค้า

ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพ	สารเคมีที่ใช้	ราคาสารเคมี (บาท/ลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ (ลิตร)	ต้นทุนการผลิต (บาท)
MEDI	น้ำมันปาล์ม	15.72	0.0035	0.15
	น้ำมันดีเซล	12.92	0.0035	0.10
	เมทิลเอสเทอร์	28.48	$2.08 \times 10^{-4}$	0.01
	ออกทานอล	289.88	$7.91 \times 10^{-4}$	1.80
	เอทานอล	31.43	0.0010	0.07
	บิวทานอล	34.58	0.0010	0.79
				$\Sigma = 0.41$ (ต้นทุนที่ 0.010 ลิตร)
				$\Sigma = 41.00$ (ต้นทุนที่ 1 ลิตร)

ตาราง จ-8 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีเอทิลเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวโดยประเมินจากองค์ประกอบที่มีเกรดการค้า

ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพ	สารเคมีที่ใช้	ราคาสารเคมี (บาท/ลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ (ลิตร)	ต้นทุนการผลิต (บาท)
EEDI	น้ำมันปาล์ม	15.72	0.0035	0.15
	น้ำมันดีเซล	12.92	0.0035	0.10
	เอทิลเอสเทอร์	65.67	$2.10 \times 10^{-4}$	0.01
	ออกทานอล	289.88	$7.89 \times 10^{-4}$	1.80
	เอทานอล	31.43	0.0010	0.07
	บิวทานอล	34.58	0.0010	0.79
				$\Sigma = 0.41$
				(ต้นทุนที่ 0.010 ลิตร )
				$\Sigma = 41.00$
				(ต้นทุนที่ 1 ลิตร)

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเพ็ญพฐ ศิริรัตน์ประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2534 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2557

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในงานการประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 28 สวสท. 59 ในหัวข้อ เชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอสเทอร์ ณ โรงแรม เดอะ ทวิน ทาวเวอร์ รongเมือง กรุงเทพฯระหว่างวันที่ 10 – 11 พฤศจิกายน 2559