

การเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

โดยใช้ปิวิตานอลร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์

นางสาวธัญปณี พิบูลย์



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

Effect of using butanol and glycol ether additives in enhancing performance of biofuel  
from palm oil based on microemulsion

Miss Thapanee Piboon



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	การเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมัน ปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้บิวทานอลร่วมกับ สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์
โดย	นางสาวฐาปนี พิบูลย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พีเชษฐพร เขาวกิจเจริญ)

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

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนัง)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.นवलกมล อารณพงษ์)

ฐานนี้ พิบูลย์ : การเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้บิวทานอลร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ (Effect of using butanol and glycol ether additives in enhancing performance of biofuel from palm oil based on microemulsion) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุธา ขาวเจียร , 157 หน้า.

น้ำมันปาล์มเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเนื่องจากเป็นน้ำมันที่ผลิตมาจากทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถทดแทนได้ไม่มีวันหมดไปและมีปริมาณการผลิตสูง อย่างไรก็ตามน้ำมันปาล์มไม่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์โดยตรงได้ เนื่องจากมีความหนืดสูง การระเหยตัวต่ำ จึงต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้มีความเหมาะสมเพียงพอในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้ด้วยเทคโนโลยีไมโครอิมัลชัน งานวิจัยนี้จึงได้นำเทคโนโลยีไมโครอิมัลชันมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยศึกษาผลของแอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสมิซัวร์่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอล บิวทิลอีเทอร์ ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ ต่อพฤติกรรมของเฟส ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ (จุดขุ่น จุดไหลเท ความหนาแน่น ค่าความร้อน และกาบคาร์บอน) และการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ผลการศึกษาพบว่าน้ำมันปาล์มผสมดีเซล (1:1 โดยปริมาตร) สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (1:8 โดยโมล) และแอลกอฮอล์ ที่สัดส่วนร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตรเป็นสัดส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมิซัวร์่วมให้ผลที่น่าสนใจในด้านพฤติกรรมของเฟส คือ ส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ละลายในเฟสมิซัวร์่วมน้อยลง และการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วน 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 พบว่าสามารถลดความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ โดยสัดส่วนของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าลดลง และค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพจะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในทุกระบบแอลกอฮอล์ อีกทั้งยังพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วน 1:6:2 ส่งผลให้ค่าความหนาแน่น จุดไหลเท และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล ในขณะที่จุดขุ่นและกาบคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสีย ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วน 1:6:2 พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นองค์ประกอบของเฟสมิซัวร์่วมมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ลดลง ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งและน้ำมันดีเซล

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

# # 5770403821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: BIOFUEL / MICROEMULSION / BUTANOL / PALM OIL / ADDITIVE / GLYCOL ETHER

THAPANEE PIBOON: Effect of using butanol and glycol ether additives in enhancing performance of biofuel from palm oil based on microemulsion. ADVISOR: ASSOC. PROF.SUTHA KHAODHIAR, Ph.D. , 157 pp.

Palm oil is one alternative being considered for the biofuels production because they are natural renewable resources and high volume production. However vegetable oils cannot be used as fuels in engine directly because they have high viscosities and low volatilities. Therefore they must be improved in order to have the good quality to be suitably used by microemulsification. This research is to use microemulsion formation to produce biofuels by studying the effect of using alcohols which are ethanol, butanol and ethanol/butanol blends as a polar phase with glycol ether additives which are ethylene glycol butyl ether, diethylene glycol ethyl ether, propylene glycol ethyl ether and dipropylene glycol methyl ether on phase behavior kinematic viscosity at 15, 25, 30 and 40 °C fuel properties (cloud point, pour point, heat of combustion and carbon residue) and the exhaust emissions. The result showed that palm oil/diesel blends (1:1 v/v), methyl oleate mixed with 1-octanol (1:8 by mole) and alcohols at 60, 20 and 20 percent by volume which can be formulated biofuel in single phase and the use of butanol as a polar phase leads to remarkable phase behavior by reducing surfactant usage. The addition of glycol ether additives in enhancing performance of the biofuels based on palm oil with octanol at ratio 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 and 1:3:5 affects the viscosity of the microemulsion fuels. Therefore the increase proportion of an additive leads to the decrease of viscosity of microemulsion fuels. The kinematic viscosities of all the alcohol systems decrease as the temperature of the system increase. Besides the microemulsion fuels prepared from propylene glycol ethyl ether in the ratio 1:6:2 leading to the effect which density, pour point and heat of combustion of microemulsion fuels all are in the biodiesel standard, whereas cloud point and carbon residue did not meet the standard. According to the study, the exhaust emission which are the carbon monoxide and carbon dioxide of microemulsion fuels prepared from propylene glycol ethyl ether in the ratio 1:6:2, as a result, the carbon monoxide emission from a diesel engine operated with diesel-palm oil-butanol microemulsions is less than the microemulsion fuels which is not be added by any additives and diesel fuel while the carbon dioxide emission increases.

Department: Environmental Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Environmental Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างยิ่งจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุชา งามเขียว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล และ อาจารย์ ดร.นวลกมล อภรณ์พงษ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมทั้งให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางการแก้ไขต่างๆ เพื่อความสมบูรณ์ของงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. อัมพิรา เจริญแสง ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณ คุณรามนรี เนตรวิเชียร ที่ช่วยให้คำแนะนำในระหว่างการดำเนินการทดลอง พร้อมทั้งช่วยอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และสารเคมีในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชดชนก อัฒมพงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดปริมาณก๊าซไอเสีย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในหลายๆรายวิชาตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดระยะเวลาการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัยเป็นอย่างสูง ที่คอยให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ .....	๗
หน้า.....	๗
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) .....	5
2.2 น้ำมันพืช (Vegetable oil).....	7
2.3 น้ำมันปาล์ม (Palm oil).....	12
2.4 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืช.....	15
2.4.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรงและการผสมกับน้ำมันดีเซล.....	15
2.4.2 การสลายตัวด้วยความร้อน .....	15
2.4.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน .....	16
2.4.4 ไมโครอิมัลชัน .....	17

2.5 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (Microemulsion fuel) .....	18
2.6 แผนภาพสามเหลี่ยม (Tertiary Phase Diagram) .....	20
2.7 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	21
2.7.1 สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant) .....	22
2.7.2 สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Cationic surfactant).....	22
2.7.3 สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactant).....	23
2.7.4 สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Amphoteric surfactant).....	23
2.8 ค่าเฮลฟิลิซิตี หรือ ค่าความชอบน้ำ (Hydrophilic-Lipophilic Balance, HLB).....	23
2.9 สารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant).....	24
2.10 แอลกอฮอล์ (Alcohol).....	25
2.10.1 เอทานอล (Ethanol).....	25
2.10.2 บิวทานอล (Butanol) .....	26
2.11 สารเติมแต่ง (Additive).....	26
2.11.1 ไกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether).....	27
2.12 สมบัติของเชื้อเพลิง (Fuel property) .....	29
2.12.1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity) .....	29
2.12.2 จุดขุ่น (Cloud point).....	29
2.12.3 จุดไหลเท (Pour point).....	30
2.12.4 จุดวาบไฟ (Flash point) .....	30
2.12.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) .....	30
2.12.6 ค่าซีเทน (Cetane number) .....	30
2.12.7 กากคาร์บอน (Carbon residue).....	30
2.12.8 ปริมาณเถ้า (Ash content) .....	31



2.12.9 ปริมาณน้ำ (Water content).....	31
2.12.10 ค่าความเป็นกรด (Acid number).....	31
2.12.11 ค่าความร้อน (Gross heat of combustion).....	31
2.13 มาตรฐานน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล .....	32
2.14 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel) .....	33
2.15 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล .....	34
2.15.1 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	34
2.15.2 เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ.....	34
2.16 ไบโอดีเซล (Biodiesel).....	35
2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	35
2.18 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	48
3.1 แผนการทดลอง .....	48
3.2 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี .....	50
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	50
3.2.2 สารเคมี.....	51
3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	53
3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 : ศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจาก น้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม.....	53
3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 : การเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	55
3.3.3 การทดลองช่วงที่ 3 : ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโคร อิมัลชัน.....	57
3.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 : ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	60
3.3.5 การทดลองช่วงที่ 5 : ศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน..	64

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล .....	66
4.1 ผลของแอลกอฮอล์ต่อการเกิดวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธี ไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม.....	66
4.2 ผลการศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	68
4.3 ผลการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	74
4.3.1 ผลการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	74
4.3.2 ผลการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ อุณหภูมิต่างๆ.....	76
4.4 ผลการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	81
4.4.1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	81
4.4.2 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	82
4.4.3 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	86
4.4.4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	89
4.4.5 กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	90
4.5 ผลการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	99
บทที่ 5 สรุปผลวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	102
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	102
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	104
5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	104
รายการอ้างอิง .....	106
ภาคผนวก.....	110
ภาคผนวก ก .....	111
ภาคผนวก ข .....	118

ฉ

หน้า

ภาคผนวก ค .....	144
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	157



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ เอทานอลและไบโอดีเซล ปี 2553-2557.....	7
ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ.....	9
ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช .....	10
ตารางที่ 2-4 สมบัติที่สำคัญและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล .....	11
ตารางที่ 2-5 พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตที่ได้ของปาล์ม ถั่วเหลือง และมะพร้าวในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2559 .....	12
ตารางที่ 2-6 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันในเมล็ดปาล์ม .....	14
ตารางที่ 2-7 สมบัติของน้ำมันปาล์ม .....	14
ตารางที่ 2-8 ค่าความชอบน้ำต่อการกำหนดวัตถุประสงค์การนำไปใช้งานของสารลดแรงตึงผิว .....	24
ตารางที่ 2-9 สมบัติของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์.....	27
ตารางที่ 2-10 สมบัติของไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ .....	28
ตารางที่ 2-11 สมบัติของโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์.....	28
ตารางที่ 2-12 สมบัติของไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์.....	29
ตารางที่ 2-13 สมบัติของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM .....	32
ตารางที่ 2-14 สรุปรงานวิจัยที่ผ่านมา (ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน).....	47
ตารางที่ 3-1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ศึกษาในงานวิจัย.....	50
ตารางที่ 3-2 โครงสร้างและสมบัติของสารที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	52
ตารางที่ 3-3 ตัวแปรในการศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	53
ตารางที่ 3-4 ตัวแปรในการศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	55
ตารางที่ 3-5 ตัวแปรในการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	58
ตารางที่ 3-6 เครื่องมือและวิธีการที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิง.....	60
ตารางที่ 3-7 ตัวแปรในการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	61

ตารางที่ 3-8 ข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	64
ตารางที่ 4-1 การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase) และไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (separate phase) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	70
ตารางที่ 4-2 ความหนาแน่นของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์.....	82
ตารางที่ 4-3 ผลการศึกษาขั้นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลโอลิเอตเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วน ต่างๆในระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เป็นตัวแทนของเฟสมีสัก.....	83
ตารางที่ 4-4 ผลการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลโอลิเอตเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วน ต่างๆในระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เป็นตัวแทนของเฟสมีสัก.....	87
ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล .....	93
ตารางที่ 4-6 ผลการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	100

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพรายไตรมาสระหว่างปี 2551-2558 .....	6
ภาพที่ 2-2 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช .....	8
ภาพที่ 2-3 ผลปาล์มน้ำมัน.....	13
ภาพที่ 2-4 กลไกการสลายตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์ .....	16
ภาพที่ 2-5 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์.....	17
ภาพที่ 2-6 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันผ่านไตรกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ .....	17
ภาพที่ 2-7 ประเภทของไมโครอิมัลชัน.....	19
ภาพที่ 2-8 ลักษณะการเกิดไมเซลล์.....	20
ภาพที่ 2-9 แผนภาพสามเหลี่ยม .....	21
ภาพที่ 2-10 โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว .....	22
ภาพที่ 2-11 กลไกการทำงานร่วมกันของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันแบบรีเวิร์สไมเซลล์ .....	24
ภาพที่ 2-12 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	34
ภาพที่ 2-13 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ.....	34
ภาพที่ 3-1 แผนดำเนินการทดลอง .....	49
ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม .....	54
ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	56
ภาพที่ 3-4 หลอดวัดความหนืดชนิด Cannon-Fenske.....	58
ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	59
ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	63
ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	65
ภาพที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดแอลกอฮอล์ต่อพฤติกรรมของเฟสไมโครอิมัลชัน โดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยมของระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่าง	

เอทานอลกับบิวทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตรเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว โดยมีน้ำมันปาล์มผสมน้ำมัน  
ดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีซัวและเมทิลโอลลีเอตต่อออกทานอลที่  
1:8 โดยโมล..... 67

**ภาพที่ 4-2** ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะใสรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเปรียบเทียบกับ  
เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะขุ่นและเมื่อตั้งทิ้งไว้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการแยกชั้น ..... 69

**ภาพที่ 4-3** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่  
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว ..... 75

**ภาพที่ 4-4** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่  
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว ..... 75

**ภาพที่ 4-5** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่  
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล..... 76

**ภาพที่ 4-6** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่  
อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว ..... 77

**ภาพที่ 4-7** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่  
อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว ..... 77

**ภาพที่ 4-8** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่  
อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล..... 78

**ภาพที่ 4-9** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่  
อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว ..... 78

**ภาพที่ 4-10** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์  
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว..... 79

**ภาพที่ 4-11** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์  
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล ..... 79

**ภาพที่ 4-12** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์  
ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว..... 80

**ภาพที่ 4-13** ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์  
ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว..... 80

ภาพที่ 4-14 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล .....	81
ภาพที่ 4-15 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	90
ภาพที่ 4-16 เชื้อเพลิงชีวภาพใน crucible ก่อนเผา และกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ เหลือหลังการเผาด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ .....	90
ภาพที่ 4-17 กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	91
ภาพที่ 4-18 เครื่องวัดปริมาณไอเสีย (gas analyzer testo 310) .....	99





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากภาวะวิกฤตพลังงานโลกและทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ก่อให้เกิดความตื่นตัวและความพยายามในการแสวงหาแหล่งเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย สำหรับประเทศไทยมีความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อการคมนาคมขนส่งมากกว่าด้านอื่นๆจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด ปัจจุบันแหล่งพลังงานในประเทศไทยมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมที่จำเป็นต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อเป็นการทดแทนและลดการนำเข้าของน้ำมันปิโตรเลียม ความพยายามในการหาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียนที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น (renewable energy) จึงเป็นสิ่งที่เราทุกคนควรตระหนัก (พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และลลิตา อัตนโณ, 2549) ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าของน้ำมันและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่วัตถุดิบทางการเกษตร เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ซึ่งน้ำมันปาล์มถือเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพและสามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เป็นผลผลิตที่เกษตรกรสามารถผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศและจัดเป็นพืชหมุนเวียน ให้ปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ปลูกสูงกว่าพืชชนิดอื่น อีกทั้งยังมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำมันพืชในปัจจุบัน แต่เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งน้ำมันพืชยังมีสมบัติระเหยกลายเป็นไอได้ทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก จึงส่งผลให้เครื่องยนต์ติดยากและเกิดคราบเขม่าเกาะติดที่บริเวณหัวฉีด กระบอกสูบ แหวน และวาล์ว (นคร ทิพย์าวงศ์, 2558) นอกจากนี้ยังแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดเป็นไข จึงไม่สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงได้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพให้มีความเหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพมี 4 วิธี ได้แก่ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง (direct use and blending) การสลายตัวด้วยความร้อน (pyrolysis) ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) และการทำให้เป็นไมโครอิมัลชัน (microemulsion) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการที่น่าสนใจและถูกเลือกใช้ในการศึกษาวิจัยนี้

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีการไมโครอิมัลชัน เป็นวิธีที่ผลิตได้ง่าย ไม่ซับซ้อน จะอาศัยการทำงานของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นตัวประสานน้ำมันดีเซล แอลกอฮอล์ และ

น้ำมันพืช ให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จะมีลักษณะใสและไม่แยกชั้นออกจากกัน ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่ต้องใช้พลังงานมาก ไม่ก่อให้เกิดของเสียและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต จึงเป็นการพัฒนาปรับปรุงสมบัติของน้ำมันพืชให้สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นหัวใจสำคัญของกระบวนการนี้คือการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมสำหรับการทำให้เกิดการรวมตัวของเชื้อเพลิงชีวภาพ

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาผลของการใช้แอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสที่มีขั้วร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความร้อน จุดขุ่น จุดไหลเท ความหนาแน่น กากคาร์บอน และการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ในงานวิจัยเลือกใช้น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ เมทิลโอเลเอต ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและได้จากธรรมชาติ มีออกทานอลทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล จากนั้นทำการศึกษสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล และการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการใช้บิวทานอลร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1.2.2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม แอลกอฮอล์ (เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล) และสารเติมแต่งชนิดต่างๆสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันโดยการใช้สารเติมแต่งร่วมกับแอลกอฮอล์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

1.2.4 เพื่อศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้

## 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

การใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสที่มีขั้วร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อันได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความร้อน จุดขุ่น จุดไหลเท ความหนาแน่น กากคาร์บอน และการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้ เนื่องจากบิวทานอลมีสมบัติไฮโดรโฟบิกที่สูง สามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี จึงส่งผล

ให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ละลายเฟสที่มีขั้วน้อยลงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เอทานอล ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ดังนั้นการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ร่วมกับบิวทานอลจะส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดและปริมาณการปลดปล่อยไอเสียลดลง รวมถึงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการชั้น 4 ตึกปฏิบัติการรวมวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังต่อไปนี้

1.4.1 น้ำมันพืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

1.4.2 ใช้เอทานอล เกรดทางการค้า ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 และบิวทานอล เกรดการวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 เป็นตัวแทนของเฟสที่มีขั้ว

1.4.3 สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ เมทิลโอลลีเอต ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุและได้จากธรรมชาติ สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ คือ ออกทานอล ในอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 1:8 โดยโมล (Arpompong, 2013)

1.4.4 สารเติมแต่ง (Additive) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ อันได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (ethylene glycol butyl ether: EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (diethylene glycol ethyl ether: DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (propylene glycol ethyl ether: PGEE) และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (dipropylene glycol methyl ether: DPGME) เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งเป็น 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5

1.4.5 วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล และเปรียบเทียบกับสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้ทำการเติมสารเติมแต่ง โดยสมบัติที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความหนืดจลนศาสตร์ (kinematic viscosity) ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ค่าความร้อน (heat of combustion) จุดขุ่น (cloud point) จุดไหลเท (pour point) และกากคาร์บอน (carbon residue)

1.4.6 การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำการวิเคราะห์ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้แนวทางในการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วยเทคโนโลยีไมโครอิมัลชันจากการใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์

1.5.2 เป็นแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.5.3 ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีศักยภาพใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

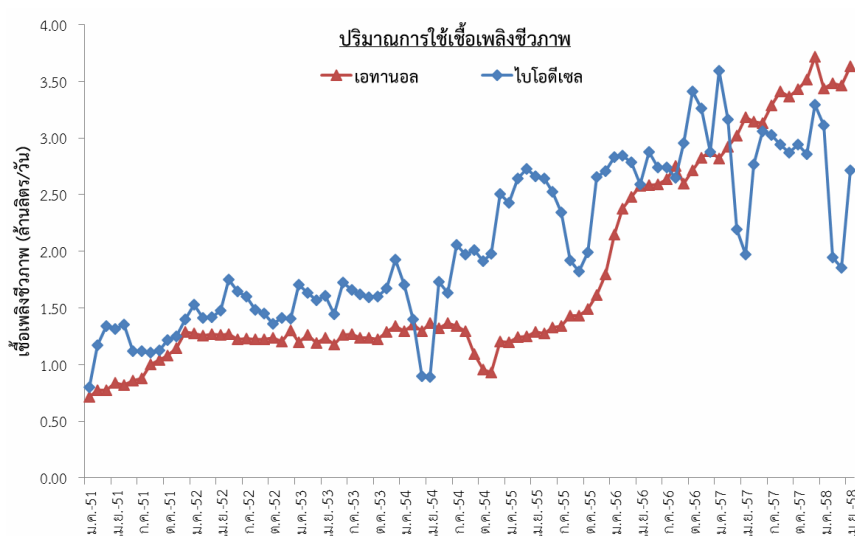
เชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ Biofuel คือเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากชีวมวล (biomass) หรือสารที่ได้จากพืชและสัตว์ โดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) พืชจะเก็บรวบรวมพลังงานจากดวงอาทิตย์เอาไว้โดยจะเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในรูปของสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อมนุษย์และสัตว์บริโภคพืชเป็นอาหารก็จะเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เราเรียกสารอินทรีย์เหล่านี้ว่า ชีวมวล เมื่อชีวมวลเหล่านั้นถูกนำมาผ่านกระบวนการที่เหมาะสมก็จะสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน และปิโตรเลียม ซึ่งเป็นพลังงานสิ้นเปลืองตรงที่เชื้อเพลิงชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถฟื้นฟูหรือสร้างทดแทนขึ้นใหม่ได้ ทรายที่ต้นไม้และพืช ไม่ถูกทำลายในอัตราที่รวดเร็วเกินไป นอกจากนี้การเผาเชื้อเพลิงชีวภาพยังก่อให้เกิดก๊าซพิษในปริมาณที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงอื่นๆ อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น อันเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHG) ที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน (Greenhouse effect) ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการผลิตเป็นพลังงานทดแทนและช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

เนื่องด้วยสถานะที่หลากหลายของเชื้อเพลิงชีวภาพ ทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จึงก่อให้เกิดความสับสนต่อการนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ต่างๆ เป็นผลให้มีการค้นคว้าและพยายามใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวภาพมากขึ้นโดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้ว สำหรับประเทศไทยความสามารถในการผลิตพลังงานใช้เองภายในประเทศทำได้เพียงบางส่วน ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องควบคู่กับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้การพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้รับความสนใจมากขึ้นและต้องเร่งดำเนินการ โดยการแสวงหาแหล่งพลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นพลังงานที่ยั่งยืน และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย น้ำมันสกัดจากพืชจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

#### สถานการณ์การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพของประเทศไทย

จากแนวพระราชดำริเรื่องพลังงานทดแทนของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 พระราชทานพลังงานได้ยึดถือแนวคิดเรื่องพลังงานทดแทนและนำมาเป็นนโยบายหลักในการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ โดยเฉพาะการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบพลังงานทดแทน

ที่มีอยู่ภายในประเทศมาทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินและดีเซล โดยได้ดำเนินการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพตั้งแต่ปี 2547 จนกระทั่งปี 2551 เกิดวิกฤตการณ์พลังงานโลกส่งผลให้ราคาน้ำมันดิบเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เชื้อเพลิงชีวภาพจึงเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจและมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดการนำเข้าของน้ำมันปิโตรเลียม เชื้อเพลิงชีวภาพที่เรารู้จักกันดีในชื่อของไบโอดีเซล และไบโอเอทานอล ก็เริ่มมีการใช้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558) แสดงปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพรายไตรมาสระหว่างปี 2551-2558 ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพรายไตรมาสระหว่างปี 2551-2558

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

ในปี 2554 ไบโอดีเซลเริ่มมีการใช้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยกระทรวงพลังงานได้มีการเพิ่มสัดส่วนของไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 3-5 และได้เพิ่มสัดส่วนผสมของไบโอดีเซลเป็นร้อยละ 7 ในปี 2557 เนื่องจากความผันผวนตามฤดูกาลของน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ส่งผลให้กระทรวงพลังงานมีความจำเป็นต้องปรับสัดส่วนผสมของไบโอดีเซลให้สอดคล้องกับปริมาณการผลิตของน้ำมันปาล์มในประเทศ สำหรับปริมาณการใช้เอทานอลนั้นเพิ่มขึ้นอย่างมากในปี 2556 เนื่องจากได้มีการประกาศยกเลิกใช้น้ำมันเบนซิน ออกเทน 91 ของกระทรวงพลังงาน และจากราคาของน้ำมันดิบโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ประชาชนหันมาใช้แก๊สโซฮอล์ ทำให้ปริมาณการใช้เอทานอลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558) แสดงปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ เอทานอลและไบโอดีเซล ปี 2553-2557 ดังตารางที่ 2-1

**ตารางที่ 2-1** การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ เอทานอลและไบโอดีเซล ปี 2553-2557

เชื้อเพลิงชีวภาพ	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ล้านลิตรต่อวัน)				
	ปี 2553	ปี 2554	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557
เอทานอล	1.2	1.2	1.4	2.6	3.2
ไบโอดีเซล	1.7	2.1	2.7	2.9	2.9
รวม	2.9	3.3	4.1	5.5	6.1

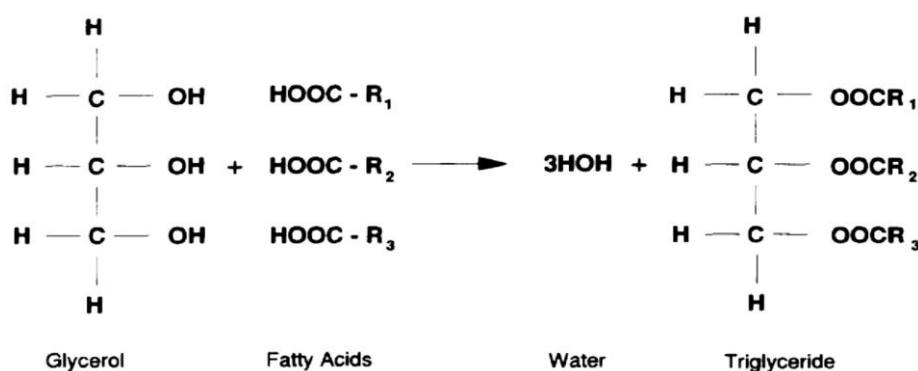
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558

เพื่อเป็นการสนับสนุนนโยบายพลังงานทดแทนของกระทรวงพลังงาน การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากพืชน้ำมันหรือไบโอดีเซล จึงเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากง่ายต่อการผลิต ต้นทุนในการผลิตต่ำ และวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตสามารถหาได้ง่ายและจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีในประเทศ อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมผลผลิตทางการเกษตรและเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร สามารถลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษทางอากาศ เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละออง อันก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

## 2.2 น้ำมันพืช (Vegetable oil)

น้ำมันพืช (vegetable oil) คือ น้ำมันที่สกัดได้จากพืชน้ำมันหลากหลายชนิด โดยพืชน้ำมันเป็นพืชที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบในเมล็ดหรือผล เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง งา สบู่ดำ เมล็ดเรพ และทานตะวัน เป็นพืชที่ให้น้ำมันในส่วนที่เป็นเมล็ด ส่วนปาล์มน้ำมันและมะพร้าวจะให้น้ำมันในส่วนที่เป็นผล ซึ่งปริมาณน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบจะแตกต่างกันตามชนิดของพืชน้ำมันนั้นๆ น้ำมันพืชมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 10 ถึง 12 และมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 10 ถึง 30 อะตอม มีสูตรโครงสร้างเป็น  $C_3H_5$  เกิดจากการรวมตัวของกลีเซอรอล 1 โมเลกุลซึ่งจะเชื่อมต่อกับกรดไขมันด้วยพันธะเอสเทอร์ โดยกรดไขมันคิดเป็นร้อยละ 94 ถึง 96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (Ali และคณะ, 1994) ดังภาพที่ 2-2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันพืชมีสมบัติเป็นไปตามองค์ประกอบของกรดไขมัน ส่วนใหญ่แล้วกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชจะประกอบด้วยจำนวนคาร์บอนระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว โดยมีทั้งกรดไขมันประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณที่แตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่สูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ลดลงหรือกล่าวได้ว่ามีปริมาณของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงขึ้น ค่าไอโอดีนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย (พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล และ ลลิตา อัจฉริยะ, 2549) ดังนั้นในการเลือกพืชชนิด

โตมาใช้จะต้องคำนึงถึงปริมาณองค์ประกอบของน้ำมัน และความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูก  
พืชน้ำมันในพื้นที่ (นคร ทิพย์าวงศ์, 2558)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช

(Ali และคณะ, 1994)

จากการที่น้ำมันพืชมีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุลทำให้น้ำมันพืชไม่เสถียรอยู่ตัว เมื่อสัมผัส  
อากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาได้นาน ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนี  
ในการบอกถึงปริมาณพันธะคู่ในโครงสร้างของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ โดยจะบ่งบอกถึงความยากง่ายของ  
การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งน้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ง่าย  
และเร็วกว่าน้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า และเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิสูง น้ำมันก็  
จะรวมกันเป็นก้อนและกลายเป็นสารเหนียวขึ้น ฉะนั้นน้ำมันพืชที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงควรมีค่า  
ไอโอดีนที่ต่ำ จึงจะสามารถป้องกันการเกิดยางเหนียวติดในเครื่องยนต์ได้

น้ำมันพืชสามารถแบ่งได้เป็น 3 พวกใหญ่ๆตามค่าของไอโอดีน ดังนี้

- ก) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 160 ถึง 230 เป็นน้ำมันที่สามารถเกิดปฏิกิริยา  
พอลิเมอไรเซชันได้มาก เช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันมะกอก เป็นต้น
- ข) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 125 ถึง 150 เช่น น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ด  
ยางพารา
- ค) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันรำข้าว  
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันปาล์ม

น้ำมันพืชประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวที่พบในน้ำมันพืช ได้แก่  
กรดลอริก (lauric acid) กรดไมริสติก (myristic acid) กรดปาลมิติก (palmitic acid) และกรด  
สเตียริก (stearic acid) ในขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วย กรดโอเลอิก (oleic acid) กรด



ไลโนเลอิก (linoleic acid) และกรดไลโนเลนิก (linolenic acid) แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2-2 และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ดังตารางที่ 2-3

**ตารางที่ 2-2** องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	ถั่วเหลือง	เมล็ดฝ้าย	ปาล์ม	มะพร้าว	ไขมันสัตว์
กรดลอริก	0.1	0.1	0.1	46.5	0.1
กรดไมริสติก	0.1	0.7	1.0	19.2	2.8
กรดปาล์มิติก	10.2	20.1	42.8	9.8	23.3
กรดสเตียริก	3.7	2.6	4.5	3.0	19.4
กรดโอเลอิก	22.8	19.2	40.5	6.9	42.4
กรดไลโนเลอิก	53.7	55.2	10.1	2.2	2.9
กรดไลโนเลนิก	8.6	0.6	0.2	0.0	0.9

ที่มา: นคร ทิพย์วงศ์, 2558

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช

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 อตันโถ, 2549

เนื่องด้วยน้ำมันพืชมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันเบนซิน น้ำมันพืชจึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลมากกว่า และด้วยค่าความร้อนที่สูงพอที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ จึงได้มีความพยายามนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยน้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณร้อยละ 83 ถึง 85 ของน้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชมีความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้หัวฉีดฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก เป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบท่อหรือระบบกรองอุดตันได้ง่าย อีกทั้งน้ำมันพืชยังมีสมบัติระเหยตัวได้น้อยมาก การจุดระเบิดจึงเกิดขึ้นได้ยาก ทำให้เครื่องยนต์ติดยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด กระจบอกสูบ แหวน และวาล์ว นอกจากนี้ น้ำมันพืชยังมีสมบัติเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ในขณะที่น้ำมันดีเซลไม่มี ด้วยสมบัติที่แตกต่างกันนี้จึงไม่สามารถนำน้ำมันพืชไปใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงได้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันพืชให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน

**ตารางที่ 2-4 สมบัติที่สำคัญและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล**

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความหนาแน่น ที่ 21 องศาเซลเซียส (กรัม/มิลลิกรัม.)	ความหนืด ที่ 21 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
น้ำมันถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
น้ำมันดอกทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
น้ำมันมะพร้าว	0.915	51.9	37,540
น้ำมันถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
น้ำมันปาล์ม	0.898	88.6	39,550
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
น้ำมันเมล็ดในสบู่ดำ	0.915	36.9	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

ที่มา: พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล และ ลลิตา อัตนโถ, 2549

### การผลิตพืชน้ำมันในประเทศไทย

ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ พืชน้ำมันนับเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต สำหรับในประเทศไทยนั้น มีพืชน้ำมันที่ทำการปลูกและจัดเป็นพืชน้ำมันเศรษฐกิจของประเทศมีอยู่ด้วยกัน 6 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ละหุ่ง ถั่วลิสง และงา ในจำนวนพืชทั้ง 6 ชนิดที่กล่าวมานี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีปริมาณผลผลิตในแต่ละปีมากที่สุด โดยปี พ.ศ. 2443-2544 ผลผลิตของปาล์มน้ำมันอยู่ที่ประมาณ 3.3 ล้านตัน รองลงมาได้แก่ มะพร้าว ซึ่งมีผลผลิต 1.4 ล้านตัน ปาล์มน้ำมันจึงเป็นพืชน้ำมันที่ได้รับการสนับสนุน ส่งเสริมให้มีการปลูกเพิ่มขึ้นเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น ไบโอดีเซล (นคร ทิพย์าวงศ์, 2558) และจากสถิติการเกษตรของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2559 พืชน้ำมันที่ได้รับการสนับสนุนให้ทำการเพาะปลูกภายในประเทศมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ ปาล์ม น้ำมัน ถั่วเหลือง และมะพร้าว โดยพื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตที่ได้ระหว่างปี พ.ศ. 2557-2559 แสดงดังตาราง 2-5

ตารางที่ 2-5 พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตที่ได้ของปาล์ม ถั่วเหลือง และมะพร้าวในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2559

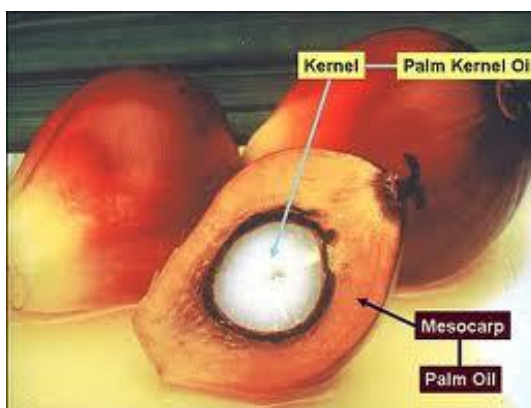
	พ.ศ. 2557		พ.ศ. 2558		พ.ศ. 2559	
	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิตต่อ ไร่ (กิโลกรัม)	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิตต่อ ไร่ (กิโลกรัม)	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
1. ปาล์ม	4,024	3,100	4,276	2,579	4,276	2,576
2. ถั่วเหลือง	237	243	217	262	212	264
3. มะพร้าว	1,308	775	1,300	773	1,207	755

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559

จากตารางที่ 2-5 เมื่อเปรียบเทียบพืชน้ำมันดังกล่าวทั้งในด้านพื้นที่ในการเพาะปลูก และปริมาณผลผลิตแล้ว ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่มีปริมาณเพียงพอสำหรับการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพมากกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีการเพาะปลูกมากที่สุดในประเทศ และให้ผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกสูงที่สุด

### 2.3 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่สกัดได้จากผลของต้นปาล์มน้ำมัน (oil palm) ซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องด้วยปริมาณการผลิตที่สูงต่อปี น้ำมันปาล์มจึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ปาล์มน้ำมันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา เป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ อีกทั้งปาล์มน้ำมันเติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนชื้นจึงเหมาะที่จะปลูกบริเวณพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ ในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี กระบี่ ตรัง สงขลา และสตูล โดยน้ำมันที่สกัดได้จากผลของต้นปาล์มน้ำมัน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (palm oil) สกัดได้จากส่วนเปลือกนอกของผลปาล์มน้ำมัน (mesocarp) ในส่วนที่เป็นเส้นใย ซึ่งเป็นส่วนที่มีน้ำมันสูง และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) ที่สกัดได้จากเมล็ดในของผลปาล์มน้ำมัน (kernel) แสดงดังภาพที่



ภาพที่ 2-3 ผลปาล์มน้ำมัน

(นิธิยา รัตนাপนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2550)

น้ำมันปาล์มและน้ำมันในเมล็ดปาล์มมีสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันปาล์มจะมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอน 16 ตัว ขณะที่น้ำมันเมล็ดในปาล์มมีกรดไขมันที่มีคาร์บอน 12 ตัวเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีสมบัติที่คล้ายกับน้ำมันมะพร้าว ที่อุณหภูมิห้องน้ำมันปาล์มจะมีลักษณะเป็นของเหลวปะปนอยู่กับของแข็ง ก่อนนำน้ำมันปาล์มไปใช้เพื่อการประกอบอาหารจะต้องทำให้น้ำมันปาล์มมีความบริสุทธิ์โดยการกำจัดกรด กลิ่น สี และทำการแยกส่วนที่เป็นของเหลวและของแข็งออกจากกัน ในส่วนที่เป็นของเหลวที่แยกออกมานั้นจะเรียกว่า น้ำมันปาล์มโอสลิน ส่วนที่เป็นของแข็งเรียกว่า น้ำมันปาล์มสเตียรีน สามารถนำไปใช้ในการทำเนยเทียม ครีมเทียม และสบู่ ซึ่งสัดส่วนของน้ำมันปาล์มโอสลินและปาล์มสเตียรีนจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน (พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล และลลิตา อัตนโถ, 2549) แสดงองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันในเมล็ดปาล์ม ดังตารางที่ 2-6 และแสดงสมบัติของน้ำมันปาล์มดังตารางที่ 2-7

**ตารางที่ 2-6** องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันในเมล็ดปาล์ม

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม
กรดไขมันอิ่มตัว	ร้อยละ 50	ร้อยละ 82
กรดคาพริก (C6:0)	-	0.1 - 0.5
กรดคาไพริก (C8:0)	-	3.4 - 5.9
กรดคาพริก (C10:0)	-	3.3 - 4.4
กรดลอริก (C12:0)	0.1 - 0.4	46.3 - 51.1
กรดไมริสติก (C14:0)	1.0 - 1.4	14.3 - 16.8
กรดปาล์มติก (C16:0)	40.9 - 47.5	6.5 - 8.9
กรดสเตียริก (C18:0)	3.8 - 4.8	1.6 - 2.6
กรดอะราคิก (C20:0)	0 - 0.8	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	ร้อยละ 50	ร้อยละ 18
กรดปาล์มโทเลอิก (C16:1)	0 - 0.6	-
กรดโอเลอิก (C18:1)	36.4 - 41.2	13.2 - 16.4
กรดไลโนเลอิก (C18:2)	9.2 - 11.6	2.2 - 3.4
กรดไลโนเลนิก (C18:3)	0 - 0.5	-

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2550

**ตารางที่ 2-7** สมบัติของน้ำมันปาล์ม

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้	หน่วย
ความหนืด (Kinematic viscosity) ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส	39.6	เซนติสโตกส์
จำนวนซีเทน (Cetane number)	42.0	-
ค่าความร้อน (Heating value)	39,550	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
จุดขุ่น (Cloud point)	31.0	องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ (Flash point)	267	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น (Density)	0.9180	กิโลกรัมต่อลิตร (กก./ล)

ที่มา: Srivastava และคณะ, 2000

## 2.4 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืช

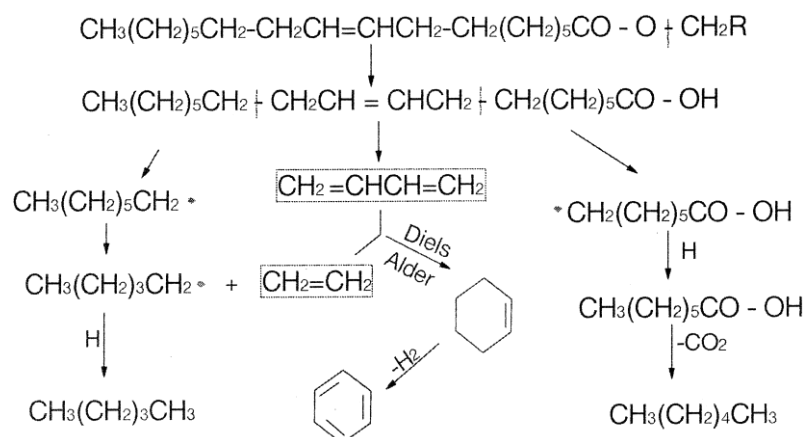
น้ำมันที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือที่เราเรียกกันว่า น้ำมันชีวภาพนั้น เป็นน้ำมันที่ผลิตได้จากทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่นที่สามารถสร้างขึ้นทดแทนได้และไม่มีวันหมดไป แต่การนำน้ำมันพืชไปใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงมีข้อจำกัดเนื่องจากน้ำมันพืชมีค่าความหนืดที่สูงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล และมีจุดเยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ จำเป็นต้องผ่านการปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมในระดับที่สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยการลดความหนืด ซึ่งวิธีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชสามารถทำได้ 4 วิธีหลักๆ ได้แก่ การใช้โดยตรงและการผสม (direct use and blending) การสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (pyrolysis) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) และการทำให้เป็นไมโครอิมัลชัน (microemulsion) (Ma และ Hanna, 1999)

### 2.4.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรงและการผสมกับน้ำมันดีเซล

การใช้น้ำมันพืชโดยตรงและการผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นหนึ่งในวิธีที่ทำได้ง่ายที่สุดในการลดความหนืดของน้ำมันพืช ซึ่งในอดีตได้มีการใช้น้ำมันพืชโดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซล แต่การใช้น้ำมันพืชแทนดีเซลก่อให้เกิดปัญหาน้ำมันพืชแตกตัวเป็นละอองฝอยได้ยาก เนื่องจากมีค่าความหนืดที่สูงและระเหยตัวได้ยาก ก่อให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด เป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่าในห้องเผาไหม้ มีการสึกหรอของลูกสูบและแหวนลูกสูบ (Do และคณะ, 2011) แต่หากเป็นการผสมในอัตราส่วน 10-20% กับน้ำมันดีเซล พบว่าเมื่อให้ความร้อนก่อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ไม่มีปัญหา แต่อาจมีน้ำมันบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้เข้าไปปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีลักษณะเป็นเจลเหนียวและหนืดขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวขึ้น อีกทั้งน้ำมันพืชยังมีค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลถึง 40 เท่า การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ความหนืดก็ยังคงมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล 18 เท่า (Ma และ Hanna, 1999)

### 2.4.2 การสลายตัวด้วยความร้อน

การสลายตัวด้วยความร้อน หรือ ไพโรไลซิส เป็นปฏิกิริยาการสลายไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ของน้ำมันพืชให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงด้วยความร้อนภายใต้สภาวะที่ไร้ออกซิเจน ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำมันพืชเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นไฮโดรคาร์บอนกลุ่มอัลเคนและอัลคีน คิดเป็น 60% โดยมวลตั้งต้น (นคร ทิพวงค์, 2558) รวมไปถึงสารประกอบอะโรมาติกและกรดคาร์บอกซิลิก แสดงกลไกการสลายตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์ ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 กลไกการสลายตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์

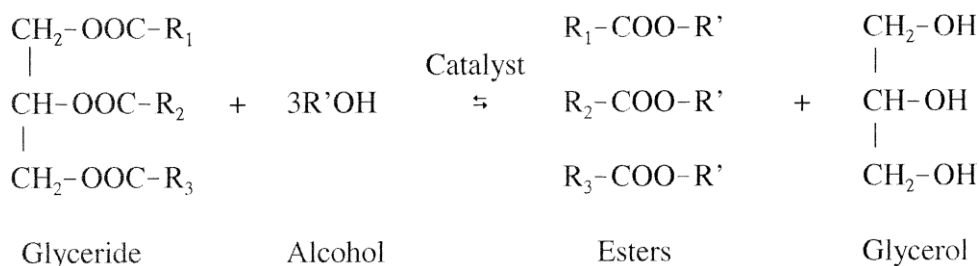
(Ma และ Hanna, 1999)

นอกจากนี้ยังพบว่าการสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น ผลิตรังสีที่ได้อาจจะมีขนาดเล็กมากขึ้น ในกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพง และผลิตรังสีที่ได้มีความหลากหลาย จำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเฉพาะเจาะจงในการเข้าทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลิตรังสีที่ต้องการ และใช้พลังงานในกระบวนการสูง บางครั้งปฏิกิริยาอาจเกิดไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดผลิตรังสีที่ไม่ต้องการ เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมนอกลิเซอไรด์ ยากต่อการควบคุมคุณภาพ (Do และคณะ, 2011) ดังนั้นกระบวนการนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

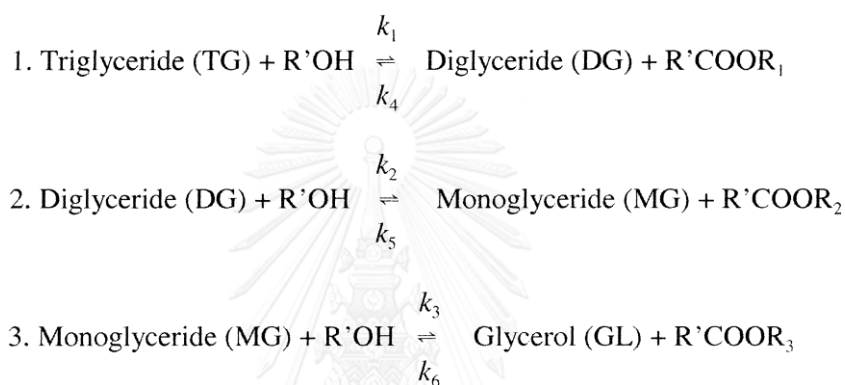
#### 2.4.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันหรือเรียกอีกอย่างว่า แอลกอฮอล์ไลซิส (alcohololysis) เป็นปฏิกิริยาที่ได้รับความนิยมและยอมรับกันอย่างแพร่หลายเพื่อใช้ในการลดความหนืดของน้ำมันพืช ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปสารประเภท ไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยจะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ คือ เมทานอล หรือเอทานอล แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบเอสเทอร์ และกลีเซอรอล เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้า ดังภาพที่ 2-5 โดยปฏิกิริยาจะเกิดผ่าน ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมนอกลิเซอไรด์ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะเกิดอัลคิลเอสเทอร์ 1 โมเลกุล เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้อัลคิลเอสเทอร์ 3 โมเลกุล และ 1 โมเลกุลของกลีเซอรอล ดังภาพที่ 2-6





ภาพที่ 2-5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์  
(Ma และ Hanna, 1999)



ภาพที่ 2-6 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันผ่านไตรกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์  
และโมโนกลีเซอไรด์ (Ma และ Hanna, 1999)

กระบวนการเปลี่ยนรูปของไตรกลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้นสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้หลายประเภท ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมคือการใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตมากกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพื่อเข้าสู่สมดุลนานกว่า กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการสลายด้วยความร้อน (นคร ทิพยาวงศ์, 2558) แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียเปรียบของวิธีนี้คือ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ยังมีจุดขุ่น (cloud point) และจุดไหลเท (pour point) ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 (Kothe, 2005)

#### 2.4.4 ไมโครอิมัลชัน

จากปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันพืชที่ยังคงมีค่าความหนืดสูง จึงมีความพยายามหาวิธีลดความหนืดของน้ำมันพืชเพื่อให้สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้ และเป็นวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมพบว่ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชด้วยวิธีไมโครอิมัลชันเป็นอีกหนึ่งในวิธีที่น่าสนใจ

ที่สามารถลดความหนืดของน้ำมันพืชได้ โดยการทำให้ของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันโดยอาศัยสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เป็นตัวประสานและสารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) เป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวให้ของเหลวรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิดการแยกชั้นออกจากกัน และให้ได้ขนาดอนุภาค 1 ถึง 150 นาโนเมตร (Rosen, 2004) โดยข้อดีของกระบวนการไมโครอิมัลชัน คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ง่าย และสะดวกต่อการดำเนินการ ไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ก่อนนำไปใช้งาน และไม่เกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีส่วนผสมกับเอทานอลจะมีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำ ส่งผลให้การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และควันดำลดลง (Lif และ Holmberg, 2006)

## 2.5 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (Microemulsion fuel)

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน เนื่องจากน้ำมันพืชมีค่าความหนืดสูงเป็นอุปสรรคต่อการนำไปใช้กับเครื่องยนต์โดยตรง จึงมีความจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสม ซึ่งกระบวนการไมโครอิมัลชันเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีพัฒนาน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ ต้นทุนการผลิตต่ำ ทำได้ง่าย ไม่เกิดของเสียและผลพลอยได้จากกระบวนการ อีกทั้งน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้ยังมีการปล่อยไอเสีย เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ในปริมาณที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป

กระบวนการไมโครอิมัลชันจะอาศัยการทำงานของสารลดแรงตึงผิว โดยสารลดแรงตึงผิวจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานของเหลวสองชนิดที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน นั่นคือ เฟสของน้ำมัน (น้ำมันพืชและน้ำมันดีเซล) และเอทานอล ให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยไม่แยกชั้นออกจากกัน และมีสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว ลักษณะของอิมัลชันที่ได้จะโปร่งใส และมีขนาดอนุภาคของเอทานอลซึ่งเป็นวัฏภาคที่อยู่ภายในเฟสของน้ำมันที่เกิดจากกระบวนการไมโครอิมัลชันมีขนาดประมาณ 1 ถึง 150 นาโนเมตร

ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบตามระบบของ Winsor ที่เรียกว่า Winsor type

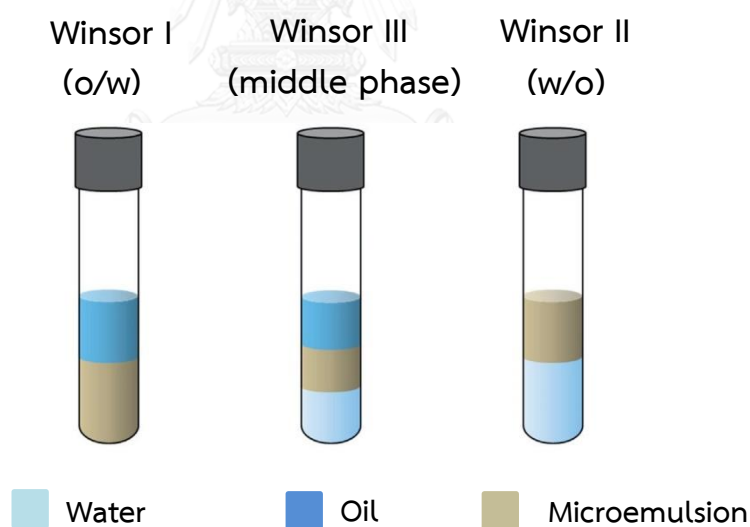
Winsor type I (oil in water, o/w) ลักษณะการเกิดอิมัลชันเป็นแบบหยดน้ำมันอยู่ในน้ำ หรือที่เรียกว่า ไมเซลล์ (normal micelle form) สารลดแรงตึงผิวที่ก่อให้เกิดอิมัลชันลักษณะนี้ควรมีค่า HLB สูง ( $HLB > 7$ )

Winsor type II (water in oil, w/o) ลักษณะการเกิดอิมัลชันเป็นแบบหยดน้ำในน้ำมัน เรียกโครงสร้างของอิมัลชันแบบนี้ว่า รีเวิร์สไมเซลล์ (reverse micelle form) สารลดแรงตึงผิวที่ก่อให้เกิดอิมัลชันในลักษณะนี้ควรมีค่า HLB ต่ำ ( $HLB < 7$ )

Winsor type III (middle phase) ลักษณะการเกิดอิมัลชันเป็นแบบที่มี 3 ชั้น นั่นคือ เฟสของไมโครอิมัลชันจะอยู่ตรงกลาง เฟสของน้ำมันลอยอยู่ด้านบน และเฟสของน้ำอยู่ชั้นล่าง

Winsor type IV (single phase) เป็นลักษณะการเกิดอิมัลชันที่มีความหนืดขึ้น และไม่มีการแยกชั้นเกิดขึ้น

ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันนั้น จะพิจารณาไมโครอิมัลชันแบบ Winsor type II เนื่องจากลักษณะไมโครอิมัลชันที่เกิดขึ้นมีลักษณะใส เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อมองด้วยตาเปล่า แสดงประเภทของไมโครอิมัลชัน ดังภาพที่ 2-7 และลักษณะการเกิดไมเซลล์ (micelle) และรีเวิร์สไมเซลล์ (reverse micelle) ดังภาพที่ 2-8

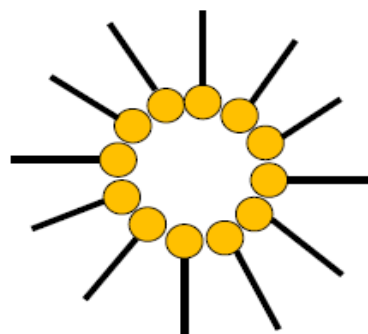


ภาพที่ 2-7 ประเภทของไมโครอิมัลชัน

(Gudina และคณะ, 2013)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2-8 ลักษณะการเกิดไมเซลล์ (ก) Normal micelle (ข) Reverse micelle

(Wang และคณะ, 2014)

จะเห็นได้ว่าจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน สารลดแรงตึงผิวนับว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการ ดังนั้นการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมจึงเป็นหัวใจสำคัญที่จะทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้

## 2.6 แผนภาพสามเหลี่ยม (Tertiary Phase Diagram)

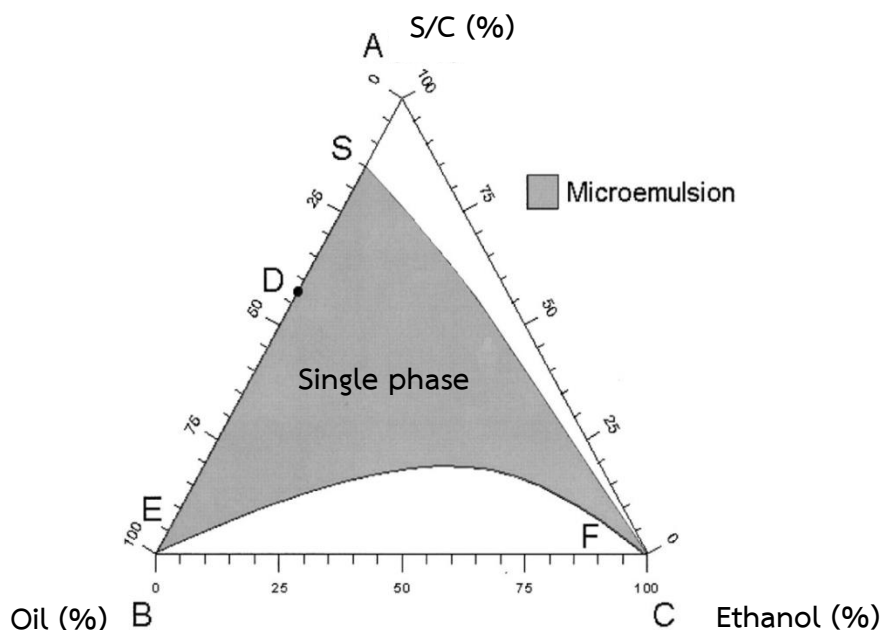
แผนภาพสามเหลี่ยมจะแสดงความสัมพันธ์ของสารต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏภาค โดยแผนภาพสามเหลี่ยมนี้เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า ประกอบไปด้วยจุด 3 แกน และ 5 องศาประกอบ (Arpornpong และคณะ, 2014) ดังภาพที่ 2-9 ในแต่ละแกนจะแสดงค่าในสัดส่วนของร้อยละ ดังนี้

แกน A แสดงสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม

แกน B แสดงสัดส่วนของน้ำมัน (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล)

แกน C แสดงสัดส่วนของเอทานอล

เมื่อนำสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบ อันได้แก่ สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม น้ำมัน (น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล) และเอทานอลมารวมกัน จะคิดเป็นร้อยละ 100 และจากภาพที่ 2-9 บริเวณที่แรเงาที่อยู่เหนือเส้นจะแสดงสัดส่วนที่ทำให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase)



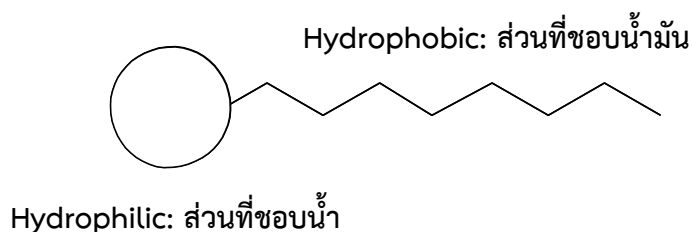
ภาพที่ 2-9 แผนภาพสามเหลี่ยม

(Dantas และคณะ, 2001)

## 2.7 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิว หรือ Surface Active Agent เดิมมาจากภาษาเยอรมันที่มีชื่อว่า Tensid โดยนักเคมีชาวเยอรมัน สารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ผิวหรือพื้นที่ระหว่างผิว (Surface or Interface) โดยการทำงานของสารลดแรงตึงผิวนั้นจะทำงานบนพื้นที่ผิวที่เฟสแตกต่างกัน เช่น น้ำ และน้ำมัน ที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ จำเป็นต้องอาศัยสารลดแรงตึงผิวเข้าไปเป็นตัวประสานโดยจะลดแรงตึงผิวหรือขจัดความแตกต่างระหว่างผิวทำให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบไปด้วยคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวที่เป็นสารที่ชอบน้ำ (hydrophilic) มักจะเป็นส่วนที่มีขั้วสูง (highly polar) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออน เป็นส่วนที่เกาะติดโมเลกุลของน้ำ และส่วนหางที่เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ แต่ชอบน้ำมัน (hydrophobic) ลักษณะเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาว เป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว (non polar) รวมตัวกับโมเลกุลของไขมันได้ดี จากส่วนประกอบสองส่วนที่มีสมบัติตรงข้ามกันนี้ทำให้สารลดแรงตึงผิวไปเชื่อมระหว่างสองเฟสที่แตกต่างกันได้ โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวแสดงดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว

ลักษณะที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิว คือ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวลงไปในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะละลายน้ำและสามารถลดแรงตึงผิวของน้ำให้เกิดกระบวนการต่างๆได้ง่ายขึ้น เช่น การทำให้เปียก การเกิดฟอง และกระบวนการทำความสะอาด อีกทั้งยังมีสมบัติเป็นตัวประสานสารสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (น้ำและน้ำมัน) ให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยมีหลักการทำงานของสารลดแรงตึงผิวคือ ส่วนที่ชอบน้ำจะทำการจับกับน้ำ และส่วนที่ชอบน้ำมันจะจับกับสิ่งสกปรกพวกไขมันที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปแล้วแขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งในชีวิตประจำวันของเราแล้วสารลดแรงตึงผิวนับว่ามีบทบาทสำคัญโดยเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดไม่ว่าจะเป็น สบู่ ยาสระผม ผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน ยาสีฟ้น หรือแม้กระทั่งผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่างๆ ล้วนมีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ละลายน้ำ (hydrophilic) โดยสามารถแยกสารลดแรงตึงผิวได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

**2.7.1 สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant)** เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุลบ ตัวอย่างเช่น สบู่ และแอลคิลเบนซิน ซัลโฟเนต (alkylbenzene sulfonate) เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้มักใช้เป็นส่วนประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ซักล้าง น้ำยาซักผ้า น้ำยาล้างจาน และผงซักฟอก เนื่องจากมีคุณสมบัติในการขจัดสิ่งสกปรกและเกิดฟองได้มาก

**2.7.2 สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Cationic surfactant)** เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุบวก ตัวอย่างเช่น กลุ่มของเอมีน (amine) และ quaternary ammonium salt สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ในสภาพแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจากการสูญเสียประจุบวกของเกลือแอมโมเนียม (ammonium salt) ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้มักพบในผลิตภัณฑ์ยาสีฟ้น น้ำยาปรับผ้านุ่ม และครีมวดผม เป็นต้น

**2.7.3 สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactant)** เป็นสารลดแรงตึงผิวที่โมเลกุลไม่มีประจุ ไม่แตกตัวเมื่อละลายน้ำ มีความเป็นกลางทางไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น สารในกลุ่มของ แอลกอฮอล์ไขมันอีทอกซิเลต (fatty alcohol ethoxylate) โดยสามารถใช้งานได้ในหลายผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน น้ำยาซักผ้า หรือในแชมพู เป็นต้น

**2.7.4 สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Amphoteric surfactant หรือ Zwitterionic surfactant)** เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำเป็นทั้งประจุบวกและประจุลบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง ( $\text{pH} > 7$ ) ประจุไฟฟ้าจะแสดงประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด ( $\text{pH} < 7$ ) ประจุไฟฟ้าจะแสดงประจุบวก และในสภาพแวดล้อมเป็นกลางจะไม่เกิดประจุ ตัวอย่างเช่น ในกลุ่มของกรดอะมิโน (amino acid) และสารกลุ่มบีเทน (betaines) เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้มักจะมีคุณสมบัติอ่อนโยนนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับผิวและผม

ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันนั้น การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวนับว่ามีความสำคัญต่อชนิดการเกิดของไมโครอิมัลชัน ดังนั้นการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าสัดส่วนระหว่างกลุ่มที่ชอบน้ำและกลุ่มที่ชอบน้ำมันที่อยู่ในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว ที่เรียกว่า ค่าเฮชแอลบี (Hydrophilic-Lipophilic Balance, HLB) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดวัตถุประสงค์การนำมาใช้งานของสารลดแรงตึงผิว

## 2.8 ค่าเฮชแอลบี หรือ ค่าความชอบน้ำ (Hydrophilic-Lipophilic Balance, HLB)

ค่าเฮชแอลบี หรือ ค่าความชอบน้ำ เป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว มีค่าระหว่าง 0-20 ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีความเป็นขั้วมาก ค่า HLB จะมีค่าสูง แต่ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีความเป็นขั้วน้อย ค่า HLB ก็จะมีค่าต่ำ โดยสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB เท่ากับ 0 แสดงว่าโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมีแต่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำทั้งหมด ไม่มีขั้ว ไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายได้ดีในน้ำมัน หากสารลดแรงตึงผิวมีค่า HLB ที่สูงขึ้น ก็จะกระจายในน้ำได้ดีขึ้น ค่า HLB สามารถหาได้จากอัตราส่วนโดยน้ำหนักของมวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) กับมวลโมเลกุลทั้งหมด คูณด้วย 20 (Griffin's method) ค่า HLB ที่ได้ จะเป็นค่าที่กำหนดวัตถุประสงค์การนำมาใช้งานของสารลดแรงตึงผิว ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 ค่าความชอบน้ำต่อการกำหนดวัตถุประสงค์การนำไปใช้งานของสารลดแรงตึงผิว

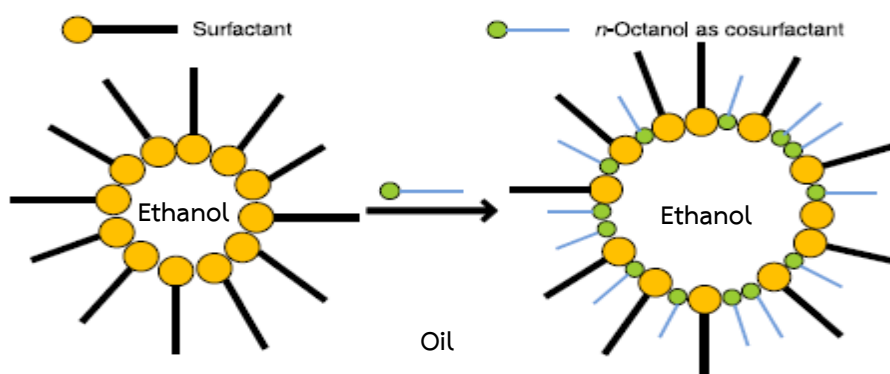
ค่าความชอบน้ำ	วัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน
1-3	ใช้เป็นสารกันการเกิดฟอง (antifoaming agent)
3-6	ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsifier)
7-8	ใช้เป็นสารทำให้เปียก (wetting agent)
8-18	ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsifier)
13-15	ใช้เป็นสารทำความสะอาด (detergent)
15-18	ใช้เป็นสารทำละลาย (solubilizer)

สำหรับอิมัลซิไฟเออร์ชนิดเอสเทอร์ของกรดไขมัน ค่า HLB สามารถหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าเอชแอลบี (HLB)} = 20 \left( 1 - \frac{\text{Saponification value}}{\text{Acid value}} \right)$$

## 2.9 สารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant)

สารลดแรงตึงผิวร่วม ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มของแอลกอฮอล์ มีหน้าที่ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว โดยไปช่วยลดแรงตึงผิว และเพิ่มค่าเอนโทรปี (entropy) ของระบบ ให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น รวมถึงป้องกันการเกิดโครงสร้างที่เป็นของแข็ง เช่น เจล (gel) ผลึกเหลว (liquid crystals) และการตกตะกอน (precipitation) สารลดแรงตึงผิวร่วมสามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูกกว่าสารลดแรงตึงผิว เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีราคาแพง จึงนิยมใช้สารลดแรงตึงผิวร่วม ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวในกระบวนการผลิต เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่นิยมใช้ ได้แก่ บิวทานอล และออกทานอล เป็นต้น (Bidyut และ Satya, 2001)



ภาพที่ 2-11 กลไกการทำงานร่วมกันของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันแบบรีเวิร์สไมเซลล์ (Wang และคณะ, 2014)



ภาพที่ 2-11 แสดงกลไกการทำงานร่วมกันของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำให้เฟสสองเฟส (น้ำมันกับเอทานอล) ที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ สารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าจับกับเฟสของเอทานอลซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสที่มีขั้ว และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าจับกับเฟสของน้ำมันซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้ว แล้วเกิดการพอร์มตัวในรูปของรีเวิร์สไมเซลล์ โดยมีสารลดแรงตึงผิวร่วม (ออกทานอล) เข้าแทรกอยู่ระหว่างสารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยลดแรงตึงผิว จึงทำให้สารที่มีขั้วและไม่มีขั้วสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้มากขึ้น

## 2.10 แอลกอฮอล์ (Alcohol)

แอลกอฮอล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ต่อกับอะตอมคาร์บอนของหมู่แอลคิล มีสูตรทั่วไปเป็น R-OH เมื่อ R คือ หมู่แอลคิล แอลกอฮอล์เป็นของเหลวที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และสามารถระเหยได้ แอลกอฮอล์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก (C1-C4) จะละลายน้ำได้เนื่องจากสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ และเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น (หมู่ R ใหญ่ขึ้น) ความสามารถในการละลายน้ำจะลดลง ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันนั้น แอลกอฮอล์จะถูกใช้เป็นตัวแทนของเฟสที่มีขั้ว ทำหน้าที่ลดความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง ในบางกรณีอาจใช้แอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิวรวมทั้งช่วยลดอุณหภูมิการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดในสภาวะการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงลดลง ตัวอย่างของแอลกอฮอล์ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล เป็นต้น

### 2.10.1 เอทานอล (Ethanol)

เอทานอล หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี ติดไฟได้ง่าย และเป็นสารเคมีที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน มีสูตรโครงสร้างคือ  $C_2H_5OH$  หรือ  $CH_3CH_2OH$  หรือ EtOH เอทานอลสามารถนำมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้เอทานอลในการผลิตเครื่องดื่ม ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมยา ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง หรือแม้แต่ใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ในปัจจุบันได้มีการนำเอทานอลมาใช้ประโยชน์หลายรูปแบบในด้านพลังงานทดแทน ได้แก่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลและเบนซิน ใช้ผสมกับน้ำมันเบนซิน (gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซล (diesohol) และใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนให้กับเครื่องยนต์ เป็นต้น (นคร ทิพย์าวงศ์, 2558) เนื่องจากเอทานอลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลในรูปของไฮดรอกซิล ทำให้โมเลกุลของเอทานอลเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว การนำเอทานอลไปผสมกับน้ำมันดีเซลและเบนซินเพียงอย่างเดียวอาจทำให้การรวมตัวของเอทานอลและ

น้ำมันเกิดได้ไม่สิ้นก จึงจำเป็นต้องเติมสารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารเติมแต่งเพื่อให้เกิดการรวมตัวกันได้ดี และมีคุณสมบัติเหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

### 2.10.2 บิวทานอล (Butanol)

บิวทานอล หรือ บิวทิลแอลกอฮอล์ (butyl alcohol) เป็นหนึ่งในแอลกอฮอล์ที่ได้รับความสนใจในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบัน เนื่องจากบิวทานอลมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าเมทานอลและเอทานอล ข้อดีของบิวทานอลคือเป็นโมเลกุลที่มีขั้วต่ำและมีสมบัติไฮโดรโฟบิกที่สูง จึงทำให้สามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดีและไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อเทียบกับเอทานอล อีกทั้งยังมีค่าความร้อนและเลขซีเทนที่สูงส่งผลให้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนและเลขซีเทนที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และยังกักความร้อนน้อยกว่าเอทานอล จึงทำให้บิวทานอลเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าเอทานอลในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพทางเลือกสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล แต่ในขณะเดียวกันบิวทานอลมีค่าความหนืดที่สูง ส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความหนืดที่สูงด้วย (Atmanli และคณะ, 2015)

### 2.11 สารเติมแต่ง (Additive)

เนื่องจากความต้องการลดผลกระทบจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อสิ่งแวดล้อม การเติมสารออกซิเจนเนตจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความสนใจ และสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซไอเสียและการทำงานของเครื่องยนต์ ข้อดีของการเติมสารออกซิเจนเนตลงในน้ำมันดีเซลคือสามารถลดความหนืดของน้ำมันดีเซลและทำให้การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีขึ้น ช่วยลดมลพิษทางอากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละออง อันก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ เนื่องจากปริมาณสัดส่วนของออกซิเจนในสารเติมแต่งจะช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงให้ดีขึ้น เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น และการเติมสารออกซิเจนเนตลงในน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลมาน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการออกแบบของเครื่องยนต์ ปริมาณสัดส่วนของออกซิเจนในสารเติมแต่ง การระเหยตัวของน้ำมัน ชนิดและปริมาณสารประกอบอื่นๆในน้ำมัน เป็นต้น (Gómez-Cuenca และคณะ, 2011)

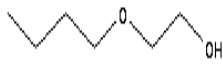
สารออกซิเจนเนต หรือ oxygenated organic compound ที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงมีด้วยกันหลากหลายชนิดได้แก่ อีเทอร์ (ethers) ไกลคอลอีเทอร์ (glycol ethers) ไฮโดรเจนเนตโมโนเทอปีน (hydrogenate monoterpenes) แอลกอฮอล์ (alcohols) และเอสเทอร์ (esters) จากงานวิจัยพบว่าสารออกซิเจนเนตกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งได้ดีกว่าสารออกซิเจนเนตกลุ่มอื่นๆเนื่องจากสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียได้

ดีกว่า (Gómez-Cuenca และคณะ, 2011) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกสารเติมแต่งชนิด ไกลคอลอีเทอร์มาใช้ในการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

### 2.11.1 ไกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether)

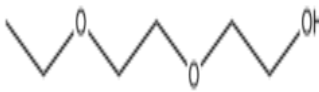
ไกลคอลอีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่แอลกอฮอล์ (R-OH) และหมู่แอลคอกซี (R-O-R) อยู่ในโมเลกุล ลักษณะของโมเลกุลเป็นโมเลกุลที่มีความสมดุลระหว่างความมีขั้วและไม่มีขั้ว ทำให้ละลายได้ดีในเฟสของน้ำมัน (ไม่มีขั้ว) และเอทานอล (มีขั้ว) เป็นของเหลวใสไม่มีสี สามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงโดยจะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายเพื่อป้องกันการแยกวัฏภาคของสารและมีสมบัติในการทำให้จุดเยือกแข็งของของเหลวลดลง (anti-freezing) เพื่อลดการเกิดปัญหาในการใช้งานกับเครื่องยนต์ จากงานวิจัยพบว่าสารกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารเติมแต่งได้ดีกว่าสารออกซิเจนเนตกลุ่มอื่น ๆ เนื่องจากสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียได้ดีกว่า (Gómez-Cuenca และคณะ, 2011) ในงานวิจัยจึงสนใจศึกษาการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ 4 ชนิด ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ ในน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เพื่อปรับปรุงสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้ พิจารณาสมบัติของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ดังตารางที่ 2-9, 2-10, 2-11 และ 2-12

ตารางที่ 2-9 สมบัติของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

ชื่อเคมี	Monoethylene glycol butyl ether (EGBE)
สูตรโมเลกุล (molecular formula)	$C_6H_{14}O_2$
มวลโมเลกุล (molecular weight)	118.17 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (molecular structure)	
ความหนาแน่น (density)	0.901 กรัมต่อมิลลิลิตร
จุดเดือด (boiling point)	171 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (viscosity)	2.230 เซนติสโตกส์

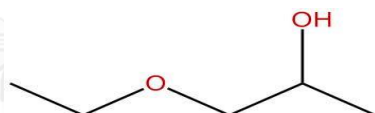
ที่มา: Gómez-Cuenca และคณะ, 2011

**ตารางที่ 2-10** สมบัติของไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์

ชื่อเคมี	Dimonoethylene glycol ethyl ether (DEGEE)
สูตรโมเลกุล (molecular formula)	$C_6H_{14}O_3$
มวลโมเลกุล (molecular weight)	134.17 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (molecular structure)	
ความหนาแน่น (density)	0.988 กรัมต่อมิลลิลิตร
จุดเดือด (boiling point)	196 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (viscosity)	2.686 เซนติสโตกส์

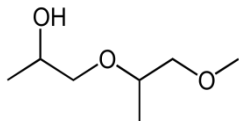
ที่มา: Gómez-Cuenca และคณะ, 2011

**ตารางที่ 2-11** สมบัติของโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์

ชื่อเคมี	Propylene glycol ethyl ether (PGEE)
สูตรโมเลกุล (molecular formula)	$C_5H_{12}O_2$
มวลโมเลกุล (molecular weight)	104 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (molecular structure)	
ความหนาแน่น (density)	0.895 กรัมต่อมิลลิลิตร
จุดเดือด (boiling point)	133 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (viscosity)	1.501 เซนติสโตกส์

ที่มา: Gómez-Cuenca และคณะ, 2013

## ตารางที่ 2-12 สมบัติของไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์

ชื่อทางเคมี	Dipropylene glycol methyl ether (DPGME)
สูตรโมเลกุล (molecular formula)	$C_7H_{16}O_3$
มวลโมเลกุล (molecular weight)	148.2 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (molecular structure)	
ความหนาแน่น (density)	0.950 กรัมต่อมิลลิลิตร
จุดเดือด (boiling point)	190 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (viscosity)	2.576 เซนติสโตกส์

ที่มา: Gómez-Cuenca และคณะ, 2013

## 2.12 สมบัติของเชื้อเพลิง (Fuel property)

### 2.12.1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity)

ความหนืดทางจลนศาสตร์เป็นค่าต้านทานการไหลของของเหลวภายใต้แรงโน้มถ่วงและเป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากความหนืดเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของน้ำมัน เข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยจะมีผลโดยตรงต่อรูปร่างลักษณะของละอองน้ำมัน การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ น้ำมันที่มีความหนืดสูงการแตกตัวเป็นละอองเล็กๆของน้ำมันจะเกิดขึ้นได้ยาก ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความหนืด คือ อุณหภูมิ หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยอาจทำให้ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงได้มาก ดังนั้นในการวัดความหนืดจะต้องระบุอุณหภูมิขณะวัดและไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐาน ASTM D975 ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 กำหนดให้ความหนืดมีค่าอยู่ในช่วง 1.9-4.1 เซนติสโตกส์ และน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าอยู่ในช่วง 1.9-6.0 เซนติสโตกส์ ตามมาตรฐาน ASTM D6751

### 2.12.2 จุดขุ่น (Cloud point)

จุดขุ่น คือ อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดความขุ่น เป็นจุดที่ไขในน้ำมันเริ่มเกิดการตกผลึกและก่อตัวเป็นของแข็ง บอกให้ทราบถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่จะสามารถนำน้ำมันเชื้อเพลิงไปใช้งานได้ วิธีที่ใช้ในการตรวจสอบความขุ่นของน้ำมันเชื้อเพลิงจะใช้วิธีมาตรฐานของ ASTM D2500 โดยมาตรฐานจุดขุ่นของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) อุณหภูมิมากที่สุดอยู่ที่ -10 องศาเซลเซียส และ -4 องศาเซลเซียสสำหรับช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-ตุลาคม) (Do และคณะ, 2011)

### 2.12.3 จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเชื้อเพลิงยังคงสามารถไหลได้ มาตรฐานจุดไหลเทของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) อุณหภูมิสูงสุด คือ -17.8 องศาเซลเซียส และ -9.4 องศาเซลเซียสในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-ตุลาคม) (Do และคณะ, 2011)

### 2.12.4 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอน้ำมันเมื่อได้รับความร้อน แล้วทำให้น้ำมันเกิดการติดไฟ (พิสมย์ เจนวนิชปัญญกุล และลลิตา อัตนโถ, 2549) เป็นค่าที่แสดงให้ทราบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงให้อุณหภูมิไวไฟและระเบิดได้มากน้อยเพียงใด เป็นดัชนีบ่งบอกความปลอดภัยในด้านการป้องกันการเกิดอัคคีภัยต่อการเก็บรักษาน้ำมันและไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์

### 2.12.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ เป็นดัชนีบ่งชี้ประเภทของน้ำมันและปริมาณความร้อนที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเชื้อเพลิง น้ำมันที่มีพวกอะโรมาติกมากค่าความถ่วงจำเพาะจะสูง การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ไม่ดี แต่ในทางกลับกันค่าความร้อนที่ได้จะสูง ทำให้เปลืองน้ำมันน้อย และได้มีการกำหนดมาตรฐานของความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของของเหลวมักจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (นคร ทิพยาวงศ์, 2558)

### 2.12.6 ค่าซีเทน (Cetane number)

ดัชนีซีเทน เป็นคุณสมบัติบ่งบอกการจุดติดไฟของน้ำมันดีเซล ค่าซีเทนที่เหมาะสมของน้ำมันดีเซลจะช่วยเพิ่มความสามารถของเครื่องยนต์ให้สตาร์ทติดง่ายที่อุณหภูมิต่ำ ไม่เกิดการน็อกซีในเครื่องยนต์ เพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ อีกทั้งยังช่วยประหยัดน้ำมันมากขึ้น (ประณต กุลประสูตร, 2553)

### 2.12.7 กากคาร์บอน (Carbon residue)

กากคาร์บอน คือ ปริมาณคาร์บอนตกค้างจากการเผาไหม้ของน้ำมันภายในห้องเผาไหม้ขึ้นอยู่กับคุณภาพและการระเหยตัวของน้ำมัน น้ำมันที่มีการระเหยตัวต่ำจะมีแนวโน้มของการหลงเหลือกากคาร์บอนในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันที่มีการระเหยตัวสูง (ประณต กุลประสูตร, 2553) ปริมาณกากคาร์บอนที่สูงจะส่งผลให้ท่อไอเสียเกิดควันดำและเกิดคราบเขม่าภายในห้องเผาไหม้

### 2.12.8 ปริมาณเถ้า (Ash content)

เถ้า คือ สารที่หลงเหลือหลังจากการเผาไหม้ การมีปริมาณเถ้าที่สูงจะส่งผลอันตรายต่อปั๊ม หัวฉีด และแหวนลูกสูบ ทำให้เกิดการสึกหรอ เกิดเขม่าตกค้างเกาะติดในเครื่องยนต์ (ประณต กุลประสูตร, 2553)

### 2.12.9 ปริมาณน้ำ (Water content)

ปริมาณน้ำ บ่งบอกถึงการมีน้ำอยู่ในน้ำมันส่งผลให้การเผาไหม้เกิดได้ไม่ดี เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากจะทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลง เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคขนาดเล็กลดลง สามารถวิเคราะห์ได้ตามมาตรฐานของ ASTM D6304 ด้วยการไทเทรตโดยวิธี Karl-Fischer (Lif และ Holmberg, 2006)

### 2.12.10 ค่าความเป็นกรด (Acid number)

ค่าความเป็นกรด เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณของกรดทั้งหมดที่อยู่ในน้ำมัน ในน้ำมันเชื้อเพลิงไม่ควรมีกรดแก่อยู่ในน้ำมัน เนื่องจากปริมาณกรดแก่ที่มีในน้ำมันจะส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ ทำให้อายุการทำงานของของปั๊มและไส้กรองลดลง ค่าความเป็นกรดมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่าง/กรัม น้ำมัน การตรวจหาค่าปริมาณกรดแก่ในน้ำมันจะใช้วิธี ASTM D664 โดยแสดงค่าเป็น Strong acid number (SAN) และน้ำมันที่ผ่านกระบวนการผลิตอย่างดีจะมีค่าความเป็นกรดต่ำไม่เกิน 0.05-0.10 มิลลิกรัมต่าง/กรัม น้ำมัน

### 2.12.11 ค่าความร้อน (Gross heat of combustion)

ค่าความร้อน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น เมกกะจูลต่อกิโลกรัม สามารถวัดค่าพลังงานความร้อนได้จากเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ตามมาตรฐาน ASTM D240

### 2.13 มาตรฐานน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

สมบัติของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ตามมาตรฐาน ASTM D975 เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D6751 ได้ถูกแสดงดังตารางที่ 2-13

**ตารางที่ 2-13** สมบัติของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM

สมบัติเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซล	หน่วย
มาตรฐานเชื้อเพลิง	ASTM D975	ASTM D6751	-
ค่าความหนืด (Kinematic viscosity) ที่ 40 องศาเซลเซียส	1.9-4.1	1.9-6.0	เซนติสโตกส์
จุดขุ่น (Cloud point) สูงสุด	-15	-5	องศาเซลเซียส
จุดไหลเท (Pour point) สูงสุด	-17	-9	องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ (Flash point) ต่ำสุด	52	93	องศาเซลเซียส
จำนวนซีเทน (Cetane number)	45	47	-
ปริมาณเถ้า (Ash content)	0.01	0.02	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur)	0.05	0.015	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปริมาณน้ำ (Water content)	0.05	0.05	ร้อยละโดยปริมาตร
คาร์บอนตกค้าง (Carbon residue)	0.35	0.30	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด (Acid number)	0.05	0.05	มิลลิกรัมต่างต่อกรัม น้ำมัน

ที่มา : American Standard Testing Method (ASTM), 2013



## 2.14 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel)

น้ำมันดีเซล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบและเป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ความแตกต่างของน้ำมันดีเซลกับน้ำมันเบนซินคือ น้ำมันดีเซลจะมีช่วงจุดเดือดและความข้นใสสูงกว่า น้ำมันดีเซลที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจะต้องเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดีเนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลต้องใช้ความร้อนจากการอัดตัวของอากาศให้เกิดการลุกไหม้ และน้ำมันที่ได้จากกระบวนการกลั่นของน้ำมันปิโตรเลียมถือเป็นผลิตภัณฑ์โดยตรงยังมีสิ่งเจือปนอยู่ ทำให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพต่ำ ดังนั้นจึงต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานในสภาวะที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพลงไปในน้ำมัน สำหรับน้ำมันดีเซล สารเพิ่มคุณภาพที่นิยมใช้ ได้แก่ สารป้องกันการกัดกร่อน (corrosion inhibitor) สารเพิ่มค่าซีเทน (cetane additive) สารต้านการรวมตัวกับอากาศ (anti-oxidant) เป็นต้น (ประณต กุลประสูตร, 2553)

จากมาตรฐาน ASTM ได้มีการจำแนกน้ำมันดีเซลไว้ 3 เกรด ดังนี้

**น้ำมันดีเซลเกรด 1** เป็นน้ำมันดีเซลที่ระเหยตัวได้เร็วที่สุด มีจุดเดือด จุดชุน และจุดไหลเทต่ำที่สุด น้ำมันเกรดนี้มักถูกนำไปใช้ในที่ที่อุณหภูมิต่ำมากและเหมาะกับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระรอบบ่อย เช่น รถโดยสาร และรถบรรทุกของ เป็นต้น

**น้ำมันดีเซลเกรด 2** เป็นน้ำมันดีเซลที่ระเหยตัวได้ปานกลาง มีจุดเดือด จุดชุน และจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซลเกรด 1 นิยมใช้กับยานพาหนะทั่วไป เครื่องจักรกล เป็นต้น

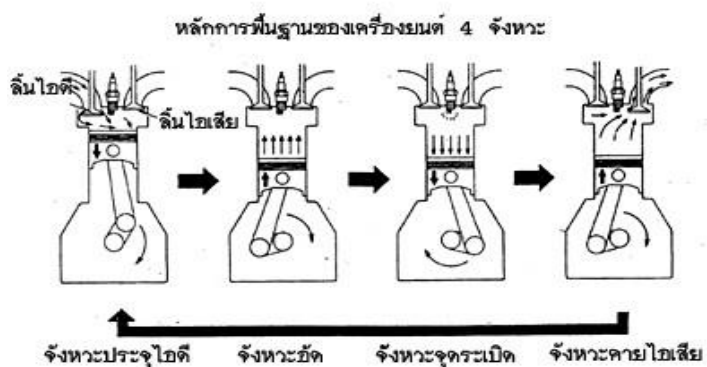
**น้ำมันดีเซลเกรด 4** เป็นน้ำมันดีเซลที่มีการระเหยตัวสูงสุด มักนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำภายใต้ภาระการทำงานคงที่ เช่น เรือเดินสมุทร เป็นต้น

ในประเทศไทยได้มีการจำหน่ายน้ำมันดีเซล 2 ประเภท คือ น้ำมันดีเซลหมุนช้า (LSD: Low Speed Diesel Oil) และน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (HSD: High Speed Diesel Oil) น้ำมันดีเซลหมุนเร็วหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า น้ำมันโซล่า ลักษณะของน้ำมันมีสีเหลืองอ่อน มักถูกนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูง เช่น รถยนต์ทั่วไป รถเพื่อการพาณิชย์ และเรือขนาดเล็ก สำหรับน้ำมันดีเซลหมุนช้า หรือ น้ำมันซีโล้ นั้น ลักษณะน้ำมันจะมีสีเหลืองเข้มกว่า นิยมใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในอุตสาหกรรม และเรือเดินทะเลที่มีขนาดใหญ่ เป็นต้น (ประณต กุลประสูตร, 2553)

## 2.15 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล

### 2.15.1 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะจะมีลักษณะการใช้และวิธีการจุดเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ ใน 1 รอบของการทำงาน ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง 4 ครั้ง กล่าวคือ เคลื่อนที่ขึ้น 2 ครั้ง และเคลื่อนที่ลง 2 ครั้ง เช่นนี้ตลอดเครื่องยนต์จะหยุดทำงาน ดังภาพที่ 2-12

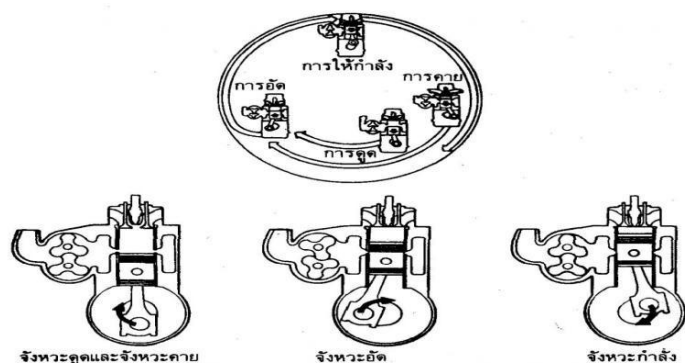


ภาพที่ 2-12 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

(ประณต กุลประสูตร, 2553)

### 2.15.2 เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ หลักการทำงานของเครื่องยนต์จะคล้ายกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ โดยจะมีจังหวะดูด อัด ระเบิด และคายเช่นเดียวกัน แต่จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ คือ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น 1 ครั้ง และเคลื่อนที่ลง 1 ครั้ง เช่นนี้ตลอดเครื่องยนต์จะหยุดทำงาน ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ

(ประณต กุลประสูตร, 2553)

## 2.16 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์หรือจากน้ำมันใช้แล้ว ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยทำปฏิกิริยากับเอทานอล หรือเมทานอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีโมเลกุลที่เล็กลงอยู่ในรูปของเอสเทอร์ เช่น เอทิลเอสเทอร์ (ethyl esters) หรือ เมทิลเอสเทอร์ (methyl esters) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ได้จะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ อีกทั้งไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดเนื่องจากเป็นเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับ แอลกอฮอล์ จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย เเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

## 2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ali และ Hanna (1994) ศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์พบว่าไม่สามารถนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชมาใช้ได้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ต่างจากน้ำมันดีเซลมาก อีกทั้งยังมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้น้ำมันถูกฉีดเป็นฝอยได้ยากส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และน้ำมันพืชยังมีอัตราการระเหยตัวที่ต่ำ ทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยากส่งผลให้เครื่องยนต์ติดยาก ในการนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชให้มีความเหมาะสมก่อนนำมาใช้งาน โดยวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชมี 4 วิธีหลักๆ ได้แก่ วิธีการเจือจาง วิธีสลายด้วยความร้อน วิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน และวิธีไมโครอิมัลชัน พบว่าการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันสามารถทำได้ง่ายและไม่ต้องใช้เวลาสูง อีกทั้งเชื้อเพลิงที่ได้ยังมีค่าความหนืดต่ำสามารถลดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่าซีเทนและค่าความร้อนที่ได้ยังมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2

Ma และ Hanna (1999) นำเสนอการผลิตไบโอดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่สามารถผลิตได้จากทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (renewable resources) เช่น น้ำมันจากพืชและไขมันสัตว์ ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่เป็นพิษและปล่อยไอเสียสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณต่ำ ดังนั้นไบโอดีเซลจึงเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้รับความสนใจ แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันจากพืชยังมีความหนืดที่สูงเป็นอุปสรรคต่อการนำไปใช้ในเครื่องยนต์โดยตรง เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชให้มีความเหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้นจึงสามารถทำได้ 4 วิธี คือ 1) วิธีการใช้โดยตรงและการผสม วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายที่สุดเนื่องจากการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรง แต่น้ำมันพืชมีความหนืดที่สูงทำให้หัวฉีด

เกิดการอุดตันได้ง่าย จึงได้มีการนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล ถึงแม้ว่าอย่างไรก็ตามค่าความหนืดของน้ำมันผสมก็ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล 2)วิธีการสลายด้วยความร้อน เป็นวิธีการสลายโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงด้วยความร้อนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน และที่อุณหภูมิสูงขึ้นขนาดโมเลกุลที่ได้ก็จะมีขนาดเล็กลงมากขึ้น แต่ปัญหาที่พบคือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยามีความหลากหลาย ยากต่อการควบคุม ราคาแพง และต้องใช้พลังงานในกระบวนการสูง ทำให้กระบวนการนี้ไม่เป็นที่นิยมในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ 3)วิธีการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากไม่ต้องทำที่อุณหภูมิสูงและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความจำเพาะมากกว่าการสลายด้วยความร้อน อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้อีกยังมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันปิโตรเลียม ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้นเป็นการเปลี่ยนน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้อยู่ในรูปของสารประกอบเอสเทอร์ โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีจุดขุ่นจุดไหลเทค่อนข้างสูง อีกทั้งยังมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ของปฏิกิริยา และ 4)วิธีไมโครอิมัลชัน เป็นกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่น่าสนใจ เป็นการทำให้ของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันให้สามารถรวมตัวกันได้โดยใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นตัวประสานวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก ทำได้ง่าย ใช้พลังงานน้อย และไม่เกิดผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต แต่ในทางกลับกันพบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าสีเทาและค่าความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

Bidyut และ Satya (2001) ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจะช่วยลดปริมาณเขม่าควันอันเกิดจากองค์ประกอบของน้ำที่อยู่ในน้ำมันในระหว่างการเผาไหม้ และเมื่อเกิดการระเหยของน้ำในระหว่างการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก็จะส่งผลให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลงเนื่องจากความร้อนจะถูกปลดปล่อยออกมาพร้อมกับการระเหยตัวของน้ำ ส่งผลให้การปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ลดต่ำลง

Dantas และคณะ (2001) ศึกษากระบวนการไมโครอิมัลชันที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก โดยทำการผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชในอัตราร้อยละที่ต่างกัน น้ำมันพืชที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษา ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันละหุ่ง ส่วนตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อระบบไมโครอิมัลชัน เช่น ธรรมชาติของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม รวมไปถึงองค์ประกอบของน้ำมันซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้ว ในงานวิจัยเลือกใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือ Texapon HBN (sodium laurylsulfate) และ Comperlan SCD ส่วน Ethyl propyl และ isoamyl alcohol ถูกเลือกใช้เป็นตัวลดแรงตึงผิวร่วม ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆต่อน้ำมันดีเซลที่ 20:80

ส่งผลให้ค่าความหนืดของระบบลดลง เนื่องจากสัดส่วนของน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 และที่อัตราส่วน 1:2 ของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมมีผลทำให้ไมโครอิมัลชันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไมโครอิมัลชันนี้ไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกได้

Lif และ Holmberg (2006) ได้ทำการศึกษาอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ ข้อดีของอิมัลชันชนิดนี้คือสามารถลดการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และฝุ่นละอองที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ในงานวิจัยได้นำเสนออิทธิพลของปริมาณน้ำต่อการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์และต่อประสิทธิภาพของการเผาไหม้ พบว่าในขณะที่ปริมาณการปลดปล่อยของไนโตรเจนออกไซด์และฝุ่นละอองลดลง ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกลับมีปริมาณการปลดปล่อยที่เพิ่มมากขึ้นโดยจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของน้ำที่เป็นองค์ประกอบในอิมัลชัน และพบว่าอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันดีเซลที่มีองค์ประกอบของน้ำอยู่ร้อยละ 15 ในน้ำมันดีเซลสามารถลดการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละอองได้ถึงร้อยละ 30 และร้อยละ 60 ตามลำดับ

Chotwchien และคณะ (2009) ศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซลและบิวทานอลกับน้ำมันดีเซล โดยไบโอดีเซลที่ใช้ในการศึกษาสังเคราะห์จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยมีต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และบิวทิลเอสเทอร์ จากผลการศึกษาความสามารถในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าเมทิลเอสเทอร์สามารถรวมตัวกับน้ำมันดีเซลได้ดีที่สุด เนื่องจากเอทิลเอสเทอร์และบิวทิลเอสเทอร์มีหมู่ฟังก์ชันที่พร้อมเกิดปฏิกิริยาอื่นได้ ส่งผลให้การรวมตัวกับน้ำมันเกิดได้ไม่ดี และการใช้บิวทานอลเป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงผสมส่งผลให้เชื้อเพลิงที่ได้มีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ โดยเชื้อเพลิงสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง เนื่องจากบิวทานอลสามารถรวมตัวกับน้ำมันดีเซลได้ดีกว่าเอทานอล จากผลการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงพบว่า การเติมแอลกอฮอล์ลงไป ในน้ำมันดีเซลมีผลทำให้ความหนาแน่น ค่าความหนืดและเลขซีเทนของเชื้อเพลิงลดลง โดยเชื้อเพลิงที่ใช้บิวทานอลเป็นสารเติมแต่งมีสมบัติของเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้เอทานอล และสัดส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เชื้อเพลิงมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในเครื่องยนต์ดีเซลได้คือสัดส่วนของน้ำมันดีเซล เมทิลเอสเทอร์ และบิวทานอลที่สัดส่วนร้อยละ 85 10 และ 5 โดยปริมาตร ตามลำดับ

Gómez-Cuenca และคณะ (2011) ศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่งกลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ต่อสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล สารเติมแต่งกลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (EGEE) เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) และไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ในการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลจะทำการผสมสารเติมแต่งในความเข้มข้นที่ปริมาณร้อยละ 4 และที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2.5 สำหรับการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล (Peugeot XUD-9) ที่ความเร็วรอบ 1,000 2,500 และ 4,000 รอบต่อนาที ผลการศึกษาวิจัยพบว่าเมื่อทำการเติมสารเติมแต่งชนิดไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ในเชื้อเพลิงดีเซลจะส่งผลให้เลขชี้เทนของเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (EGEE) และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ส่งผลให้เลขชี้เทนของเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าลดลง ส่วนค่าความหนืดของเชื้อเพลิงดีเซลเมื่อทำการเติมสารเติมแต่งกลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ในเชื้อเพลิงดีเซลพบว่าค่าความหนืดของเชื้อเพลิงดีเซลลดลง และสำหรับการทดสอบการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์พบว่าการเติมสารเติมแต่งกลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ลดลง โดยพบว่าที่ความเข้มข้นที่ร้อยละ 2.5 ให้ผลดีที่สุด

Do และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ได้จากเทคโนโลยีไมโครอิมัลชันแบบรีเวิร์สไมเซลล์ โดยได้ทำศึกษาน้ำมันพืช 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันคาโนล่า น้ำมันสาหร่าย และน้ำมันปาล์ม สารลดแรงตึงผิวหลักที่ถูกเลือกใช้ในระบบ คือ oleyl alcohol (OA) oleyl amine (OAM) และมีการเติม 2-ethylhexanol (EHL) 1-octanol (OCT) 2-ethylhexyl nitrate (EHN) ethylene glycol butyl ether (EGBE) เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม จากนั้นศึกษาพฤติกรรมของเฟส สมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ได้ รวมถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าในระบบเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากน้ำมันสาหร่ายและน้ำมันคาโนล่าผสมกับน้ำมันดีเซล โดยมี oleyl alcohol (OA) เป็นสารลดแรงตึงผิวสามารถทนอุณหภูมิได้ดีกว่าระบบที่ใช้ oleyl amine (OAM) เป็นสารลดแรงตึงผิว อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม (S1:C1:C2) ที่เหมาะสมต่อการเกิดเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันคือ 1:2:2 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพทนต่ออุณหภูมิได้ดี มีจุดขุ่น จุดไหลเท ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมในระบบปริมาณน้อยในการทำให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อีกทั้งยังพบว่าที่อัตราส่วนของน้ำมันพืช (น้ำมันคาโนล่าและน้ำมันปาล์ม) ต่อน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 24 โดยปริมาตร พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความหนืดผ่านมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (4.1 cst) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการไมโครอิมัลชันจะให้ค่าความ

ร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 เล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 10) แต่ใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล และจากการทดสอบการปล่อยปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ เชื้อเพลิงชีวภาพจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ในปริมาณที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ในทางกลับกัน ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์กลับเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

Attaphong และคณะ (2012) ศึกษาพฤติกรรมเฟสไมโครอิมัลชันแบบรีเวิร์สไมเซลล์ของระบบที่ใช้คาร์บอกซิเลตที่มีส่วนขยาย (carboxylate-based extended) เป็นสารลดแรงตึงผิว โดยจะทำการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้วกับเอทานอลที่เป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วเข้าด้วยกันโดยมีสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นตัวประสาน ในการทดลองสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ คือ ออกทานอล และ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล โดยอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงร่วม (S/C ratio) คือ 1:8 1:16 และ 1:32 จากการศึกษาพฤติกรรมเฟสไมโครอิมัลชันแบบรีเวิร์สไมเซลล์พบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ในการทดลองนี้ได้เลือกอัตราส่วนที่ 1:16 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase) เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมสาร ส่วนอัตราส่วนที่ 1:32 นั้นพบว่าปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้มีปริมาณที่น้อยมากทำให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียมสาร และจากการศึกษาผลของความหนืดของน้ำมันคาโนลา (canola) กับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 0:100 25:75 50:50 75:25 และ 100:0 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า สัดส่วนของน้ำมันดีเซลที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 50 ส่งผลให้ความหนืดของระบบน้ำมันผสมมีค่าลดลง และค่าความหนืดของน้ำมันคาโนลาผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 อีกทั้งยังพบว่าการเติมสารเติมแต่ง Di-tert-butyl peroxide (DTBP) และ Ethylene glycol butyl ether (EGBE) สามารถเพิ่มค่าซีเทนและลดจุดเยือกแข็งของเชื้อเพลิงชีวภาพได้

Attaphong และ Sabatini (2013) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของเฟสไมโครอิมัลชันที่ได้จากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชที่แตกต่างกันด้วยเทคโนโลยีไมโครอิมัลชันแบบรีเวิร์สไมเซลล์ จากงานวิจัยได้มีการศึกษาสารลดแรงตึงผิวที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวกลุ่มไม่มีประจุ สารลดแรงตึงผิวคาร์บอกซิเลตที่มีส่วนขยาย (carboxylate-based extended) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประจุลบ และสารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ (sorbitan esters) โดยมี 2-เอทิล-1-เฮกซานอล เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอลเป็นตัวแทนของ

เฟสมีขี้ผึ้ง และอัตราส่วนของน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลที่ใช้คือ 1:1 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขี้ผึ้ง

เมื่อทำการศึกษาพฤติกรรมของเฟสไมโครอิมัลชันของระบบที่ใช้สารลดแรงตึงผิวเดี่ยว และระบบสารลดแรงตึงผิวผสม ในระบบสารลดแรงตึงผิวเดี่ยวพบว่าแอลกอฮอล์อีทอกซิลเอท (alcohol ethoxylate) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อเทียบกับสารลดแรงตึงผิวอื่นๆ และในระบบสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างโอริวแอลกอฮอล์ต่อแอลกอฮอล์อีทอกซิลเอท (OAL16-1) เป็นระบบที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอัตราส่วนที่ 1:8 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความเข้มข้นรวมของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของทุกระบบสารลดแรงตึงผิวจะน้อยลง

ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมของเฟสไมโครอิมัลชันที่ได้จากระบบน้ำมันที่ไม่ใช่บริโกล์ อันได้แก่ น้ำมันสาหร่าย (algae oil) และน้ำมันละหุ่ง (castor oil) กับน้ำมันคาโนลา (canola oil) ซึ่งเป็นน้ำมันที่ใช้บริโกล์ โดยอัตราส่วนของโอริวแอลกอฮอล์ (OA) ที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวต่อเอทิล-เฮกซานอล (EHOH) ที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวรวมอยู่ที่ 1:16 พบว่าในระบบของน้ำมันสาหร่ายผสมน้ำมันดีเซลปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ต้องการใช้ในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมเป็นเนื้อเดียวกันมีปริมาณสูงสุด และระบบที่มีการผสมระหว่างน้ำมันสาหร่าย น้ำมันละหุ่ง และน้ำมันดีเซลเข้าด้วยกันพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ต้องการใช้ในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันจะลดน้อยลง อีกทั้งยังมีสมบัติเทียบเคียงกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้จากน้ำมันคาโนลา

ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมเฟสไมโครอิมัลชันที่ได้จากระบบที่ใช้เอทานอลและไบโอเอทานอล เป็นตัวแทนของเฟสมีขี้ผึ้ง พบว่าระบบที่ใช้ไบโอเอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขี้ผึ้งนั้นต้องการความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวรวมในปริมาณที่สูงกว่าระบบที่ใช้เอทานอล

นิจวรรณ อนันตรกิติ (2556) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยทำการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ และแพลนทาแคร์ 1200 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ และศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบสายโซ่ตรง (ออกทานอล) และแบบกิ่งก้าน (2-เอทิล-1-เฮกซานอล) ต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเทียบกับมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และไบโอดีเซล จากผลการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มผสมดีเซลหรือน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอทิลีนออกไซด์และสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลหรือ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล ในอัตราส่วนที่ 1:8 และมีเอทานอลหรือไบโอเอทานอล



ปริมาณร้อยละ 20 เป็นตัวแทนของเฟสมีขี้ว พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่พลาสมาแคร์ 1200 ไม่สามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันทุกระบบ และเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมจะเข้ากันได้ดีกับระบบที่มีน้ำมันปาล์มผสมดีเซล ส่วน 2-เอทิล-1-เฮกซานอล จะเข้ากันได้ดีกับระบบที่มีน้ำมันปาล์มผสมกับไบโอดีเซล จากการศึกษาค่าความหนืดพบว่าเมื่อกลุ่มเอทิลลีนออกไซด์ของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อทำการเปรียบเทียบระบบที่ใช้ออกทานอลกับ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมพบว่าระบบที่ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมจะให้ค่าความหนืดที่ต่ำกว่า และเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสที่มีขี้วจะมีค่าความหนืดสูงกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ไบโอเอทานอล อีกทั้งค่าความหนืดจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ ในขณะที่สมบัติของเชื้อเพลิงด้านอื่นๆมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และไบโอดีเซล สำหรับการปลดปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล เอทานอล และดีไฮดอลเอทิลลีนออกไซด์ 1 เป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมมีการปลดปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ ในปริมาณน้อยที่สุด

ศิริณี เพ็งปรีชา (2556) ศึกษาผลของน้ำมันพืชต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการไมโครอิมัลชัน น้ำมันพืชที่ถูกเลือกใช้ในการศึกษา ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ โดยทำการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 ปริมาตรร้อยละ 75 สำหรับสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุ ได้แก่ ดีไฮดอลเอทิลลีนออกไซด์ 1 ดีไฮดอลเอทิลลีนออกไซด์ 5 โอเลอิวแอลกอฮอล์ และเมทิลโอลิเอต สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ คือ ออกทานอล และเอทิลลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 ปริมาตรร้อยละ 5 และเอทานอลปริมาตรร้อยละ 20 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และมาตรฐานไบโอดีเซล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล โดยเฉพาะค่าความหนืดซึ่งจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลจะมีค่าความหนืดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากน้ำมันพืชผสมกับไบโอดีเซล อีกทั้งในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมเชื้อเพลิงชีวภาพจะรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าระบบที่ใช้เอทิลลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเมื่อนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพมีการปลดปล่อยไอเสียน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง

Gómez-Cuenca และคณะ (2013) ศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่งกลุ่มโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ต่อสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและการปล่อยก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล (คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและเขม่า) ในงานวิจัยได้เลือกใช้สารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (PGME) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เมื่อทำการเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเข้มข้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 4 สามารถช่วยลดความหนืดของเชื้อเพลิงดีเซลลงได้ และการเติมสารเติมแต่งชนิดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (PGME) มีผลทำให้เลขซีเทนของเชื้อเพลิงดีเซลลดลงเล็กน้อย ในขณะที่โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) จะเพิ่มค่าเลขซีเทนของเชื้อเพลิงดีเซล สำหรับการทดสอบสมรรถภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล (Peugeot XUD-9) งานวิจัยนี้ได้ทำการผสมสารเติมแต่งโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2.5 โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลในความเร็วรอบที่แตกต่างกัน (1000 2500 และ 4000 รอบต่อนาที) ผลการศึกษวิจัยพบว่าการเติมสารเติมแต่งกลุ่มโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์มีผลต่อการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ โดยความเข้มข้นของสารเติมแต่งที่ร้อยละ 2.5 ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์และไฮโดรคาร์บอนมีการปลดปล่อยในปริมาณที่ลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง

ณัฐพร สรสุชาติ (2557) ศึกษาการใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการไมโครอิมัลชัน ในงานวิจัยได้เลือกใช้สารกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์หรือสแปน ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติทดแทนการใช้สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการทางเคมี อันประกอบด้วย ซอร์บิแทนโมโนลอเรตหรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลตหรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลตหรือสแปน 85 ส่วนสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ผลการวิจัยพบว่าน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 ที่สัดส่วนร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ที่สัดส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสแปน 80 ผสมออกทานอลที่อัตราส่วน 1:8 ปริมาตรร้อยละ 20 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพให้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำสุดซึ่งสอดคล้องกับขนาดอนุภาคไมโครอิมัลชันที่มีขนาดใหญ่กระจายตัวกันอย่างหลวมๆ นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากการใช้สารกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ค่าความร้อน ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง จุดขุ่น จุดไหลเทผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล ในขณะที่ปริมาณแล้วยังมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานไบโอดีเซล

ศศิวิมล วิชาติ (2557) ศึกษาผลของการใช้สารเติมแต่งต่อสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มผสมดีเซลด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน งานวิจัยนี้ใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 ในสัดส่วนร้อยละ 60 โดยปริมาตร สัดส่วนของเอทานอลที่ปริมาตรร้อยละ 20 และสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งที่ปริมาตรร้อยละ 20 โดยสารเติมแต่งที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ สารเติมแต่งกลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ ที่ประกอบไปด้วยเอทิลีนบิวทิลไกลคอลอีเทอร์ ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ สารเติมแต่งกลุ่มโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ ที่ใช้คือ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ และสารเติมแต่งเอทิลอะซิเตท สำหรับสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาวิจัยคือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้คือ บิวทานอล และออกทานอล ผลการศึกษาวิจัยพบว่าที่อัตราส่วน 1:3:5 ของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งมีผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงและสามารถปรับปรุงสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้ โดยอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดที่ลดลง อีกทั้งสารเติมแต่งยังทำให้อุณหภูมิของจุดขุ่น จุดไหลเทของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงอีกด้วย เมื่อทำการเปรียบเทียบชนิดของสารเติมแต่งต่อค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งชนิดไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และเอทิลอะซิเตท มีค่าความหนืดจากมากที่สุดไปน้อยสุดตามลำดับ และเมื่อใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมจะให้ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ต่ำกว่าใช้ออกทานอล จากนั้นทำการศึกษาสมบัติต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่า ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น และจุดไหลเทของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล เมื่อทำการทดสอบการปล่อยก๊าซไอเสียของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดเอทิลอะซิเตท และไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล โดยที่น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากการใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมจะมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ในปริมาณที่ต่ำกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้บิวทานอล เนื่องจากออกทานอลให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าจึงส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

Arpornpong และคณะ (2014) ศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดที่อิมตัวและไม่อิมตัว และสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ต่อพฤติกรรมของเฟส ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ และขนาดอนุภาคของไมโครอิมัลชัน ในงานวิจัยได้เลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ 4 ชนิด ได้แก่ สเตียริวแอลกอฮอล์ โอริวแอลกอฮอล์ เมทิลโอเลอิต และ บริจ-010 ส่วนสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ 1-บิวทานอล 1-ออกทานอล 1-เดคานอล และ 2-เอทิล-เฮกซานอล อัตราส่วนระหว่างสาร

ลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ในการศึกษาอยู่ที่ 1:8 โดยโมล มีเอทานอลเป็นตัวแทนของ เฟสมีซัวและน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีซัวที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ผลการศึกษาพบว่าการใช้เมทิลโอเลอเตเป็นสารลดแรงตึงผิว และ 1-ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิว ร่วมสามารถทำให้น้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้มีความหนืดลดลงและประกอบไปด้วยอนุภาคไมโครอิมัลชันที่มีขนาดเท่ากันในขณะที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดในการละลายเอทานอลในน้ำมัน ดังนั้น ผลการศึกษาวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีไมโครอิมัลชันแบบรีเวิร์สไมเซลล์จากน้ำมันปาล์มสามารถ ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีความหนืดลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันตั้งต้นและมีสมบัติของเชื้อเพลิงเป็น ที่น่าพอใจเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล

Apichartyothin (2015) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้เอทานอลและบิวทานอลในของผสมระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล ในส่วนของวัฏภาค น้ำมันประกอบไปด้วยน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ได้ทำการแยกไขผสมกับ น้ำมันดีเซล ร่วมกับเอทานอลและบิวทานอลซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสที่มีซัว ทำหน้าที่ในการช่วยลด ความหนืดของน้ำมันปาล์มตั้งต้น สำหรับสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาวิจัยคือ เมทิลโอเลอเต และ กรดไขมันของเมทิลเอสเทอร์ ส่วนออกทานอลถูกใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม โดยอัตราส่วนระหว่าง สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมอยู่ที่ 1:8 โดยโมล ผลการศึกษาพบว่าการใช้น้ำมันปาล์มที่ ยังไม่ได้ทำการแยกไขจะใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยกว่าน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในการละลาย เอทานอลในน้ำมันและน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้ยังมีค่าความหนืดที่ต่ำกว่า จาก การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างเอทานอลและบิวทานอลพบว่าที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็น อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มี สมบัติดีเทียบเคียงได้กับมาตรฐานน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

Attaphong และคณะ (2016) ศึกษาผลของแอลกอฮอล์ที่มีความแตกต่างกันทางโครงสร้าง ต่อพฤติกรรมของเฟส สมบัติของเชื้อเพลิง และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีส่วนผสม ของแอลกอฮอล์ น้ำมันพืชและน้ำมันดีเซล ซึ่งแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธี ไมโครอิมัลชันในงานวิจัยประกอบด้วย แอลกอฮอล์เป็นตัวแทนของเฟสมีซัว ได้แก่ เมทานอล เอทานอล 1-โพรพานอล 2-โพรพานอล 1-บิวทานอล และ 2-บิวทานอล น้ำมันคาร์โนลาผสมน้ำมัน ดีเซลเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีซัว โดยมีโอเลอิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิว ไดเอทิลเฮกซานอล เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และไดเทอร์บิวทิลเปอร์ออกไซด์เป็นสาร เติมแต่ง ผลการศึกษาของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถ รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันในช่วงอุณหภูมิที่กว้างเมื่อใช้แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย ได้แก่

เมทานอล เอทานอล และโพรพานอล ส่วนบิวทานอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากสามารถละลายได้ดีในน้ำมันคาร์โนลาและไม่ต้องใช้สารลดแรงตึงผิวในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ระบบแอลกอฮอล์ผสมระหว่างแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกับบิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วจะมีความเสถียรในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า และเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้แอลกอฮอล์โครงสร้างเส้นตรงและมีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อยพบว่าหลังการเผาไหม้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเขม่าในปริมาณที่น้อย ส่วนการมีน้ำเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของแอลกอฮอล์นั้นสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามการมีน้ำก็เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงชีวภาพยังส่งผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงโดยเฉพาะในเรื่องของความหนืดคือส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนืดเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้มีสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลโดยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในปริมาณน้อยกว่าน้ำมันดีเซล

## 2.18 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องด้วยในปัจจุบันแหล่งพลังงานในประเทศไทยมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมที่จำเป็นต้องมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ความพยายามในการหาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียนจึงเป็นสิ่งที่เราทุกคนควรจะตระหนักและให้ความสนับสนุน เชื้อเพลิงชีวภาพจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าของน้ำมัน อีกทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่วัตถุดิบทางการเกษตร เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ซึ่งน้ำมันปาล์มถือเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพและสามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ แต่เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดที่สูงจึงไม่สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงได้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพให้มีความเหมาะสมก่อนนำไปใช้งานซึ่งมีหลายวิธี และหนึ่งในวิธีการที่น่าสนใจคือวิธีไมโครอิมัลชัน ซึ่งถูกเลือกใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เนื่องจากต้นทุนในการผลิตต่ำ ทำได้ง่าย ไม่เกิดของเสียและผลพลอยได้จากกระบวนการ อีกทั้งน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ยังมีการปล่อยก๊าซไอเสีย เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ในปริมาณที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันให้มีสมบัติของเชื้อเพลิงที่ดีจะใช้อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่ 1:1 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้ว ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว มีสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมทำหน้าที่เป็นตัวประสานในอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 1:8 โดยโมล ซึ่งเป็น

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยในการละลายเอทานอลในน้ำมันและง่ายต่อการเตรียมในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้ยังมีสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล สำหรับแอลกอฮอล์ที่ทำหน้าที่ลดความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพนั้น บิวทานอลเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากมีสมบัติไฮโดรโฟบิกสูง จึงทำให้สามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดีและไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จะน้อยลงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน บิวทานอลมีความหนืดที่สูงกว่า จึงทำให้ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ลดลงได้น้อยเมื่อเทียบกับการใช้เอทานอล สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพนับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการนำไปใช้ในเครื่องยนต์ในเรื่องการปล่อยก๊าซไอเสียและการทำงานของเครื่องยนต์ การปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพให้มีความเหมาะสมก่อนนำไปใช้งานโดยการเติมสารออกซิเจนเนตเป็นสารเติมแต่งจึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม ข้อดีของการเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพคือสามารถลดความหนืดของเชื้อเพลิง และทำให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวภาพในเครื่องยนต์ดีขึ้น สารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงมีด้วยกันหลากหลายชนิด จากงานวิจัยพบว่าสารออกซิเจนเนตกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งได้ดีกว่าสารออกซิเจนเนตกลุ่มอื่นๆเนื่องจากสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียได้ดีกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของการใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสที่ขั้วร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ค่าความร้อน จุดขุ่น จุดไหลเท ความหนาแน่น กากคาร์บอน และการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น จากนั้นทำการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งและมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

ในงานวิจัยเลือกใช้น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้ว แอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ เมทิลโอเลเอต ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและได้จากธรรมชาติ มีออกทานอลทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล และได้เลือกใช้สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ อันได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยการเติมร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งที่ 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน เพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็น

เนื้อเดียวกัน และเกิดไมโครอิมัลชันแบบชนิด Winsor Type II ที่มีค่าความหนืดและปริมาณการปล่อยไอเสียลดลง รวมถึงสมบัติของเชื้อเพลิงด้านอื่นๆมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

ตารางที่ 2-14 สรุปงานวิจัยที่ผ่านมา (ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน)

ผู้วิจัย	ไมโครอิมัลชัน	ก๊าซไอเสียที่ทำการวิเคราะห์		
		คาร์บอนมอนนอกไซด์ (พีพีเอ็ม)	ไนโตรเจนออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	คาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)
Arpornpong (2013)	- เมทิลโอเลต/ ออกทานอล - S/C ratio=1:8 - เอทานอลร้อยละ 20 - น้ำมันร้อยละ 60 - S/C ร้อยละ 20	383.5	176	1.105
นิจรรณ อนันตรกิติ (2556)	- ปาล์ม+ดีเซล - ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล - S/C ratio=1:8	300	317	1.16
ศิริณี เฟ็งปรีชา (2556)	- ปาล์ม+ดีเซล - ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล - S/C ratio=1:8	564	720	-
ศศิวิมล วิชาดี (2557)	- ปาล์ม+ดีเซล - ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/ เอทิลอะซิเตท - S/C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub> =1:3:5	457	314	-

## บทที่ 3

### แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้บิวทานอลร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขี้ สารถแรงดึงผิวที่ใช้ในการศึกษาวิจัยคือ เมทิลโอเลียด ซึ่งเป็นสารถแรงดึงผิวที่ไม่มีประจุและได้จากธรรมชาติ มีออกทานอลเป็นสารถแรงดึงผิวร่วม แอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นตัวแทนของเฟสมีขี้คือ เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ 4 ชนิด ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการชั้น 4 ตึกปฏิบัติการรวมวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ช่วงการทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

การทดลองที่ 2 การเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยจะศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้

การทดลองที่ 3 ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 4 ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล โดยสมบัติที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความร้อน ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท และกากคาร์บอน

การทดลองที่ 5 ศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้





ภาพที่ 3-1 แผนดำเนินการทดลอง

**ตารางที่ 3-1** ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ศึกษาในงานวิจัย

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล</li> <li>- สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไตเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และ ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน</li> <li>- ภูมิภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน</li> <li>- ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน</li> <li>- สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน</li> <li>- การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1: 8 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- ปริมาตรของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้ในการทดสอบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์และสมบัติของเชื้อเพลิงเท่ากับ 10 มิลลิลิตร</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ เมทิลโอลิเอต</li> </ul>

### 3.2 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี

#### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

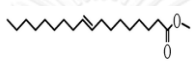


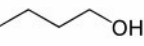
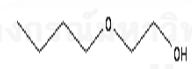

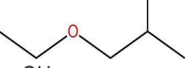
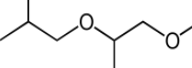
- 1) หลอดทดลอง (test tube)
- 2) ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (rack)
- 3) ปิเปต (pipette)
- 4) ไมโครปิเปต (micropipette)
- 5) ไมโครปิเปตทิว (micropipette tip)
- 6) กระจกบอทดวง (cylinder)
- 7) บีกเกอร์ (beaker)
- 8) ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (vial)
- 9) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
- 10) ขวดดูแรน (duran bottle)

- 11) อ่างน้ำควบคุมความเย็น (cooling bath)
- 12) อ่างน้ำควบคุมความร้อน (heating bath)
- 13) เครื่องผสมสาร (vortex mixer)
- 14) เครื่องวัดความหนืด (viscometer) ชนิด cannon-fenske
- 15) เครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย (gas analyzer testo 310)
- 16) เครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที ยี่ห้อฮิตซูกิ รุ่น 100 KB-4

### 3.2.2 สารเคมี

- 1) น้ำมันปาล์มบริษัทมรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
- 2) น้ำมันดีเซล วี เพาเวอร์ ไนโตรพลัส บริษัทเชลล์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 3) เมทิลโอเลต ค่าความบริสุทธิ์ร้อยละ 70 จากบริษัทซิกม่า อัลดริช จำกัด
- 4) เอทานอล เกรดการค้าที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95
- 5) บิวทานอล เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 จากบริษัทคาร์โล เออร์บา
- 6) ออกทานอล เกรดการวิเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 7) เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 8) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 9) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทเคมีคอล ฮับ จำกัด
- 10) ไตรโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด

ตารางที่ 3-2 โครงสร้างและสมบัติของสารที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

สารเคมี	โครงสร้าง	มวล โมเลกุล (กรัมต่อ โมล)	ความ หนาแน่น (กรัมต่อ มิลลิลิตร)	ความหนืดที่ 40 °ซ (เซนติ สโตกส์)
<b>เฟสที่ไม่มีขั้ว</b>				
น้ำมันปาล์ม	-	-	0.90	45.34
น้ำมันดีเซล	-	-	0.82	4.1
<b>สารลดแรงตึงผิว</b>				
เมทิลโอเลียด		296.46	0.87	4.68
<b>สารลดแรงตึงผิวร่วม</b>				
ออกทานอล		130.23	0.82	6.00
<b>เฟสที่มีขั้ว</b>				
เอทานอล		46.07	0.79	1.20
บิวทานอล		74.00	0.80	3.64
<b>สารเติมแต่ง</b>				
เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์		118.17	0.901	2.230
ไดเอทิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์		134.17	0.988	2.686
โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์		104.00	0.895	1.501
ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์		148.20	0.950	2.576

### 3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 : ศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

1) เตรียมน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร (Attaphong และคณะ, 2012) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร

2) เตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ เมทิลโอลลีเอต ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลในอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 1:8 โดยโมล โดยทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวร่วมตั้งแต่ 0.2 ถึง 3 โมลาร์

3) เติมแอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล (อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ปริมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นทำการผสมสารให้เข้ากันด้วยเครื่องวอร์เท็กซ์

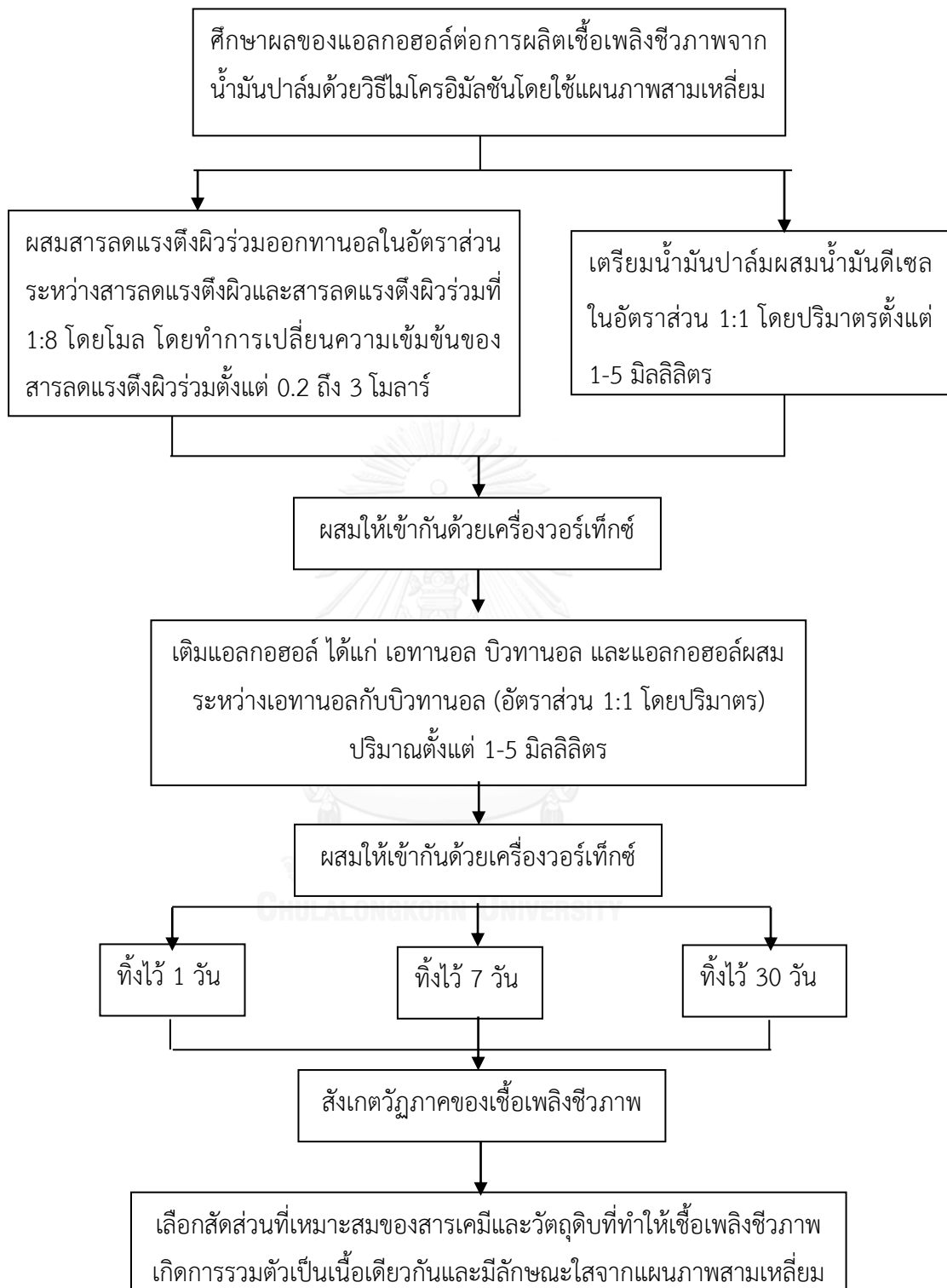
4) ทำตามตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 3 เปลี่ยนปริมาตรของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 2:5, 3:5, 4:5, 5:5, 5:4, 5:3, 5:2 และ 5:1 โดยที่ผลรวมของปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

5) ตั้งเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 7 และ 30 วัน แล้วสังเกตผล

6) เลือกสัดส่วนที่เหมาะสมของสารเคมีและวัตถุดิบที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและมีลักษณะใสจากแผนภาพสามเหลี่ยม โดยจะมีการตรวจสอบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ก่อนนำสัดส่วนไปใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันในการทดลองขั้นต่อไป

#### ตารางที่ 3-3 ตัวแปรในการศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	- แอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล - 1 วัน 7 วัน และ 30 วัน
ตัวแปรตาม	- สัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร - อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1:1 โดยปริมาตร - สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ เมทิลโอลลีเอต



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

### 3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 : การเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1) เตรียมน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร (Attaphong และคณะ, 2012) ตามสัดส่วนที่ได้จากการทดลองในช่วงที่ 1

2) เตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเมทิลโอลิเอตผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลในอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 1:8 โดยโมล แต่เนื่องจากในงานวิจัยได้เลือกใช้สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ อันได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไตเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งเป็น 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5

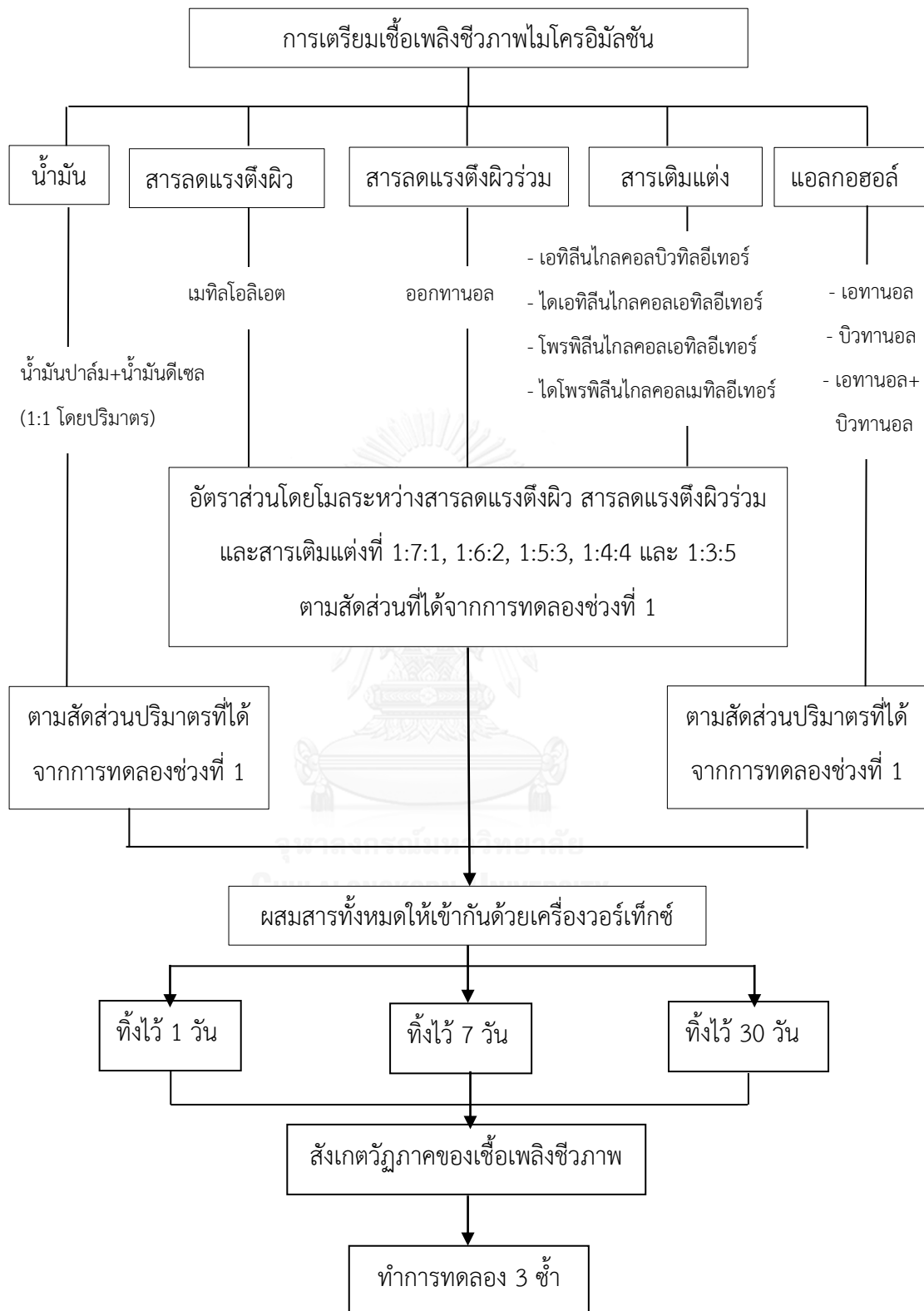
3) ผสมแอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล (อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ตามสัดส่วนที่ได้จากการทดลองในช่วงที่ 1

4) ทำการผสมสารทั้งหมดเข้าด้วยกันด้วยเครื่องวอร์เท็กซ์ โดยมีปริมาตรรวมของสารเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

5) สังเกตวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันโดยตั้งเชื้อเพลิงชีวภาพไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 7 และ 30 วัน และทำการบันทึกผลการทดลอง ทำซ้ำ 3 ครั้ง

#### ตารางที่ 3-4 ตัวแปรในการศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล</li> <li>- สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไตเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และ ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์</li> <li>- อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งที่ 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5</li> <li>- 1 วัน 7 วัน และ 30 วัน</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- วิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ เมทิลโอลิเอต</li> </ul>





### 3.3.3 การทดลองช่วงที่ 3 : ศึกษาความเหนียวเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

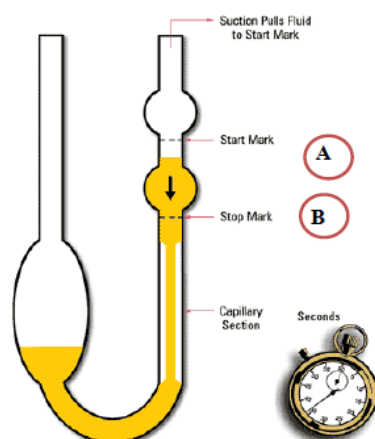
สำหรับในการทดลองช่วงที่ 3 จะนำเอาเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะใส รวมเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่เกิดการแยกชั้นที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2 มาทำการศึกษาค่าความเหนียวเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิง ค่าความเหนียวจะถูวัดด้วยเครื่องวัดความเหนียวชนิด Cannon-Fenske (ASTM D445) ดังนี้

- 1) เทเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกันในหลอด Cannon-Fenske ดังภาพที่ 3-4 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- 2) ดูดเชื้อเพลิงชีวภาพให้อยู่เหนือบนขีดของหลอดวัดความเหนียวเล็กน้อยหลังจากนั้นทำการจับเวลาโดยสังเกตการไหลของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากขีดด้านบนจนกระทั่งถึงขีดด้านล่างของหลอด Cannon-Fenske
- 3) ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 4) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
- 5) คำนวณหาค่าความเหนียวเชิงจลนศาสตร์ ดังสมการที่ 3.1

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

เมื่อ	$\mu$	คือ	ค่าความเหนียวเชิงจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์)
	K	คือ	ค่าความเหนียวคงที่ (0.01606 เซนติสโตกส์ต่อวินาที)
	t	คือ	เวลาที่สารเคลื่อนที่ในหลอดวัดความเหนียว (วินาที)

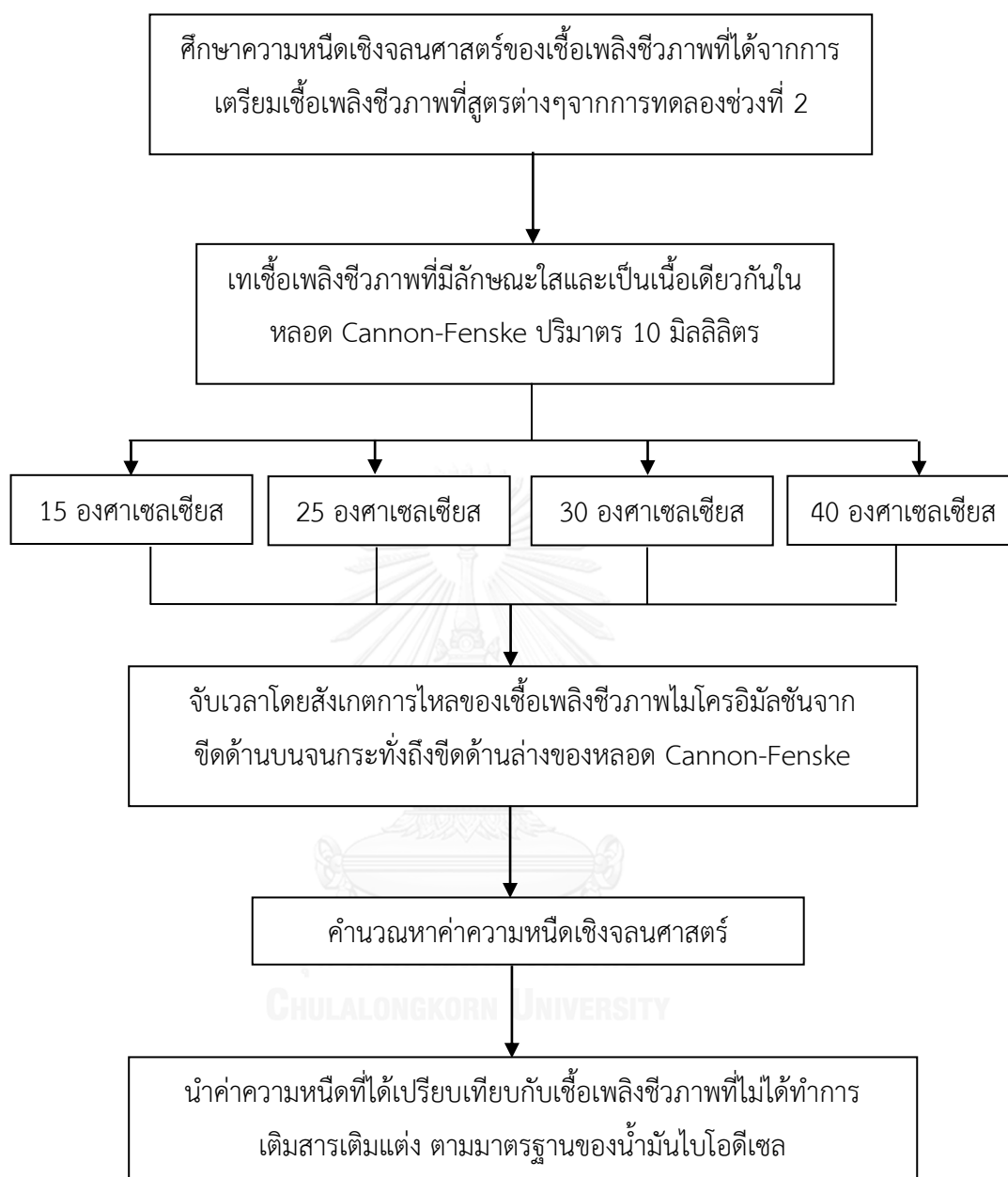
- 6) นำค่าความเหนียวที่ได้เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้ทำการเติมสารเติมแต่งตามมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล



ภาพที่ 3-4 หลอดวัดความหนืดชนิด Cannon-Fenske  
(นิจวรรณ อนันตรกิตติ, 2556)

ตารางที่ 3-5 ตัวแปรในการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล</li> <li>- สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และ ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์</li> <li>- อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และสารเติมแต่งที่ 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5</li> <li>- ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ เมทิลโฮลิเอต</li> </ul>



ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

### 3.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 : ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1) นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะเป็นใส รวมเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้นที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2 มาทำการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิง อันได้แก่ ค่าความร้อน ความหนาแน่น จุดชุ่น จุดไหลเท และกากคาร์บอน

2) เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล  
**หมายเหตุ :** .ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาปริมาณน้ำ เนื่องจากในช่วงที่ทำงานวิจัยเครื่องมือไม่อยู่ในสภาพที่พร้อมทำการศึกษได้ ส่วนปริมาณเก่าที่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์มีอุณหภูมิสูงถึง 550 องศาเซลเซียส และตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์เป็นน้ำมันที่มีของผสมที่ทำให้เกิดการจุดติดไฟได้ง่าย ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายในระหว่างที่ทำการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงทำการศึกษาปริมาณกากคาร์บอนทดแทนเนื่องจากสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่า

**ตารางที่ 3-6** เครื่องมือและวิธีการที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิง

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

ที่มา : ASTM International, 2013 และ Arpornpong, 2013

**ตารางที่ 3-7** ตัวแปรในการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล</li> <li>- สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไตเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และ ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์</li> <li>- อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งที่ 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5</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>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนแอลกอฮอล์ผสมเอทานอลต่อบิวทานอล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ เมทิลโอเลียด</li> </ul>

**1) ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ**

ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นบันทึกผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้จากการทดลองมา คำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการที่ 3.2 แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

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

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

## 2) จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

นำเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงแล้วสังเกตการเกิดผลึกหรือไขของเชื้อเพลิงชีวภาพ จากนั้นบันทึกอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดผลึก ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าจุดขุ่นที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

## 3) จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ

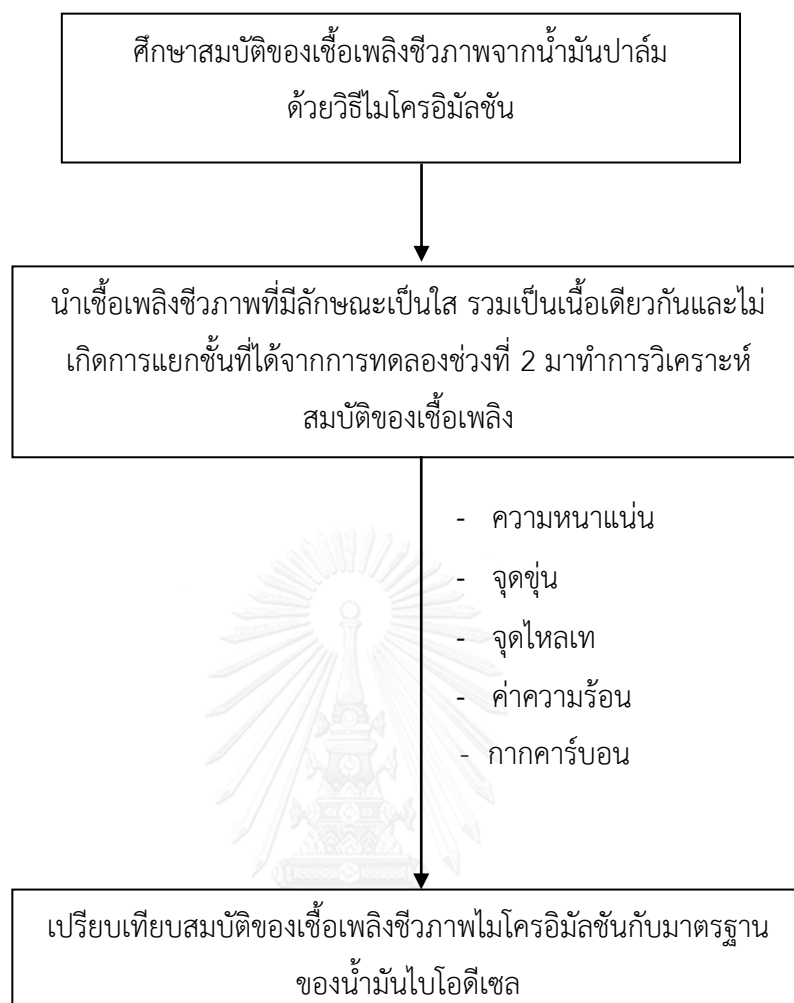
นำเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาควบคุมอุณหภูมิที่ 9 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงโดยใช้น้ำแข็งและเกลือเป็นตัวช่วย สังเกตการไหลของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยอุณหภูมิที่เกิดจุดไหลเทเชื้อเพลิงชีวภาพจะไม่สามารถไหลได้ จากนั้นเอียงหลอดเชื้อเพลิงชีวภาพในแนวนอนประมาณ 5 วินาทีที่อุณหภูมิที่เกิดจุดไหลเท สังเกตแล้วบันทึกผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าจุดไหลเทที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

## 4) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ วิเคราะห์โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยวิธีการเผาด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

## 5) กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

กากคาร์บอนสามารถวิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหลือหลังการเผาด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

### 3.3.5 การทดลองช่วงที่ 5 : ศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

- 1) นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากการเลือกสูตรน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลมาทำการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซไอเสียของน้ำมันเชื้อเพลิง
- 2) ทดสอบการปล่อยก๊าซไอเสียของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบคงที่ 1,800 รอบต่อนาที
- 3) วัดปริมาณก๊าซไอเสียด้วยเครื่องวัดไอเสีย (gas analyzer testo 310) โดยจะทำการวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพ
- 4) เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่วัดได้กับน้ำมันดีเซล

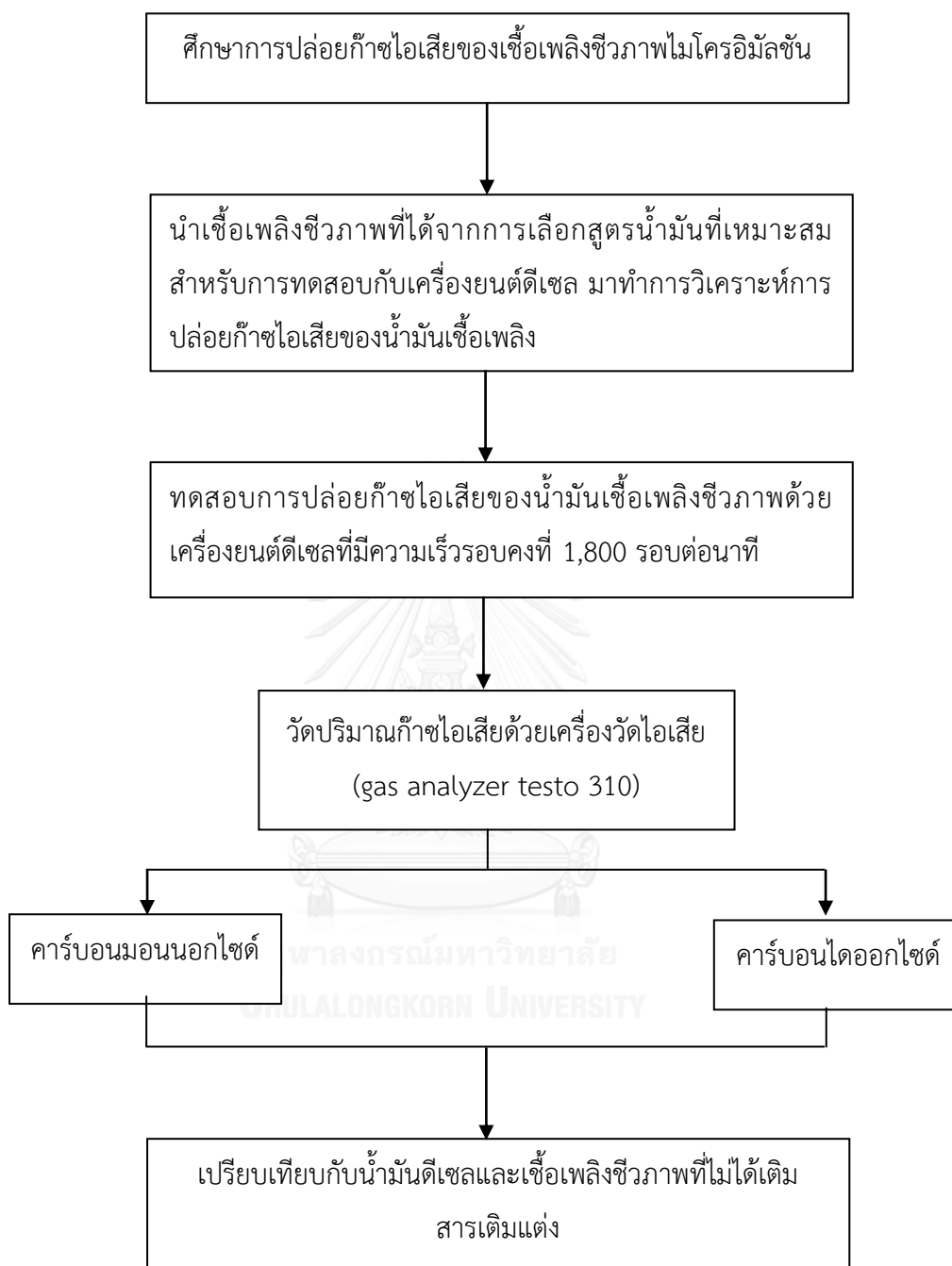
**หมายเหตุ :** ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ เนื่องจากไม่มีเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

**ตารางที่ 3-8** ข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ

เครื่องยนต์	MITZUKI
รุ่น	100 KB-4
ภาระโหลด (วัตต์)	1,500
ระบบสตาร์ท	ระบบกัญญแจสตาร์ท/เชือกดึงสตาร์ท
ขนาดท่อเข้า-ออก	4 นิ้ว
เครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)	1,800
ไดนาโม (รอบต่อนาที)	1,500
กำลัง	10 แรงม้า
ระยะเวลาในการสตาร์ทเครื่องยนต์ (นาที)	5
น้ำหนัก	65 กิโลกรัม

ที่มา: Arpornpong, 2013





ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

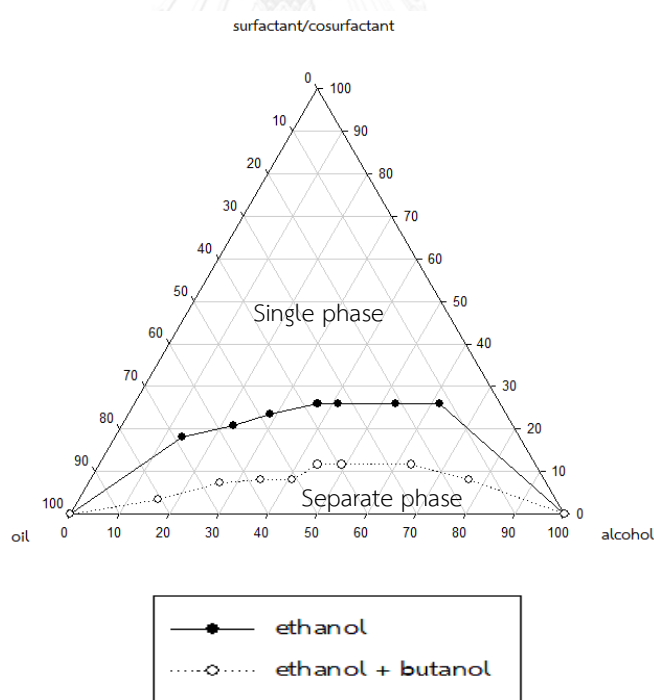
งานวิจัยนี้นำเสนอผลของการเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้บิวทานอลร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ โดยในงานวิจัยสนใจศึกษาผลของแอลกอฮอล์ 3 ชนิด ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไตรเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ในระบบที่ประกอบไปด้วยน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้ว เมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิวและออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยมและหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ จากนั้นศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง และการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้

#### 4.1 ผลของแอลกอฮอล์ต่อการเกิดวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อพฤติกรรมของเฟสไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม แผนภาพสามเหลี่ยมนี้เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า ประกอบด้วย 3 แกน 5 องศาประกอบ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) และแอลกอฮอล์ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสารต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏภาค โดยจะแสดงสัดส่วนของสารที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase) และไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (separate phase)

ผลการศึกษาแสดงในภาพที่ 4-1 เป็นการเปรียบเทียบผลของชนิดแอลกอฮอล์ (alcohol) ต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วในระบบที่ประกอบด้วยน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้ว โดยมีเมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (cosurfactant) ที่อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผล

การศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณของแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสมีขี้เพิ่มขึ้น ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการละลายเฟสมีขี้จะมากขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบผลของแอลกอฮอล์พบว่าในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขี้จะมีพื้นที่ส่วนที่เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าระบบที่ใช้เอทานอลแต่เพียงอย่างเดียวหรือในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล แสดงถึงในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขี้ เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวกันได้โดยไม่ต้องใช้สารลดแรงตึงผิว เนื่องจากบิวทานอลมีสมบัติไม่มีขี้สูงกว่าเอทานอล จึงสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี ส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ละลายเฟสที่มีขี้ น้อยลง (Atmanli และคณะ, 2015) จึงสรุปได้ว่าเมื่อใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขี้ให้ผลที่น่าสนใจในด้านพฤติกรรมของเฟส สามารถลดปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ และสัดส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันไม่เกิดการแยกชั้นในทุกๆระบบแอลกอฮอล์คือ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ที่สัดส่วนร้อยละ 60 โดยปริมาตร แอลกอฮอล์ ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่ 1:8 โดยโมล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร



**ภาพที่ 4-1** แสดงการเปรียบเทียบผลของชนิดแอลกอฮอล์ต่อพฤติกรรมของเฟสไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยมของระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสมีขี้ โดยมีน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขี้และเมทิลโอเลตต่อเอทานอลที่ 1:8 โดยโมล

#### 4.2 ผลการศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปริมาณร้อยละ 60 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสไม่มีหัว สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลตต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล แต่เนื่องจากในงานวิจัยได้เลือกใช้สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) และ ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งเป็น 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5 ปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสมีหัว ผสมองค์ประกอบต่างๆให้เข้ากัน แล้วสังเกตวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 1 7 และ 30 วัน

ผลการศึกษาพบว่าในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีหัว เมื่อทำการเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5 เชื้อเพลิงชีวภาพมีลักษณะขุ่นและเมื่อตั้งทิ้งไว้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการแยกชั้นไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากในการศึกษาวิจัยได้ใช้สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม เมื่อสารลดแรงตึงผิวร่วมซึ่งมีหน้าที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิวทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันมีสัดส่วนที่ลดลง การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพจึงเกิดได้ยากขึ้น ประกอบกับเอทานอลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 จึงส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบของเอทานอล (Arpornpong, 2013) และที่อัตราส่วน 1:7:1 เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ในทุกสารเติมแต่ง ในขณะที่อัตราส่วน 1:6:2 มีเพียงเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) และโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ที่เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4-2 สำหรับในระบบที่ใช้บิวทานอลและแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เมื่อเติมสารเติมแต่งลงไปในระบบที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีลักษณะใสและสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ทุกอัตราส่วน เนื่องจากบิวทานอลมีสมบัติไม่มีหัวสูงกว่าเอทานอล จึงสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี และบิวทานอลที่ใช้เป็นตัวแทนของเฟสมีหัวมีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99.5 ส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ละลายเฟสที่มีหัวน้อยลง ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่ายกว่าในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีหัว

แสดงการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase) และไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (separate phase) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ ดังตารางที่ 4-1



ภาพที่ 4-2 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะใสรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะขุ่นและเมื่อตั้งทิ้งไว้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการแยกชั้น

ตารางที่ 4-1 การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase) และไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (separate phase) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวอย่าง	แอลกอฮอล์	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	การเกิด Single phase
1	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
2	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	✓
3	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	EGBE	1:5:3	×
4	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	×
5	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	×
6	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
7	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	×
8	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	DEGEE	1:5:3	×
9	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	×
10	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	×
11	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
12	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	✓
13	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	PGEE	1:5:3	×
14	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	×
15	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	×
16	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
17	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	×
18	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	DPGME	1:5:3	×
19	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	×
20	เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	×
21	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
22	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	✓
23	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	EGBE	1:5:3	✓
24	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	✓
25	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	✓
26	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	DEGEE	1:7:1	✓

ตารางที่ 4-1 การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase) และไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (separate phase) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ต่อ)

ตัวอย่าง	แอลกอฮอล์	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	การเกิด Single phase
27	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	✓
28	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	DEGEE	1:5:3	✓
29	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	✓
30	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	✓
31	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
32	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	✓
33	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	PGEE	1:5:3	✓
34	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	✓
35	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	✓
36	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
37	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	✓
38	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	DPGME	1:5:3	✓
39	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	✓
40	บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	✓
41	เอทานอล ผสม บิวทานอล เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
42	เอทานอล ผสม บิวทานอล เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	EGBE	1:6:2	✓
43	เอทานอล ผสม บิวทานอล เอทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:5:3	✓
44	เอทานอล ผสม บิวทานอล	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	✓

ตารางที่ 4-1 การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase) และไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (separate phase) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ตัวแอลกอฮอล์	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	การเกิด Single phase
45	เอทานอลผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	EGBE	1:3:5	✓
46	บิวทานอลเอทานอลผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
47	เอทานอลผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	✓
48	บิวทานอลเอทานอลผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	DEGEE	1:5:3	✓
49	เอทานอลผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	✓
50	บิวทานอลเอทานอลผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	✓
51	เอทานอลผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	PGEE	1:7:1	✓
52	บิวทานอลเอทานอลผสม				1:6:2	✓



ตารางที่ 4-1 การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase) และไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (separate phase) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ตัวแอลกอฮอล์	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	การเกิด Single phase
53	เอทานอล ผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:5:3	✓
54	บิวทานอล เอทานอล ผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	PGEE	1:4:4	✓
55	เอทานอล ผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	✓
56	บิวทานอล เอทานอล ผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:7:1	✓
57	เอทานอล ผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:6:2	✓
58	บิวทานอล เอทานอล ผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล	DPGME	1:5:3	✓
59	เอทานอล ผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:4:4	✓
60	บิวทานอล เอทานอล ผสม	เมทิลโอลิเอต	ออกทานอล		1:3:5	✓

หมายเหตุ : ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (single phase)

× คือ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (separate phase)

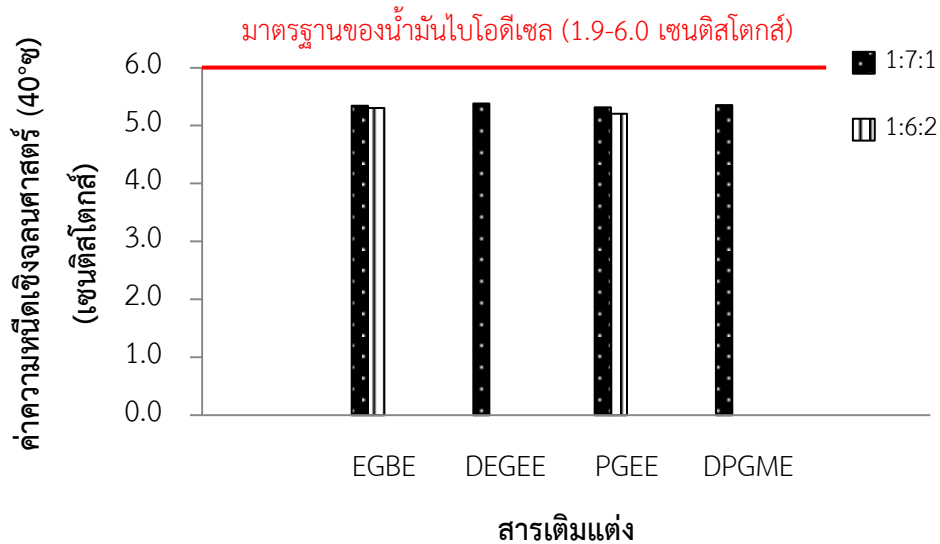
### 4.3 ผลการศึกษาความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ในการศึกษาวิจัยนี้ความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันวัดด้วยเครื่องวัดความเหน็ดชนิด Cannon-Fenske ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D445 (ASTM, 2013) ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพที่ศึกษามีองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปริมาตรร้อยละ 60 โดยปริมาตร อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทิลโอเลียด ออกทานอลและสารเติมแต่งที่ 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5 ปริมาตร ร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปริมาตรร้อยละ 20 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสมีซัว

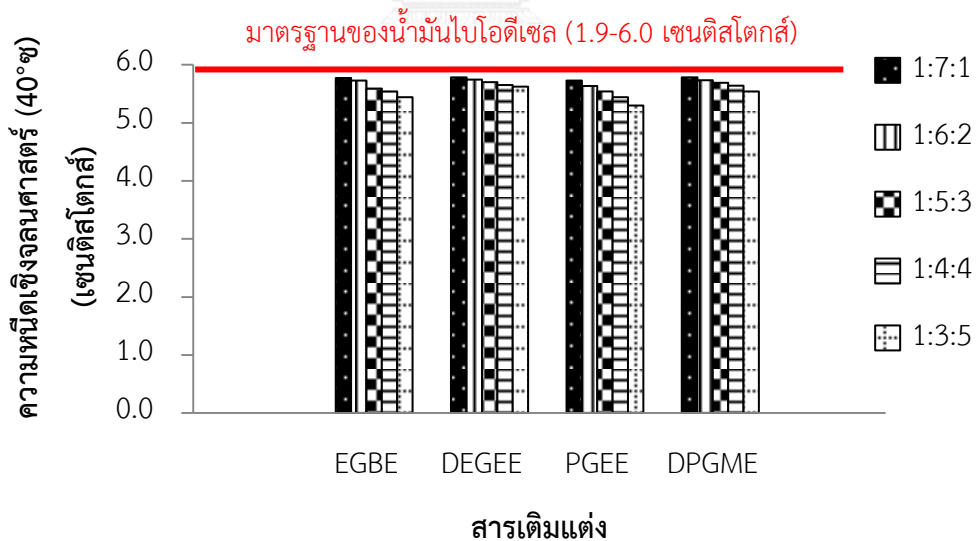
#### 4.3.1 ผลการศึกษาความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4-3 ถึง 4-5 พบว่าการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง โดยสัดส่วนของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าลดลง ในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัวค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพกรณีที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีค่าเท่ากับ 5.5 เซนติสโตกส์ และค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วน 1:7:1 และ 1:6:2 อยู่ในช่วง 5.2-5.4 เซนติสโตกส์ สำหรับระบบที่ใช้บิวทานอล ความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีค่าเท่ากับ 5.9 เซนติสโตกส์ เมื่อเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ ค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในช่วง 5.3-5.8 เซนติสโตกส์ และระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์เท่ากับ 5.7 เซนติสโตกส์ เมื่อเติมสารเติมแต่งเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ลดลงอยู่ในช่วง 5.0-5.6 เซนติสโตกส์ ซึ่งค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งในทุกระบบแอลกอฮอล์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (1.9-6.0 เซนติสโตกส์) เนื่องจากสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์จัดเป็นสารออกซิเจนเนต (oxygenate compound) ภายในโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (R-OH) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีซัวสามารถรวมตัวกับแอลกอฮอล์ได้ดี และหมู่แอลคอกซี (R-O-R) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ไม่มีซัวสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี ดังนั้นเมื่อเติมสารเติมแต่งเชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการรวมตัวได้ดีขึ้น เกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การเคลื่อนที่ของอนุภาคเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น ค่าความเหน็ดแข็งจนศาสตร์จึงลดลงด้วย (ศศิวิมล วิชาดี, 2557) อีกทั้งยังพบว่าสารเติมแต่งกลุ่ม

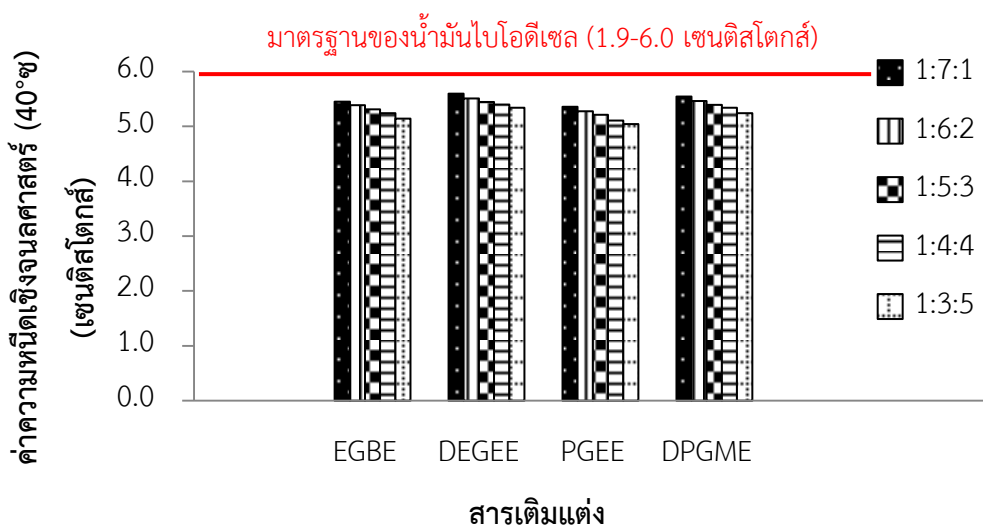
ไกลคอลอีเทอร์ชนิดโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์มีผลทำให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดอื่นๆ



ภาพที่ 4-3 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว



ภาพที่ 4-4 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว

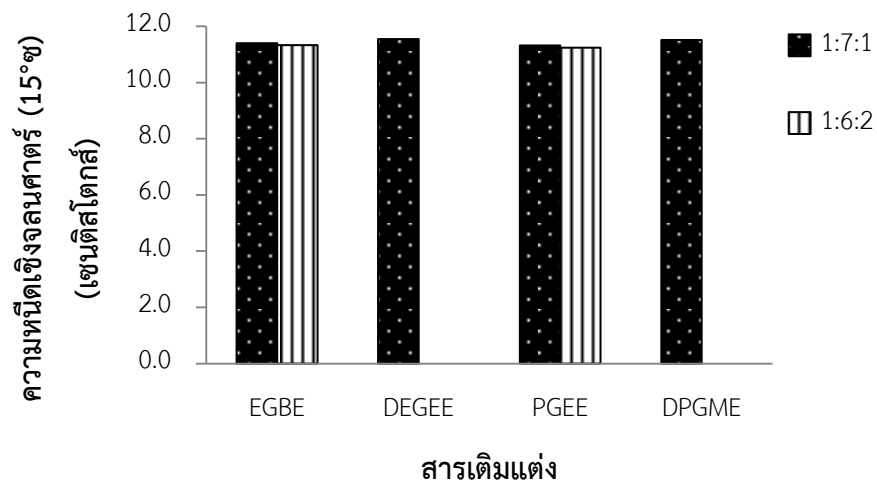


ภาพที่ 4-5 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล (1:1 โดยปริมาตร) เป็นตัวแทนของเฟสมีซิว

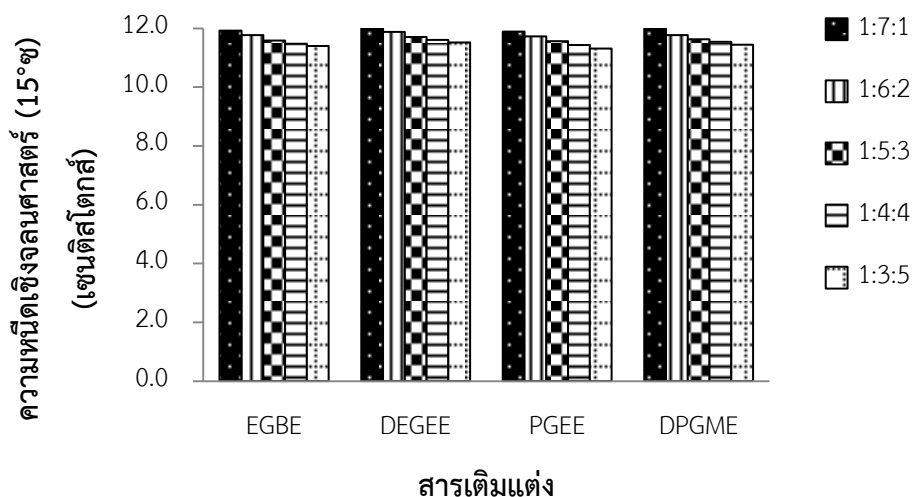
#### 4.3.2 ผลการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิต่างๆ

ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงทุกระบบ แอลกอฮอล์ทั้งในกรณีที่เติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์และไม่เติมสารเติมแต่ง ดังแสดงในภาพที่ 4-6 ถึง 4-14 เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งความร้อนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวลดลง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงด้วย (Do และคณะ, 2011) ในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซิว ที่อุณหภูมิ 15 25 และ 30 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์เท่ากับ 11.6, 8.4 และ 7.4 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ เมื่อเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ลดลงอยู่ในช่วง 11.2-11.5, 8.0-8.2 และ 7.0-7.2 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ และในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซิว ที่อุณหภูมิ 15 25 และ 30 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์เท่ากับ 12.1, 9.1 และ 8.0 เซนติสโตกส์ เมื่อเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้อยู่ในช่วง 11.3-12.0, 8.0-9.0 และ 6.9-8.0 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ สำหรับในระบบที่ใช้

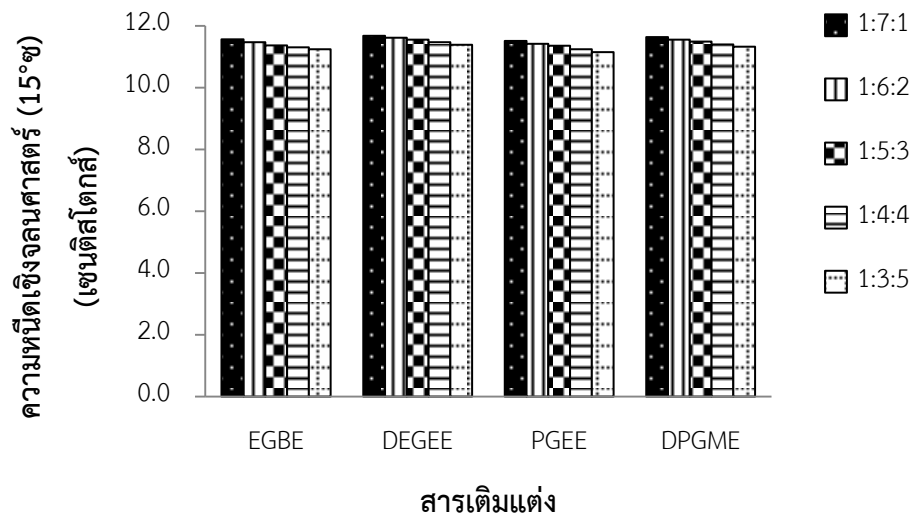
แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว เชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 15 25 และ 30 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในช่วง 11.1-11.7, 7.9-8.6 และ 6.6-7.4 เซนติสโตกส์ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง (11.8 8.7 และ 7.6 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ) โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลง



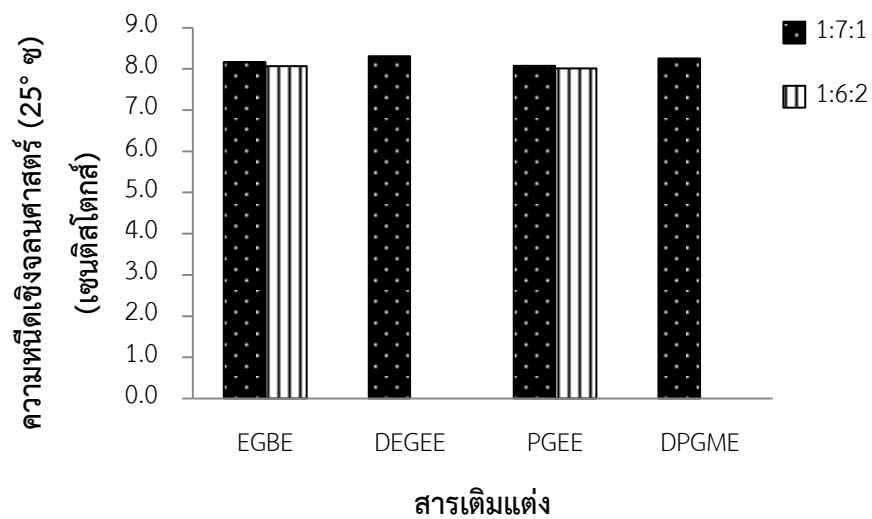
ภาพที่ 4-6 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว



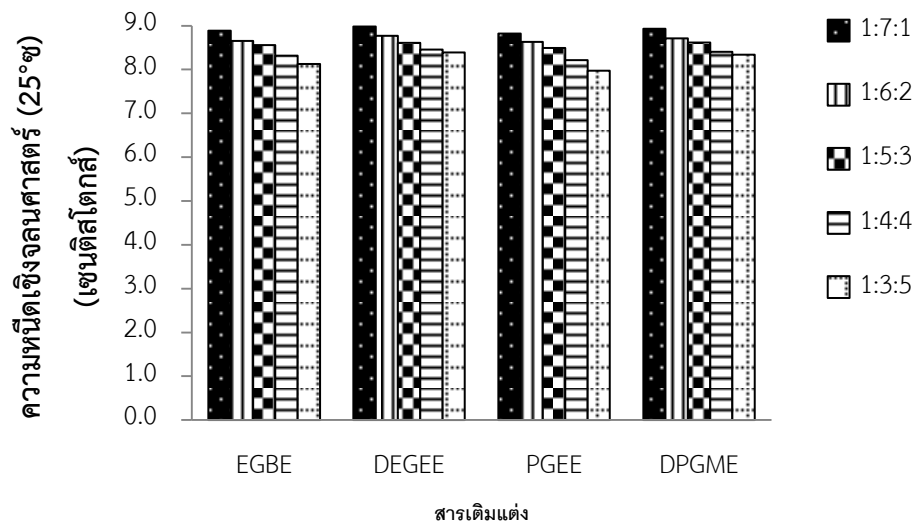
ภาพที่ 4-7 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว



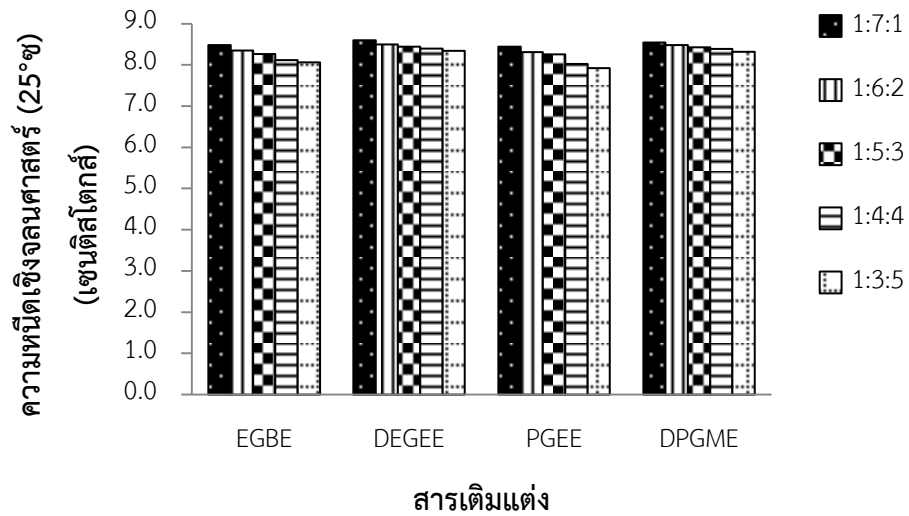
ภาพที่ 4-8 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล (1:1 โดยปริมาตร) เป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว



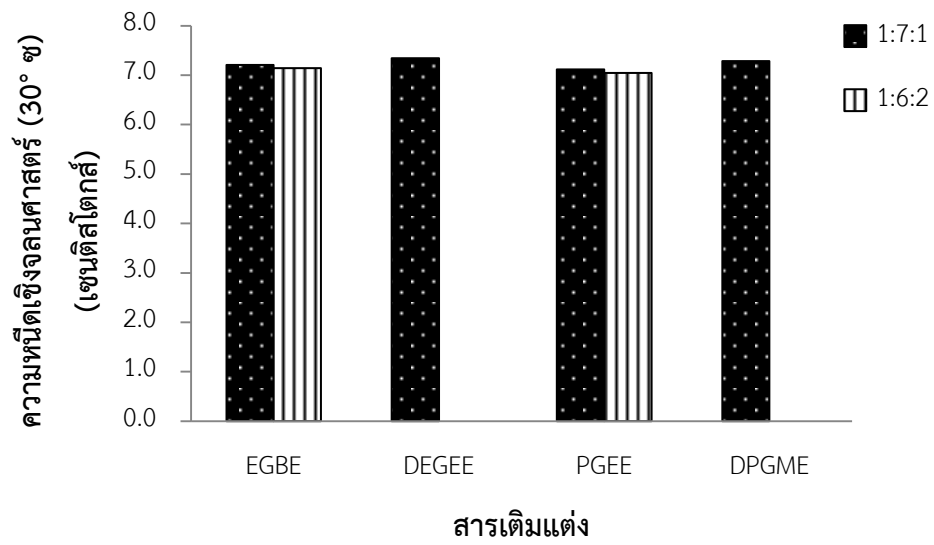
ภาพที่ 4-9 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว



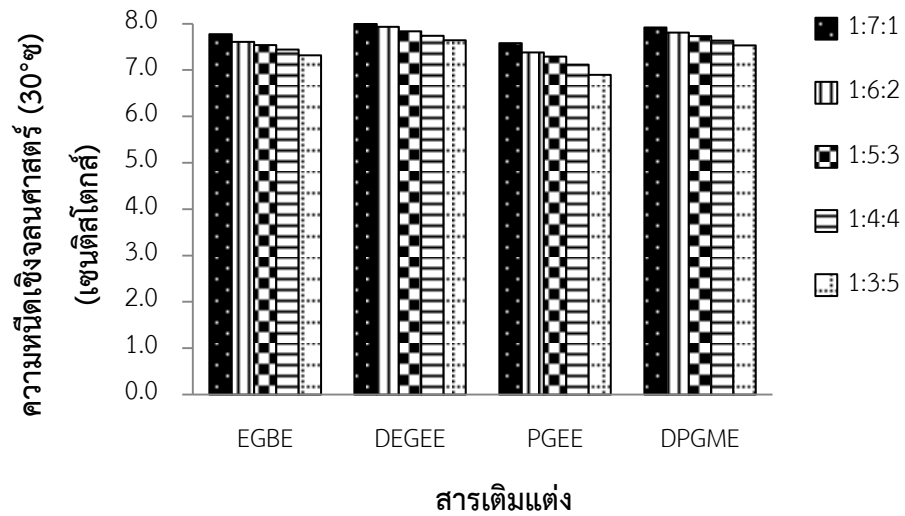
ภาพที่ 4-10 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว



ภาพที่ 4-11 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล (1:1 โดยปริมาตร) เป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว

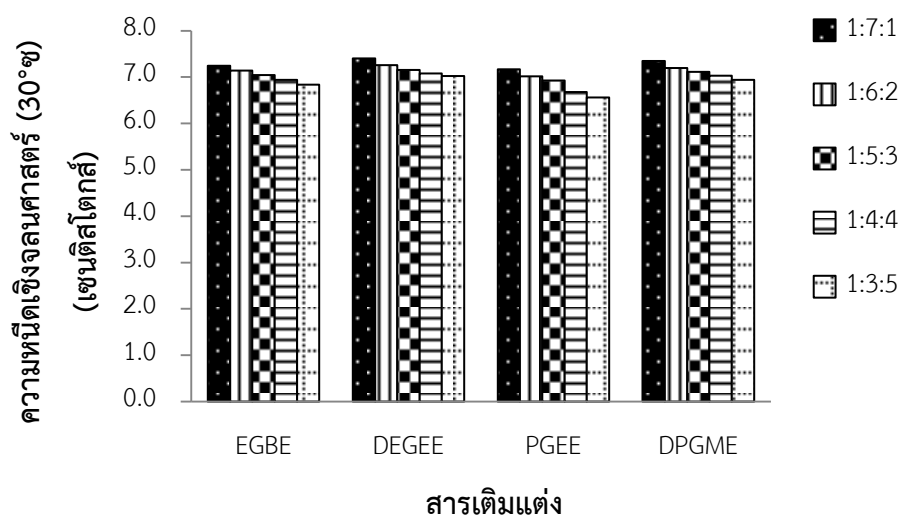


ภาพที่ 4-12 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซั่ว



ภาพที่ 4-13 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซั่ว





ภาพที่ 4-14 ผลของสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล (1:1 โดยปริมาตร) เป็นตัวแทนของเฟสมีซิว

#### 4.4 ผลการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะใส รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้นจากการศึกษาช่วงที่ 2 ทำการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น จุดชุน จุดไหลเท ค่าความร้อน และกากคาร์บอน โดยนำผลการศึกษาที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

##### 4.4.1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซิวมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.82 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อทำการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.82-0.83 กรัมต่อมิลลิลิตร ในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซิวพบว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.83 กรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อทำการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.83-0.84 กรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับในระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรพบว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าเท่ากับ 0.83 กรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆพบว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในช่วง 0.83-0.84 กรัมต่อมิลลิลิตร จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซิว ค่าความหนาแน่น

ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่ามากกว่าในระบบที่ใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากความหนาแน่นของบิวทานอลมีค่าเท่ากับ 0.80 กรัมต่อมิลลิเมตร มากกว่าเอทานอลซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.79 กรัมต่อมิลลิเมตร และเมื่อทำการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากความหนาแน่นของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4-2 และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล (0.81-0.87 กรัมต่อมิลลิเมตร)และไบโอดีเซล (0.83-0.89 กรัมต่อมิลลิเมตร)

**ตารางที่ 4-2** ความหนาแน่นของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์

สารเติมแต่ง	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE)	0.901
ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE)	0.988
โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE)	0.895
ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME)	0.950

#### 4.4.2 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

จุดขุ่นเป็นจุดที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดความขุ่น เป็นจุดที่ไขในน้ำมันเริ่มเกิดการตกผลึกและก่อตัวเป็นของแข็ง บอกให้ทราบถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถนำน้ำมันเชื้อเพลิงไปใช้งานได้ ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4-3 พบว่าในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขี้จุดขุ่นที่อุณหภูมิต่ำสุดของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าจุดขุ่นที่อุณหภูมิต่ำสุดของระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล (4 องศาเซลเซียส) และในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขี้เพียงอย่างเดียว (12 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่มีขี้ของบิวทานอลที่มีค่าสูงกว่าเอทานอล การรวมตัวกับน้ำมันจึงเกิดได้ดี โอกาสที่เชื้อเพลิงชีวภาพจะเกิดความขุ่นและแยกชั้นจึงเกิดได้ยากกว่าในระบบที่ใช้เอทานอล และเมื่อเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง และเมื่อเปรียบเทียบจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งกรณีที่ได้เติมสารเติมแต่งและไม่เติมสารเติมแต่งกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีอุณหภูมิจุดขุ่นเท่ากับหรือน้อยกว่า -5 องศาเซลเซียส พบว่าจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่ามาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

**ตารางที่ 4-3** ผลการศึกษาของข้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลโอเลอเตดเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิว ร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆในระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เป็นตัวแทนของเฟสมีขี้

ตัว อย่าง	แอลกอฮอล์	สารเติมแต่ง	อุณหภูมิจุดขุ่น (องศาเซลเซียส)																		
			ชนิด	อัตราส่วน	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
1	เอทานอล	EGBE	1:7:1	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
			1:6:2	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			1:7:1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	เอทานอล + บิวทานอล	DEGEE	1:7:1	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
			1:6:2	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			1:7:1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	เอทานอล + บิวทานอล	DPGME	1:7:1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			1:6:2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			1:5:3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	เอทานอล + บิวทานอล	DEGEE	1:4:4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			1:3:5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			1:7:1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	เอทานอล + บิวทานอล	DEGEE	1:6:2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			1:5:3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			1:7:1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

**ตารางที่ 4-3** ผลการศึกษาจุดชุมชนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลเอเลเตเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มโกลคอลลีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆในระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เป็นตัวแทนของเฟสมีโซ

ตัว อย่าง	แอลกอฮอล์	สารเติมแต่ง	อุณหภูมิจุดชุมชน (องศาเซลเซียส)																		
			ชนิด	อัตราส่วน	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
2	เอทานอล	DEGEE	1:4:4	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
			1:3:5	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			1:7:1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
			1:6:2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
			1:5:3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
	บิวทานอล	PGEE	1:4:4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	
			1:3:5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	
			1:7:1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	
			1:6:2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	
			1:5:3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	
3	เอทานอล	DPGME	1:4:4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	
			1:3:5	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			1:7:1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
			1:6:2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
			1:5:3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
	บิวทานอล	EGBE	1:4:4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
			1:3:5	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			1:7:1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
			1:6:2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓
			1:5:3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓

**ตารางที่ 4-3** ผลการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมล็ดโกลเดิลเอดเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มโกลโคลิเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆในระบอบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เป็นตัวแทนของเพลิงชีว (ต่อ)

ตัว อย่าง	แอลกอฮอล์	อุณหภูมิจุดชุน (องศาเซลเซียส)																
		สารเติมแต่ง	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
3	บิวทานอล	ชนิด	อัตราส่วน	DPGME	1:7:1	1:6:2	1:5:3	1:4:4	1:3:5									
					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

**หมายเหตุ :** ✓ คือ อุณหภูมิที่เกิดจุดชุน  
 X คือ อุณหภูมิที่ยังไม่เกิดจุดชุน

#### 4.4.3 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ

จุดไหลเทเป็นจุดที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเชื้อเพลิงยังคงสามารถไหลได้ ผลการศึกษาพบว่า ในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว เชื้อเพลิงชีวภาพมีจุดไหลเทที่อุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับระบบเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว (-10 องศาเซลเซียส) และในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัวเพียงอย่างเดียว (-9 องศาเซลเซียส) เนื่องจากบิวทานอลมีสมบัติความไม่ขี้สูง สามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดี จึงทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีบิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัวเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัว และเมื่อเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์แต่ละชนิดที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีจุดไหลเทที่อุณหภูมิต่ำกว่า -9 องศาเซลเซียส ในทุกระบบแอลกอฮอล์ เนื่องจากสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีสมบัติในการทำให้จุดเยือกแข็งของของเหลวลดลง (anti-freezing) สามารถป้องกันการแข็งตัวของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งจึงพบอุณหภูมิจุดไหลเทได้ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่เติมสารเติมแต่ง ดังแสดงในตารางที่ 4-4 และมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (-9 องศาเซลเซียส)

**ตารางที่ 4-4** ผลการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆในระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เป็นตัวแทนของเฟสมือ

ตัวอย่าง	แอลกอฮอล์	สารเติมแต่ง		อุณหภูมิจุดไหลเท (องศาเซลเซียส)						
		ชนิด	อัตราส่วน	0	-3	-6	-9	>-9		
1	เอทานอล	EGBE	1:7:1	×	×	×	×	✓		
			1:6:2	×	×	×	×	✓		
		DEGEE	1:7:1	×	×	×	×	✓		
			PGEE	1:7:1	×	×	×	×	✓	
		PGEE	1:6:2	×	×	×	×	✓		
			DPGME	1:7:1	×	×	×	×	✓	
		2	เอทานอล + บิวทานอล	EGBE	1:7:1	×	×	×	×	✓
					1:6:2	×	×	×	×	✓
				DEGEE	1:5:3	×	×	×	×	✓
					1:4:4	×	×	×	×	✓
PGEE	1:3:5			×	×	×	×	✓		
	1:7:1			×	×	×	×	✓		
PGEE	1:6:2			×	×	×	×	✓		
	1:5:3			×	×	×	×	✓		
DPGME	1:4:4			×	×	×	×	✓		
	1:3:5			×	×	×	×	✓		
DPGME	1:7:1	×	×	×	×	✓				
	1:6:2	×	×	×	×	✓				

**ตารางที่ 4-4** ผลการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆในระบบที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เป็นตัวแทนของเฟสมือ (ต่อ)

ตัวอย่าง	แอลกอฮอล์	สารเติมแต่ง		อุณหภูมิจุดไหลเท (องศาเซลเซียส)				
		ชนิด	อัตราส่วน	0	-3	-6	-9	>-9
2	เอทานอล +	DPGME	1:5:3	×	×	×	×	✓
			1:4:4	×	×	×	×	✓
			1:3:5	×	×	×	×	✓
	บิวทานอล	EGBE	1:7:1	×	×	×	×	✓
			1:6:2	×	×	×	×	✓
			1:5:3	×	×	×	×	✓
			1:4:4	×	×	×	×	✓
			1:3:5	×	×	×	×	✓
			1:7:1	×	×	×	×	✓
			1:6:2	×	×	×	×	✓
3	บิวทานอล	DEGEE	1:5:3	×	×	×	×	✓
			1:4:4	×	×	×	×	✓
			1:3:5	×	×	×	×	✓
			1:7:1	×	×	×	×	✓
			1:6:2	×	×	×	×	✓
		PGEE	1:5:3	×	×	×	×	✓
			1:4:4	×	×	×	×	✓
			1:3:5	×	×	×	×	✓
			1:7:1	×	×	×	×	✓
			1:6:2	×	×	×	×	✓
DPGME	1:5:3	×	×	×	×	✓		
	1:4:4	×	×	×	×	✓		
	1:3:5	×	×	×	×	✓		
	1:3:5	×	×	×	×	✓		

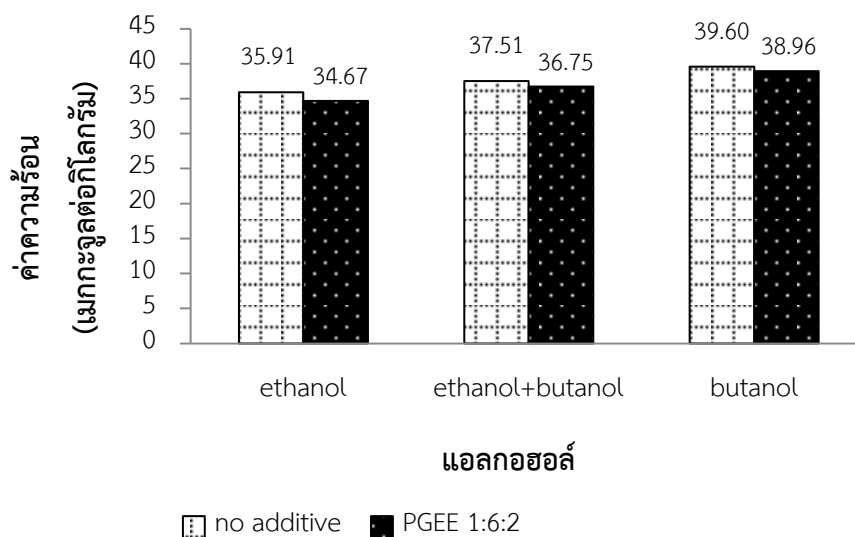
หมายเหตุ : ✓ คือ อุณหภูมิที่เกิดจุดไหลเท × คือ อุณหภูมิที่ยังไม่เกิดจุดไหลเท



#### 4.4.4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ค่าความร้อน เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ของ น้ำมันเชื้อเพลิง สามารถวัดค่าพลังงานความร้อนได้จากเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM D240 (ASTM, 2013) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาผลของการใช้แอลกอฮอล์ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-15 เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล เป็นตัวแทนของเฟสมีขั้ว ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 34.67-39.60 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าสูงกว่าระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลและเอทานอลเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับ 39.60 37.51 และ 35.91 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วน 1:6:2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันในทุกระบบแอลกอฮอล์ พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง โดยมีค่าเท่ากับ 38.96 36.75 และ 34.67 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ในระบบที่ใช้บิวทานอล แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล และเอทานอล เป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้วตามลำดับ เนื่องจากโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์เป็นสารออกซิเจนที่มีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล จึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งมีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งเล็กน้อย

เมื่อนำค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งและไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ในทุกระบบแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 42.6 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม (Do และคณะ, 2011) พบว่าในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพใกล้เคียงกับค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลมากที่สุด เนื่องจากบิวทานอลมีค่าความร้อนที่สูงกว่าเอทานอล ส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธีไมโครอิมัลชันยังมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธีไมโครอิมัลชันนั้นมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในระบบเป็นจำนวนมาก ซึ่งออกซิเจนมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลงจึงส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลด้วย (Arpornpong และคณะ, 2014)



ภาพที่ 4-15 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

#### 4.4.5 กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

กากคาร์บอน คือ ปริมาณคาร์บอนตกค้างจากการเผาไหม้ของน้ำมันภายในห้องเผาไหม้ สามารถบอกแนวโน้มของคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงและอัตราการระเหยได้ของเชื้อเพลิง น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีการระเหยตัวต่ำจะมีแนวโน้มของการหลงเหลือกากคาร์บอนในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันที่มีการระเหยตัวสูง (ประณต กุลประสูต, 2553) ปริมาณกากคาร์บอนที่สูงจะส่งผลให้ท่อไอเสียเกิดควันดำและเกิดคราบเขม่าภายในห้องเผาไหม้ สามารถวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหลือหลังการเผาด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ภาพที่ 4-16 แสดงเชื้อเพลิงชีวภาพใน crucible ก่อนเผา และกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหลือหลังการเผาด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์



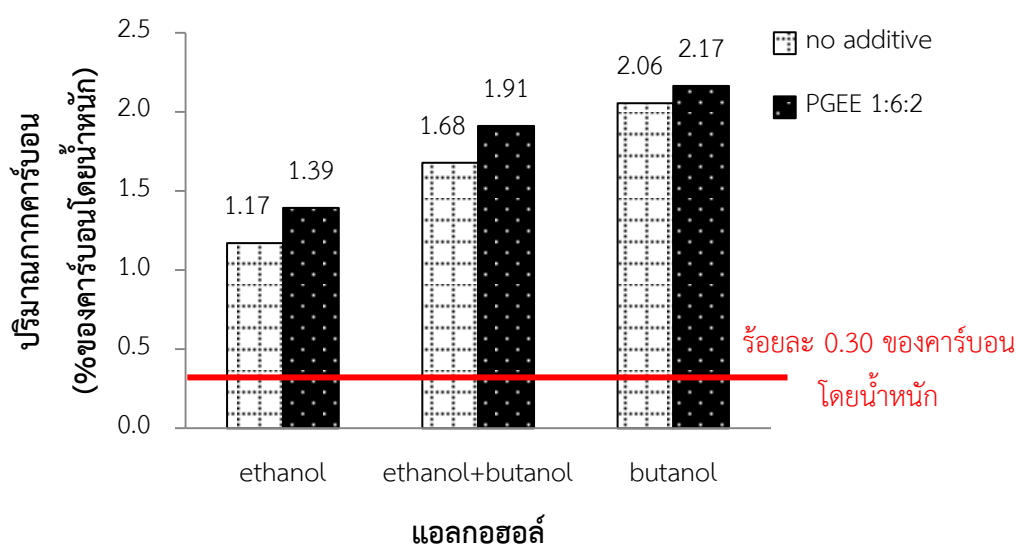
(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-16 เชื้อเพลิงชีวภาพใน crucible ก่อนเผา และกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหลือหลังการเผาด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (ก) เชื้อเพลิงชีวภาพก่อนเผา (ข) กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหลือหลังการเผา

ผลการศึกษาดังกล่าวที่ 4-16 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นตัวแทนของเฟสมีซิวในกรณีที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งพบว่าระบบของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซิวมีปริมาณกาบคาร์บอนสูงกว่าระบบเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล และระบบเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณกาบคาร์บอนร้อยละ 2.06 1.68 และ 1.17 ของคาร์บอนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากบิวทานอลมีความยาวของสายคาร์บอนอะตอมที่มากกว่าเอทานอล จึงทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นองค์ประกอบมีปริมาณกาบคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้สูงกว่า และเมื่อทำการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณกาบคาร์บอนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง เนื่องจากการเติมสารเติมแต่งทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนภายในระบบเพิ่มขึ้น โดยปริมาณกาบคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ในระบบที่ใช้บิวทานอล แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล และเอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซิวมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.17 1.91 และ 1.39 ของคาร์บอนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลพบว่าปริมาณกาบคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งในกรณีที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งและไม่เติมสารเติมแต่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (ไม่เกินร้อยละ 0.30 ของคาร์บอนโดยน้ำหนัก)



ภาพที่ 4-17 กาบคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากการศึกษาผลของแอลกอฮอล์ 3 ชนิด ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสมีซัวร์ร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน และกากคาร์บอน โดยนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล ดังตารางที่ 4-5 พบว่าค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีซัวร์ทั้งในกรณีที่เติมสารเติมแต่งและไม่เติมสารเติมแต่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (1.9-6.0 เซนติสตอกส์) ทุกระบบแอลกอฮอล์ ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่าในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงในฐานะตัวแทนของเฟสมีซัวร์ มีค่าความหนาแน่นมากกว่าในระบบที่ใช้เอทานอล และเมื่อทำการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกัน (0.83-0.84 กรัมต่อมิลลิลิตร) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (0.83-0.89 กรัมต่อมิลลิลิตร) จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่ามาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (-5 องศาเซลเซียส) และจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (-9 องศาเซลเซียส) ในทุกระบบของแอลกอฮอล์ สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพที่สมบัติด้านจุดขุ่นและจุดไหลเทไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในการนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำต้องระวังในเรื่องของการอุดตันของเชื้อเพลิงชีวภาพในเส้นทาง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อการทำงานของเครื่องยนต์ได้ และจากการศึกษากากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งในกรณีที่เติมสารเติมแต่งและไม่เติมสารเติมแต่ง ปริมาณกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพยังมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (ร้อยละ 0.30 ของคาร์บอนโดยน้ำหนัก) ในทุกระบบแอลกอฮอล์ ซึ่งการมีปริมาณกากคาร์บอนมากทำให้อัตราการระเหยตัวของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้ช้า และอาจก่อให้เกิดควันดำหลังจากการเผาไหม้ได้

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ				กาก คาร์บอน (ร้อยละ น้ำหนัก คาร์บอน)
	ความหนืด จลนศาสตร์ (เซนติส โตกส์)	ความ หนาแน่น (กรัมต่อ มิลลิลิตร)	จุดขุ่น (องศา เซลเซียส)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	
1. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	5.3 (1.9-6.0)	0.82 (0.83- 0.89)	12 (-5)	>-9 (-9)	-
2. ปาล์ม/ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	5.3 (1.9-6.0)	0.82 (0.83- 0.89)	13 (-5)	>-9 (-9)	-
3. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล/ DEGEE 1:7:1	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	16 (-5)	>-9 (-9)	-
4. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	5.3 (1.9-6.0)	0.82 (0.83- 0.89)	14 (-5)	>-9 (-9)	-
5. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	5.2 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	15 (-5)	>-9 (-9)	1.39 (0.30)
6. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล/ DPGME 1:7:1	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	16 (-5)	>-9 (-9)	-
7. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/EGBE 1:7:1	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
8. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/EGBE 1:6:2	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ				กาก คาร์บอน (ร้อยละ น้ำหนัก คาร์บอน)
	ความหนืด จลนศาสตร์ (เซนติส โตกส์)	ความ หนาแน่น (กรัมต่อ มิลลิตร)	จุดขุ่น (องศา เซลเซียส)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	
9. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:5:3	5.3 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
10. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:4:4	5.2 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
11. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:3:5	5.1 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	5 (-5)	>-9 (-9)	-
12. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ออก ทานอล/DEGEE 1:7:1	5.6 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
13. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ออก ทานอล/DEGEE 1:6:2	5.5 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
14. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ออก ทานอล/DEGEE 1:5:3	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
15. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ออก ทานอล/DEGEE 1:4:4	5.4 (1.9-6.0)	0.84 (0.83- 0.89)	15 (-5)	>-9 (-9)	-
16. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ออก ทานอล/DEGEE 1:3:5	5.3 (1.9-6.0)	0.84 (0.83- 0.89)	15 (-5)	>-9 (-9)	-

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ				กาก คาร์บอน (ร้อยละ น้ำหนัก คาร์บอน)
	ความหนืด จลนศาสตร์ (เซนติส โตกส์)	ความ หนาแน่น (กรัมต่อ มิลลิลิตร)	จุดขุ่น (องศา เซลเซียส)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	
17. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/PGEE 1:7:1	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
18. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	5.3 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	1.91 (0.30)
19. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/PGEE 1:5:3	5.2 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
20. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/PGEE 1:4:4	5.1 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	5 (-5)	>-9 (-9)	-
21. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/PGEE 1:3:5	5.0 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	5 (-5)	>-9 (-9)	-
22. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DPGME 1:7:1	5.5 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
23. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DPGME 1:6:2	5.5 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
24. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DPGME 1:5:3	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	5 (-5)	>-9 (-9)	-

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ				กาก คาร์บอน (ร้อยละ น้ำหนัก คาร์บอน)
	ความหนืด จลนศาสตร์ (เซนติส โตกส์)	ความ หนาแน่น (กรัมต่อ มิลลิลิตร)	จุดขุ่น (องศา เซลเซียส)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	
25. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ออก ทานอล/DPGME 1:4:4	5.3 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	5 (-5)	>-9 (-9)	-
26. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DPGME 1:3:5	5.2 (1.9-6.0)	0.84 (0.83- 0.89)	15 (-5)	>-9 (-9)	-
27. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	5.8 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	1 (-5)	>-9 (-9)	-
28. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	5.7 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	1 (-5)	>-9 (-9)	-
29. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:5:3	5.6 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	1 (-5)	>-9 (-9)	-
30. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:4:4	5.5 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	1 (-5)	>-9 (-9)	-
31. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:3:5	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	2 (-5)	>-9 (-9)	-
32. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DEGEE 1:7:1	5.8 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	3 (-5)	>-9 (-9)	-



ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ				กาก คาร์บอน (ร้อยละ น้ำหนัก คาร์บอน)
	ความหนืด จลนศาสตร์ (เซนติส โตกส์)	ความ หนาแน่น (กรัมต่อ มิลลิลิตร)	จุดขุ่น (องศา เซลเซียส)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	
33 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DEGEE 1:6:2	5.7 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	3 (-5)	>-9 (-9)	-
34 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DEGEE 1:5:3	5.7 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
35 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DEGEE 1:4:4	5.6 (1.9-6.0)	0.84 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
36 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DEGEE 1:3:5	5.6 (1.9-6.0)	0.84 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
37 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	5.7 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	1 (-5)	>-9 (-9)	-
38 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	5.6 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	2 (-5)	>-9 (-9)	2.17 (0.30)
39 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:5:3	5.5 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	2 (-5)	>-9 (-9)	-
40 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:4:4	5.4 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	2 (-5)	>-9 (-9)	-

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ				กาก คาร์บอน (ร้อยละ น้ำหนัก คาร์บอน)
	ความหนืด จลนศาสตร์ (เซนติส โตกส์)	ความ หนาแน่น (กรัมต่อ มิลลิลิตร)	จุดขุ่น (องศา เซลเซียส)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	
41 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:3:5	5.3 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	2 (-5)	>-9 (-9)	-
42 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:7:1	5.8 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
43 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:6:2	5.7 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
44 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:5:3	5.7 (1.9-6.0)	0.83 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
45 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:4:4	5.6 (1.9-6.0)	0.84 (0.83- 0.89)	4 (-5)	>-9 (-9)	-
46 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:3:5	5.5 (1.9-6.0)	0.84 (0.83- 0.89)	5 (-5)	>-9 (-9)	-

หมายเหตุ : - คือ ไม่ได้ทำการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:6:2 เป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมในการนำไปศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ทุกระบบแอลกอฮอล์ (เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล) และ

พบว่า การเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ทำให้สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพในด้านความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น จุดไหลเท อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล โดยที่สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ (PGEE) ส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ลดลงมากที่สุด จึงเลือกเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งชนิดโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วน 1:6:2 มาศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ

#### 4.5 ผลการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ในการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล คือ เชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วน 1:6:2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ในทุกระบบแอลกอฮอล์ (เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอล) และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งชนิดโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังมีค่าความหนาแน่น และจุดไหลเท อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล วิเคราะห์ก๊าซไอเสียด้วยเครื่องวัดปริมาณไอเสีย (gas analyzer testo 310) แสดงดังรูปที่ 4-18 โดยก๊าซไอเสียที่ทำการทดสอบ ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4-6



ภาพที่ 4-18 เครื่องวัดปริมาณไอเสีย (gas analyzer testo 310)

ตารางที่ 4-6 ผลการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	ความเข้มข้นก๊าซไอเสีย	
		คาร์บอนมอนนอกไซด์ (พีพีเอ็ม)	คาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)
1	พาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล	524	NA
2	พาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล/ PGEE 1:6:2	512	0.79
3	พาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+บิวทานอล /เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล	407	0.79
4	พาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+บิวทานอล /เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล/ PGEE 1:6:2	335	0.86
5	พาล์ม+ดีเซล/ บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล	432	0.76
6	พาล์ม+ดีเซล/ บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล/ PGEE 1:6:2	400	0.79
7	น้ำมันดีเซล	485	0.73

หมายเหตุ: NA = ไม่สามารถตรวจวัดได้

ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนเฟสมีชีวอย่างเดี่ยวพบว่าปริมาณมลพิษอากาศสูงที่สุด เนื่องจากเอทานอลที่ใช้น้ำเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่มาก ส่งผลให้เครื่องยนต์เดินไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการเผาไหม้จึงเกิดไม่สมบูรณ์ ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่พบจึงมีปริมาณที่สูงด้วย (524 พีพีเอ็ม) สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีชีวเพียงอย่างเดียว มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ (432 พีพีเอ็ม) มากกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างบิวทานอลกับเอทานอล (407 พีพีเอ็ม) เนื่องจากปริมาณของคาร์บอนรวมในระบบที่ใช้บิวทานอลมีปริมาณสูงกว่า จึงพบปริมาณมลพิษในอากาศที่สูงกว่า และเมื่อทำการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วน 1:6:2 พบว่า ในระบบที่ใช้

เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วเพียงอย่างเดียว เชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 512 พีพีเอ็ม และปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 0.79 ในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 400 พีพีเอ็ม ซึ่งมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ต่ำกว่าในระบบที่ใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากัน และสำหรับระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 335 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วเพียงอย่างเดียว และมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 0.86 ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพที่เต็มสารเติมแต่งมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ในปริมาณที่ลดลง ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่เต็มสารเติมแต่งและน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากสารเติมแต่งจัดเป็นสารออกซิเจนที่มีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล ซึ่งจะช่วยให้ส่งเสริมการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอผลของการเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้บิวทานอลร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ โดยในงานวิจัยสนใจศึกษาผลของแอลกอฮอล์ 3 ชนิด ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และเอทานอลผสมบิวทานอล ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วร่วมกับการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ในระบบที่ประกอบไปด้วยน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลเป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้ว เมทิลโอลลีเอตเป็นสารลดแรงตึงผิวและออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยมและหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้เทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง และการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้ จากผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

การศึกษาผลของชนิดแอลกอฮอล์ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลต่อพฤติกรรมของเฟสไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณของแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วเพิ่มขึ้น ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการละลายเฟสมีขั้วจะมากขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบผลของแอลกอฮอล์พบว่าในระบบที่ใช้บิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วให้ผลที่น่าสนใจในด้านพฤติกรรมของเฟส สามารถลดปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ เนื่องจากบิวทานอลมีสมบัติไม่มีขั้วสูงกว่าเอทานอลจึงสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ดีส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ละลายเฟสที่มีขั้วน้อยลง และสัดส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันไม่เกิดการแยกชั้นในทุกๆระบบแอลกอฮอล์ คือ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรที่สัดส่วนร้อยละ 60 โดยปริมาตร แอลกอฮอล์ ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 1:8 โดยโมล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

การศึกษาวงศาของเชื้อเพลิงชีวภาพมีองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปริมาตรร้อยละ 60 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสไม่มีขั้ว สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลลีเอตต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล

ในงานวิจัยได้เลือกใช้สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับ สารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและ สารเติมแต่งเป็น 1:7:1, 1:6:2, 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5 ปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในระบบที่ใช้ เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสมันข้น ผลการศึกษาพบว่าในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมันข้น เมื่อทำการเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:5:3, 1:4:4 และ 1:3:5 เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการแยกชั้นไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวร่วมซึ่งมีหน้าที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิวทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันมี สัดส่วนที่ลดลง การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพจึงเกิดได้ยากขึ้น ประกอบกับ เอทานอลที่ใช้มีปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบมาก ส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการรวมตัว เป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้น สำหรับในระบบที่ใช้บิวทานอลและแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับ บิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีลักษณะใสและสามารถรวมตัวเป็น เนื้อเดียวกันได้ทุกอัตราส่วน เนื่องจากบิวทานอลมีสมบัติไม่มีขั้วสูงกว่าเอทานอล จึงสามารถรวมตัว กับน้ำมันได้ดี และบิวทานอลที่ใช้เป็นตัวแทนของเฟสมันข้นมีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99.5 ส่งผลให้ ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ละลายเฟสที่มีขั้วน้อยลง ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้สามารถรวมตัวเป็น เนื้อเดียวกันได้ง่ายกว่าในระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมันข้น

การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงทุกระบบ แอลกอฮอล์และการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืด เชิงจลนศาสตร์ลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง โดยสัดส่วนของสารเติมแต่ง ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าลดลง โดยค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (1.9-6.0 เซนติสโตกส์)

การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน และกาการคาร์บอนเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เติม สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มีค่าความหนาแน่น และจุดไหลเทที่ผ่านมาตรฐาน ในขณะที่ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการเติมสารเติมแต่งมีค่าความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับค่าความร้อนของ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งและน้ำมันดีเซล

การศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการเติม สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ที่อัตราส่วน 1:6:2 มีปริมาณการปล่อย

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ลดลง และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งในทุกกระบอกแอลกอฮอล์และน้ำมันดีเซล สำหรับในระบบเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีองค์ประกอบของบิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในปริมาณที่ต่ำกว่าในระบบที่ใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากบิวทานอลมีค่าความร้อนที่สูงกว่าเอทานอล จึงทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีองค์ประกอบของบิวทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมีขั้วมีค่าความร้อนที่สูง เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่า

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัย มีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของค่าความหนืดที่สูงของน้ำมันปาล์ม ไม่สามารถนำไปใช้งานในเครื่องยนต์โดยตรงได้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพให้มีความเหมาะสมเพียงพอในระดับที่สามารถนำไปใช้งาน โดยการลดความหนืดด้วยแอลกอฮอล์ ซึ่งต้องใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่สูงเพื่อลดความหนืด ส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการละลายเฟสมีขั้วเพิ่มขึ้นด้วย และปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนลดลง และน้ำมันปาล์มยังจัดเป็นพืชอาหารของมนุษย์ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่มีความหนืดที่ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มเพื่อเป็นเป็นแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและไม่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารของมนุษย์

5.2.2 การเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพ ควรเลือกใช้สารเติมแต่งที่มีความเหมาะสมต่อการปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากสารเติมแต่งแต่ละชนิดให้ผลดีในการปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน

5.2.3 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่า จุดขุ่นและกากคาร์บอนไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ดังนั้นควรปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อให้สมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันดีเซลเนื่องจากน้ำมันดีเซลมีจุดขุ่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม (-15 องศาเซลเซียส) อีกทั้งยังมีการระเหยตัวสูงกว่า ซึ่งอาจส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีจุดขุ่นที่ลดลงและมีแนวโน้มของการหลงเหลือกากคาร์บอนในปริมาณน้อยใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

## 5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจัดเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจในฐานะเป็นพลังงานทดแทนและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันเป็นวิธีที่ผลิตได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่ก่อให้เกิดของเสียพลอยได้จากกระบวนการ



ผลิต สำหรับการใช้ชีวทานอลร่วมกับสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน สามารถปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ค่าความหนาแน่น จุดไหลเท และค่าความร้อนให้ดีขึ้นได้เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง และมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล อีกทั้งยังพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง และสารเติมแต่งที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [www.dede.go.th/download/files/AEDP2015\\_Final\\_version.pdf](http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf) [9 กุมภาพันธ์ 2559]
- กรมวิชาการเกษตร. 2550. การแปรรูปปาล์มน้ำมัน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html](http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html) [4 กุมภาพันธ์ 2559]
- ณัฐพร สรสุชาติ. 2557. การใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นคร ทิพยาวงศ์. 2558. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงสภาพฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิจวรรณ อนันตรกิตติ. 2556. ผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิตยา รัตนพนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2550. ปาล์มน้ำมัน. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/2887/palm> [1 กุมภาพันธ์ 2559]
- ประณต กุลประสูตร. 2553. เครื่องยนต์ดีเซล. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และ ลลิตา อัทนโถ. 2549. รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล. สมุทรปราการ: พิมพ์พินิจการพิมพ์.
- ศศิวิมล วิชาดี. 2557. ผลของไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ศิริณี เพ็งปรีชา. 2556. ผลของลักษณะของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2559 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [www.oae.go.th/download/journal/trends\\_FEB2559.pdf](http://www.oae.go.th/download/journal/trends_FEB2559.pdf) [1 ธันวาคม 2559]

### ภาษาอังกฤษ

- Ali, Y. and Hanna, M. A. 1994. alternative diesel fuels from vegetable oils. 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. 2013. Alternative renewable biofuel from palm oil-diesel based reverse micelle microemulsions. Doctoral dissertation, Environmental Management (Interdisciplinary Program), Faculty of Hazardous waste, 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. Standard & Publication [online]. Available from: <http://www.astm.org/Standard/standards-and-publications.html> [1 March 2016]
- Atmanli, I. E. and Yuksel, B. 2015. Effect 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 Sabaniti, 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 Sabaniti, 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., Parthasarathy, R. N., Gollahalli, S. R., Khaodhiar, S. and Sabaniti, D. A. 2016. Phase behaviors, fuel properties and combustion characteristics of alcohol vegetable oil diesel microemulsion fuels. International Journal of Green Energy 13:9, 930-943.
- Bidyut, K. P. and Satya, P. M. 2001 Uses and applications of microemulsions. CURRENT SCIENCE 80(8), 990-1001.
- 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.
- Dastas, 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 Sabaniti, 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.
- Gómez-Cuenca, F., Gómez-Marin, M. and B., Folgueras-Díaz, M. B. 2011. Effects of ethylene glycol ethers on diesel fuel properties and emissions in a diesel engine. Energy Conversion and Management 52, 3027-3033.
- Gómez-Cuenca, F., Gómez-Marín, M. and Folgueras-Díaz, M. B. 2013. The influence of propylene glycol ethers on base diesel properties and emissions from a diesel engine. Energy Conversion and Management 75, 741-747.
- Gudin, E. J., Rangarajan, V., Sen, R. and Rodrigues, L. R. 2013. Potential therapeutic applications of biosurfactants. Trends in Pharmacological Sciences 34(12), 667-675.
- Kothe, G. 2005. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl ester. Fuel Processing Technology 86, 1059-1070.

- Lif, A. and Holmberg, K. 2006. Water-in-diesel emulsions and related systems. Advances in Colloid and Interface Science 123-126, 231-239.
- Ma, F. and Hanna, H. M. 1999. Biodiesel production: A review. Bioresource Technology 70, 1-15.
- Rosen, M. J. 2004. SURFACTANTS AND INTERFACIALPHENOMENA. 3 rd ed. Hoboken, N. J. : Wiley Interscience.
- Srivastava, A. and Prasad, R. 2000. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4, 111-133.
- Wang, X., Yuan, X., Huang, H., Leng, L., Li, H., Peng, X. and Zeng, G. 2014. Study on the solubilization capacity of bio-oil in diesel by microemulsion technology with Span80 as surfactant. Fuel Processing Technology 118, 141-147.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก  
การศึกษาผลของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม  
ด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก-1 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม

กำหนดให้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร

เมทิลโอเลตความเข้มข้น 0.125 โมลต่อลิตร

ออกทานอลความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

แอลกอฮอล์ (เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 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

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของออกทานอล} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\ &= \frac{1 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 130.23 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 0.01 \text{ ลิตร}}{0.99 \times 0.825 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\ &= 1.5945 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรของออกทานอลเท่ากับ 1.5945 มิลลิลิตร

หาผลรวมของปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมดที่ใช้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรเชื้อเพลิงทั้งหมด} &= 5 + 1 + 2.2003 \\ &= 8.2003 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$



คำนวณร้อยละของน้ำมัน

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของน้ำมัน} &= \frac{\text{ปริมาณน้ำมัน} \times 100}{\text{ปริมาณของ เชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด}} \\ &= \frac{5 \times 100}{8.2003} \\ &= 60.9734 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

คำนวณร้อยละของเมทิลโอเลต

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเมทิลโอเลต} &= \frac{\text{ปริมาณเมทิลโอเลต} \times 100}{\text{ปริมาณของ เชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด}} \\ &= \frac{0.6058 \times 100}{8.2003} \\ &= 7.3875 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

คำนวณร้อยละของออกทานอล

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของออกทานอล} &= \frac{\text{ปริมาณออกทานอล} \times 100}{\text{ปริมาณของ เชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด}} \\ &= \frac{1.5945 \times 100}{8.2003} \\ &= 19.4444 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

คำนวณร้อยละของแอลกอฮอล์

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแอลกอฮอล์} &= \frac{\text{ปริมาณแอลกอฮอล์} \times 100}{\text{ปริมาณของ เชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด}} \\ &= \frac{1 \times 100}{8.2003} \\ &= 12.1947 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

หาผลรวมร้อยละของปริมาณเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมร้อยละของปริมาณเชื้อเพลิงชีวภาพ} &= 60.9734 + 7.3875 + 19.4444 + \\ &= 12.1947 \\ &= 100 \text{ โดยปริมาตร} \end{aligned}$$

### ก-2 ตัวอย่างการคำนวณเชื้อเพลิงชีวภาพที่ปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

กำหนดให้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร ร้อยละ 60 โดยปริมาตร

สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่อัตราส่วน 1 ต่อ 8 โดยโมล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร (เมทิลโอเลตความเข้มข้น 0.125 โมลต่อลิตร และออกทานอลความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร)

แอลกอฮอล์ (เอทานอล บิวทานอล และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 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

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของออกทานอล} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\
 &= \frac{1 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 130.23 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 0.01 \text{ ลิตร}}{0.99 \times 0.825 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\
 &= 1.5945 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรของออกทานอลเท่ากับ 1.5945 มิลลิลิตร

หาผลรวมปริมาตรของเมทิลโอเลตและออกทานอล

$$\begin{aligned}
 \text{ผลรวมปริมาตรของเมทิลโอเลตและออกทานอล} &= 1.5945 + 0.6058 \\
 &= 2.2003 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

คำนวณปริมาตรของเมทิลโอเลตที่ใช้

ผลรวมปริมาตรเมทิลโอเลตและออกทานอล 2.2003 มิลลิลิตร มีเมทิลโอเลต 0.6058 มิลลิลิตร

ถ้าผลรวมปริมาตรเมทิลโอเลตและออกทานอล 2.0000 มิลลิลิตร มีเมทิลโอเลต 0.5507 มิลลิลิตร

คำนวณปริมาตรของออกทานอลที่ใช้

ผลรวมปริมาตรเมทิลโอเลตและออกทานอล 2.2003 มิลลิลิตร มีออกทานอล 1.5945 มิลลิลิตร

ถ้าผลรวมปริมาตรเมทิลโอเลตและออกทานอล 2.0000 มิลลิลิตร มีออกทานอล 1.4493 มิลลิลิตร

ผลรวมของปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งหมด

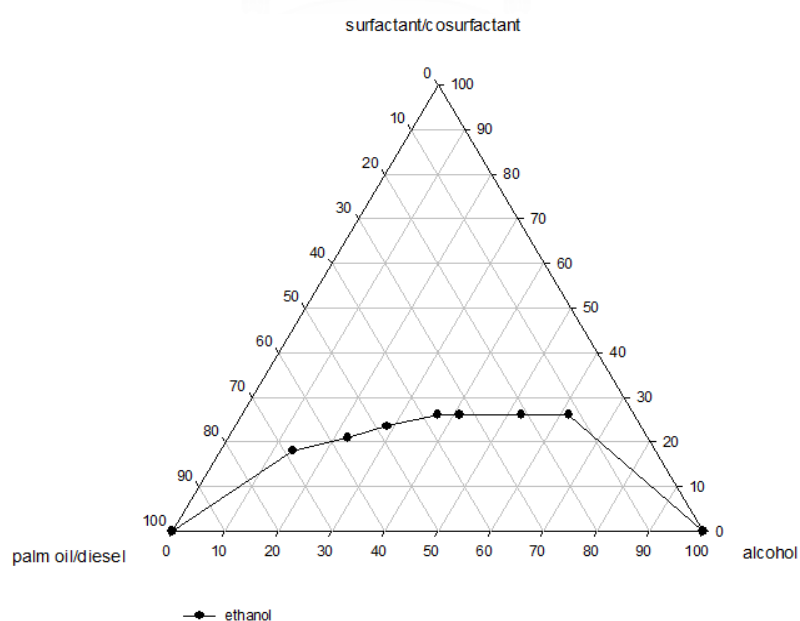
$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพ} &= \text{ปริมาตรน้ำมัน} + \text{ปริมาตรสาร} \\
 &\quad \text{ลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม} + \\
 &\quad \text{ปริมาตรแอลกอฮอล์} \\
 &= 6 + 0.5507 + 1.4493 + 2 \\
 &= 10 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ผลรวมของปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

ก-3 ผลการศึกษาของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

ตาราง ก-1 ผลการศึกษาของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล เมทิลโอเลตเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมิซัว

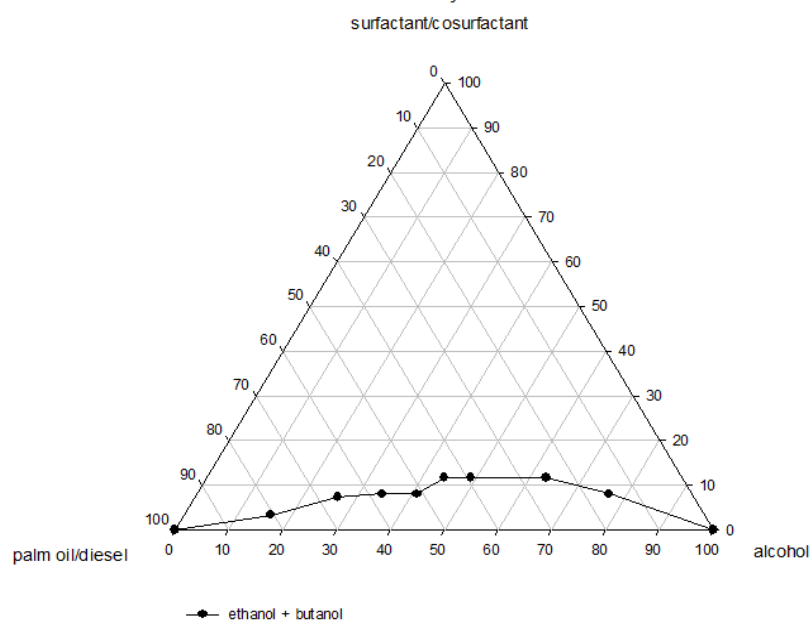
เอทานอล	เมทิลโอเลต/ออกทานอล	น้ำมันปาล์ม/ดีเซล
0	0	100
14	18	68
23	21	57
29	24	48
34	24	42
37	26	37
41	26	33
45	28	27
53	26	21
62	26	12
100	0	0



ภาพ ก-1 แผนภาพสามเหลี่ยมของระบบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวแทนของเฟสมิซัว

ตาราง ก-2 ผลการศึกษาของแอลกอฮอล์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล เมทิลโอเลียดเป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และแอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสมิซัว

บิวทานอล/เอทานอล	เมทิลโอเลียด/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



ภาพ ก-2 แผนภาพสามเหลี่ยมของระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ผสมระหว่างเอทานอลกับบิวทานอลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนของเฟสมิซัว

ภาคผนวก ข  
การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ  
จากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**วิธีการวิเคราะห์ ข-1** วิธีการวิเคราะห์ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

- 1) เทเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกันในหลอด Cannon-Fenske ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- 2) ดูดเชื้อเพลิงชีวภาพให้อยู่เหนือบนขีดของหลอดวัดความหนืดเล็กน้อยหลังจากนั้นทำการจับเวลาโดยสังเกตการไหลของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากขีดด้านบนจนกระทั่งถึงขีดด้านล่างของหลอด Cannon-Fenske
- 3) ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 4) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
- 5) คำนวณหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ดังสมการที่ ข.1

$$\mu = K \times t \quad \dots (\text{ข.1})$$

เมื่อ	$\mu$	คือ	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์)
	K	คือ	ค่าความหนืดคงที่ (0.01606 เซนติสโตกส์ต่อวินาที)
	t	คือ	เวลาที่สารเคลื่อนที่ในหลอดวัดความหนืด (วินาที)

- 6) นำค่าความหนืดที่ได้เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้ทำการเติมสารเติมแต่งตามมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

ตาราง ข-1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
1. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	709	710	709	709.3	0.6	11.4
2. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	705	706	706	705.7	0.6	11.3
3. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DEGEE 1:7:1	717	721	719	719.0	2.0	11.5
4. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	704	706	703	704.3	1.5	11.3
5. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	700	700	700	700.0	0.0	11.2
6. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DPGME 1:7:1	716	718	716	716.7	1.2	11.5
7. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:7:1	720	721	718	719.7	1.5	11.6
8. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:6:2	713	715	715	714.3	1.2	11.5



ตาราง ข-1 ความหนักเชิงกลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนัก (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
9. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:5:3	707	708	708	707.7	0.6	11.4
10. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:4:4	703	705	704	704.0	1.0	11.3
11. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:3:5	700	699	700	699.7	0.6	11.2
12. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	726	728	727	727.0	1.0	11.7
13. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	723	724	723	723.3	0.6	11.6
14. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	720	719	719	719.3	0.6	11.6
15. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	714	714	714	714.0	0.0	11.5
16. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	710	708	708	708.7	1.2	11.4

ตาราง ข-1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
17. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:7:1	718	716	716	716.7	1.2	11.5
18. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	712	710	710	710.7	1.2	11.4
19. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:5:3	708	706	706	706.7	1.2	11.3
20. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:4:4	701	699	700	700.0	1.0	11.2
21. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:3:5	695	693	694	694.0	1.0	11.1
22. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:7:1	724	725	724	724.3	0.6	11.6
23. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:6:2	720	719	719	719.3	0.6	11.6
24. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:5:3	715	715	715	715.0	0.0	11.5

ตาราง ข-1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
25. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:4:4	710	710	709	709.7	0.6	11.4
26. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:3:5	706	704	704	704.7	1.2	11.3
27. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	743	740	743	742.0	1.7	11.9
28. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	733	734	732	733.0	1.0	11.8
29. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:5:3	721	720	722	721.0	1.0	11.6
30. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:4:4	714	715	715	714.7	0.6	11.5
31. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:3:5	710	709	709	709.3	0.6	11.4
32. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:7:1	750	750	748	749.3	1.2	12.0

ตาราง ข-1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
33 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:6:2	741	738	739	739.3	1.5	11.9
34 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:5:3	730	727	728	728.3	1.5	11.7
35 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:4:4	724	722	722	722.7	1.2	11.6
36 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:3:5	718	716	717	717.0	1.0	11.5
37 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	740	738	742	740.0	2.0	11.9
38 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	730	730	730	730.0	0.0	11.7
39 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:5:3	718	722	720	720.0	2.0	11.6
40 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:4:4	710	712	712	711.3	1.2	11.4

ตาราง ข-1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
41 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:3:5	706	704	703	704.3	1.5	11.3
42 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:7:1	745	746	747	746.0	1.0	12.0
43 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:6:2	733	733	732	732.7	0.6	11.8
44 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:5:3	725	723	724	724.0	1.0	11.6
45 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:4:4	720	718	718	718.7	1.2	11.5
46 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:3:5	712	713	712	712.3	0.6	11.4
47 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล	720	724	724	722.7	2.3	11.6
48 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล	732	733	731	732.0	1.0	11.8
49 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล	754	754	756	754.7	1.2	12.1

ตาราง ข-2 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
1. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	508	508	509	508.3	0.6	8.2
2. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	502	502	503	502.3	0.6	8.1
3. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DEGEE 1:7:1	518	515	519	517.3	2.1	8.3
4. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	504	502	502	502.7	1.2	8.1
5. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	500	498	498	498.7	1.2	8.0
6. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DPGME 1:7:1	515	512	514	513.7	1.5	8.2
7. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:7:1	528	528	529	528.3	0.6	8.5
8. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:6:2	519	519	522	520.0	1.7	8.4

ตาราง ข-2 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
9. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/EGBE 1:5:3	515	515	514	514.7	0.6	8.3
10. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/EGBE 1:4:4	505	505	506	505.3	0.6	8.1
11. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/EGBE 1:3:5	502	501	503	502.0	1.0	8.1
12. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	535	535	537	535.7	1.2	8.6
13. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	529	530	529	529.3	0.6	8.5
14. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	527	525	525	525.7	1.2	8.4
15. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	523	523	523	523.0	0.0	8.4
16. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	520	520	518	519.3	1.2	8.3

ตาราง ข-2 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
17. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:7:1	524	526	527	525.7	1.5	8.4
18. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	519	517	517	517.7	1.2	8.3
19. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:5:3	515	513	515	514.3	1.2	8.3
20. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:4:4	500	500	499	499.7	0.6	8.0
21. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:3:5	493	493	494	493.3	0.6	7.9
22. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:7:1	532	533	532	532.3	0.6	8.5
23. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:6:2	527	529	529	528.3	1.2	8.5
24. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:5:3	525	525	525	525.0	0.0	8.4



ตาราง ข-2 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
25. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DPGME 1:4:4	523	521	523	522.3	1.2	8.4
26. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DPGME 1:3:5	518	518	518	518.0	0.0	8.3
27. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	553	554	553	553.3	0.6	8.9
28. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	541	537	539	539.0	2.0	8.7
29. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:5:3	532	533	534	533.0	1.0	8.6
30. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:4:4	520	517	516	517.7	2.1	8.3
31. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /EGBE 1:3:5	504	508	506	506.0	2.0	8.1
32. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DEGEE 1:7:1	558	560	560	559.3	1.2	9.0

ตาราง ข-2 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
33 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:6:2	546	546	546	546.0	0.0	8.8
34 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:5:3	536	536	536	536.0	0.0	8.6
35 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:4:4	526	526	527	526.3	0.6	8.5
36 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:3:5	522	522	523	522.3	0.6	8.4
37 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	550	548	550	549.3	1.2	8.8
38 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	538	539	536	537.7	1.5	8.6
39 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:5:3	527	530	529	528.7	1.5	8.5
40 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:4:4	513	510	511	511.3	1.5	8.2

ตาราง ข-2 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
41 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:3:5	497	497	496	496.7	0.6	8.0
42 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:7:1	555	556	557	556.0	1.0	8.9
43 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:6:2	543	543	542	542.7	0.6	8.7
44 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:5:3	536	537	536	536.3	0.6	8.6
45 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:4:4	524	523	523	523.3	0.6	8.4
46 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:3:5	520	520	518	519.3	1.2	8.3
47 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล	520	523	524	522.3	2.1	8.4
48 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล	542	538	538	539.3	2.3	8.7
49 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล	564	563	564	563.7	0.6	9.1

ตาราง ข-3 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
1. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	448	450	448	448.7	1.2	7.2
2. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	445	444	445	444.7	0.6	7.1
3. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DEGEE 1:7:1	458	456	458	457.3	1.2	7.3
4. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	444	443	442	443.0	1.0	7.1
5. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	438	440	438	438.7	1.2	7.0
6. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DPGME 1:7:1	455	451	455	453.7	2.3	7.3
7. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:7:1	451	451	451	451.0	0.0	7.2
8. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:6:2	444	444	446	444.7	1.2	7.1

ตาราง ข-3 ความหนักเชิงกลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนัก (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
9. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:5:3	438	438	440	438.7	1.2	7.0
10. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:4:4	432	432	433	432.3	0.6	6.9
11. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:3:5	426	425	426	425.7	0.6	6.8
12. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	461	460	462	461.0	1.0	7.4
13. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	455	451	450	452.0	2.6	7.3
14. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	445	446	446	445.7	0.6	7.2
15. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	441	440	441	440.7	0.6	7.1
16. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	437	437	438	437.3	0.6	7.0

ตาราง ข-3 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
17. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:7:1	445	446	448	446.3	1.5	7.2
18. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	435	435	441	437.0	3.5	7.0
19. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:5:3	431	431	432	431.3	0.6	6.9
20. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:4:4	416	416	416	416.0	0.0	6.7
21. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:3:5	407	409	409	408.3	1.2	6.6
22. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:7:1	458	458	456	457.3	1.2	7.3
23. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:6:2	448	447	449	448.0	1.0	7.2
24. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:5:3	446	443	440	443.0	3.0	7.1

ตาราง ข-3 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
25. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:4:4	439	437	437	437.7	1.2	7.0
26. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:3:5	432	430	435	432.3	2.5	6.9
27. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	484	483	486	484.3	1.5	7.8
28. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	473	474	474	473.7	0.6	7.6
29. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:5:3	469	470	470	469.7	0.6	7.5
30. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:4:4	463	464	463	463.3	0.6	7.4
31. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:3:5	454	456	458	456.0	2.0	7.3
32. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:7:1	498	498	498	498.0	0.0	8.0

ตาราง ข-3 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
33 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:6:2	495	495	492	494.0	1.7	7.9
34 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:5:3	488	488	488	488.0	0.0	7.8
35 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:4:4	482	482	482	482.0	0.0	7.7
36 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:3:5	476	476	476	476.0	0.0	7.6
37 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	468	474	474	472.0	3.5	7.6
38 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	458	461	460	459.7	1.5	7.4
39 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:5:3	452	454	456	454.0	2.0	7.3
40 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:4:4	447	443	440	443.3	3.5	7.1



ตาราง ข-3 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
41 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:3:5	430	429	430	429.7	0.6	6.9
42 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:7:1	491	494	495	493.3	2.1	7.9
43 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:6:2	487	484	488	486.3	2.1	7.8
44 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:5:3	480	482	483	481.7	1.5	7.7
45 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:4:4	477	476	474	475.7	1.5	7.6
46 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DPGME 1:3:5	470	468	470	469.3	1.2	7.5
47 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล	461	459	460	460.0	1.0	7.4
48 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล	470	472	475	472.3	2.5	7.6
49 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล	500	500	500	500.0	0.0	8.0

ตาราง ข-4 ความหนักเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนัก (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
1. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	335	335	329	333.0	3.5	5.3
2. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	331	332	328	330.3	2.1	5.3
3. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DEGEE 1:7:1	336	336	334	335.3	1.2	5.4
4. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	330	330	333	331.0	1.7	5.3
5. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	324	324	325	324.3	0.6	5.2
6. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DPGME 1:7:1	333	334	334	333.7	0.6	5.4
7. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:7:1	341	339	338	339.3	1.5	5.4
8. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:6:2	336	334	336	335.3	1.2	5.4

ตาราง ข-4 ความหนักเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนัก (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
9. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:5:3	330	330	332	330.7	1.2	5.3
10. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:4:4	327	327	325	326.3	1.2	5.2
11. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:3:5	320	320	320	320.0	0.0	5.1
12. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	348	349	348	348.3	0.6	5.6
13. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	343	343	343	343.0	0.0	5.5
14. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	339	338	340	339.0	1.0	5.4
15. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	336	337	335	336.0	1.0	5.4
16. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	333	333	332	332.7	0.6	5.3

ตาราง ข-4 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
17. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:7:1	333	332	336	333.7	2.1	5.4
18. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	329	327	330	328.7	1.5	5.3
19. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:5:3	324	325	324	324.3	0.6	5.2
20. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:4:4	317	317	320	318.0	1.7	5.1
21. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:3:5	313	314	315	314.0	1.0	5.0
22. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:7:1	345	345	346	345.3	0.6	5.5
23. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:6:2	340	340	340	340.0	0.0	5.5
24. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:5:3	336	336	335	335.7	0.6	5.4

ตาราง ข-4 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
25. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:4:4	332	332	334	332.7	1.2	5.3
26. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:3:5	327	326	326	326.3	0.6	5.2
27. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	358	359	361	359.3	1.5	5.8
28. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	356	356	358	356.7	1.2	5.7
29. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:5:3	349	347	348	348.0	1.0	5.6
30. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:4:4	345	345	345	345.0	0.0	5.5
31. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:3:5	337	339	340	338.7	1.5	5.4
32. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:7:1	361	361	358	360.0	1.7	5.8

ตาราง ข-4 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		
	1	2	3			
33 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:6:2	357	357	359	357.7	1.2	5.7
34 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:5:3	354	355	356	355.0	1.0	5.7
35 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:4:4	351	353	351	351.7	1.2	5.6
36 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:3:5	350	350	350	350.0	0.0	5.6
37 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	356	356	358	356.7	1.2	5.7
38 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	350	352	350	350.7	1.2	5.6
39 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:5:3	344	346	345	345.0	1.0	5.5
40 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /PGEE 1:4:4	339	339	338	338.7	0.6	5.4

ตาราง ข-4 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลาที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)				ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความหนืด (เซนติสโตกส์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
41 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:3:5	328	328	333	329.7	2.9	5.3
42 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DPGME 1:7:1	359	361	360	360.0	1.0	5.8
43 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DPGME 1:6:2	358	356	357	357.0	1.0	5.7
44 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DPGME 1:5:3	354	354	354	354.0	0.0	5.7
45 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DPGME 1:4:4	351	351	351	351.0	0.0	5.6
46 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /DPGME 1:3:5	345	345	345	345.0	0.0	5.5
47 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล	338	343	343	341.3	2.9	5.5
48 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล	351	355	354	353.3	2.1	5.7
49 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล	367	370	367	368.0	1.7	5.9





**วิธีการวิเคราะห์ ค-1** วิธีการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

- 1) ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) บันทึกผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
- 3) นำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการที่ ค.1 แล้วเปรียบเทียบกับมาตรฐานเอเอสทีเอ็มน้ำมันไบโอดีเซล

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \dots \quad (\text{ค.1})$$

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

**ตัวอย่าง ค-1** การคำนวณความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

มวลของเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ 8.24 กรัม

ปริมาตรของเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ 10 มิลลิลิตร

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ = 8.24 กรัม/10 มิลลิลิตร  
= 0.82 กรัมต่อมิลลิลิตร

**ตาราง ค-1** ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัม)				ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	8.24	8.25	8.24	8.24	0.82
2. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	8.25	8.24	8.25	8.25	0.82
3. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DEGEE 1:7:1	8.26	8.26	8.26	8.26	0.83
4. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	8.24	8.24	8.24	8.24	0.82
5. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	8.25	8.25	8.26	8.25	0.83
6. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอลีเอต/ออกทานอล/ DPGME 1:7:1	8.25	8.26	8.26	8.26	0.83
7. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:7:1	8.25	8.25	8.27	8.26	0.83
8. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:6:2	8.27	8.28	8.28	8.28	0.83
9. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทanol/เมทิลโอลีเอต/ ออกทานอล/EGBE 1:5:3	8.30	8.28	8.29	8.29	0.83

ตาราง ค-1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัม)				ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
10. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/EGBE 1:4:4	8.31	8.30	8.30	8.30	0.83
11. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/EGBE 1:3:5	8.32	8.32	8.32	8.32	0.83
12. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	8.28	8.28	8.28	8.28	0.83
13. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	8.30	8.30	8.30	8.30	0.83
14. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	8.33	8.33	8.33	8.33	0.83
15. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	8.36	8.36	8.36	8.36	0.84
16. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	8.40	8.38	8.38	8.39	0.84
17. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/PGEE 1:7:1	8.27	8.25	8.27	8.26	0.83
18. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	8.27	8.28	8.27	8.28	0.83

**ตาราง ค-1** ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัม)				ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
19. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:5:3	8.29	8.30	8.29	8.29	0.83
20. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:4:4	8.31	8.29	8.31	8.30	0.83
21. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:3:5	8.32	8.30	8.32	8.31	0.83
22. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:7:1	8.27	8.26	8.26	8.26	0.83
23. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:6:2	8.29	8.29	8.29	8.29	0.83
24. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:5:3	8.30	8.31	8.30	8.30	0.83
25. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:4:4	8.33	8.33	8.33	8.33	0.83
26. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอลิเอต/ ออกทานอล/DPGME 1:3:5	8.36	8.36	8.36	8.36	0.84
27. ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล /EGBE 1:7:1	8.27	8.28	8.27	8.27	0.83

**ตาราง ค-1** ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัม)				ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
28 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:6:2	8.29	8.28	8.28	8.28	0.83
29 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:5:3	8.29	8.30	8.30	8.30	0.83
30 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:4:4	8.32	8.31	8.32	8.31	0.83
31 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /EGBE 1:3:5	8.34	8.33	8.33	8.33	0.83
32 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:7:1	8.30	8.30	8.30	8.30	0.83
33 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:6:2	8.32	8.33	8.32	8.32	0.83
34 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:5:3	8.34	8.36	8.34	8.35	0.83
35 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:4:4	8.36	8.37	8.37	8.37	0.84
36 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล /DEGEE 1:3:5	8.40	8.40	8.39	8.40	0.84

**ตาราง ค-1** ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

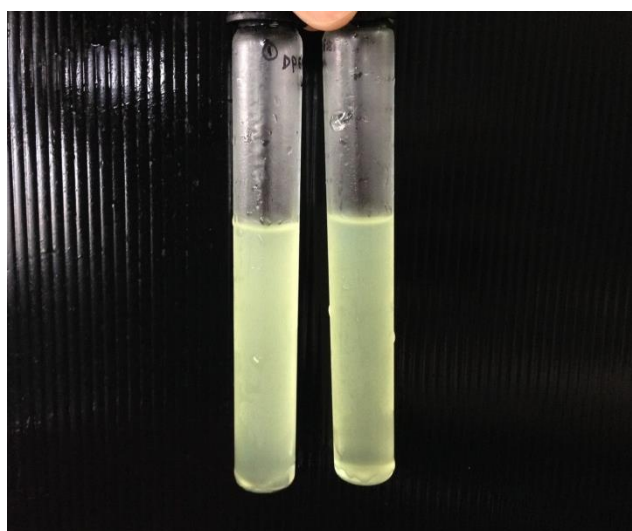
เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัม)				ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
37 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:7:1	8.27	8.27	8.27	8.27	0.83
38 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:6:2	8.29	8.29	8.29	8.29	0.83
39 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:5:3	8.30	8.31	8.29	8.30	0.83
40 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:4:4	8.30	8.30	8.31	8.30	0.83
41 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /PGEE 1:3:5	8.32	8.32	8.32	8.32	0.83
42 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:7:1	8.28	8.27	8.28	8.28	0.83
43 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:6:2	8.29	8.31	8.30	8.30	0.83
44 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:5:3	8.32	8.33	8.32	8.32	0.83
45 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:4:4	8.35	8.36	8.35	8.35	0.84

ตาราง ค-1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัม)				ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
46 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล /DPGME 1:3:5	8.37	8.38	8.37	8.37	0.84
47 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล	8.24	8.23	8.22	8.23	0.82
48 ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล/เมทิลโอเลต/ ออกทานอล	8.25	8.25	8.25	8.25	0.83
49 ปาล์ม+ดีเซล/บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล	8.26	8.27	8.25	8.26	0.83

**วิธีการวิเคราะห์ ค-2** วิธีการวิเคราะห์จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

- 1) นำเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 2) จุ่มเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำในอ่างที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จากนั้นค่อยๆลดอุณหภูมิลงแล้วสังเกตการเกิดผลึกหรือไขของเชื้อเพลิงชีวภาพ
- 3) บันทึกอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดผลึก
- 4) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าจุดขุ่นที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพ ค-1 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เกิดจุดขุ่น



### วิธีการวิเคราะห์ ค-3 วิธีการวิเคราะห์จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

- 1) นำเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาควบคุมอุณหภูมิที่ 9 องศาเซลเซียสด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 2) ค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงโดยใช้น้ำแข็งและเกลือเป็นตัวช่วย จุ่มเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำในอ่างที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส
- 3) สังเกตการไหลของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยอุณหภูมิที่เกิดจุดไหลเทเชื้อเพลิงชีวภาพจะไม่สามารถไหลได้ จากนั้นเอียงหลอดเชื้อเพลิงชีวภาพในแนวนอนประมาณ 5 วินาทีที่อุณหภูมิที่เกิดจุดไหลเท สังเกตผลการทดลองแล้วทำการบันทึกผล
- 4) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าจุดไหลเทที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล



ภาพ ค-2 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่สามารถไหลเทได้

**วิธีการวิเคราะห์ ค-4** วิธีการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

- 1) ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพลงใน crucible 0.5 กรัม
- 2) เตรียม crucible ใส่ combustion chamber
- 3) เปิดถังออกซิเจนที่ความดันเกจ 430 psi และกดปุ่มเติมออกซิเจน
- 4) เติมน้ำ 2 ลิตรลงในกระบอกและนำเข้าเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ กดปุ่มเริ่มเพื่อให้เครื่องทำงาน
- 5) เครื่องจะคำนวณค่าความร้อนและนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

**วิธีการวิเคราะห์ ค-5** วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกาคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

- 1) ชั่งน้ำหนัก crucible ก่อนใส่เชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพลงใน crucible 0.5 กรัม
- 3) เมื่อวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์เสร็จสิ้น ชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหลือหลังการเผาไหม้
- 4) คำนวณปริมาณกาคาร์บอนและนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

คำควหาปริมาณกาคาร์บอนจากการชั่งน้ำหนัก ดังสมการที่ ค.2

$$\text{ปริมาณกาคาร์บอน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนัก crucible หลังเผา}) - (\text{น้ำหนัก crucible ก่อนเผา})}{(\text{น้ำหนักเชื้อเพลิง})} \times 100 \quad (\text{ค.2})$$

ตาราง ค-2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	ค่าความร้อน (เมกกะจูลต่อกิโลกรัม)
1	ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล	35.91
2	ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	34.67
3	ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล +บิวทานอล / เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล	37.51
4	ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+บิวทานอล / เมทิลโอลลีเอต/ออกทานอล/PGEE 1:6:2	36.75
5	ปาล์ม+ดีเซล/ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล	39.60
6	ปาล์ม+ดีเซล/ บิวทานอล/เมทิลโอลลีเอต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	38.96

ตาราง ค-3 ปริมาณกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	น้ำหนัก ก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนัก หลังเผา (กรัม)	น้ำหนักของ เชื้อเพลิงชีวภาพ (กรัม)	ปริมาณกาก คาร์บอน (ร้อยละโดย น้ำหนักคาร์บอน)
1. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล	9.5890	9.5948	0.4999	1.1703
2. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล/ PGEE 1:6:2	9.7061	9.7131	0.5023	1.3936
3. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล + บิวทานอล /เมทิลโอเลต/ ออกทานอล	9.5185	9.5269	0.5035	1.6782
4. ปาล์ม+ดีเซล/เอทานอล+ บิวทานอล /เมทิลโอเลต/ ออกทานอล/PGEE 1:6:2	9.3615	9.3711	0.5045	1.9125
5. ปาล์ม+ดีเซล/ บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล	9.4274	9.4377	0.5033	2.0561
6. ปาล์ม+ดีเซล/ บิวทานอล/ เมทิลโอเลต/ออกทานอล/ PGEE 1:6:2	9.6944	9.7053	0.5034	2.1653

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธัญญา ปิบูลย์ เกิดเมื่อวันที่ 3 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดน่าน สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2557

ผลการศึกษาริวิจัยส่วนหนึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในการประชุมวิชาการ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 28 ประจำปี 2559 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ณ โรงแรมเดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร ในหัวข้อ การใช้ชีวทานอลร่วมกับ สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลลีเทอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วย วิธีไมโครอิมัลชัน วันที่ 10-11 พฤศจิกายน 2559 รหัสบทความ 10-07